

Strasser Christoph, Sturmlechner Rita, Schwarz
Markus

CO₂-Einsparungskosten

Analyse der Sektoren Mobilität und
Wärmebereitstellung

Datum 29. März 2019

Nummer 894 TR C41028016

Projektleitung Christoph Strasser
christoph.strasser@best-research.eu

Mitarbeit Rita Sturmlechner
rita.sturmlechner@best-research.eu

Markus Schwarz
markus.schwarz@best-research.eu

Projektnummer C41028016

Projektlaufzeit 01. Juni 2018 - 30. November 2018

BEST-Bioenergy and Sustainable Technologies GmbH

Wieselburg

Gewerbepark Haag 3
A 3250 Wieselburg
T +43 (0) 5 02378-9201
office@best-research.eu
www.best-research.eu

Firmensitz Graz

Inffeldgasse 21b, A 8010 Graz
FN 232244k
Landesgericht für ZRS Graz
UID-Nr. ATU 56877044



Bericht

Inhalt

1	Einleitung	4
2	Mobilität	5
2.1	Herangehensweise	5
2.1.1	Berechnung der CO _{2e} -Einsparungskosten	5
2.1.2	Wichtigsten Annahmen im Überblick	6
2.2	Ergebnisse	8
2.2.1	PKW	8
2.2.2	Bus und LKW	10
3	Wärmebereitstellung	13
3.1	Herangehensweise	13
3.1.1	Berechnung der Kosten und CO _{2e} Einsparungen	13
3.1.2	Berücksichtigte Varianten	14
3.1.3	Großanlagen	16
3.2	Ergebnisse	17
3.2.1	Endenergiebedarf	17
3.2.2	Veränderung Vollkosten und CO _{2e} -Emissionen	18
3.2.3	CO _{2e} -Einsparungskosten	21
3.2.4	Investitionskosten und Betriebskostenänderung	22
3.2.5	Großanlagen	25
4	Conclusio	28
4.1	Mobilität	29
4.2	Raumwärme	30
5	Annahmen und Quellen	32
5.1	Mobilität	32
5.1.1	PKW (Golf VII)	32
5.1.2	LKW	35
5.1.3	Bus	37
5.2	Wärmebereitstellung	39
5.2.1	Emissionsfaktoren	39
5.2.2	Referenzen	40
6	Tabellen- und Abbildungsverzeichnis	42
6.1	Tabellenverzeichnis	42
6.2	Abbildungsverzeichnis	42

1 Einleitung

Österreichs Klimastrategie ist wichtig um die europaweiten Ziele zum Klimaschutz erreichen zu können. Als Entscheidungsgrundlage für die derzeitig laufende Strategieentwicklung, sollen Studien zu CO_{2e}-Einsparungskosten erstellt werden.

Dieser Bericht bietet eine Erhebung der CO_{2e}-Einsparungskosten außerhalb des ETS-Handels für den Bereich der Mobilität, sowie der Wärmebereitstellung im häuslichen Sektor sowie Fern- und Nahwärme. Verschiedene Maßnahmen in Bezug auf Umstellung von fossilen zu nachwachsenden Kraftstoffen wurden erhoben. Dabei wurden auf Basis praxisrelevanter Annahmen und Referenzen Berechnungen zu den CO₂-Einsparungspotentialen sowie zu Mehrkosten im Vergleich zu den Ausgangsszenarien durchgeführt. Die Ergebnisse, sowie die getroffenen Annahmen und Quellen sind in den folgenden Kapiteln dargestellt.

2 Mobilität

2.1 Herangehensweise

Im Bereich der Mobilität wurde zwischen verschiedenen Fahrzeugtypen (PKW, Bus und LKW) unterschieden. Für diese wurden in weiterer Folge unterschiedliche Kraftstoffvarianten bezüglich ihres CO_{2e}-Ausstoßes und ihrer Kosten verglichen und in Relation zu Referenzszenarien (Diesel- bzw. Benzinfahrzeug) gestellt.

Tabelle 2-1: Übersicht der verschiedenen berechneten Kraftstoffszenarien und ihre Referenz

Fahrzeugtyp	Alternativer Kraftstoff	Referenz
PKW (Golf VII; 110kW)	Elektromobilität (Ökostrom)	Diesel / Benzin
	Elektromobilität (Österreichmix)	Diesel / Benzin
	Elektromobilität (Kohlestrom)	Diesel / Benzin
	Superethanol (E85)	Benzin
	Ethanolbeimischung 10% (E10)	Benzin
	Fischer-Tropsch (FT) Diesel	Diesel
	Biodieselbeimischung 10% (B10)	Diesel
Bus bzw. LKW	Biomethan	Diesel / Benzin
	Reiner Biodiesel	Diesel
	Fischer-Tropsch (FT) Diesel	Diesel
	Biomethan	Diesel

2.1.1 Berechnung der CO_{2e}-Einsparungskosten

Für die Berechnung der CO_{2e} (CO₂-Äquivalent)-Einsparungskosten wurden einerseits die Mehrkosten und andererseits die CO_{2e}-Einsparung durch die Nutzung des jeweiligen alternativen Kraftstoffes in Betracht gezogen. Zur Ermittlung dieser beiden Parameter wurden einige Annahmen (Kapitel 5.1) getroffen.

Für die Kostenerhebung wurden Anschaffungspreis, laufende Kosten, sowie Kraftstoffkosten berücksichtigt. Aus diesen Parametern ergab sich ein durchschnittlicher Preis je Fahrkilometer. Um auf die Kosten pro Jahr zu gelangen, wurde dieser Preis mit einer angenommenen Jahres-km-Laufleistung multipliziert. Die Mehrkosten vom Einsatz der alternativen Kraftstoffe wurde über die Differenz zur Referenz (Formel (1)) berechnet.

Die CO_{2e}-Emissionen beschreiben nicht ausschließlich CO₂-Emissionen, sondern berücksichtigen auch andere Treibhausgase (z.B. Methan), welche nach ihrem Global Warming Potential (GWP, verglichen mit CO₂) bewertet werden. Die CO_{2e}-Emissionen dieser Studie basieren auf Quellen (Kapitel 5.1), die auf einem so genannten „Well-to-Wheel (WTW)“ Ansatz beruhen. Dabei sind nicht nur die direkten Emissionen, sondern auch die Emissionen, welche

bei der Erzeugung des Kraftstoffes entstehen, mitberücksichtigt. So zum Beispiel sind die CO_{2e}-Emissionen von Elektromobilität mit Ökostrom nicht gleich 0, sondern 21 g_{CO2e}/km.

Aus den oben beschriebenen Mehrkosten und der absoluten CO_{2e}-Einsparung ergeben sich nach folgender Berechnung die CO_{2e}-Einsparungskosten:

$$Mehrkosten = Kosten_{alternativ} - Kosten_{Referenz} \quad \left(\text{in } \frac{\text{€}}{a} \right) \quad \text{Formel (1)}$$

$$CO_{2e}Einsparung = CO_{2e,Referenz} - CO_{2e,alternativ} \quad \left(\text{in } \frac{t_{CO_{2e}}}{a} \right) \quad \text{Formel (2)}$$

$$CO_{2e}Einsparungskosten = \frac{Mehrkosten}{CO_{2e}Einsparung} \quad \left(\text{in } \frac{\text{€}}{t_{CO_{2e}}} \right) \quad \text{Formel (3)}$$

2.1.2 Wichtigsten Annahmen im Überblick

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die wichtigsten Annahmen, welche als Basis für die Berechnungen getroffen wurden. Die dazu gehörigen Quellen sind in Kapitel 5.1 beschrieben.

Tabelle 2-2: Investitionskosten, laufenden Kosten, Kraftstoffpreise und CO_{2e}- Emissionsfaktoren für die betrachteten Kraftfahrzeuge (PKW, Bus, LKW), Quellen siehe Kapitel 5

PKW	Investitionskosten (Anzahlung und Restwert nach 5 Jahren)	Laufende Kosten (Kraftstoffkosten, Leasing, Steuer, Wartung,...; in €/5 Jahre)	Kraftstoffpreis (in €/l bzw. €/kWh bzw. €/kg)	CO _{2e} - Emissionsfaktor (in g/km)
Benzin (Referenz)	21.134	39.220	1,1736	202,2
Diesel (Referenz)	22.327	38.973	1,1024	192,5
Ökostrom	24.222	38.143	0,1978	21,5
Österreichmix	24.222	38.143	0,1978	43,45
Kohlestrom	24.222	38.143	0,1978	161,3
E85	21.434	40.613	1,069	101,1
E10	21.134	39.199	1,170	198,3
FT	22.627	38.973	1,1024*	25,8
B10	22.327	38.996	1,107	188,7
Biomethan	23.158	35.840	0,96	36,4

Bus	Investitionskosten (Anschaffungskosten)	Laufende Kosten (Kraftstoffkosten, Steuer, Wartung,...; in €/10 Jahre)	Kraftstoffpreis (in €/l bzw. €/kg)	CO_{2e} - Emissionsfaktor (in g/km)
Diesel (Referenz)	215.000	547.528	1,1024	1324
Biodiesel	218.000	660.876	0,75*	900
FT-Diesel	215.300	518.684	1,1024**	91,5
Biomethan	265.000	468.729	0,96	350
LKW	Investitionskosten (Anschaffungskosten)	Laufende Kosten (Kraftstoffkosten, Steuer, Wartung,...; in €/10 Jahre)	Kraftstoffpreis (in €/l bzw. €/kg)	CO_{2e} - Emissionsfaktor (in g/km)
Diesel (Referenz)	100.000	499.874	1,1024	790
Biodiesel	103.000	600.401	0,75*	460
FT-Diesel	100.300	474.418	1,1024**	60
Biomethan	142.500	494.606	0,96	185

* bei Biodiesel handelt es hier um Business-to-Business (B2B)-Preise, welche für Frächter und Flottenbetreiber erhältlich sind

** für FT-Diesel wird der gleiche Preis wie für fossilen Diesel angenommen

Die Kostenvergleiche wurden auf einer durchschnittlichen Jahreslaufleistung von 15.000 km (PKW), 100.000 km (LKW) und 80.000 km (Bus) im Jahr durchgeführt und basieren auf aktuell verfügbaren Endkundenpreisen und beinhalten auch keine möglichen zukünftigen Preissteigerungen (Steueränderungen, Teuerungen, etc.). Die Investitionskosten beziehen sich auf den aktuellen Mittelklassewagen VW Golf VII (PKW) sowie einem Single-Unit-Truck (LKW) und einem der aktuellen Technologie entsprechenden (EEV SCRT) Bus (siehe Kapitel 5.1). Die Kraftstoffkosten für FT-Diesel (PKW und LKW/Bus) sind für die Berechnungen ident zu den Biodieselskosten angesetzt worden. Biogener FT-Diesel wird derzeit nur im Pilotmaßstab produziert und zu den Kosten gibt es bisher nur wenig Literatur. Eine Studie der TU Wien kommt zu einem Kraftstoffpreis, welcher etwas unter den aktuellen Dieselpreisen liegt (siehe Kapitel 5.1). Der Vorteil von FT-Diesel ist die hohe Qualität des Treibstoffes, wodurch keine motorischen Änderungen oder häufigere Wartungsintervalle am Fahrzeug zu erwarten sind. Eventuell ist die Anwendung eines Softwareupdates nötig, um den Diesel ideal zu verbrennen. Die Kraftstoffkosten für Biodiesel entsprechen Business-to-Business (B2B)-Preise, welche für Frächter und Flottenbetreiber erhältlich sind. Für Biomethan wurde ein eigener Preis angenommen da dieses bei einigen Biogasanlagen verfügbar ist. Bei einer Verteilung über das Erdgasnetz bzw. bei Vermarktung über ein breites Tankstellennetz werden wie auch bei fossilem Diesel zusätzliche Kosten anfallen, welche aber in dieser Berechnung nicht berücksichtigt wurden.

2.2 Ergebnisse

2.2.1 PKW

Abbildung 2-1 zeigt die CO_{2e}-Einsparungen gegenüber den Mehrkosten des jeweiligen alternativen Kraftstoffes. Die höchsten CO_{2e}-Einsparungen konnten bei der Elektromobilität (Ökostrom) verzeichnet werden. Auch die Elektromobilität (Österreichmix) birgt großes Potential, da in Österreich bereits ein hoher Anteil des Stromes aus erneuerbarer Energie gewonnen wird. Kohlestrom ist das Worst-Case-Szenario für Elektromobilität. Diese Umstellung im Mobilitätsbereich bringt nur geringe CO_{2e}-Einsparung, aufgrund der hohen CO₂-Emissionen, welche bei der Stromerzeugung entstehen.

Biomethan scheint ebenfalls mit sehr hohen CO_{2e}-Einsparungen und negativen Mehrkosten auf. Dabei liegt der Grund vor allem in den geringen Kraftstoffpreisen des Biomethans. Man muss allerdings beachten, dass Biomethan derzeit nur an Tankstellen, welche direkt an Biogasanlagen angeschlossen sind, zu erhalten ist. Würde es zu einem Ausbau des Tankstellennetzes kommen, würden sich die Transportwege verlängern und der Preis erhöhen. Außerdem ist die Flotte an Fahrzeugen, welche mit Gas betrieben werden kann noch gering. Alternativ könnte die Verteilung auch über das Erdgasnetz mit entsprechenden Herkunftsnachweisen erfolgen. Fischer Tropsch Diesel erzielt neben Biomethan eine sehr hohe CO₂-Einsparung, allerdings bei etwas mehr Kostenaufwand, aufgrund des im Vergleich zur Referenz (fossiler Diesel) angenommenen nötigen Softwareupdates.

