



Die DVGW-Innovationsoffensive. www.dvgw-innovation.de

Systemanalyse – Abschlussbericht Teil I **Bewertung der Energieversorgung mit leitungsgebundenen** **gasförmigen Brennstoffen im Vergleich** **zu anderen Energieträgern**

Management Summary

G 5/04/09-TP1

gefördert durch: DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.
Technisch-wissenschaftlicher Verein

ausgeführt durch: DBI-Gastechnologisches Institut gGmbH Freiberg
DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut, Karlsruhe
Gas-Wärme-Institut e.V., Essen



Inhaltsverzeichnis

1	Motivation und Zielstellung	1
2	Wesentliche Ergebnisse des Reports.....	3
2.1	Analyse der Energieflussketten der zentralen Energieversorgung	3
2.2	Analyse des Energiebedarfs privater Haushalte.....	6
2.3	Analyse der Energieflussketten der dezentralen Erzeugungsketten	8
3	Fazit und Zielgruppen orientierte Handlungsempfehlungen	13
3.1	Politische Entscheidungsträger	13
3.2	Entscheidungsträger in der Energieversorgung	14
3.3	Private Verbraucher, Haushalte	14
4	Ausblick.....	15

Autoren:

Hartmut Krause, Frank Erler
DBI-Gastechnologisches Institut gGmbH Freiberg

Wolfgang Köppel
DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut am Karlsruher Institut für Technologie

Markus Fischer
Gas-Wärme-Institut e.V. Essen

Bonn, 20. Oktober 2010

1 Motivation und Zielstellung

Die politischen Vorgaben zur Reduktion klimaschädigender Gase um 40 % bis 2020 bedeuten, dass die Energiebereitstellung von fossilen Kraftwerken hin zu regenerativen Energiequellen umgestellt werden muss. Hierbei sollen 25 - 30 % des Strombedarfs und 14 % des Wärmebedarfs regenerativ zur Verfügung gestellt werden. Momentan wird daher von einer deutlichen Erhöhung der Strombereitstellung durch Wind und Sonne ausgegangen, was aufgrund von Wetteränderungen zu einer stark schwankenden Stromgestehung führt. Der Erzeugung steht der Verbrauch gegenüber, der je nach Jahres- und Tageszeit schwankt. Die momentan diskutierten Szenarien basieren meist auf der Ausregelung von Über- und Unterkapazitäten. Eine Konsequenz daraus ist die Verteilung von Strom europaweit über große Entfernungen in Ballungsgebiete bzw. in Gebiete mit hoher Industriedichte sowie die flexible Speicherung von elektrischer Energie. Die Speicherung wird jedoch voraussichtlich mittelfristig nicht ausreichend und kostengünstig zur Verfügung stehen wird. Um kurz und mittelfristig einen Übergang von der fossilen auf eine regenerative Energiewirtschaft zu erreichen müssen vorhandene Assets und deren Möglichkeiten in diese Szenarien aufgenommen werden. Gasförmige Energieträger haben weltweit, insbesondere in Deutschland eine mehr als 150 jährige Entwicklungsgeschichte. Sie verfügen über eine hervorragend ausgebaute moderne Infrastruktur aus Transport- und Verteilnetzen sowie sehr großen Speicherkapazitäten. Innerhalb dieser Strukturen wurde Wasserstoff im Stadtgas und wird Methan im Erdgas als Energieträger transportiert und verwendet. Ziel eines langfristig, politisch gewollten Ausstiegs aus der fossilen Energiewirtschaft muss es aufbauend auf diesem Potenzial somit sein, die Integration regenerativer Energieträger (Biomethan und Windwasserstoff) voranzutreiben.

Einen kurzfristig verwirklichtbaren Lösungsansatz zur Verteilung und Speicherung elektrischer Überschussenergie stellt die Wandlung von Strom in Wasserstoff dar. Der Wasserstoff kann sowohl direkt in das Erdgasnetz zugemischt werden als auch mit Kohlenstoffdioxid aus z. B. CCS-Kraftwerken oder Biogaseinspeiseanlagen zu Methan weiterverarbeitet und eingespeist werden. Beide Energieträger können damit einer Nutzung in hocheffizienten Gasverwendungssystemen bzw. einer Speicherung zugeführt werden. Diese Nutzungswege werden in ersten Pilotanlagen erprobt.

Mit dem vorliegenden Projekt sollen unvoreingenommen die Effizienz der Nutzungsketten verschiedener Energieträger und deren Auswirkung auf den Klimawandel durch Treibhausgase untersucht werden. Auf der Basis der

Ergebnisse sollten politischen und wirtschaftlichen Entscheidungsträgern sowie der Öffentlichkeit Handlungsempfehlungen für eine schnellstmögliche effiziente Reduzierung von CO₂-Emissionen durch Substitution fossiler Energieträger durch regenerative Energieträger erarbeitet werden. Hierbei wird angestrebt, dass elektrischer Überschussstrom in einen speicherbaren, leicht transportierbaren und gasförmigen Energieträger gewandelt wird.

Im ersten vorliegenden Teil dieser Analyse wurden zunächst die zentralen und dezentralen Energieversorgungsketten nach den Gesichtspunkten Primärenergieeffizienz und Klimawirksamkeit beurteilt und verglichen. Ziel des Vergleichs ist eine Priorisierung der verfügbaren Technologien zur Erstellung von ökologisch und wirtschaftlich vertretbaren Ausstiegsszenarien. Um die Systeme vergleichend bewerten zu können, müssen Brennstoffnutzungsgrade und die daraus resultierenden Primärenergiebedarfe und fossile CO₂-Emissionen berechnet werden. Daher wurde in einem ersten Schritt die Strom- und Wärmeerzeugung bzw. die Kombination von Strom- und Wärmeerzeugung der gängigen Brennstoffe Steinkohle, Braunkohle, Erdgas, Holz und Biogas inklusive ihres Lebensweges für typische Kraftwerke und dezentrale Nutzungseinheiten ökologisch und energetisch betrachtet. Zusätzlich wurde die Entwicklung gegenwärtiger häuslicher Energieversorgungssysteme in die Betrachtung einbezogen.

Um den Vergleich der Technologien durchführen sowie die Effizienz ihres Einsatzes beurteilen zu können, ist der Einsatzort der Energie bzw. Technologie und seine Randbedingungen von wesentlicher Bedeutung. Deshalb wurde parallel die Entwicklung des Energiebedarfes und dessen Struktur in der häuslichen Energieversorgung untersucht. Dazu wurden der Hausbestand in Ein-, Mehrfamilien- und Hochhäuser unterschiedlicher Alterstrukturen unterteilt und deren Energieverbrauch identifiziert. Das Ergebnis ist eine Bewertung des Nutzungsgrades einer Energieversorgungskette in Bezug auf das versorgte Objekt.

2 Wesentliche Ergebnisse des Reports

2.1 Analyse der Energieflusketten der zentralen Energieversorgung

Zur Analyse der Energieflusketten der zentralen Energieversorgung wurden insgesamt 56 Varianten auf Effizienz der Umwandlung von Primärenergieträgern zu Strom, Wärme und Erdgassubstitute sowie auf Effizienz der Nutzung mit vorangehender Wandlung und Speicherung von Überschussenergien aus Windkraft und dem damit verbundenen fossil bedingten CO₂-Ausstoß untersucht.

Die Energienutzungsgrade geben dabei den nutzbaren Anteil der Energiemenge wieder, der aus einer definierten Menge Rohstoff (definiert als 100 % und wiedergegeben als Energie) erzeugt werden kann. Zur Berechnung des nutzbaren Anteils werden die Energieaufwände der einzelnen Prozessschritte entsprechend der Reihenfolge der Prozesskette von der definierte Rohstoffmenge abgezogen. Der dabei betrachtete Bilanzraum umfasst den gesamten Lebensweg von der Erzeugung/Förderung bis zur Energiebereitstellung beim Verbraucher inklusive der Energieaufwendungen der in den Bilanzraum zugeführten Stoff- und Energieströme und deren Lebenswege. Neben eigenen Abschätzungen und Berechnungen auf Basis von Literaturangaben wurde das Programm GEMIS (Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme) Version 4.5 zur Berechnung von fossilen Energieverbräuchen insbesondere bei der Biomasseproduktion herangezogen.

Grundsätzlich weisen die regenerativen Energien erwartungsgemäß die geringsten fossilen CO₂-Emissionen auf (s. Abbildung 1). Danach folgt das Erdgas und den Abschluss bilden die Kohlen. Zu erkennen ist bei den Biomassen ebenfalls aufgrund der geringen Abweichungen der fossilen CO₂-Emissionen bei stark unterschiedlichen Gesamtenergienutzungsgraden (= starke Steigung), dass der fossile CO₂-Anfall bei den Biomassen im Wesentlichen bei der Erzeugung der Biomassen entsteht.

Beim Vergleich des fossilen CO₂-Ausstosses des deutschen Strommixes mit den betrachteten Pfaden, wird deutlich, dass die regenerativen Energiequellen und die Abwärmenutzung (KWK) ein großes Minderungspotenzial bzgl. des fossilen CO₂-Ausstosses aufweisen. Ferner ist zu erkennen, dass eine Nutzung von Erdgas in GuD-Kraftwerken eine Absenkung der fossilen CO₂-Emissionen gegenüber Kohle um ca. 50 % bewirken würde. Da bei der Stromerzeugung 2008 ca. 44 % des

Stroms mit Braun- und Steinkohle und mit teilweise niedrigen Wirkungsgrad aufgrund veralteter Kraftwerke erzeugt wurde, kann bei einem Brennstoffwechsel auf Erdgas der neuesten Generation über 25 % der fossilen CO₂-Emission eingespart werden.

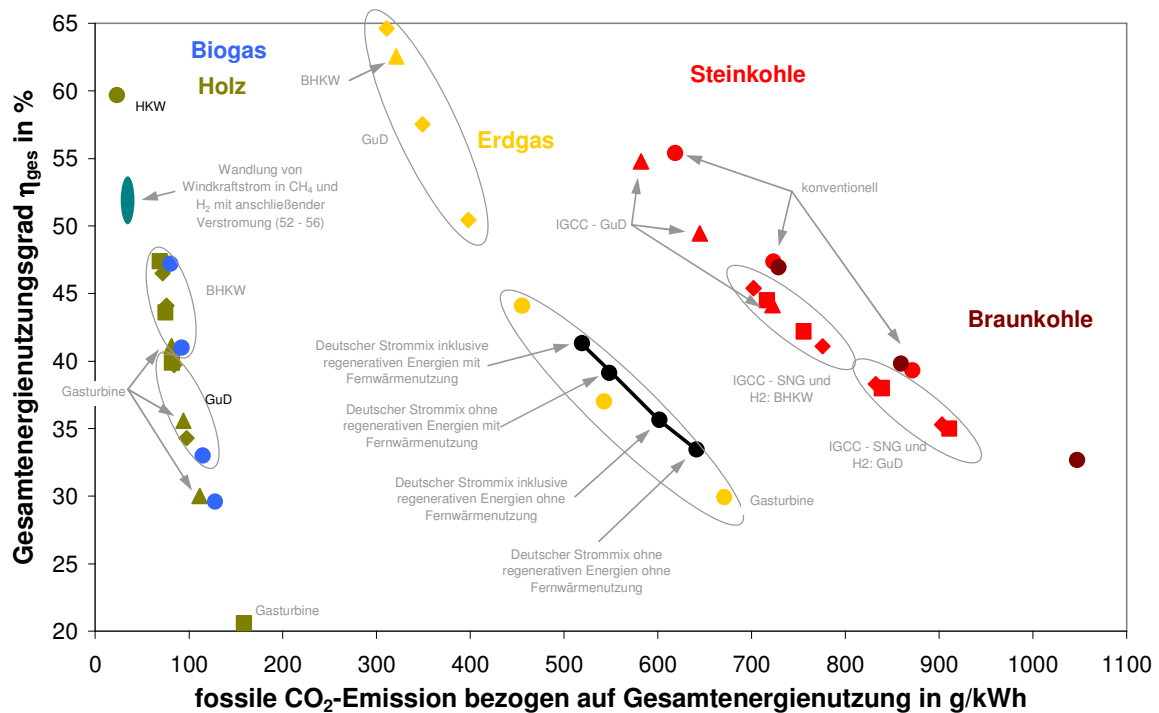


Abbildung 1: Fossile CO₂-Emission im Vergleich mit dem Gesamtenergie nutzungsgrad verschiedener Stromerzeugungsvarianten bei Variationen der nachgeschalteten Wärmenutzung (vergleiche Abbildung 2) [EBI]

Die Nutzung von Überschussenergie aus Windkraft über den Pfad der Wasserstoffherstellung und ggf. Methanisierung mit nachgeschalteter Speicherung und anschließender Verstromung weist hohe Gesamtenergie nutzungsgrade auf. Hierbei wird für die Berechnung der CO₂-Emissionen die elektrische Überschussenergie als Startpunkt ohne die Beachtung der vorgelagerten CO₂-Emissionen bei der Gesteherung gewählt, da sonst die Überschussenergie nicht genutzt werden könnte. Gegenüber der Stromerzeugung mit Kohle ist eine Reduktion der CO₂-Emissionen um den Faktor 20 – 25 bei ähnlichen elektrischen Nutzungsgraden zu erwarten (s. Abbildung 1). Gegenüber Erdgas wird der Faktor halbiert auf ca. 10. Als Wesentlicher Vorteil der Wandlung elektrischer Überschussenergie zu Wasserstoff oder Methan ist die Möglichkeit der Speicherung und die damit verbundene Erhöhung der Versorgungssicherheit. Das gespeicherte Gas kann bei Bedarf in BHKWs oder in Erdgaskraftwerken verstromt werden.

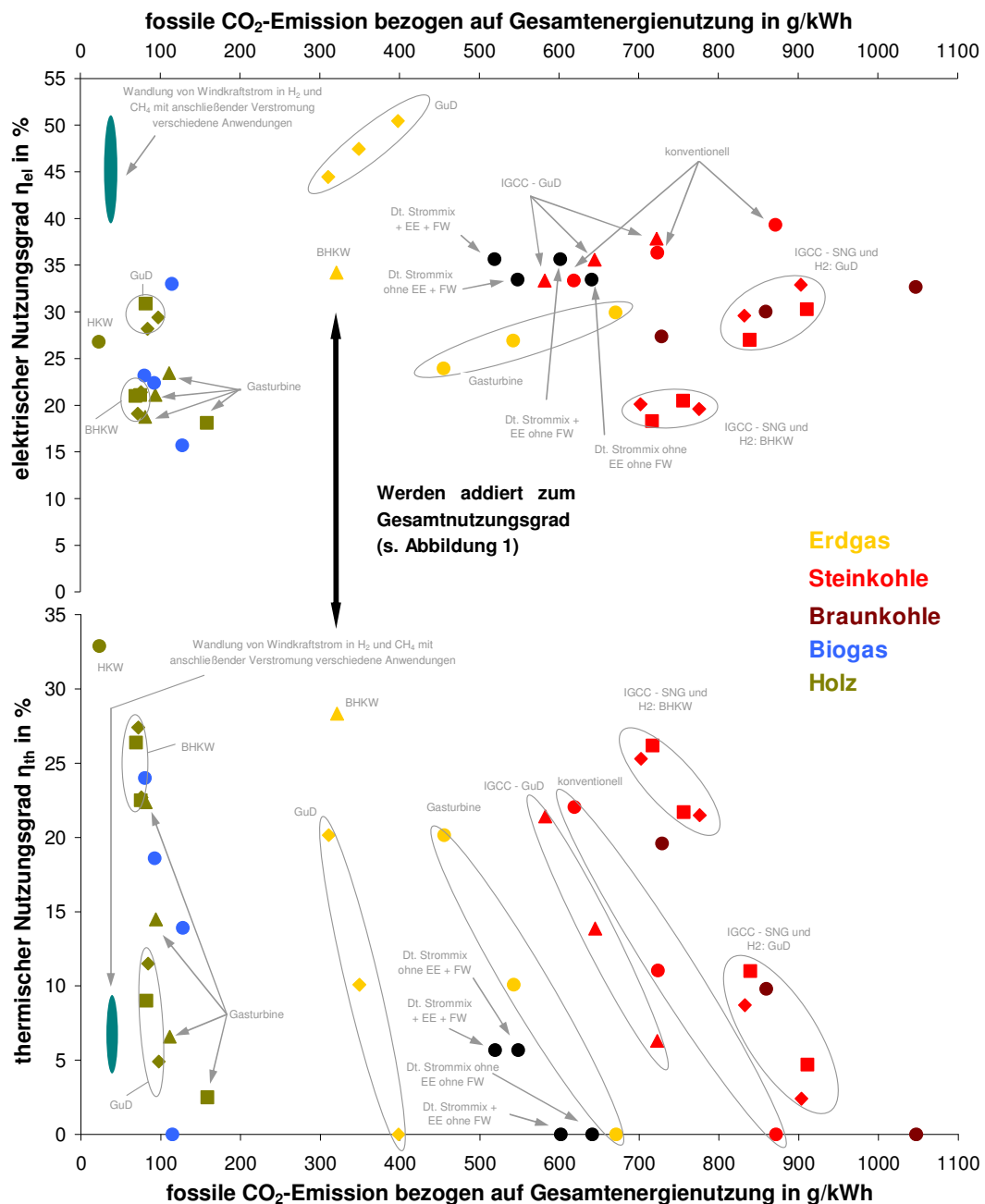


Abbildung 2: Fossile CO₂-Emission im Vergleich mit elektrischem und thermischem Nutzungsgrad verschiedener Stromerzeugungsvarianten bei Variationen der nachgeschalteten Wärmenutzung (vergleiche Abbildung 1) [EBI]

Abbildung 2 teilt den in Abbildung 1 dargestellten Gesamtenergienutzungsgrad in den elektrischen und den thermischen Nutzungsgrad auf. Bei dieser Betrachtung fällt auf, dass hohe elektrische Nutzungsgrade niedrige thermische Nutzungsgrade nach sich ziehen. Ferner ist festzustellen, dass insbesondere kleinere bis mittlere Stromerzeugungsanlagen zwar einen mäßigen elektrischen Nutzungsgrad aber einen hohes Potenzial an Abwärmenutzung (KWK) aufweisen. Deutlich wird dies bei den Biomassepfaden, deren elektrischen Nutzungsgrade zwischen 15 und 35

% und somit unterhalb des deutschen Strommixes liegen. Dies bedeutet, dass für den Ausbau einer effizienten Nutzung der Energieträger verstärkt kleine und mittlere KWK-Kraftwerke gebaut werden müssen, die allerdings die Grundlast (über das Jahr gleichmäßige Wärmeabnahme) bei der Wärmebereitstellung tragen müssen.

2.2 Analyse des Energiebedarfs privater Haushalte

Im Rahmen der Analyse des Wohnungsbestandes in Deutschland wurde auf verschiedene Studien zurückgegriffen. Schwerpunkt war die Ermittlung von Altersklassen der deutschen Wohngebäudestruktur und deren durchschnittlicher Heizwärmebedarf. Neben dem summarischen Heizwärmebedarf sind die Energiebedarfe für Elektrizität und Warmwasser von Bedeutung sowie deren zukünftige Entwicklung unter den Gesichtspunkten des Baus energetisch verbesserter Häuser sowie der energetischen Sanierung von Bestandshäusern. Die Analyse diente gleichzeitig dazu Verbrauchsszenarien für unterschiedliche Haustypen zu definieren um den Gesamtnutzungsgrad von dezentralen Energieversorgungsketten (Abschnitt 2.3) ermitteln zu können.

Schwerpunkt des Energiebedarfs im häuslichen Bereich ist langfristig die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser (s. Abbildung 3). Trotz der Bemühungen der Bundesregierung zur Förderung energieeffizienten Bauens hat sich die Erneuerung von Wohnraum sei es durch Neubau oder Sanierung in den vergangenen Jahren deutlich verlangsamt.

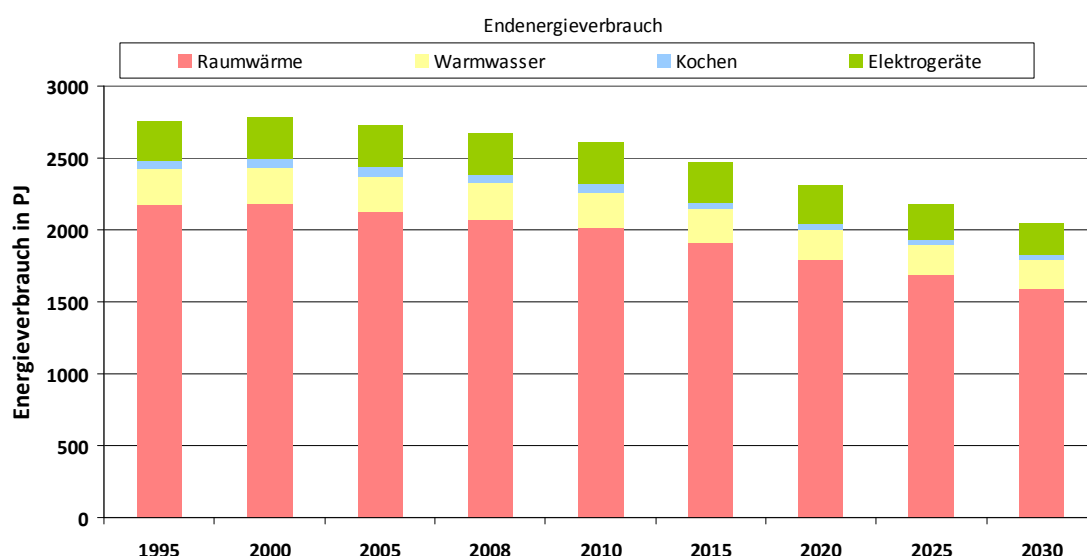


Abbildung 3: Häuslicher Energieverbrauch nach Anwendungsbereichen [Prognos 2009]

Hintergrund sind einerseits demografische Veränderungen in der Bevölkerungsstruktur, eine Sättigung mit Wohnraum aber auch ein anderes Nutzerverhalten. So zeigt sich, dass die Wohnfläche je Wohneinheit bei den Neubauten der vergangenen Dekade um ca. 30 % zugenommen hat und die Anzahl der Bewohner je Wohneinheit zurückgeht (Durchschnittswerte: 1950 ca. 2,8, 1995 ca. 2,22 und 2010 ca. 2,06).

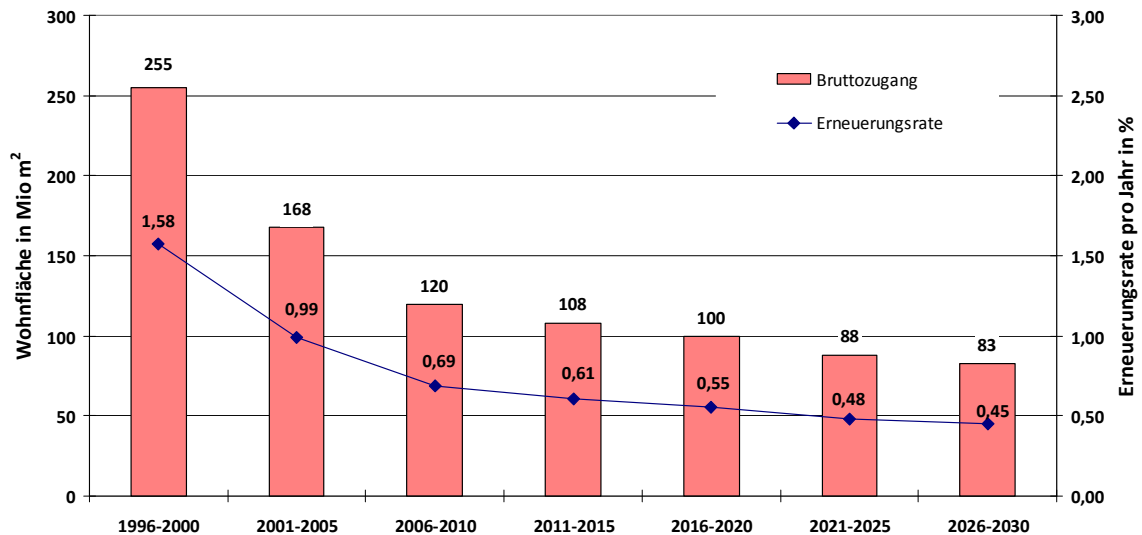


Abbildung 4: Bruttozugang und Erneuerungsraten der Wohnfläche in Deutschland [DBI, nach Prognos 2009]

Am deutlichsten zeigt sich dies an der Erneuerungsrate der Wohnfläche (Abbildung 4). In den kommenden Jahren wird dadurch die Wirksamkeit der Energieeinsparverordnungen zum Bau von Niedrigenergie- und Passivhäusern stark eingeschränkt. Die Bedeutung wird klar wenn man den spezifischen Heizenergiebedarf des Wohnungsbestandes nach den Altersklassen der Gebäude darstellt (Abbildung 5): Der überwiegende Anteil der Wohnfläche besteht aus Wohnungen mit hohem spezifischen Heizwärmebedarf. Energetisch günstigere Mehrfamilienhäuser werden nur noch in vernachlässigbarer Größenordnung zugebaut. Basierend auf dieser Analyse stellen Häuser nach dem Standard von 1984 einen Durchschnittswert für den gegenwärtigen Gebäudebestand dar.

Ähnliches kann für Systeme der Raumwärmeversorgung gezeigt werden. Auch hier zeigt sich ein Investitionsstau. Mit Stand 10/2009 hatten nur 10 % der Heizungssysteme einen thermischen Nennwirkungsgrad zwischen 85 % und 98 % (Alter < 10 Jahre). Der weitaus überwiegende Teil der Heizungssysteme entspricht damit nicht mehr dem Stand der Technik. Die Neuinstallationsrate von Heizungssystemen ist in der vergangene Dekade um 40 % zurückgegangen.

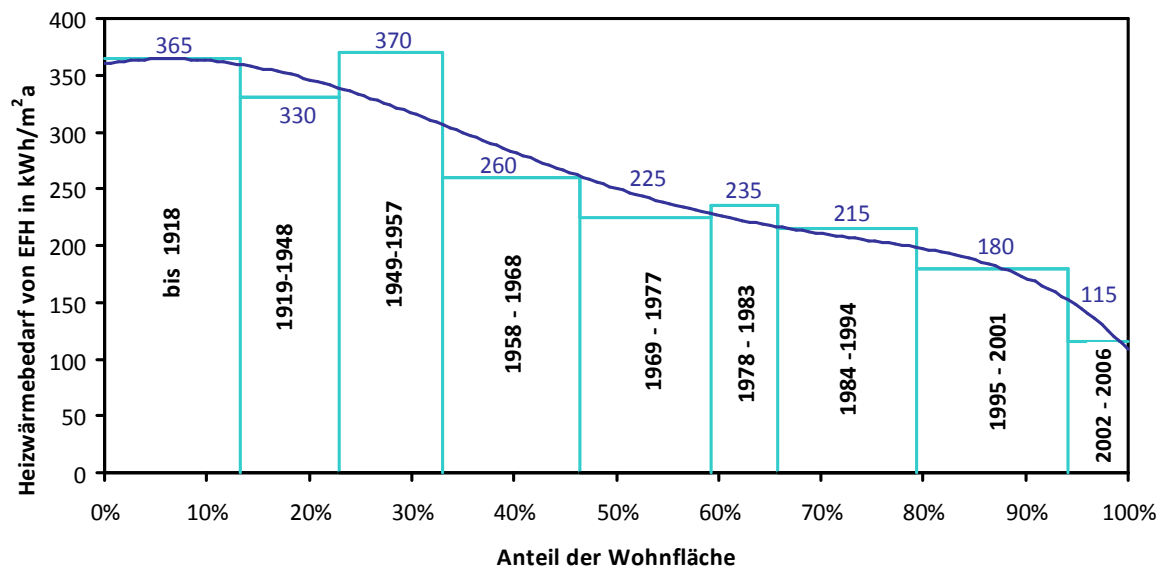


Abbildung 5: Heizwärmebedarf des Bestandes an Einfamilienhäusern in Deutschland [DBI]

Ein Fazit dieser Entwicklung ist die Erkenntnis, dass neben der energetischen Sanierung von Wohnraum, die Erneuerung von hocheffizienten Heizungssystemen befördert werden muss und gleichzeitig müssen in die vorhandenen netzgebundenen Energieversorgungsstrukturen regenerative Energieträger eingebunden werden.

2.3 Analyse der Energieflusketten der dezentralen Erzeugungsketten

Um eine Aussage über den Energieverbrauch der dezentralen Technologien zur Gebäudebeheizung treffen zu können, wurden zunächst geeignete Anlagen für die jeweiligen Wärmebedarfe (ohne nachträgliche Dämmung) identifiziert. Die Energieeffizienz der einzelnen Anlage wird jeweils über den Wirkungsgrad bzw. den Nutzungsgrad beschrieben. Zur Berechnung der Effizienz der Gesamtkette von der Primärenergie zur Nutzenergie wurden neben Herstellerangaben zur Effizienz der betrachteten Anlage auch die ermittelten Werte zum Energiebedarf privater Haushalte (DBI) und die Wirkungsgrade der Umwandlung von Primär- in Endenergie verwendet. Als Basis für die Simulation wurde die VDI 4655 „Referenzlastprofile von Ein- und Mehrfamilienhäusern für den Einsatz von KWK-Anlagen“ genutzt. Beispielhaft wird ein 1984 gebautes Einfamilienhauses mit 3 Bewohnern als Durchschnittswert für den derzeitigen Gebäudebestand betrachtet.

Zur Analyse der dezentralen Erzeugungsketten wurden für die Berechnungen insgesamt 11 verschiedene Anlagen zur Wärme- und ggf. Stromversorgung im häuslichen Bereich betrachtet. Den Rahmen der Untersuchungen bilden hierbei die Niedertemperaturtechnik als derzeit häufigste Anlagenform im Bestandsbau und die SOFC-Brennstoffzelle als Zukunftstechnologie. Dazwischen liegen weitere Mikro-KWK-Anlagen, Elektro- sowie Gaswärmepumpen, Brennwert- und Pelletkessel (s. Abbildung 6). Als derzeitiger Standard wurde die Brennwerttechnik als alleiniger Wärmeenergielieferant und in Verbindung mit einer solarthermischen Trinkwarmwasserunterstützung als bivalente Anlage mit Nutzung erneuerbarer Energien ermittelt. Die Stromheizung, die immer noch eine Rolle im Bestandsbau (besonders in Ballungsgebieten wie dem Ruhrgebiet) spielt, weist im Vergleich zu den bisher betrachteten Variationen einen doppelt so hohen Primärenergiebedarf auf (s. Abbildung 6).

Die benötigte Primärenergie für die Versorgung eines durchschnittlichen, im Jahr 1984 gebauten Einfamilienhauses (Durchschnittswohnung gemäß Abschnitt 2.2) mit 3 Bewohnern und mit unterschiedlicher Technik zur Wärme und Strombereitstellung ausgestattet (11 Anlagen) ist in Abbildung 6 dargestellt. Im Falle einer stromgenerierenden Anlage wird der eingespeiste Strom¹ mit den Wirkungsgraden der Umwandlung von Primärenergie in elektrischen Strom bewertet („Aktueller Deutscher Strommix“).

¹ Unter eingespeisten Strom wird der Überschuss an Strom, nach Abzug des Eigenbedarfs von 5250 kWh (nach VDI 4655) verstanden.

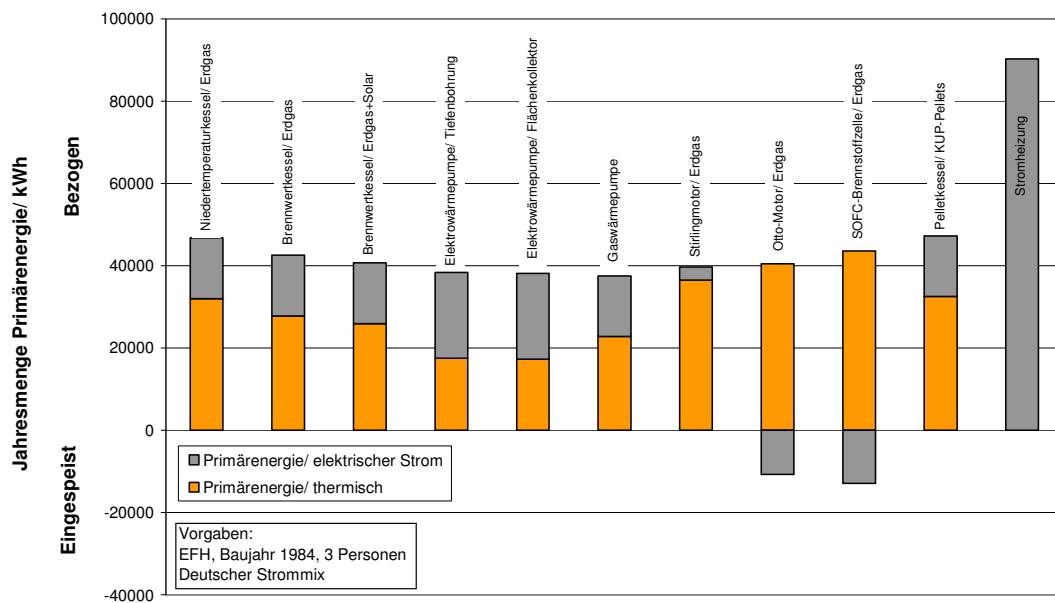


Abbildung 6: Vergleich der bezogenen und der eingespeisten Primärenergien (EFH, Baujahr 1984, 3 Pers.) [GWl]

Bei der Primärenergetischen Betrachtung gilt es zu beachten, dass hier ausschließlich Wirkungsgrade bei der Umwandlung zugrunde gelegt wurden. Der regenerative Anteil, bspw. bei Pelletheizungen findet sich dementsprechend nicht in der Primärenergetischen Bewertung, sondern in der CO₂-Bilanz wieder. Besonders deutlich ist dies in Abbildung 7 und Abbildung 8 zu sehen. Der Pelletkessel, mit der geringsten Gesamtenergieeffizienz, kann durch den nachwachsenden Rohstoff Holz die niedrigsten fossilen CO₂-Emissionen aufweisen.

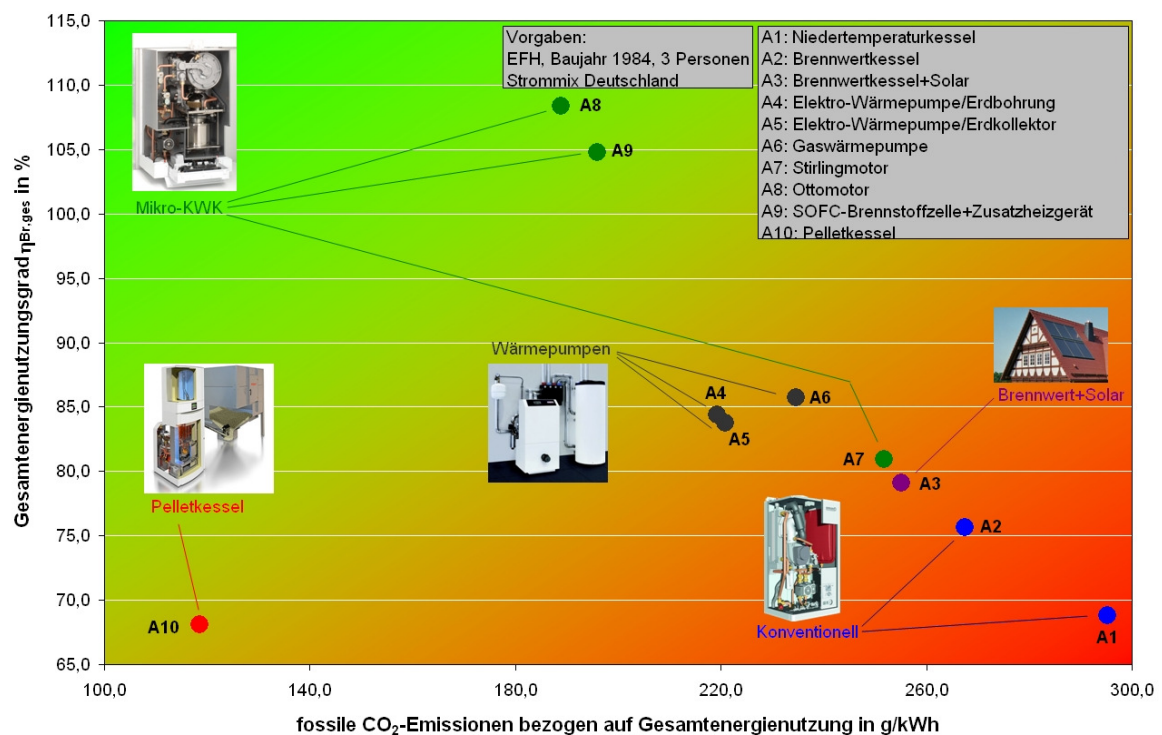


Abbildung 7: fossile CO₂-Emission im Vergleich mit den Gesamtenergie-nutzungsgrad der betrachteten Technologien (EFH, Baujahr 1984, 3 Pers.) [GWl]

Durch den Einsatz innovativer Technologien wie Wärmepumpen- und KWK-Anlagen kann der Primärenergiebedarf im Bestandsbau im zweistelligen Prozentbereich gegenüber der Erdgas-Niedertemperaturheizung reduziert werden (s. Abbildung 8). Insbesondere für diesen Gebäude/Nutzer-Typ gilt, dass gasmotorisch betriebene KWK-Anlagen sowie Hochtemperaturbrennstoffzellen eine attraktive Alternative zur bisherigen Technik darstellen. Der eingespeiste Anteil an elektrischem Strom, umgerechnet auf vermiedene Primärenergie-nutzung, wurde in beiden Fällen der bezogenen Primärenergie abgezogen.

In Abbildung 8 ist die prozentuale Einsparung gegenüber einer Versorgung mit einem konventionellen Erdgasbetriebenen Niedertemperaturkessel an Primärenergie und CO₂-Emissionen dargestellt.

Wird als Einsatzort ein Neubau nach EnEV 2009 zugrunde gelegt, ändern sich die Gesamtnutzungsgrade der einzelnen Technologien aufgrund der unterschiedlichen jährlichen Nutzung des produzierten Wärmeanteils. Unter diesen Umständen sind KWK-Technologien mit hohen elektrischen Wirkungsgraden und geringen thermischen Leistungen deutlich im Vorteil gegenüber den reinen Heizungssystemen (s. Abbildung 9).

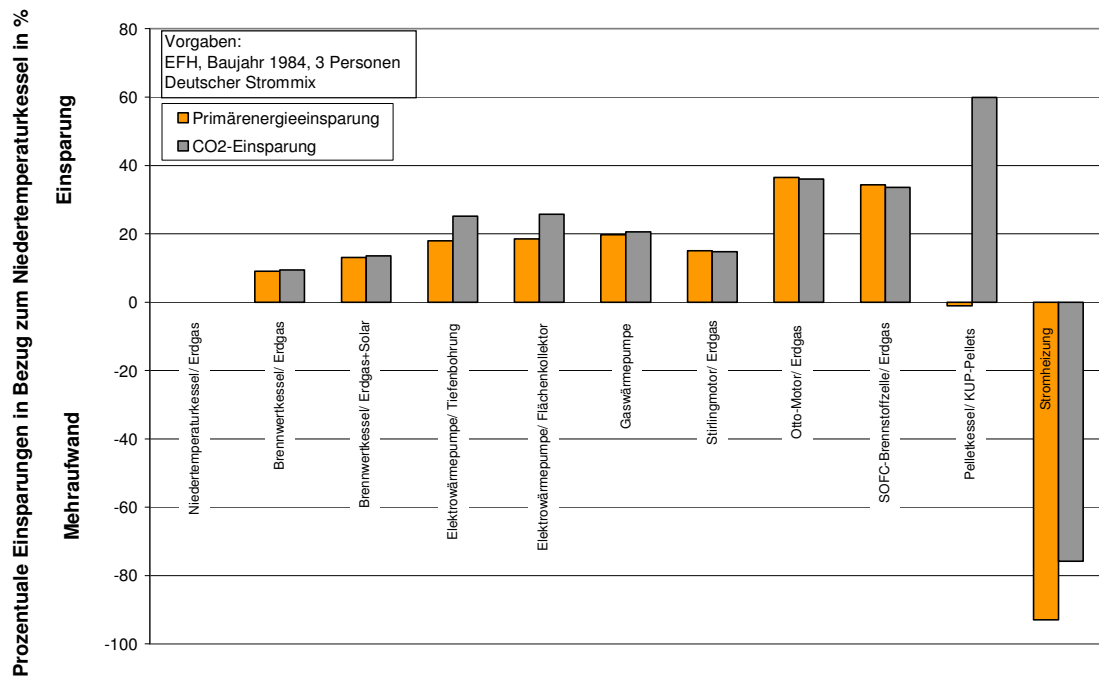


Abbildung 8: Vergleich der prozentualen Einsparungen der betrachteten Systeme gegenüber Niedertemperaturtechnik (EFH, Baujahr 1984, 3 Pers.) [GWl]

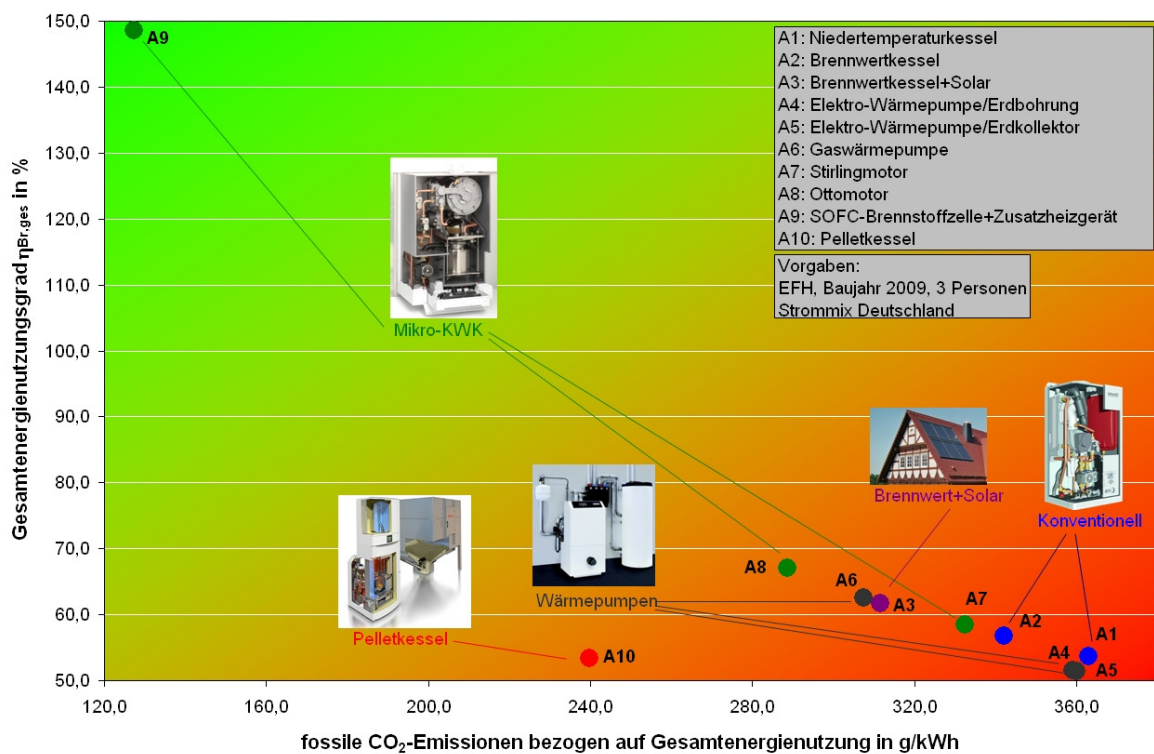


Abbildung 9: fossile CO₂-Emission im Vergleich mit den Gesamtenergie-nutzungsgrad der betrachten Technologien (EFH, Baujahr 2009, 3 Pers.) [GWl]

3 Fazit und Zielgruppen orientierte Handlungsempfehlungen

In diesem Abschnitt sollen aufbauend auf die Ergebnisse der Studie und orientiert nach Zielgruppen Handlungsempfehlungen für eine kurzfristig umsetzbare ökologische sinnvolle und ökonomisch tragbare Umgestaltung der häuslichen Energieversorgung gegeben werden.

