



**Universität  
Zürich<sup>UZH</sup>**

## **Abschlussarbeit**

zur Erlangung des  
Master of Advanced Studies in Real Estate

### **Das neue Energiegesetz des Kantons Basel-Stadt**

Wirkung auf Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen in Wohnbauten

Verfasser:

Mettler Michael

[michael.mettler@solnet.ch](mailto:michael.mettler@solnet.ch)

Eingereicht bei:

Prof. Dr. Rolf Wüstenhagen

Abgabedatum:

15. September 2019

Fassung vom 10. Dezember 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 Absenkpfadens.

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 bereitwillige 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.....	9
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 .....	25
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
BGF	Bruttogeschossfläche
BIP	Bruttoinlandsprodukt
CO <sub>2</sub> -Gesetz	Bundesgesetz über die Reduktion der CO <sub>2</sub> -Emissionen
EBF	Energiebezugsfläche, <i>s. auch Verzeichnis physikalischer Grössen</i>
EF	Emissionsfaktor, <i>s. auch Verzeichnis physikalischer Grössen</i>
EGID	Eidgenössischer Gebäudeidentifikator
EKZ	Energiekennzahl, <i>s. auch Verzeichnis physikalischer Grössen</i>
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
MuKE <sub>n</sub>	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	Abkürzung	Symbol <sup>1</sup>	Einheit
<b>CO<sub>2</sub>-Äquivalente</b>			
Relativer Beitrag von Emissionen zum Treibhauseffekt gemessen am Effekt von Kohlendioxid.	CO <sub>2</sub> e	$m$	gCO <sub>2</sub> e tCO <sub>2</sub> e
<i>Indikator für die ökologische Wirkung</i>			
<b>Emissionsfaktor</b>			
Freigesetzte CO <sub>2</sub> -Äquivalente pro kWh Primärenergie, Endenergie oder Nutzenergie	EF	$k$ ( $k_r$ )	gCO <sub>2</sub> e/kWh
<i>Indikator für den Wirkungspfad der CO<sub>2</sub>-Intensität</i>			
<b>Endenergiebedarf, für Wärme</b>			
Jährlicher Energiebedarf für Raumwärme und Warmwasser an der Parzellengrenze oder im Tank inkl. Wärme der Umwelt.	E <sub>end</sub>	$Q$ ( $Q_{HWW}$ )	kWh/a
<b>Energiebezugsfläche</b>			
Summe aller Geschossflächen inkl. Wände, für deren Nutzung das Beheizen bzw. Klimatisieren notwendig ist.	EBF	$A$ ( $A_E$ )	m <sup>2</sup>
<b>Energiekennzahl</b>			
Jährlicher Endenergieverbrauch bezogen auf die Energiebezugsfläche.	EKZ (Q)	$E$	kWh/m <sup>2</sup> a
<i>Indikator für den Wirkungspfad der Energieeffizienz</i>			
<b>Vermeidungskosten, Brutto</b>			
Verhältnis von Kosten für eine Massnahme zur erzielten CO <sub>2</sub> -Reduktion, verteilt über die Dauer der Wirkung.	-	-	CHF/tCO <sub>2</sub> e
<i>Indikator für die ökonomische Wirkung</i>			

<sup>1</sup> Abkürzungen und Symbole des SIA in Klammern

### III. Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1</i>	Umsetzung der MuKE in den Kantonen, Stand Mai 2019.....	3
<i>Abbildung 2</i>	Energieverbrauch und CO <sub>2</sub> -Intensität als kritische Grössen für die CO <sub>2</sub> -Reduktion.....	7
<i>Abbildung 3</i>	Forschungsdesign mit Kernelementen Paneldesign und Dekompositionsanalyse .....	11
<i>Abbildung 4</i>	DvD-Ansatz zur Berichtigung der Wirkung von Fördergeldern auf Sanierungen.....	11
<i>Abbildung 5</i>	Vorgehen bei alten oder defekten fossilen Heizungen.....	16
<i>Abbildung 6</i>	Schematische Darstellung der errechneten und effektiven Energiebezugsfläche .....	17
<i>Abbildung 7</i>	Energieverbrauch und CO <sub>2</sub> -Intensität für Wärme im Gebäudepark in Zernez.....	19
<i>Abbildung 9</i>	Aggregierter Absenkpfad, Szenario 1 – energieeffizient.....	35
<i>Abbildung 10</i>	Aggregierter Absenkpfad, Szenario 2 – ausgewogen .....	35
<i>Abbildung 11</i>	Aggregierter Absenkpfad, Szenario 3 – geringe CO <sub>2</sub> -Intensität.....	35
<i>Abbildung 12</i>	Absenkpfad nur Effizienzmassnahmen, Szenario 1 – energieeffizient	36
<i>Abbildung 13</i>	Absenkpfad nur Effizienzmassnahmen, Szenario 2 – ausgewogen .....	36
<i>Abbildung 14</i>	Absenkpfad nur Effizienzmassnahmen, Szenario 3 – geringe CO <sub>2</sub> - Intensität.....	36
<i>Abbildung 15</i>	Absenkpfad nur Wärmeerzeugersersatz, Szenario 3 – energieeffizient	37
<i>Abbildung 16</i>	Absenkpfad nur Wärmeerzeugersersatz, Szenario 3 – ausgewogen .....	37
<i>Abbildung 17</i>	Absenkpfad nur Wärmeerzeugersersatz, Szenario 3 – geringe CO <sub>2</sub> - Intensität.....	37
<i>Abbildung 18</i>	Auszug nationaler Solarkataster.....	40
<i>Abbildung 19</i>	Dreidimensionales Gebäudemodell .....	41

**IV. Tabellenverzeichnis**

<i>Tabelle 1</i>	Vergleich des Wärmeerzeugersersatzes nach MuKEn 2014 und im Energiegesetz des Kantons Basel-Stadt .....	4
<i>Tabelle 2</i>	Daten aus amtlichen Quellen und Beziehungen zum konsolidierten Datensatz .....	21
<i>Tabelle 3</i>	Indikatoren und Messweise für die empirische Untersuchung nach Gebäudegruppe .....	28
<i>Tabelle 4</i>	Szenarien für die stochastische Modellierung.....	30
<i>Tabelle 5</i>	Auswertung des fossilen Wärmeerzeugersatzes 2016-18 (Quelle Datei BS_ERSATZ_2016_2018).....	31
<i>Tabelle 6</i>	Lebensdauer von Gas- und Ölheizungen (Quelle Datei BS_FEKO_2019) .....	31
<i>Tabelle 7</i>	Sanierungsrate nach Bauteil.....	32
<i>Tabelle 8</i>	Auswertung der empirischen Untersuchung .....	33
<i>Tabelle 10</i>	Zusammenfassung Ergebnisse stochastische Modellierung .....	38



## V. Executive Summary

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

Der Handlungsbedarf beim Erreichen von Klimazielen ist bei Immobilien gross: Der Gebäudepark der Schweiz verursacht rund ein Drittel der landesweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen. Die CO<sub>2</sub>-Reduktion wird in Gebäuden mit zwei wesentlichen Mitteln erreicht: Einerseits durch Isolation der Gebäudehülle und Wärmerückgewinnung (Effizienzmassnahmen) und andererseits 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 nicht zu Mehrkosten führt. 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<sub>2</sub>-Ausstoss und Energieverbrauch anhand von Daten aller Wohnbauten auf dem Kantonsgebiet. Insbesondere legt sie dar, welchen spezifischen Beitrag Effizienzmassnahmen und Wärmeerzeugerersatz zur CO<sub>2</sub>-Reduktion leisten.

In einem weiteren Schritt wird mit einer stochastischen Modellierung überprüft, ob das vom Gesetzgeber gesteckte Ziel, die Pro-Kopf-CO<sub>2</sub>-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 unerlässliche Rolle.

## 1 Einleitung

Im Kanton Basel-Stadt wurde Ende 2016 ein tiefgreifendes Energiegesetz (EnG vom 16.11.2016, BS-SR 772.100) verabschiedet. Ziel 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<sub>2</sub>-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 der Wohnbauten auf dem Kantonsgebiet wird einerseits die ökologische Wirkung auf die CO<sub>2</sub>-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 warnt, 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<sup>2</sup>. Dem Bericht zufolge ist es notwendig, CO<sub>2</sub>-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<sup>3</sup>. Mit nationalen Beiträgen soll die durchschnittliche globale Erwärmung im Vergleich

---

<sup>2</sup> Klimaszenarien für die Schweiz sind beim National Center for Climate Services (NCCS) online abrufbar.

<sup>3</sup> 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.

zur vorindustriellen Zeit auf deutlich unter 2°C begrenzt werden, wobei eine Deckelung des Temperaturanstiegs bei 1.5°C angestrebt wird<sup>4</sup>.

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<sup>5</sup> (Bundesamt für Energie BFE, 2018). Gesamthaft verursachen Gebäude rund einen Drittel der CO<sub>2</sub>-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<sub>2</sub>-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 Energie-Schweiz. Das Gebäudeprogramm hat die Senkung des Energieverbrauchs und des CO<sub>2</sub>-Ausstosses von Gebäuden durch Fördermassnahmen zum Ziel. Es wird durch die Teilzweckbindung der CO<sub>2</sub>-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 Kantonalen Energiedirektoren (EndK) erarbeitet<sup>6</sup>. Zentrales Regelwerk sind die Mustervorschriften der kantonalen Energiedirektoren (MuKE). Massgebend für die neuen kantonalen Energiegesetze sind die neuen MuKE 2014.

---

<sup>4</sup> 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).

<sup>5</sup> Mit über 50% steht Heizöl an erster, mit rund 25% Erdgas an zweiter Stelle als Energieträger für Wärme.

<sup>6</sup> Die EndK ist um eine interkantonale Harmonisierung der Gesetze bemüht, legt Standards fest, schafft Vollzugsinstrumente und vertritt die Interessen der Kantone gegenüber dem Bund.



GEAK-Gesamtenergieeffizienz<sup>7)</sup> zur Wahl. Teil F ist bis dato nur in den Kantonen Jura, Luzern, Obwalden sowie, in abgeänderter Form, in Basel-Stadt umgesetzt.

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 Anteil der Wärme erneuerbar erzeugt oder durch Effizienzmassnahmen eingespart wird“<sup>8)</sup> (Teil F, MuKE n 2014).