Die im Einzelfall geringsten CO_{2e}-Einsparungen, aber auch Mehrkosten (absoluter Unterschied) bezogen auf die Referenz, ergab sich für B10 und E10. Dies war zu erwarten, da aktuell bereits eine Zumischung von 7% Biodiesel zu fossilem Diesel bzw. 5% Ethanol zu Benzin ohne Kennzeichnung erlaubt und etabliert ist.

E-PKW Varianten schneiden in der CO_{2e}-Einsparung in den Varianten Österreichstrommix und Ökostrom ähnlich ab wie die Biotreibstoffvarianten von Fischer Tropsch Diesel, sowie Biomethan. Die Variante Kohlestrom schneidet aber deutlich schlechter ab. Für den Strompreis wurde ein durchschnittlicher Wert aus dem 2. Halbjahr 2017 berechnet (siehe Kapitel 5.1). Der Ersatz von Benzinfahrzeugen durch Elektromobilität kommt generell teurer als jener von Dieselfahrzeugen, aufgrund der höheren Anschaffungskosten. Der Ersatz von Benzin- und Dieselfahrzeugen durch Biotreibstoffe ist etwas günstiger als der jeweilige Ersatz mit Elektrofahrzeugen. In der Praxis mit unterschiedlichen Modellvarianten und Jahreslaufleistungen sind hier jedoch auch andere Ergebnisse möglich.

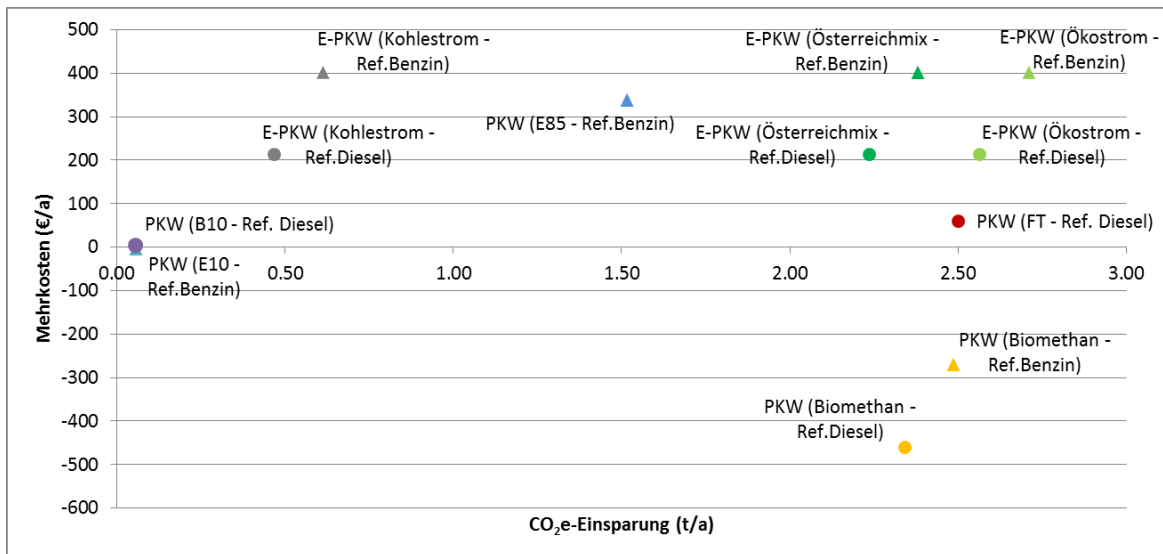


Abbildung 2-1: Mehrkosten gegenüber den CO_{2e}-Einsparungen, im Bereich PKW (Mobilität), Referenzpreise für Diesel und Benzin als Mittelwert der 2. Halbjahres 2017

In Abbildung 2-2 sind die CO_{2e}-Einsparungskosten (Balkenhöhe) entsprechend der Formel 3 der absoluten CO_{2e}-Einsparung (Balkenbreite) gegenübergestellt.

Auffallend sind vor allem die Balken 11 und 12, welche Elektromobilität mit Kohlestrom beschreiben. Hier kann man erkennen, dass diese Maßnahme das geringste Potential hat, da sie wenig CO_{2e} einspart (schmale Balken) und hohe Kosten verursacht (hohe Balken).

Auch E85 (Balken 10) scheint nur geringes Potential zu haben im Vergleich zu den anderen Technologien. Bei einer Beimischungsrate von Ethanol auf 10 Prozent zu Benzin (E10, Balken 3) wäre eine geringe CO_{2e}-Einsparung bei geringeren Kosten möglich. Dies ist allerdings nur der Fall wenn keine zusätzlichen Kosten am Fahrzeug zu entrichten sind. Unter dieser Annahme ergibt sich bei etwas mehr Kosten und auch geringer CO_{2e}-Einsparung das Potential für eine 10 prozentige Beimischung von Biodiesel (B10, Balken 5).

Biomethan (Balken 1 und 2) weist negative CO_{2e}-Einsparungskosten auf (spart also bei aktuellen Bezugs-Kosten gegenüber der Referenz ein). Auch die CO_{2e}-Einsparung ist relativ hoch.

Fischer Tropsch Diesel (Balken 4) zeigt erneut das hohe CO_{2e}-Einsparungspotential (breiter Balken), bei geringen Kosten (niedriger Balken).

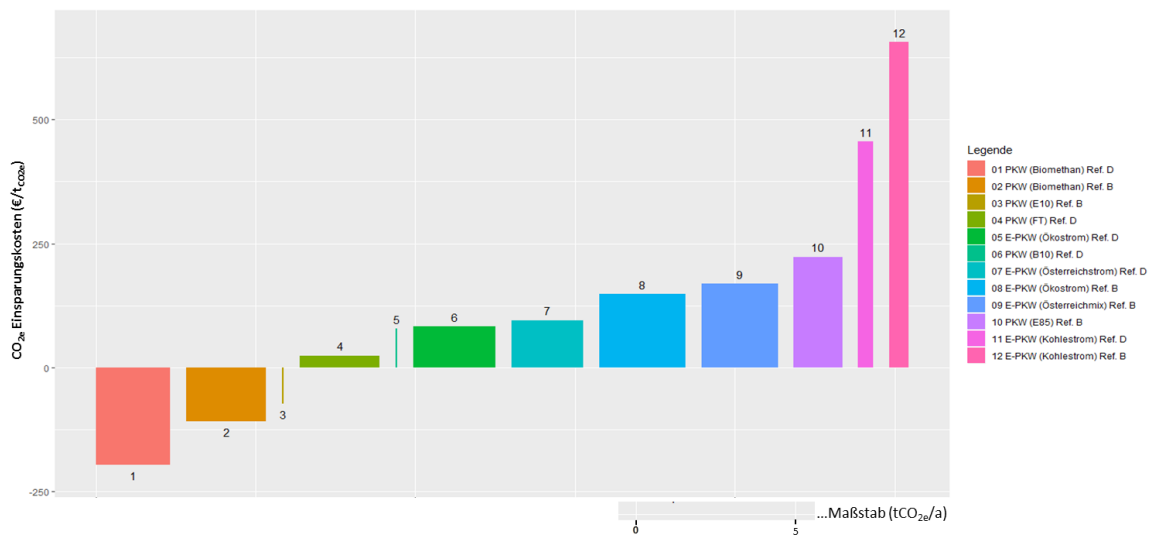


Abbildung 2-2: CO_{2e}-Einsparungskosten gegenüber der CO_{2e}-Einsparung (Balkenbreite) der unterschiedlichen Maßnahmen (bei einmaliger Umsetzung), im Bereich PKW (Mobilität)

2.2.2 Bus und LKW

Die Ergebnisse für Bus und LKW werden in diesem Kapitel zusammengefasst. Aufgrund deutlich höherer Kilometer-Laufleistungen bei Bussen bzw. LKWs, sind die Unterschiede der Mehrkosten, sowie der CO_{2e}-Einsparungen deutlich ausgeprägter.

Für Busse und LKWs zeigt die Biodiesel Variante die geringsten CO_{2e}-Einsparungen, allerdings bei deutlichen und höchsten Kosteneinsparungen. Hier muss man allerdings beachten, dass es sich bei dem Brennstoffpreis um B2B-Preise handelt. Aufgrund der hohen Laufleistung von Bussen und LKWs ergibt sich daraus die hohe Einsparung. Fischer-Tropsch-Diesel (FT-Diesel) weist ein hohes Potential bei der CO_{2e}-Einsparung auf bei weitgehend Kostenneutralität.

Biomethan weist eine Schwankungsbreite je nach Fahrzeugtyp (Bus oder LKW) auf. Dies liegt vor allem an den Investitionskosten, welche für Gasfahrzeuge deutlich höher sind bei Bussen bzw. LKWs.

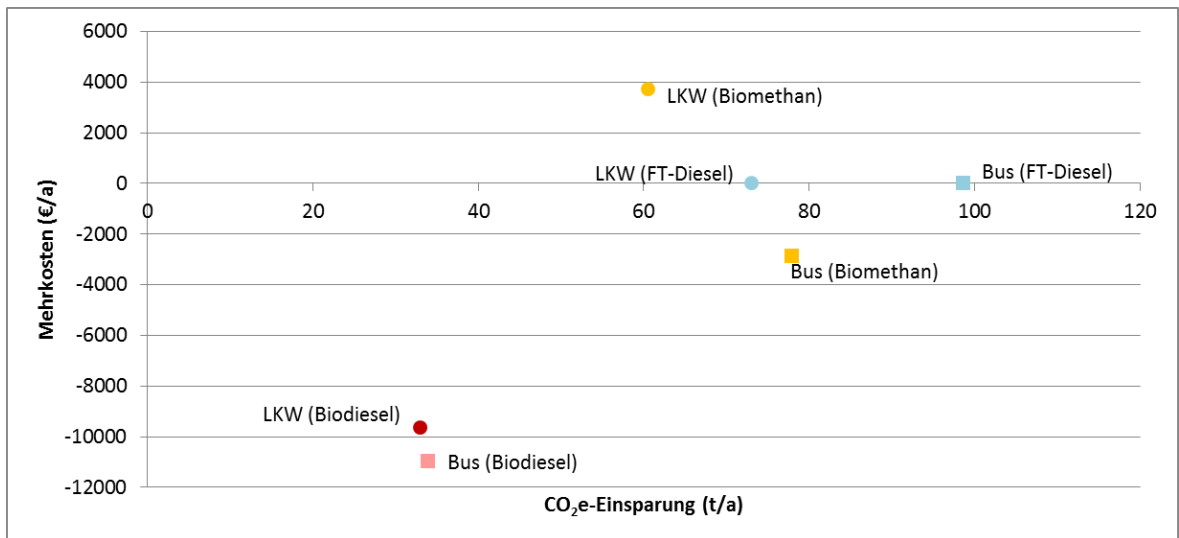


Abbildung 2-3: Mehrkosten gegenüber den CO_{2e}-Einsparungen, im Bereich Bus und LKW (Mobilität), Referenzpreise für Diesel und Benzin als Mittelwert der 2. Halbjahres 2017

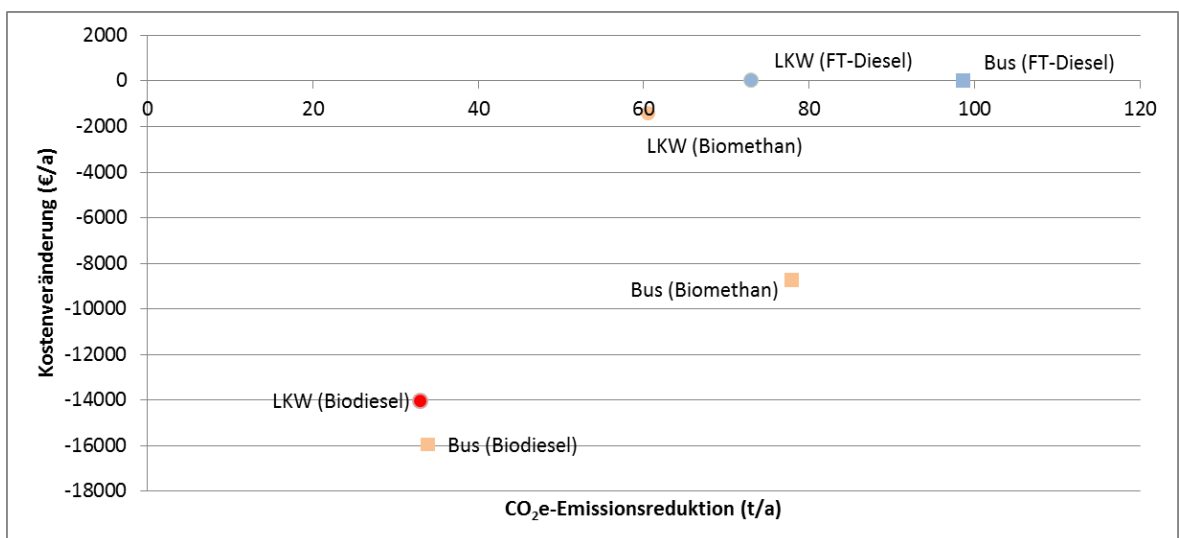


Abbildung 2-4: Mehrkosten gegenüber den CO_{2e}-Einsparungen, im Bereich Bus und LKW (Mobilität), Referenzpreise für Diesel und Benzin vom Oktober 2018

Als Variante der Kostenbetrachtung wurden alternativ für die Referenzpreise von Diesel die vergleichsweise höheren Kosten aus dem Oktober 2018 angesetzt. In der grafischen Darstellung verschiebt sich dadurch die Nulllinie nach oben, was entsprechend in Abbildung 2-4 dargestellt ist.