3.1 Politische Entscheidungsträger

- a) Schwerpunkt der Effizienzsteigerung in der häuslichen Energieversorgung sollte die Sanierung von bestehenden Wohngebäuden durch Verbesserung der Dämmung und die Integration von Hocheffizienztechnologien in der Raumwärmebereitstellung (Brennwertgeräte mit solarthermischer Unterstützung oder Techniken zur häuslichen KWK) nach volkswirtschaftlichen und ökologischen Kriterien sein.
- b) Mit zunehmendem Energiestandard des Einsatzgebäudes eignen sich KWK-Systeme mit hohem Stromanteil, für Bestandsgebäude sind Brennwertgeräte oder KWK-Systeme mit niedrigem Stromanteil vorzuziehen.
- c) Gasförmige Energieträger haben die höchste Energieeffizienz und den geringsten Klimaeinfluss.
- d) Durch den Einsatz von Biomethan und Windwasserstoff lässt sich die Energieversorgung unter Nutzung vorhandener Infrastruktur und Technologie langfristig auf erneuerbare Energien umstellen.
- e) Einsatz häuslicher KWK kann die Regelung der Stromnetze bei verstärkter Nutzung von Wind- und Sonnenkraft verbessern.
- f) Es müssen Unterstützungsszenarien entwickelt werden, die die Nutzung regenerativen Energieträger offen für alle hocheffizienten Technologien ermöglichen.
- g) In den genannten Gebieten sind Forschungsrichtungen zu unterstützen, um die Ziele zu erreichen.

3.2 Entscheidungsträger in der Energieversorgung

- a) Neu zu entwickelnde Energieversorgungskonzepte müssen einen Systemischen Charakter unter Berücksichtigung aller Netzstrukturen (Strom und Gas) aufzeigen
- b) Aufzeigen, dass die Zusammenarbeit von „Strom-„ und „Gaskonzernen“ notwendig wird.
- c) Energieversorgungsunternehmen müssen sich an Entwicklung und der Markteinführung von Hocheffizienztechnologien stärker beteiligen.
- d) Zur Wertsicherung der vorhandenen Assets ist die Integration von erneuerbaren Energieträgern unumgänglich.

3.3 Private Verbraucher, Haushalte

- a) Privaten Haushalten muss die ökologische Notwendigkeit der Erneuerung alter ineffizienter Geräte deutlich gemacht werden.
- b) Das Bewusstsein für eine Klimaverantwortung jedes einzelnen muss geschärft werden, auch wenn das bedeutet ohne ökonomische Anreize zu handeln.

4 Ausblick

Für den Teil 2 der Studien sind die vorgestellten Einzelszenarien durch einen systemischen Ansatz einer Energieversorgung mit der Integration der häuslichen Kraftwärmekopplung vertieft zu untersuchen. Dazu ist der mögliche Impact auf die Effizienz und die Klimagasemission sowohl dezentral als auch zentral als Gesamtsystem zu analysieren und zu vergleichen.

Es sind Szenarien einer mittelfristigen Umstellung der gesamten Energieversorgung aufzustellen und nach ihrer Kostenstruktur, CO₂-Senkungspotenzial zu vergleichen. Der entsprechende Forschungsbedarf ist aufzuzeigen.



Die DVGW-Innovationsoffensive.

www.dvgw-innovation.de

Systemanalyse – Abschlussbericht Teil I

**Bewertung der Energieversorgung mit leitungsgebundenen
gasförmigen Brennstoffen im Vergleich
zu anderen Energieträgern**

**Analyse der Energieflusketten der dezentralen
Erzeugungsketten**

Abschlussbericht

G 5/04/09-TP1

gefördert durch: DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.
Technisch-wissenschaftlicher Verein

ausgeführt durch: Gaswärme-Institut e. V., Essen

Autoren:

Markus Fischer, Benedikt Scherber, Frank Burmeister



Inhaltsverzeichnis

1	Motivation und Zielstellung	3
2	Screening der Anlagentechnologien	5
2.1	Konventionelle Technologien	6
2.2	Heizungstechnologien mit solarer Unterstützung	10
2.3	Wärmepumpentechnologien.....	11
2.4	Mikro-KWK-Technologien.....	15
2.5	Stromheizungen	18
3	Analyse der Energieflusssketten der dezentralen Erzeugungsketten..	19
3.1	Methodik.....	20
3.2	Symbolik.....	23
3.3	Formeln und Definitionen zum Systemvergleich	24
3.3.1	Benötigte thermische Energiemenge	24
3.3.2	Benötigte elektrische Energiemenge.....	25
3.3.3	Jährlich benötigte Primärenergie (thermisch)	26
3.3.4	Jährlich benötigte Primärenergie (elektrisch)	26
3.3.5	Jährlich benötigte Primärenergie (gesamt).....	27
3.3.6	Primärenergieeinsparung gegenüber Niedertemperaturtechnik.....	27
3.3.7	Brennstoffnutzungsgrad (thermisch)	28
3.3.8	Brennstoffnutzungsgrad (elektrisch).....	28
3.3.9	Brennstoffnutzungsgrad (gesamt)	29
3.3.10	Anlagennutzungsgrad (thermisch).....	30
3.3.11	Anlagennutzungsgrad (elektrisch)	31
3.3.12	Anlagennutzungsgrad (gesamt)	31
3.3.13	CO ₂ -Emissionen (thermisch)	32
3.3.14	CO ₂ -Emissionen (elektrisch)	32
3.3.15	CO ₂ -Emissionen (gesamt)	33
3.3.16	Spezifische CO ₂ -Emissionen.....	33
3.4	VDI 4655 als Ausgangsbasis der Simulation.....	34

3.5	Vorgaben.....	35
3.5.1	Gebäude	35
3.5.2	Vorketten.....	35
3.5.3	Anlagentechnik.....	37
3.5.4	Klimatische Vorgaben	41
4	Simulationsergebnisse: EFH.....	44
4.1	EFH 1958 Deutscher Strommix.....	45
4.2	EFH 1984 Deutscher Strommix.....	50
4.3	EFH 2009 Deutscher Strommix.....	55
4.4	Zusammenfassung: EFH, Deutscher Strommix	59
5	Simulationsergebnisse MFH.....	64
5.1	MFH 1958.....	64
5.2	MFH 1995.....	69
5.3	Zusammenfassung MFH Deutscher Strommix.....	73
6	Weitere Ergebnisse	75
7	Ausblick.....	79
8	Zusammenfassung	80
9	Literatur	81
A	Anhang	82

Autoren:

Markus Fischer, Benedikt Scherber, Frank Burmeister
Gaswärme-Institut e.V. Essen
Essen, 22.Dezember 2010

1 Motivation und Zielstellung

Die politischen Vorgaben zur Reduktion klimaschädigender Gase um 40 % bis 2020 bedeuten, dass die Energiebereitstellung von fossilen Kraftwerken hin zu regenerativen Energiequellen umgestellt werden muss. Hierbei sollen 25–30 % des Strombedarfs und 14 % des Wärmebedarfs regenerativ zur Verfügung gestellt werden. Momentan wird daher von einer deutlichen Erhöhung der Strombereitstellung durch Wind und Sonne ausgegangen, was aufgrund von Wetteränderungen zu einer stark schwankenden Stromgestehung führt. Der Erzeugung steht ein Verbrauch gegenüber, der je nach Jahres- und Tageszeit schwankt. Die derzeit diskutierten Szenarien basieren meist auf der Ausregelung von Über- und Unterkapazitäten. Als Konsequenz daraus ist die Verteilung von Strom europaweit über große Entfernungen in Ballungsgebiete bzw. in Gebiete mit hoher Industriedichte sowie die flexible Speicherung von elektrischer Energie notwendig. Die Speicherung wird jedoch voraussichtlich mittelfristig nicht ausreichend und kostengünstig zur Verfügung stehen. Um kurz und mittelfristig einen Übergang von der fossilen auf eine regenerative Energiewirtschaft zu erreichen, müssen vorhandene Assets und deren Möglichkeiten in diese Szenarien aufgenommen werden. Gasförmige Energieträger haben weltweit – insbesondere in Deutschland – eine mehr als 150 jährige Entwicklungsgeschichte. Sie verfügen über eine hervorragend ausgebaute moderne Infrastruktur aus Transport- und Verteilnetzen sowie sehr großen Speicherkapazitäten. Innerhalb dieser Strukturen wurde Wasserstoff im Stadtgas und wird Methan im Erdgas als Energieträger transportiert und verwendet. Ziel eines langfristig, politisch gewollten Ausstiegs aus der fossilen Energiewirtschaft muss es – aufbauend auf diesem Potenzial – somit sein, die Integration regenerativer Energieträger (Biomethan und Windwasserstoff) voranzutreiben.

Einen kurzfristig verwirklichtbaren Lösungsansatz zur Verteilung und Speicherung elektrischer Überschussenergie stellt die Wandlung von Strom in Wasserstoff dar. Der Wasserstoff kann sowohl direkt in das Erdgasnetz zugemischt werden als auch mit Kohlenstoffdioxid aus z. B. CCS-Kraftwerken oder Biogaseinspeiseanlagen zu Methan weiterverarbeitet und eingespeist werden. Beide Energieträger können damit einer Nutzung in hocheffizienten Gasverwendungssystemen bzw. einer Speicherung zugeführt werden. Diese Nutzungswege werden in ersten Pilotanlagen erprobt.

Mit dem vorliegenden Projekt sollen unvoreingenommen die Effizienz der Nutzungsketten verschiedener Energieträger und deren Auswirkung auf den Klimawandel durch Treibhausgase untersucht werden. Auf der Basis der

Ergebnisse sollten politischen und wirtschaftlichen Entscheidungsträgern sowie der Öffentlichkeit Handlungsempfehlungen für eine schnellstmögliche effiziente Reduzierung von CO₂-Emissionen durch Substitution fossiler Energieträger durch regenerative Energieträger erarbeitet werden. Hierbei wird angestrebt, dass elektrischer Überschussstrom in einen speicherbaren, leicht transportierbaren und gasförmigen Energieträger gewandelt wird.

Im ersten vorliegenden Teil dieser Analyse wurden zunächst die zentralen und dezentralen Energieversorgungsketten nach den Gesichtspunkten Primärenergieeffizienz und Klimawirksamkeit beurteilt und verglichen. Ziel des Vergleichs ist eine Priorisierung der verfügbaren Technologien zur Erstellung von ökologisch und wirtschaftlich vertretbaren Ausstiegsszenarien. Um die Systeme vergleichend bewerten zu können, müssen Brennstoffnutzungsgrade und die daraus resultierenden Primärenergiebedarfe und fossile CO₂-Emissionen berechnet werden. Daher wurde in einem ersten Schritt die Strom- und Wärmeherzeugung bzw. die Kombination von Strom- und Wärmeherzeugung der gängigen Brennstoffe Steinkohle, Braunkohle, Erdgas, Holz und Biogas inklusive ihres Lebensweges für typische Kraftwerke und dezentrale Nutzungseinheiten ökologisch und energetisch betrachtet. Zusätzlich wurde die Entwicklung gegenwärtiger häuslicher Energieversorgungssysteme in die Betrachtung einbezogen.

Um den Vergleich der Technologien durchführen sowie die Effizienz ihres Einsatzes beurteilen zu können, ist der Einsatzort der Energie bzw. Technologie und seine Randbedingungen von wesentlicher Bedeutung. Deshalb wurde parallel die Entwicklung des Energiebedarfes und dessen Struktur in der häuslichen Energieversorgung untersucht. Dazu wurden der Hausbestand in Ein-, Mehrfamilien- und Hochhäuser unterschiedlicher Altersstrukturen unterteilt und deren Energieverbrauch identifiziert. Das Ergebnis ist eine Bewertung des Nutzungsgrades einer Energieversorgungskette in Bezug auf das versorgte Objekt.

Die vorliegende Arbeit behandelt den Teil „Analyse der Energieflussketten der dezentralen Erzeugungsketten“.

2 Screening der Anlagentechnologien

Noch bis vor wenigen Jahren gab es für den Hausbauer als auch den Haussanierer kaum Möglichkeiten aus einer Vielzahl von Systemen, Technologien und Energieträgern zu wählen. Alte Heizkessel und Festbrennstofffeuerungen wurden in der Regel, je nach Anschlussbedingungen (Gasanschluss) mit gas- oder ölbetriebenen Niedertemperaturkesseln ersetzt. Ab den 90er Jahren war es dann insbesondere der Gasbrennwertkessel, der in den meisten Fällen als Austauschgerät und für den Neubau eingesetzt wurde. Neben diesem konnte die Elektrokomppressionswärmepumpe immer weiter entwickelt werden, so dass sie heute als ausgereifte Technik anzusehen ist. Weiterhin wurden moderne Festbrennstofffeuerungen entwickelt sowie Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen im kleinen Leistungsbereich.

2.1 Konventionelle Technologien

Im Rahmen dieser Arbeit werden als konventionelle Technologien solche bezeichnet, die chemisch gebundene Energie durch eine Verbrennungsreaktion ausschließlich in Wärme umwandeln und keine direkte Einbindung von regenerativen Quellen vorsehen. Aus diesem Grund werden daher auch im weiteren Verlauf die Holzpelletkessel sowie alle weiteren Festbrennstoffkessel unter konventionellen Technologien aufgeführt. Alle aufgeführten Technologien sind markteingeführt und insbesondere die Niedertemperaturtechnik sowie die Brennwerttechnik sind seit Jahren etabliert und technisch ausgereift.

Tabelle 2.1 gibt einen Überblick über die wichtigsten derzeit am Markt erhältlichen konventionellen Technologien.

Technologie	Erläuterungen
Niedertemperaturkessel	Ein Niedertemperaturkessel entspricht im Wesentlichen dem konventionellen Heizkessel. Der maßgebliche Unterschied zwischen diesen Kesselarten ist die Betriebstemperatur des Kessels. Über eine Absenkung der Betriebstemperatur werden die hohen Wärmeübertragungsverluste verringert und es wird eine Effizienzsteigerung erreicht. Die Betriebstemperatur kann dabei nur soweit gesenkt werden, dass es nicht zum Auskondensieren des im Abgas enthaltenen Wasserdampfes (Korrosionsgefahr) kommt. Maßgeblich hierfür ist die Rücklauftemperatur. Sollte diese unter die Taupunkttemperatur des Wasserdampfes fallen, ist ein auskondensieren nicht zu verhindern. In der Regel wird daher bei der hydraulischen Einbindung in das Hausnetz eine Rücklauftemperaturanhebung vorgesehen. Diese sorgt mit einer Zumischung von Wasser aus dem Heizungsvorlauf für eine ausreichend hohe Rücklauftemperatur. Niedertemperaturheizkessel können prinzipiell in jedem Gebäude zur Beheizung eingesetzt werden. Die Technik ist bewährt und seit Jahrzehnten auf dem Markt etabliert. Die Wirkungsgrade aktueller Geräte bewegen sich in einem Rahmen

	<p>von 92 % bis 97 %. Bei der Installation von Niedertemperaturkesseln gibt es keine großen Hindernisse. Einzig der Schornstein muss für einen Niedertemperaturbetrieb geeignet sein, eine Modernisierung von Abgasanlagen ist mit der heutigen Technik allerdings in der Regel einfach, schnell und ohne hohe Kosten durchführbar.</p>
Brennwertkessel	<p>Der Brennwertkessel kann in der heutigen Zeit als Referenzanlage gesehen werden. Nach annähernd 20 Jahren auf dem Markt und stetiger Weiterentwicklung kann mit der modernen Brennwerttechnik annähernd das physikalische Optimum bei der Verbrennung von Energieträgern erreicht werden. Auf den Heizwert des Energieträgers bezogene Wirkungsgrade von bis zu 111 % bei Gas und 106 % bei Heizöl sind möglich. Brennwertkessel zeichnen sich durch ihre Vielseitigkeit und Zuverlässigkeit aus. Wandhängende Geräte liefern Leistungen bis zu 100 kW und können in Kaskaden hintereinandergeschaltet werden, um eine höhere Wärmeleistung zu erreichen. Bodenstehende Brennwertkessel sind in der Lage mehr als 10000 kW Wärmeleistung bereitzustellen.</p> <p>In Deutschland ist diese Art der Gebäudebeheizung mit einem Marktanteil von 48,6% und im Jahr 2008 rund 310000 verkauften Erdgas-Brennwertkesseln die zurzeit beliebteste [1].</p> <p>In Verbindung mit einer thermischen Solaranlage lässt sich der Energieeinsatz weiter verringern und macht dieses System bei Neubauten und im Bestand interessant.</p>
Holzpelletkessel	<p>Pellets sind aus Sägemehl gepresste Briketts. Die Dicke liegt bei ca. 6mm und die Länge variiert zwischen 5 und 40mm. Der Vorteil von Pellets liegt in ihrer Homogenität. Durch die Mischung von verschiedenen Holzlieferungen bei der Produktion kann eine gleich bleibende durchschnittliche Qualität gewährleistet werden. Beim Produktionsvorgang können chemische Verbindungen zugesetzt werden,</p>

	<p>um die Verbrennungseigenschaften zu verbessern. Außerdem wird durch den Verdichtungs Vorgang eine Trocknung des Holzes erreicht. Eine gesteigerte volumetrische Energiedichte bringt zusätzlich logistische Vorteile mit sich.</p> <p>Allerdings muss für die Herstellung von Holzpellets zusätzlich Geld und Energie aufgebracht werden.</p> <p>Pellets werden in einem Tank gelagert und über eine Schneckenpumpe oder ein Förderband in den Feuerungsraum gefördert. Die automatisierte Beschickung der Förderung hat einen positiven Effekt auf den Wirkungsgrad, da so Bedienerfehler wie z.B. eine Überladung des Feuerraumes verhindert werden.</p> <p>Die geringe Größe im Gegensatz zu Scheitholz und die größere Homogenität im Gegensatz zu Hackschnitzel ermöglicht eine konstantere und effizientere Betriebsweise. Darum ist es auch möglich die Anlage über einen größeren Leistungsbereich (ca. 30 % bis 100 % der Nennwärmeleistung) zu betreiben und damit einen kleineren Wärmespeicher zu wählen.</p> <p>Ein Pelletkessel stößt pro Normkubikmeter ca. 25mg Staub aus.</p> <p>Mittlerweile kann mit einem Pelletkessel ein Wirkungsgrad von bis zu 95 % erreicht werden.</p> <p>Im Jahr 2008 waren 105.000 Pelletkessel in Deutschland installiert [1].</p>
Scheitholzkessel	<p>Zu Scheitholzfeuerungen zählen auch alte Kaminöfen. Im Gegensatz zu anderen Holzheizungen muss man bei einer Scheitholzheizung Holz nachlegen, was aber auch im Winter nicht mehr als einmal pro Tag geschehen muss. Die heutigen Kessel funktionieren nach dem Prinzip des unteren Abbrandes, dabei ist nur die untere Brennstoffschicht an der Verbrennung beteiligt. Es kann zusätzlich nach vertikalem unterem und seitlichem unterem Abbrand unterschieden werden. Beiden Bauformen ist gemein, dass die Flamme nicht durch den Brennstoff brennt, sondern in</p>

	<p>einer separaten Brennkammer abbrennt. Diese Art der Verbrennung hat den Vorteil, dass eine seltenere Nachfüllung als bei der normalen Durchbrand-Verbrennung stattfinden muss. Außerdem sind die Emissionen geringer.</p> <p>Ein Holzscheitkessel stößt pro Normkubikmeter ungefähr 40mg Staub aus.</p> <p>Typische Scheitholzessel weisen einen Wirkungsgrad von ca. 85 % auf und erreichen eine Leistung von bis zu 50kW. Ein Teillastbetrieb ist meistens bei mindestens 50 % der Nennwärmeleistung möglich.</p>
Holzhackschnitzelkessel	<p>Hackschnitzel werden meist als Abfallprodukte aus der Land- und Forstwirtschaft gewonnen. Die Qualität ist meist durchwachsen und je nach äußeren Umständen der Gewinnung und Lagerung von einem hohen Wassergehalt gekennzeichnet. All dies führt zu einer sinkenden Effizienz. Allerdings ist durch die kleine Größe der Hackschnitzel eine konstantere und genauere Betriebsweise möglich. Die mögliche Nutzung eines Abfallproduktes zur Heizung macht die Hackschnitzel wirtschaftlich interessant. Vor allem für Forstbesitzer stellen Hackschnitzelanlagen eine sehr gute Möglichkeit zur Erzeugung von Raumwärme dar.</p> <p>Hackschnitzelanlagen können wie Pelletkessel in einem Lastbereich von 30 %-100 % betrieben werden und somit ist ein Wärmespeicher nicht zwingend erforderlich. Ein Einbau steigert aber die Effizienz und Umweltverträglichkeit, weil die Anlagen dann nicht mehr im Start-Stop-Modus betrieben werden müssen.</p>

Tabelle 2.1: Überblick konventioneller Heiztechniken

2.2 Heizungstechnologien mit solarer Unterstützung

Eine bewährte und weitgehend ausgereifte Methode die zuvor beschriebene Brennwerttechnik zu verbessern, ist die zusätzliche Einbindung einer Solaranlage. In Deutschland treffen durchschnittlich im Jahr 1000 kWh/m² Sonnenenergie auf die Erdoberfläche. Diese Strahlung kann zwar nur begrenzt genutzt werden, führt jedoch bei geschickter Einbindung zu einer Verbesserung des Heizsystems. Prinzipiell kann bei den Solaranlagen zwischen zwei Systemvarianten unterschieden werden. Zum einen kann die von der Sonne kostenlos gelieferte Energie ausschließlich zur Trinkwassererwärmung genutzt werden, oder zur kombinierten Trinkwassererwärmung mit Heizungsunterstützung.

Technologie	Erläuterungen
Brennwertkessel+ Solarunterstützung	<p>Die erneuerbare Energie soll vorrangig zur Deckung des Wärmebedarfes genutzt werden, solange keine hygienischen oder Komfort Einbußen zu erwarten sind. Der Solarspeicher ist das Herzstück oder viel mehr das zentrale Bauteil dieses Anlagentyps, sämtliche Wärmelieferanten und Wärmenutzer sind daran angeschlossen. Das Kollektorfeld wandelt die solare Strahlung in Wärme um und gibt diese an das zirkulierende Wärmeträgermedium ab.</p> <p>Bei der Planung eines solchen Systems gibt es einige zusätzliche Faktoren zu berücksichtigen die bei einem konventionellen System nicht erforderlich sind. Beispielsweise der Speicher: Dieser sorgt für den Ausgleich der zeitlich versetzten Wärmebedarfe und Wärmelieferung und trägt somit einen großen Anteil an der Effizienz des Systems. Je nach System und Auslegung werden Warmwasserspeicher mit 300l bis über 1000l notwendig.</p> <p>Das Kollektorfeld und die damit erzielbare Leistung ist stark abhängig von dem Aufstellort, der Dachneigung, der Ausrichtung und zusätzlich von der Verschattung durch Bäume oder andere schattenbildende Gegen-</p>

	<p>stände. Daher ist eine genaue Begutachtung des Aufstellortes dringend zu empfehlen.</p> <p>Wie bereits beschrieben handelt es sich bei diesem System um eine Verbesserung des Brennwertgerätes. Wirk- und Nutzungsgrade werden ebenfalls auf den Heizwert des Brennstoffes bezogen und liegen bei einwandfreiem Einbau und einer gut durchdachten Regelstrategie über denen des reinen Brennwertgerätes. Bei gut gedämmten Gebäuden können die Deckungsanteile der Solaranlage 35 % des gesamten Wärmebedarfes betragen, dies verdeutlicht das Potential solcher Anlagen. Die gängige Praxis zeigt jedoch, dass die Wärmebedarfe von Gebäuden höher sind und die Deckungsanteile entsprechend geringer.</p> <p>Die Wirkungsgrade der Kollektoren geben zwar Aufschluss über die nutzbare solare Strahlung, jedoch lässt sich einzig darüber kein Rückschluss auf die erzielbaren Einsparungen treffen.</p>
--	---

Tabelle 2.2: Übersicht Heizungstechnik mit solarer Unterstützung

2.3 Wärmepumpentechnologien

Wärmepumpen erfreuen sich zunehmender Beliebtheit – insbesondere im Neubau. Hervorzuheben sind hierbei die Elektrowärmepumpen, die in den letzten Jahren enorm an Akzeptanz in der Bevölkerung sowie in der Politik gewonnen haben. Gaswärmepumpen, deren allgemeine Tauglichkeit unter verschiedenen Gesichtspunkten in Feldtests bewiesen werden konnten [2], stehen kurz vor der Markteinführung. Unterschieden werden Gaswärmepumpen durch ihre Verdichtereinheit. Die Ad- und Absorptionswärmepumpen werden angetrieben durch einen thermischen Verdichter, während Gasmotorwärmepumpen durch einen kleinen Gasmotor angetrieben werden.

Technologie	Erläuterungen
Elektrowärmepumpe	<p>Elektrowärmepumpen beruhen auf dem Prinzip eines Kältschranks, nur dass die kalte und die warme Seite vertauscht sind. In der Wärmepumpe zirkuliert ein Kältemittel, welches schon bei geringen Temperaturen verdampft. Das dampfförmige Kältemittel wird durch externe Energie verdichtet, wobei neben dem Druck auch die Temperatur steigt. Im Anschluss wird das Kältemittel wieder verflüssigt und gibt dabei die extern zugeführte Energie und die Umweltenergie als Wärmeenergie ab.</p> <p>Die Effizienz der Wärmepumpe wird durch die Arbeitszahl angegeben, diese Kennzahl beschreibt das Verhältnis von eingesetzter elektrischer Energie zu gewonnener Wärmeenergie. Eine Wärmepumpe mit einer Arbeitszahl 4 liefert also für je eine eingesetzte Kilowattstunde Strom bis zu 4 Kilowattstunden Wärme.</p> <p>Die Leistung einer Wärmepumpe ist in fast allen Fällen aus wirtschaftlichen Gründen nicht auf die Spitzenlast ausgelegt, so dass durch eine Stromheizung oder seltener durch einen Brennstoffkessel die Spitzenlast gedeckt werden muss.</p> <p>Eine Wärmepumpe wird im Idealfall mit großen Heizflächen und damit geringen Vorlauftemperaturen kombiniert. Bei kleinen Heizflächen sind höhere Vorlauftemperaturen erforderlich, die nur mit einer Effizienzeinbuße zu erreichen sind.</p> <p>Als Wärmequellen können die Umgebungsluft, das Grundwasser oder das Erdreich dienen. Die Wärme aus dem Erdreich kann entweder mit einer Flächensonde oder über Tiefensonden erfolgen. Die Flächensonden werden dabei in einer Tiefe von ca. 1,20m und über eine ungefähre Fläche der doppelten zu beheizenden Wohnfläche verlegt, während die Tiefensonde aus einigen Rohren besteht, die in einer bis zu 100m tiefen Bohrung eingebracht werden.</p>

	<p>Laut dem Bundesverband Wärmepumpe [3] wurde für 2009 mit einer Stückzahl von 54800 Wärmepumpen ein leichter Rückgang der Absatzzahlen verzeichnet.</p> <p>Wurden auch 2009 gut 7.000 Wärmepumpen weniger verbaut als im Vorjahr, so sind doch mittlerweile insgesamt rund 334.000 Wärmepumpen in Deutschland installiert. Dabei ziehen mehr als 55 % der 2009 verkauften Heizungswärmepumpen Wärme aus Erdreich und Grundwasser und 44,6 % der verkauften Wärmepumpen nutzen die Wärme der Umgebungsluft.</p>
Gaswärmepumpen	<p>Neben elektrisch betriebenen Wärmepumpen sind auch gasbetriebene Wärmepumpen erhältlich. Die Wirkungsweise beruht auf dem gleichen Prinzip, allerdings gibt es verschiedene Bauweisen. Die Elektrowärmepumpe erzeugt mit elektrischer Energie Antriebsenergie um das Kältemittel zu verdichten, ein Betrieb mit Gas ermöglicht zusätzlich Wärmepumpen die mit dem Prinzip der Absorption bzw. der Adsorption arbeiten.</p> <p>Ein Vorteil der Gaswärmepumpen gegenüber Elektrowärmepumpen ist die Möglichkeit, den Spitzenlast- und den Warmwasserbedarf durch eine Gasfeuerung anstatt mit einer Stromheizung zu decken.</p> <p>Die Kennzahl für die Effizienz einer Gaswärmepumpe ist die Heizzahl, die aber das gleiche beschreibt, wie die Arbeitszahl und zwar das Verhältnis von eingesetzter externer Energie im Verhältnis zur gewonnenen Wärmeenergie. Die Heizzahl ist immer kleiner als die Arbeitszahl, da unter anderem die Umwandlungsverluste bei der Stromerzeugung nicht berücksichtigt werden.</p> <p>Gaswärmepumpen sind in einem Leistungsbereich von einigen Kilowatt bis in den Megawattbereich verfügbar und können somit sowohl in Einfamilienhäusern als auch in großen Betrieben eingesetzt werden.</p> <p>Eine gasbetriebene Wärmepumpe kann ein Gebäude</p>

	<p>heizen und kühlen. Das wird durch eine Umkehrung des Prozesses erreicht. Bei einer Anwendung, die sowohl Heiz- als auch Kühlleistung benötigt, kann dadurch ein Teil der sonst anfallenden Investitionskosten eingespart werden.</p> <p>Die Absorptionswärmepumpe verfügt über einen beheizten Verdichter, in dem das Gemisch aus Lösungsmittel und Kältemittel in einem Generator von einem Gasbrenner erhitzt wird. Das Kältemittel verdampft hierbei und trennt sich vom Lösungsmittel. Der Dampf wird in einen Wärmeübertrager (Kondensator) geleitet, wo er von der Luft, d. h. mit Umgebungstemperatur, abgekühlt wird und wieder in einen flüssigen Zustand übergeht. Anschließend wird das flüssige Kältemittel in einen zweiten Wärmeübertrager (Verdampfer) geleitet, in dem es das Wasser des Außenkreislaufs abkühlt und dabei dessen Wärme aufnimmt, d. h. wieder in den dampfförmigen Zustand übergeht. Das dampfförmige Kältemittel wird durch das Lösungsmittel geführt und von diesem absorbiert. Das Gemisch aus Kältemittel und Lösungsmittel wird erhitzt und das Kältemittel verdampft und es beginnt ein neuer Kreisprozess. Wird Helium als Hilfs-gas eingesetzt, ist es möglich, die Verdampfungstemperaturen zu senken. So kann das Kältemittel bis zu -25°C verdampft werden. Die Heizzahl einer Absorptionswärmepumpe liegt in etwa bei einem Wert von 1,7. Die Kälteleistungszahl liegt meistens unter der Heizleistungszahl.</p> <p>Bei der Adsorptionswärmepumpe wird die Umweltwärme mit Hilfe eines Adsorptionsprozesses in das Haus transportiert. Das Kältemittel wird durch die Umweltwärme verdampft und dann von einem Adsorbens aufgenommen. Dabei entsteht Adsorptionswärme, die zum Heizen genutzt werden kann. Zur Regeneration des Adsorbens wird ein Gasbrenner eingesetzt. Durch Erhitzung wird das Kältemittel wieder dampfförmig und der Kreislauf kann von neuem beginnen. Die üblichen Stoffe, die eingesetzt werden,</p>
--	---

	<p>sind Wasser als Kältemittel und Zeolith als Adsorbens. Damit Wasser bei Umgebungstemperaturen verdampft werden kann, wird der Prozess unter einem starken Unterdruck durchgeführt.</p> <p>Eine weitere Eigenschaft, die die Adsorptionspumpe von den anderen Techniken unterscheidet, ist dass der Prozess kein Kreisprozess ist, sondern ein periodischer Prozess. Darum werden mehrere einzelne Module zusammengeschaltet, wovon immer jeweils zwei versetzt arbeiten.</p> <p>Mit einer Adsorptionswärmepumpe wird eine Heizzahl um 1,3 erreicht, allerdings ist die Technik im Moment noch nicht ausgereift, so dass eine Steigerung erwartet werden kann.</p>
--	--

Tabelle 2.3: Übersicht Wärmepumpentechnologien

2.4 Mikro-KWK-Technologien

Der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) wird auf politischer und technologischer Ebene eine große Bedeutung für die Wärme- und Stromversorgung beigemessen. In der Hausenergieversorgung stellen Mikro-KWK-Anlagen aufgrund ihrer Brennstoffnutzungsgrade eine hocheffiziente Alternative zu konventionellen Technologien dar. Viele der Anlagen stehen kurz vor der Markteinführung bzw. sind schon Marktverfügbar wie beispielsweise der Otto-Motor oder auch einzelne Stirlinggeräte. Die Brennstoffzelle zeigt vielversprechende Ansätze in Feldtestuntersuchungen sowie im Laborbetrieb und stellt die nächste Generation von Mikro-KWK-Anlagen dar.

Technologie	Erläuterungen
Ottomotor	Der Ottomotor, als derzeit wohl bekannteste KWK-Technologie, ist in sämtlichen Leistungsgrößen erhältlich. Hier wird der Generator über eine Welle durch den Verbrennungsmotor angetrieben. Für den häuslichen Einsatz werden Anlagen mit elektrischen Leistungen von ca. 1kW–5,5kW eingesetzt. KWK-Anlagen mit Ottomotor sind im großen Leistungs-

	<p>bereich sehr weit verbreitet und technisch ausgereift. Auch im Mikro-KWK-Bereich gibt es bereits marktverfügbare Geräte. Diese profitieren vom Erfahrungsschatz der großen Leistungsklassen und können daher auch im kleinen Leistungsbereich als Stand der Technik angesehen werden. Mit elektrischen Wirkungsgraden von bis zu 30 % weisen sie von den motorisch betriebenen KWK-Anlagen die höchste Effizienz bei der Stromerzeugung auf. Durch Nutzung der Abwärme werden Brennstoffnutzungsgrade von über 90 % erreicht. Ähnlich wie bei den im Automobilbereich verwendeten Ottomotoren ist eine regelmäßige Wartung (Ölwechsel etc.) notwendig. Die Emissionen bei der Verbrennungsreaktion im geschlossenen Brennraum erfordern etwas mehr Aufmerksamkeit als bei anderen Mikro-KWK-Technologien mit externer Wärmezufuhr. Schwingungen beim Betrieb des Motors können Schallemissionen zur Folge haben, welche durch konstruktive Einbauten zwar gemindert aber nicht vollständig ausgeschlossen werden können.</p>
Stirlingmotor	<p>Das Prinzip des Stirlingmotors ist bereits seit dem 19. Jahrhundert bekannt und ist damit nach der Dampfmaschine die älteste Wärmekraftmaschine. Sie werden durch eine externe Wärmequelle angetrieben. Durch ein abwechselndes Erhitzen und Abkühlen eines Arbeitsgases wird ein Arbeitskolben angetrieben welcher mit dem Generator verbunden ist. Neben der eigentlichen KWK-Einheit besitzen die meisten Geräte ein integriertes Brennwertzusatzheizgerät, womit hohe thermische Leistungen erreicht werden können. Mit einer guten Modulationsfähigkeit kann ein großer Lastbereich mit einem Gerät bedient werden. Die elektrische Leistung bei Mikro-KWK-Anlagen mit Stirlingprinzip reicht von ca. 0,2kW bis 9kW. Ein Großteil der kurz vor der Markteinführung stehenden Geräte weist eine elektrische Leistung von 1 kW auf. Die elektrischen Wirkungsgrade liegen im Bereich von 14 %–24 % und sind damit kleiner als die des</p>

	<p>Ottomotors. Im Gegensatz zum Ottomotor ist der Brennstoffnutzungsgrad von über 90 % höher. Auch die Schadstoffemissionen können durch gezieltes Einwirken auf die außenliegende Verbrennung gering gehalten werden. Zudem ist der Stirlingmotor leiser und wartungsärmer als der Ottomotor.</p>
Dampfexpansion	<p>Auch bei den Dampfexpansionsmaschinen wird der KWK-Prozess durch eine außenliegende Verbrennung angetrieben. Mit einem Brenner wird Wasser in einem geschlossenen Kreislauf verdampft. Der entstandene Wasserdampf wird unter hohem Druck einem Arbeitsraum zugeführt und dort entspannt. Durch die Entspannung wird ein Kolben angetrieben, der wiederum den Generator antreibt. Bei diesem Prozess kondensiert der Dampf und wird dem Verdampfer im Kreislauf wieder zugeführt. Die anfallende Wärme wird über einen Wärmetauscher an das Heizsystem abgegeben. Mit elektrischen Leistungen von 0,3 kW bis 2 kW und thermischen Leistungen von 3,0 bis 16,0 kW ist eine gute Modulationsfähigkeit vorhanden. Der elektrische Wirkungsgrad von ca. 11 % fällt etwas geringer als bei den Stirlinggeräten aus. Der Wartungsaufwand ist sehr gering und im Prinzip nicht größer als bei herkömmlichen Gasgeräten. Systembedingt sind die Schadstoffemissionen ähnlich wie beim Stirlingmotor gering.</p>
Brennstoffzellen	<p>Neben den motorisch betriebenen KWK-Anlagen befindet sich derzeit mit der Brennstoffzelle eine weitere Technologie zur gekoppelten Erzeugung von Strom und Wärme in der Entwicklung. Unterschieden werden hierbei die Hoch- und Niedertemperaturbrennstoffzellen. Merkmal ist das eingesetzte Elektrolyt und die Betriebstemperatur. Das Funktionsprinzip ist in beiden Fällen gleich. Es werden 2 Elektroden, die Anode und die Kathode durch ein Elektrolyt voneinander getrennt. An der Anode wird zugeführter Wasserstoff in Elektronen und Protonen getrennt. Die Protonen wandern über das Elektrolyt zur Kathode, während die Elektronen über einen externen Strom-</p>

	<p>kreis zur Kathode geleitet werden und dabei elektrische Arbeit verrichten. An der Kathode verbinden sich Protonen und Elektronen unter Zuführung von Sauerstoff zu Wasserdampf. Der Wasserdampf wird über einen Wärmetauscher geleitet und die Abwärme dem Heizsystem zugeführt. Brennstoffzellen zeichnen sich durch die höchsten elektrischen Wirkungsgrade der hier genannten Systeme aus. Bei der Hochtemperaturbrennstoffzelle kann ein elektrischer Wirkungsgrad von 60 % erreicht werden. Die elektrische Leistungsfähigkeit, der sich in der Entwicklung befindlichen Brennstoffzellen liegt bei 1kW bis zu 5 kW. Thermische Leistungen können mit Hilfe von integrierten Zusatzbrennern bei über 20 kW liegen.</p>
--	--

Tabelle 2.4: Übersicht Mikro-KWK-Technologien

2.5 Stromheizungen

Technologie	Erläuterungen
Stromheizung	<p>Eine Stromheizung leitet Strom durch einen hohen Widerstand, der dadurch erwärmt wird. Da Strom in Kraftwerken erzeugt werden muss, die bei weitem nicht an den Wirkungsgrad einer einfachen Feuerungsanlage heranreichen, ist die ökologische Bilanz der Stromheizung bisher sehr schlecht.</p> <p>Ist die Stromheizung als Nachtspeicherheizung ausgelegt, kann im Gegensatz zur „normalen“ mit Tagesstrom betriebenen Stromheizung zwar Geld eingespart werden, aber der Komfort ist gering, da nur die Aufladung des Speichers aber jedoch nicht die Wärmeabgabe beeinflusst werden kann. Bei starken Wetterveränderungen kann der Speicher mit einer zu geringen Wärmemenge aufgeladen sein, die auch aufgrund der Regelung nicht kurzfristig erzeugt werden kann.</p>

Tabelle 2.5: Übersicht Stromheizung

3 Analyse der Energieflusketten der dezentralen Erzeugungsketten

Die verschiedenen möglichen Anwendungstechniken zur Gebäudebeheizung, sollten mithilfe einer einfachen rechnergestützten Simulation verglichen werden. Ziel war es, Primärenergie- und CO₂-Einsparungen im Vergleich zur Referenztechnologie darzustellen. Weiterhin können Effekte bei steigender Gebäudedämmung- und damit einhergehende niedrige Wärmebedarfe dargestellt werden, sowie theoretische Brennstoffnutzungs- und Anlagennutzungsgrade ausgewiesen werden. Die Simulation umfasst die unter Kapitel 3.5.1. definierten Gebäudetypen und die unter Kapitel 3.5.3 definierten Anlagentechniken unter Berücksichtigung der Energievorketten aus Kapitel 3.5.2. Abbildung 3.1 zeigt das prinzipielle Vorgehen der Simulation.