Das EnG des Kantons BS sieht für Teil F eine abweichende Regelung vor. Im Gegensatz zur MuKE n 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 Wärmeerzeugersersatz geregelt. Mit diesem Mittel kann der Besitzstand beim Wärmeerzeugersersatz monetär gewahrt werden. *Tabelle 1* stellt den Ansatz der MuKE n und des Kantons Basel-Stadt gegenüber.

	MuKE n 2014 Teil F	EnG Kanton Basel-Stadt
Heizungersatz	10% erneuerbar	100% erneuerbar
Geltungsbereich	EFH und MFH	alle Baukategorien
Anforderung (alternativ)	- Standardlösungen mit Anteil ern. Energie - Standardlösungen 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 unter 150m <sup>2</sup> EBF - ausserordentliche Verhältnisse	- technisch nicht machbar - Mehrkosten
Anforderung bei Befreiung	- keine	- Standardlösungen mit 20% besserer Effizienz - Minergie®-Zertifikat - GEAK-Gesamtenergieeffizienz ≥ Klasse C
Förderung Heizungersatz	keine Förderung der vorgeschriebenen Massnahmen	Förderung der bedingt vorgeschriebenen Massnahmen

*Tabelle 1:* Vergleich des Wärmeerzeugersatzes nach MuKE n 2014 und im Energiegesetz des Kantons Basel-Stadt

<sup>7)</sup> Der GEAK ist als Basisprodukt eine Energieetikette für Wohnbauten. Die Gesamtenergieeffizienz wird auf einer Skala von A-G bewertet.

<sup>8)</sup> Die Aussage muss relativiert werden, da Gebäude ab Klasse D der GEAK-Gesamtenergieeffizienz von der Anforderung befreit sind und die Wirkung bei den übrigen Bauten auf 10% beschränkt bleibt.

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 brisant, weil dessen EnG trotz tiefgreifender Bestimmung zum Wärmeerzeugersersatz breite Unterstützung fand, während in anderen Kantonen die klar mildere Bestimmung in Teil F der MuKE politisch umstritten ist (Energie 360°, 2019).

Daten aus dem Kanton Zürich zeigen, dass fossil befeuerte Heizungsanlagen ohne Vorschriften zum Wärmeerzeugersersatz in 94% der Fälle wieder durch fossil befeuerte Anlagen ersetzt werden (Gruenberg + Partner AG, 2018). Derweil beweist die Forschung, dass der Wärmeerzeugersersatz als Mittel zur Senkung der CO<sub>2</sub>-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)<sup>9</sup>. 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)<sup>10</sup>. Es kann somit vermutet werden, dass Vorschriften zum Wärmeerzeugersersatz wesentlich schneller eine Klimawirkung entfalten als geeignete Rahmenbedingungen für Dämmmassnahmen.

Zur empirischen Prüfung der Effekte sind drei grundlegende Angaben zu Gebäuden erforderlich: Die CO<sub>2</sub>-Intensität der Wärmeerzeugers, der 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).

---

<sup>9</sup> Bemessungsgrundlage sind die aggregierten flächengewichteten Massnahmen.

<sup>10</sup> Der Richtwert wird in dieser Arbeit empirisch überprüft.

Für den Energieverbrauch liegen in Basel-Stadt umfassende Daten vor. Rund zwei Drittel des Gebäudeparks wird mit Fernwärme oder Gas versorgt. Die Industriellen Werken Basel (IWB) erheben den Verbrauch der genannten leitungsgebundenen Energieträger periodisch und übermitteln ihn dem Statistischen Amt des Kantons für deren Energiestatistik.

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<sub>2</sub>-Emissionen einer Gesellschaft auf vier Faktoren beruhen<sup>11</sup>:

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

$\frac{G}{P}$ : BIP pro Kopf     $\frac{E}{G}$ : Energieintensität des BIP     $\frac{F}{E}$ : CO<sub>2</sub>-Intensität der Energie

F: CO<sub>2</sub>-Emissionen    P: Bevölkerung    G: BIP    E: Energieverbrauch

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

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

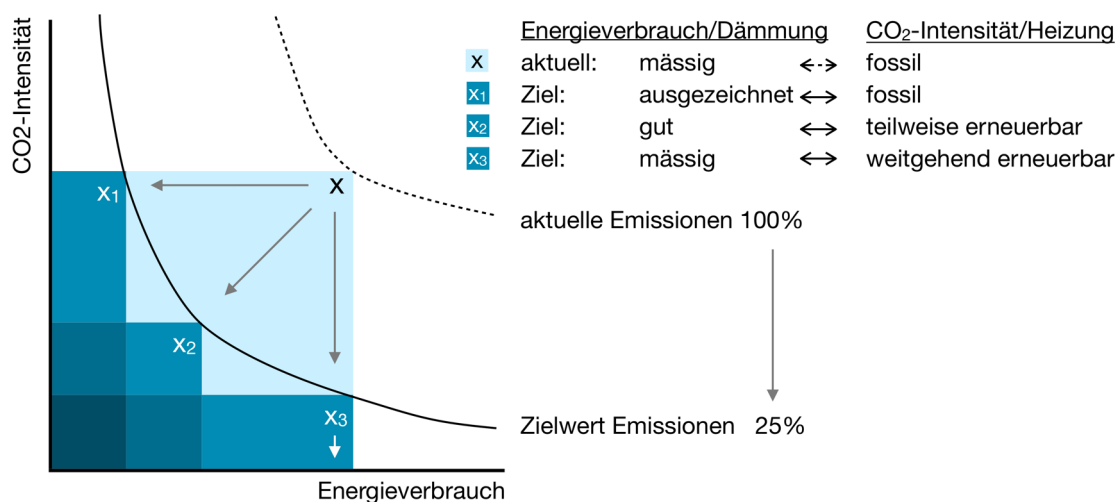
$\frac{A}{P}$ : Fläche pro Person     $\frac{E}{A}$ : Energiekennzahl (EKZ)     $\frac{F}{E}$ : CO<sub>2</sub>-Intensität der Energie (EF)

F: CO<sub>2</sub>-Emissionen    P: Bevölkerung    A: beheizte Fläche (EBF)    E: Energieverbrauch

---

<sup>11</sup> In diesem Abschnitt werden in Abweichung zur restlichen Arbeit die Symbole von Kaya verwendet.

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<sub>2</sub>-Intensität um so stärker vermindert werden, um Klimaziele zu erreichen. Das kritische Zusammenspiel der Faktoren Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Intensität ist in *Abbildung 2* dargestellt. Die Hyperbeln setzen sich aus Punkten identischer flächenbezogener CO<sub>2</sub>-Emissionen zusammen.



*Abbildung 2:* Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Intensität als kritische Grössen für die CO<sub>2</sub>-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<sub>3</sub>“ hinaus) die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Heizung auf Null sinken. Bei Effizienzmassnahmen an Altbauten (Verschiebung von „x“ nach „x<sub>1</sub>“) ist diese Senkung nicht möglich, da immer ein Sockelverbrauch verbleibt.

Weiter von Bedeutung ist, dass beim Wärmeerzeugersersatz zusätzlich zu einer Minderung der CO<sub>2</sub>-Intensität meistens eine technische Effizienzsteigerung erzielt wird. Dies ist namentlich beim Einsatz von Wärmepumpen der Fall<sup>12</sup>.

Der jeweilige Beitrag der beiden Wirkungspfade Effizienzmassnahmen und Wärmeerzeugersersatz zur CO<sub>2</sub>-Reduktion wurde von Mavromatidis et al. (2016) auf Basis von

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



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. 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 Wärmeerzeugersersatz.

Nufer & Baumgartner (2018) untersuchen an einem Fallbeispiel die Vermeidungskosten. Diese definieren die Autoren so: „Die CO<sub>2</sub>-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<sub>2</sub>-Vermeidungskosten werden als Quotient der Mehrkosten der Massnahme und der durch die Massnahme zusätzlich erreichten Emissionseinsparung in CHF pro Tonne CO<sub>2</sub> angegeben“ (S. 217). Der Begriff wird von TEP Energy (2011) und Ecoplan (2012) weiter differenziert.

### **1.3 Forschungsfrage und Zielsetzung**

Diese Arbeit untersucht die Wirkung des EnG Kanton Basel-Stadt auf die CO<sub>2</sub>-Reduktion der Wohnbauten im Kantonsgebiet. Dabei werden die Beiträge von Bestimmungsfaktoren zur Effizienzsteigerung solchen zum Wärmeerzeugersersatz gegenübergestellt.

Indikatoren für die *ökologische Wirkung* des Gesetzes sind neben der CO<sub>2</sub>-Reduktion auch der Energieverbrauch. Als *ökonomischer Aspekt* wird die Effektivität der Förderung von Sanierungsmassnahmen über CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten quantifiziert.

Mit Blick auf kantonale Gesetzesrevisionen, auf das hängige CO<sub>2</sub>-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 anteilmässig erreicht werden?

#### 1.4 Abgrenzung

Die Untersuchung umfasst knapp 25'000 Wohnbauten, 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<sub>2</sub>-Emissionen im Betrieb der Liegenschaften. Die in Anlagen und Bauteilen enthaltene graue Energie ist nicht berücksichtigt.

Die *ökonomische Betrachtung* fokussiert auf die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten. Die Vermeidungskosten sind brutto als reine Kosten für die CO<sub>2</sub>-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, soweit diese nicht durch Subventionen gedeckt sind). Schliesslich blendet die Arbeit qualitative *sozialen Aspekte*<sup>13</sup> 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<sub>2</sub>-Intensität und Energieverbrauch.

---

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

Messgrösse für die CO<sub>2</sub>-Intensität ist der Emissionsfaktor (EF) des Energieträgers der Wärmeaufbereitung. Messgrösse für den Energieverbrauch ist die EKZ für Raumwärme und Warmwasser. Der CO<sub>2</sub>-Ausstoss ist das Produkt von EF, EKZ und EBF.

Die beiden Wirkungspfade *Energieverbrauch* und *CO<sub>2</sub>-Intensität* werden in Anlehnung an Mavromatidis et al. mittels Dekompositionsanalyse<sup>14</sup> desaggregiert. Die abhängigen Variablen (die *CO<sub>2</sub>-Emission*) sind das Produkt der unabhängigen Variablen *Energieverbrauch* und *CO<sub>2</sub>-Intensität*. Mögliche Kontrollvariablen sind Bauperiode, Sanierungsgrad, Bebauungsart (Stadt oder Landgemeinde).