Für die mit Biodiesel betriebenen Bus und LKW Varianten wurden keine Mehrkosten bei den Investitionen angenommen (siehe auch Abschnitt 5.1).

Biomethan zeigt negative Einsparungskosten (Kostensparnis) und eine mittlere CO_{2e}-Einsparung. Der mit Biomethan betriebene LKW weist höhere CO_{2e}-Einsparungskosten auf. Dies liegt vor allem an den relativ gesehen höheren Investitionskosten.

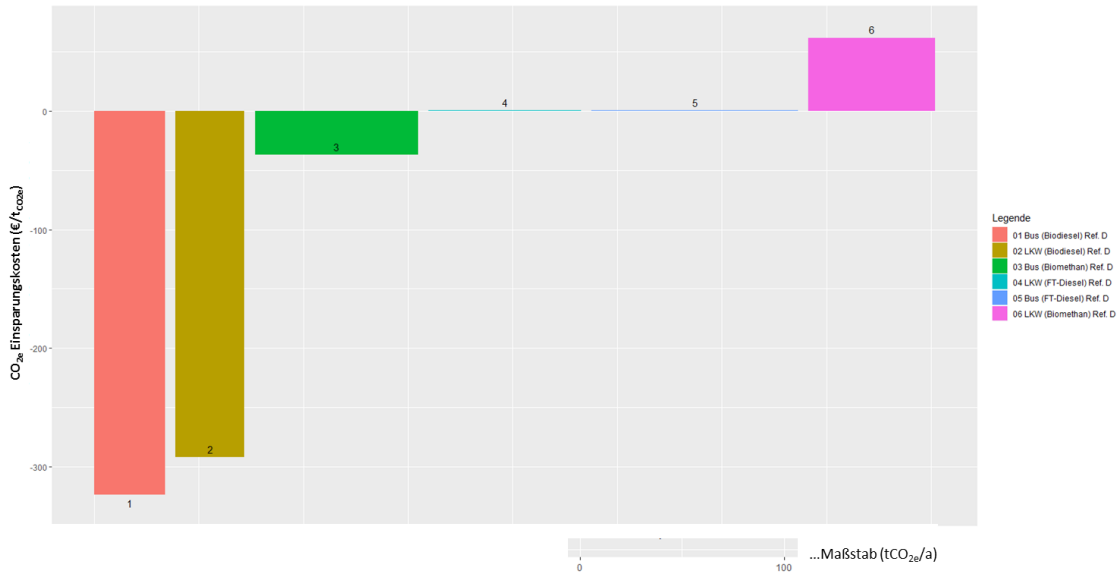


Abbildung 2-5: CO_{2e} Einsparungskosten gegenüber der CO_{2e}-Einsparung (Balkenbreite) der unterschiedlichen Maßnahmen (bei einmaliger Umsetzung), im Bereich Bus und LKW (Mobilität), Referenzpreise für Diesel und Benzin als Mittelwert der 2. Halbjahres 2017

3 Wärmebereitstellung

Der Endenergieverbrauch EEV privater Haushalte in Österreich betrug im Jahr 2016 75.000 GWh^[1] und somit 24% des gesamten EEV. In privaten Haushalten wurde rund 2/3 des Energieeinsatzes für Raumheizung aufgewendet. Obwohl dabei bereits 29% aus erneuerbaren Energieträgern (hauptsächlich Holz) stammen und 24% Strom sind gibt es immer noch ein großes Verbesserungspotential, insbesondere da immer noch mehr als 600.000 Ölheizungen in Österreich in Betrieb sind, welche die CO₂-Bilanz negativ beeinflussen.

3.1 Herangehensweise

Im Rahmen dieser Studie wurden sowohl die Vollkosten für die Wärmeversorgung eines typischen Österreichisches Einfamilienhaus bei Einsatz unterschiedlicher Heizsysteme untersucht, als auch für den Fall das statt eines Heizungsanlagentausches eine thermische Sanierung des Gebäudes durchgeführt wird. Für alle untersuchten Fälle wurden ebenso die jährlichen CO_{2e}-Emissionen ermittelt, wodurch in weiterer Folge die finanziellen Aufwendungen für die CO_{2e}-Reduktion ermittelt werden konnten.

Grundlage für die durchgeführten Berechnungen ist die Studie der Energy Economics Group zur Wirtschaftlichkeit von Heizsystemen^[2]. In dieser wurden die effektiven Heizkosten (Kapital- und laufenden Kosten) von den gängigsten Heizungsanlagen für Ein- und Mehrfamilienhäusern ermittelt, wobei auch die unterschiedlichen thermischen Baustandards berücksichtigt wurden.

Das in der vorliegenden Studie verwendete Referenzgebäude, das den typischen österreichischen Gebäudebestand widerspiegelt, besitzt idente Kennzahlen, wie jenes der Studie der EEG^[2]. Es handelt sich dabei um ein unsaniertes Einfamilienhaus aus den 1980'er Jahren, welches eine Bruttogeschoßfläche BGF von 149 m² hat. Es ist mit einer alten Ölheizung ausgestattet, wobei Radiatoren für die Wärmeverteilung eingesetzt werden. Das Gebäude hat einen dem Baujahr üblichen, heute als gering bezeichneten thermischen Standard. Der Heizwärmebedarf HWB des Referenzgebäudes beträgt 174,1 kWh/m²a, der Warmwasserwärmebedarf WWWB liegt bei 15 kWh/m²a. Für das Referenz-Einfamilienhaus im unveränderten Zustand errechnet sich ein Endenergiebedarf EEB von 45,1 MWh/a.

3.1.1 Berechnung der Kosten und CO_{2e} Einsparungen

Die Kostenberechnungen basieren auf ÖNorm M 7140^[3] unter Verwendung eines kalkulatorischen Zinssatzes q von 3. Berücksichtigt wurden dabei Anschaffungskosten für den Tausch des Heizsystems und Sanierungsarbeiten am Gebäude, sowie verbrauchsgebundene und betriebsgebundene Kosten des Wärmebereitstellungssystems. Die Berechnung erfolgte über die Abzinsung der Kosten auf den Barwert im Jahr 0 nach Formel (4). Die jährlichen

Kosten wurden über die Gesamtkosten und dem Annuitätenfaktor AFK nach Formel (5) berechnet.

$$BAI = AI \cdot (1 + q)^{-n} \quad \text{Formel (4)}$$

$$AFK = \frac{q \cdot (1 + q)^n}{(1 + q)^n - 1} \quad \text{Formel (5)}$$

Die Nutzungs- bzw. Abschreibungsdauer für haustechnische Anlagen, im Wesentlichen dem Wärmebereitstellungssystem beträgt 20 Jahre, für Änderungen am Gebäude wurde sie entsprechend der ÖNorm M 7140 ^[3] mit 50 Jahren angesetzt.

Für die Preisentwicklung der Primär Energiepreise analog zur Studie der EEG ^[2] das PRIMES-Referenz-Szenario 2015 herangezogen. Es wurde der Vollkostenvergleich der Wärmebereitstellung nur für die Periode 2018-2030 durchgeführt da längerfristige Energiepreis-Entwicklungen nur mit geringer Signifikanz abgeschätzt werden können.

Die Kosten für thermische Sanierung stammen aus den BKI Baukosteninformationen ^[4]. Diese enthalten auch alle Nebenarbeiten der Sanierungsmaßnahme wie Abbruch, Entsorgung sowie Kosten für Bauhilfsmittel (Gerüst).

Die CO_{2e}-Emissionen berücksichtigen alle Treibhausgasemissionen, welche nach ihrem „Global Warming Potential“ (GWP, verglichen mit CO₂) bewertet werden. Die Faktoren enthalten nicht nur die direkten Emissionen der Verbrennung sondern berücksichtigen auch die Emissionen während der Herstellung. Die Sanierungsmaßnahmen wurden hinsichtlich ihrer CO_{2e}-Emissionen nicht berücksichtigt, da diese nur sehr ungenau erfassbar und auch aufgrund der langen Lebensdauer der Baumaßnahmen im Vergleich zu den Brennstoffemissionen nur sehr gering sind.

3.1.2 Berücksichtigte Varianten

In den nachfolgenden Tabelle 3-1 bis Tabelle 3-3 sind die berücksichtigten Variationen getrennt nach Änderung der Heizungsanlage sowie Maßnahmen zur thermischen Gebäudesanierung angeführt. Die Tabellen dienen zudem als Verzeichnis für die in weiterer Folge verwendeten Schlagwörter in den Beschriftungen.

Tabelle 3-1: Ausstattung des Referenzgebäudes

Bezeichnung	Maßnahmen
Heizöl Referenz	Kessel: Heizöl Standardkessel Brennstoff: Heizöl EL Dämmstandard (U-Werte): Außenwände: 0,70 W/m ² K Fenster + Türen: 2,45 W/m ² K Decke: 1,22 W/m ² K Fußboden: 0,84 W/m ² K

Tabelle 3-2: Übersicht der verschiedenen Szenarien für Austausch des Wärmeerzeugers

Bezeichnung	Maßnahmen
Heizöl NT	Kessel: Niedertemperatur Öl-Kessel Brennstoff: Heizöl EL
Heizöl BW	Kessel: Öl-Brennwertkessel Brennstoff: Heizöl EL
Biodiesel BW	Kessel: Öl-Brennwertkessel Brennstoff: Biodiesel (RME)
Pflanzenöl BW	Kessel: Öl-Brennwertkessel Brennstoff: Rapsöl
Erdgas NT	Kessel: Niedertemperatur Gas-Kessel Brennstoff: Erdgas ÖVGW G31
Erdgas BW	Kessel: Gas-Brennwertkessel Brennstoff: Erdgas ÖVGW G31
Biomethan	Kessel: Gas-Brennwertkessel Brennstoff: Biogas ÖVGW G33
Fernwärme	Wärmeerzeuger: Wärmetauscher Fernwärme Brennstoff: nicht erneuerbar
biogene Nahwärme	Wärmeerzeuger: Wärmetauscher Nahwärme Brennstoff: erneuerbar
Pellets	Kessel: modulierender Pelletkessel Brennstoff: Holzpellets
Hackgut	Kessel: moderner Hackgutkessel Brennstoff: Hackgut
Stückholz	Kessel: Festbrennstoff Vergaserkessel Brennstoff: Scheitholz

Tabelle 3-3: Übersicht der verschiedenen Sanierungsszenarien beim Referenzgebäude

Bezeichnung	Maßnahmen
Geschoßdecke	Dämmung Decke zu Dachraum mit 25 cm EPS U-Wert: 0,12 W/m ² K
Fenstertausch	Austausch von Fenster und Türen U-Wert: 1,15 W/m ² K
Fassadendämmung	Dämmung der Außenwände mit 20 cm EPS U-Wert: 0,16 W/m ² K
WP Sole + FBH	Heizungstausch: Sole/Wasser Wärmepumpe Installation einer Niedertemperatur Fußbodenheizung
WP Sole + FBH + FD	Heizungstausch: Sole/Wasser Wärmepumpe Installation einer Niedertemperatur Fußbodenheizung Dämmung Fußboden mit 7 cm Mehrschichtplatte U-Wert: 0,24 W/m ² K
WP Luft NEStd	Heizungstausch: Sole/Luft Wärmepumpe Dämmung Decke zu Dachraum mit 25 cm EPS Austausch von Fenster und Türen Dämmung der Außenwände mit 20 cm EPS Installation einer Niedertemperatur Fußbodenheizung Dämmung Fußboden mit 7 cm Mehrschichtplatte
Heizöl + Solar	Einbau thermische Solaranlage (5 m ²)
Hydraulischer Abgleich	Hydraulischer Abgleich des Heizungssystems

3.1.3 Großanlagen

Tabelle 3-4: Übersicht der verschiedenen Szenarien für Austausch des Wärmeerzeugers

Bezeichnung	Maßnahmen
Gaskessel 10 MW Ref.	Kessel: Niedertemperatur Gaskessel Brennstoff: Erdgas ÖVGW G31
Hackgut 10 MW	Kessel: moderner Hackgutkessel Brennstoff: Hackgut
Ölkessel 1 MW Ref.	Kessel: Niedertemperatur Ölkessel Brennstoff: Heizöl L
Pelletkessel 1 MW	Kessel: modulierender Pelletkessel Brennstoff: Holzpellets
Hackgutkessel 1 MW	Kessel: moderner Hackgutkessel Brennstoff: Hackgut

3.2 Ergebnisse

3.2.1 Endenergiebedarf

Der Endenergiebedarf EEB des Referenzgebäudes wird bei einem Austausch des bestehenden Ölkessels durch ein effizienteres Heizsystem aufgrund des höheren Wirkungsgrades reduziert. Demgegenüber vermindert sich der EEB des Gebäudes bei thermischer Sanierung aufgrund des reduzierten Heizwärmebedarfs HWB. Die Veränderung des HWB des Referenzgebäudes durch die unterschiedlichen Dämmungsmaßnahmen wurde mittels der Software GEQ ^[5] entsprechend OIB Richtlinie 6 ^[7] berechnet.