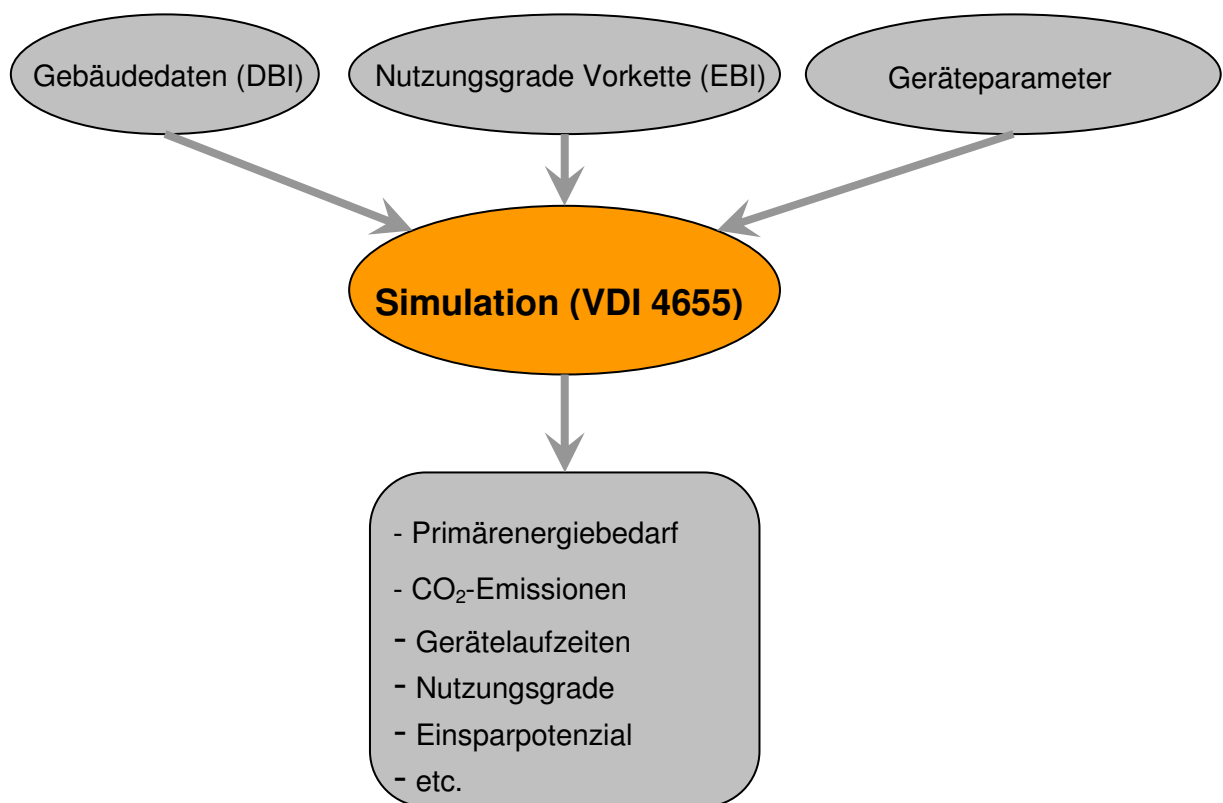


Abbildung 3.1: Schematische Darstellung der Eingabedaten zur Simulation

3.1 Methodik

Das wichtigste Kriterium in der Simulation war die Voraussetzung, dass sämtliche betrachtete Anlagen- und Anlagenkombinationen den nötigen Wärme- und Trinkwarmwasserbedarf des jeweiligen Gebäudetyps abdecken können. Bei kleinen KWK-Anlagen wie beispielsweise der Brennstoffzelle, war es daher unerlässlich ein Zusatzheizgerät in Form eines Erdgasbrennwertkessels vorzusehen.

An Gebäudebedarfen wurde neben den genannten Wärme- und Trinkwarmwasserbedarfen auch der Bedarf an elektrischen Strom mit berücksichtigt. Hierdurch war es möglich, sowohl stromgenerierende Anlagen als auch Anlagen mit getrennter Strom und Wärmeversorgung unmittelbar miteinander primärenergetisch zu vergleichen.

Auf Basis der VDI 4655 [4] können die Jahresenergiebedarfe an Strom, Trinkwarmwasser und Wärme in Tagesbedarfe umgelegt werden. Die jeweiligen Tagesbedarfe müssen durch die eingesetzte Heizungsanlage vollständig innerhalb von 24 Stunden gedeckt werden. Im Rahmen dieses Vorhabens war eine detailliertere Betrachtung in höherer zeitlicher Auflösung nicht möglich. Um trotzdem eine realistische Aussage über das Verhalten der Anlagen treffen zu können wurde bei der Bereitstellung von Wärme so vorgegangen, dass die Anlagen zunächst (sofern vorhanden) im Teillastbetrieb Wärme bereitstellen. Tritt hierbei eine Unterdeckung des Wärme- und Trinkwarmwasserbedarfs auf, ist dieser Anteil im Volllastbetrieb bereitzustellen. Deutlich wird dies in Abbildung 3.2.

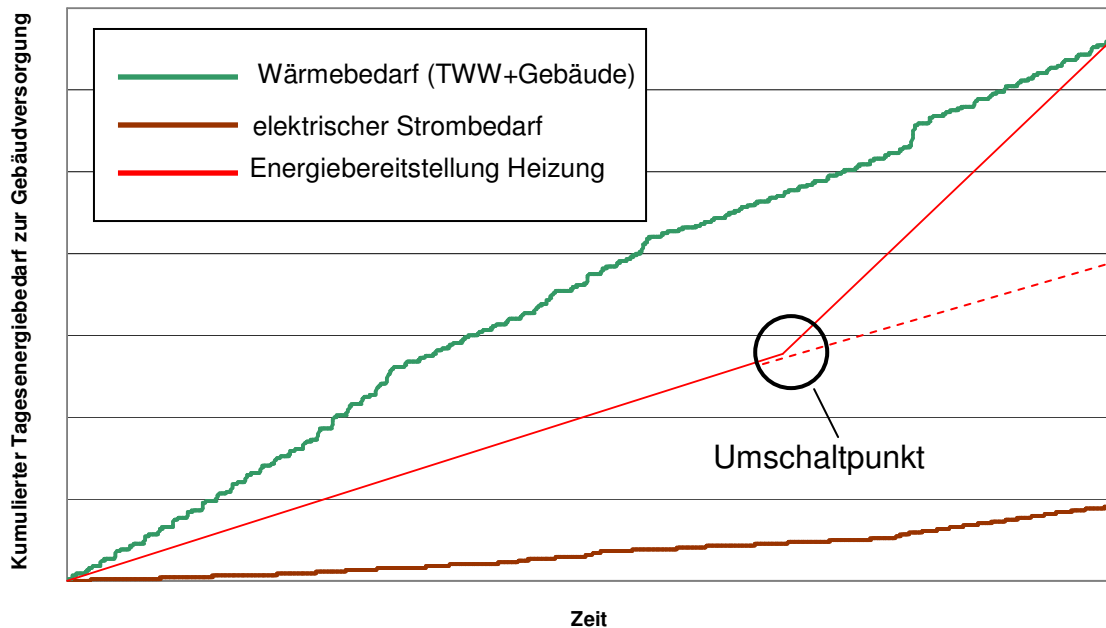


Abbildung 3.2: Schematische Darstellung zum Anlagenbetrieb

Die Heizungsanlage (rote Linie) stellt die benötigte Wärmeenergiemenge im Teillastbetrieb bereit. Ab einem in der Simulation rechnerisch bestimmten Punkt (Umschaltunkt), kann die an diesem Beispieltag benötigte Energiemenge nicht mehr durch die Leistung der Anlage im Teillastbetrieb gedeckt werden (angedeutet durch die gestrichelte rote Linie) und schaltet in den Volllastbetrieb. Die Summe der benötigten Endenergie im Teillastbereich und der benötigten Endenergie im Volllastbereich muss demnach identisch mit dem Tagesbedarf des betrachteten Typtages sein.

Für die in dieser Betrachtung nötigen Voll- und Teillastwirkungsgrade bzw. Nutzungsgrade wurde auf Herstellerangaben zurückgegriffen. Analog dazu wurden die Arbeitszahlen bei den Elektrowärmepumpen sowie die Heizzahlen bei der Gaswärmepumpe ermittelt. Diese Annahmen stellen ein ideales Bild der Anlagen dar. In der Realität werden die angegebenen Werte in den meisten Fällen nicht erreicht, vielmehr weisen die Anlagen bedingt durch die jeweiligen Anwendungsfälle, das Nutzerverhalten, die Art der Wärmeübertragung im Gebäude etc, ein breites Spektrum an Effizienzgraden auf, welches in der Regel unter den angegebenen Werten liegt. Ein Vergleich der Technologien ist untereinander ist somit gegeben, da in allen Fällen auf Herstellerangaben verwiesen wird und somit das Optimum aller Geräte dargestellt wird.

Ein Vergleich der Anlagen untereinander nur auf Basis der von den Herstellern angegebenen Effizienzwerte – ohne Berücksichtigung der Vorketten und eines

Teil-/Volllastverhaltens – ist aus folgenden Gründen nicht sinnvoll: Ist beispielsweise die Elektrowärmepumpe mit einem Stirlingmotor auf Basis der angegebenen Werte zu vergleichen, so fällt auf, dass die Wärmepumpe mit einer Effizienz von ca. 400 % in etwa eine 4 fach höhere Effizienz aufweist als der Stirlingmotor mit einem Gesamtnutzungsgrad von etwas unter 100 %. In dieser Betrachtung wird als Aufwand in der Definition des Nutzungsgrades von Nutzen/Aufwand die benötigte Endenergie eingesetzt. Der Nutzen ist die vom Gerät bereitgestellte Nutzenergie. Eine Aussage über die Effizienz bei der Umwandlung von Primärenergie in Endenergie fehlt in dieser Betrachtung. In der Simulation werden daher sowohl Nutzungsgrade in Bezug auf Primärenergieeinsatz als auch Nutzungsgrade in Bezug auf Endenergie ermittelt, wobei ersteres die Verluste der kompletten Versorgungskette beinhaltet und daher den sinnvolleren bzw. aussagekräftigeren Wert liefert. Zur besseren Veranschaulichung der Begrifflichkeiten bei der Energieumwandlung in der Versorgungskette dient Abbildung 3.3.

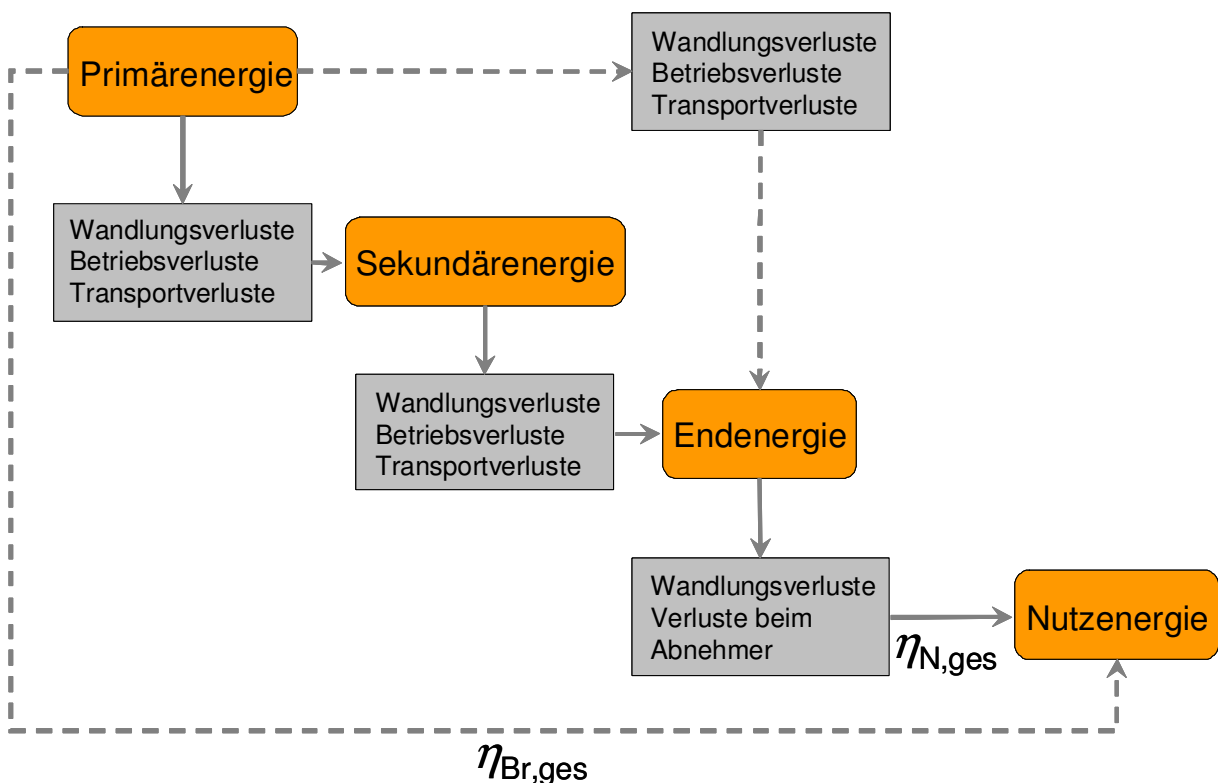


Abbildung 3.3: Darstellung der Definition verschiedener Energieformen [5]

Definition der Energieformen [5]:

- Primärenergie: In der Natur vorkommende Energieträger wie z. B. Erdgas, Kohle, Holz etc. Im Allgemeinen gehören hierzu auch die regenerativen Energien wie z. B. die Windkraft oder Sonnenenergie.
- Sekundärenergie: In einem ersten Schritt wird die Primärenergie verlustbehaftet so umgewandelt, dass sie in einer leichter transportierbaren, speicherbaren Form vorliegt. In vielen Fällen ist dieser Schritt nicht notwendig.
- Endenergie: Energie die dem Endanwender unmittelbar zur Verfügung gestellt wird. Hierzu zählen z. B. Erdgas, Strom, Fernwärme etc.
- Nutzenergie: Die von einem Nutzer letztendlich benötigte Energie wie z. B. Wärme oder elektrischer Strom.

3.2 Symbolik

Zur besseren Orientierung bei der Analyse der Simulationsergebnisse wurden Kurzbezeichnungen eingeführt die einen besseren Überblick gewährleisten sollen. Abbildung 3.4 stellt die prinzipielle Systematik dar.

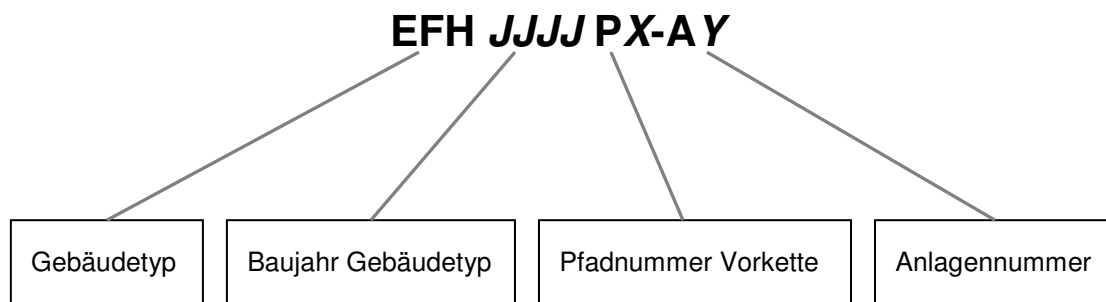


Abbildung 3.4: Schematische Darstellung zur Symbolik in der Simulation

Die ersten Ziffern der Kurzbezeichnung geben den Gebäudetypen an. Unterschieden wird zwischen Einfamilienhäuser (EFH) und Mehrfamilienhäusern (MFH). Folgend wird das Baujahr des Gebäudes aufgeführt. Die möglichen Baujahre sind in Kapitel 3.5.1 definiert. Die Pfadnummer gibt an, welche der möglichen Vorketten zur Energiebereitstellung genutzt wurde. Die möglichen Pfade sind unter Kapitel 3.5.2 aufgeführt. Abschließend ist die Nummer der

gewählten Anlagenkombination dargestellt. Kapitel 3.5.3 zeigt die möglichen Kombinationen.

Beispiel:

EFH 1958-P14-A7

Die Kurzbezeichnung gibt an, dass es sich um ein Einfamilienhaus (EFH) mit Baujahr 1958 handelt. Versorgt wird das Gebäude mit Pfad 14 (P14), also einer elektrischen Versorgung mit dem Deutschen Strommix und einer Versorgung mit Erdgas bzw. Holzpellets zur Deckung der thermischen Lasten. Heizungsseitig ist das Gebäude mit einem Stirlingmotor (A7) ausgerüstet.

3.3 Formeln und Definitionen zum Systemvergleich

Die Ergebnisse der Simulation werden zunächst in tabellarischer Form dargestellt. Hieraus lassen sich sämtliche relevanten Diagramme herleiten. Nachfolgend werden die benutzten Formeln für die Berechnungen, wie auch Nutzungsgraddefinitionen erläutert.

3.3.1 Benötigte thermische Energiemenge

Die benötigte thermische Energiemenge ist definiert als die der Anlage im Gebäude mit dem jeweiligen Brennstoff zugeführte Energie. Der Begriff „thermisch“ bezieht sich in diesem Fall nicht auf Wärme als Energieform, sondern soll darstellen, dass es sich ausschließlich um eine zugeführte Energiemenge zur Beheizung des Gebäudes und der Trinkwarmwasserbereitung handelt. Benötigte thermische Energiemengen können bspw. mit den Energieträgern

- Erdgas,
- Erdöl,
- Pellets,
- Biogas,
- Fernwärme
- usw.

zugeführt werden.

Zur Berechnung werden die Energiemengen, die während eines Typtages von der Anlage zur Beheizung und Trinkwarmwasserbereitung im Volllast- bzw. Teillastbetrieb bereitgestellt werden, mit dem jeweiligen Anlagenwirkungsgrad und der Anzahl der Typtage in der jeweiligen Typtagkategorie multipliziert.

$$Q_{th,TTK} = (Q_{Voll,TT} \eta_{Voll} + Q_{Teil,TT} \eta_{Teil}) n_{TTK} \quad (1)$$

Zeichen	Bedeutung	Einheit
$Q_{th,TTK}$	Benötigte thermische Energiemenge je Typtagkategorie	kWh
$Q_{Voll,TT}$	Wärmemenge im Volllastbetrieb je Typtag	kWh
$Q_{Teil,TT}$	Wärmemenge im Teillastbetrieb je Typtag	kWh
η_{Voll}	Anlagen-Volllastwirkungsgrad	-
η_{Teil}	Anlagen-Teillastwirkungsgrad	-
n_{TTK}	Anzahl Typtage je Typtagkategorie	-

3.3.2 Benötigte elektrische Energiemenge

Neben der benötigten thermischen Energiemenge wird dem Gebäude in allen Fällen eine elektrische Energiemenge zugeführt. Diese folgt aus dem Bedarf an elektrischem Strom und der Anzahl der Typtage je Typtagkategorie.

$$W_{el,TTK} = W_{el,TT} n_{TTK} \quad (2)$$

Zeichen	Bedeutung	Einheit
$W_{el,TTK}$	Benötigte elektrische Energiemenge je Typtagkategorie	kWh
$W_{el,TT}$	Benötigter elektrische Energiemenge je Typtag	kWh
n_{TTK}	Anzahl Typtage je Typtagkategorie	-

3.3.3 Jährlich benötigte Primärenergie (thermisch)

Analog zu 3.3.1 wird bei der jährlich benötigten thermischen Primärenergie nicht automatisch von einer Wärmemenge ausgegangen, es wird lediglich die Primärenergiemenge ermittelt, die nötig ist, um ein Gebäude mit Wärme zur Gebäudebeheizung und Trinkwarmwasserbereitung zu versorgen. Diese wird aus der Summe der benötigten Energiemengen je Typtagkategorie (insgesamt 10) dividiert durch einen primärenergetischen Nutzungsgrad¹ berechnet, welcher sämtliche Vorketten berücksichtigt (Förderung, Transport, Umwandlung, usw.).

$$E_{P,th} = \frac{\sum Q_{th,TT}}{\eta_{P,th}} \quad (3)$$

Zeichen	Bedeutung	Einheit
$E_{P,th}$	Jährlich benötigte Primärenergie thermisch	kWh
$Q_{th,TT}$	Benötigte thermische Energiemenge je Typtagkategorie	kWh
$\eta_{P,th}$	Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	-

3.3.4 Jährlich benötigte Primärenergie (elektrisch)

Bei der jährlich benötigten Primärenergie wird in Analogie zu 3.3.3 die Summe der Strombedarfe je Typtagkategorie des Gebäudes durch einem primärenergetischen Nutzungsgrad¹ dividiert.

$$E_{P,el} = \frac{\sum W_{el,TT}}{\eta_{P,el}} \quad (4)$$

Zeichen	Bedeutung	Einheit
$E_{P,el}$	Jährlich benötigte Primärenergie thermisch	kWh
$W_{el,TT}$	Benötigte thermische Energiemenge je Typtagkategorie	kWh
$\eta_{P,el}$	Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	-

¹ Primärenergetische Nutzungsgrade wurden vom EBI bereitgestellt.

3.3.5 Jährlich benötigte Primärenergie (gesamt)

Aus der Summe der jährlich benötigten „Primärenergie thermisch“ und der jährlich benötigten „Primärenergie elektrisch“ abzüglich des durch den von KWK-Anlagen substituierten Kraftwerkstrom folgt die insgesamt benötigte Primärenergie für den jeweiligen Pfad. Im Vergleich zu einem Referenzwert lässt sich feststellen, ob eine Einsparung von Primärenergie möglich ist – bzw. wie groß diese ist (siehe 3.3.6).

$$E_{P,ges} = E_{P,th} + E_{P,el} - E_{P,el,sub} \quad (5)$$

Zeichen	Bedeutung	Einheit
$E_{P,ges}$	Jährlich benötigte Primärenergie	kWh
$E_{P,th}$	Jährlich benötigte Primärenergie thermisch	kWh
$E_{P,el}$	Jährlich benötigte Primärenergie elektrisch	kWh
$E_{P,el,sub}$	Durch KWK substituierter Kraftwerksstrom	kWh

3.3.6 Primärenergieeinsparung gegenüber Niedertemperaturtechnik

Um einen Vergleich der verschiedenen Pfade und Anlagentechniken zu ermöglichen, wird die Niedertemperaturtechnik als derzeit häufigste in Bestandsbauten installierte Heizungstechnik als Referenz genutzt.

$$e_{P,Nt} = 100 - \frac{E_{P,ges}}{E_{P,ges,ref}} 100\% \quad (6)$$

Zeichen	Bedeutung	Einheit
$e_{P,Nt}$	Jährliche Einsparung an Primärenergie gegenüber Niedertemperatur	%
$E_{P,ges}$	Jährlich benötigte Primärenergie	kWh
$E_{P,ges,ref}$	Jährlich benötigte Primärenergie bei Niedertemperatur, Referenz	kWh

3.3.7 Brennstoffnutzungsgrad (thermisch)

Der „Brennstoffnutzungsgrad thermisch“ ist das Verhältnis aus benötigter Nutzenergie für Gebäudebeheizung und Trinkwarmwassererwärmung zur insgesamt benötigten Primärenergie.

$$\eta_{\text{Br,th}} = \frac{Q_{\text{heiz,a}} + Q_{\text{TWW,a}}}{E_{\text{P,ges}}} 100\% \quad (7)$$

Zeichen	Bedeutung	Einheit
$\eta_{\text{Br,th}}$	Brennstoffnutzungsgrad thermisch	%
$E_{\text{P,ges}}$	Jährlich insgesamt benötigte Primärenergie	kWh
$Q_{\text{heiz,a}}$	Jährlicher Energiebedarf zur Gebäudebeheizung	kWh
$Q_{\text{TWW,a}}$	Jährlicher Energiebedarf zur Trinkwarmwasserbereitung	kWh

3.3.8 Brennstoffnutzungsgrad (elektrisch)

Der Brennstoffnutzungsgrad ist das Verhältnis aus benötigter Nutzenergie für die elektrische Versorgung eines Gebäudes und der insgesamt benötigten Primärenergie.

$$\eta_{\text{Br,el}} = \frac{W_{\text{el,a}}}{E_{\text{P,ges}}} 100\% \quad (8)$$

Zeichen	Bedeutung	Einheit
$\eta_{\text{Br,el}}$	Brennstoffnutzungsgrad elektrisch	%
$E_{\text{P,ges}}$	Jährlich insgesamt benötigte Primärenergie	kWh
$W_{\text{el,a}}$	Jährlicher Energiebedarf zur Stromversorgung	kWh

3.3.9 Brennstoffnutzungsgrad (gesamt)

Das Verhältnis aus der Summe der benötigten Nutzenergiemengen an Strom und Wärme zur Gebäudeversorgung zur benötigten Primärenergiemenge wird als gesamter Brennstoffnutzungsgrad bezeichnet.

Da hierbei bereits sämtliche Wirkungsgrade einfließen, ist es möglich, die Energieformen Strom und Wärme zu summieren und einen vergleichenden Brennstoffnutzungsgrad für eine Systemkette von der Förderung bis zum Verbraucher zu erhalten.

Ein Wert von über 100 % ist möglich. Dies kann bei der Einbindung von regenerativen Quellen oder durch die Substitution des Kraftwerksstroms durch KWK-Anlagen auftreten.

$$\eta_{\text{Br,ges}} = \frac{W_{\text{el,a}} + Q_{\text{TWW,a}} + Q_{\text{heiz,a}}}{E_{\text{P,ges}}} 100\% \quad (9)$$

Zeichen	Bedeutung	Einheit
$\eta_{\text{Br,ges}}$	Brennstoffnutzungsgrad gesamt	%
$E_{\text{P,ges}}$	Jährlich insgesamt benötigte Primärenergie	kWh
$W_{\text{el,a}}$	Jährlicher Energiebedarf zur Stromversorgung	kWh
$Q_{\text{th,a}}$	Jährlicher Energiebedarf zur Gebäudebeheizung	kWh
$Q_{\text{TWW,a}}$	Jährlicher Energiebedarf zur Trinkwarmwasserbereitung	kWh

3.3.10 Anlagennutzungsgrad (thermisch)

Das Verhältnis aus Wärmebedarf zur Gebäudebeheizung und Wärmebedarf zur Trinkwarmwassererwärmung zur insgesamt benötigten Endenergie wird als thermischer Anlagennutzungsgrad bezeichnet. Anders als bei herkömmlichen Anlagennutzungsgraden wird hierbei als Aufwand sowohl die Endenergie zur Versorgung mit Wärme als auch der benötigte elektrische Strom eingesetzt.

$$\eta_{N,th} = \frac{Q_{heiz,a} + Q_{TWW,a}}{E_{P,el} \eta_{P,el} + E_{P,th} \eta_{P,th}} 100\% \quad (10)$$

Zeichen	Bedeutung	Einheit
$\eta_{N,th}$	Anlagennutzungsgrad thermisch	%
$Q_{heiz,a}$	Jährlicher Energiebedarf zur Gebäudebeheizung	kWh
$Q_{TWW,a}$	Jährlicher Energiebedarf zur Trinkwarmwasserbereitung	kWh
$E_{P,el}$	Jährlich benötigte Primärenergie elektrisch	kWh
$E_{P,th}$	Jährlich benötigte Primärenergie thermisch	kWh
$\eta_{P,el}$	Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	%
$\eta_{P,th}$	Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	%

3.3.11 Anlagennutzungsgrad (elektrisch)

Analog zum thermischen Anlagennutzungsgrad ist der elektrische Anlagennutzungsgrad als Verhältnis von benötigtem elektrischem Strom zur insgesamt eingesetzten Primärenergie definiert.

$$\eta_{N,el} = \frac{W_{el,a}}{E_{P,el} \eta_{P,el} + E_{P,th} \eta_{P,th}} 100\% \quad (11)$$

Zeichen	Bedeutung	Einheit
$\eta_{N,el}$	Anlagennutzungsgrad elektrisch	%
$W_{el,a}$	Jährlicher Energiebedarf zur Stromversorgung	kWh
$E_{P,el}$	Jährlich benötigte Primärenergie elektrisch	kWh
$E_{P,th}$	Jährlich benötigte Primärenergie thermisch	kWh
$\eta_{P,el}$	Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	%
$\eta_{P,th}$	Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	%

3.3.12 Anlagennutzungsgrad (gesamt)

Der gesamte Anlagennutzungsgrad setzt sich aus dem Verhältnis von Wärmebedarf für die Gebäudeheizung und den Wärmebedarf zur Trinkwarmwassererwärmung sowie dem benötigten elektrischen Strom zur insgesamt eingesetzten Endenergie zusammen. Zur Berechnung kann der thermische Anlagennutzungsgrad mit dem elektrischen Anlagennutzungsgrad addiert werden.

$$\eta_{N,ges} = \eta_{N,th} + \eta_{N,el} \quad (12)$$

Zeichen	Bedeutung	Einheit
$\eta_{N,ges}$	Anlagennutzungsgrad gesamt	%
$\eta_{N,el}$	Anlagennutzungsgrad elektrisch	%
$\eta_{N,th}$	Anlagennutzungsgrad thermisch	%

3.3.13 CO₂-Emissionen (thermisch)

Als absolute CO₂-Emissionen, die bei der Umwandlung der im Brennstoff chemisch gebundenen Energie in Endenergie zur Gebäudebeheizung und Trinkwarmwasserbereitung emittiert werden, sind die „CO₂-Emissionen thermisch“ definiert. Sie berechnen sich aus der benötigten Endenergie und den spezifischen CO₂-Emissionen der jeweiligen Vorkette.

$$m_{\text{CO}_2,\text{th}} = f_{\text{CO}_2,\text{th}} E_{\text{P,th}} \eta_{\text{P,th}} \quad (13)$$

Zeichen	Bedeutung	Einheit
$m_{\text{CO}_2,\text{th}}$	Jährlich absolut emittierte CO ₂ -Emissionen thermisch	t
$f_{\text{CO}_2,\text{th}}$	Spezifische CO ₂ -Emissionen thermisch	t/kWh
$E_{\text{P,th}}$	Jährlich benötigte Primärenergie thermisch	kWh
$\eta_{\text{P,th}}$	Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	%

3.3.14 CO₂-Emissionen (elektrisch)

Die elektrischen CO₂-Emissionen berechnen sich analog zu den thermischen CO₂-Emissionen als Produkt aus benötigter Endenergie zur Stromversorgung und den spezifischen CO₂-Emissionen der Vorkette.

$$m_{\text{CO}_2,\text{el}} = f_{\text{CO}_2,\text{el}} E_{\text{P,el}} \eta_{\text{P,el}} \quad (14)$$

Zeichen	Bedeutung	Einheit
$m_{\text{CO}_2,\text{el}}$	Jährlich absolut emittierte CO ₂ -Emissionen elektrisch	t
$f_{\text{CO}_2,\text{el}}$	Spezifische CO ₂ -Emissionen elektrisch	t/kWh
$E_{\text{P,el}}$	Jährlich benötigte Primärenergie elektrisch	kWh
$\eta_{\text{P,el}}$	Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	%

3.3.15 CO₂-Emissionen (gesamt)

Die gesamten CO₂-Emissionen sind die Summe aus „elektrischen“ CO₂-Emissionen und „thermischen“ CO₂-Emissionen abzüglich der eingesparten CO₂-Emissionen durch die Substitution des Kraftwerkstroms bei KWK-Anlagen und geben die absolute Menge an emittierten CO₂ in t pro Jahr für die Gebäudeversorgung mit Strom und Wärme an.

$$m_{\text{CO}_2,\text{ges}} = m_{\text{CO}_2,\text{th}} + m_{\text{CO}_2,\text{el}} - m_{\text{CO}_2,\text{spar}} \quad (15)$$

Zeichen	Bedeutung	Einheit
$m_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	Jährlich absolut emittierte CO ₂ -Emissionen gesamt	t/kWh
$m_{\text{CO}_2,\text{th}}$	Jährlich absolut emittierte CO ₂ -Emissionen thermisch	t/kWh
$m_{\text{CO}_2,\text{el}}$	Jährlich absolut emittierte CO ₂ -Emissionen elektrisch	t/kWh
$m_{\text{CO}_2,\text{spar}}$	Eingesparte CO ₂ -Emissionen durch Stromsubstitution bei KWK	t/kWh

3.3.16 Spezifische CO₂-Emissionen

Die spezifischen CO₂-Emissionen beschreiben die emittierte Menge an CO₂, die je kWh zugeführter Gesamtenergie (Strom+Wärme) für den jeweiligen Gebäudetyp und der Anlagentechnik auftreten. Sie sind als Verhältnis von den gesamten CO₂-Emissionen zur benötigten Gesamtendenergie definiert.

$$f_{\text{CO}_2,\text{ges}} = \frac{m_{\text{CO}_2,\text{ges}}}{Q_{\text{heiz,a}} + Q_{\text{TWW,a}} + W_{\text{el,a}}} \quad (16)$$

Zeichen	Bedeutung	Einheit
$f_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	Spezifische CO ₂ -Emissionen gesamt	g/kWh
$m_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	Jährlich absolut emittierte CO ₂ -Emissionen gesamt	g
$Q_{\text{heiz,a}}$	Jährlicher Energiebedarf zur Gebäudebeheizung	kWh
$Q_{\text{TWW,a}}$	Jährlicher Energiebedarf zur Trinkwarmwasserbereitung	kWh
$W_{\text{el,a}}$	Jährlicher Energiebedarf zur Stromversorgung	kWh

3.4 VDI 4655 als Ausgangsbasis der Simulation

Die VDI 4655 „Referenzlastprofile von Ein- und Mehrfamilienhäusern für den Einsatz von KWK-Anlagen“ [5] gibt definierte Referenzlastprofile für Ein- und Mehrfamilienhäusern auf Basis gemessener Daten an. Da Berechnungen mit realen Lastgängen eine erhebliche Datenmenge zur Folge hätten, wurden aus den gemessenen Daten Referenzlastprofile für zehn Typtagkategorien erstellt

Für die Anwendung der Richtlinie werden gebäudeseitig die Wohnfläche, die Belegung sowie der Standort des Gebäudes benötigt. Weiterhin müssen die jährlichen Mengen an Heizwärme, Wärme für Trinkwarmwasser und die Menge an elektrischen Strom bekannt sein. Die VDI 4655 gibt für den jährlichen Stromverbrauch einen angenommenen Wert von 2000 kWh pro Person und Jahr, bei weniger als 3 Personen, 1750 kWh/(Pers. a) bei 3 bis 6 Personen und 1500 kWh/(Pers. a) bei mehr als 6 Personen an. Diese Werte wurden ebenfalls in der Simulation verwendet. Für die Jahresmenge an Heizwärme lagen gemessene Daten von verschiedenen Haustypen vor (siehe Kapitel 3.5.1). Der Jahresbedarf an Wärme zur Trinkwarmwasserbereitung wird in der Richtlinie mit 500 kWh/(Pers. a) im Einfamilienhaus und 1000 kWh/(WE a) im Mehrfamilienhaus angegeben. In Diskussionen mit den Projektpartnern und Auftraggebern wurden diese Werte als zu niedrig erachtet, weshalb diese in der Simulation keine Anwendung finden. Der Warmwasserbedarf wird mit den Vorgaben aus Kapitel 3.5.1 berechnet.

Ein weiterer wichtiger Eingabefaktor für die Referenzlastprofile ist der Standort des Gebäudes. Aufgrund von verschiedenen klimatischen Bedingungen in den einzelnen Gebieten der Bundesrepublik wurde in der VDI 4655 auf die Einteilung Deutschlands in 15 Wetterzonen wie sie der Deutsche Wetterdienst angibt zurückgegriffen. Die klimatischen Besonderheiten der 15 Zonen werden über Faktoren berücksichtigt. Für die Simulation wurde die Klimazone 13 (Nürnberg) als Bundesdeutscher Durchschnitt angenommen.

Unter Berücksichtigung der oben genannten Eingabeparameter können die Tagesenergiebedarfe von Strom, Heizwärme und Wärme zur Trinkwarmwasserbereitung eines Tages einer Typtagkategorie ermittelt werden.

3.5 Vorgaben

3.5.1 Gebäude

Die genutzten Gebäudedaten und Gebäudetypen wurden im Rahmen dieses Vorhabens vom DBI ermittelt und zur Verfügung gestellt. Insgesamt werden 5 verschiedene Gebäudetypen untersucht, darunter 3 Einfamilienhäuser und 2 Mehrfamilienhäuser. In Tabelle 3.1 sind die jeweiligen Gebäudedaten hinterlegt.

Gebäudetyp	Baujahr	spez. Heizwärmebedarf in kWh/ m ² a
EFH	1958	260
EFH	1984	215
EFH	2009	45
MFH	1958	220
MFH	1995	110

Tabelle 3.1: Spezifische Heizwärmebedarfe der 5 betrachteten Gebäudetypen

Die Belegung wurde für alle 5 Gebäudetypen mit einer Personenzahl von 3 angenommen. Aus der VDI 4655 [5] ergibt sich daraus eine Strombedarf von 5250 kWh/a. Der Warmwasserbedarf wurde mit 2 kWh/(Person d) angenommen. Daraus ergibt sich für ein 3 Personen Haushalt ein Jahresbedarf von 2190 kWh an Trinkwarmwasser.

Bei der Betrachtung der Mehrfamilienhäuser wurden einzelne Wohnungen in einem Mehrfamilienhaus betrachtet und nicht das gesamte Gebäude

3.5.2 Vorketten

Aus einer Vielzahl verschiedener Vorketten wurden zusammen mit den Projektpartnern die wichtigsten Pfade ausgewählt, um diese mit den genannten Gebäuden und den ausgewählten Technologien in der Simulation zusammenzuführen

Eine Bewertung der Fernwärmepfade bzw. der zentralen Versorgung mit KWK-Anlagen für den häuslichen Bereich ist nicht ohne weitere Kriterien sinnvoll. Eine Möglichkeit zum Vergleich von Fernwärme und zentralen KWK-Anlagen mit Gebäudezentraler Wärme und ggf. Stromversorgung liegt in der Erweiterung der Simulation auf die Siedlungsebene. Hier könnten Szenarien gerechnet werden

wobei Teile der Siedlung bzw. die gesamte Siedlung über zentrale KWK versorgt werden. Besonders interessant wäre dabei der Aspekt der Wärme- bzw. Stromführung. In diesem ersten Teil der Systemanalyse werden die Pfade mit Wärmeauskopplung nicht in der Simulation berücksichtigt. Für die Simulation relevante Pfade sind in Tabelle 3.2 detailliert dargestellt.

Pfad Nr.	Erläuterungen
1	Konventionelle Umwandlung von in Kohle gebundener chemischer Energie in Strom durch ein Kondensationskraftwerk ohne Wärmeauskopplung. Wärmebedarf wird je nach Technologie über Erdgas bzw. Holzpellets gedeckt
3	Umwandlung von in Kohle gebundener chemischer Energie in synthetisches Erdgas durch eine IGCC-Methanisierung mit direkter Umwandlung in Strom durch ein Gas- und Dampfkraftwerk. Wärmebedarf wird je nach Technologie über Erdgas bzw. Pellets gedeckt
4	Umwandlung von in Kohle gebundener chemischer Energie in synthetisches Erdgas durch eine IGCC-Methanisierung mit direkter Einspeisung in das Gasnetz. Strombedarf wird über ein GuD-Kraftwerk gedeckt. Wärmebedarf wird je nach Technologie über SNG bzw. Holzpellets gedeckt.
5	Umwandlung von in Holz gebundener chemischer Energie in synthetisches Erdgas durch eine Holzwirbelschicht Methanisierung mit direkter Einspeisung in das Gasnetz. Strombedarf wird über ein GuD-Kraftwerk gedeckt. Wärmebedarf wird je nach Technologie über SNG bzw. Holzpellets gedeckt.
8	Umwandlung von in Biogas gebundener chemischer Energie in Bioerdgas mit direkter Einspeisung in das Gasnetz. Strombedarf wird über ein GuD-Kraftwerk gedeckt. Wärmebedarf wird je nach Technologie über Bioerdgas bzw. Holzpellets gedeckt.
11	Umwandlung von in Erdgas gebundener chemischer Energie in Strom durch ein Gasturbinenkraftwerk ohne Wärmeauskopplung. Wärmebedarf wird je nach Technologie über Erdgas bzw. Holzpellets gedeckt.
12	Umwandlung von in Erdgas gebundener chemischer Energie in Strom durch ein Gas-und Dampf Kraftwerk ohne Wärmeauskopplung.

	Wärmebedarf wird je nach Technologie über Erdgas bzw. Holzpellets gedeckt.
14	Umwandlung von in Erdgas gebundener chemischer Energie in Strom durch den derzeitigen Deutschen Kraftwerkspark (Deutscher Strommix). Wärmebedarf wird je nach Technologie über Erdgas bzw. Holzpellets gedeckt.

Tabelle 3.2: In der Simulation genutzte Pfade der Vorketten

Die vom EBI ermittelten Primärenergienutzungsgrade und spezifischen CO₂-Emissionen sind in Tabelle 3.3 dargestellt.

Zeichen	Einheit	Pfad Nr.							
		1	3	4	5	8	11	12	14
$\eta_{P,th}$	1	90,0	90,0	48,2	50,4	59,0	90,0	90,0	90,0
$\eta_{P,el}$	1	39,3	30,3	50,4	50,4	50,4	29,9	50,4	35,7
$f_{CO_2,th}$	g/kWh	234,9	234,9	602,2	60,4	64,2	234,9	234,9	234,9
$f_{CO_2,el}$	g/kWh	871,5	1052,3	398,1	398,1	398,1	671,0	398,1	519,2

Tabelle 3.3: Primärenergetische Nutzungsgrade und spezifische CO₂-Emissionen der Vorketten

3.5.3 Anlagentechnik

Zur Analyse der dezentralen Erzeugungsgketten wurden für die Berechnungen insgesamt elf verschiedene Anlagen zur Wärme- und gegebenenfalls Stromversorgung im häuslichen Bereich betrachtet. Den Rahmen der Untersuchungen bilden hierbei die Niedertemperaturtechnik als derzeit häufigste Anlagenform im Bestandsbau sowie die SOFC-Brennstoffzelle als Zukunftstechnologie. Dazwischen liegen weitere Mikro-KWK-Anlagen, Elektro- sowie Gaswärmepumpen, Brennwert- und Pelletkessel. Als derzeitiger Standard wurde die Brennwerttechnik als alleiniger Wärmelieferant und in Verbindung mit einer solarthermischen Trinkwarmwasserunterstützung als bivalente Anlage mit Nutzung erneuerbarer Energien ermittelt. Die Stromheizung, die immer noch eine Rolle im Bestandsbau, besonders in Ballungsgebieten wie beispielsweise dem Ruhrgebiet, spielt, wird ebenso betrachtet. Die Tabelle 3.4 bis Tabelle 3.8 geben einen Überblick über die genannten Technologien und deren Eckdaten für die Simulation im Einfamilienhaus.