Als Datengrundlage dienen gebäudescharfe Daten des GWR, Verbrauchserhebungen des Statistischen Amtes. Im Weiteren liegen 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 Wärmeerzeugersersatz 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 worden sind. Das neue EnG trat im Oktober 2017 in Kraft. Im Jahr 2017 sind somit Verzerrungen zu erwarten.

*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<sub>2</sub>-Intensität.

---

<sup>14</sup> Diese wird in der Literatur auch als Index Decomposition Analysis (IDA) bezeichnet.

		altes EnG		Bias	neues EnG	
Merkmal	● Neubau & Erweiterung	● ΔEnergimix	● ΔEnergimix	← Vergleich →	● ΔEnergimix	
	■ geförderte Sanierung	↓ ↓	↓ ↓	↓	↓ ↓	
CO <sub>2</sub> -Intensität	● Verbrauch	CO <sub>2</sub> -Intensität	CO <sub>2</sub> -Intensität	→ Extrapol. →	CO <sub>2</sub> -Intensität	
	● Verbrauch	CO <sub>2</sub> -Intensität	CO <sub>2</sub> -Intensität	↓	CO <sub>2</sub> -Intensität	
Energieverbrauch	● Verbrauch			ges. Vorgabe →	CO <sub>2</sub> -Intensität	
	● Verbrauch			↓	↑ ↑	
				↓	Dekompositions-Analyse	
				↓	↓ ↓	
	● Verbrauch	Referenzgruppe	● Verbrauch	→ Adjust. →	Energieverbrauch	
	● Verbrauch	Unters.-Gruppe	● Verbrauch	→ Extrapol. →	Energieverbrauch	
			● Förderung	↑		
			← Vergleich →		● Förderung	
		2012	2013-2015	2016	2017	2018-2019

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) adjustiert. *Abbildung 4* illustriert die Anpassung grafisch.

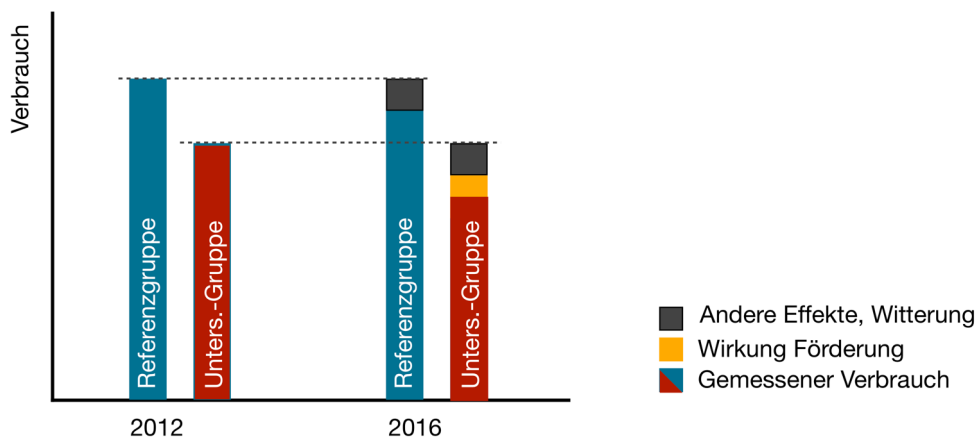


Abbildung 4: DvD-Ansatz zur Berichtigung der Wirkung von Fördergeldern auf Sanierungen

Der Abzug im DvD-Ansatz neutralisiert witterungsbedingte Effekte wie auch die Wirkung ohne Förderung getätigter Unterhalts- 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 MuKE 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 deren Anwendungsbereich fallen der zu erwartende Wärme- und Energiebedarf bei projektierten Neu- und Umbauten, der Nachweis zur Einhaltung von Grenzwerten und der Messwertvergleich von effektivem Energieverbrauch und errechnetem Energiebedarf. Die effiziente Wärmeerzeugung wird hingegen in der Norm SIA 384 „Heizungsanlagen in Gebäuden“ behandelt.

Die Norm SIA 2040 „Effizienzpfad Energie“ ist den Zielen der 2000-Watt-Gesellschaft<sup>15</sup> 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.

---

<sup>15</sup> Die 2000-Watt-Gesellschaft strebt eine Primärenergiedauerleistung von 2000 Watt pro Person und Emissionen von maximal einer Tonne CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Person und Jahr über alle Verbrauchssektoren an.

## **MuKE n – Mustervorschriften der Kantonalen Energiedirektoren**

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

In den MuKE n 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 bewilligungspflichtiger Vorgänge). Teil F des Basismoduls betreffend Wärmeerzeugersersatz wurde im Abschnitt 1.1 der Einleitung besprochen. Der Wärmeerzeugersersatz ist in zwei weiteren Modulen geregelt: Teil H verlangt den Ersatz elektrischer Widerstandsheizungen<sup>16</sup> innerhalb von 15 Jahren, Teil I die Sanierung ortsfester Elektroboiler.

Die EnDK gibt 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 MuKE n ein Schlüsselement der kantonalen Energiepolitik. Während die MuKE n Bauvorschriften mit energetischer Wirkung vereinheitlichen, gilt das HFM der Harmonisierung der Förderung. Sie legt die Grundstruktur

---

<sup>16</sup> Elektrische Widerstandsheizungen machen im Winter ca. 20% des schweizerischen Stromverbrauchs aus (MuKE n 2014).

kantonalen Förderprogramme fest, definiert subventionierte Massnahmen und regelt die Anforderungen für den Bezug von Fördergeldern. Ferner definiert sie Richtwerte zur Wirkung von Förderungen auf den Energiebedarf und die CO<sub>2</sub>-Emissionen. Mit einer Abschätzung der Mehrinvestitionen und der nichtamortisierbaren Kosten pro Einheit einer Massnahme liefert sie eine quantitative Basis für die Förderbeiträge. Minimalförderätze 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<sub>2</sub>-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, Wärmeerzeugersersatz, Installation erneuerbarer Wärmeerzeugungen, Solarthermie, Gesamtanierungen, Neubauten und Wärmenetzprojekte erstrecken.

## **2.2 Gesetzliche Rahmenbedingungen**

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

### **Bundesgesetze**

Wie in der Einleitung erwähnt, kommt dem Bund im Gebäudebereich gemäss Art. 89 Abs. 4 BV eine untergeordnete Rolle zu. Aufgaben werden in erster Linie mit dem CO<sub>2</sub>-Gesetz und dem EnG an die Kantone übertragen.

Kernstück der Schweizer Klimapolitik ist das hängige CO<sub>2</sub>-Gesetz. Im CO<sub>2</sub>-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 Klimaziel leisten. In der Botschaft zur Totalrevision des CO<sub>2</sub>-Gesetzes sieht der Bundesrat (2017) eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-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<sub>2</sub>-Grenzwerte für bestehende Bauten und für Neubauten gelten. Bei bestehenden Bauten kommen die subsidiären CO<sub>2</sub>-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 gescheiterten 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 Kantonalen 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 MuKE 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



MuKE n 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 Wärmeerzeugersersatz. Dieser verlangt, wie erwähnt, in Abweichung zur MuKE n 100% erneuerbare Energie statt 10%, wobei die Fernwärme als erneuerbare Energie angerechnet wird. Das Vorgehen beim Wärmeerzeugersersatz ist in *Abbildung 5* festgehalten. Um Mehrkosten vorzubeugen, wurden Förderbeiträge für Holzfeuerungen, Wärmepumpen, Solarkollektoranlagen und den Anschluss ans Wärmenetz erhöht<sup>17</sup>.

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 durch 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 fossil befeuerten Heizungen (in Anlehnung an das Ablaufdiagramm des Amtes für Umwelt und Energie AUE Basel-Stadt)

## 2.3 Datenlage

Die CO<sub>2</sub>-Verordnung vom 30.11.2012 (Stand 19.2.19) verpflichtet die Kantone dem BAFU ab dem Jahr 2018 über die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in ihrem Gebäudepark zu berichten. Dazu benötigen die Kantone für alle Gebäude die besprochenen

<sup>17</sup> 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<sup>18</sup>. 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.

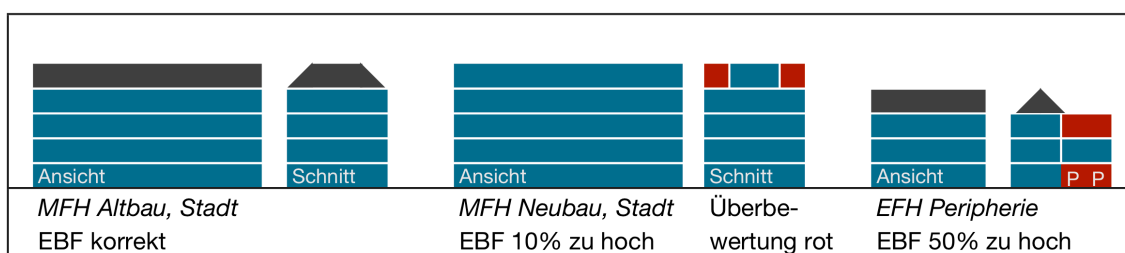


Abbildung 6: Schematische Darstellung der errechneten und effektiven Energiebezugsfläche

<sup>18</sup> 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 errechnen die Autoren und Autorinnen anschliessend das Optimierungspotential und leiten Empfehlungen ab. Schliesslich beziffern sie die Vermeidungskosten pro eingesparte kWh Energie bzw. pro Tonne CO<sub>2</sub>. Die Resultate aus dem ersten Teil der Studie zeigen, dass der Energieverbrauch mittels Sanierung im Schnitt um 29% gesenkt werden kann. Die CO<sub>2</sub>-Intensität ist von 260 auf 200 gCO<sub>2</sub>e/kWh gesunken, während die Emissionen von 46 auf 27 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> 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<sub>2</sub>-Abgabe (Stand 2016) und der Energiekosteneinsparung mit dem Minergie-Standard teilweise eine Nullsumme erreicht wird. Bei einer Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Abgabe auf CHF 300/TCO<sub>2</sub> werden die Sanierungen aller untersuchten Objekte unter dem Strich<sup>19</sup> 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

---

<sup>19</sup> Die jährlichen Mieten stiegen zwischen CHF 95 und CHF 956 pro Wohnung. Die Kostentragung ist nicht abgegrenzt.