Tabelle 3-5: Heizwärme, Warmwasserwärme sowie Endenergiebedarf der untersuchten Varianten

Bezeichnung Variation	Heizwärme- bedarf [MWh/Jahr]	Wasserwärme- bedarf [MWh/Jahr]	Endenergie- bedarf [MWh/Jahr]
Heizöl Referenz	26,25	2,25	45,07
Heizöl NT	26,25	2,25	36,18
Heizöl BW	26,25	2,25	34,96
Biodiesel BW	26,25	2,25	34,96
Pflanzenöl BW	26,25	2,25	34,96
Erdgas NT	26,25	2,25	34,17
Erdgas BW	26,25	2,25	32,49
Biomethan	26,25	2,25	32,49
Fernwärme	26,25	2,25	34,17
biogene Nahwärme	26,25	2,25	34,17
Pellets	26,25	2,25	38,44
Hackgut	26,25	2,25	39,28
Stückholz	26,25	2,25	40,46
Geschoßdecke	23,06	2,25	40,23
Fenstertausch	23,88	2,25	41,48
Fassadendämmung	16,72	2,25	30,63
WP Sole + FBH	28,20	2,25	12,40
WP Sole + FBH + FD	23,27	2,25	10,58
WP Luft NESTd	9,13	2,25	6,31
Heizöl + Solar	26,01	2,25	42,56
Hydraulischer Abgleich	26,25	2,25	42,27

Wie in Tabelle 3-5 zu sehen ist arbeiten moderne Heizungssysteme bis zu 30 % effektiver als das Referenzheizsystem. Wenn man die Sanierungsmaßnahmen betrachtet so kann nur durch eine Fassadendämmung eine Endenergieeinsparung in ähnlicher Höhe erreicht werden.

Die starke Reduktion des Endenergiebedarfes durch den Einsatz von Wärmepumpen ergibt sich rechnerisch daraus, dass Umgebungs- und Erdwärme ebenso wie Solarenergie nicht zur Endenergie gezählt werden.

3.2.2 Veränderung Vollkosten und CO_{2e}-Emissionen

Die zur Bewertung der Kosten der Maßnahmen wurden die jährlichen Anteile der Investitionen für Heizanlagentausch und Sanierungsmaßnahmen sowie die jährlichen laufenden Kosten ermittelt. Die laufenden Kosten setzen sich aus den betriebsgebundenen, für Wartung, Reinigung und Überprüfung und den verbrauchsgebundenen, den Brennstoffkosten zusammen. Die ermittelten Kosten sind in der nachfolgenden Tabelle 3-6 getrennt eingetragen.

Ausgehend vom EEB der einzelnen Variationen wurde den die Emissionen an CO₂-Äquivalenten mittels Energieträgerspezifischen Faktoren (siehe Tabelle 5-1) ermittelt.

$$CO_{2e} = EEB \cdot f_{CO_{2e}} \quad \text{in} \left(\frac{t}{\text{Jahr}} \right) \quad \text{Formel (6)}$$

Tabelle 3-6: Annuität von Invest- und laufenden Kosten der untersuchten Varianten sowie deren CO_{2e}-Ausstoß

Bezeichnung Variation	Annuität Invest Kosten [€/Jahr]	Annuität laufende Kosten [€/Jahr]	CO_{2e} Emissionen [t/Jahr]
Heizöl Referenz	0,00	4.002,47	14,02
Heizöl NT	934,68	3.284,02	11,25
Heizöl BW	1.042,57	3.185,32	10,87
Biodiesel BW	1.042,57	4.402,34	4,26
Pflanzenöl BW	1.042,57	3.819,87	1,26
Erdgas NT	788,84	3.447,88	8,06
Erdgas BW	788,84	3.294,47	7,67
Biomethan	788,84	4.856,15	2,27
Fernwärme	693,83	3.196,90	9,94
biogene Nahwärme	584,03	3.196,90	1,74
Pellets	1.406,81	2.549,26	0,15
Hackgut	1.811,37	1.999,71	0,16
Stückholz	1.051,74	2.397,21	0,16
Geschoßdecke	118,05	3.611,63	12,51
Fenstertausch	434,34	3.712,53	12,90
Fassadendämmung	1.077,52	2.835,46	9,52
WP Sole + FBH	2.452,35	2.527,74	3,42
WP Sole + FBH + FD	2.530,17	2.209,01	2,92

Bezeichnung Variation	Annuität Invest Kosten [€/Jahr]	Annuität laufende Kosten [€/Jahr]	CO _{2e} Emissionen [t/Jahr]
WP Luft NESTd	3.529,23	1.422,88	1,74
Heizöl + Solar	236,00	3.799,58	13,23
Hydraulischer Abgleich	47,20	3.776,13	13,14

Basierend auf den Werten der obigen Tabelle wurde die Veränderung der jährlichen Heizkosten sowie der CO_{2e}-Einsparungen im Vergleich zum Referenzsystem nach Formel (7) bis Formel (9) ermittelt.

$$Kosten = Kosten_{Invest} + Kosten_{Laufend} \left(\text{in } \frac{\text{€}}{\text{Jahr}} \right) \quad \text{Formel (7)}$$

$$Kostenänderung_{Variante} = Kosten_{Variante} - Kosten_{Referenz} \left(\text{in } \frac{\text{€}}{\text{Jahr}} \right) \quad \text{Formel (8)}$$

$$CO_2e \text{ Einsparung} = CO_{2e} \text{ Referenz} - CO_{2e} \text{ Variante} \left(\text{in } \frac{t_{CO_2e}}{\text{Jahr}} \right) \quad \text{Formel (9)}$$

Tabelle 3-7: Einsparungen bei Heizkosten und CO_{2e}-Ausstoß sowie Einsparungskosten bei Raumwärme

Bezeichnung Variation	Heizkosten- änderung [€/Jahr]	CO _{2e} Emissions- einsparung [t/Jahr]	CO _{2e} Einsparungs- kosten [€/t]
Heizöl NT	216,23	2,765	78,20
Heizöl BW	225,41	3,145	71,68
Biodiesel BW	1.442,43	9,751	147,92
Pflanzenöl BW	859,97	12,757	67,41
Erdgas NT	234,24	5,952	39,35
Erdgas BW	80,83	6,349	12,73
Biomethan	1.642,52	11,742	139,89
Fernwärme	-111,74	4,073	-27,43
biogene Nahwärme	-221,54	12,273	-18,05
Pellets	-46,41	13,862	-3,35
Hackgut	-191,39	13,859	-13,81
Stückholz	-553,53	13,854	-39,95
Geschoßdecke	-272,79	1,504	-181,36
Fenstertausch	144,40	1,116	129,41
Fassadendämmung	-89,49	4,491	-19,93
WP Sole + FBH	977,62	10,593	92,29
WP Sole + FBH + FD	736,72	11,097	66,39
WP Luft NESTd	949,64	12,275	77,36

Bezeichnung Variation	Heizkosten- änderung [€/Jahr]	CO _{2e} Emissions- einsparung [t/Jahr]	CO _{2e} Einsparungs- kosten [€/t]
Heizöl + Solar	33,11	0,781	42,40
Hydraulischer Abgleich	-179,15	0,871	-205,66

Die dadurch ermittelte Änderung der jährlichen Vollkosten sowie die Veränderung im CO_{2e}-Ausstoß für die untersuchten Varianten sind in der Tabelle 3-7 zu sehen und deren Abhängigkeit in Abbildung 3-1 grafisch dargestellt.

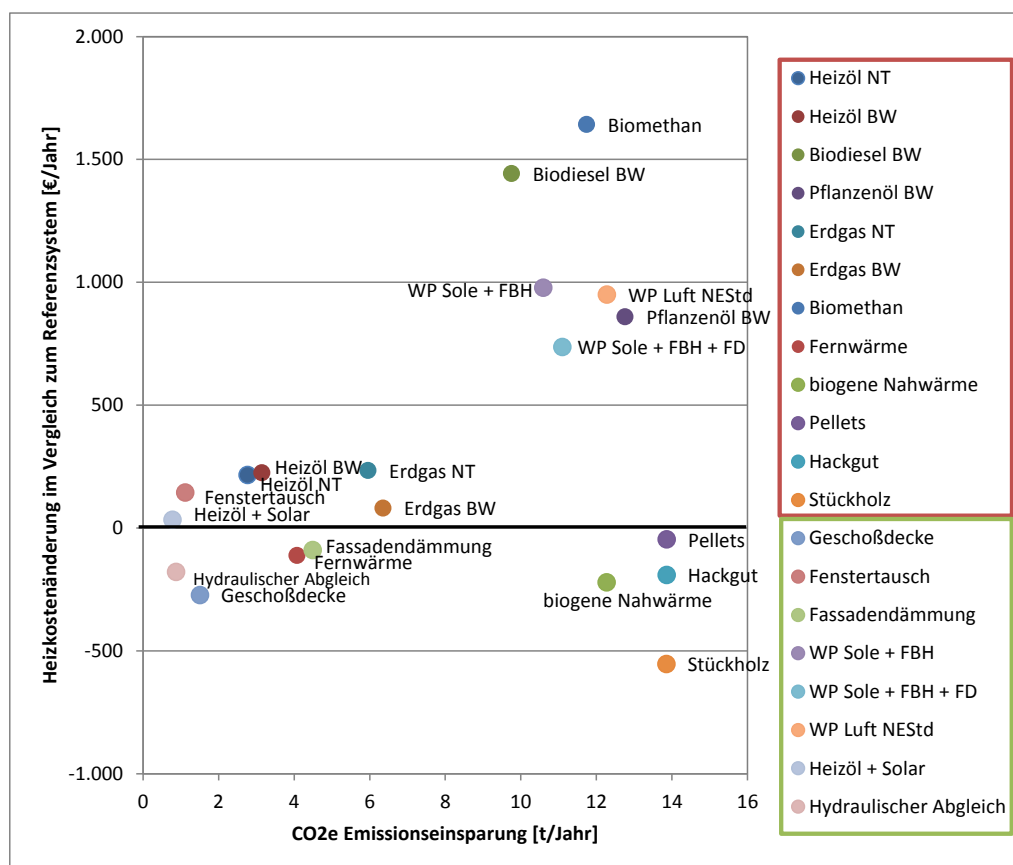


Abbildung 3-1: Kostenänderung gegenüber der CO_{2e}-Einsparung im Bereich Raumwärme

Dass alle in der Studie untersuchten Varianten ökologisch sinnvoll sind, steht außer Frage, da mit allen der CO_{2e}-Ausstoß für die Heiz- und Warmwasserwärmebereitstellung gesenkt werden kann. Die CO_{2e}-Emissionen bis auf nahezu 0 reduzieren ist jedoch nur durch den Austausch des Heizsystems auf eines für erneuerbare Energieträger möglich. Nur mit Sanierungsmaßnahmen kann dies nicht erfolgen, diese sind im Rahmen der Energiewende vielmehr notwendig um einer eventuellen Energieknappheit vorzubeugen.

Ökonomisch sinnvoll sind hingegen nur jene Maßnahmen die einen negativen Wert für die Heizkostenänderung im Vergleich zum Referenzsystem aufweisen. Zu diesen Varianten gehören neben Geschloßdecken und Fassadendämmung auch der Umstieg auf Nah- und Fernwärme sowie der Wechsel auf ein Heizsystem für biogene, feste Brennstoffe. Die größten Einsparungen bei den Heizkosten sind beim Wechsel auf eine Stückholzheizung zu erzielen, welche auch das Potential hinsichtlich CO_{2e}-Emissionseinsparung voll ausschöpft.

3.2.3 CO_{2e}-Einsparungskosten

Durch Division der zuvor ermittelten Veränderung der jährlichen Heizkosten durch die CO_{2e}-Ausstoßeinsparungen, beides jeweils im Vergleich zum Referenzsystem, können die Kosten für die CO_{2e}-Einsparung für alle untersuchten Varianten bestimmt werden.

$$CO_{2e} \text{ Einsparungskosten} = \frac{\text{Kostenänderung}}{CO_{2e} \text{ Einsparung}} \left(\text{in } \frac{\text{€}}{t_{CO_{2e}}} \right) \quad \text{Formel (10)}$$

Das Ergebnis dieser Berechnung ist bereit in Tabelle 3-7 eingetragen.