	Einheit	Anlagentyp		
		Niedertemperatur	Brennwert	Pelletkessel
Anlagen Nr.		A1	A2	A10
Leistung Volllast	kW	18	17	18
Leistung Teillast	kW	5,4	5,1	5,4
Wirkungsgrad Volllast	%	92,5	96,1	95
Wirkungsgrad Teillast	%	93,4	108,8	94

Tabelle 3.4: Daten der betrachteten konventionellen Technologien

	Einheit	Anlagentyp
		Brennwert mit Solarunterstützung
Anlagen Nr.		A3
Leistung Volllast	kW	17
Leistung Teillast	kW	5,1
Wirkungsgrad Volllast	%	96,1
Wirkungsgrad Teillast	%	108,8
Kollektorfläche	m ²	4,5
Kollektorstückzahl		70

Tabelle 3.5: Daten der betrachteten Solartechnologien

	Einheit	Anlagentyp		
		Stirlingmotor	Otto-Motor	Brennstoffzelle+ Zusatzheizgerät
Anlagen Nr.		A7	A8	A9
thermische Leistung Vollast	kW	17,6	14,5	17,5
thermische Leistung Teillast	kW	5,6	-	0,5
thermischer Wirkungsgrad Vollast	%	98	74	96,1
thermischer Wirkungsgrad Teillast	%	82	-	25
elektrische Leistung	kW	0,94	5,5	1,5
elektrischer Wirkungsgrad	%	14	30	60

Tabelle 3.6: Daten der betrachteten Mikro-KWK-Anlagen

	Einheit	Anlagentyp	
		Elektrowärmepumpe/ Flächenkollektor	Elektrowärmepumpe/ Erdsonde
Anlagen Nr.		A4	A5
Leistung Vollast	kW	21,58	21,58
COP-Wert		4	4

Tabelle 3.7: Daten der betrachteten Elektrowärmepumpen

	Einheit	Anlagentyp
		Gaswärmepumpe
Anlagen Nr.		A6
Leistung Volllast	kW	11
Leistung Teillast	kW	3,6
Heizzahl	-	1,5

Tabelle 3.8: Daten der betrachteten Gaswärmepumpe

Die konventionellen Techniken, der Niedertemperaturkessel, der Brennwertkessel und der Pelletkessel können leistungsmodulierend betrieben werden und weisen daher einen Voll- sowie Teillastwirkungsgrad auf. Brennwertkessel zeigen im Teillastbereich einen größeren Wirkungsgrad gegenüber Volllastbetrieb. Dies ist dadurch begründet, dass im Teillastbetrieb ein höherer Brennwertnutzen erreicht wird. Bei Pelletkessel und Niedertemperaturkessel trifft dies nicht zu. Während der Pelletkessel mit Pellets aus KUP-Plantagen befeuert wird, ist Erdgas als Energielieferant für die beiden anderen konventionellen Techniken ausgewählt worden. Auf Ölbetriebene Anlagen wurde in der Simulation verzichtet. Die Wirkungsgrade sind bei diesen Anlagen etwas kleiner und die CO₂-Emissionen größer als bei erdgasbetriebenen Anwendungen.

Neben den konventionellen Anlagen wurde zudem ein Brennwertgerät mit einer solarthermischen Anlage ausgerüstet, um den Nutzen einer regenerativen Energiequelle in Kopplung mit erprobten und bewährten Techniken darzustellen. Zum Einsatz kommt in der Simulation ein Flachkollektor mit einem Wirkungsgrad von 70 %. Die Fläche wurde gemäß geltender Gesetzgebung, dem EEWärmeG, auf 4 % der Nutzfläche ausgelegt.

Der Ottomotor als marktverfügbares KWK-Gerät sowie der Stirlingmotor als kurz vor der großflächigen Einführung in den Markt stehende Technologie wurden als motorisch betriebene Mikro-KWK-Anlagen ausgewählt. Als Zukunftstechnologie wird eine Hochtemperatur SOFC-Brennstoffzelle betrachtet. Während bei dem Ottomotor die thermische Leistung ausreicht, um die unter Kapitel 3.5.1 beschriebenen Gebäudetypen mit Wärme zu versorgen, ist bei dem Stirlingmotor ein Zusatzheizgerät ebenso erforderlich wie bei der Brennstoffzelle. Während beim Stirlingmotor ein Zusatzheizgerät bereits ein integraler Bestandteil der Anlage ist, muss bei der Brennstoffzelle ein externes Zusatzheizgerät bereitgestellt werden.

Als Wärmepumpentechnologien wurden zwei Elektrowärmepumpen sowie eine Gaswärmepumpen ausgewählt. Die angegebenen Leistungszahlen bei den Elektrowärmepumpen stammen aus Prüfergebnissen auf Basis der EN 14511 [6]. Die Angabe der Heizzahl von 1,5 bei der Gaswärmepumpe ist eine Herstellerangabe.

Für die Simulation der Wohnungen im Mehrfamilienhaus wurden insgesamt 4 Anlagenkombinationen ausgewählt. Hierzu zählen der Stirlingmotor, das Brennwertgerät sowie das Niedertemperaturgerät und eine Elektrowärmepumpe, allerdings mit einem Luftwärmetauscher zur Verdampfung des Kältemittels ausgestattet. Weitere Anlagen wurden nicht betrachtet, da diese in der Regel zu groß für einen Einbau in einer Wohnung sind.

Die spezifischen CO₂-Emissionen, die bei der Verbrennung entstehen, wurden in der Simulation nicht betrachtet. Es erwies sich als schwierig, hier auf geeignetes Datenmaterial zurückgreifen zu können. Die spezifischen CO₂-Emissionen gelten daher nur bis zum Hausanschluss.

3.5.4 Klimatische Vorgaben

Die Effizienz von Wärmepumpen und Solaranlagen ist in hohem Maße mit den klimatischen Bedingungen verknüpft. Aus diesem Grund wurden für die Simulation die klimatischen Bedingungen für die Typtagkategorien ermittelt. Basis hierfür war die DIN 4710 „Statistiken meteorologischer Daten zur Berechnung des Energiebedarfs von heiz- und raumluftechnischen Anlagen in Deutschland“ [7].

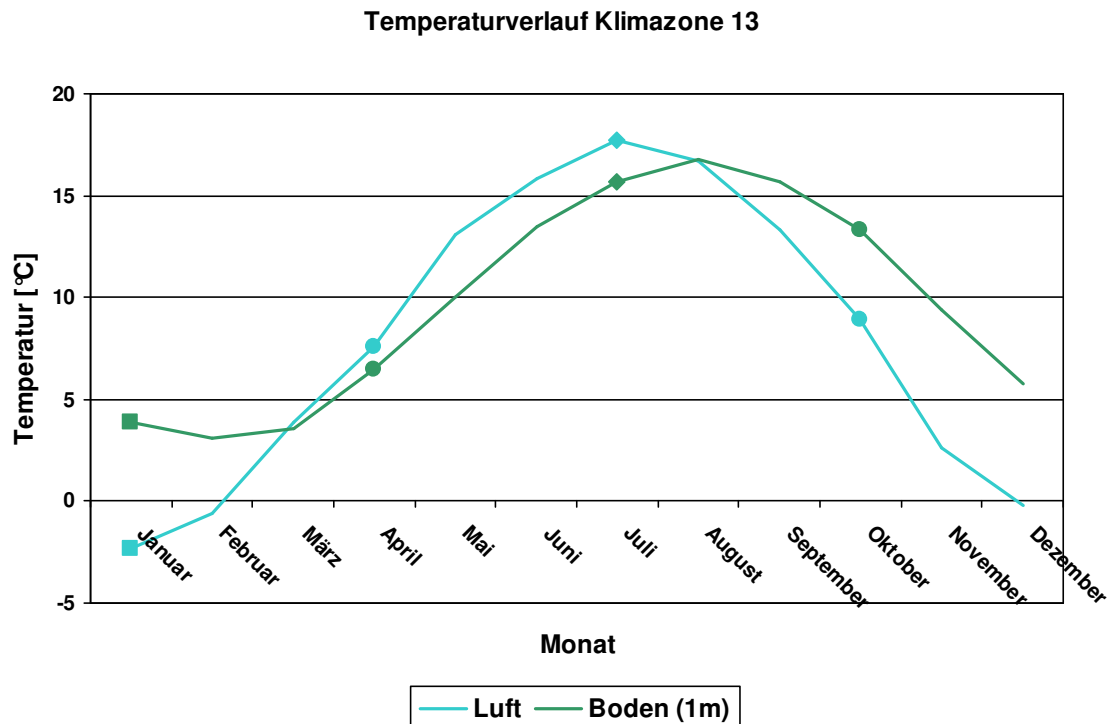


Abbildung 3.5: Jahrestemperaturverlauf für Luft und Boden in Klimazone 13 [7]

Zur Abbildung der Wärmepumpentechnologien wurden die Monats-Mittelwerte für Lufttemperatur und Bodentemperatur in 1m Tiefe für die Klimazone 13 ermittelt (Abbildung 3.5).

Die Bodentemperaturen der gewählten Übergangsmonate April und Oktober für die Übergangstage der VDI 4655 unterscheiden sich stark voneinander. Dies ist wahrscheinlich auf die Erwärmung des Bodens durch die sommerliche Sonneneinstrahlung zurückzuführen. Da in der VDI 4655 nicht zwischen Frühling und Herbst unterschieden wird, sondern nur Typtage für den Übergang definiert werden, wurde aus den Werten von April und Oktober ein Mittelwert gebildet und als Wert für die Typtage Übergang genutzt.

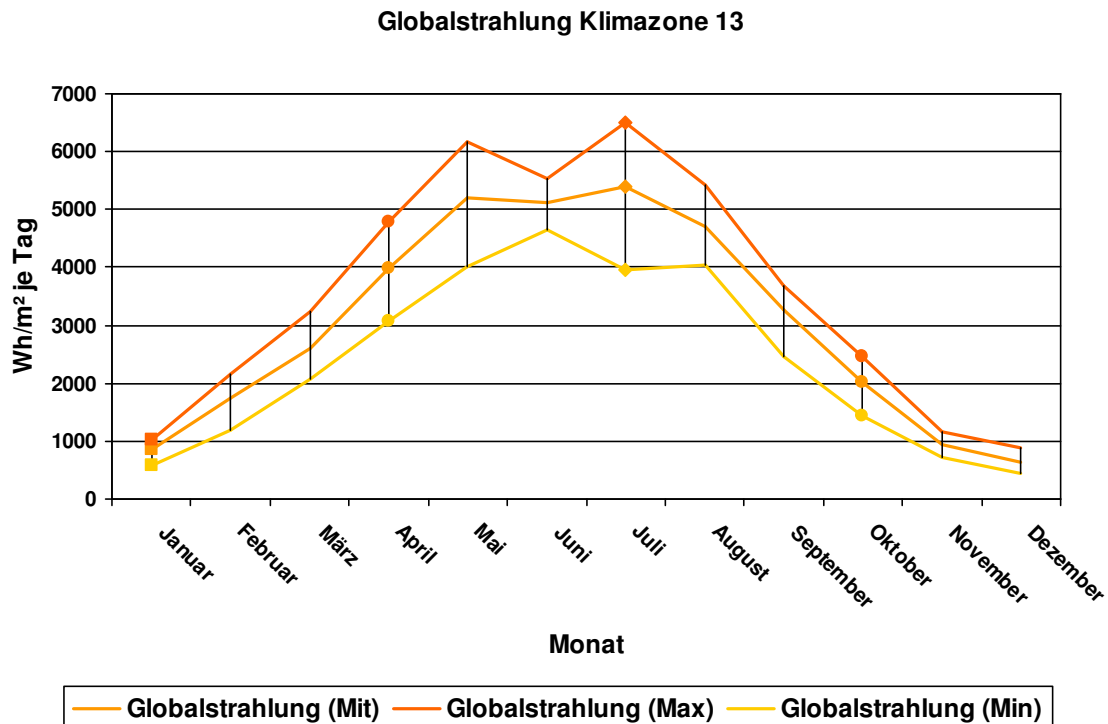


Abbildung 3.6: Jahresverlauf der Globalstrahlung in Klimazone 13

Zur Simulation des Brennwertgerätes mit solarer Unterstützung musste der solare Nutzen für die Typtagkategorien ermittelt werden. Abbildung 3.6 zeigt den Jahresverlauf der Globalstrahlung in der Klimazone 13.

Ein sonniger, wolkenloser Tag zeichnet sich durch eine hohe Globalstrahlung mit einem geringen Anteil an diffuser Strahlung aus. Mit zunehmender Bewölkung nimmt die Globalstrahlung ab und der Anteil der diffusen Strahlung nimmt zu.

Solarthermische Hausanlagen können jedoch beide Strahlungsarten nutzen, darum wurde mit den Extremwerten der Globalstrahlung für die jeweilige Klimazone gerechnet. Für die heiteren Tage wurde der minimale Wert und für die bewölkten Tage der maximale Wert genommen. Für den Sommer sind nach der VDI 4655 nur Tage mit einer beliebigen Bewölkung definiert, darum wurde bei diesen Tagen der mittlere Wert benutzt um eine eventuelle Abweichung so gering wie möglich zu halten.

Wie bei den Temperaturen traten auch bei den Strahlungswerten der Übergangsmonate große Unterschiede auf. Wie schon vorher wurde hier der Durchschnitt bestimmt um für den Übergang mit einem einzelnen Wert rechnen zu können.

4 Simulationsergebnisse: EFH

Die Simulationen wurden ausgehend von einem Gebäudetyp für die verschiedenen Vorketten durchgeführt. Abbildung 4.1 zeigt schematisch die Vorgehensweise bei Einfamilienhäusern.

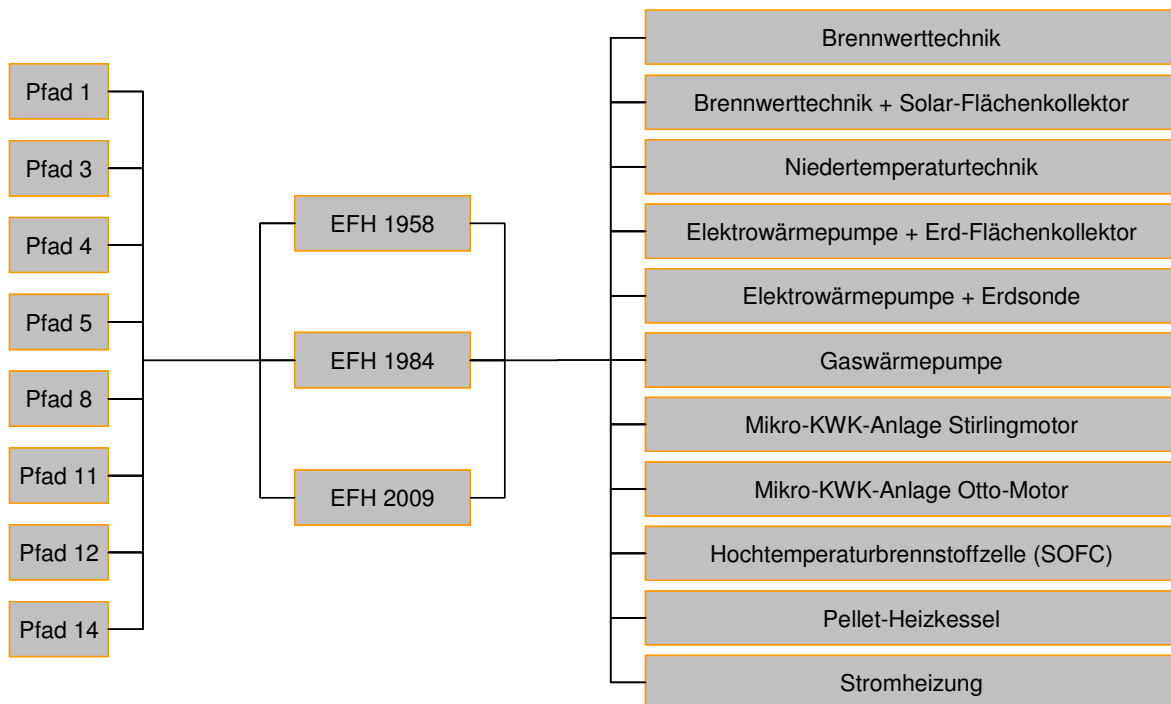


Abbildung 4.1: Schematische Darstellung der Simulationsmöglichkeiten EFH

Daraus folgt eine Vielzahl an Kombinationsmöglichkeiten von Vorketten, Gebäuden und der Anlagentechnik. Insgesamt ergeben sich somit 344 verschiedene Einzelpfade von der Primärenergieförderung bis zur Nutzenergie für ein Gebäude. Durch das Zusammenfassen der Anlagentechniken je Simulationdurchlauf konnten diese Varianten auf eine Anzahl von 24 Ergebnistabellen für das Einfamilienhaus minimiert werden.

Aufgrund der Fülle an Datenmaterial sollen zunächst nachfolgend exemplarisch die Simulationsergebnisse der einzelnen Gebäudetypen in Verbindung mit einer Stromversorgung, die dem derzeitigen „Deutschen Strommix“ entspricht, diskutiert werden. Des Weiteren werden ausgewählte Ergebnisse mit anderen Pfaden der Vorketten aufgezeigt. Sämtliche Simulationsergebnisse befinden sich in tabellarischer und grafischer Form im Anhang A1.

4.1 EFH 1958 Deutscher Strommix

In Tabelle 4.1 sind die Simulationsergebnisse für das Gebäude, Baujahr 1958 dargestellt. Zugrunde gelegt wurden die Vorgaben aus Kapitel 3.5. Es handelt sich demnach um ein Gebäude mit 115m² Nutzfläche, sowie einer Belegung von 3 Personen. Der Jahreswärmebedarf wird mit 29900 kWh/a angegeben.

Auswertung Einfamilienhaus 1958; Pfad 14:

Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	29900
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{WW,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	EFH 1958- P14-A1	EFH 1958- P14-A2	EFH 1958- P14-A3	EFH 1958- P14-A4	EFH 1958- P14-A5	EFH 1958- P14-A6	EFH 1958- P14-A7	EFH 1958- P14-A8	EFH 1958- P14-A9	EFH 1958- P14-A10	EFH 1958- P14-A11
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	$\eta_{\text{p,th}}$	%	90	90	90	39,33	39,33	90	90	90	90	88	100
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	$\eta_{\text{p,el}}$	%	35,65	35,65	35,65	35,65	35,65	35,65	35,65	35,65	35,65	35,653	35,65
Spezifische CO ₂ Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO}_2,\text{th}}$	g/kWh	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	38	0
Spezifische CO ₂ Emissionen Strom	$f_{\text{CO}_2,\text{el}}$	g/kWh	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{p,th}}$	kWh	38249	33835	31960	21190	20849	28231	42647	48183	49512	38712	0
Stromproduktion	$W_{\text{el,kWK}}$	kWh	0	0	0	0	0	0	4753	11925	10875	0	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{p,el,kWK}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-12092,90	-30344,39	-27670,63	0,00	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{p,el}}$	kWh	14727	14727	14727	20870	20870	14727	14727	14727	14727	14725	104741
Differenz	$\Delta E_{\text{p,el}}$	kWh	14727	14727	14727	20870	20870	14727	2634	-15618	-12944	14725	104741
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{p,ges}}$	kWh	52976	48562	46686	42059	41719	42958	45280	32565	36568	53438	104741
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$e_{\text{p,NL}}$	%	0,0	8,3	11,9	20,6	21,2	18,9	14,5	38,5	31,0	-0,9	-97,7
Laufzeit Volllast	t_{Voll}	h	355,0	463,6	439,8	1535,2	1689,3	976,1	214,6	2168,2	1665,7	355,0	0,0
Laufzeit Teillast	t_{Teil}	h	4759,2	4746,7	4476,5	0,0	0,0	5931,3	4841,2	0,0	5881,8	4759,2	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{B,th}}$	%	60,6	66,1	68,7	76,3	76,9	74,7	70,9	98,5	87,8	60,1	30,6
Brennstoffnutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{B,el}}$	%	9,9	10,8	11,2	12,5	12,6	12,2	11,6	16,1	14,4	9,8	5,0
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{B,ges}}$	%	70,5	76,9	80,0	88,8	89,5	86,9	82,5	114,7	102,1	69,9	35,6
Anlagennutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{N,th}}$	%	80,9	89,9	94,3	189,6	191,2	104,7	73,5	66,0	64,4	81,6	85,9
Anlagennutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{N,el}}$	%	13,2	14,7	15,4	47,2	47,6	17,1	13,4	13,9	13,1	13,4	14,1
Anlagennutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{N,ges}}$	%	94,1	104,6	109,8	236,7	238,7	121,8	85,6	76,8	75,0	95,0	100,0
CO ₂ -Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO}_2,\text{th}}$	t	8,1	7,2	6,8	0,0	0,0	6,0	9,0	10,2	10,5	1,3	0,0
CO ₂ -Emissionen Strom	$m_{\text{CO}_2,\text{el}}$	t	2,7	2,7	2,7	7,8	7,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	19,4
CO ₂ -Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO}_2,\text{strot}}$	t	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-2,5	-6,2	-5,6	0,0	0,0
Differenz			2,7	2,7	2,7	7,8	7,7	2,7	0,3	-3,5	-2,9	2,7	19,4
CO ₂ -Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	t	10,8	9,9	9,5	7,8	7,7	8,7	9,3	6,7	7,5	4,0	19,4
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$e_{\text{CO}_2,\text{NL}}$	%	0,0	8,6	12,3	28,0	28,6	19,6	14,2	37,8	30,2	62,8	-79,3
Spezifische CO ₂ -Emissionen	$f_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	g/kWh	289,6	264,6	253,9	208,5	206,8	232,8	248,4	180,0	202,1	107,7	519,2

Tabelle 4.1: Simulationsergebnisse EFH 1958, Pfad 14 (Deutscher Strommix)

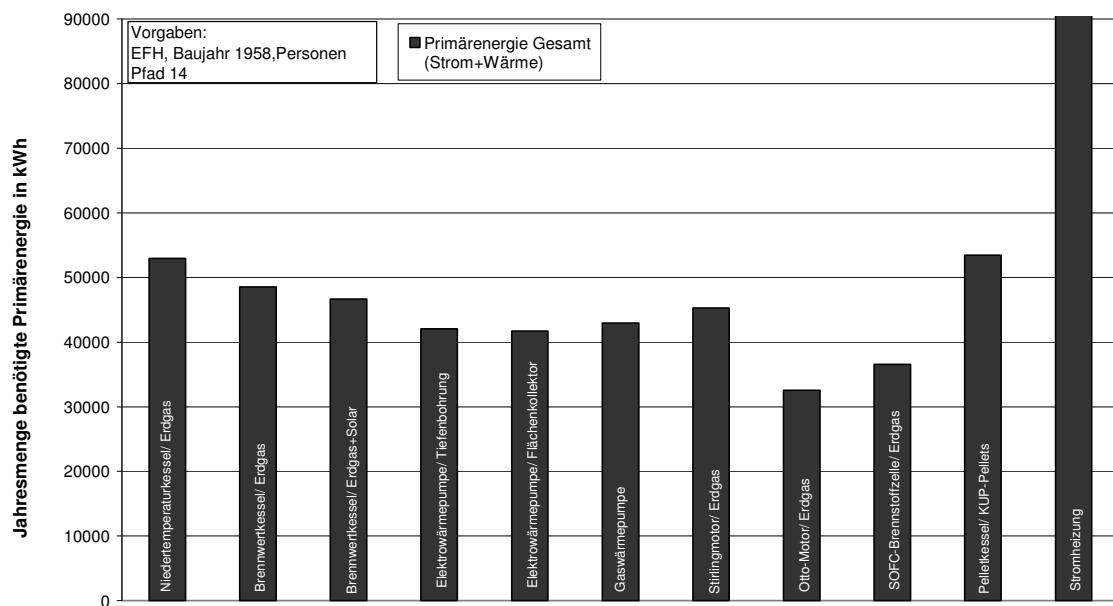


Abbildung 4.2: Jahresmengen benötigter Primärenergie EFH 1958, Pfad 14

Die insgesamt benötigte Primärenergie, um das EFH 1958 sowohl mit thermischer Energie zur Beheizung und zur Trinkwarmwasserbereitung als auch mit elektrischem Strom zu versorgen, wird in Abbildung 4.2 gezeigt. Es ist zu erkennen, dass eine Anlagenlösung bei den in der Simulation vorgegebenen Rahmenbedingungen mit einer Mikro-KWK-Anlage auf Basis eines Otto-Motors die primärenergetisch effizienteste Lösung für diesen Haustyp darstellt. Dass die Anlagenkombination aus SOFC-Brennstoffzelle und Zusatzheizgerät in ca. 4000 kWh mehr Primärenergie als der Otto-Motor benötigt, liegt an der geringen thermischen Leistung der SOFC-Einheit. Mit einer thermischen Leistung im Betriebsoptimum (elektrische Leistung 1,5 kW) von 500W kann nur ein geringer Teil der Wärmelasten bedient werden. Deutlich wird dies an den gelieferten Jahresenergiemengen die mithilfe der Laufzeit des Spitzenlastkessel von 1700h/a und der Laufzeit der SOFC-Brennstoffzelle von ca. 7600h/a ermittelt werden können. Hier zeigt sich, dass die von der Brennstoffzelle während eines Jahres bereitgestellte Wärmemenge von 3774 kWh nur einen sehr geringen Anteil an der Wärmeversorgung hat. Der Großteil der benötigten Wärmemenge, ca. 28317 kWh, wird durch das zusätzlich benötigte Brennwertgerät bereitgestellt. Obwohl der thermische Nutzen der Brennstoffzelle sehr gering ist, kann aufgrund der hohen Stromkennzahl von 3 und der elektrischen Leistung von 1,5 theoretisch der gesamte Strombedarf des Gebäudes gedeckt werden, wie aus den Ergebnissen in Abbildung 4.3. Diese Darstellung ist eine Aufteilung der Abbildung 4.2 in die

benötigten Primärenergien Mengen zur Versorgung des Gebäudes mit elektrischen Strom und Wärme. Die negativen Balken geben die Menge an Primärenergie an, die durch ein dezentrales Einspeisen von Strom in das öffentliche Netz eingespart werden kann. Werden diese Mengen von den positiven Balken abgezogen, sind die Darstellungen Abbildung 4.2 und Abbildung 4.3 identisch.

Es ist zu erkennen, dass neben der Brennstoffzelle auch der Ottomotor einen Jahresüberschuss an elektrischem Strom generiert. Mit einer Stromkennzahl von 0,34 ist das Verhältnis von generiertem Strom zur Nutzwärme auf den ersten Blick erheblich geringer als das der Brennstoffzelle, allerdings muss bei der Betrachtung der Spitzenlastkessel der Brennstoffzelle mit berücksichtigt werden, so dass sich die Stromkennzahl der gesamten Brennstoffzellenanlage auf einen Wert von 0,09 ändert. Der Stirlingmotor mit einer geringen Stromkennzahl generiert keinen Jahresüberschuss an elektrischem Strom, schafft es allerdings einen Großteil der im Haushalt benötigten elektrischen Energie zu decken und könnte somit mit passenden Regelkonzepten und ausgereifter Speichertechnologien den bezogenen Strom auf ein Jahresminimum begrenzen.

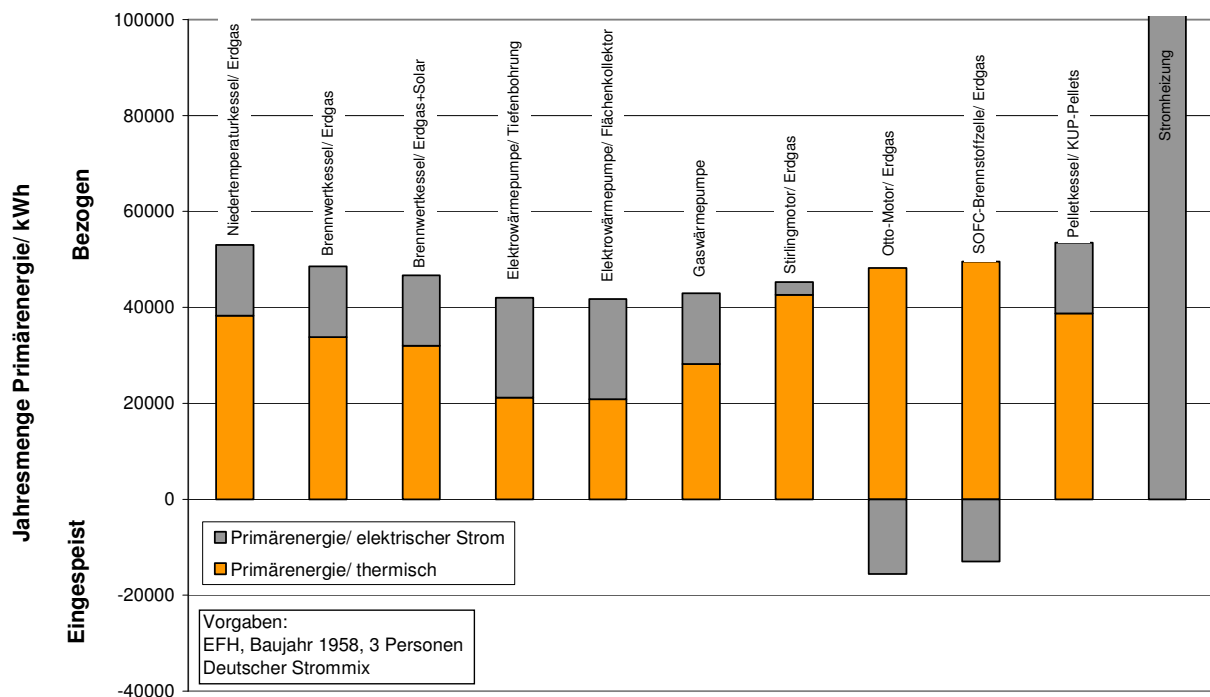


Abbildung 4.3: Getrennte Jahresmengen benötigter Primärenergie EFH 1958, Pfad 14

Ferner wird deutlich, dass sowohl die Gaswärmepumpe als auch die Elektrowärmepumpen etwas weniger Primärenergie benötigen als eine Anlagenlösung auf Basis des Stirlingmotors. Interessant ist das Ergebnis, dass die Elektrowärmepumpe mit Flächenkollektoren nur geringfügig mehr Primärenergie benötigt als die Elektrowärmepumpe mit Erdsonden. Erklärbar ist dieser Umstand durch die Annahme von Mittelwerten bei den Bodentemperaturen. Extremwerte, also starke Minustemperaturen haben somit keinen Einfluss auf die Simulation.

Wie zu erwarten, benötigt die reine Stromheizung, wie sie heute noch vielfach betrieben wird, unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades der Vorkette bei derzeitigem „Deutschem Strommix“ die meiste Primärenergie.

Im Allgemeinen lässt sich festhalten, dass die „neuen“ Technologien wie die Wärmepumpen und Mikro-KWK-Anlagen die Erwartungen an eine Primärenergieeinsparung gegenüber konventionellen Anlagen erfüllen. Abbildung 4.4 zeigt diesen Umstand und gibt die Prozentuale Einsparung an Primärenergie der jeweiligen Anlagenlösungen im Verhältnis zur Lösung mit einem Niedertemperaturgerät an.

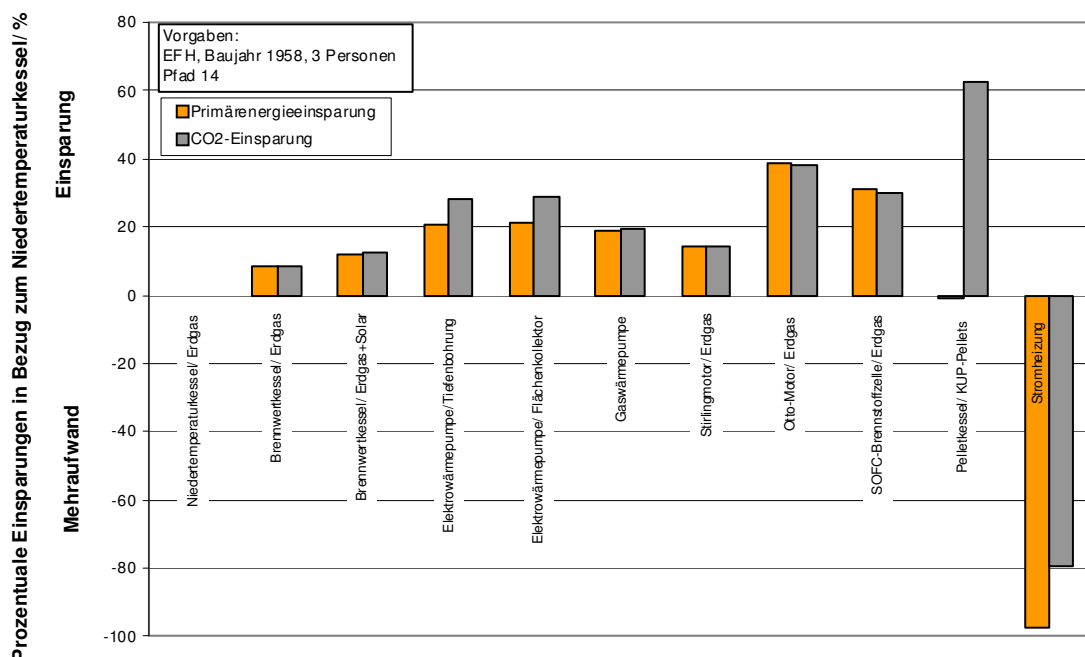


Abbildung 4.4: Einsparungen zum Niedertemperaturkessel EFH 1958, Pfad 14

Neben der Primärenergieeinsparung ist in Abbildung 4.4 auch die prozentuale Einsparung an emittiertem CO₂ dargestellt. In Verbindung mit Abbildung 4.5 ist der positive Umweltaspekt der Pelletkesselanlage gut ersichtlich. Unter der Berücksichtigung, dass es sich bei den in Kurzumtriebsplantagen gewonnenen

Holzpellets um einen voll regenerativen Brennstoff handelt, ist dieser Umstand verständlich. Bei zunehmender Biogaseinspeisung relativiert sich das Verhältnis der CO₂-Emissionen zwischen den Pelletkesselanlagen und den gasbetriebenen Anlagen (s. Kapitel 6).

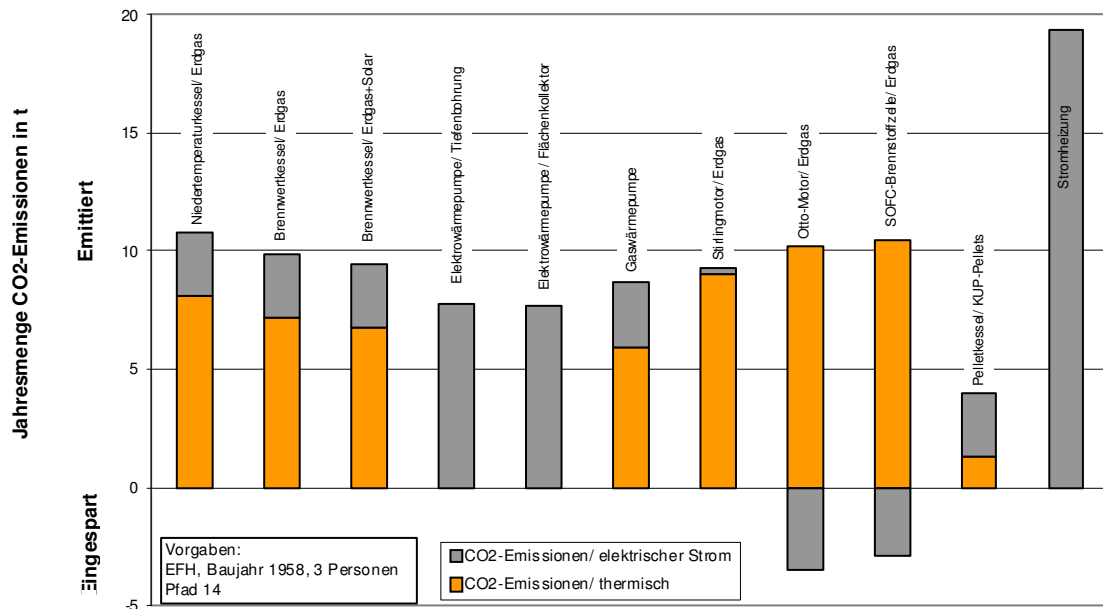


Abbildung 4.5: Getrennte Jahresmengen: emittiertes CO₂, EFH 1958, Pfad 14

Neben den Pelletkesseln sind hinsichtlich des Umwelteinflusses sowohl die Elektrowärmepumpen als auch die Mikro-KWK-Lösungen mit SOFC-Brennstoffzelle und Otto-Motor hervorzuheben. Im Gegensatz zu den Elektrowärmepumpen, die ihre gute CO₂-Bilanz durch den Nutzen von Umweltwärme aufzeigen, ist bei den KWK-Anlagen analog zur Primärenergienutzung die Substitution des konventionell generierten Stromes ausschlaggebend für die CO₂-Bilanz. In Abbildung 4.5 ist dies durch die in den negativen Bereich des Diagramms hineinragende Balken dargestellt. Damit die einzelnen Technologien direkt miteinander verglichen werden können, müssen die negativen Ausschläge den positiven („emittierten“) abgezogen werden.

4.2 EFH 1984 Deutscher Strommix

Die Ergebnisse der Simulation für das Einfamilienhaus mit Baujahr 1984 bei einer elektrischen Versorgung mit dem Deutschen Strommix sind in Tabelle 4.2 hinterlegt. Im Gegensatz zum EFH 1958 verringert sich bei diesem Gebäudetyp der Jahreswärmebedarf um ca. 5000 kWh bei gleicher Fläche und Belegung. Die Verbrauchswerte für Strom und Warmwasser ändern sich nicht, da diese von der Personzahl im Gebäude abhängt.

Auswertung Einfamilienhaus 1984; Pfad 14:

Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	24725
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWW,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	EFH 1984- P14-A1	EFH 1984- P14-A2	EFH 1984- P14-A3	EFH 1984- P14-A4	EFH 1984- P14-A5	EFH 1984- P14-A6	EFH 1984- P14-A7	EFH 1984- P14-A8	EFH 1984- P14-A9	EFH 1984- P14-A10	EFH 1984- P14-A11
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	$\zeta_{\text{p,th}}$	%	90	90	90	39,33	39,33	90	90	90	88	35,65	35,65
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	$\zeta_{\text{p,el}}$	%	35,65	35,65	35,65	35,65	35,65	35,65	35,65	35,65	35,65	35,65	35,65
Spezifische CO ₂ Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO}_2,\text{th}}$	g/kWh	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	38	0
Spezifische CO ₂ Emissionen Strom	$f_{\text{CO}_2,\text{el}}$	g/kWh	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{p,th}}$	kWh	32029	27807	25931	17522	17241	22795	36436	40413	43528	32526	0
Stromproduktion	$W_{\text{el,kwk}}$	kWh	0	0	0	0	0	0	4492	10002	10832	0	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{p,el,sub}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-11430,47	-25450,90	-27563,60	0,00	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{p,el}}$	kWh	14727	14727	14727	20870	20870	14727	14727	14727	14727	14725	90224
Differenz	$\Delta E_{\text{p,el}}$	kWh	14727	14727	14727	20870	20870	14727	3296	-10724	-12837	14725	90224
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{p,ges}}$	kWh	46756	42533	40657	38392	38110	37522	39732	29689	30691	47251	90224
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{p,nt}}$	%	0,0	9,0	13,0	17,9	18,5	19,8	15,0	36,5	34,4	-1,1	-93,0
Laufzeit Vollast	t_{voll}	h	50,5	139,4	115,6	1269,5	1396,9	625,4	8,7	1818,6	1361,3	50,5	0,0
Laufzeit Teillast	t_{teil}	h	4815,8	4812,7	4542,5	0,0	0,0	5565,5	4770,2	0,0	6186,3	4815,8	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	$\zeta_{\text{br,th}}$	%	57,6	63,3	66,2	70,1	70,6	71,7	67,7	90,7	87,7	57,0	29,8
Brennstoffnutzungsgrad Strom	$\zeta_{\text{br,el}}$	%	11,2	12,3	12,9	13,7	13,8	14,0	13,2	17,7	17,1	11,1	5,8
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	$\zeta_{\text{br,ges}}$	%	68,8	75,6	79,1	83,8	84,4	85,7	81,0	108,3	104,8	68,1	35,6
Anlagennutzungsgrad Thermisch	$\zeta_{\text{an,th}}$	%	79,0	88,9	94,1	172,5	173,9	104,5	70,7	64,7	60,6	79,5	83,7
Anlagennutzungsgrad Strom	$\zeta_{\text{an,el}}$	%	15,4	17,3	18,4	51,9	52,3	20,4	15,5	16,1	15,2	15,5	16,3
Anlagennutzungsgrad Gesamt	$\zeta_{\text{an,ges}}$	%	94,4	106,2	112,5	224,4	226,2	124,8	84,5	77,3	72,4	95,0	100,0
CO ₂ -Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO}_2,\text{th}}$	t	6,8	5,9	5,5	0,0	0,0	4,8	7,7	8,5	9,2	1,1	0,0
CO ₂ -Emissionen Strom	$m_{\text{CO}_2,\text{el}}$	t	2,7	2,7	2,7	7,1	7,1	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	16,7
CO ₂ -Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO}_2,\text{el,kwk}}$	t	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-2,3	-5,2	-5,6	0,0	0,0
Differenz			2,7	2,7	2,7	7,1	7,1	2,7	0,4	-2,5	-2,9	2,7	16,7
CO ₂ -Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	t	9,5	8,6	8,2	7,1	7,1	7,5	8,1	6,1	6,3	3,8	16,7
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{CO}_2,\text{nt}}$	%	0,0	9,4	13,6	25,2	25,7	20,6	14,7	36,0	33,6	59,8	-75,8
Spezifische CO ₂ -Emissionen	$f_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	g/kWh	295,3	267,5	255,2	220,9	219,3	234,6	251,7	188,9	196,0	118,6	519,2

Tabelle 4.2: Simulationsergebnisse EFH 1984, Pfad 14

In Abbildung 4.6 sind, wie schon im vorherigen Kapitel, die absoluten Verbräuche an Primärenergie bezogen auf das Gebäude sowie die Vorkette dargestellt.