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

### A strategy for reducing CO<sub>2</sub>-emissions from buildings with the Kaya identity

Die Studie von Mavromatidis et al. (2016) untersucht die potenziellen Haupttreiber für CO<sub>2</sub>-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 Zerne. Die drei nachstehenden Diagramme zeigen Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Intensität der Wärmeerzeugungen heute, nach Effizienzmassnahmen und in der Folge einer Kombination von Effizienzmassnahmen und Wärmeerzeugererersatz. Das Klimaziel der Energiestrategie 2050 wird in Zerne nur mit kombinierten Massnahmen erreicht.

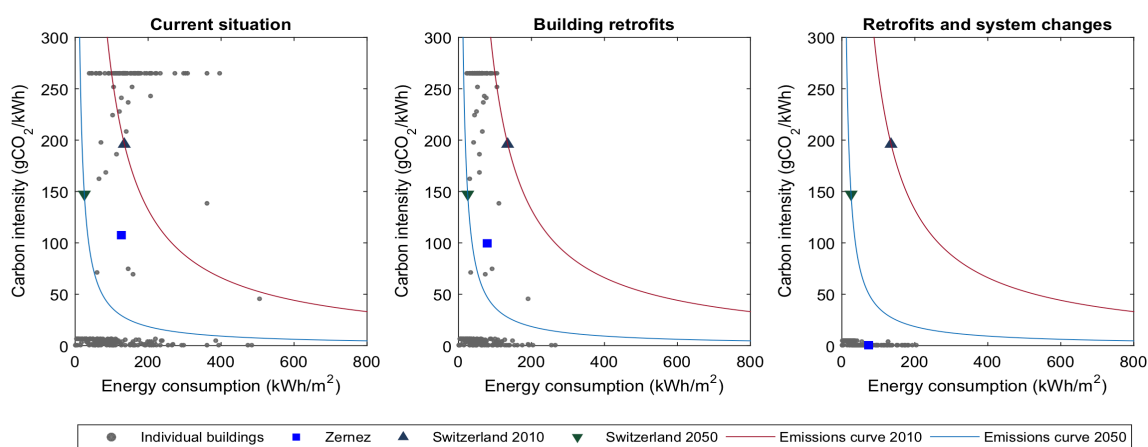


Abbildung 7: Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Intensität für Wärme im Gebäudepark in Zerne; a) Zustand heute, b) nach Effizienzmassnahmen, c) nach Effizienzmassnahmen und Wärmeerzeugererersatz (Mavromatidis et al., 2016, S. 349)

### 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<sub>2</sub>-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. Dazu werden die Erneuerungsanteile pro Bauteil gewichtet und aggregiert. In Kohorten nach Bauperiode gegliedert, werden diesen Anteilen spezifische Erneuerungserfolge (gemessen in  $\Delta\text{kWh/m}^2\text{a}$ ) beigemessen.

Für Bauten mit Baujahr vor 1990 wird im Zeitraum 2001-2010 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<sub>2</sub>-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<sub>2</sub>-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 Infrass (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-Unternehmen 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 <sup>1</sup>	2012, 2014, 2016	3 * ~23'500	1:1 (1:n)
BS_SUBVENTIONEN	Förderung energ. Sanierungen <sup>2</sup>	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) <sup>3</sup>	23'656	-

<sup>1</sup> Gebäude versorgen zum Teil auch andere Gebäude oder werden von anderen versorgt.  
<sup>2</sup> Eine Förderung kann eine ganze Siedlung betreffen; Gebäude können mehrfach gefördert werden.  
<sup>3</sup> 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\_VERBRAEUCHE 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 des Amtes 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<sup>20</sup>.

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<sup>2</sup> oder kWh), Sanierungsgrad, Subventionen Kantone, Subventionen Bund, Antragsdatum und Auszahlungsdatum.

### **Register der Feuerungskontrolle des Amtes für Umwelt und Energie**

Die 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 des Amtes 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<sup>2</sup>a geschätzt), Jahr der Inbetriebsetzung.

---

<sup>20</sup> Massnahmen sind als flächenmässig vollständig angenommen, qualitativ hingegen entsprechend dem Stand der Technik gewichtet. Ein Fensterersatz mit U-Wert  $\leq 1.5$  ist beispielsweise mit 50% bewertet. Die relative Bewertung verschiedener Bauteile ist in *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 desagregiert. D.h. die CO<sub>2</sub>-Reduktion als ökologische Wirkung des Gesetzes wird in die Faktoren *Energieverbrauch* und *CO<sub>2</sub>-Intensität* zerlegt.

Als mathematische Basis dient eine adaptierte Kaya-Identität nach Mavromatidis et al. (2016) wie im Abschnitt 1.2 erklärt. Die CO<sub>2</sub>-Reduktion errechnet sich über ein Jahr wie folgt:

$$\text{CO}_2\text{-Ausstoss Jahr}_0: \quad m_0 = k_0 \times E_0 \times A$$

$$\text{CO}_2\text{-Ausstoss Jahr}_1: \quad m_1 = k_1 \times E_1 \times A$$

$$\text{CO}_2\text{-Absenkung Jahr}_{1,0} \quad \Delta m_{1,0} = k_1 \times E_1 \times A - k_0 \times E_0 \times A$$

A: EBF [m<sup>2</sup>] E: EKZ [kWh/m<sup>2</sup>a] k: EF [tCO<sub>2</sub>e/kWh] m: CO<sub>2</sub>-Emissionen [tCO<sub>2</sub>e]

Die Dekomposition der Faktoren *Energieverbrauch* und *CO<sub>2</sub>-Intensität* wird für zwischenzeitlich sanierte Bauten so vorgenommen:

$$\text{CO}_2\text{-Absenkung durch verminderten Energieverbrauch: } \Delta m_E = k_1 \times (E_1 - E_0) \times A$$

$$\text{CO}_2\text{-Absenkung durch verminderte CO}_2\text{-Intensität: } \Delta m_I = (k_1 - k_0) \times E_0 \times A$$

Da Gebäudesanierungen im Gegensatz zum Wärmeerzeugerersatz in der Regel freiwillig vorgenommen werden, wird in der Attribution der Effizienz auf die *CO<sub>2</sub>-Intensität am Endpunkt* abgestellt, während der Faktor CO<sub>2</sub>-Intensität auf die *Energie-Intensität am Anfang* abstellt.

Die oben aufgeführten beiden Faktoren werden für jede Gebäudekategorie addiert und durch die EBF geteilt. Daraus ergibt sich die flächenbezogene CO<sub>2</sub>-Absenkung als ökologische Indikator für die Wirkung des EnG:

$$\text{Wirkung des verminderten Energieverbrauchs: } \varepsilon_E = \frac{\Sigma \Delta m_E}{\Sigma A_1}$$

$$\text{Wirkung der verminderten CO}_2\text{-Intensität: } \varepsilon_I = \frac{\Sigma \Delta m_I}{\Sigma A_1}$$

$\varepsilon$ : flächenbezogene CO<sub>2</sub>-Absenkung [tCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>]

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<sub>2</sub>-Ausstosses und der Fläche vor. Der positive Effekt kann über die veränderte Gesamtbilanz des Portfolios errechnet werden<sup>21</sup>:

$$\begin{aligned} \text{flächenbezogen Wirkung:} \quad \Delta \varepsilon &= \varepsilon_{\text{Gebäudepark}} - \varepsilon_{\text{Gebäudepark ohne Neubauten}} \\ \text{aggregierte Wirkung:} \quad \Delta m &= \frac{\Delta \varepsilon}{\Sigma A_{\text{Neubauten}}} \end{aligned}$$

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:

$$\begin{aligned} \text{Anpassung}_{1,0}: \quad E_1' &= E_1 \times (\eta_0 / \eta_1) \\ \Delta \text{Energieverbrauch}_{1,0}: \quad \Delta m_E &= k_1 \times (E_1' - E_0) \times A_1 \end{aligned}$$

$\eta$ : Nutzungsgrad der Heizung, bzw. Jahresarbeitszahl (JAZ) der Wärmepumpe

### 4.3 Quantitative Annahmen

#### Emissionsfaktoren

Diese Arbeit setzt für die EF die Primärenergiefaktoren der KBOB 2009/1:2016 ein<sup>22</sup>. 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

---

<sup>21</sup> 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 ist nur über einen langen Zeitraum signifikant.

<sup>22</sup> Das nationalen Treibhausgasinventar, die CO<sub>2</sub>-Statistik und im Reporting der Kantone verwenden die EF des BAFU. Diese zieht eine engere Bilanzgrenze.

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 entstehen. Der Anteil der fossilen Wärme-Kraft-Kopplung soll ab 2025 5% nicht übersteigen.“ Das Fernwärmenetz muss gemäss EnG ab 2020 zu 80% mit CO<sub>2</sub>-freien 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  $E_{hwk}$  darf nicht höher liegen als der Grenzwert  $E_{hwk,li}$  35 kWh/m<sup>2</sup> (Mittelland). Für die Heizung wird ein Wert von 15kWh/m<sup>2</sup> nach Abzug des Energiebedarfs für Warmwasser<sup>23</sup>, Lüftung und Klimatisierung eingesetzt.

### **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.

---

<sup>23</sup> Standardnutzungswert für MFH ist 21 kWh/m<sup>2</sup>, für EFH 14 kWh/m<sup>2</sup>.

## **Witterungseinfluss**

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

## **Leerstand**

Gemäss amtlichen Angaben (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.

---

<sup>24</sup> 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<sup>2</sup>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 <sup>1</sup>	Neubau		Erweiterung		gef. Sanierung		Rest (Altbau)	
		EnG <sub>alt</sub>	EnG <sub>neu</sub>	EnG <sub>alt</sub>	EnG <sub>neu</sub>	EnG <sub>alt</sub>	EnG <sub>neu</sub>	EnG <sub>alt</sub>	EnG <sub>neu</sub>
Energieverbrauch	$\Delta$ EKZ [kWh/m <sup>2</sup> a]	Verbrauch	Vorschrift	Verbrauch	Extrapol.	Verbrauch	Extrapol.	Lagemass	Extrapol.
CO <sub>2</sub> -Intensität	$\Delta$ EF [gCO <sub>2</sub> e/kWh]	Vorschrift	Vorschrift	Verteilung	Vorschrift	Verteilung	Verteilung	Verteilung	Verteilung
CO <sub>2</sub> -Absenkung	$\Delta$ [gCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> a]	Ber.	Ber.	Ber.	Ber.	Ber.	Ber.	Ber.	Ber.
Substitutionsrate <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> /a	Fläche	Fläche	Fläche	Fläche	Fläche	Fläche	Fläche	Fläche
CO <sub>2</sub> -Emissionen	m [tCO <sub>2</sub> e/a]	Ber.	Ber.	Ber.	Ber.	Ber.	Ber.	Ber.	Ber.