Das CO_{2e}-Einsparpotential der unterschiedlichen Maßnahmen sehr unterschiedlich, welches in der nachfolgenden Abbildung 3-2 über die Breite der Balken dargestellt wird

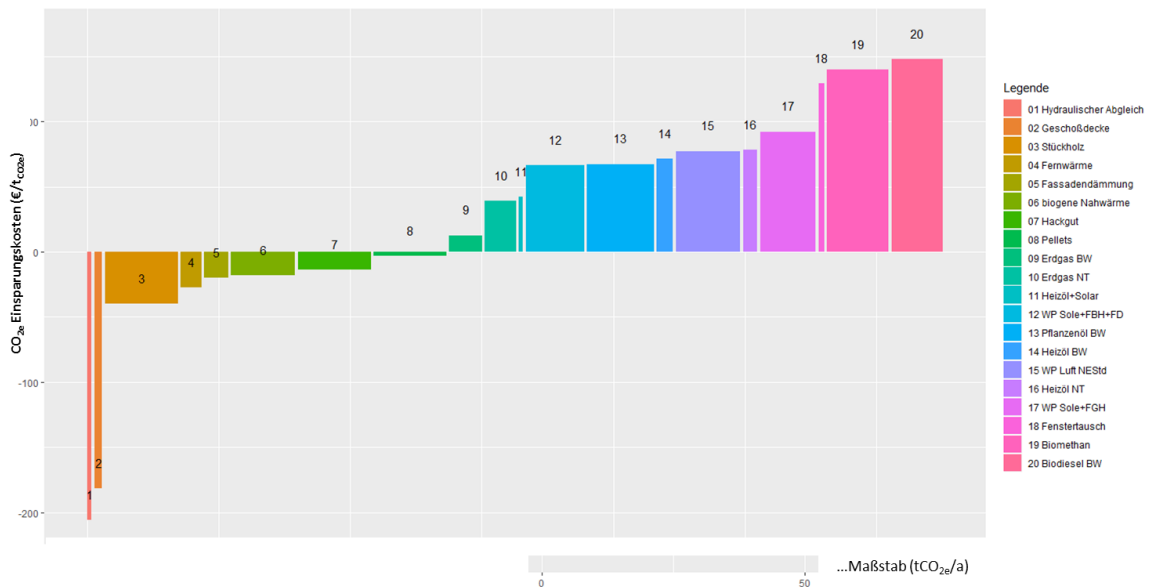


Abbildung 3-2: CO_{2e} Einsparungskosten der Varianten bei Raumwärme und deren CO_{2e}-Einsparpotential entsprechend der Balkenbreite

Die spezifischen Kosten für die CO_{2e}-Einsparung sind für ca. 1/3 der untersuchten Varianten negativ, d.h. man kann Kosten sparen und gleichzeitig einen positiven Beitrag zur CO_{2e}-Bilanz leisten. Die beiden vermeintlich effektivsten Maßnahmen, der hydraulische Abgleich sowie die Dämmung der Geschoßdecke bieten jedoch nur ein sehr geringes Einsparpotential, wie anhand der geringen Breite der Balken in Abbildung 3-2 zu sehen ist. Beides sind aber sehr günstige Maßnahmen, welche einfach umzusetzen sind.

Neben den Varianten mit Heizanlagentausch auf feste, biogene Brennstoffe besitzen auch die Varianten Fernwärme und biogene Nahwärme ein hohes Einsparpotential verbunden mit einer Kostenreduktion, jedoch sind diese nicht überall verfügbar und die Preise für Anschluss und Energiemengen können je nach Betreiber sehr stark variieren.

Wärmepumpen haben insbesondere im untersuchten Fall der Gebäudesanierung hohe Investitionskosten, da ein Wechsel des Wärmeverteilsystems auf Flächenheizung unbedingt notwendig ist. Daher ist in diesen Fällen mit Einsparungskosten von 65 bis 80 €/t_{CO_{2e}} zu rechnen. Noch höher liegen die Einsparungskosten beim Wechsel auf gasförmige oder flüssige erneuerbare Energieträgern wie Biomethan, Biodiesel oder Pflanzenöl. Hier führen die hohen Brennstoffpreise auf Einsparungskosten von bis zu 148 €/t_{CO_{2e}} (siehe Tabelle 3-7).

3.2.4 Investitionskosten und Betriebskostenänderung

Da die effektiven Kosten zur Durchführung von thermischen Sanierungsmaßnahmen für jeden unterschiedlich sind, z.B. Abhängig davon ob er die Maßnahmen Fremdfinanzieren muss und welche Konditionen er bei der Bank erhält, werden in diesem Absatz die direkten Investitionskosten mit der Veränderung der Betriebskosten verglichen. Die diesbezüglichen Werte sind in der Tabelle 3-8 eingetragen.

Tabelle 3-8: Investitions- und Betriebskosten sowie CO_{2e}-Einsparung der Varianten Raumwärme

Bezeichnung Variation	Investitions- kosten der Maßnahme [€]	Betriebskosten änderung [€/Jahr]	CO_{2e} Emissions- einsparung [t/Jahr]
Heizöl NT	13.862,00	-718,46	2,765
Heizöl BW	15.462,00	-817,15	3,145
Biodiesel BW	15.462,00	399,86	9,751
Pflanzenöl BW	15.462,00	-182,60	12,757
Erdgas NT	11.699,00	-554,59	5,952
Erdgas BW	11.699,00	-708,00	6,349
Biomethan	11.699,00	853,68	11,742
Fernwärme	12.905,00	-805,57	4,073
biogene Nahwärme	10.405,00	-805,57	12,273

Bezeichnung Variation	Investitions- kosten der Maßnahme [€]	Betriebskosten änderung [€/Jahr]	CO_{2e} Emissions- einsparung [t/Jahr]
Pellets	20.864,00	-1.453,22	13,862
Hackgut	26.864,00	-2.002,77	13,859
Stückholz	15.598,00	-1.605,27	13,854
Geschoßdecke	2.688,00	-390,84	1,504
Fenstertausch	9.890,00	-289,95	1,116
Fassadendämmung	24.535,00	-1.167,01	4,491
WP Sole + FBH	39.299,00	-1.474,74	10,593
WP Sole + FBH + FD	41.071,00	-1.793,46	11,097
WP Luft NESTd	68.828,00	-2.579,60	12,275
Heizöl + Solar	3.500,00	-202,89	0,781
Hydraulischer Abgleich	700,00	-226,35	0,871

Die grafische Darstellung erfolgte getrennt für die Varianten Tausch des Wärmebereitstellungssystems sowie Sanierungsmaßnahmen. Diese sind in Abbildung 3-3 und Abbildung 3-4 zu sehen. In diesen Grafiken wurde der Durchmesser der dargestellten Kreise in Abhängigkeit vom CO_{2e}-Einsparungspotential eingezeichnet.

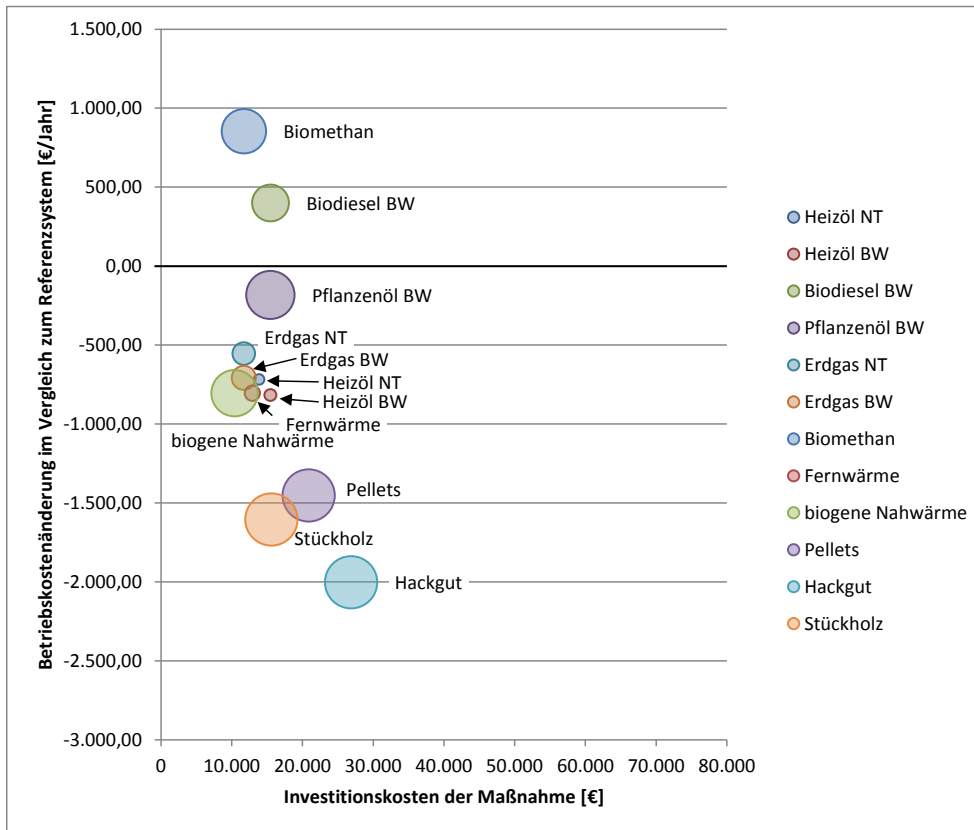


Abbildung 3-3: Veränderung der Betriebskosten sowie Investitionskosten bei Heizanlagentausch, Kreisdurchmesser proportional zu CO_{2e}-Einsparung dargestellt

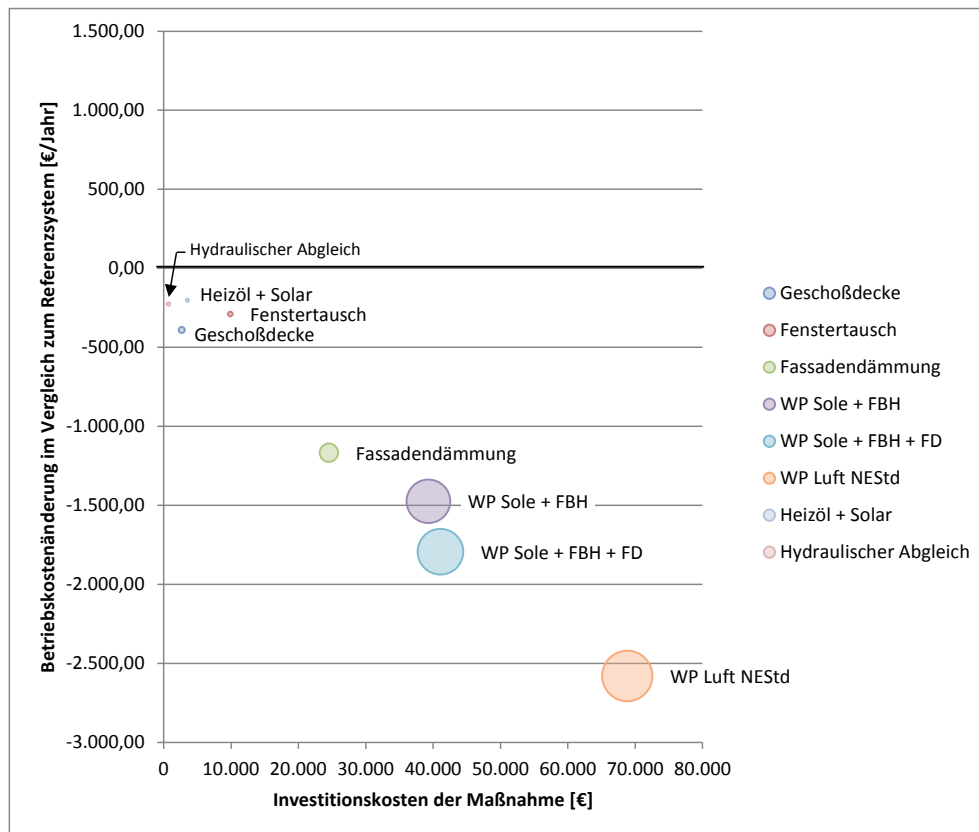


Abbildung 3-4: Veränderung der Betriebskosten sowie Investitionskosten der Baulichen Maßnahmen , Kreisdurchmesser proportional zu CO_{2e}-Einsparung dargestellt

Günstige, einfach umzusetzende Sanierungsmaßnahmen ermöglichen zumeist nur eine geringe Reduktion des CO_{2e}-Ausstoßes. Um diesen weitgehend auf 0 zu reduzieren ist ein Tausch des Heizungssystems notwendig, wobei dies mit den modernsten Feuerungen für fossile Brennstoffe auch nicht möglich ist. Nur der Wechsel auf erneuerbare Endenergieträger und Strom ist zielführend. Der Wechsel zu flüssigen und gasförmigen erneuerbaren Energieträgern ist in allen Fällen mit hohen Brennstoffkosten verbunden, welche auch durch den höheren Wirkungsgrad von modernen Kesseln nicht ausgeglichen werden können. Zudem ist zurzeit die Verfügbarkeit dieser Brennstoffe am Markt noch sehr eingeschränkt. Die Verwendung von Pflanzenöl ist in der Praxis problematisch, da dies nicht unbeschränkt lagefähig ist und für deren thermische Nutzung spezielle Brenner notwendig sind. Demgegenüber ist die Wärmebereitstellung mit erneuerbaren, festen Brennstoffen eine effiziente Variante zur CO_{2e}-Reduktion, da diese zwar höhere Investitionskosten besitzen, welche jedoch durch geringe Betriebskosten langfristig kompensiert werden.