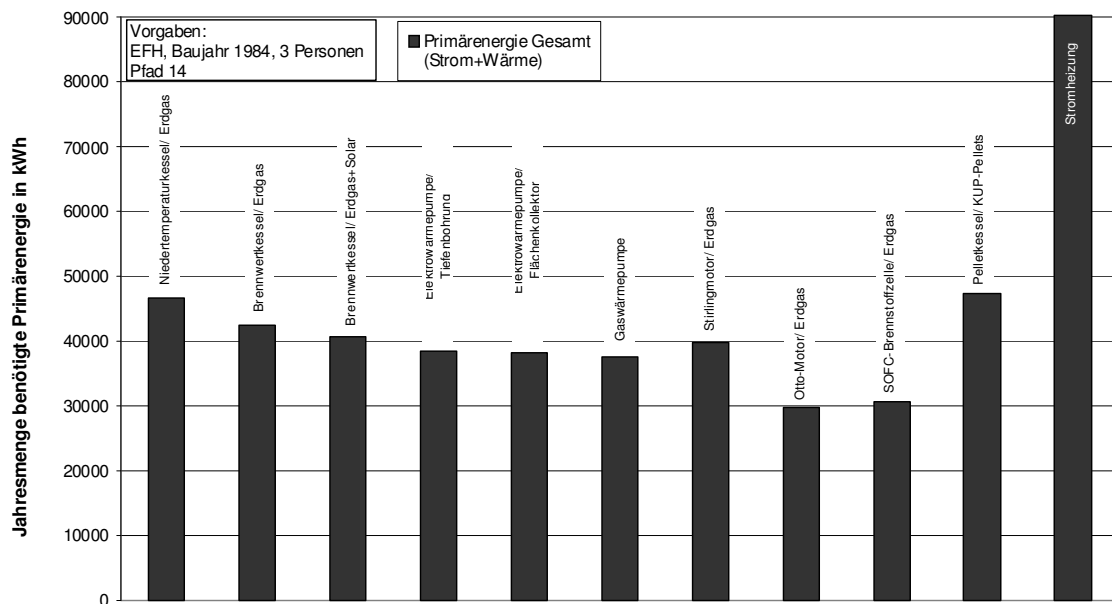


Abbildung 4.6: Jahresmengen benötigter Primärenergie EFH 1984, Pfad 14

Vergleicht man die Jahresmengen der benötigten Primärenergien des EFH 1984 mit denen des EFH 1958, so fällt auf, dass insgesamt je Technologie natürlich weniger Primärenergie aufgrund des geringeren Jahreswärmebedarfes des Gebäudes benötigt wird. Weiterhin ist ersichtlich, dass sich der Abstand zwischen Otto-Motor und SOFC-Brennstoffzelle mit Zusatzheizgerät verringert hat. Waren es im EFH 1958 noch in etwa 4000 kWh mehr benötigte Primärenergie bei der Brennstoffzelle, sind es im EFH 1984 nur noch in etwa 1000 kWh. Aufgrund des geringeren Wärmebedarfs erreicht der nicht teillastfähige Otto-Motor noch eine Laufzeit von 1818,6 h während dieser im EFH 1958 noch eine Laufzeit von 2168 h aufweist. Auch die Laufzeit der Brennstoffzellenanlage verringert sich gegenüber dem EFH 1958 um 305 Stunden, allerdings verringert sich der Stromertrag hierbei nicht in dem Maß wie es beim Otto-Motor der Fall ist. Die höhere elektrische Leistung des Otto-Motors ist hierbei ausschlaggebend. Deutlich wird dies in Abbildung 4.7.

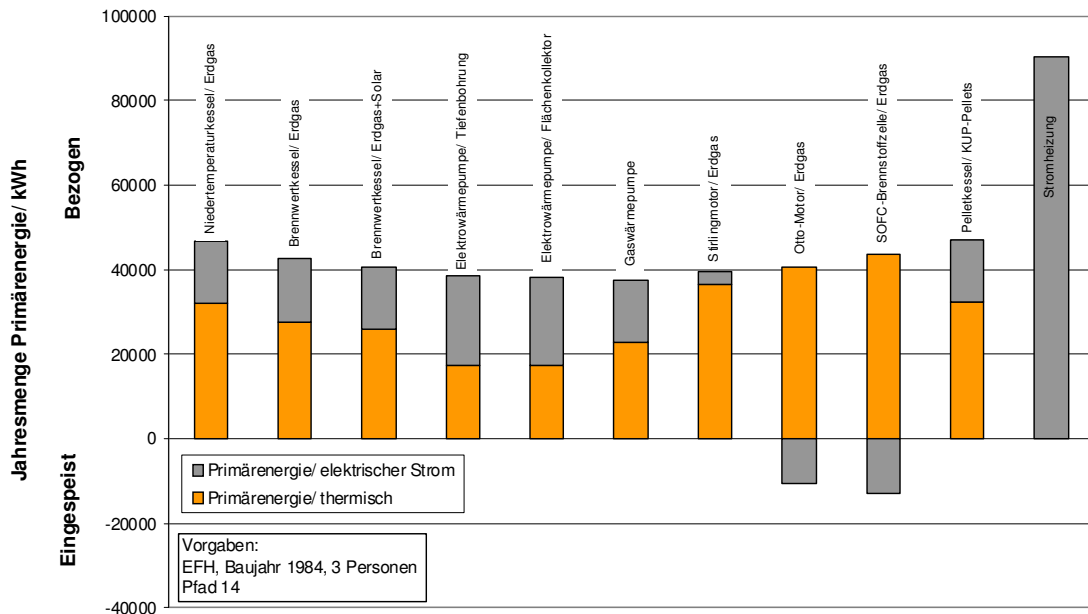


Abbildung 4.7: Getrennte Jahresmengen benötigter Primärenergie EFH 1984, Pfad 14

Zu erkennen ist, dass sich im EFH 1984 die Stromerträge zu Gunsten der Brennstoffzellenanlage verschoben haben. Wie zu erwarten, hat der Wärmebedarf eines Gebäudes und insbesondere das Verhältnis von Wärmebedarf zu Strombedarf einen großen Einfluss auf den Nutzen von Mikro-KWK-Anlagen. Sehr deutlich wird dies am Beispiel des EFH 2009 wie das nächste Kapitel zeigen wird.

Sowohl die konventionellen Technologien als auch die Wärmepumpen verhalten sich untereinander ähnlich wie im EFH 1958. Bei einer Anlagenlösung mit Stirlingmotor wird aufgrund des verringerten Wärmebedarfs und der damit einhergehenden kürzeren Laufzeit etwas mehr an elektrischen Strom bezogen als im EFH 1958.

Auch die prozentualen Einsparungen gegenüber der Niedertemperaturtechnik ähneln in ihrer Charakteristik denen von 1958, siehe Abbildung 4.8.

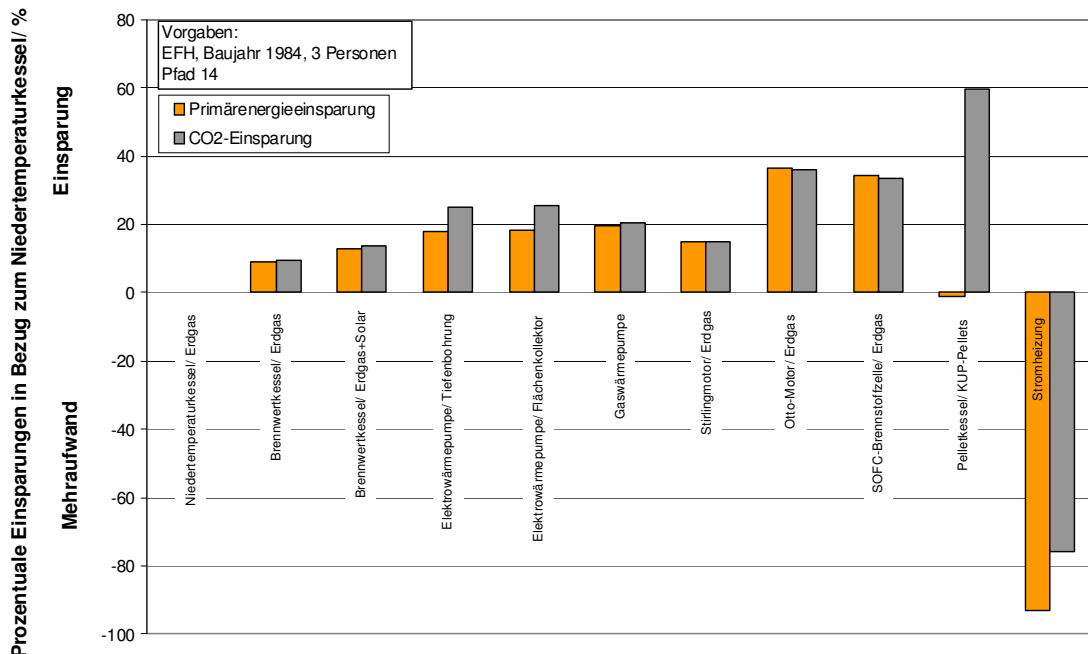


Abbildung 4.8: Einsparungen zum Niedertemperaturkessel EFH 1984, Pfad 14

In dieser Darstellung wird die Laufzeitabhängigkeit des Otto-Motors hinsichtlich der primärenergetischen Effizienz deutlich. Im Vergleich zum EFH 1958, sinkt hier die prozentuale Einsparung gegenüber der Niedertemperaturtechnik, während die Brennstoffzelle mit Zusatzheizgerät hier etwas besser abschneidet. Die Werte der anderen Technologien zeigen keine signifikanten Veränderungen.

Die Einsparungen an CO₂-Emissionen zeigen die gleiche Charakteristik wie in dem zuvor betrachteten Beispiel. Hier gleichen sich Brennstoffzelle mit Zusatzheizgerät und Otto-Motor an. Dies ist zum einen der Tatsache geschuldet, dass die spezifischen CO₂-Emissionen, die bei der Verbrennung entstehen, wie in Kapitel 3.5.3 aufgezeigt, keine Berücksichtigung finden und zum anderen stehen die absoluten CO₂-Emissionen letztlich immer im Zusammenhang mit der eingesetzten Primär- bzw. Endenergie. Daher entsprechen die Ergebnisse der Simulation für das EFH 1984 hinsichtlich der emittierten CO₂-Mengen denen des EFH 1958, wie Abbildung 4.9 zeigt.

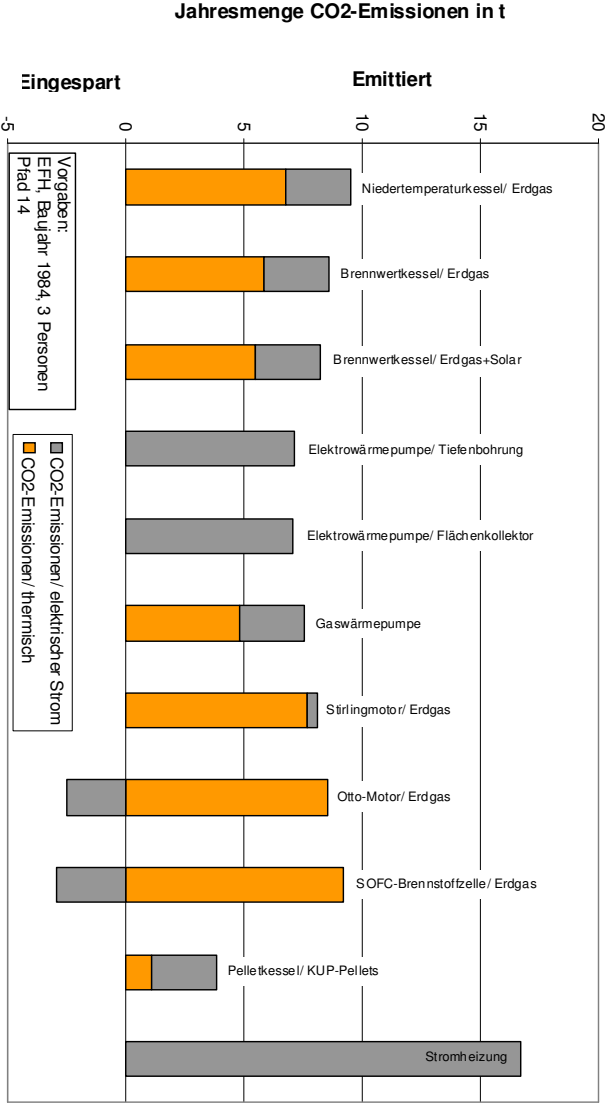


Abbildung 4.9: Getrennte Jahresmengen: emittiertes CO₂, EFH 1984, Pfad 14

4.3 EFH 2009 Deutscher Strommix

Analog zu den vorherigen beiden Beispielen werden hier zunächst die Ergebnisse der Simulation für ein Einfamilienhaus mit dem Baujahr 2009 in Tabelle 4.3 dargestellt werden. Auch hier wird das Gebäude elektrisch mit dem „Deutschen Strommix“ versorgt. Die Personenzahl ist ebenso unverändert wie die Fläche und damit verbunden der Strom- und Trinkwarmwasserbedarf. Sehr deutlich verringert hat sich bei diesem Gebäudetyp der Jahreswärmebedarf auf einen Wert von 5175 kWh was in erster Linie auf die Einführung der Wärmeschutzverordnung und der EnEV zurückzuführen ist.

Auswertung Einfamilienhaus 2009; Pfad 14:

Gebäudedaten			
Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{WZ, a}}$	kWh	5175
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{WW, a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el, a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	EFH 2009- P14-A1	EFH 2009- P14-A2	EFH 2009- P14-A3	EFH 2009- P14-A4	EFH 2009- P14-A5	EFH 2009- P14-A6	EFH 2009- P14-A7	EFH 2009- P14-A8	EFH 2009- P14-A9	EFH 2009- P14-A10	EFH 2009- P14-A11
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	$\epsilon_{\text{p, th}}$	%	90	90	90	39,33	39,33	90	90	90	90	88	90
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	$\epsilon_{\text{p, el}}$	%	35,65	35,65	35,65	35,65	35,65	35,65	35,65	35,65	35,65	35,653	35,65
Spezifische CO2 Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO2, th}}$	g/kWh	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	38	0
Spezifische CO2 Emissionen Strom	$f_{\text{CO2, el}}$	g/kWh	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{p, th}}$	kWh	8762	7521	5700	3667	3609	5456	9980	11059	20924	8904	0
Stromproduktion	$W_{\text{el, kWK}}$	kWh	0	0	0	0	0	0	1236	2737	10674	0	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{p, el, stb}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-3145,72	-6964,36	-27159,29	0,00	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{p, el}}$	kWh	14727	14727	14727	20870	20870	14727	14727	14727	14727	14725	35386
Differenz	$\Delta E_{\text{p, el}}$	kWh	14727	14727	14727	20870	20870	14727	11581	7762	-12433	14725	35386
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{p, ges}}$	kWh	23488	22248	20427	24537	24478	20182	21560	18821	8492	23629	35386
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\rho_{\text{p, Ni}}$	%	0,0	5,3	13,0	-4,5	-4,2	14,1	8,2	19,9	63,8	-0,6	-50,7
Laufzeit Vollast	t_{Voll}	h	0,0	0,0	0,0	265,7	292,4	0,0	0,0	497,6	211,2	0,0	0,0
Laufzeit Teillast	t_{Teil}	h	1363,9	1444,1	1094,4	0,0	0,0	2045,8	1315,2	0,0	7336,3	1363,9	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	$\epsilon_{\text{tr, th}}$	%	31,4	33,1	36,1	30,0	30,1	36,5	34,2	39,1	86,7	31,2	20,8
Brennstoffnutzungsgrad Strom	$\epsilon_{\text{tr, el}}$	%	22,4	23,6	25,7	21,4	21,4	26,0	24,4	27,9	61,8	22,2	14,8
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	$\epsilon_{\text{tr, ges}}$	%	53,7	56,7	61,8	51,4	51,5	62,5	58,5	67,0	148,6	53,4	35,6
Anlagennutzungsgrad Thermisch	$\epsilon_{\text{N, th}}$	%	56,1	61,3	71,0	58,3	58,4	72,5	51,8	48,4	30,6	56,3	58,4
Anlagennutzungsgrad Strom	$\epsilon_{\text{N, el}}$	%	40,0	43,7	50,6	83,8	84,0	51,7	40,0	41,3	36,5	40,1	41,6
Anlagennutzungsgrad Gesamt	$\epsilon_{\text{N, ges}}$	%	96,0	105,0	121,5	142,0	142,4	124,2	88,6	83,0	52,4	96,4	100,0
CO2-Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO2, th}}$	t	1,9	1,6	1,2	0,0	0,0	1,2	2,1	2,3	4,4	0,3	0,0
CO2-Emissionen Strom	$m_{\text{CO2, el}}$	t	2,7	2,7	2,7	4,5	4,5	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	6,5
CO2-Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO2, spar}}$	t	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,6	-1,4	-5,5	0,0	0,0
Differenz		t	2,7	2,7	2,7	4,5	4,5	2,7	2,1	1,3	-2,8	2,7	6,5
CO2-Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO2, ges}}$	t	4,6	4,3	3,9	4,5	4,5	3,9	4,2	3,6	1,6	3,0	6,5
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\rho_{\text{CO2, Ni}}$	%	0,0	5,7	14,1	0,8	1,0	15,3	8,4	20,4	64,9	34,0	-43,1
Spezifische CO2-Emissionen	$f_{\text{CO2, ges}}$	g/kWh	362,9	342,1	311,6	360,0	359,2	307,5	332,4	288,8	127,4	239,7	519,2

Tabelle 4.3: Simulationsergebnisse EFH 2009, Pfad 14

Der im vorherigen Kapitel angesprochene Einfluss des Wärmebedarfs des Gebäudes auf die Effizienz der eingesetzten Technologien, mit besonderer Berücksichtigung der Mikro-KWK-Technologien, wird hier besonders deutlich, wie die folgenden Abbildungen zeigen.

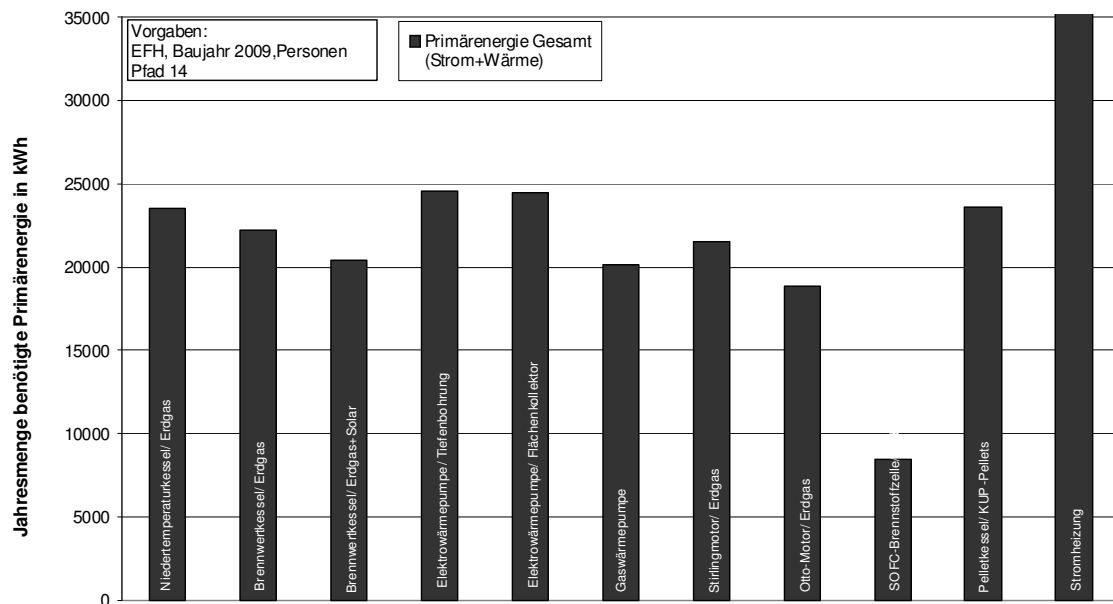


Abbildung 4.10: Jahresmengen benötigter Primärenergie EFH 2009, Pfad 14

Aus Abbildung 4.10 lässt sich die insgesamt benötigte Primärenergie für die Versorgung des EFH 2009 mit elektrischem Strom und Nutzwärme ablesen. Es ist deutlich zu erkennen, dass bei diesem Gebäudetyp die Brennstoffzelle mit einer großen Stromkennzahl die effizienteste Technologie darstellt. Abbildung 4.11 zeigt, dass nur die Brennstoffzellenanlage mit Zusatzheizgerät einen Jahresüberschuss an elektrischen Strom generieren kann, während Otto-Motor und Stirlingmotor einen Großteil des Strombedarfes beziehen müssen. Ausschlaggebend ist dabei der geringe Wärmebedarf des Gebäudes. Wiesen der Stirling- und Otto-Motor im EFH 1958 noch Laufzeiten von mehreren tausend Stunden auf, sind es im EFH 2009 lediglich noch etwa 500 Volllaststunden beim Otto-Motor, sowie ca. 1300 Teillaststunden beim Stirlingmotor. Die Brennstoffzelle konnte ihre Teillastlaufzeit, also reinen Brennstoffzellenbetrieb ohne Zusatzkessel, auf eine Stundenzahl von 7336,3 h im Gegensatz zu 5881,8 h im EFH 1958 erhöhen. Im Gegensatz dazu wurde der Zusatzkessel im hier betrachteten Beispiel kaum genutzt. Lediglich 211 h musste dieser betrieben werden um die Wärmebedarfe zu befriedigen. Im EFH 1958 waren es noch 1666 h. Der hohe elektrische Wirkungsgrad sowie die geringe thermische Leistung der SOFC-Brennstoffzelle sind demnach ausschlaggebend für dieses Ergebnis.

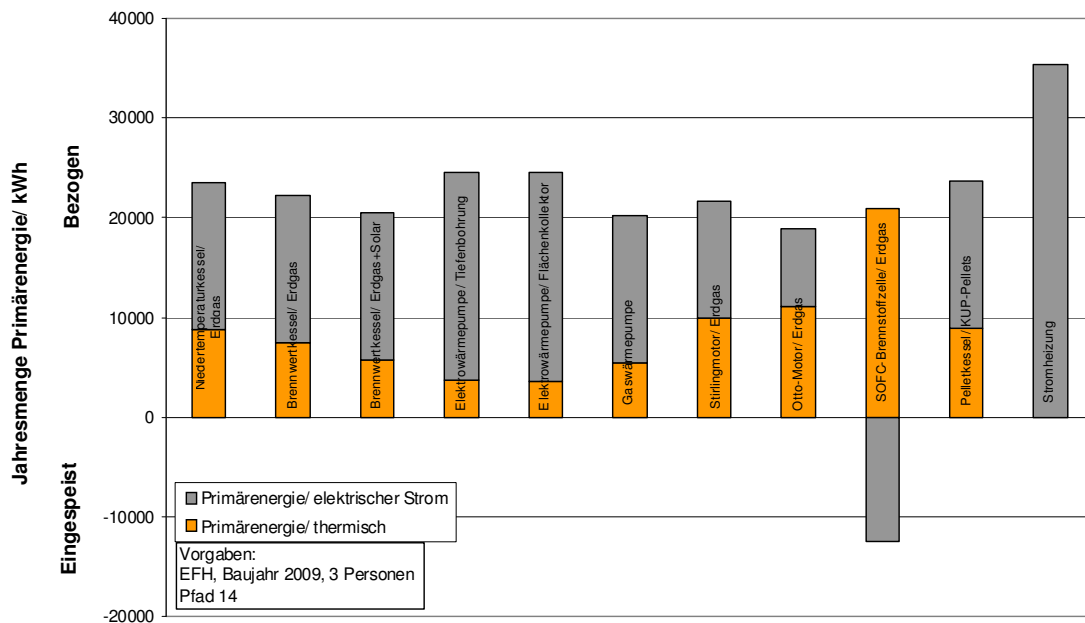


Abbildung 4.11: Getrennte Jahresmengen benötigter Primärenergie EFH 2009, Pfad 14

Deutlich wird ein gerändertes Verhältnis von benötigter Primärenergie für die Versorgung des Gebäudes mit elektrischem Strom zur benötigten Primärenergie für die Versorgung mit Nutzwärme. Anders als beim Bestandsbau von 1958 und 1984 wird hier der größere Teil der Primärenergie für die Bereitstellung von elektrischem Strom benötigt. Auch ist der Einfluss der elektrischen Trinkwarmwasserbereitung bei den Elektrowärmepumpen hier aufgrund des geringen Wärmebedarfs für die Gebäudebeizung deutlich zu erkennen. Dies hat zur Folge, dass im EFH 2009 unter der Voraussetzung, dass die Elektrowärmepumpe nicht in der Lage ist, Trinkwarmwasser zu bereiten und ein zusätzlich elektrisch betriebener Durchlauferhitzer erforderlich ist, mehr Primärenergie benötigt als beispielsweise ein Niedertemperaturkessel.

Neben der Brennstoffzelle mit Zusatzheizgerät und dem Otto-Motor - es sei noch einmal darauf hingewiesen, dass lediglich Effizienz und Umwelteinfluss untersucht werden und keine weiteren Faktoren wie Wirtschaftlichkeit und Einbau zu tragen kommen - sind sowohl die Gaswärmepumpen als auch der Brennwertkessel mit solarer Unterstützung Lösungen, die eine darstellbare Einsparung gegenüber der Niedertemperaturtechnik aufweisen wie Abbildung 4.12 zeigt.

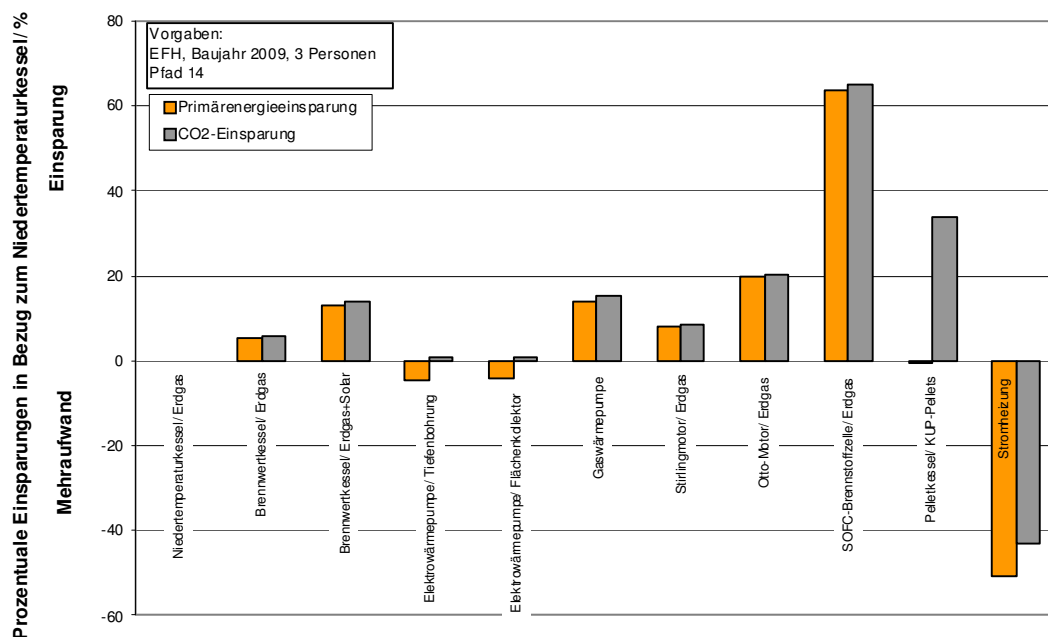


Abbildung 4.12: Einsparungen zum Niedertemperaturkessel EFH 2009, Pfad 14

Aus Abbildung 4.12 und Abbildung 4.13 sind die Umwelteinflüsse in Form der CO₂-Emissionen ersichtlich. Abbildung 4.12 zeigt neben den prozentualen Einsparungen an Primärenergie auch die Einsparungen an CO₂ gegenüber einer Wärmeversorgung mit einem Niedertemperaturkessel. Deutlich erkennbar sind die Einsparungen an CO₂ durch einen Pelletkessel und der SOFC-Brennstoffzelle. War in den vorhergegangenen Beispielen noch der Pelletkessel die Technologie mit den geringsten CO₂-Emissionen ist es hier die SOFC-Brennstoffzelle mit Zusatzheizgerät. Zurückzuführen ist dies auf die lange Laufzeit der Brennstoffzelleneinheit. Durch den hohen Stromertrag kann eine große Menge Strom des „Deutschen Strommixes“ substituiert werden und damit die CO₂-Emissionen stark verringert werden. In Abbildung 4.13 wird dies wieder durch die negativen Werte bei der Brennstoffzelle ausgewiesen.

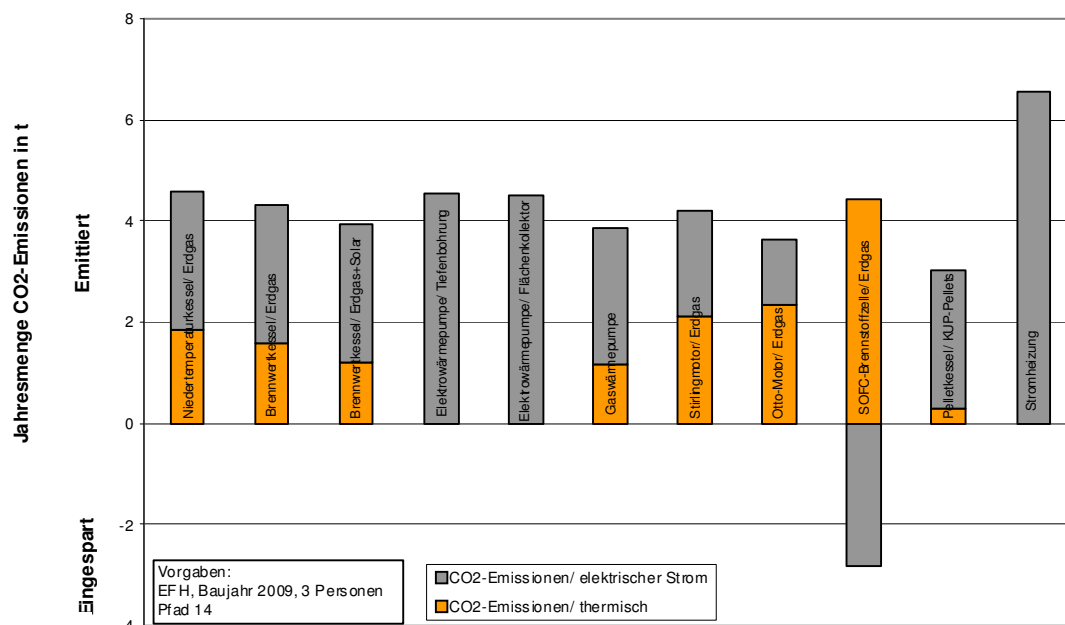


Abbildung 4.13: Getrennte Jahresmengen emittiertes CO₂ EFH 2009, Pfad 14

4.4 Zusammenfassung: EFH, Deutscher Strommix

Die folgenden Abbildungen: Abbildung 4.14, Abbildung 4.15 und Abbildung 4.16 geben die Simulationsergebnisse der drei betrachteten Einfamilienhäuser unter Berücksichtigung der elektrischen Versorgung durch den „Deutschen Strommix“ in einfacher Form wieder.

Dargestellt ist jeweils der Gesamtenergienutzungsgrad, der sich aus der benötigten Nutzenergie (elektrischer Strom + Wärme) im Verhältnis zu der hierfür eingesetzten Primärenergie aufgetragen über den fossilen CO₂-Emissionen der Versorgungskette.

Gesamtenergienutzungsgrade von über 100 % sind insofern möglich, da der Einfluss von regenerativen Quellen wie der Nutzung von Erdwärme oder Solarwärme dem Aufwand abgezogen werden. Bei KWK-Anlagen sind höhere Nutzungsgrade durch die Substitution des in zentralen Kraftwerken umgewandelten elektrischen Stroms möglich.

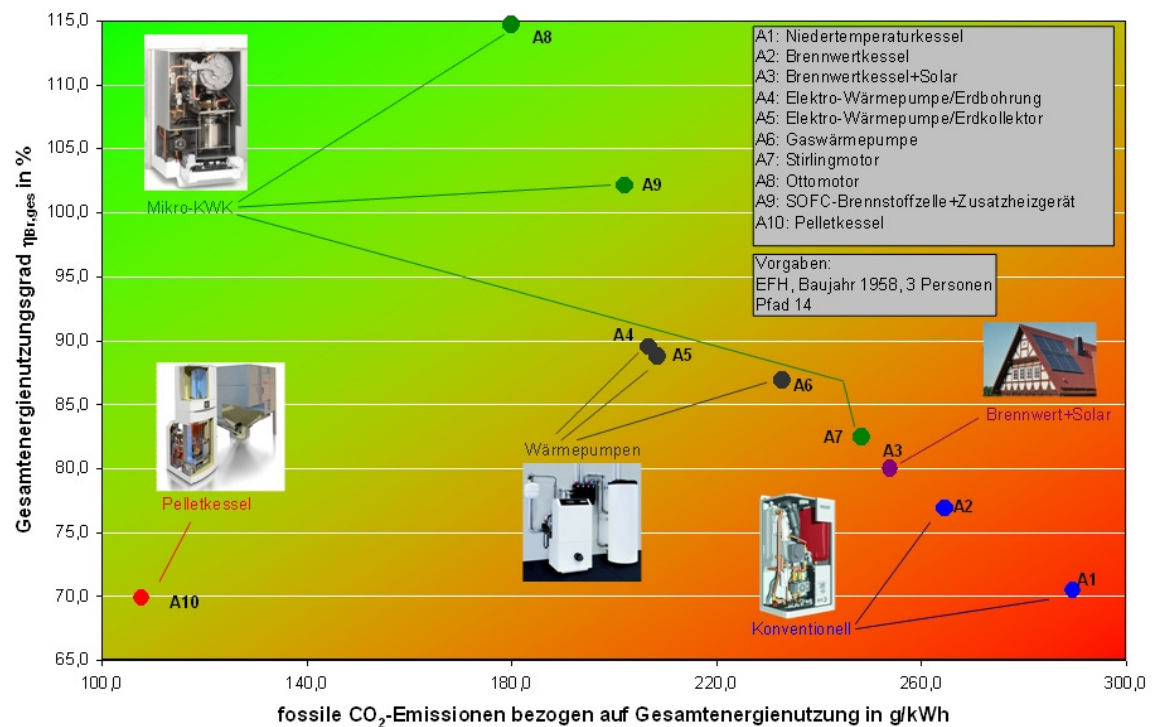


Abbildung 4.14: Zusammenfassung der Simulationsergebnisse EFH 1958, Pfad 14

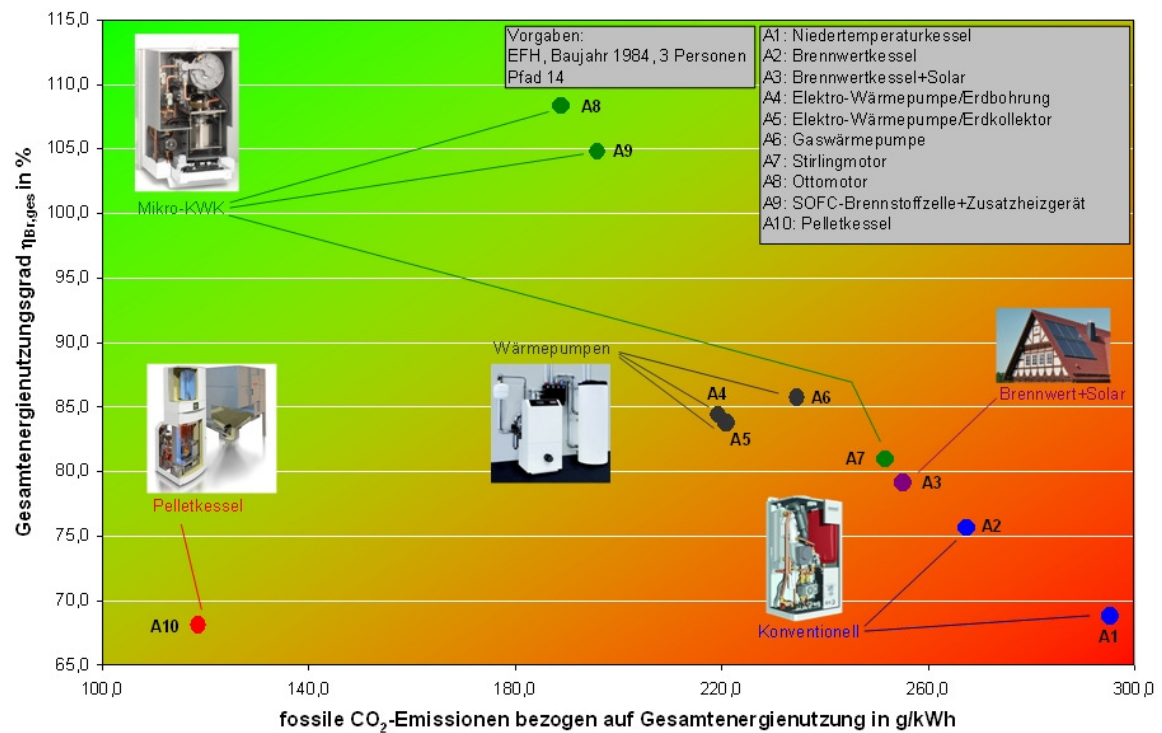


Abbildung 4.15: Zusammenfassung der Simulationsergebnisse EFH 1984, Pfad 14

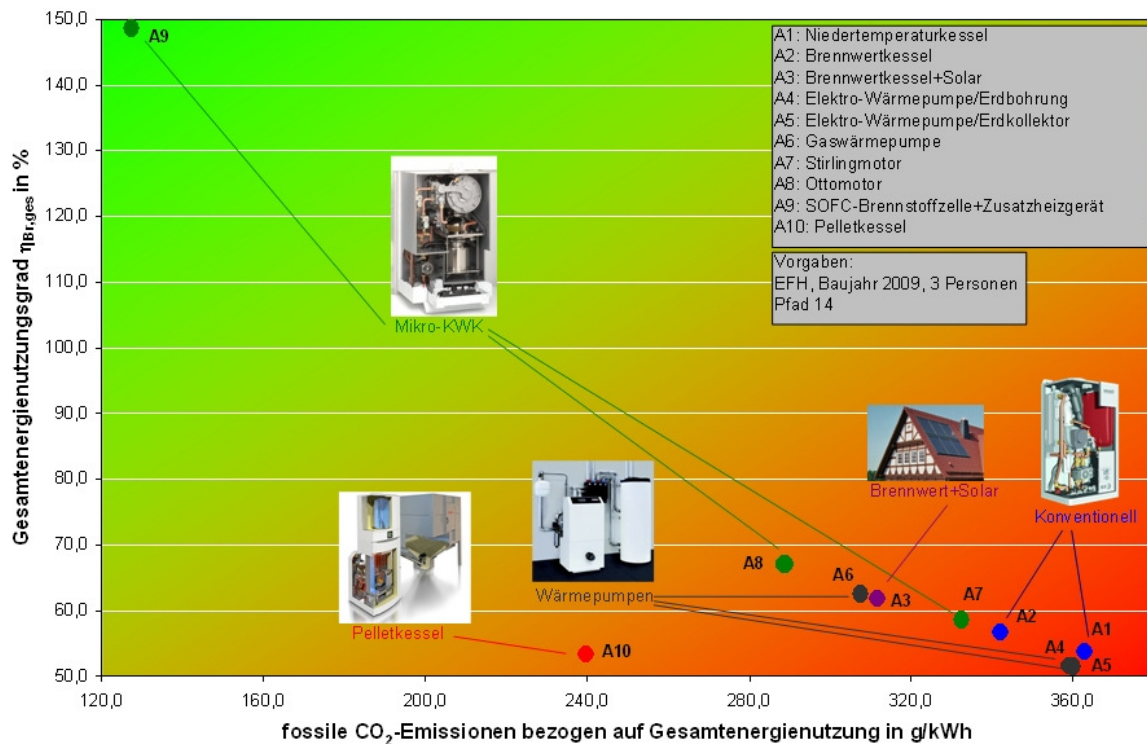


Abbildung 4.16: Zusammenfassung der Simulationsergebnisse EFH 2009, Pfad 14

Es fällt auf, dass der Gesamtenergie nutzungsgrad mit zunehmendem Baujahr der Gebäude sinkt. Dies ist durch das Verhältnis von elektrischem Strom zur Nutzwärme und den Primärenergetischen Nutzungsgraden der Vorketten erklärbar. Steigt der Anteil von elektrischen Strom im Vergleich zur Nutzwärme ist der Einfluss des schlechten elektrischen Wirkungsgrades der Vorkette wesentlich höher.

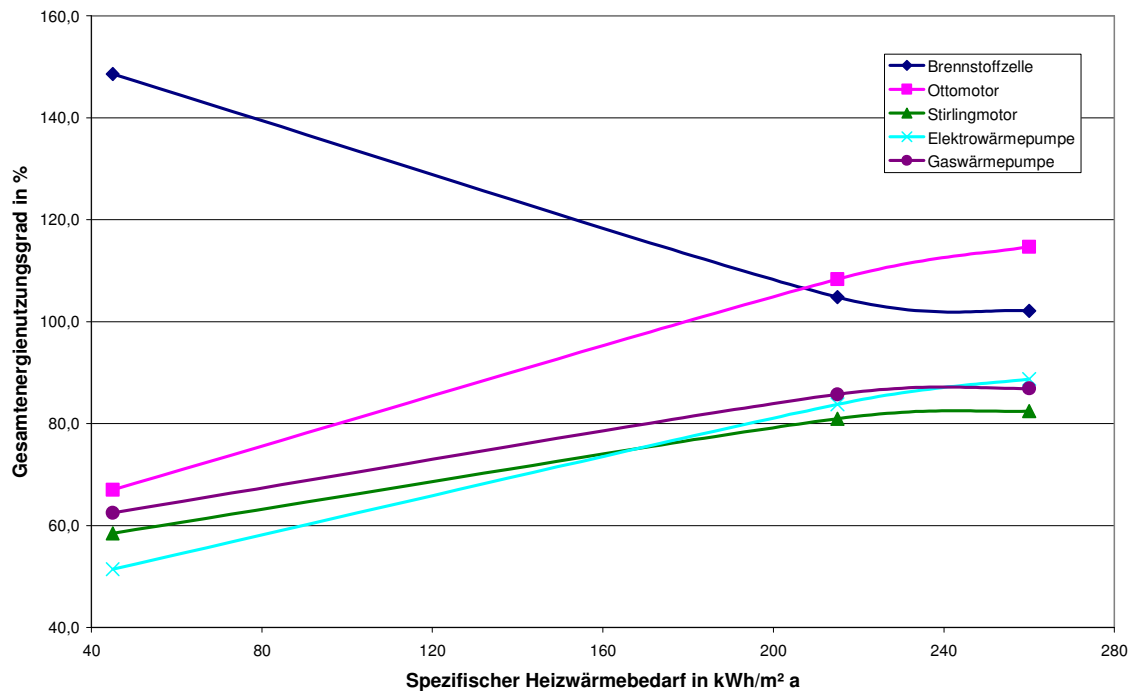


Abbildung 4.17: Gesamtenergienutzungsgrad über spez. Heizwärmebedarf

In Abbildung 4.17 ist der Verlauf des Gesamtenergienutzungsgrades über den spezifischen Heizwärmebedarfs von Gebäuden dargestellt. Die angezeigten Datenpunkte geben die spezifischen Heizwärmebedarfe der Gebäude EFH 1958, EFH 1984 und EFH 2009 wieder.