<sup>1</sup> Bei Neubauten sind die Angaben unveränderlich.  
<sup>2</sup> 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 Wärmeerzeugersatz auf erneuerbare Energien umzustellen.

Das Paneldesign enthält zeitliche Ein- und Ausschlusskriterien für die Untersuchungsgruppe der geförderten Sanierungen (s. Grafik im Anhang 3). Massgebend ist der Zeitpunkt der Subventionszahlung<sup>25</sup>. 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.

<sup>25</sup> Im Register der Subventionen sind das Datum der Erfassung des Gesuches und das Datum der Subventionszahlung aufgeführt. Letzteres korreliert zeitlich stärker mit dem Bauablauf.

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.

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.

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 Modell kann geprüft werden, ob das Ziel des EnG, den CO<sub>2</sub>-Ausstoss bis 2050 um 80% zu senken, erreicht wird<sup>26</sup>. 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.

---

<sup>26</sup> vgl. § 1, Abs. 1 Ziff. 2 Lit. d EnV

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 Wärmeerzeugersersatz in gleichem Masse vorangetrieben werden und ein drittes Szenario, in welchem der Wärmeerzeugersersatz forciert wird.

	<b>Szenario 1</b> energieeffizient		<b>Szenario 2</b> ausgewogen		<b>Szenario 3</b> geringe CO <sub>2</sub> -Int.	
	FW geeig. <sup>2</sup>	ungeeignet	FW geeignet	ungeeignet	FW geeignet	ungeeignet
	Verteilung	Verteilung	Verteilung	Verteilung	Verteilung	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% <sup>1</sup>	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%
<b>Lebensdauer Bauteile</b>	<b>SD [a]</b>	<b>M[a]</b>	<b>SD [a]</b>	<b>M[a]</b>	<b>SD [a]</b>	<b>M[a]</b>
Lebensdauer Brenner/Kessel <sup>3</sup>	7.5	22	7.5	22	7.5	22
Lebensdauer Fenster <sup>4</sup>	5.0	25	5.0	25	5.0	25
Lebensdauer Aussendämmung <sup>4</sup>	7.5	30	8.0	35	10.0	40
Lebensdauer Dach <sup>4</sup>	10.0	25	12.0	30	14.0	35
<b>Energiekennzahl Heizung</b>	<b>[kWh/m2a]</b>		<b>[kWh/m2a]</b>		<b>[kWh/m2a]</b>	
EKZ Endwert Bestand <sup>5</sup>		40		45		50

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

Tabelle 4: Szenarien für die stochastische Modellierung

Die Software von BS2 modelliert Dämmmassnahmen und Wärmeerzeugersersatz für jedes Gebäude, bis ein Endwert der EKZ erreicht ist. Für die Standardabweichungen und Mittelwerte sind Erfahrungswerte, bzw. Werte aus der empirischen 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 <sup>1</sup> 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% <sup>1</sup>	80%	172	15'684	41%	149	12'030	36%	167	19'864	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	37'991	100%	780	33'771	100%	356	29'911	100%
davon nicht erneuerbar				53%			61%			27%
davon erneuerbar				47%			39%			73%
Anschlussrate Fernwärme				52%			45%			83%

<sup>1</sup> nach EnG gelten neben Wärmepumpe, Holz und Solarthermie auch Fernwärme als 100% erneuerbar

*Tabelle 5:* Auswertung fossiler Wärmeerzeugersersatz 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%)<sup>27</sup>.

	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)

<sup>27</sup> 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. Es liegen keine Daten vor, welcher Anteil dieser Subvention durch den expandierenden Verkauf von Fernwärme innerhalb des Staatshaushaltes wettgemacht werden kann.

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<sup>28</sup>.

	<i>n</i>	<i>Jahr</i> <sup>1</sup>	<i>n p.a.</i>	<i>Ersatz- rate</i>	<i>Ausmass [m<sup>2</sup>]</i>	<i>Ant.</i>	<i>Förderung [kCHF]</i>	<i>Ant.</i>	<i>Gewicht</i> <sup>2</sup>
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%)

<sup>1</sup> Beginn Förderprogramm  
<sup>2</sup> Gewichtung des Bauteils bei der Ermittlung des Sanierungsgrades

*Tabelle 7: Sanierungsrate nach Bauteil*

Die Vermeidungskosten konnten auf Grund der Komplexität einer sauberen Abgrenzung nicht konsistent ermittelt werden. Eine wissenschaftlich haltbare Auswertung würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Es werden dazu keine Resultate präsentiert.

<sup>28</sup> Quelle: Datei BS\_KOMPLETT\_2012\_16

## 5.1 Ergebnisse der empirischen Untersuchung

Die ökologische Wirkung des EnG ist in *Tabelle 8* wiedergegeben. Der jährliche CO<sub>2</sub>-Ausstoss des Portfolios beträgt ca. 61'000'000 Tonnen. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen werden auf Grund von gesetzlich vorgeschriebenen energetischen Verbesserungen bei Erweiterungsbauten, verteilt über eine EBZ von 26'380 m<sup>2</sup>, um jährlich 94'350 Tonnen im Jahr reduziert. Bei geförderten Sanierungen beträgt die Einsparung 130'550 Tonnen, verteilt auf eine Fläche von 133'130 m<sup>2</sup> (mit Subventionskosten von rund CHF 24/m<sup>2</sup>).

Dem gegenüber stehen CO<sub>2</sub>-Reduktionen durch den Wärmeerzeugersersatz von jährlich 15'334 Tonnen für Erweiterungsbauten und 55'278 Tonnen für Sanierungen. Hinzu kommen die Einsparungen des Heizungersatzes für das übrige Portfolio (3'205'054 m<sup>2</sup> EBF). Diese betragen, ausgehend von den Daten des ersten vollen Erhebungsjahres 2018 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 lediglich rund 1% betrug.

	Obj.	Energiebezugsfläche			Energiekennzahl			Emissionsfaktor				Emissionen	
		EBF		ΔEBF	EKZ <sub>12</sub>	EKZ <sub>16</sub> <sup>2</sup>	ΔEKZ	EF <sub>12</sub>	EF <sub>16</sub>	ΔEF <sub>16</sub>	ΔEF <sub>19</sub>	ΔCO <sub>2</sub> I	ΔCO <sub>2</sub> E
Einheit		[m <sup>2</sup> /a]			[kWh/m <sup>2</sup> a]			[gCO <sub>2</sub> /kWh]				[tCO <sub>2</sub> e]	
Statistik	n	Σ			M	M		M	M			Σ	Σ
Neubau <sup>3</sup>	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<sub>2</sub>-Intensität.

Index 12, 16 und 19 stehen für die Messjahre 2012, 2016 und 2019.

<sup>1</sup> Stichproben Neubau über 3 Jahre, Erweiterung über 2 Jahre, Sanierungen über 17 Monate.

<sup>2</sup> EKZ<sub>16</sub> mit DvD-Ansatz adjustiert

<sup>3</sup> Für das Jahr 2012 ist der Referenzwert (Altbau) eingesetzt, für das Jahr 2016 die gesetzlich geforderte EKZ

*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 verbleibenden Potenziale für Effizienzmassnahmen und die Substitution fossiler Brennstoffe mit der Zeit sinken.

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 der empirischen Untersuchung bestimmt. Für Szenario 1 ist das 1. Quantil die EKZ gemessen an der Sanierungsrate (75%-100%, Untersuchungsgruppe der sanierten Gebäude) eingesetzt. Diese beträgt 40 kWh/m<sup>2</sup>a. In Szenario 2 und 3 sind 45 bzw. 50 kWh/m<sup>2</sup>a eingesetzt.

Die nachfolgenden *Abbildung 8 - Abbildung 10* zeigen die aggregierten Ergebnisse. Auffallend ist der scheinbar grosse Einfluss des Wärmeerzeugersatzes, 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 Wärmeerzeugersatz (*Abbildung 14 - Abbildung 16*) gezeigt. So sind die Effekte isoliert erkennbar. In beiden Fällen ist eine Effizienzsteigerung von 10% beim Wärmeerzeugersatz eingerechnet. Dies, da ein Ersatz nach Erreichen der Lebensdauer im Rahmen des technischen Fortschritts unabhängig von gesetzlichen Bestimmungen zu einer Effizienzsteigerung sorgt.