3.2.5 Großanlagen

Im folgenden Abschnitt wird der Austausch eines 10 MW Gaskessels durch eine Hackgutfeuerung sowie der Ersatz eines 1 MW Ölkessels durch einen Pelletkessel oder einen

Hackgutkessel gleicher Leistung betrachtet. Dies sind Kessel, wie sie z.B. bei Heizwerken und in großen Gebäuden eingesetzt werden.

Die Berechnung der Kosten für die CO_{2e}-Einsparung bei Großanlagen erfolgte analog zur Kalkulation der Raumwärme bei Einfamilienhäusern.

Tabelle 3-9: Wärmeproduktion sowie Endenergiebedarf der untersuchten Varianten

Bezeichnung Variation	Wärme- produktion [GWh/Jahr]	Endenergie- bedarf [GWh/Jahr]
Gaskessel 10 MW Ref.	40,40	44,89
Hackgut 10 MW	40,40	46,98
Ölkessel 1 MW Ref.	3,41	4,01
Pelletkessel 1 MW	3,41	4,11
Hackgutkessel 1 MW	3,41	4,11

Die Jahresnutzungsgrade von Biomassekessel wurden aus der Auswertung der Betriebsüberwachung der Bayrischen Heizwerke ^[6] entnommen, wie in Tabelle 3-9 zu sehen ist arbeiten Biomassekessel annähernd genauso effektiv wie Öl- und Gaskessel.

Tabelle 3-10: Annuität von Invest- und laufenden Kosten der untersuchten Varianten sowie deren CO_{2e}-Ausstoß

Bezeichnung Variation	Annuität Invest Kosten [€/Jahr]	Annuität laufende Kosten [€/Jahr]	CO_{2e} Emissionen [t/Jahr]
Gaskessel 10 MW Ref.	0,00	3.146.794,06	10.593,78
Hackgut 10 MW	160.977,44	1.824.612,50	187,91
Ölkessel 1 MW Ref.	0,00	253.966,14	1.247,66
Pelletkessel 1 MW	24.146,62	213.683,83	16,43
Hackgutkessel 1 MW	24.146,62	161.245,26	16,43

Im Vergleich zu Ölkessel kann durch den Einsatz von erneuerbaren Energieträgern 365 t CO_{2e} pro GWh produzierte Wärme eingespart werden, gegenüber von Gaskesseln immer noch 267 t CO_{2e} pro GWh.

Tabelle 3-11: Einsparungen bei Heizkosten und CO_{2e}-Ausstoß sowie Einsparungskosten

Bezeichnung Variation	Heizkosten- änderung [€/Jahr]	CO _{2e} Emissions- einsparung [t/Jahr]	CO _{2e} Einsparungs- kosten [€/t]
Hackgut 10MW	-1.161.204,12	10.405,87	-111,59
Pelletkessel 1MW	-16.135,69	1.231,23	-13,11
Hackgutkessel 1MW	-68.574,26	1.231,23	-55,70

Relevant für den Anlagenbetreiber ist jedoch vor allem, dass mit dem Wechsel auf erneuerbare, feste Brennstoffe auch erhebliche finanzielle Einsparungen verbunden sind. Da in allen untersuchten Fällen die CO_{2e}-Einsparungskosten (siehe Tabelle 3-11 und Abbildung 3-5) negativ sind, ist der Wechsel nicht nur ökologisch sondern auch ökonomisch sinnvoll. Der Ersatz von Erdgas durch Hackgut ist besonders kostensparend.

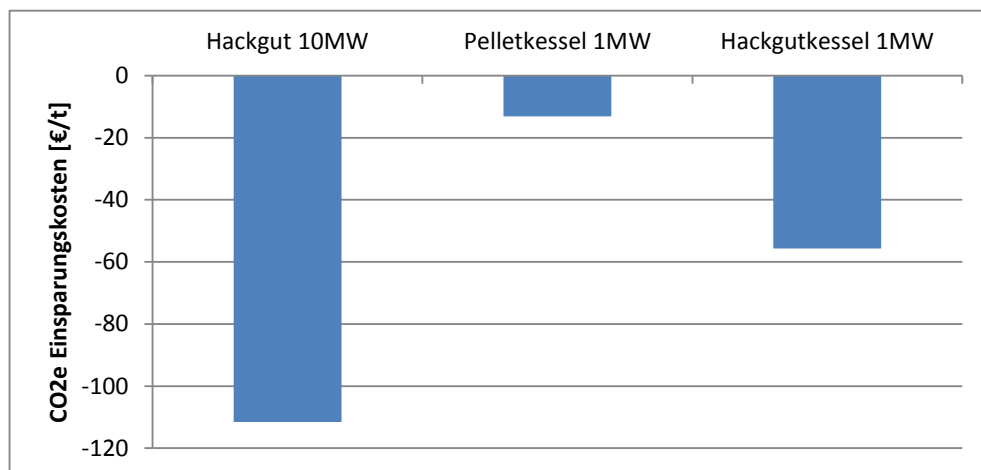


Abbildung 3-5: CO_{2e}-Einsparungskosten bei Heizwerken

Tabelle 3-12: Investitions- und Betriebskosten sowie CO_{2e}-Einsparung

Bezeichnung Variation	Investitions- kosten der Maßnahme [€]	Betriebskosten der änderung [€/Jahr]	CO _{2e} Emissions- einsparung [t/Jahr]
Hackgut 10MW	2.000.000,00	-1.322.181,56	10.405,87
Pelletkessel 1MW	300.000,00	-40.282,30	1.231,23
Hackgutkessel 1MW	300.000,00	-92.720,88	1.231,23

4 Conclusio

Die vorliegenden Berechnungen von CO_{2e}-Einsparungskosten im Wärme- und Mobilitätsbereich zeigen das Potenzial unterschiedlicher EE-Technologien deutlich auf. Der Einsatz von Erneuerbaren Energien im Raumwärmebereich führt generell zu hohen Einsparungen für Endkonsumenten. Feste Brennstoffe auf Basis Biomasse, bieten hier bei vergleichsweise geringen Investitionskosten, ein hohes Potenzial an CO_{2e}- und Kosteneinsparungen. Im Personenverkehr (PKW) liegen die möglichen CO_{2e}-Einsparungen unter jenen im Wärmebereich. Der Transportsektor (LKW / Bus) bietet aufgrund der hohen jährlichen Laufleistungen große Einsparungsmöglichkeiten (Abbildung 4-1; Details in den Abbildungen Abbildung 2-1, Abbildung 2-3 und Abbildung 3-1). Biotreibstoffe weisen wie die Elektromobilität eine hohe Bandbreite an CO₂- und Kosteneinsparungen auf.

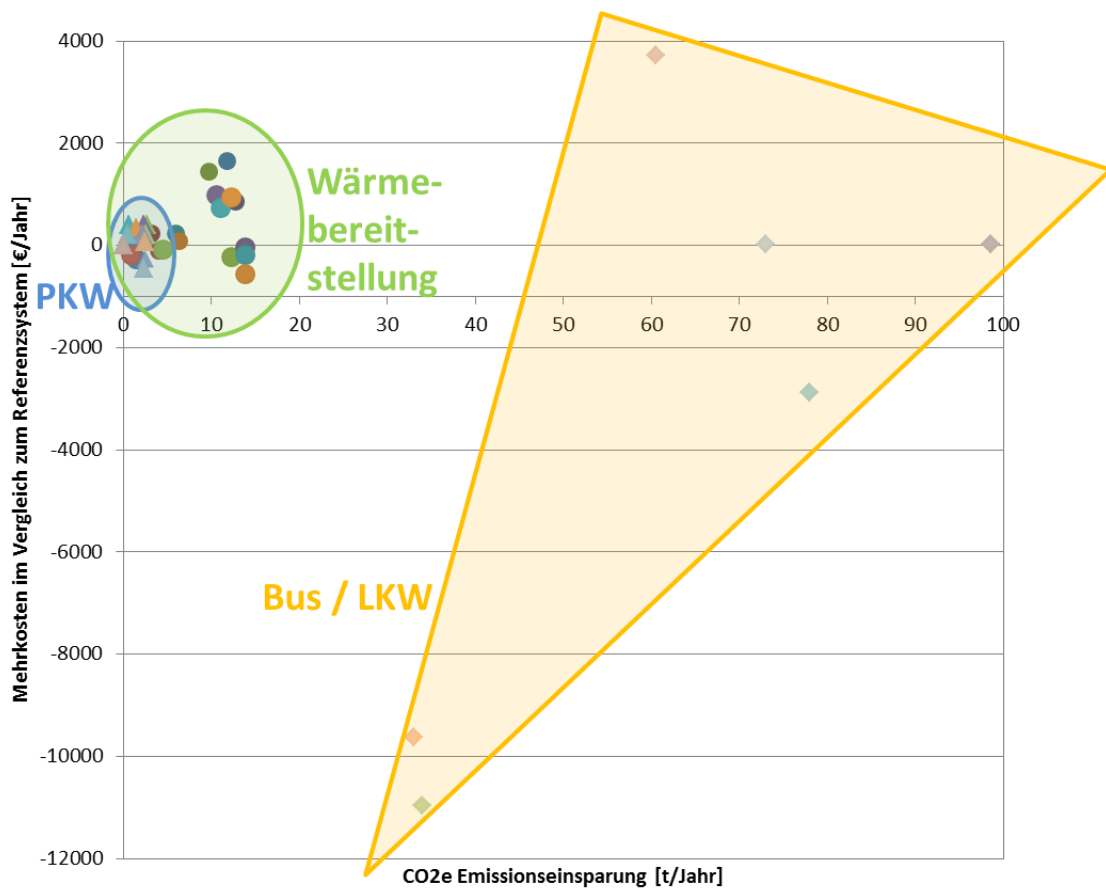


Abbildung 4-1: Übersicht über die unterschiedlichen Sektoren und ihre CO_{2e}-Emissionseinsparung sowie Mehrkosten im Vergleich zum jeweiligen Referenzsystem (Kosten im Minusbereich bedeuten Einsparungen gegenüber dem Referenzsystem)

4.1 Mobilität

Unterschiedliche Kraftstoffe wurden bezüglich ihrer CO_{2e}-Einsparungskosten gegenüber einem fossilen Referenzszenario evaluiert.

Im Bereich der PKWs im Sektor Mobilität konnten folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

- E-Mobilität zeigt das größte CO_{2e}-Einsparungspotential für den Umstieg auf alternative Kraftstoffe, solange der Strom aus erneuerbaren Ressourcen erzeugt wird. Weitere Studien zu zum Beispiel Langzeiteffekten, Akkuentorgungs- oder Wiederaufbereitungskosten, sollen weiteren Aufschluss über mögliche Kostenfaktoren liefern. Auch die Entwicklung der eingesetzten Technologien wird noch weiter verfolgt, was zu Änderungen der Kosten, aber auch der CO_{2e}-Emissionen beitragen kann.
- Biomethan hat die geringsten CO_{2e}-Einsparungskosten bei hohen CO_{2e}-Einsparungen. Da es aber noch kein ausgebautes Tankstellennetz in Österreich gibt, ist es schwierig zu sagen, wie sich der Preis entwickeln könnte. Auch die Anzahl an mit Gas betriebenen Fahrzeugen ist noch relativ gering. Auch hier könnte es zu Preisänderungen bei den Investitions- und Wartungskosten kommen.
- E85 zeigt mittlere CO_{2e}-Einsparungen und Mehrkosten. Aber auch hier gibt es kein ausgebautes Tankstellennetz. Eine weitere Möglichkeit wäre eine Erhöhung der Zumischung von Ethanol zu Benzin auf mindestens 10% (E10) oder höher, solange keine zusätzlichen Wartungskosten o.ä. auf das Fahrzeug zukommen. Auch eine Zumischung von Biodiesel zu fossilem Diesel auf 10% stellt eine ähnliche Variante dar.
- FT Diesel hat aufgrund seiner hohen Qualität ein hohes Potential für den Umstieg auf alternative Kraftstoffe. Die CO_{2e}-Einsparungen sind relativ hoch, bei nur geringem Mehrkostenaufwand. Weitere Studien sind allerdings nötig, um die Preisentwicklung bei großmaßstäbiger Produktion abschätzen zu können. Auch Langzeitstudien zur Verträglichkeit des biogenen Treibstoffes sind nötig.

Im Bereich der Busse und LKWs sind folgende Schlussfolgerungen möglich:

- Biodiesel zeigt ein großes Einsparungspotential auf, wenn der Kraftstoff über B2B-Märkte erworben wird.
- FT-Diesel scheint ebenfalls ein großes Potential für Busse und LKWs zu haben. Man muss jedoch berücksichtigen, dass gegenwärtig der FT-Kraftstoffpreises auf Basis der Produktion in derzeitigen Pilotanlagen beruht (für die Berechnungen lt. Kapitel 2.1.2. wurde der idente Preis wie der fossile Dieselpreis verwendet). Eine Ausweitung der FT-Diesel-Herstellung auf Industriemaßstab wäre nötig, um die Preisentwicklung dieses Kraftstoffes auf gesicherter Basis zu ermitteln. FT-Diesel ist aufgrund seiner hohen Qualität gut geeignet für herkömmliche Dieseldieselfahrzeuge. Daher sind Investitions- und Wartungskosten überschaubar. Hier sind weitere Arbeiten nötig um auch Langzeiteffekte abschätzen zu können.