Während Gaswärmepumpe und Stirlingmotor sich in etwa gleich verhalten - der Gesamtenergienutzungsgrad steigt mit zunehmenden spezifischen Heizwärmebedarf - ist bei der Elektrowärmepumpe der bereits erwähnte Einfluss der elektrischen Trinkwassererzeugung bei abnehmendem spezifischem Heizwärmebedarf zu beobachten. Hierbei sinkt der Gesamtenergienutzungsgrad stärker als bei gasbeheizter Trinkwarmwasserversorgung.

Ebenfalls sehr deutlich ersichtlich ist das Verhalten von Brennstoffzelle und Otto-Motor in Bezug zum spezifischen Heizwärmebedarf. Mit abnehmendem spezifischem Heizwärmebedarf steigt der Gesamtenergienutzungsgrad der Brennstoffzelle stark an, während die Gesamtenergieeffizienz des Otto-Motors stark abfällt.

Zusammenfassend lässt sich für Einfamilienhäuser mit elektrischer Versorgung über den „Deutschen Strommix“ festhalten, dass Mikro-KWK-Anlagen in allen Gebäudeklassen eine zum Teil sehr hohe Einsparung an Primärenergie gegenüber den konventionellen Technologien aufzeigen. Auch im Gegensatz zu

den Wärmepumpen können zumindest der Otto-Motor sowie die Brennstoffzelle mit Zusatzheizgerät eine höhere Einsparung aufweisen. Der Stirlingmotor sowie die Wärmepumpen, sowohl elektrische als auch gasbetriebene, reihen sich hinsichtlich Effizienz und Umwelteinfluss ins Mittelfeld ein. Die Brennwerttechnik mit solarer Unterstützung schlägt die Brücke zwischen den konventionellen Technologien zu innovativen neuen Technologien. Der Pelletkessel weist durch den Nutzen von regenerativem Brennstoff eine sehr gute CO₂-Bilanz auf, ist hinsichtlich der Effizienz aber selbst der Niedertemperaturtechnik unterlegen.

5 Simulationsergebnisse MFH

Analog zu den Simulationen im EFH werden im Folgenden die Ergebnisse der Simulation für das Mehrfamilienhaus dargestellt. Abbildung 5.1 zeigt die verschiedenen Verzweigungen die simuliert wurden.

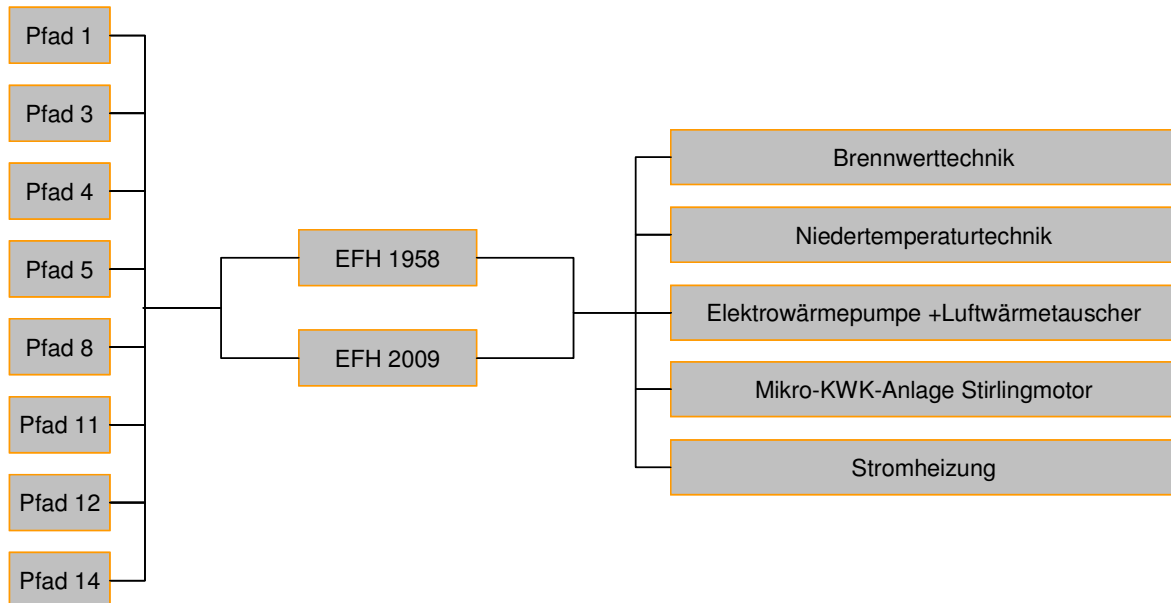


Abbildung 5.1: Schematische Darstellung der Simulationsoptionen MFH

5.1 MFH 1958

Analog zu den Beispielen der EFH werden hier zunächst die Simulationsergebnisse des MFH mit Baujahr 1958 in tabellarischer Form dargestellt (Tabelle 5.1). Der jährliche Wärmebedarf des Gebäudes ist im Gegensatz zum EFH 1958 geringer, was auf der geringeren Wohnfläche einer Wohnung im MFH beruht. Sowohl der Wärmebedarf zur Trinkwarmwasserbereitung als auch der Bedarf an elektrischen Strom sind unverändert zu den vorherigen Beispielen, da auch hier von einem 3 Personen Haushalt ausgegangen wird.

Auswertung Mehrfamilienhaus 1958; Pfad 14:

Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	15180
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWW,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	MFH 1958- P14-A1	MFH 1958- P14-A2	MFH 1958- P14-A3	MFH 1958- P14-A4	MFH 1958- P14-A5
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	$\eta_{\text{P,th}}$	%	90	90	90	90	90
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	$\eta_{\text{P,el}}$	%	35,65	35,65	35,65	35,65	35,65
Spezifische CO2 Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO2,th}}$	g/kWh	234,9	234,9	234,9	234,9	0
Spezifische CO2 Emissionen Strom	$f_{\text{CO2,el}}$	g/kWh	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{P,th}}$	kWh	20664	17739	17898	23537	0
Stromproduktion	$W_{\text{el,kwk}}$	kWh	0	0	0	2916	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{P,el,sub}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	-7419,03	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{P,el}}$	kWh	14727	14727	20870	14727	63450
Differenz	$(E_{\text{P,el}})$	kWh	14727	14727	20870	7307	63450
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{P,ges}}$	kWh	35390	32466	38767	30844	63450
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$e_{\text{P,Nt}}$	%	0,0	8,3	-9,5	12,8	-79,3
Laufzeit Vollast	t_{Voll}	h	0,0	0,0	1165,8	0,0	0,0
Laufzeit Teillast	t_{teil}	h	3216,7	3405,9	0,0	3101,8	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{Br,th}}$	%	49,1	53,5	44,8	56,3	27,4
Brennstoffnutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{Br,el}}$	%	14,8	16,2	13,5	17,0	8,3
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{Br,ges}}$	%	63,9	69,7	58,3	73,3	35,6
Anlagennutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{N,th}}$	%	72,8	81,9	64,5	65,7	76,8
Anlagennutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{N,el}}$	%	22,0	24,7	31,6	22,1	23,2
Anlagennutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{N,ges}}$	%	94,9	106,6	96,1	85,6	100,0
CO2-Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO2,th}}$	t	4,4	3,8	0,0	5,0	0,0
CO2-Emissionen Strom	$m_{\text{CO2,el}}$	t	2,7	2,7	7,2	2,7	11,7
CO2-Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO2,spar}}$	t	0,0	0,0	0,0	-1,5	0,0
Differenz			2,7	2,7	7,2	1,2	11,7
CO2-Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO2,ges}}$	t	7,1	6,5	7,2	6,2	11,7
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$e_{\text{CO2,Nt}}$	%	0,0	8,7	-1,1	12,8	-65,5
Spezifische CO2-Emissionen	$f_{\text{CO2,ges}}$	g/kWh	313,6	286,3	317,2	273,6	519,2

Tabelle 5.1: Simulationsergebnisse MFH 1958, Pfad 14

Die jährlich benötigte Primärenergie um Wärme- und Strombedarf der Wohnung im MFH 1958 zu befriedigen, ist in Abbildung 5.2 aufgezeigt. Hier zeigt sich, dass die Elektrowärmepumpe, die aufgrund der Einbausituation mit einem Luftwärmetauscher ausgestattet ist, nach der reinen Stromheizung die meiste Primärenergie benötigt. Vor allem ist dies durch die geringe Effizienz bei niedrigen Außentemperaturen zu erklären. Ein weiterer Grund ist die geringe Effizienz der Umwandlung von chemisch gebundener Energie in elektrischen Strom durch den derzeitigen Deutschen Kraftwerkspark. Auch die Annahme, dass die Elektrowärmepumpe zusätzlich mit direkt elektrisch betriebenen Trinkwarmwasserbereitern ausgestattet werden muss, ist hier als negativ anzusehen.

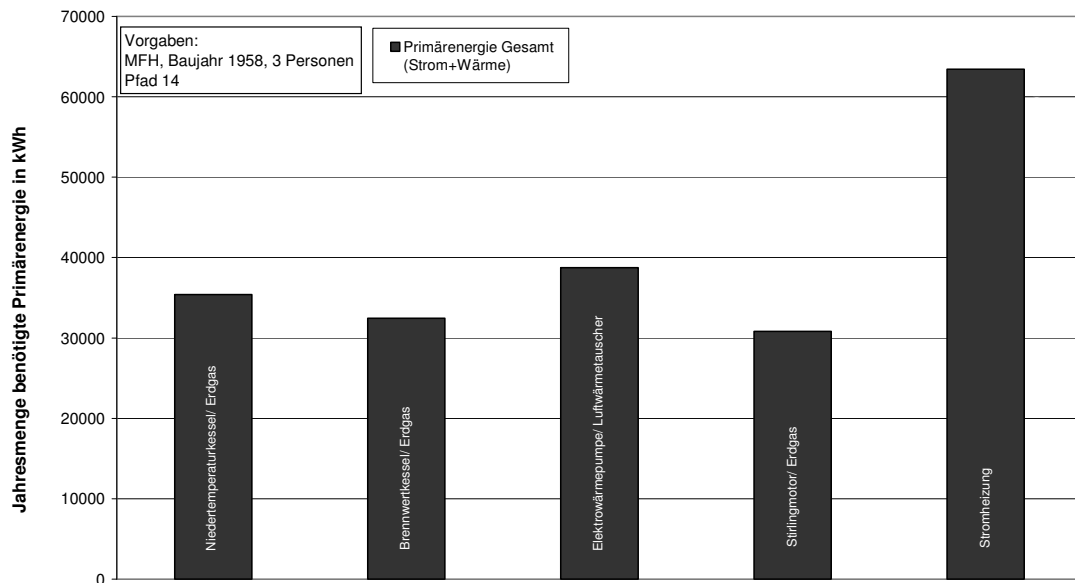


Abbildung 5.2: Jahresmengen benötigter Primärenergie MFH 1958, Pfad 14

Deutlich wird dies in Abbildung 5.3. Die Elektrowärmepumpe benötigt mehr Primärenergie für die Versorgung mit elektrischem Strom. Diese zusätzliche Primärenergie wird benötigt, um die elektrische Trinkwarmwasserbereitung zu betreiben.

Der Stirlingmotor generiert in etwa die Hälfte des benötigten elektrischen Stroms, so dass hier weniger Primärenergie aufgenommen werden muss. Insgesamt wird bei dieser Technologie am wenigsten Primärenergie benötigt.

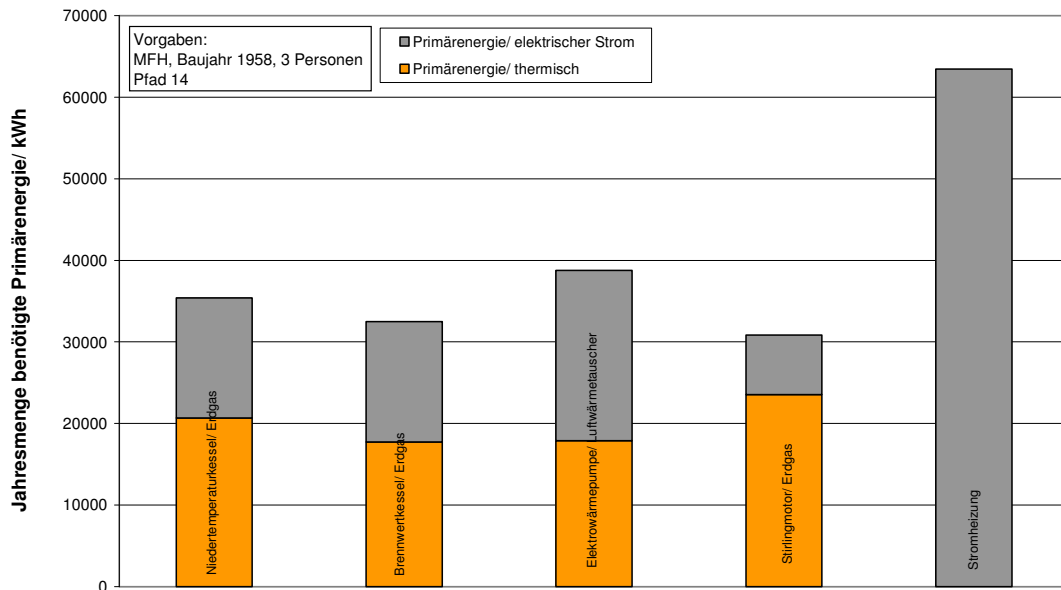


Abbildung 5.3: Getrennte Jahresmengen benötigter Primärenergie MFH 1958, Pfad 14

Hinsichtlich der Einsparungen gegenüber der Referenztechnologie Niedertemperaturkessel können nicht so hohe Werte erzielt werden wie sie im EFH-Sektor auftraten. Der Stirlingmotor erreicht als beste Technologie Einsparungen von etwa 10 Prozent sowohl bei der Primärenergie als auch bei den CO₂-Emissionen. Der Brennwertkessel liegt unter der 10 Prozentmarke, während Elektrowärmepumpe und Stromheizung mehr Primärenergie benötigen und höhere CO₂-Emissionen aufweisen.

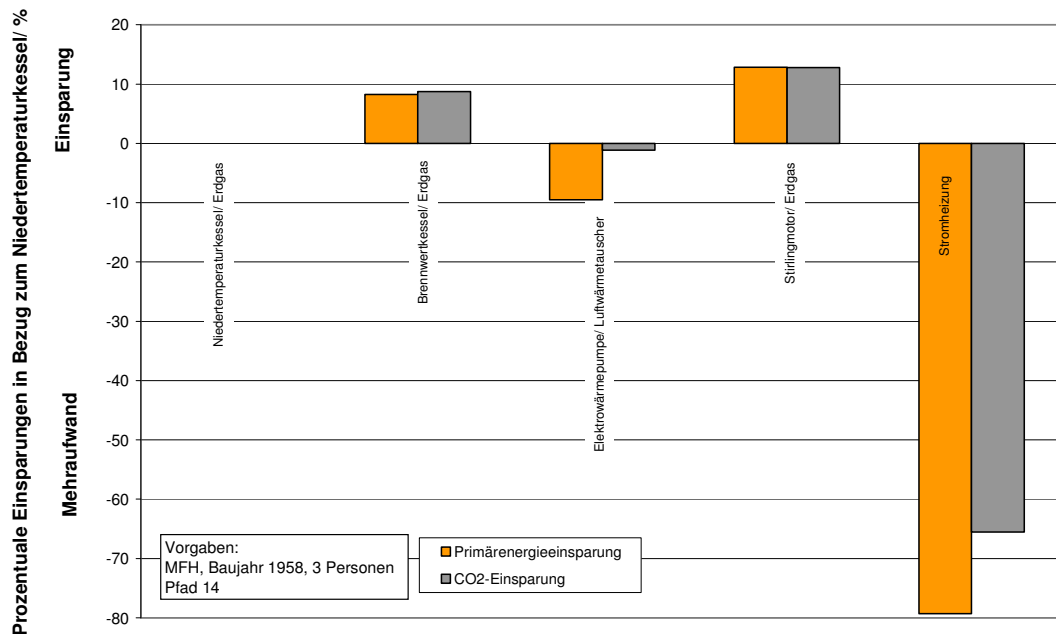


Abbildung 5.4: Einsparungen zum Niedertemperaturkessel MFH 1958, Pfad 14

Zur Vollständigkeit sind in Abbildung 5.5 die absoluten Jahresmengen an emittiertem CO₂ aufgetragen.

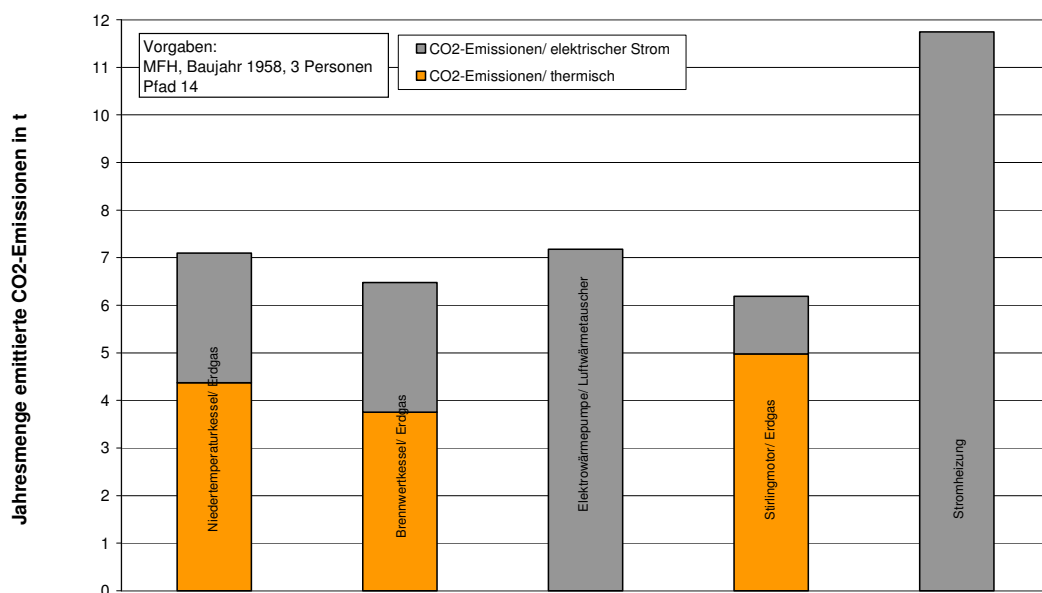


Abbildung 5.5: Getrennte Jahresmengen: emittiertes CO₂, MFH 1958, Pfad 14

5.2 MFH 1995

Neben dem MFH 1958 wurde das MFH 1995 für die Simulation herangezogen. Der Jahreswärmebedarf zur Gebäudebeheizung hat sich hier im Gegensatz zum MFH 1958 in etwa halbiert auf einen Wert von 7590 kWh. Unverändert sind die Werte für den jährlichen Trinkwarmwasserbedarf sowie der Bedarf an elektrischem Strom. Tabelle 5.2: zeigt die Ergebnisse der Simulation.

Auswertung Mehrfamilienhaus 1995; Pfad 14:

Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	7590
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWW,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	MFH 1995- P14-A1	MFH 1995- P14-A2	MFH 1995- P14-A3	MFH 1995- P14-A4	MFH 1995- P14-A5
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	$\eta_{\text{P,th}}$	%	90	90	90	90	90
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	$\eta_{\text{P,el}}$	%	35,65	35,65	35,65	35,65	35,65
Spezifische CO2 Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO2,th}}$	g/kWh	234,9	234,9	234,9	234,9	0
Spezifische CO2 Emissionen Strom	$f_{\text{CO2,el}}$	g/kWh	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{P,th}}$	kWh	11635	9988	8949	13252	0
Stromproduktion	$W_{\text{el,kwk}}$	kWh	0	0	0	1642	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{P,el,sub}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	-4177,21	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{P,el}}$	kWh	14727	14727	20870	14727	42160
Differenz	$(E_{\text{P,el}})$	kWh	14727	14727	20870	10549	42160
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{P,ges}}$	kWh	26361	24714	29818	23801	42160
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$e_{\text{P,Nt}}$	%	0,0	6,2	-13,1	9,7	-59,9
Laufzeit Vollast	t_{Voll}	h	0,0	0,0	582,9	0,0	0,0
Laufzeit Teillast	t_{teill}	h	1811,1	1917,6	0,0	1746,4	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{Br,th}}$	%	37,1	39,6	32,8	41,1	23,2
Brennstoffnutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{Br,el}}$	%	19,9	21,2	17,6	22,1	12,5
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{Br,ges}}$	%	57,0	60,8	50,4	63,1	35,6
Anlagennutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{N,th}}$	%	62,2	68,7	49,0	56,9	65,1
Anlagennutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{N,el}}$	%	33,4	36,9	48,0	33,5	34,9
Anlagennutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{N,ges}}$	%	95,6	105,6	97,0	87,5	100,0
CO2-Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO2,th}}$	t	2,5	2,1	0,0	2,8	0,0
CO2-Emissionen Strom	$m_{\text{CO2,el}}$	t	2,7	2,7	5,5	2,7	7,8
CO2-Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO2,spar}}$	t	0,0	0,0	0,0	-0,9	0,0
Differenz			2,7	2,7	5,5	1,9	7,8
CO2-Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO2,ges}}$	t	5,2	4,8	5,5	4,7	7,8
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$e_{\text{CO2,Nt}}$	%	0,0	6,7	-6,4	9,8	-50,5
Spezifische CO2-Emissionen	$f_{\text{CO2,ges}}$	g/kWh	345,0	321,8	367,2	311,0	519,2

Tabelle 5.2: Simulationsergebnisse MFH 1995, Pfad 14

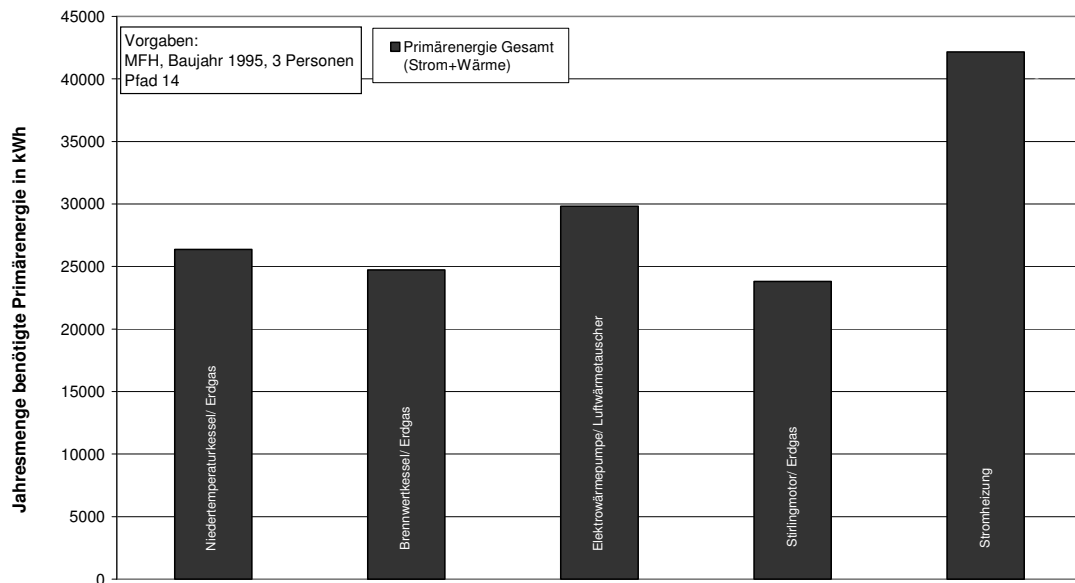


Abbildung 5.6: Jahresmengen benötigter Primärenergie MFH 1995, Pfad 14

Bis auf die aufgrund des gesunkenen Wärmebedarfs zur Gebäudebeheizung insgesamt weniger benötigte Primärenergie, zeigen die Ergebnisse die gleiche Charakteristik wie die Simulationsergebnisse für das MFH 1958. Der Stirlingmotor ist nach wie vor die Technologie mit dem geringsten Primärenergiebedarf.

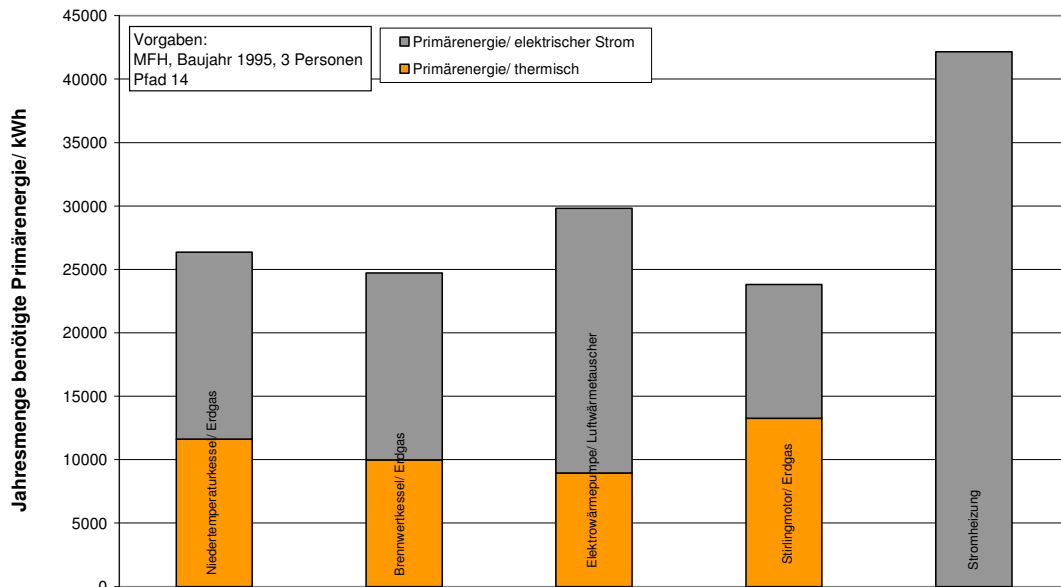


Abbildung 5.7: Getrennte Jahresmengen benötigter Primärenergie MFH 1995, Pfad 14

Allerdings fällt in Abbildung 5.7 der im Verhältnis zum MFH 1958 etwas höhere Bedarf an Primärenergie für die elektrische Versorgung auf. Hier gilt wie auch bei den EFH, dass bei geringeren Wärmebedarfen die Laufzeit der Anlagen abnimmt. Dies hat zur Folge, dass bei gleich bleibenden elektrischen Bedarf der Stirlingmotor weniger elektrischen Strom generiert und somit mehr Primärenergie benötigt wird. Aus diesem Grund ist die prozentuale Einsparung gegenüber dem Niedertemperaturkessel unter 10 Prozent gefallen wie Abbildung 5.8 zeigt.

Abbildung 5.8 und Abbildung 5.9 sind zur Vollständigkeit nachfolgend aufgeführt.

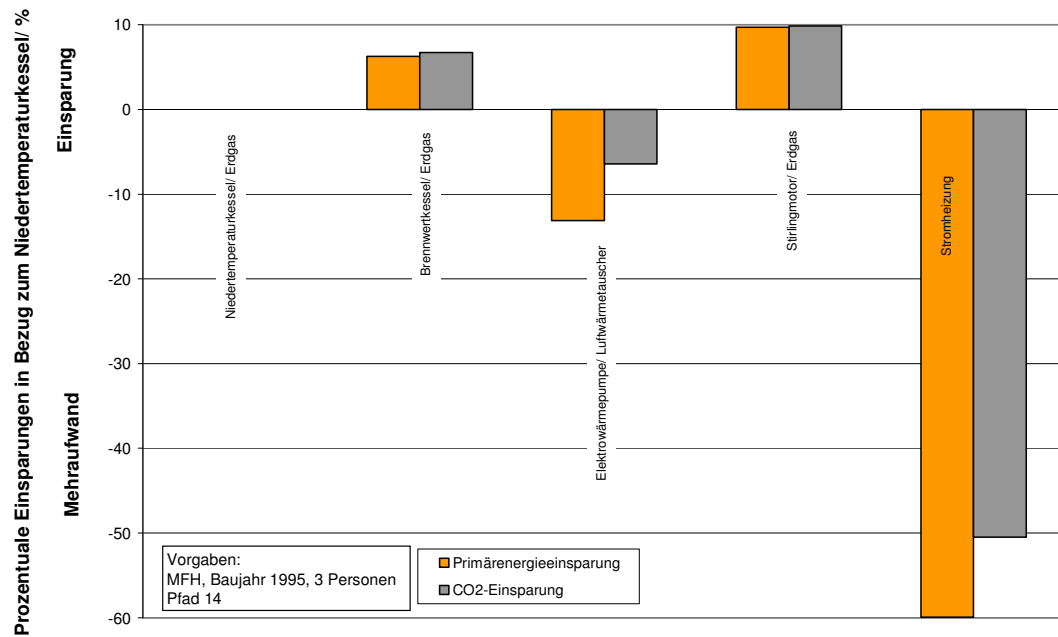


Abbildung 5.8: Einparungen zum Niedertemperaturkessel MFH 1995, Pfad 14

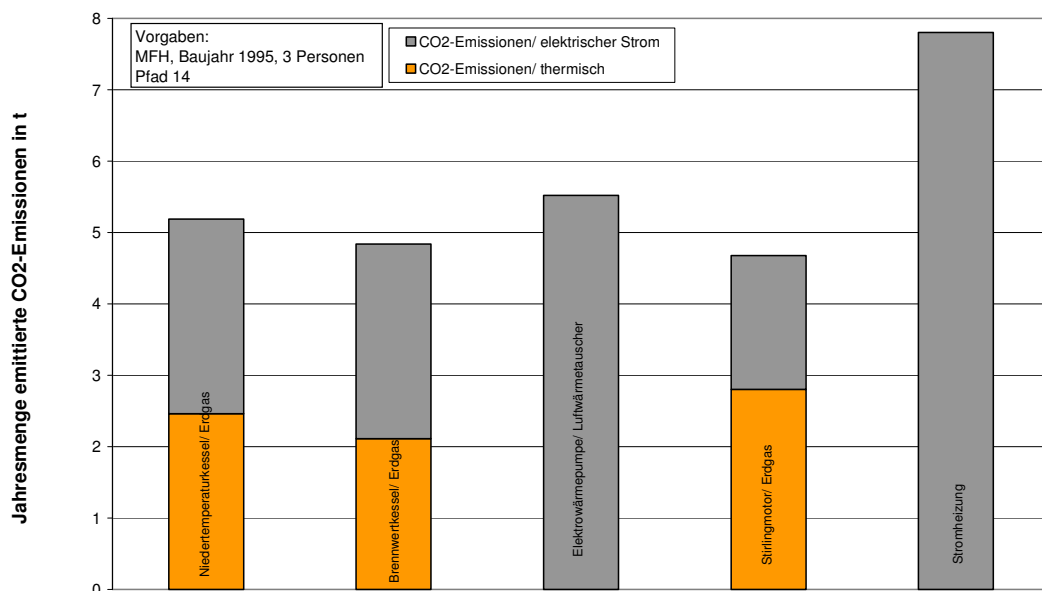


Abbildung 5.9: Getrennte Jahresmengen emittiertes CO₂ MFH 1995, Pfad 14

5.3 Zusammenfassung MFH Deutscher Strommix

Die Ergebnisse der Simulation für die Mehrfamilienhäuser mit elektrischer Versorgung durch den „Deutschen Strommix“ sind analog zu den EFH in Abbildung 5.10 und Abbildung 5.11 aufgezeigt.

Insgesamt werden geringere Gesamtenergienutzungsgrade erreicht, was vor allem in dem Verhältnis aus Wärmebedarf und elektrischen Strombedarf begründet liegt. Dies wurde bereits bei der Diskussion der Ergebnisse der EFH-Simulationen erläutert und hier bestätigt.

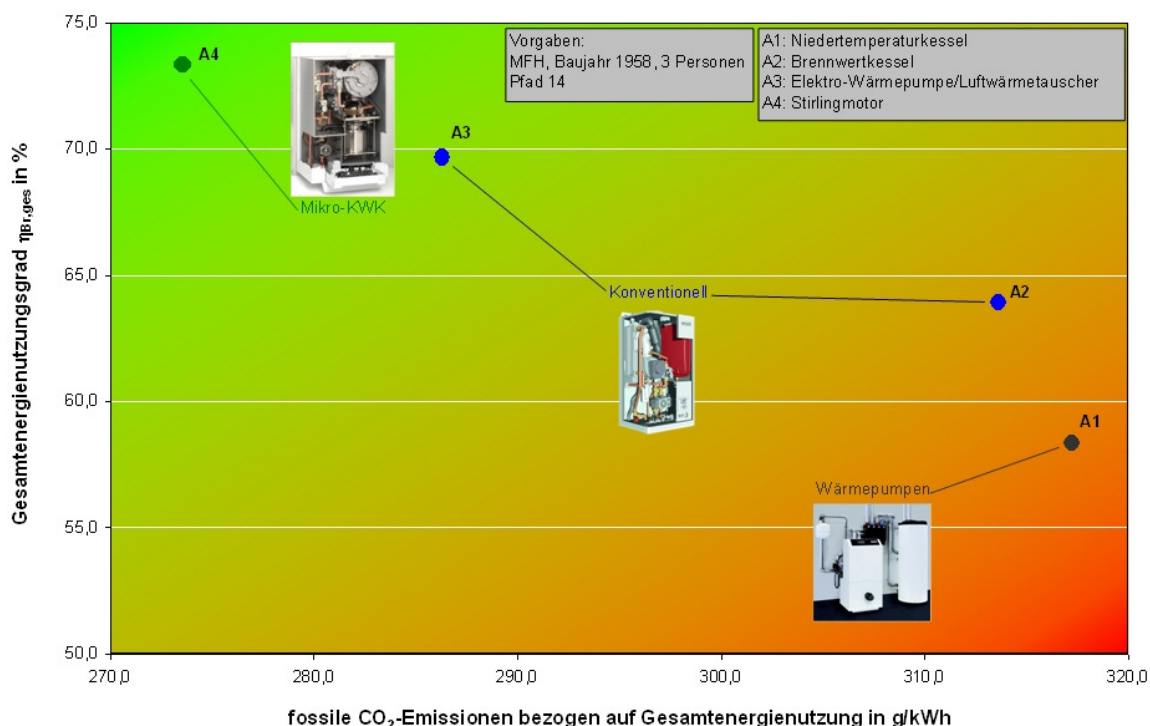


Abbildung 5.10: Zusammenfassung der Simulationsergebnisse MFH 1958, Pfad 14

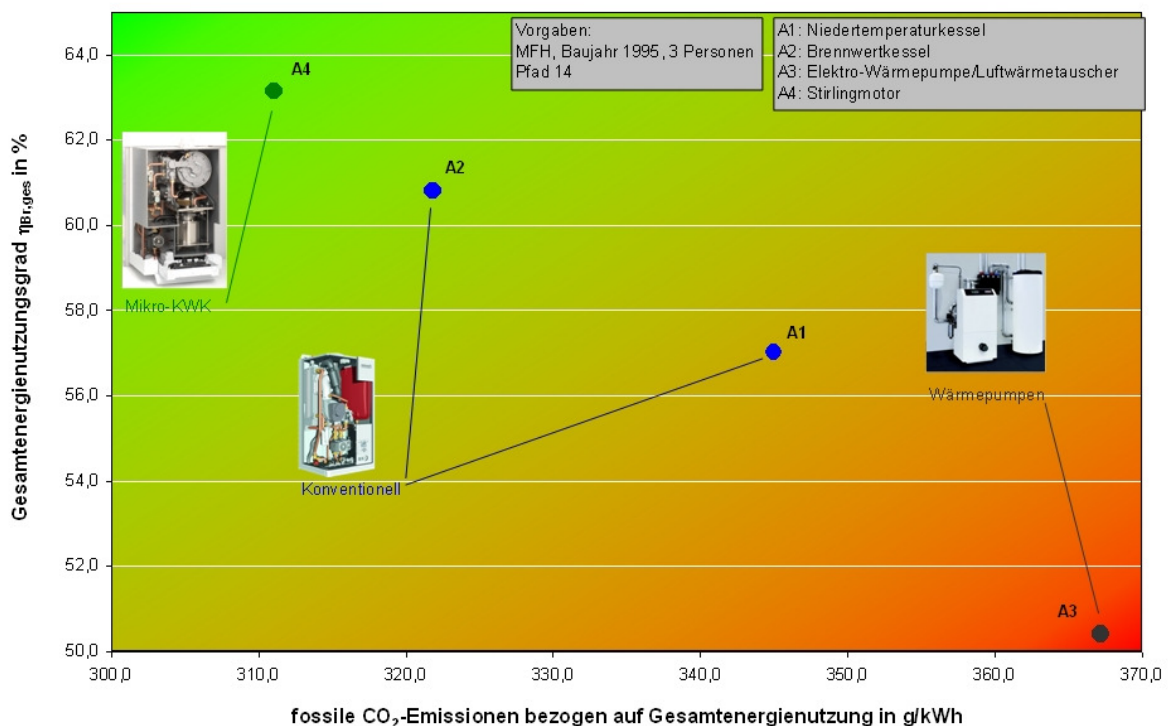


Abbildung 5.11: Zusammenfassung der Simulationsergebnisse MFH 1995, Pfad 14

Wie schon bei den Simulationsergebnissen zum Einfamilienhaus zeigt auch hier eine Mikro-KWK-Anlage die höchste Primärenergieeffizienz bei geringen CO₂-Emissionen.

Anders als beim EFH kann die Elektrowärmepumpe hier nicht mit den gasbetriebenen konventionellen Technologien konkurrieren. Die starke Abhängigkeit der Außenlufttemperatur sowie die angenommene, benötigte elektrische Trinkwarmwasserbereitung sind hier die Faktoren.

6 Weitere Ergebnisse

Bereits angesprochen wurde der positive Umweltaspekt der Holzpelletkessel. Dies ist auf den regenerativen Energieträger Holz zurückzuführen. Wird das Erdgas durch regelkonformes Biogas [8], [9] substituiert, können auch gasbetriebene Technologien zur Gebäudebeheizung von einem regenerativen Energieträger profitieren. Die Auswirkungen auf den Umwelteinfluss in Bezug auf CO₂-Emissionen ist in Abbildung 6.1 dargestellt.

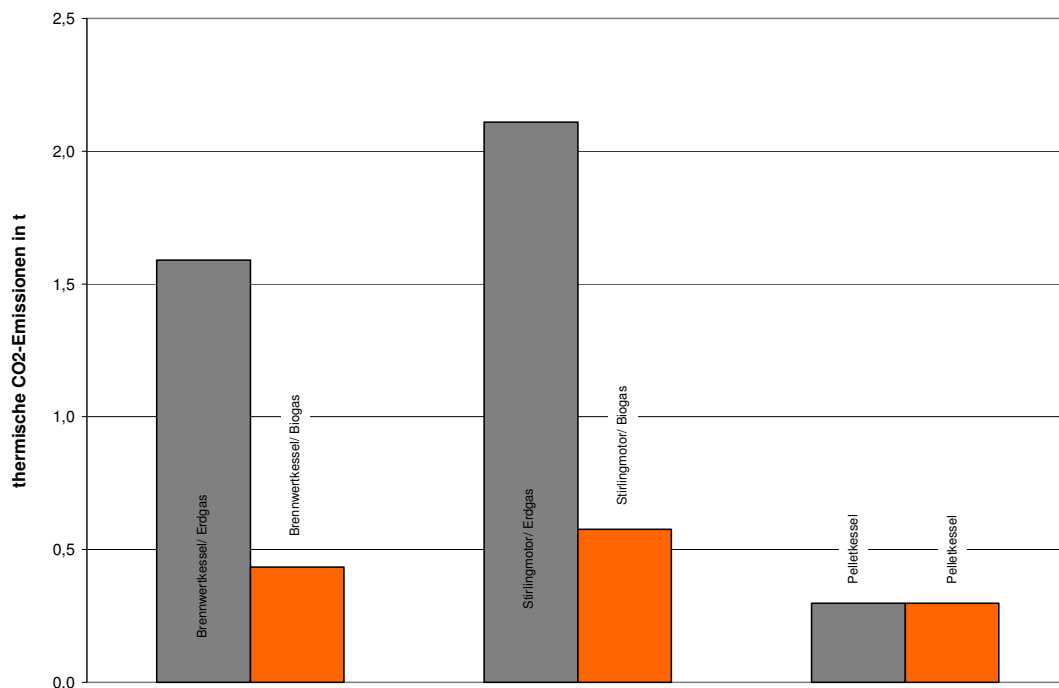


Abbildung 6.1: Technologievergleich bei Versorgung mit Erdgas und Biogas

Zu erkennen ist, dass bei einer Substitution des Erdgases durch Biogas in etwa gleich niedrige CO₂-Emissionswerte erreicht werden können.

Deutlich wird dies anhand der Simulationsergebnisse zum Pfad 8, welcher die Einspeisung von Biogas beinhaltet. Abbildung 6.2 zeigt Jahresmengen an emittierten CO₂-Emissionen für das EFH 1958. Es ist klar zu erkennen, dass aufgrund der Biogaseinspeisung die Emission von CO₂ bei gasbetriebenen Anlagen im Gegensatz zum Betrieb mit Erdgas stark verringert werden können.