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

1) Dämmmassnahmen und Wärmeerzeugersatz:

<https://mas-michael-mettler-eng-bs-6a0mytwge.now.sh/>

2) Nur Wärmeerzeugersatz:

<https://mas-michael-mettler-eng-bs-nur-heizung-r75uezvpv.now.sh/>

3) Nur Dämmmassnahmen:

<https://mas-michael-mettler-eng-bs-ohne-heizung-kwbchrazs.now.sh/>

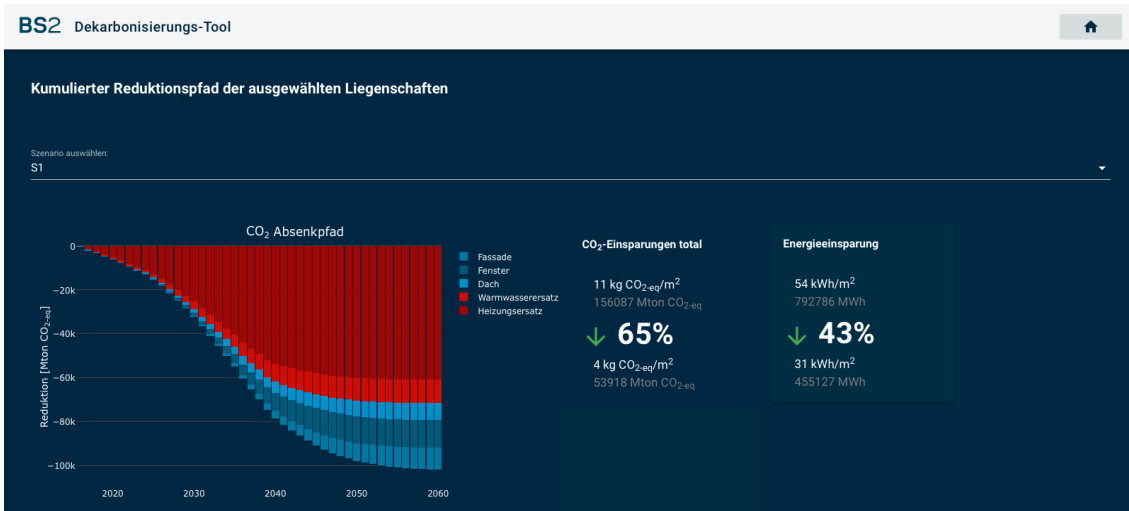


Abbildung 8: Aggregierter Absenkpfad, Szenario 1 – energieeffizient

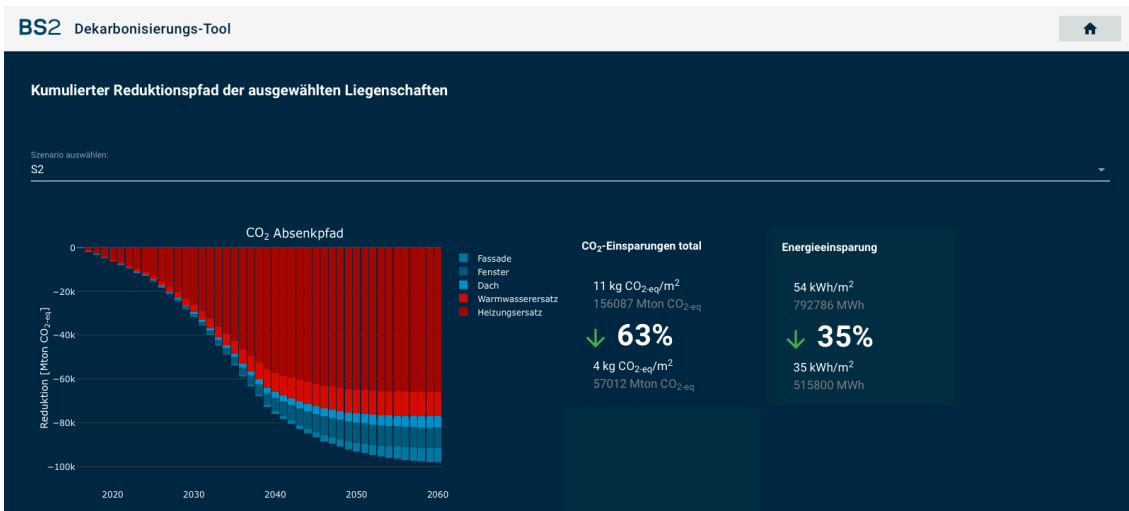


Abbildung 9: Aggregierter Absenkpfad, Szenario 2 – ausgewogen

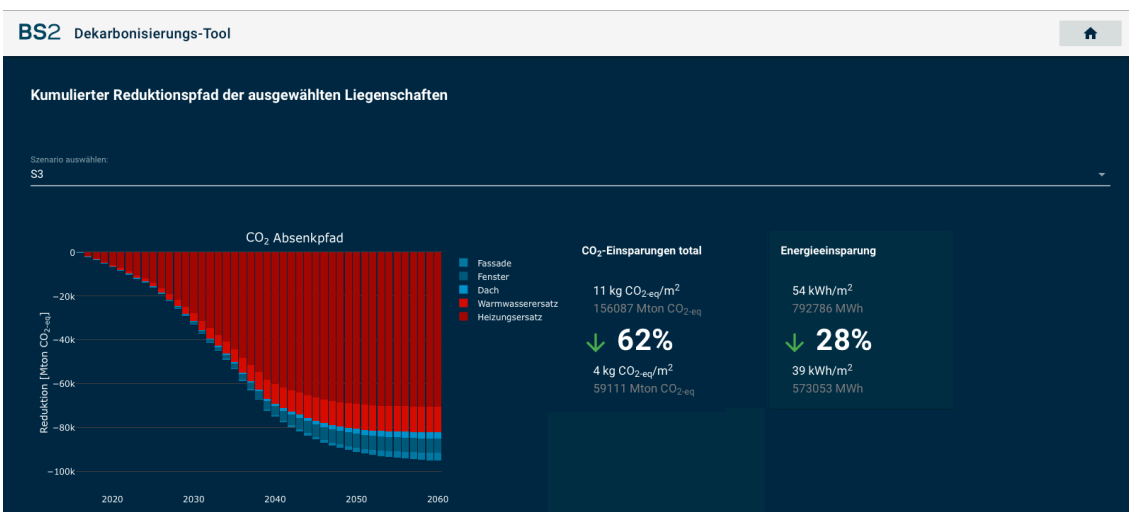


Abbildung 10: Aggregierter Absenkpfad, Szenario 3 – geringe CO<sub>2</sub>-Intensität



Abbildung 11: Absenkpfad nur Effizienzmassnahmen, Szenario 1 – energieeffizient

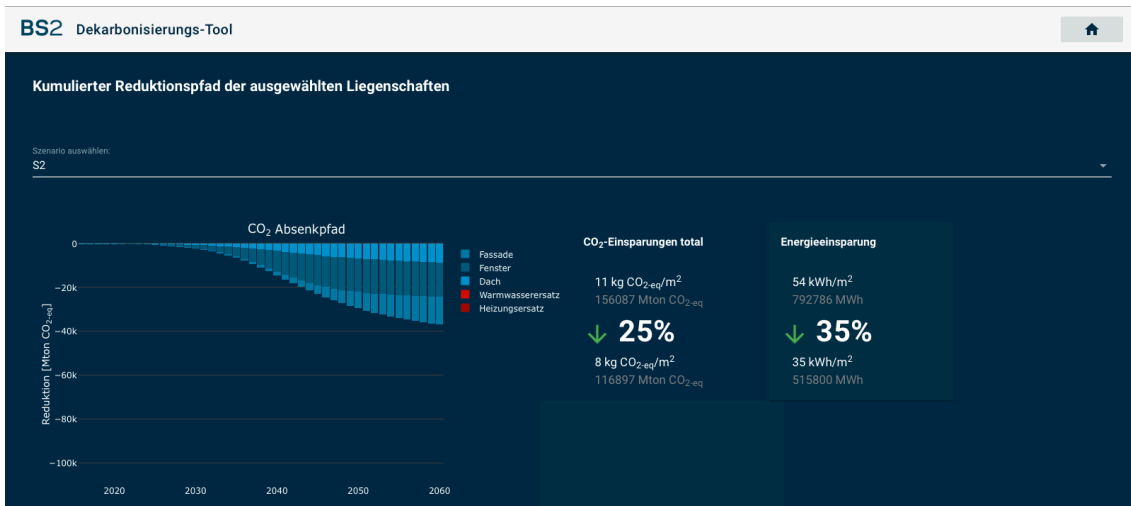


Abbildung 12: Absenkpfad nur Effizienzmassnahmen, Szenario 2 – ausgewogen

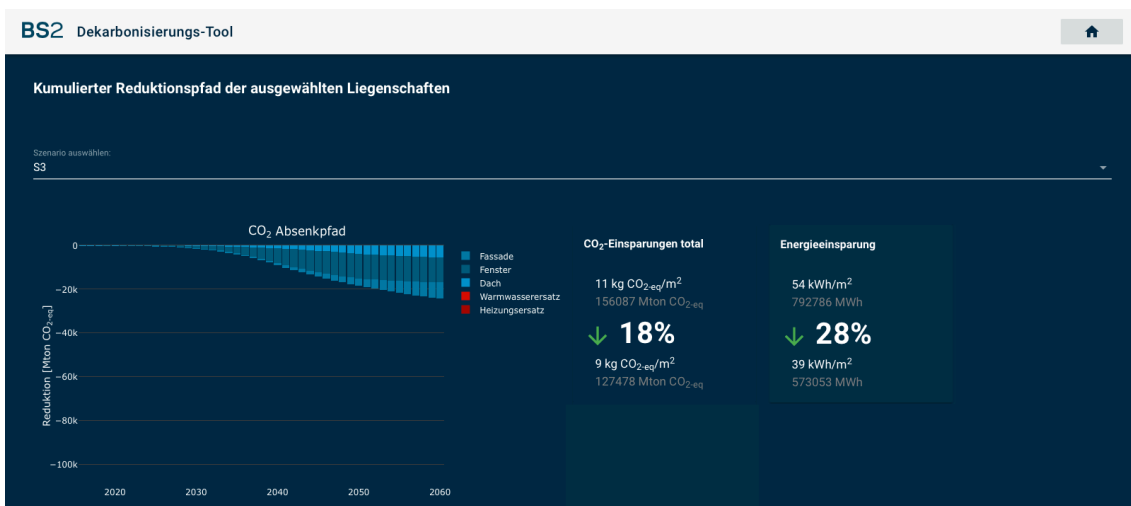


Abbildung 13: Absenkpfad nur Effizienzmassnahmen, Szenario 3 – geringe CO<sub>2</sub>-Intensität