- Auch Biomethan zeigt ein hohes Potential. Aber wie bereits bei den PKWs erwähnt, ist hier die Infrastruktur mit einem ausgebauten Tankstellennetz nicht gegeben. Der Ausbau würde den Kraftstoffpreis beeinflussen. Auch die Anzahl an mit Gas betriebenen Bussen und LKWs ist momentan sehr gering im Vergleich zu Diesel. Daher ist aktuell eine Substitution von Erdgas durch Biomethan nicht so ausschlaggebend, wie der Verzicht auf fossilen Diesel.

Um für ganz Österreich die effektivste Maßnahme zu erheben, sind weitere Studien nötig, welche die vorhandenen Markt- und Umsetzungsszenarien berücksichtigt. Derzeit ist die Untersuchung dahingehend eingeschränkt, dass jede Maßnahme einzeln betrachtet wird. Kraftstoffe, welche ohne großen Aufwand in bereits bestehende Fahrzeuge eingesetzt werden können, bergen hier großes Potential.

Weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten sind nötig, um die Verträglichkeit von alternativen Kraftstoffen zu verbessern, auch um höhere Zumischraten von Biodiesel und Ethanol zu gewährleisten.

Letztendlich muss bei einer Entscheidung der Strategie für Österreich auch der Ausbau der Infrastruktur mitberücksichtigt werden. Zusätzlich ist für die Wirksamkeit der Maßnahmen die Aufklärung der Bevölkerung essentiell.

4.2 Raumwärme

Der Einsatz unterschiedlicher Endenergieträger bei der Wärmebereitstellung in Einfamilienhäusern sowie die Auswirkungen von thermischen Sanierungsmaßnahmen wurden bezüglich ihrer CO_{2e}-Einsparungskosten gegenüber einem fossilen Referenzszenario evaluiert.

Dabei konnten folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

- Die Reduktion des CO_{2e}-Ausstoßes der Raumwärmeerzeugung auf nahezu 0 ist nur durch den Austausch auf ein Heizsystem mit erneuerbaren Energieträger möglich.
- Nur umfangreiche Sanierungsmaßnahmen können den CO_{2e}-Ausstoß signifikant reduzieren, diese haben hohe Investitionskosten und sind im Rahmen der Energiewende vielmehr notwendig um einer eventuellen Energieknappheit vorzubeugen.
- Die spezifischen Kosten für die CO_{2e}-Einsparung sind für ca. 1/3 der untersuchten Varianten negativ, d.h. man kann Kosten sparen und gleichzeitig einen positiven Beitrag zur CO_{2e}-Bilanz leisten.
- Die Wärmebereitstellung mit erneuerbaren, festen Brennstoffen (Scheitholz, Hackgut oder Pellets) ist die ökonomischste Variante zur CO_{2e}-Reduktion. Derartige

Feuerungen besitzen zwar höhere Investitionskosten, welche jedoch durch geringe Betriebskosten langfristig kompensiert werden.

- Auch die Varianten biogene Nahwärme und Fernwärme besitzen ein hohes Einsparpotential verbunden mit einer Kostenreduktion, jedoch sind diese nicht überall verfügbar und die Preise für Anschluss und Energiemengen können je nach Betreiber sehr stark variieren.
- Der Einsatz von Wärmepumpen verursacht im untersuchten Fall des Heizanlagentausches bei bestehenden Einfamilienhäusern hohe Investitionskosten, da ein Wechsel des Wärmeverteilsystems auf Flächenheizung unbedingt notwendig ist.
- Der Wechsel zu flüssigen und gasförmigen erneuerbaren Energieträgern ist derzeit in allen untersuchten Fällen mit hohen Brennstoffkosten verbunden, welche auch durch den höheren Wirkungsgrad von modernen Kesseln nicht ausgeglichen werden können.
- Bei großen Feuerungen ist der Wechsel auf erneuerbare, feste Brennstoffe in allen untersuchten Fällen ökologisch und ökonomisch sinnvoll.

5 Annahmen und Quellen

5.1 Mobilität

5.1.1 PKW (Golf VII)

PKW	Annahmen	Quellen
<u>E-PKW</u>	<i>Verglichen mit Benzin und Diesel, unterschieden nach Ökostrom, Österreichmix und Kohlestrom</i>	
Anschaffungskosten	Laut Quelle;	www.initiative-gas.at (ÖVGW – Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach & FGW – Fachverband der Gas- und Wärmeversorgungsunternehmen)
Leasingkosten	Auf 5 Jahre (60 Monate)	
Laufende Kosten	gerechnet	
Km-Laufleistung / Dauer	15.000 km/Jahr 5 Jahre	
Kraftstoffpreis		Statista.com (2.Halbjahr 2017; Diesel und Benzin) bzw. www.oesterreichsenergie.at (2.Halbjahr 2017; Strom)
Kraftstoffverbrauch		www.umweltbundesamt.at (5.10.2018) Kostenvergleich von PKW-Antriebssystemen
CO _{2e}	CO _{2e} -Wert für E-PKW: Mittelwert aus leichtem und schwerem E-PKW (UBA, 2016) Kwh/km für E-PKW: Mittelwert aus leichtem und schwerem E-PKW (UBA, 2016)	UBA, 2016: Ökobilanz alternativer Antriebe (Benzin, Diesel, Ökostrom und Ö-Strom); Deutscher Bundestag, 2007: CO ₂ -Bilanzen verschiedener Energieträger im Vergleich (Kohlestrom – CO _{2e} /kWh); kWh für E-PKW von UBA, 2016
<u>PKW (Ethanol – E85)</u>	<i>Verglichen mit Benzin</i>	
Anschaffungskosten	+300 € Mehrkosten für FFV-Modulator (Kauf + Einbau)	www.greenspirits.at
Laufende Kosten	+50 €/Jahr Mehrkosten für zusätzliches Service	www.e85-fahren.ch

Kraftstoffverbrauch	+30% im Vergleich zu Benzin	www.e85-fahren.ch	
Km-Laufleistung /	15.000 km/Jahr		
Dauer	5 Jahre		
Kraftstoffpreis			
CO _{2e}	-50% (E85 vgl. mit Benzin)		
<u>PKW (Ethanol – E10)</u>			
Anschaffungskosten	Ident zu Benzin	Statista.com (2.Halbjahr 2017; Benzin), www.ethanol-tanken.com (E85) – ACHTUNG: deutsche Seite!!! Agrana, 2007: Bioethanol – Refuelling the environment (passt auch gut zu: IEA-AMF, 2016: Annex 43 – Performance Evaluation of Passenger Car, Fuel and Powerplant Options; und zu: American Lung Association of Minnesota, 2005: Comparison of Carbon Dioxide Emissions from Gasoline and E85)	
Leasingkosten			
Laufende Kosten			
Kraftstoffverbrauch			
Km-Laufleistung /	15.000 km/Jahr		
Dauer	5 Jahre		
Kraftstoffpreis	Aliquote Berechnung (90% Benzin, 10% Ethanol – von E85 die 85% Ethanol angenommen, bei Benzin Zumischung von 5% berücksichtigt)		
CO _{2e}	Aliquote Berechnung (90% Benzin, 10% Ethanol – von E85 die 85% Ethanol angenommen, bei Benzin Zumischung von 5% berücksichtigt)		
<u>PKW (Biomethan)</u>			
Anschaffungskosten	Laut Quelle;		UBA, 2017: Biokraftstoffe im Verkehrssektor 2017 (aktuelle Zumischungsrate) UBA, 2017: Biokraftstoffe im Verkehrssektor 2017 (aktuelle Zumischungsrate)
Leasingkosten	Auf 5 Jahre (60 Monate)		
Laufende Kosten	gerechnet		
	+3.000 € Anschaffungspreis,	www.initiative-gas.at (ÖVGW – Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach & FGW – Fachverband der Gas- und	

	aufgrund geringerer Leistung (vgl. ADAC-Preise für Benzin bei entsprechender Leistung) → fließt in Restwert mit ein; +20,66 € für monatliche Fixkosten (Anpassung an Leistung bringt erhöhte Steuer)	Wärmeversorgungsunternehmen)
Km-Laufleistung / Dauer	15.000 km/Jahr 5 Jahre	
Kraftstoffverbrauch	Ident zu fossilem Erdgas aus Quelle	www.initiative-gas.at
Kraftstoffpreis	Biomethan von Mineralölsteuer befreit	Preis lt. Auskunft von EVM Biomethananlage Margarethen am Moos (12.10.2018)
CO _{2e}	Reduktionsraten von Bericht für Umrechnung von Benzin	NGVA, 2017: Greenhouse Gas Intensity from natural Gas in Transport
<u>PKW (Biodiesel – B10)</u>		
<i>Verglichen mit Diesel</i>		
Anschaffungskosten	Ident zu Diesel	
Leasingkosten		
Laufende Kosten		
Kraftstoffverbrauch		
Km-Laufleistung / Dauer	15.000 km/Jahr 5 Jahre	
Kraftstoffpreis	Aliquote Berechnung (90% Diesel, 10% Biodiesel, bei Diesel Zumischung von 7% berücksichtigt)	UBA, 2017: Biokraftstoffe im Verkehrssektor 2017 (aktuelle Zumischungsrate)
CO _{2e}	Aliquote Berechnung (90% Benzin, 10% Ethanol – von E85 die 85% Ethanol angenommen, bei Benzin Zumischung von 5% berücksichtigt)	UBA, 2017: Biokraftstoffe im Verkehrssektor 2017 (aktuelle Zumischungsrate)
<u>PKW (FT-Diesel)</u>		
<i>Verglichen mit Diesel</i>		
Anschaffungskosten	Annahme von Softwareupdate (€ 300,-)	

Leasingkosten	Ident zu fossilem Diesel	
Laufende Kosten		
Kraftstoffverbrauch		
Km-Laufleistung /	15.000 km/Jahr	
Dauer	5 Jahre	
Kraftstoffpreis	Ident zu fossilem Diesel angenommen	
	1,03 €/l (laut Pilotanlage)	Hofbauer et al. 2006: Energiezentrale Güssing
CO _{2e}	25,8 g/km (aliquot angepasst an fossilen Dieselwert)	KIT, 2014: Biomethan als Kraftstoff: Eine Einordnung (PPT). Tagung: Biogene Gase für die Energiewende in Baden-Württemberg

5.1.2 LKW

LKW	Annahmen	Quellen
<u>LKW (Biodiesel – B100)</u>	<i>Verglichen mit Diesel</i>	
Anschaffungskosten	100.000 € (Diesel), keine Umrüstkosten für Biodieselbetrieb angenommen	IEA-AMF, 2016: Annex 49 – Fuel and Technology Alternatives for Commercial Vehicles (Anschaffung Diesel); Bmvit, 2010: iCUT – Saubere Stadtbustechnologien, Nachrüstlösungen und Neufahrzeuge (Umrüstkosten);
Laufende Kosten	Zusätzlich bei Biodiesel: 3x Rußpartikelfilterreinigung á 400 €; 0,10315 €/km für Wartung und Reparatur; KFZ-Steuer 1,90 €/t	Bmvit, 2010: iCUT – Saubere Stadtbustechnologien, Nachrüstlösungen und Neufahrzeuge (Reinigung); ATRI, 2017: An Analysis of the Operational Costs of Trucking: 2017 Update (Wartung und Reparatur); www.bmf.gv.at (Steuern)
Km-Laufleistung /	100.000 km/Jahr	
Dauer	10 Jahre	
Höchst zulässiges	40 t	

Gesamtgewicht		
Kraftstoffpreis	0,75 €/l (2017) 0,77 €/l (2018) B2B Preise für Frächter	Statista.com (2.Halbjahr 2017; Diesel), Argus Biodiesel Rapseed OME RED ARA range barge fob mean (PA 0009274) (Biodiesel)
Kraftstoffverbrauch	+10% für Biodiesel	KIT, 2014: Biomethan als Kraftstoff: Eine Einordnung (Diesel); Bmvit, 2010: iCUT – Saubere Stadtbustechnologien, Nachrüstlösungen und Neufahrzeuge (+10%)
CO_{2e}	49-55 g/MJ (IEA,2017) → Mittelwert; mit MJ/km aus Annex 49 multipliziert	IEA-AMF, 2016: Annex 49 – Fuel and Technology Alternatives for Commercial Vehicles (Diesel); IEA, 2017: The Future of Trucks (Biodiesel)
<u>LKW (FT-Diesel)</u>		
	<i>Verglichen mit Diesel</i>	
Anschaffungskosten	100.000 € (Diesel) + 300 € (FT-Diesel) Umrüstkosten (Softwareupdate angenommen)	IEA-AMF, 2016: Annex 49 – Fuel and Technology Alternatives for Commercial Vehicles (Anschaffung Diesel)
Laufende Kosten	0,10315 €/km für Wartung und Reparatur; KFZ-Steuer 1,90 €/t (bei beiden Antrieben gleich)	ATRI, 2017: An Analysis of the Operational Costs of Trucking: 2017 Update (Wartung und Reparatur); www.bmf.gv.at (Steuern)
Km-Laufleistung / Dauer	100.000 km/Jahr 10 Jahre	
Höchst zulässiges Gesamtgewicht	40 t	
Kraftstoffpreis	Ident wie fossilem Diesel angenommen 1,03 €/l (Pilotanlage)	Hofbauer et al. 2006: Energiezentrale Güssing
Kraftstoffverbrauch CO_{2e}	Ident wie fossiler Diesel	IEA-AMF, 2016: Annex 49 – Fuel and Technology Alternatives for Commercial Vehicles