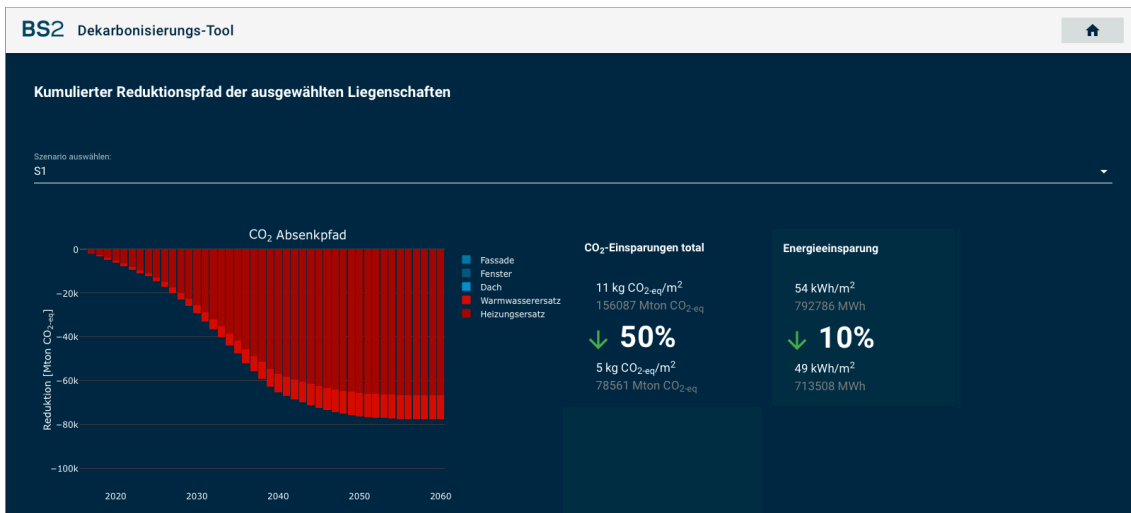


Abbildung 14: Absenkpfad nur Wärmeerzeugersersatz, Szenario 3 – energieeffizient

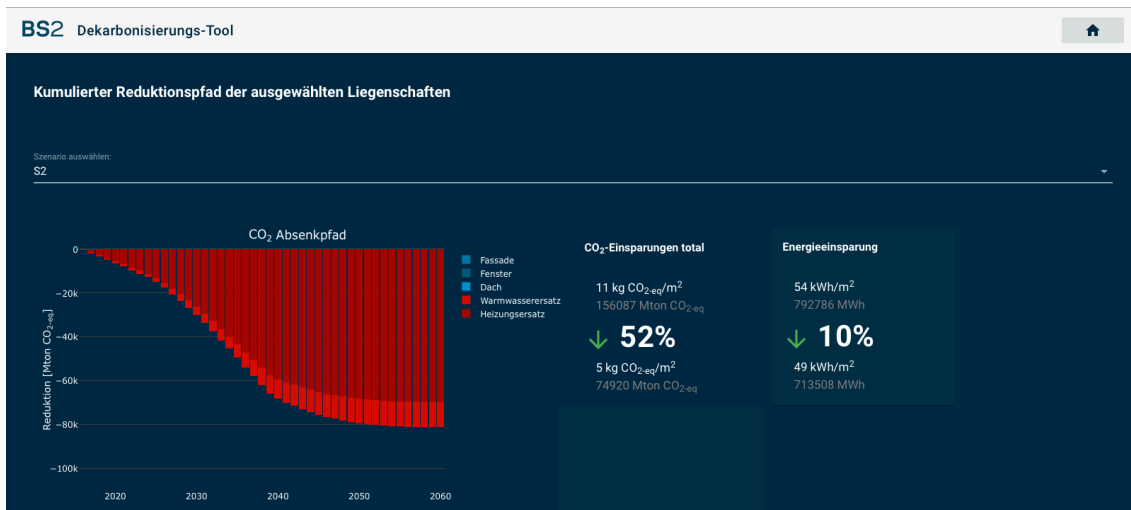


Abbildung 15: Absenkpfad nur Wärmeerzeugersersatz, Szenario 3 – ausgewogen



Abbildung 16: Absenkpfad nur Wärmeerzeugersersatz, Szenario 3 – geringe CO<sub>2</sub>-Intensität

Nachstehende *Tabelle 9* fasst die Ergebnisse der stochastischen Modellierung zusammen. Es zeigt sich, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen bestehender Bauten bis zum Jahr 2060 um 60-70% reduziert werden. Diese Reduktion wird 2050 schon fast erreicht. Nach dem Jahr 2050 tragen nur noch Dämmmassnahmen zu einer geringfügigen weiteren Reduktion bei. Das Szenario 1 schneidet beim CO<sub>2</sub>-Ausstoss etwas besser ab als die beiden anderen Szenarien. Szenario 1 hat den Vorteil, dass der Energieverbrauch mit -33% deutlich tiefer liegt als in Szenario zwei (-25%) und drei (-18%).

	<b>Szenario 1 energieeffizient</b>		<b>Szenario 2 ausgewogen</b>		<b>Szenario 3 geringe CO<sub>2</sub>-Int.</b>	
	CO <sub>2</sub> -Intens.	Energieverbr.	CO <sub>2</sub> -Intens.	Energieverbr.	CO <sub>2</sub> -Intens.	Energieverbr.
Aggregiert	-65%	-43%	-63%	-35%	-62%	-28%
Effizienzmassnahmen <sup>1</sup>	-22%	-33%	-15%	-25%	-8%	-18%
Heizungersatz <sup>1</sup>	-40%		-42%		-44%	
Effizienzsteigerung Heizung	-10%	-10%	-10%	-10%	-10%	-10%

1 Effizienzsteigerung Heizung in Abzug gebracht (Daten s. Abbildungen 8-16)

*Tabelle 9:* Zusammenfassung Ergebnisse stochastische Modellierung

Mit Effizienzmassnahmen alleine wäre der CO<sub>2</sub>-Ausstoss in Szenario 1 rund doppelt so hoch wie in Kombination mit dem Wärmeerzeugersersatz, 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 strenge Anforderungen erfüllen müssen. Über den Zeitraum von 30 Jahren tragen diese Faktoren zu einer weiteren CO<sub>2</sub>-Reduktion bei.

Das Ziel, bis 2050 die CO<sub>2</sub>-Belastung auf netto eine Tonne pro Person, bzw. den Ausstoss gegenüber dem Jahr 2010 um 80% 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<sup>29</sup>.

Von handels- und sicherheitspolitischem Interesse ist die mittelfristige Veränderung der Gas- und Erdölimporte. Die Auslandabhängigkeit durch Kauf fossiler Brennstoffe wird innerhalb der nächsten 30 Jahre um 60-70 % abnehmen mit entsprechender Verringerung des Handelsdefizits.

<sup>29</sup> Im Zeitraum zwischen der Benchmark 2010 und dem Beginn der Zeitreihe 2016 ist gemäss Energiestatistik des Statistischen Amtes (2018) der Ölverbrauch jährlich um 10-12% gesunken.

## 6 Schlussbetrachtung

### 6.1 Fazit

Der geförderte hundertprozentige Wärmeerzeugerersatz, so wie in Basel-Stadt gesetzlich verankert, ist ein wirkungsvolles Instrument, die CO<sub>2</sub>-Emissionen von Altbauten innerhalb nützlicher Frist zu senken.

Ohne diese Massnahme können die Klimaziele des Kantons Basel-Stadt und die übergeordneten 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<sub>2</sub>-Intensität und Energieverbrauch gelingt in der Modellierung auf Grund eines Henne-Ei-Problems nicht gänzlich: Erfolgt eine Sanierungsmassnahme vor dem Wärmeerzeugerersatz, so bemisst sich die Wirkung des Wärmeerzeugerersatzes auf tieferem Effizienzniveau, jene der Sanierung auf höherem CO<sub>2</sub>-Intensitätsniveau. Eine umgekehrte Reihenfolge verzerrt die Wirkung gegenläufig. Diese methodische Schwierigkeit könnte mit dem Log Mean Divisa Index (LMDI Approach) überwunden werden (Ang, 2005).

Die beiden Treiber CO<sub>2</sub>-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<sup>30</sup> und zu einer Senkung der CO<sub>2</sub>-Intensität 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.

---

<sup>30</sup> 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 ökonomischen 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) prognostiziert werden.

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).

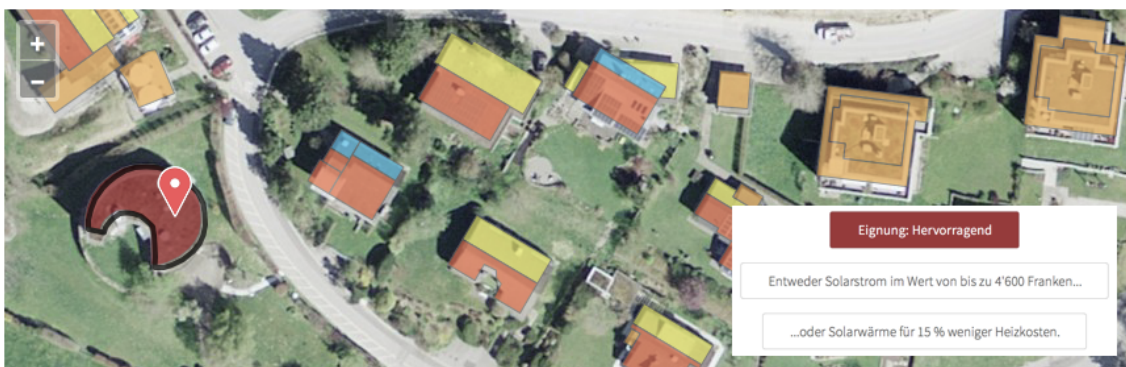


Abbildung 17: Auszug nationaler Solarkataster ([www.uvek-gis.admin.ch/BFE/sonnendach](http://www.uvek-gis.admin.ch/BFE/sonnendach))

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.

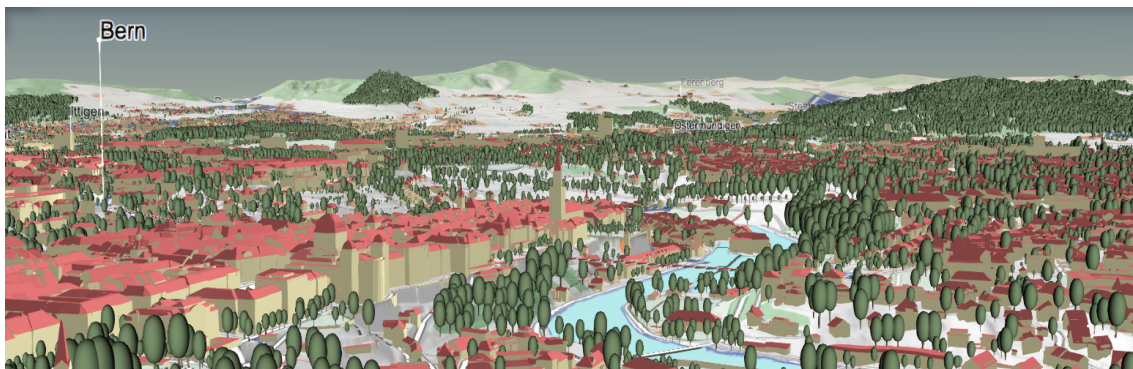


Abbildung 18: Dreidimensionales Gebäudemodell (www.map.geo.admin.ch)

Es ist nicht abwegig, unter Berücksichtigung solarer Einträge aus der Exposition, Klimanormwerten, 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<sup>31</sup>. 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 Wärmeverbänden Möglichkeiten, tägliche und saisonale Lasten und örtlich produzierte Energie mit geeigneten kurz- und langfristigen Speichern auszugleichen.

### **Verbinden verschiedener Ziele**

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

---

<sup>31</sup> 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 Innenentwicklung, 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 Ausnutzungsziffern belohnen<sup>32</sup>.

---

<sup>32</sup> 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](http://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](http://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](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 CO<sub>2</sub>-Emissionen im Gebäudebereich auf Basis des Gebäude- und Wohnungsregisters (GWR)*. Bern.
- Energie 360°. (2019). MuKE n 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/](http://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](http://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). MuKE n. Abgerufen von <https://www.hev-schweiz.ch/politik/energie-umwelt/muken/>
- INFRAS. (2013). *Wirkung kantonalen 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 CO<sub>2</sub>Vermeidungskosten*. 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. Ecart de performance, bonnes pratiques et enseignements tirés*. Bern.
- Mavromatidis, G., Orehounig, K., Richner, P., & Carmeliet, J. (2016). A strategy for reducing CO<sub>2</sub> 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 zurückgezogen. *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](http://www.admin.ch/content/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-72321.html)

TEP Energy. (2011). *Energetische Gebäudeerneuerungen. Wirtschaftlichkeit und CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten* (M. Jakob, Ed.). Zürich.

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

Umwelt und Energie UWE Luzern. (2013). *Gebäude-Heizenergiebedarf. Methodik zur Schätzung des Heizenergiebedarfs 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<sub>2</sub>-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 entstehen. 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<sub>2</sub>-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<sub>2</sub>-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 Effizienzvorschriften 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 Fördermassnahmen.

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 Kehrrechtverwertungs- 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<sub>2</sub>

1 Zwischenziele für die Zunahme der erneuerbaren Energien und die Abnahme der CO<sub>2</sub>-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<sub>2</sub> / 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
<b>Hauptformeln</b>	
EV Gebäude	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>EV_{H+WW} = EBF \times EKZ_H / \text{Wirkungsgrad Feuerung} + EV_{WW} \rightarrow</math> jeweils pro ET und Bauperiode (GBAUP)</li> <li>▪ <math>EV_{WW} = \text{Anzahl Personen} \times 850 \text{ kWh/Person}</math> (ET analog <math>EV_{H+WW}</math>)</li> <li>▪ <math>CO_2\text{-Wärme} = EV_{H+WW} \times CO_2\text{-Faktor pro Energieträger}</math></li> </ul>
<b>Energiebezugsfläche (EBF)</b>	
Ansatz «Gebäudefläche»	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>EBF = \text{Gebäudefläche (GAREA)} \times \text{Anzahl Geschosse (GASTW)}</math> <sup>(1)</sup></li> </ul>
<b>Energiekennzahl (EKZ)</b>	
Ansatz «realer Absatz»	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Basis = effektive Fernwärme-, Gas- und Stromverbräuche pro Gebäude (EGID) und Gebäudekategorie (GKAT) für Basel-Stadt</li> <li>▪ <math>EKZ_H = (\text{Fernwärme-/Gasverbrauch pro Gebäude (EGID)} \times \text{Wirkungsgrad} + \text{Solarthermie (falls vorhanden)}) - EV_{WW} / EBF</math>  <math>\rightarrow</math> jeweils pro Bauperiode (GBAUP)</li> <li>▪ Die <math>EKZ_H</math> wird für alle Gebäude derselben Gebäudekategorie (GKAT) und Bauperiode (GBAUP) verwendet.</li> </ul>
<b>Energieträgermix (ET-Mix)</b>	
Ansatz «Feko»	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>ET\text{-Mix}_{H+WW} = \text{Daten Feuerungskontrolle (Feko)}</math> sowie spezifische Datenbanken zu Wärmepumpen und Solarthermie</li> </ul>
Fehlende Angaben	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Zuordnung ET der umliegenden Liegenschaften (manuell)</li> </ul>
$H = \text{Heizen}, WW = \text{Warmwasser}, EV = \text{Energieverbrauch (MJ/a)} / EBF = \text{Energiebezugsfläche (m}^2) / EKZ = \text{Energiekennzahl (MJ/(m}^2\text{a))} / ET = \text{Energieträger}$	
(1) Ausnahme bilden Landwirtschaftsgebäude: $EBF = \text{Wohnfläche (WAREA)}$	

## 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 <sub>Galt</sub>		Bias	EnG <sub>neu</sub>
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		✓	(✓)	✓		
Verbräuche 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 <sub>Galt</sub>		Bias	EnG <sub>neu</sub>
Förderung Isolation	Fenster, Dach, Aussenwand, Kellerdecke, etc	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Förderung Neubau	Hocheffiziente Neubauten	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Förderung Wärme / Kraft	Heizungersatz, 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 <sub>Galt</sub>		Bias	EnG <sub>neu</sub>
Brennstoff		(✓)	(✓)	(✓)	(✓)	(✓)	✓
Leistung		(✓)	(✓)	(✓)	(✓)	(✓)	✓
Baujahr Kessel		(✓)	(✓)	(✓)	(✓)	(✓)	✓
Baujahr Feuerung		(✓)	(✓)	(✓)	(✓)	(✓)	✓
Lebenserwartung Kessel & Feuerung	Lebensdauer Öl- und Gasfeuerung						✓
Heizungersatz	Rekonstruktion		✓	✓	✓		✓
Amt für Umwelt und Energie AUE	N = 815				2016	2017	2018...
Register der Photovoltaikanlagen	anlagescharf, mit Adressen referenziert			EnG <sub>Galt</sub>		Bias	EnG <sub>neu</sub>
Fläche							
Leistung	ermittelt aus Fläche *120 kWh/m <sup>2</sup> a						✓
Jahr der Inbetriebsetzung							✓

## Grenzwerte für Neu- und Erweiterungsbauten nach altem und neuem Energiegesetz

Grenzwerte	gegen Ausstnklima oder $\leq 2$ m im Erdreich		gegen unbeheizte Räume oder $> 2$ m im Erdreich	
	$U_{ii}$ [W/m <sup>2</sup> K]	$U_{ii}$ [W/m <sup>2</sup> K]	$U_{ii}$ [W/m <sup>2</sup> K]	$U_{ii}$ [W/m <sup>2</sup> K]
	altes EnG	neues EnG	altes EnG	neues EnG
Neubauten				
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 <sub>2e</sub> /kWh]	EF BS 2016 [gCO <sub>2e</sub> /kWh]	EF BS 2020... [gCO <sub>2e</sub> /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 <sup>1</sup>	100%	100%		94	76	25%
Fernwärme KVA-Netz	43%	48%	89			
Heizkraftwerk Holz	13%	27%	42			
Klärschlamm	3%	4%	6			
Heizkraftwerk Geothermie <sup>2</sup>	2%	4%	15			
Strom Basel <sup>1</sup>	100%	100%		15	15	5%
Strom Wasserkraft	95%	95%	12			
Sonnenenergie	0%	2%	91			
Strom BHKW	5%	3%	64			
Wärmepumpe Basel <sup>3</sup>				5	5	2%
Stückholz			28	27	27	9%
Holzschnitzel			11			0%
Pellets			27			0%
Solarthermie <sup>4</sup>			8	0	0	0%
Photovoltaik <sup>4</sup>			21	0	0	0%

<sup>1</sup> Quelle Nachhaltigkeitskennzahlen IWB; Annahmen 2020 für Erdgasanteil von 20% gemäss EnG

<sup>2</sup> Höchstwert Leistung Geothermie Erdwärme Riehen: 23.3 GWh; Ausbau in Planung

<sup>3</sup> Annahme mittlere JAZ 3.0

<sup>4</sup> Graue Energie von Gebäude und Anlagen nicht berücksichtigt

## Zeitliche Abgrenzung der Untersuchungsgruppe

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Monat	11-12	1-12	1 2-5 6-12	1-12	1-9 10 11-12	1-12	1-5 6-12
Dauer		14	1 ≤ 3	29	≤ 1 2	17	
		● Anz. Bew. <sup>1</sup>	A <sup>2</sup> Ausführung der gef. Massnahme		Fertigst.	● Anz. Bew.	
		↓				↓	
		Ausschluss				Ausschluss	
		● Verbrauch				● Verbrauch	
			Untersuchungsgruppe <sup>3</sup>				
		● Verbrauch		Referenzgruppe		● Verbrauch	
<p><sup>1</sup> Bauten mit tiefer Belegung im 2012 oder 2016 sind ausgeschlossen (Annahme: Leerstand).  <sup>2</sup> Typischer Bauverlauf mit Abbruch, Vorbereitungsarbeiten, Ausführung, Fertigstellung.  <sup>3</sup> Filterung nach Datum der Subventionszahlung, i.d.R. 1-3 Monate nach Ausführung der Massnahme.</p>							

## Sequentielle Zuordnung der Gebäudegruppen und Stichproben nach Merkmalen

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

<sup>1</sup> Das Fehlen einer EGID wird als Abbruch interpretiert.

<sup>2</sup> Gemessen am Datum der Subventionszahlung.

<sup>3</sup> Zentralheizung für mehrere Gebäude können nicht abgegrenzt werden.

<sup>4</sup> Heizkoeffizient der Energiestatistik Basel-Stadt. Der Verbrauch kann negativ sein (PV-Anlagen).



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

	Solarkataster adjustiert <sup>1</sup>		Sonnendach adjustiert <sup>1</sup>	
	[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<sup>2</sup>

ST-Potenzial (ganzjährig) > 800 kWh; zusammenhängend > 5 m<sup>2</sup>

Anrechnung Sonnendach, Bundesamt für Energie: Dächer und Fassaden

geeignete Dächer im Verhältnis zum Wärmebedarf mit ST bestückt; Restfläche mit PV bestückt

<sup>1</sup> 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_VERBRAEUCHE_2012_2016	xlsx