<u>LKW</u>	<i>Verglichen mit Diesel</i>	
<u>(Biomethan)</u>		
Anschaffungskosten	100.000 € (Diesel), 142.500 € (Biomethan)	IEA-AMF, 2016: Annex 49 – Fuel and Technology Alternatives for Commercial Vehicles (Anschaffung Diesel)
Laufende Kosten	0,10315 €/km für Wartung und Reparatur; + 0,04 €/km für Biomethan (vgl. Bus); KFZ-Steuer 1,90 €/t (bei beiden Antrieben gleich)	ATRI, 2017: An Analysis of the Operational Costs of Trucking: 2017 Update (Wartung und Reparatur); IEA-AMF, 2012: Annex 37 – Fuel and Technology Alternatives for Buses (+0,04€/km); www.bmf.gv.at (Steuern)
Kraftstoffverbrauch		KIT, 2014: Biomethan als Kraftstoff: Eine Einordnung (Diesel);
Kraftstoffpreis		Auskunft von EVM Biomethananlage Margarethen am Moos am 12.10.2018
CO _{2e}		IEA-AMF, 2016: Annex 49 – Fuel and Technology Alternatives for Commercial Vehicles

5.1.3 Bus

Bus	Annahmen	Quellen
<u>Bus (Biodiesel – B100)</u>	<i>Verglichen mit Diesel</i>	
Anschaffungskosten	215.000 € (Diesel), obwohl im nebenstehenden BMVIT Bericht von + 3.000 € Umrüstkosten für den Biodieselbetrieb ausgegangen wird, werden für die Berechnungen keine Umrüstkosten angenommen, weil diese im Verhältnis zu den Anschaffungskosten zu vernachlässigen sind.	IEA-AMF, 2012: Annex 37 – Fuel and Technology Alternatives for Buses; BMVIT, 2010: iCUT – Saubere Stadtbusstechnologien, Nachrüstlösungen und Neufahrzeuge (Umrüstkosten);

Laufende Kosten	Zusätzlich bei Biodiesel: 2x Rußpartikelfilterreinigung á 400 €; 0,13 €/km für Wartung und Reparatur; KFZ-Steuer 1,90 €/t	IEA-AMF, 2012: Annex 37 – Fuel and Technology Alternatives for Buses (Wartung); Bmvit, 2010: iCUT – Saubere Stadtbustechnologien, Nachrüstlösungen und Neufahrzeuge (Reinigung); www.bmf.gv.at (Steuern)
Km-Laufleistung / Dauer	80.000 km/Jahr 10 Jahre	
Höchst zulässiges Gesamtgewicht	19 t	
Kraftstoffpreis		Statista.com (2.Halbjahr 2017; Diesel), www.oeamtc.at/thema/tanken (Biodiesel)
Kraftstoffverbrauch	+10% für Biodiesel	IEA-AMF, 2012: Annex 37 – Fuel and Technology Alternatives for Buses; Bmvit, 2010: iCUT – Saubere Stadtbustechnologien, Nachrüstlösungen und Neufahrzeuge (+10%)
CO _{2e}	FAME-Raps	IEA-AMF, 2012: Annex 37 – Fuel and Technology Alternatives for Buses;
<u>Bus (FT-Diesel)</u> <i>Verglichen mit Diesel</i>		
Anschaffungskosten	215.000 € (Diesel) + 300 € (FT-Diesel) Umrüstkosten (Softwareupdate angenommen)	IEA-AMF, 2012: Annex 37 – Fuel and Technology Alternatives for Buses;
Laufende Kosten	0,13 €/km für Wartung und Reparatur; KFZ-Steuer 1,90 €/t (bei beiden Antrieben gleich)	IEA-AMF, 2012: Annex 37 – Fuel and Technology Alternatives for Buses (Wartung und Reparatur); www.bmf.gv.at (Steuern)
Km-Laufleistung / Dauer	80.000 km/Jahr 10 Jahre	
Höchst zulässiges Gesamtgewicht	19 t	
Kraftstoffpreis	Ident wie fossilem Diesel angenommen	

	1,03 €/l (Pilotanlage)	Hofbauer et al. 2006: Energiezentrale Güssing
Kraftstoffverbrauch CO _{2e}	Ident wie fossiler Diesel	IEA-AMF, 2012: Annex 37 – Fuel and Technology Alternatives for Buses
<u>Bus (Biomethan)</u>	<i>Verglichen mit Diesel</i>	
Anschaffungskosten	215000 € (Diesel), 265000 € (Biomethan)	IEA-AMF, 2012: Annex 37 – Fuel and Technology Alternatives for Buses
Laufende Kosten	0,13 €/km (Diesel), 0,17 €/km (Biomethan) für Wartung und Reparatur; KFZ-Steuer 1,90€/t (bei beiden Antrieben gleich)	IEA-AMF, 2012: Annex 37 – Fuel and Technology Alternatives for Buses (Wartung und Reparatur); www.bmf.gv.at (Steuern)
Kraftstoffverbrauch		IEA-AMF, 2012: Annex 37 – Fuel and Technology Alternatives for Buses
Kraftstoffpreis		Auskunft von EVM Biomethananlage Margarethen am Moos am 12.10.2018
CO _{2e}	Wert für „wet manure“, „organic waste“ hätte Wert von 500 gCO _{2e} /km	IEA-AMF, 2012: Annex 37 – Fuel and Technology Alternatives for Buses

5.2 Wärmebereitstellung

5.2.1 Emissionsfaktoren

Tabelle 5-1: Übersicht der CO_{2e}-Emissionsfaktoren der verschiedenen Endenergieträger

Quellen: OIB [7], Bonsel [8] und UBA [9]

Energieträger	CO _{2e} - Faktor [kg/MWh]	Quelle
Erdgas	236	OIB
Biomethan	70	Bonsel
Heizöl	311	OIB
Biodiesel	122	UBA

Energieträger	CO _{2e} - Faktor [kg/MWh]	Quelle
Pflanzenöl	36	UBA
Stückholz	4	OIB
Hackgut	4	OIB
Pellets	4	OIB
Fernwärme (fossil)	291	OIB
Fernwärme erneuerbar	51	OIB
Strom	276	OIB

Der CO_{2e} Faktor des OIB berücksichtigt den jahreszeitlichen Verlauf des Emissionsfaktors der Stromproduktion und den Verlauf des Endenergiebedarfs zur Raumwärmeproduktion ^[10].

5.2.2 Referenzen

- [1] Statistik Austria:
Energiedaten Österreich 2016.
Bundesanstalt Statistik Österreich, Wien (2017)
- [2] Kranzl L., Müller A., Maia I. und Büchele R.:
Wärmewende 2030: Analyse der Erfordernisse und Konsequenzen Teilbericht zur Wirtschaftlichkeitsanalyse von Heizsystemen.
Projektbericht im Auftrag von EEÖ – Erneuerbare Energie Österreich, Wien (2018)
- [3] ÖNorm M 7140 2013-07-01:
Betriebswirtschaftliche Vergleichsrechnung für Energiesysteme nach dynamischen Rechenmethoden.
Österreichisches Normungsinstitut Wien (2013)
- [4] BKI Baukosteninformationszentrum (Hrsg):
BKI Baukosten 2017 Altbau: Statistische Kostenkennwerte für die Positionen.
ISBN 978-3-945-649-41-1, Stuttgart 2017
- [5] GEQ Energieausweis v. 2018
Zehentmeyer Software GmbH., Salzburg (2018)
- [6] Centrale Agrar-Rohstoff Marketing- und Energie-Netzwerk e.V.:
Betriebsdaten geförderter bayerischer Biomasse-Heizwerke: Auswertung Jahresberichte 2016.
C.A.R.M.E.N. e.V., Straubing (2018)
- [7] Österreichisches Institut für Bautechnik:
OIB-Richtlinie 6 – Energieeinsparung und Wärmeschutz.
OIB-330.6-009/15, Wien (2015)
- [8] Bonsen C. et.al.:
Biomethan –Potenziale, Gas-Aufbereitung und Netzeinspeisung.
FVEE Themen 2012, Forschungsverbund Erneuerbare Energie, Berlin (2012)

- [9] Umweltbundesamt:
Biokraftstoffe im Verkehrssektor 2017.
BMLFUW, Wien (2017)
- [10] Ploss, M. und Roskopf, T.:
Ermittlung monatlicher Konversionsfaktoren für den Energieträger Strom.
Kitting - Magazin des IBO (2018)

6 Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

6.1 Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Übersicht der verschiedenen berechneten Kraftstoffszenarien und ihre Referenz	5
Tabelle 2-2: Investitionskosten, laufenden Kosten, Kraftstoffpreise und CO _{2e} - Emissionsfaktoren für die betrachteten Kraftfahrzeuge (PKW, Bus, LKW), Quellen siehe Kapitel 5	6
Tabelle 3-1: Ausstattung des Referenzgebäudes	15
Tabelle 3-2: Übersicht der verschiedenen Szenarien für Austausch des Wärmeerzeugers	15
Tabelle 3-3: Übersicht der verschiedenen Sanierungsszenarien beim Referenzgebäude	16
Tabelle 3-4: Übersicht der verschiedenen Szenarien für Austausch des Wärmeerzeugers	16
Tabelle 3-5: Heizwärme, Warmwasserwärme sowie Endenergiebedarf der untersuchten Varianten	17
Tabelle 3-6: Annuität von Invest- und laufenden Kosten der untersuchten Varianten sowie deren CO _{2e} -Ausstoß	18
Tabelle 3-7: Einsparungen bei Heizkosten und CO _{2e} -Ausstoß sowie Einsparungskosten bei Raumwärme	19
Tabelle 3-8: Investitions- und Betriebskosten sowie CO _{2e} -Einsparung der Varianten Raumwärme	22
Tabelle 3-9: Wärmeproduktion sowie Endenergiebedarf der untersuchten Varianten	26
Tabelle 3-10: Annuität von Invest- und laufenden Kosten der untersuchten Varianten sowie deren CO _{2e} -Ausstoß	26
Tabelle 3-11: Einsparungen bei Heizkosten und CO _{2e} -Ausstoß sowie Einsparungskosten	27
Tabelle 3-12: Investitions- und Betriebskosten sowie CO _{2e} -Einsparung	27
Tabelle 5-1: Übersicht der CO _{2e} -Emissionsfaktoren der verschiedenen Endenergieträger	39

6.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Mehrkosten gegenüber den CO _{2e} -Einsparungen, im Bereich PKW (Mobilität), Referenzpreise für Diesel und Benzin als Mittelwert der 2. Halbjahres 2017	9
Abbildung 2-2: CO _{2e} -Einsparungskosten gegenüber der CO _{2e} -Einsparung (Balkenbreite) der unterschiedlichen Maßnahmen (bei einmaliger Umsetzung), im Bereich PKW (Mobilität)	10
Abbildung 2-3: Mehrkosten gegenüber den CO _{2e} -Einsparungen, im Bereich Bus und LKW (Mobilität), Referenzpreise für Diesel und Benzin als Mittelwert der 2. Halbjahres 2017	11

Abbildung 2-4: Mehrkosten gegenüber den CO _{2e} -Einsparungen, im Bereich Bus und LKW (Mobilität), Referenzpreise für Diesel und Benzin vom Oktober 2018	11
Abbildung 2-5: CO _{2e} Einsparungskosten gegenüber der CO _{2e} -Einsparung (Balkenbreite) der unterschiedlichen Maßnahmen (bei einmaliger Umsetzung), im Bereich Bus und LKW (Mobilität), Referenzpreise für Diesel und Benzin als Mittelwert der 2. Halbjahres 2017	12
Abbildung 3-1: Kostenänderung gegenüber der CO _{2e} -Einsparung im Bereich Raumwärme	20
Abbildung 3-2: CO _{2e} Einsparungskosten der Varianten bei Raumwärme und deren CO _{2e} -Einsparpotential entsprechend der Balkenbreite	21
Abbildung 3-3: Veränderung der Betriebskosten sowie Investitionskosten bei Heizanlagentausch, Kreisdurchmesser proportional zu CO _{2e} -Einsparung dargestellt ..	24
Abbildung 3-4: Veränderung der Betriebskosten sowie Investitionskosten der Baulichen Maßnahmen , Kreisdurchmesser proportional zu CO _{2e} -Einsparung dargestellt.....	25
Abbildung 3-5: CO _{2e} -Einsparungskosten bei Heizwerken	27
Abbildung 4-1: Übersicht über die unterschiedlichen Sektoren und ihre CO _{2e} -Emissionseinsparung	28