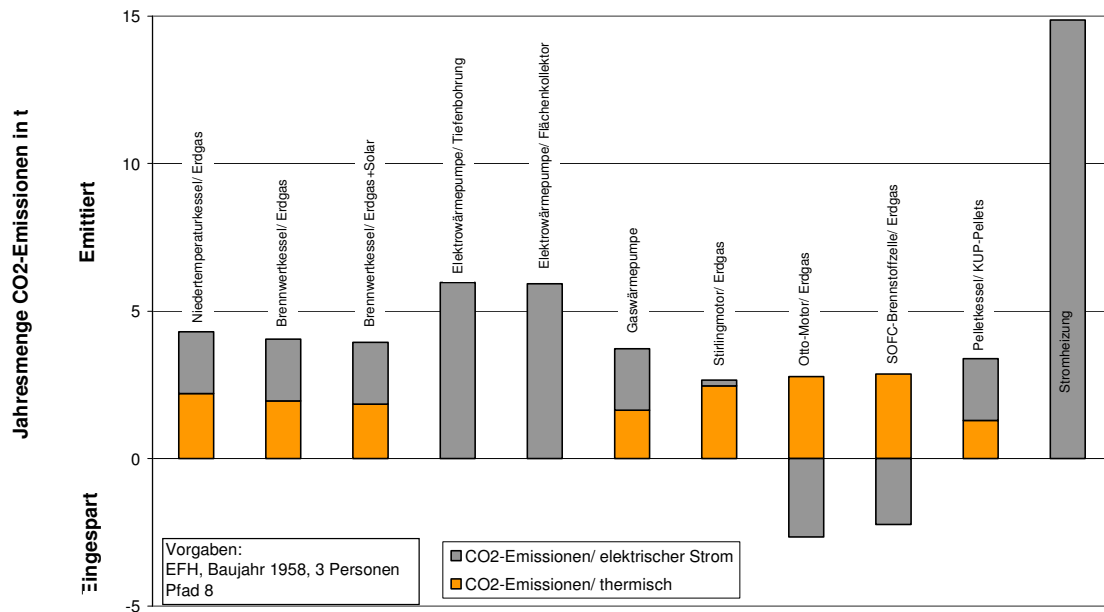


Abbildung 6.2: Getrennte Jahresmengen emittiertes CO₂ EFH 1958, Pfad 8

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist der Einfluss des elektrischen Wirkungsgrades der Vorkette auf die Gesamtenergieeffizienz. Bei den unter Kapitel 4 und 5 diskutierten Simulationsergebnissen wurde als Stromversorgung der derzeitige „Deutsche Strommix“ mit einem relativ schlechten elektrischen Nutzungsgrad von 35,7 % angesetzt. Angenommen der Deutsche Kraftwerkspark würde komplett durch moderne GuD-Kraftwerke mit elektrischen Nutzungsgraden von 50,5% ausgerüstet, würden sich die Ergebnisse für das EFH 1984 wie in Abbildung 6.4 dargestellt, ändern.

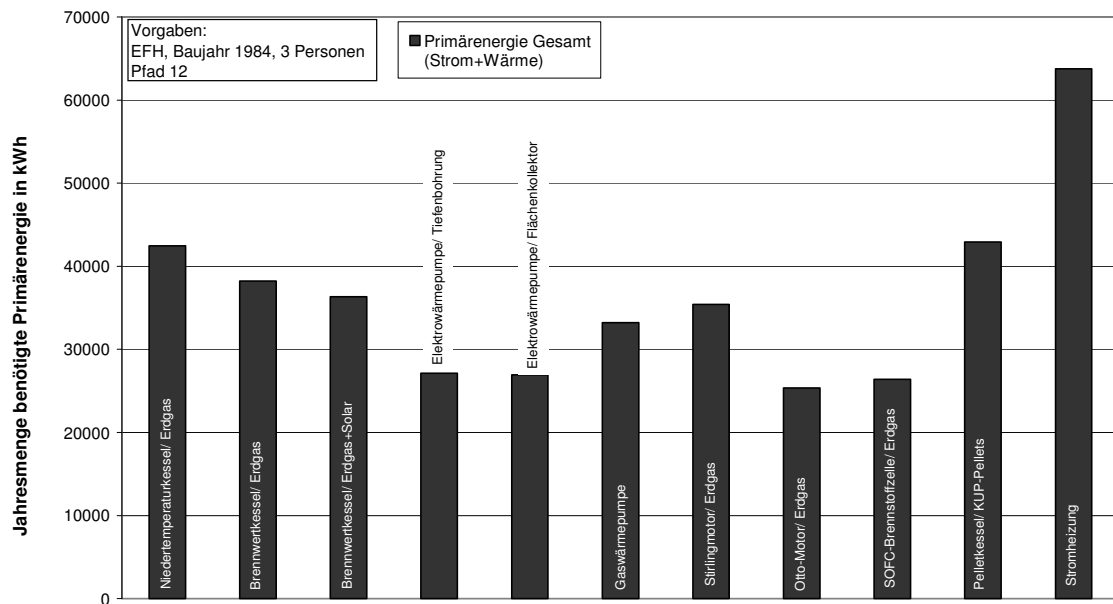


Abbildung 6.3: Jahresmengen benötigter Primärenergie EFH 1984, Pfad 12

Durch den höheren elektrischen Nutzungsgrad der Vorkette zur Versorgung mit elektrischem Strom konnte die jährlich benötigte Menge an Primärenergie für beide Elektrowärmepumpen gesenkt werden. Sie bewegen sich in etwa auf einer Höhe mit dem Otto-Motor und der SOFC-Brennstoffzelle mit Zusatzheizgerät. Auch hinsichtlich der CO₂-Emissionen profitiert die Elektrowärmepumpe von der besseren CO₂-Bilanz der angenommen elektrischen Versorgung über GuD Kraftwerke wie Abbildung 6.4 zeigt.

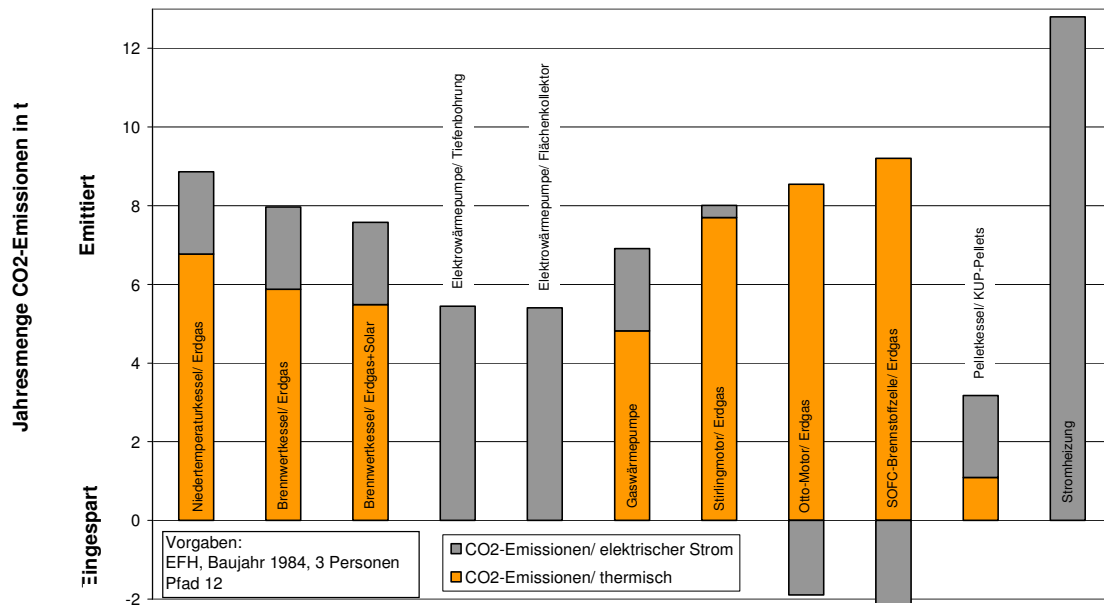


Abbildung 6.4: Getrennte Jahresmengen emittiertes CO₂ EFH 1984, Pfad 12

Die Elektrowärmepumpen weisen nach dem Pelletkessel die geringsten CO₂-Emissionen aller betrachteten Technologien auf. Selbst die bei elektrischer Versorgung über den „Deutschen Strommix“ sehr guten Mikro-KWK-Technologien können die Werte der Elektrowärmepumpe nicht erreichen.

7 Ausblick

Für den Teil 2 der Studien sind die vorgestellten Einzelszenarien durch einen systemischen Ansatz einer Energieversorgung mit der Integration der häuslichen Kraftwärmekopplung vertieft zu untersuchen. Dazu ist der mögliche Einfluss auf die Effizienz und die Emission klimarelevanter Gase sowohl dezentral als auch zentral als Gesamtsystem zu analysieren und zu vergleichen.

Es sind Szenarien einer mittelfristigen Umstellung der gesamten Energieversorgung aufzustellen und nach ihrer Kostenstruktur sowie dem CO₂-Senkungspotenzial zu vergleichen. Der entsprechende Forschungsbedarf ist aufzuzeigen.

8 Zusammenfassung

Die Ergebnisse der Analyse der Energieflusssketten der dezentralen Erzeugungssketten haben gezeigt, dass die neuen innovativen Technologien in der Lage sind, Primärenergie einzusparen und die Emission von CO₂ zu senken. Speziell Mikro-KWK-Anlagen können hier einen großen Beitrag leisten.

Bei einer derzeitigen Stromversorgung über den Deutschen Strommix sind insbesondere der hier betrachtete Otto-Motor und die SOFC-Brennstoffzelle mit Zusatzheizgerät hervorzuheben. Im Altbau mit hohen Wärmebedarfen kann der Otto-Motor mit hoher elektrischer Leistung und guten elektrischen Wirkungsgraden den größten primärenergetischen Nutzen aufweisen. Auch die Brennstoffzelle mit Zusatzheizgerät lässt sich im Altbau positiv darstellen. Bei zunehmend besserer Wärmedämmung und der damit verbundenen geringeren Wärmebedarfen zur Gebäudebeheizung ist die Brennstoffzelle mit Zusatzheizgerät die mit Abstand effizienteste Technologie.

Während Wärmepumpen, sowohl gas- als auch strombetrieben, zusammen mit dem Stirlingmotor in allen Gebäudetypen im Mittelfeld hinsichtlich Umwelteinfluss und Energieeffizienz rangieren, weist der Pelletkessel die geringste Effizienz bei niedrigsten CO₂-Emissionen auf.

Dieser Umstand ändert sich bei Substitution des Erdgases mit regenerativem Biogas. Hier zeigt sich, dass gasbetriebene Technologien in etwa gleich geringe bzw. unter Umständen sogar geringere CO₂-Emissionen aufweisen als der Pelletkessel.

Wird hingegen der derzeitige Deutsche Kraftwerkspark vollständig durch moderne GuD-Kraftwerke ersetzt, können die Elektrowärmepumpen die höchste Effizienz bei geringsten CO₂-Emissionen (nach dem Pelletkessel) aufweisen. Mit zunehmend regenerativ generiertem elektrischem Strom können die Werte noch einmal verbessert werden. Demgegenüber steht der zunehmende Anteil an Biogas im deutschen Gasnetz, so dass gasbetriebene Mikro-KWK-Technologien bei geringen CO₂-Emissionen hocheffizient Strom und Wärme produzieren.

Ein weiterer Vorteil von Mikro-KWK-Technologien ist die Möglichkeit der gezielten Ausregelung von Lastspitzen im Stromnetz. Werden sie zunächst noch als „Stromerzeugende Heizung“ eingesetzt kann zukünftig eine intelligente Verschaltung von Mikro-KWK-Anlagen zu virtuellen Kraftwerken dazu beitragen zunehmend regenerativ generierten Strom in das Stromnetz einzuspeisen.

9 Literatur

- [1] Heizungsmarkt-Analyse zur ISH 2009 Teil 1-3, Dr. F.-K. Läge, Heizungsjournal 3 (S. 54-63), 4/5 (S. 34-46), 6 (S. 38-49)
- [2] Wackertapp, H., Brune, M, Albus, R, Wessing, W; Der Gasmarkt braucht neue Technologien: Die Initiative Gaswärmepumpe (IGWP); GWF Gas Erdgas (3/2009)
- [3] bwp Bundesverband Wärmepumpe e.V.; Branchenstatistik 2009: Bundesverband Wärmepumpe präsentiert aktuelle Absatzzahlen; Pressemitteilung (2009)
- [4] VDI 4655; Referenzlastprofile von Ein- und Mehrfamilienhäusern für den Einsatz von KWK-Anlagen (2008)
- [5] Pelte, D.; Die Zukunft unserer Energieversorgung, Vieweg+Teubner GWV Fachverlag GmbH (2010)
- [6] NTB Interstaatliche Hochschule für Technik Buchs, Prüfergebnisse Sole/Wasser- und Wasser/Wasser-Wärmepumpen basierend auf der EN 14511 (2010)
- [7] DIN 4710; Statistiken meteorologischer Daten zur Berechnung des Energiebedarfs von Heiz- und raumluftheiztechnischen Anlagen in Deutschland (2003)
- [8] DVGW-Arbeitsblatt G 260; „Gasbeschaffenheit“ (05/08)
- [9] DVGW-Arbeitsblatt G 262; Nutzung von Gasen aus regenerativen Quellen in der öffentlichen Gasversorgung; (11/04)

A Anhang

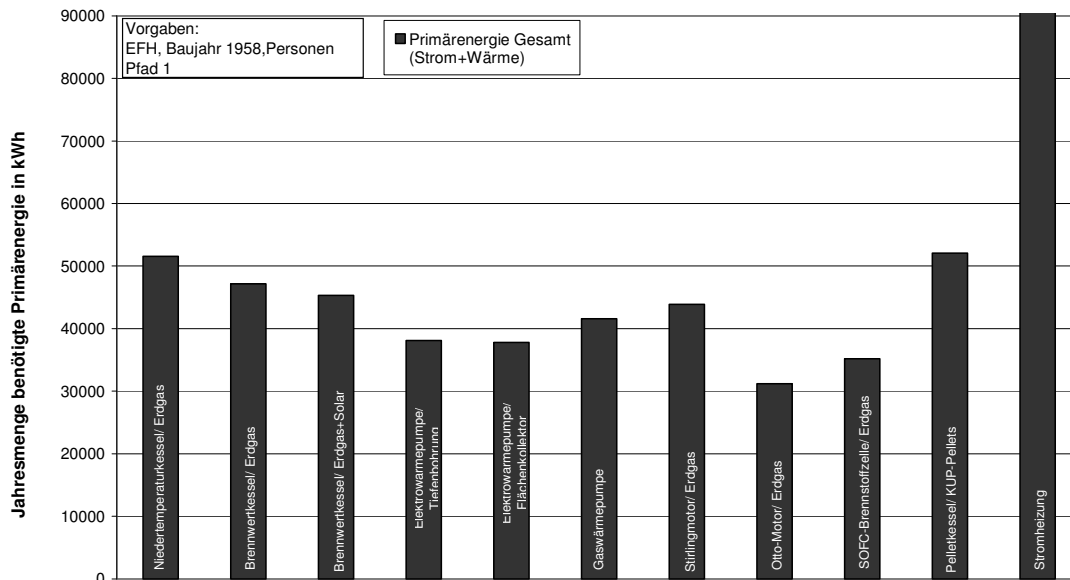
EFH 1958 Pfad 1

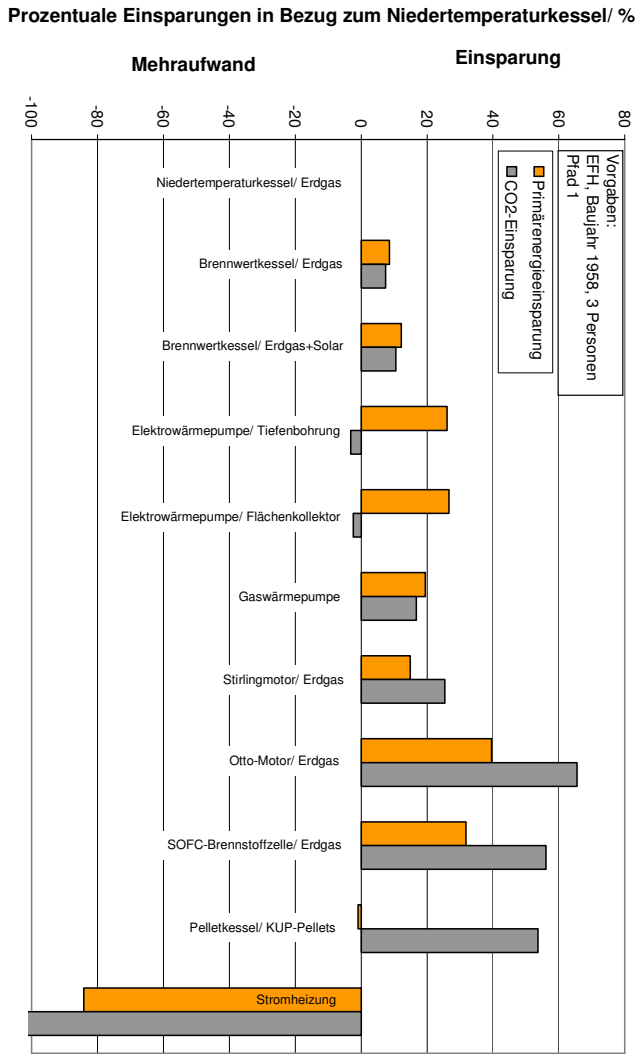
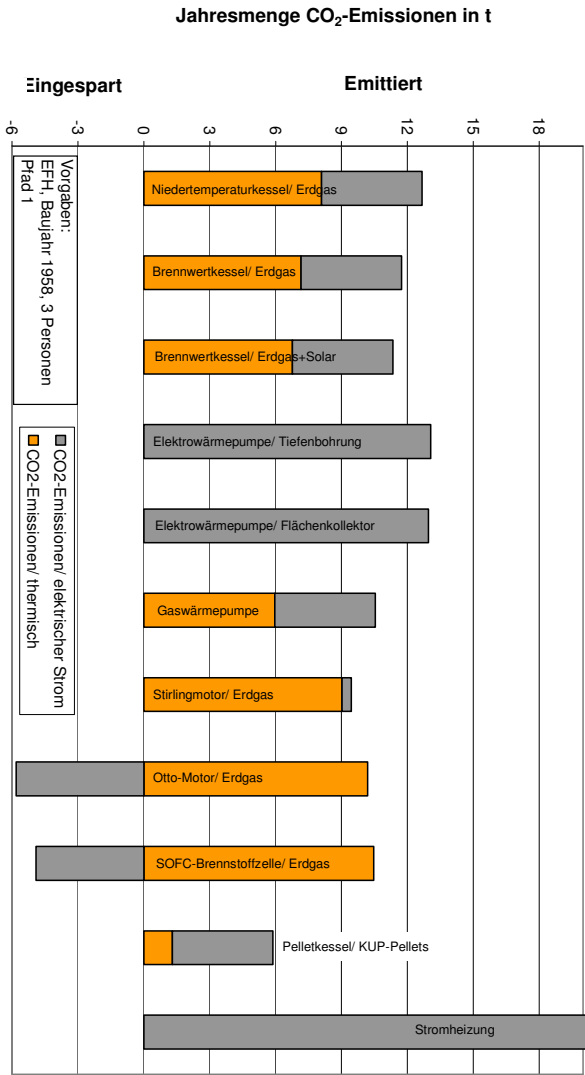
Auswertung Einfamilienhaus 1958; Pfad 1:

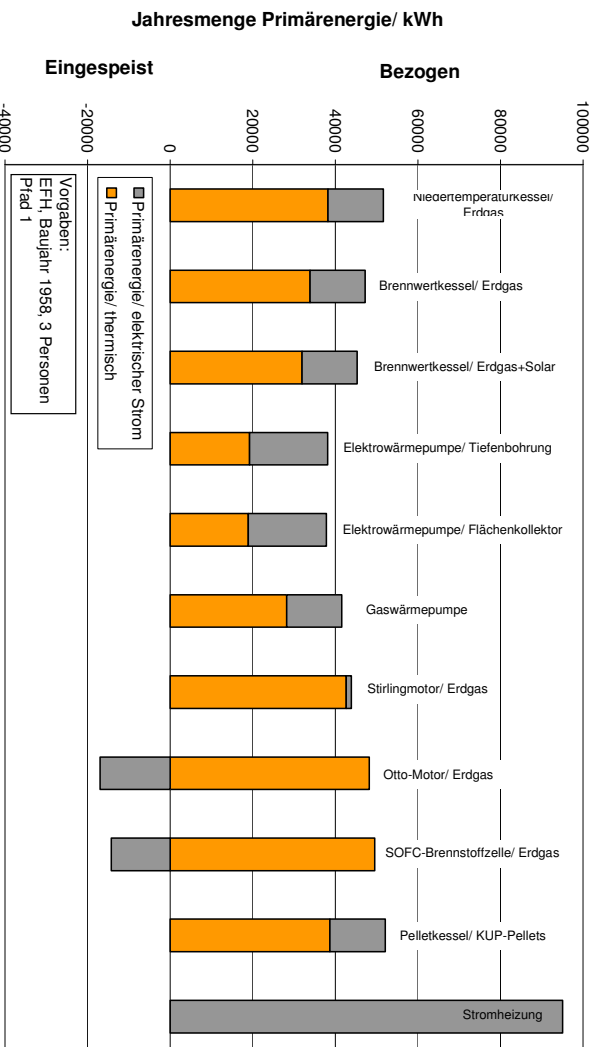
Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	29900
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWw,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	EFH 1958- P1-A1	EFH 1958- P1-A2	EFH 1958- P1-A3	EFH 1958- P1-A4	EFH 1958- P1-A5	EFH 1958- P1-A6	EFH 1958- P1-A7	EFH 1958- P1-A8	EFH 1958- P1-A9	EFH 1958- P1-A10	EFH 1958- P1-A11
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	$\eta_{\text{p,th}}$	%	90	90	90	39,33	39,33	90	90	90	90	88	100
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	$\eta_{\text{p,el}}$	%	39,33	39,33	39,33	39,33	39,33	39,33	39,33	39,33	39,33	39,3	39,3
Spezifische CO2 Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO}_2,\text{th}}$	g/kWh	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	38	0
Spezifische CO2 Emissionen Strom	$f_{\text{CO}_2,\text{el}}$	g/kWh	871,5	871,5	871,5	871,5	871,5	871,5	871,5	871,5	871,5	871,5	871,5
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{p,th}}$	kWh	38249	33835	31960	19207	18898	28231	42647	48183	49512	38712	0
Stromproduktion	$W_{\text{el,kWK}}$	kWh	0	0	0	0	0	0	4753	11925	10875	0	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{p,el,sch}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-12092,90	-30344,39	-27670,63	0,00	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{p,el}}$	kWh	13349	13349	13349	18917	18917	13349	13349	13349	13349	13359	95013
Differenz	$\Delta E_{\text{p,el}}$	kWh	13349	13349	13349	18917	18917	13349	1256	-16996	-14322	13359	95013
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{p,ges}}$	kWh	51598	47184	45308	38124	37815	41580	43903	31187	35190	52071	95013
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{p,NL}}$	%	0,0	8,6	12,2	26,1	26,7	19,4	14,9	39,6	31,8	-0,9	-84,1
Laufzeit Vollast	t_{vll}	h	355,0	463,6	439,8	1535,2	1689,3	976,1	214,6	2168,2	1665,7	355,0	0,0
Laufzeit Teillast	t_{teill}	h	4759,2	4746,7	4476,5	0,0	0,0	5931,3	4841,2	0,0	5881,8	4759,2	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{b,th}}$	%	62,2	68,0	70,8	84,2	84,9	77,2	73,1	102,9	91,2	61,6	33,8
Brennstoffnutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{b,el}}$	%	10,2	11,1	11,6	13,8	13,9	12,6	12,0	16,8	14,9	10,1	5,5
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{b,ges}}$	%	72,4	79,1	82,4	97,9	98,7	89,8	85,1	119,7	106,1	71,7	39,3
Anlagennutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{a,th}}$	%	80,9	89,9	94,3	199,4	201,0	104,7	73,5	66,0	64,4	81,6	85,9
Anlagennutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{a,el}}$	%	13,2	14,7	15,4	49,6	50,0	17,1	13,5	14,3	13,5	13,4	14,1
Anlagennutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{a,ges}}$	%	94,1	104,6	109,8	249,0	251,1	121,8	85,6	76,8	75,0	95,0	100,0
CO2-Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO}_2,\text{th}}$	t	8,1	7,2	6,8	0,0	0,0	6,0	9,0	10,2	10,5	1,3	0,0
CO2-Emissionen Strom	$m_{\text{CO}_2,\text{el}}$	t	4,6	4,6	4,6	13,1	13,0	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	32,5
CO2-Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO}_2,\text{spst}}$	t	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-4,1	-10,4	-9,5	0,0	0,0
Differenz			4,6	4,6	4,6	13,1	13,0	4,6	0,4	-5,8	-4,9	4,6	32,5
CO2-Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	t	12,7	11,7	11,3	13,1	13,0	10,5	9,4	4,4	5,6	5,9	32,5
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{CO}_2,\text{NL}}$	%	0,0	7,4	10,5	-3,2	-2,4	16,7	25,4	65,5	56,0	53,6	-157,0
Spezifische CO2-Emissionen	$f_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	g/kWh	339,1	314,1	303,5	350,0	347,1	282,4	253,1	117,0	149,0	157,2	871,5







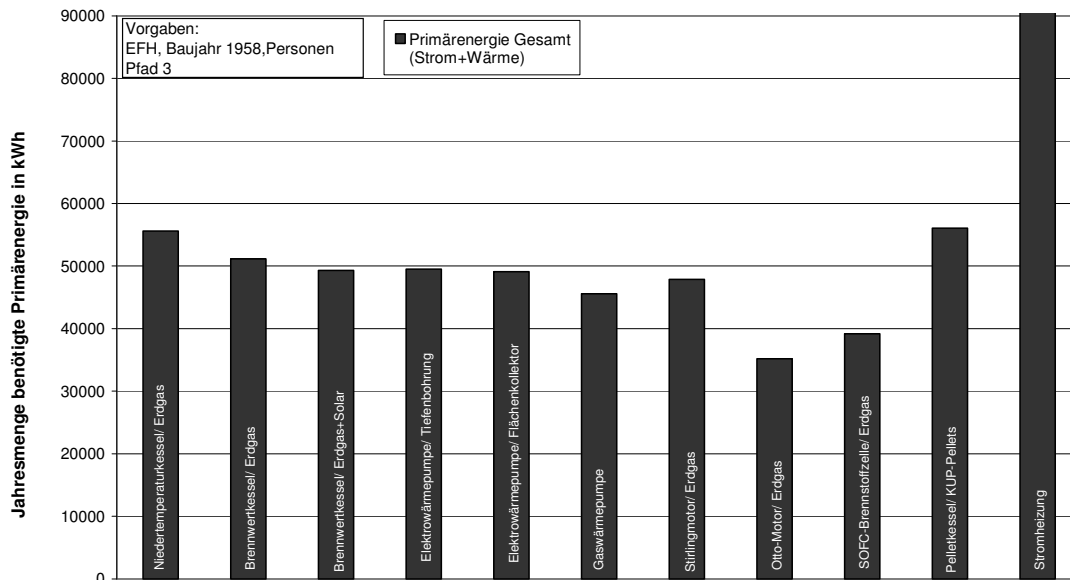
EFH 1958 Pfad 3

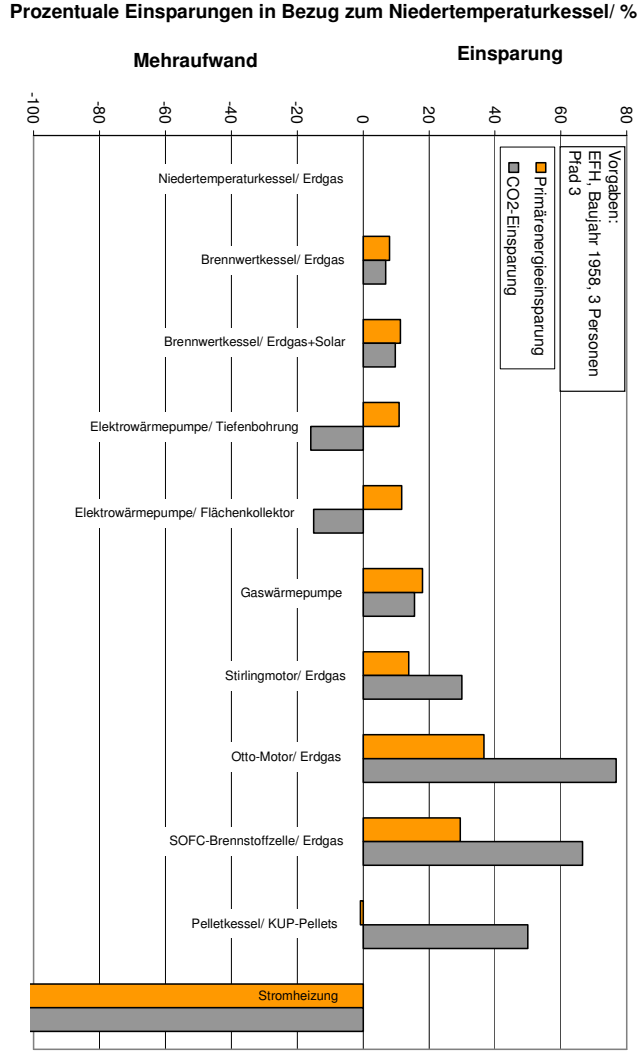
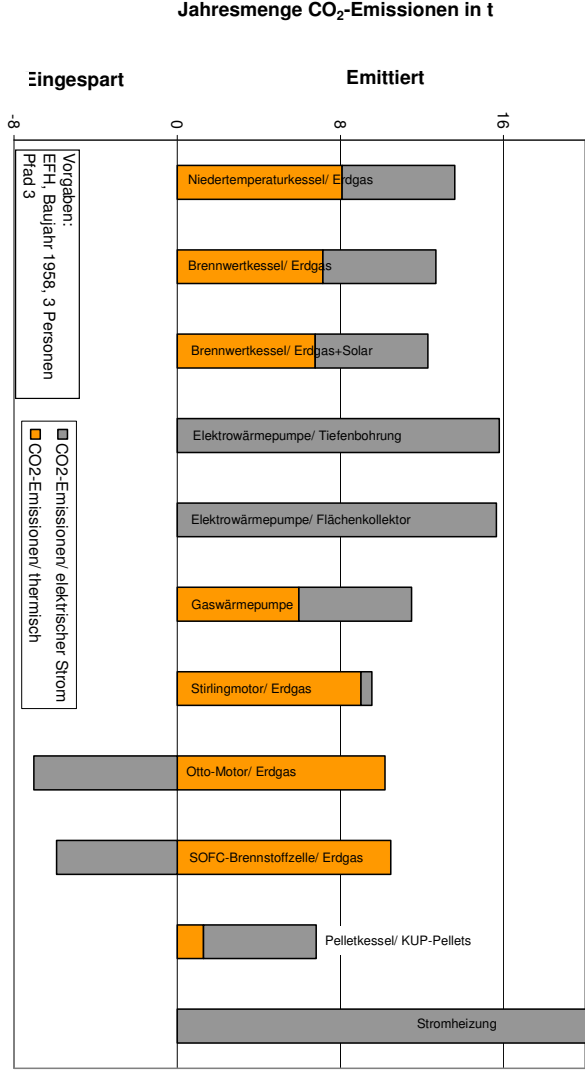
Auswertung Einfamilienhaus 1958; Pfad 3:

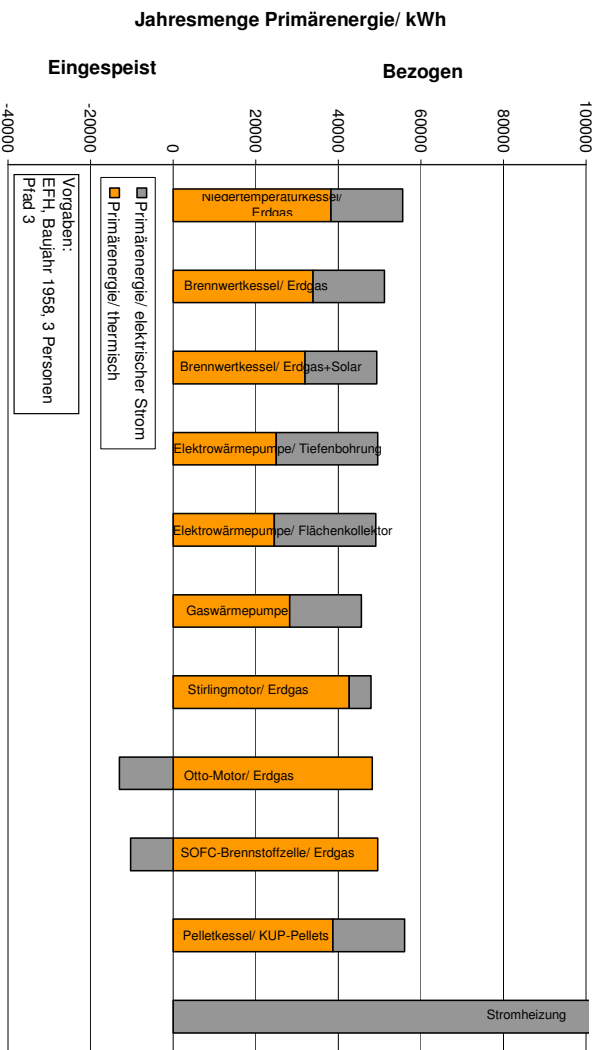
Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	29900
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWw,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	EFH 1958- P3-A1	EFH 1958- P3-A2	EFH 1958- P3-A3	EFH 1958- P3-A4	EFH 1958- P3-A5	EFH 1958- P3-A6	EFH 1958- P3-A7	EFH 1958- P3-A8	EFH 1958- P3-A9	EFH 1958- P3-A10	EFH 1958- P3-A11
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	$\eta_{\text{p,th}}$	%	90	90	90	39,33	39,33	90	90	90	90	88	100
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	$\eta_{\text{p,el}}$	%	30,3	30,3	30,3	30,3	30,3	30,3	30,3	30,3	30,3	30,3	30,3
Spezifische CO2 Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO}_2,\text{th}}$	g/kWh	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	38	0
Spezifische CO2 Emissionen Strom	$f_{\text{CO}_2,\text{el}}$	g/kWh	1052,3	1052,3	1052,3	1052,3	1052,3	1052,3	1052,3	1052,3	1052,3	1052,3	1052,3
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{p,th}}$	kWh	38249	33835	31960	24931	24531	28231	42647	48183	49512	38712	0
Stromproduktion	$W_{\text{el,kWK}}$	kWh	0	0	0	0	0	0	4753	11925	10875	0	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{p,el,stm}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-12092,90	-30344,39	-27670,63	0,00	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{p,el}}$	kWh	17327	17327	17327	24554	24554	17327	17327	17327	17327	17327	123234
Differenz	$\Delta E_{\text{p,el}}$	kWh	17327	17327	17327	24554	24554	17327	5234	-13018	-10344	17327	123234
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{p,ges}}$	kWh	55576	51162	49286	49486	49085	45558	47881	35166	39168	56039	123234
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{p,N}}$	%	0,0	7,9	11,3	11,0	11,7	18,0	13,8	36,7	29,5	-0,8	-121,7
Laufzeit Vollast	t_{vll}	h	355,0	463,6	439,8	1535,2	1689,3	976,1	214,6	2168,2	1665,7	355,0	0,0
Laufzeit Teillast	t_{teill}	h	4759,2	4746,7	4476,5	0,0	0,0	5931,3	4841,2	0,0	5881,8	4759,2	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{b,th}}$	%	57,7	62,7	65,1	64,8	65,4	70,4	67,0	91,3	81,9	57,3	26,0
Brennstoffnutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{b,el}}$	%	9,4	10,3	10,7	10,6	10,7	11,5	11,0	14,9	13,4	9,4	4,3
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{b,ges}}$	%	67,2	73,0	75,8	75,5	76,1	82,0	78,0	106,2	95,3	66,6	30,3
Anlagennutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{a,th}}$	%	80,9	89,9	94,3	173,4	175,0	104,7	73,5	66,0	64,4	81,6	85,9
Anlagennutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{a,el}}$	%	13,2	14,7	15,4	43,1	43,5	17,1	13,1	13,3	12,7	13,4	14,1
Anlagennutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{a,ges}}$	%	94,1	104,6	109,8	216,5	218,5	121,8	85,6	76,8	75,0	95,0	100,0
CO2-Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO}_2,\text{th}}$	t	8,1	7,2	6,8	0,0	0,0	6,0	9,0	10,2	10,5	1,3	0,0
CO2-Emissionen Strom	$m_{\text{CO}_2,\text{el}}$	t	5,5	5,5	5,5	15,8	15,7	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	39,3
CO2-Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO}_2,\text{spst}}$	t	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-5,0	-12,5	-11,4	0,0	0,0
Differenz			5,5	5,5	5,5	15,8	15,7	5,5	0,5	-7,0	-5,9	5,5	39,3
CO2-Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	t	13,6	12,7	12,3	15,8	15,7	11,5	9,5	3,2	4,5	6,8	39,3
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{CO}_2,\text{N}}$	%	0,0	6,9	9,8	-15,9	-15,0	15,6	29,9	76,8	66,6	49,9	-188,7
Spezifische CO2-Emissionen	$f_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	g/kWh	364,5	339,5	328,9	422,6	419,1	307,8	255,5	84,7	121,8	182,6	1052,3







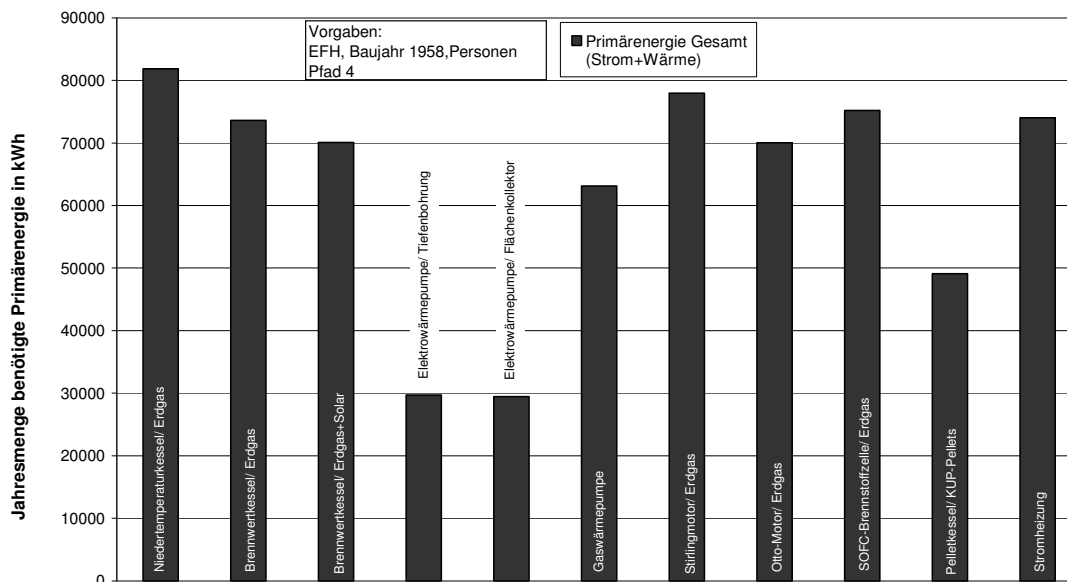
EFH 1958 Pfad 4

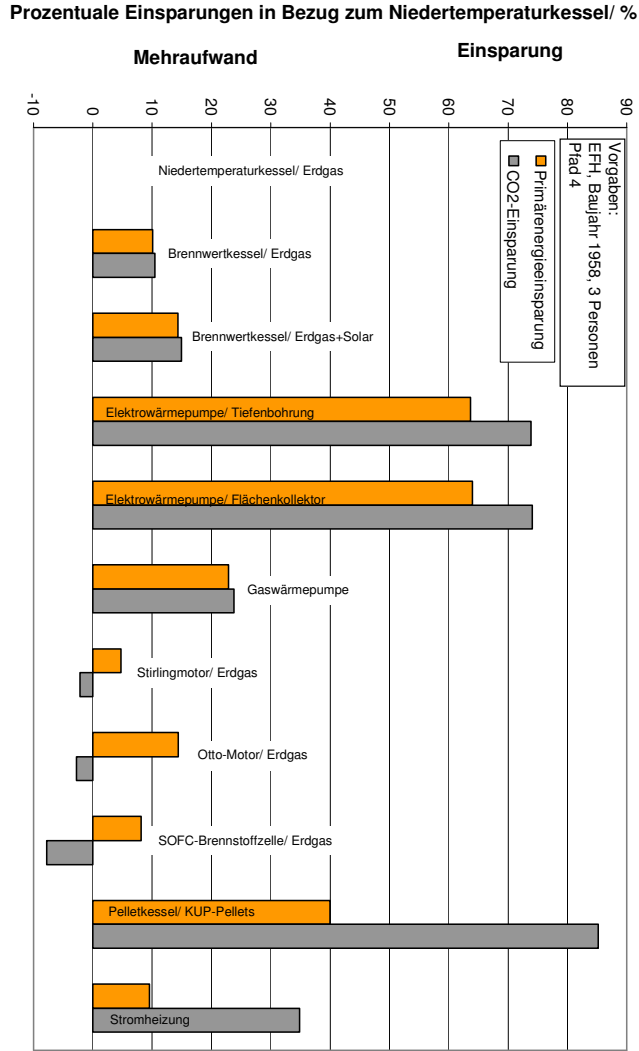
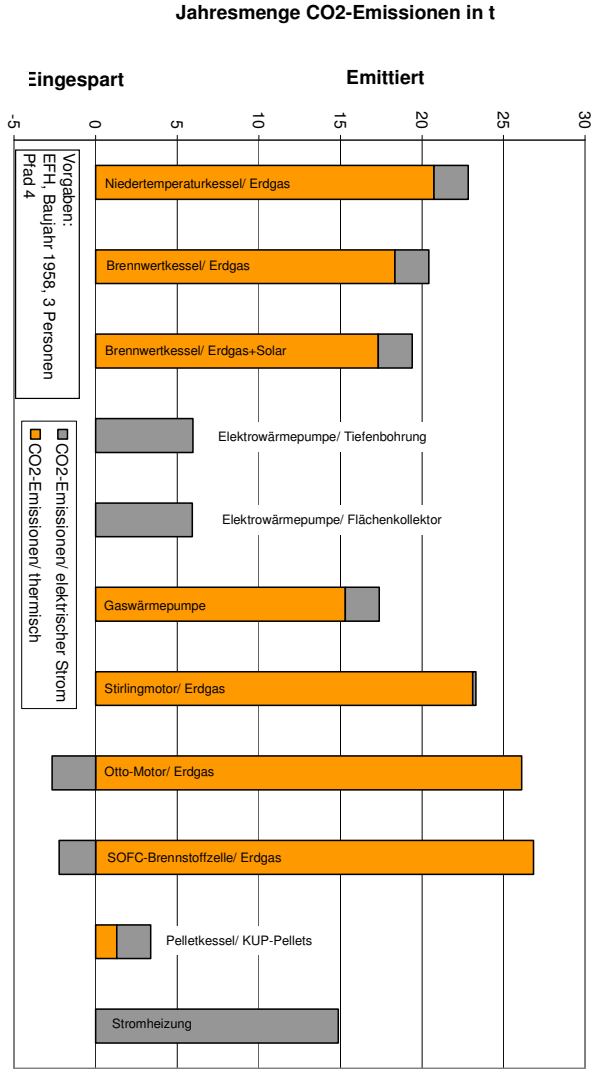
Auswertung Einfamilienhaus 1958; Pfad 4:

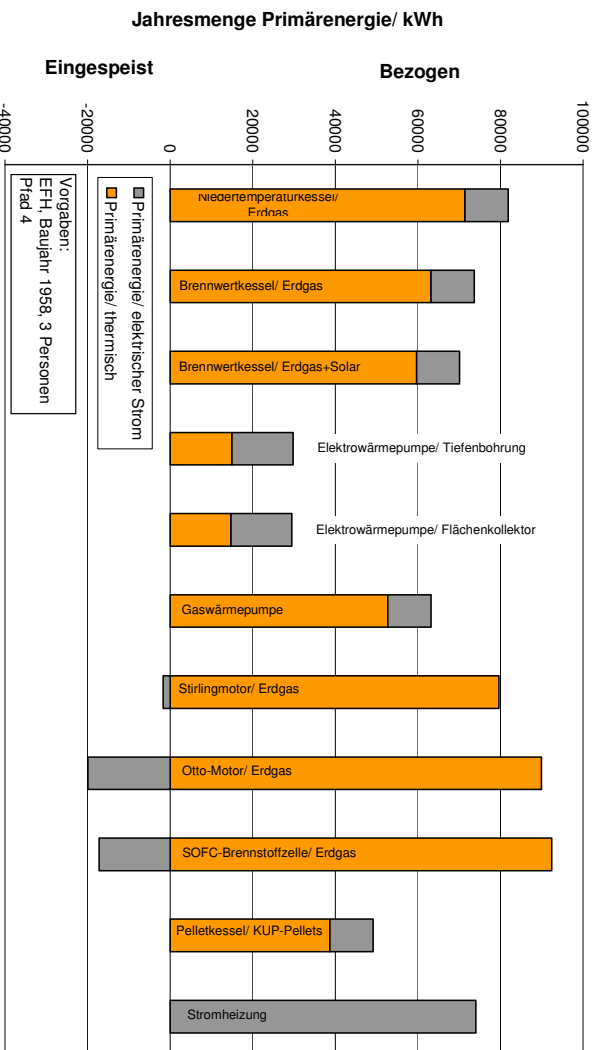
Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	29900
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWw,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	EFH 1958- P4-A1	EFH 1958- P4-A2	EFH 1958- P4-A3	EFH 1958- P4-A4	EFH 1958- P4-A5	EFH 1958- P4-A6	EFH 1958- P4-A7	EFH 1958- P4-A8	EFH 1958- P4-A9	EFH 1958- P4-A10	EFH 1958- P4-A11
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	$\eta_{\text{P,th}}$	%	48,2	48,2	48,2	39,33	39,33	48,2	48,2	48,2	48,2	88	100
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	$\eta_{\text{P,el}}$	%	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445
Spezifische CO2 Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO}_2,\text{th}}$	g/kWh	602,2	602,2	602,2	602,2	602,2	602,2	602,2	602,2	602,2	38	0
Spezifische CO2 Emissionen Strom	$f_{\text{CO}_2,\text{el}}$	g/kWh	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{P,th}}$	kWh	71419	63178	59675	14975	14734	52714	79631	89969	92449	38712	0
Stromproduktion	$W_{\text{el,kWK}}$	kWh	0	0	0	0	0	0	4753	11925	10875	0	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{P,el,sch}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-12092,90	-30344,39	-27670,63	0,00	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{P,el}}$	kWh	10407	10407	10407	14749	14749	10407	10407	10407	10407	10407	74021
Differenz	$E_{\text{P,el}}$	kWh	10407	10407	10407	14749	14749	10407	-1686	-19937	-17263	10407	74021
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{P,ges}}$	kWh	81827	73586	70083	29724	29483	63121	77945	70032	75186	49120	74021
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{P,Nt}}$	%	0,0	10,1	14,4	63,7	64,0	22,9	4,7	14,4	8,1	40,0	9,5
Laufzeit Vollast	t_{vll}	h	355,0	463,6	439,8	1535,2	1689,3	976,1	214,6	2168,2	1665,7	355,0	0,0
Laufzeit Teillast	t_{teill}	h	4759,2	4746,7	4476,5	0,0	0,0	5931,3	4841,2	0,0	5881,8	4759,2	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{B,th}}$	%	39,2	43,6	45,8	108,0	108,8	50,8	41,2	45,8	42,7	65,3	43,4
Brennstoffnutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{B,el}}$	%	6,4	7,1	7,5	17,7	17,8	8,3	6,7	7,5	7,0	10,7	7,1
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{B,ges}}$	%	45,6	50,7	53,3	125,6	126,6	59,2	47,9	53,3	49,7	76,0	50,4
Anlagennutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{N,th}}$	%	80,9	89,9	94,3	224,3	225,9	104,7	73,5	66,0	64,4	81,6	85,9
Anlagennutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{N,el}}$	%	13,2	14,7	15,4	55,8	56,2	17,1	14,0	15,8	14,6	13,4	14,1
Anlagennutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{N,ges}}$	%	94,1	104,6	109,8	280,1	282,1	121,8	85,6	76,8	75,0	95,0	100,0
CO2-Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO}_2,\text{th}}$	t	20,7	18,3	17,3	0,0	0,0	15,3	23,1	26,1	26,8	1,3	0,0
CO2-Emissionen Strom	$m_{\text{CO}_2,\text{el}}$	t	2,1	2,1	2,1	6,0	5,9	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	14,9
CO2-Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO}_2,\text{spst}}$	t	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,9	-4,7	-4,3	0,0	0,0
Differenz			2,1	2,1	2,1	6,0	5,9	2,1	0,2	-2,7	-2,2	2,1	14,9
CO2-Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	t	22,8	20,4	19,4	6,0	5,9	17,4	23,3	23,5	24,6	3,4	14,9
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{CO}_2,\text{Nt}}$	%	0,0	10,5	14,9	73,8	74,1	23,8	-2,2	-2,8	-7,8	85,2	34,9
Spezifische CO2-Emissionen	$f_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	g/kWh	611,1	547,1	519,9	159,9	158,6	465,7	624,3	628,2	658,7	90,6	398,1







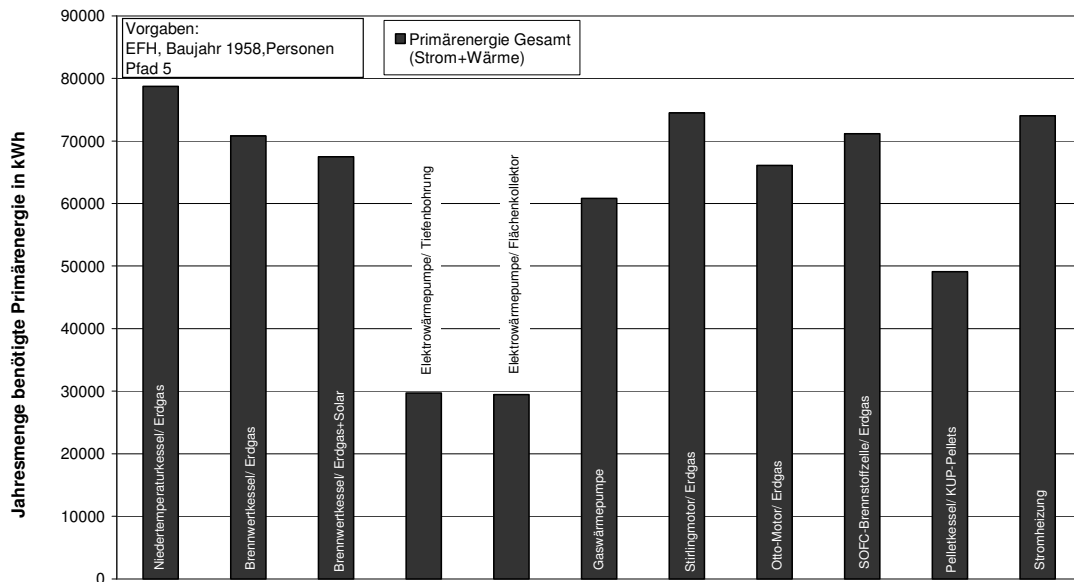
EFH 1958 Pfad 5

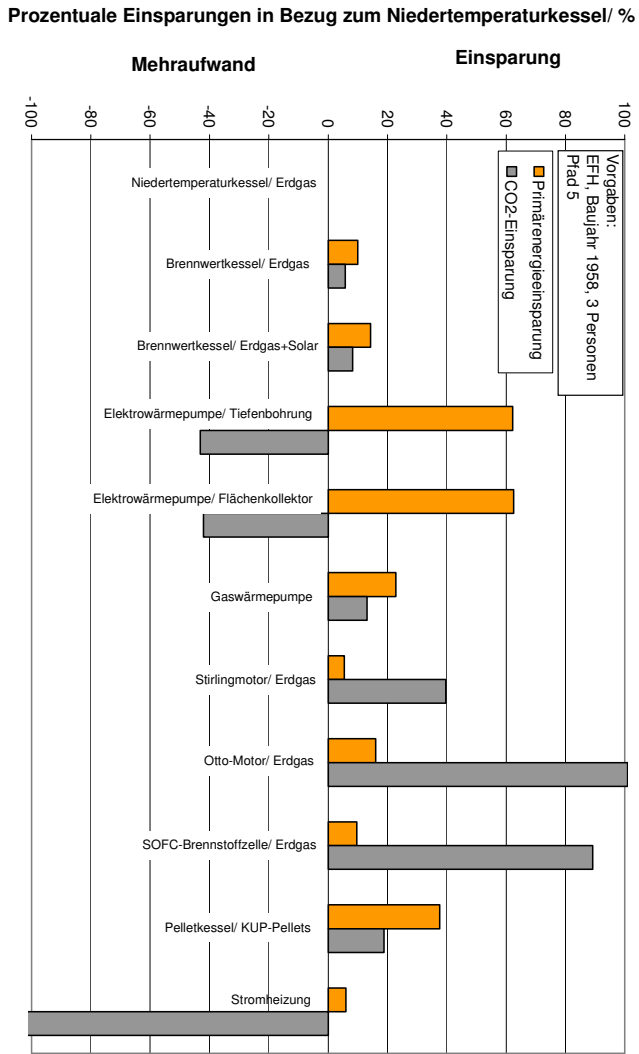
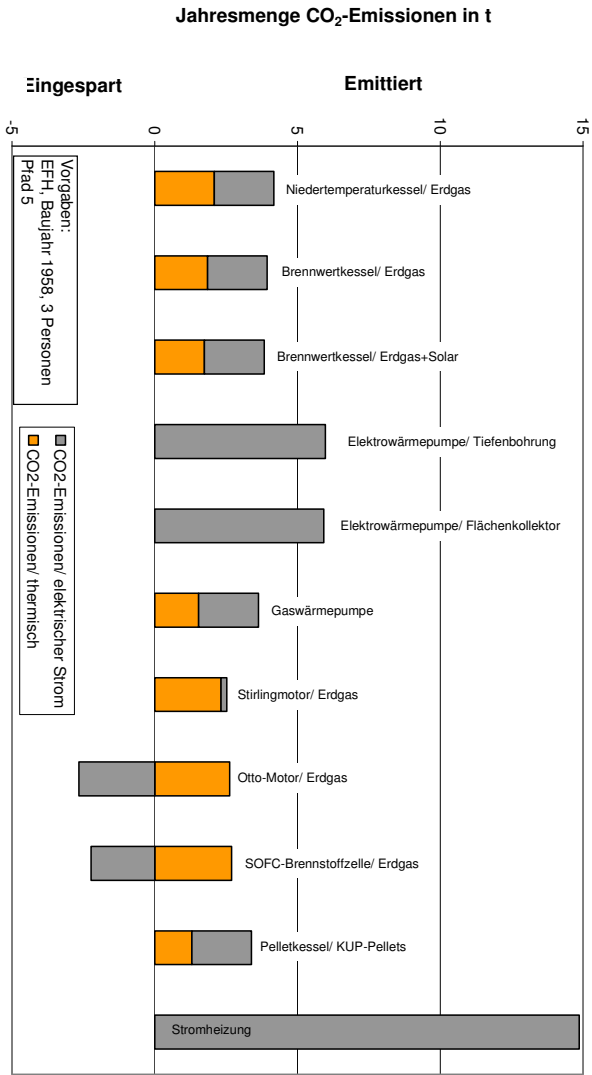
Auswertung Einfamilienhaus 1958; Pfad 5:

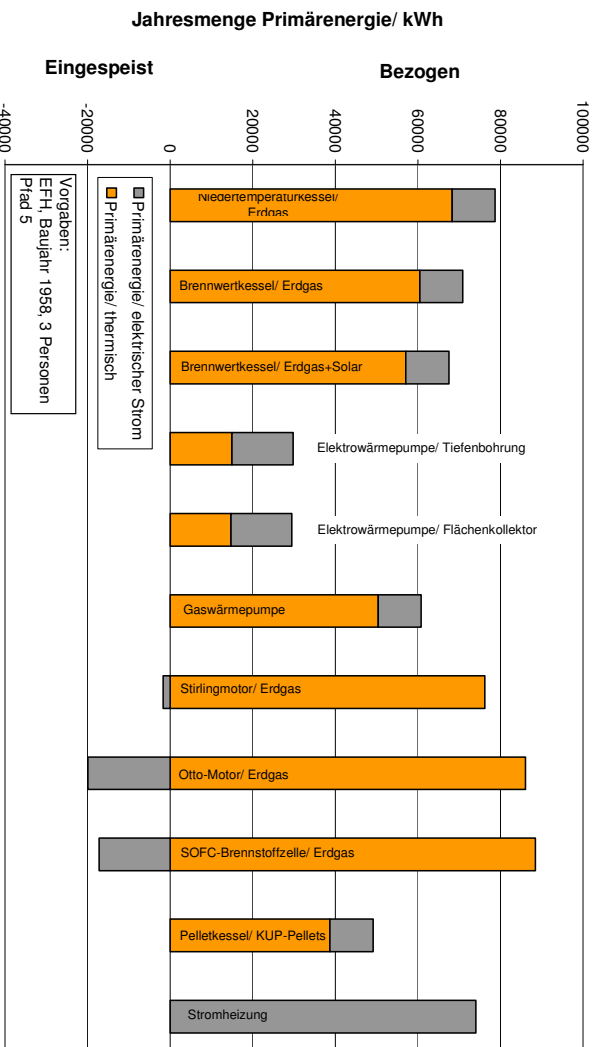
Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	29900
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWw,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	EFH 1958- P5-A1	EFH 1958- P5-A2	EFH 1958- P5-A3	EFH 1958- P5-A4	EFH 1958- P5-A5	EFH 1958- P5-A6	EFH 1958- P5-A7	EFH 1958- P5-A8	EFH 1958- P5-A9	EFH 1958- P5-A10	EFH 1958- P5-A11
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	$\eta_{\text{P,th}}$	%	50,4	50,4	50,4	39,33	39,33	50,4	50,4	50,4	50,4	88	100
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	$\eta_{\text{P,el}}$	%	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445
Spezifische CO2 Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO}_2,\text{th}}$	g/kWh	60,4	60,4	60,4	60,4	60,4	60,4	60,4	60,4	60,4	38	0
Spezifische CO2 Emissionen Strom	$f_{\text{CO}_2,\text{el}}$	g/kWh	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{P,th}}$	kWh	68302	60420	57071	14975	14734	50413	76155	86041	88414	38712	0
Stromproduktion	$W_{\text{el,KWK}}$	kWh	0	0	0	0	0	0	4753	11925	10875	0	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{P,dt-stm}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-12092,90	-30344,39	-27670,63	0,00	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{P,el}}$	kWh	10407	10407	10407	14749	14749	10407	10407	10407	10407	10407	74021
Differenz	$\Delta E_{\text{P,el}}$	kWh	10407	10407	10407	14749	14749	10407	-1686	-19937	-17263	10407	74021
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{P,ges}}$	kWh	78709	70828	67478	29724	29483	60820	74469	66104	71150	49120	74021
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{P,NL}}$	%	0,0	10,0	14,3	62,2	62,5	22,7	5,4	16,0	9,6	37,6	6,0
Laufzeit Vollast	t_{Voll}	h	355,0	463,6	439,8	1535,2	1689,3	976,1	214,6	2168,2	1665,7	355,0	0,0
Laufzeit Teillast	t_{Teil}	h	4759,2	4746,7	4476,5	0,0	0,0	5931,3	4841,2	0,0	5881,8	4759,2	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{B,th}}$	%	40,8	45,3	47,6	108,0	108,8	52,8	43,1	48,5	45,1	65,3	43,4
Brennstoffnutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{B,el}}$	%	6,7	7,4	7,8	17,7	17,8	8,6	7,0	7,9	7,4	10,7	7,1
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{B,ges}}$	%	47,4	52,7	55,3	125,6	126,6	61,4	50,1	56,5	52,5	76,0	50,4
Anlagennutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{A,th}}$	%	80,9	89,9	94,3	224,3	225,9	104,7	73,5	66,0	64,4	81,6	85,9
Anlagennutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{A,el}}$	%	13,2	14,7	15,4	55,8	56,2	17,1	14,0	15,8	14,6	13,4	14,1
Anlagennutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{A,ges}}$	%	94,1	104,6	109,8	280,1	282,1	121,8	85,6	76,8	75,0	95,0	100,0
CO2-Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO}_2,\text{th}}$	t	2,1	1,8	1,7	0,0	0,0	1,5	2,3	2,6	2,7	1,3	0,0
CO2-Emissionen Strom	$m_{\text{CO}_2,\text{el}}$	t	2,1	2,1	2,1	6,0	5,9	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	14,9
CO2-Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO}_2,\text{spst}}$	t	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,9	-4,7	-4,3	0,0	0,0
Differenz			2,1	2,1	2,1	6,0	5,9	2,1	0,2	-2,7	-2,2	2,1	14,9
CO2-Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	t	4,2	3,9	3,8	6,0	5,9	3,6	2,5	0,0	0,5	3,4	14,9
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{CO}_2,\text{NL}}$	%	0,0	5,8	8,2	-43,2	-42,0	13,1	39,6	100,9	89,2	18,8	-256,5
Spezifische CO2-Emissionen	$f_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	g/kWh	111,7	105,2	102,5	159,9	158,6	97,1	67,4	-1,0	12,1	90,6	398,1







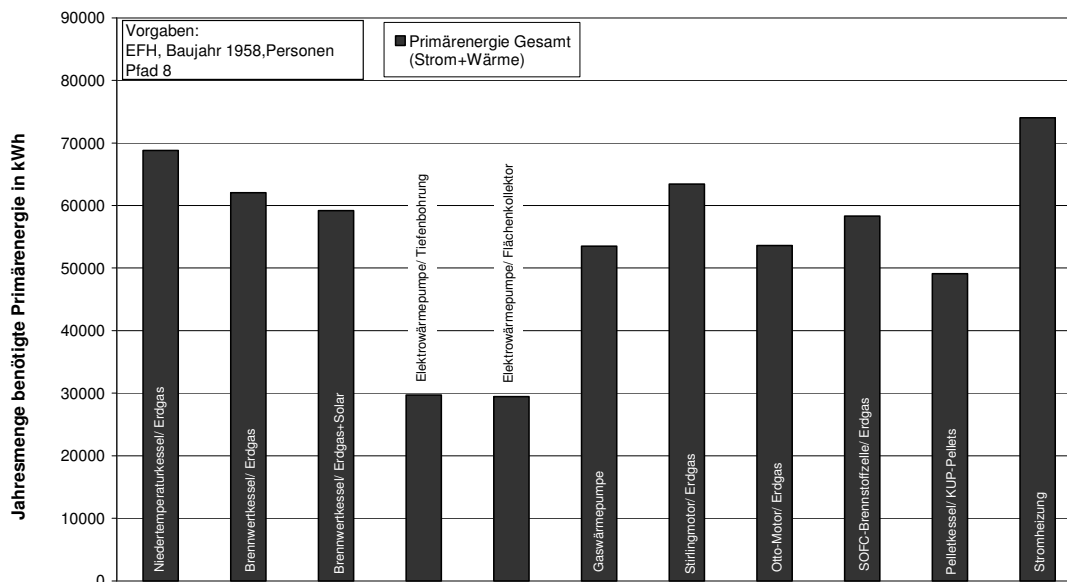
EFH 1958 Pfad 8

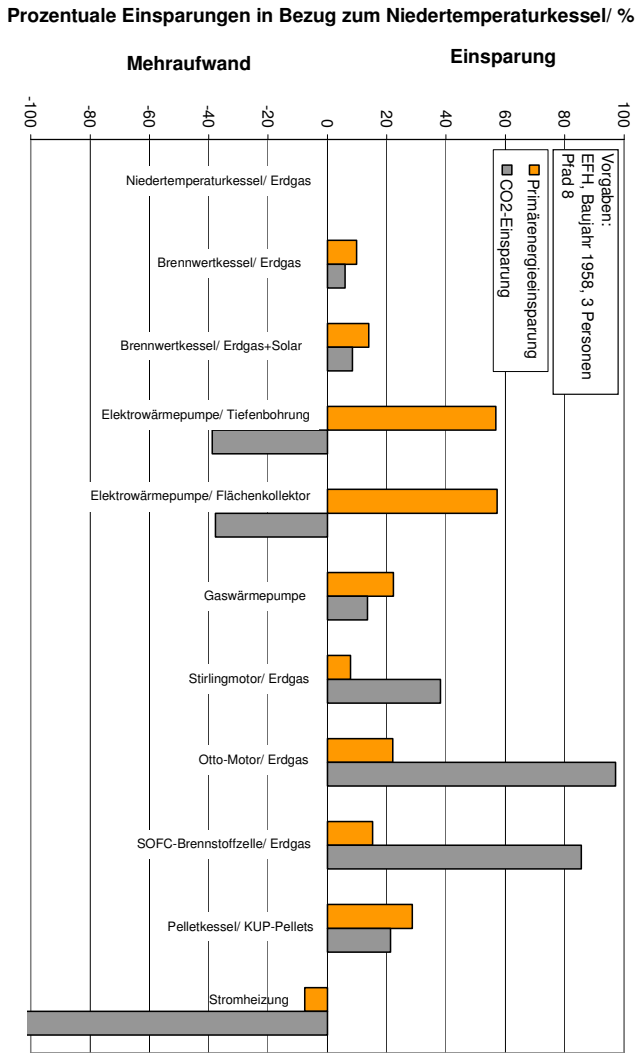
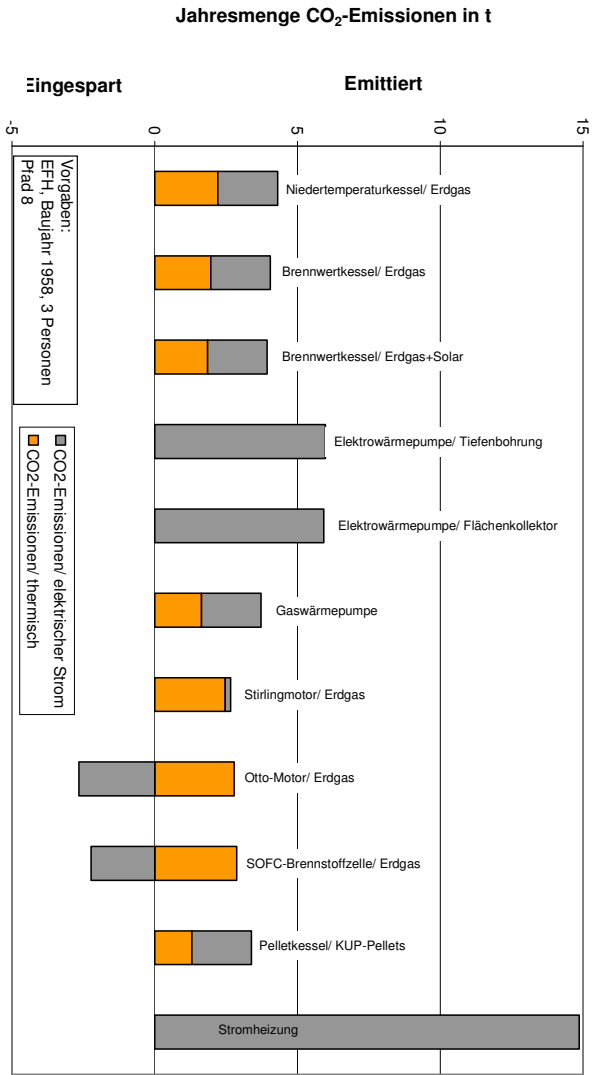
Auswertung Einfamilienhaus 1958; Pfad 8:

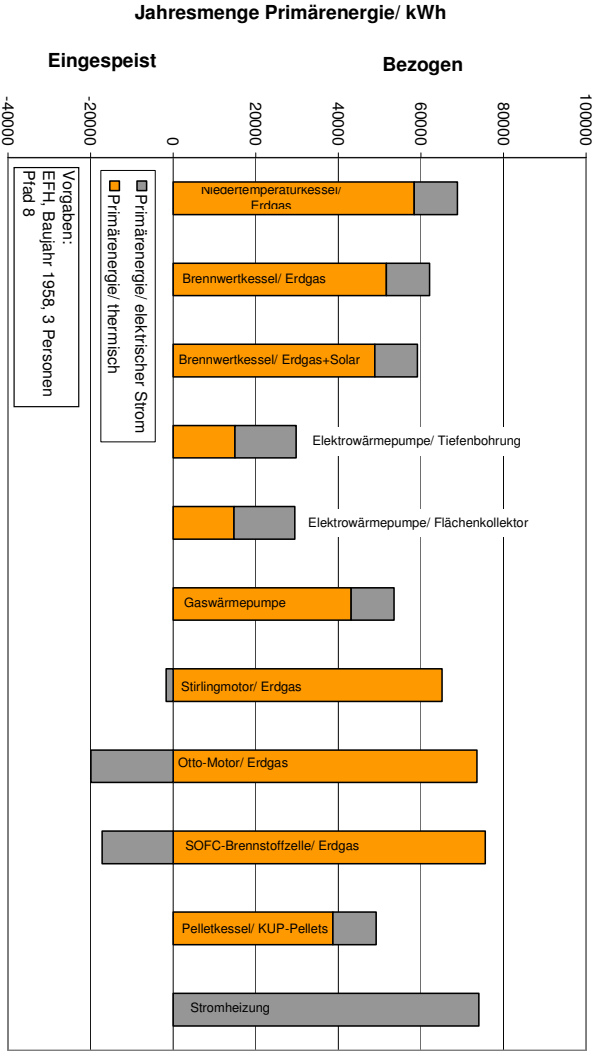
Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	29900
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWw,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	EFH 1958- P8-A1	EFH 1958- P8-A2	EFH 1958- P8-A3	EFH 1958- P8-A4	EFH 1958- P8-A5	EFH 1958- P8-A6	EFH 1958- P8-A7	EFH 1958- P8-A8	EFH 1958- P8-A9	EFH 1958- P8-A10	EFH 1958- P8-A11
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	$\eta_{\text{p,th}}$	%	58,96	58,96	58,96	39,33	39,33	58,96	58,96	58,96	58,96	88	100
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	$\eta_{\text{p,el}}$	%	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445
Spezifische CO2 Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO}_2,\text{th}}$	g/kWh	64,2	64,2	64,2	64,2	64,2	64,2	64,2	64,2	64,2	38	0
Spezifische CO2 Emissionen Strom	$f_{\text{CO}_2,\text{el}}$	g/kWh	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{p,th}}$	kWh	58386	51648	48785	14975	14734	43094	65099	73550	75577	38712	0
Stromproduktion	$W_{\text{el,kWK}}$	kWh	0	0	0	0	0	0	4753	11925	10875	0	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{p,el,stm}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-12092,90	-30344,39	-27670,63	0,00	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{p,el}}$	kWh	10407	10407	10407	14749	14749	10407	10407	10407	10407	10407	74021
Differenz	$\Delta E_{\text{p,el}}$	kWh	10407	10407	10407	14749	14749	10407	-1686	-19937	-17263	10407	74021
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{p,ges}}$	kWh	68793	62056	59192	29724	29483	53501	63413	53613	58314	49120	74021
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{p,NT}}$	%	0,0	9,8	14,0	56,8	57,1	22,2	7,8	22,1	15,2	28,6	-7,6
Laufzeit Vollast	t_{vll}	h	355,0	463,6	439,8	1535,2	1689,3	976,1	214,6	2168,2	1665,7	355,0	0,0
Laufzeit Teillast	t_{tll}	h	4759,2	4746,7	4476,5	0,0	0,0	5931,3	4841,2	0,0	5881,8	4759,2	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{b,th}}$	%	46,6	51,7	54,2	108,0	108,8	60,0	50,6	59,9	55,0	65,3	43,4
Brennstoffnutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{b,el}}$	%	7,6	8,5	8,9	17,7	17,8	9,8	8,3	9,8	9,0	10,7	7,1
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{b,ges}}$	%	54,3	60,2	63,1	125,6	126,6	69,8	58,9	69,6	64,0	76,0	50,4
Anlagennutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{a,th}}$	%	80,9	89,9	94,3	224,3	225,9	104,7	73,5	66,0	64,4	81,6	85,9
Anlagennutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{a,el}}$	%	13,2	14,7	15,4	55,8	56,2	17,1	14,0	15,8	14,6	13,4	14,1
Anlagennutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{a,ges}}$	%	94,1	104,6	109,8	280,1	282,1	121,8	85,6	76,8	75,0	95,0	100,0
CO2-Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO}_2,\text{th}}$	t	2,2	2,0	1,8	0,0	0,0	1,6	2,5	2,8	2,9	1,3	0,0
CO2-Emissionen Strom	$m_{\text{CO}_2,\text{el}}$	t	2,1	2,1	2,1	6,0	5,9	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	14,9
CO2-Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO}_2,\text{stm}}$	t	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,9	-4,7	-4,3	0,0	0,0
Differenz			2,1	2,1	2,1	6,0	5,9	2,1	0,2	-2,7	-2,2	2,1	14,9
CO2-Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	t	4,3	4,0	3,9	6,0	5,9	3,7	2,7	0,1	0,6	3,4	14,9
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{CO}_2,\text{NT}}$	%	0,0	5,9	8,5	-38,8	-37,7	13,5	38,1	97,1	85,5	21,3	-245,7
Spezifische CO2-Emissionen	$f_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	g/kWh	115,2	108,3	105,4	159,9	158,6	99,7	71,3	3,4	16,6	90,6	398,1







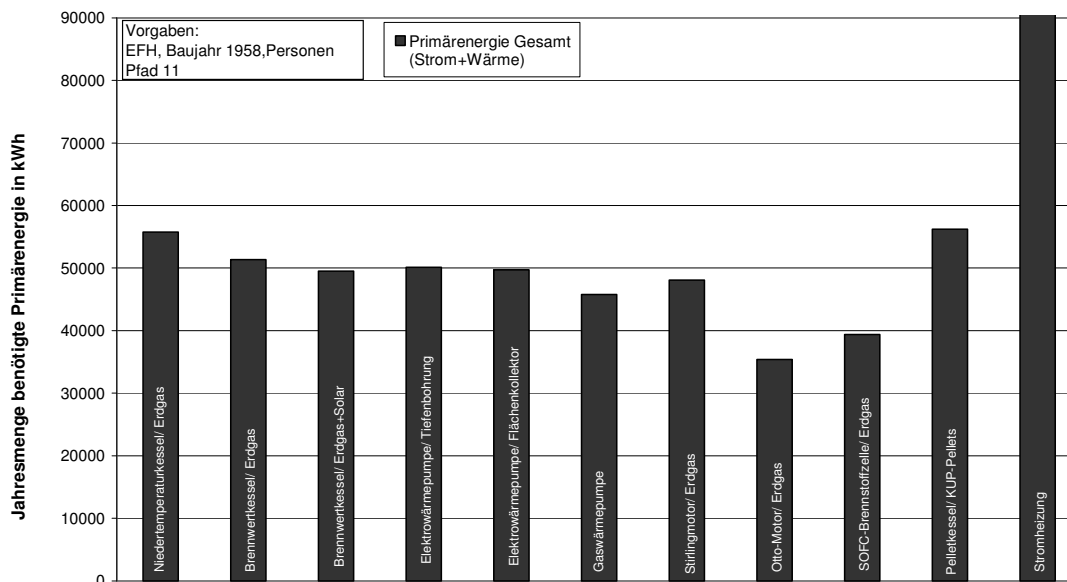
EFH 1958 Pfad 11

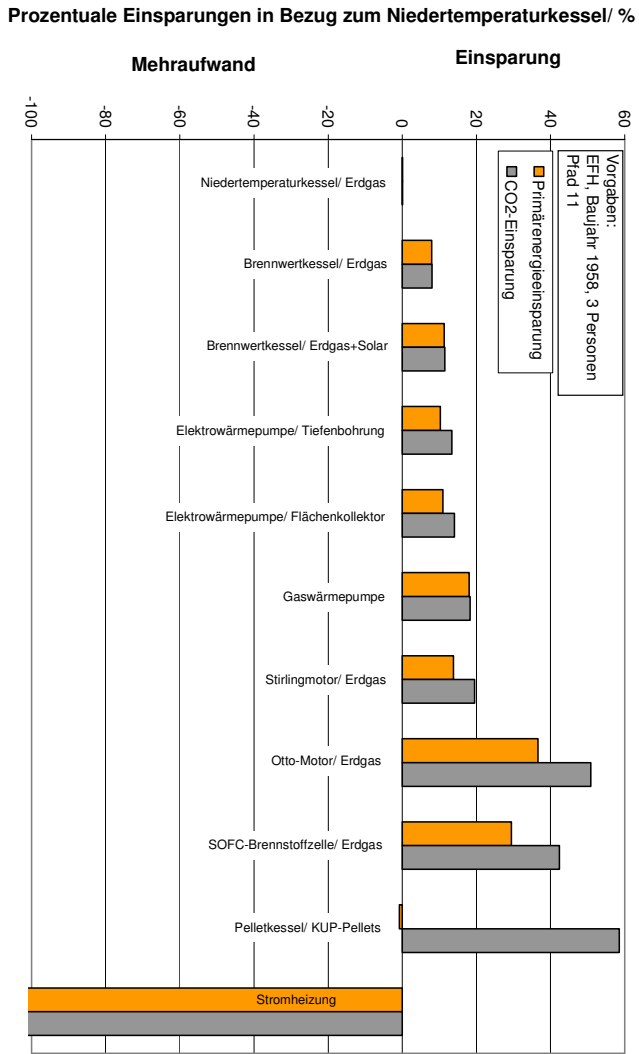
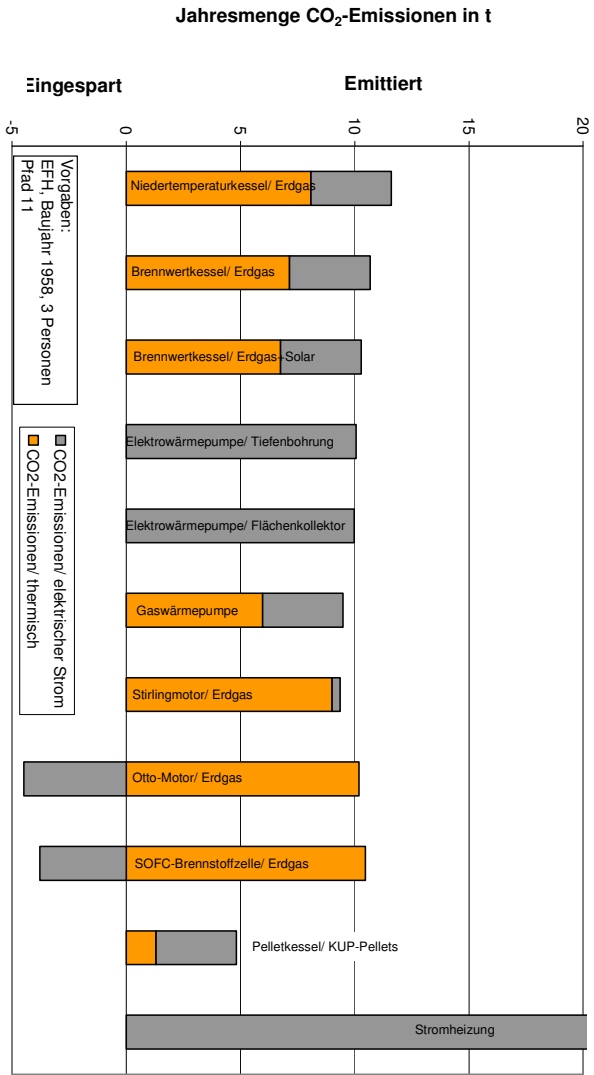
Auswertung Einfamilienhaus 1958; Pfad 11:

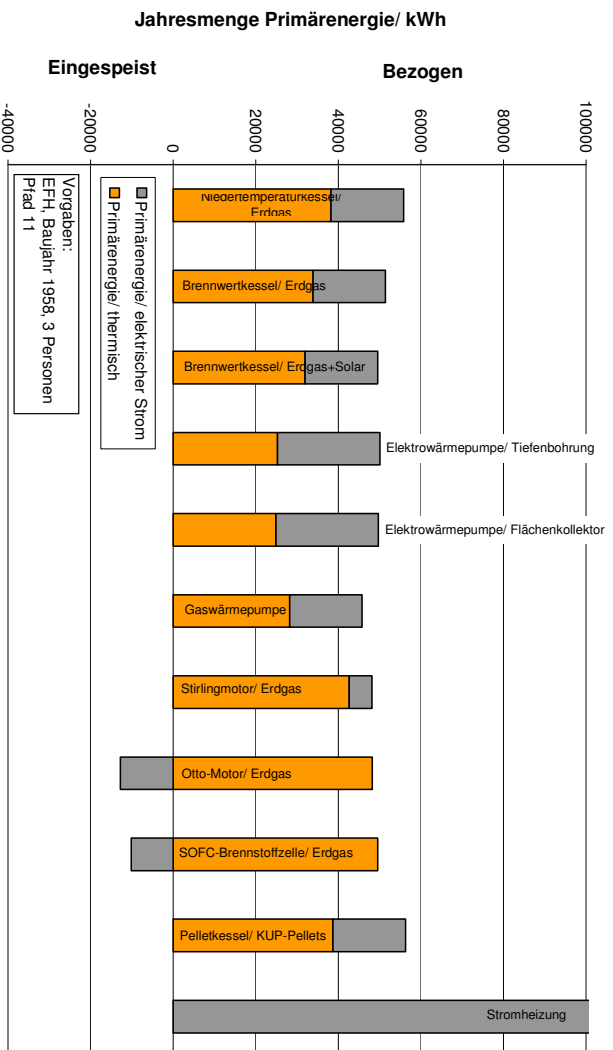
Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	29900
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWw,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	EFH 1958- P11-A1	EFH 1958- P11-A2	EFH 1958- P11-A3	EFH 1958- P11-A4	EFH 1958- P11-A5	EFH 1958- P11-A6	EFH 1958- P11-A7	EFH 1958- P11-A8	EFH 1958- P11-A9	EFH 1958- P11-A10	EFH 1958- P11-A11
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	$\eta_{\text{p,th}}$	%	90	90	90	39,33	39,33	90	90	90	90	88	100
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	$\eta_{\text{p,el}}$	%	29,93	29,93	29,93	29,93	29,93	29,93	29,93	29,93	29,93	29,93	29,93
Spezifische CO2 Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO}_2,\text{th}}$	g/kWh	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	38	0
Spezifische CO2 Emissionen Strom	$f_{\text{CO}_2,\text{el}}$	g/kWh	671	671	671	671	671	671	671	671	671	671	671
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{p,th}}$	kWh	38249	33835	31960	25239	24834	28231	42647	48183	49512	38712	0
Stromproduktion	$W_{\text{el,kWK}}$	kWh	0	0	0	0	0	0	4753	11925	10875	0	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{p,el,stm}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-12092,90	-30344,39	-27670,63	0,00	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{p,el}}$	kWh	17541	17541	17541	24858	24858	17541	17541	17541	17541	17541	124758
Differenz	$\Delta E_{\text{p,el}}$	kWh	17541	17541	17541	24858	24858	17541	5448	-12803	-10130	17541	124758
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{p,ges}}$	kWh	55790	51376	49500	50097	49692	45772	48095	35380	39382	56253	124758
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{p,Nt}}$	%	0,0	7,9	11,3	10,2	10,9	18,0	13,8	36,6	29,4	-0,8	-123,6
Laufzeit Vollast	t_{vll}	h	355,0	463,6	439,8	1535,2	1689,3	976,1	214,6	2168,2	1665,7	355,0	0,0
Laufzeit Teillast	t_{teill}	h	4759,2	4746,7	4476,5	0,0	0,0	5931,3	4841,2	0,0	5881,8	4759,2	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{b,th}}$	%	57,5	62,5	64,8	64,1	64,6	70,1	66,7	90,7	81,5	57,0	25,7
Brennstoffnutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{b,el}}$	%	9,4	10,2	10,6	10,5	10,6	11,5	10,9	14,8	13,3	9,3	4,2
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{b,ges}}$	%	66,9	72,7	75,4	74,5	75,1	81,6	77,6	105,5	94,8	66,4	29,9
Anlagennutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{N,th}}$	%	80,9	89,9	94,3	172,2	173,8	104,7	73,5	66,0	64,4	81,6	85,9
Anlagennutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{N,el}}$	%	13,2	14,7	15,4	42,8	43,2	17,1	13,1	13,3	12,6	13,4	14,1
Anlagennutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{N,ges}}$	%	94,1	104,6	109,8	215,0	217,0	121,8	85,6	76,8	75,0	95,0	100,0
CO2-Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO}_2,\text{th}}$	t	8,1	7,2	6,8	0,0	0,0	6,0	9,0	10,2	10,5	1,3	0,0
CO2-Emissionen Strom	$m_{\text{CO}_2,\text{el}}$	t	3,5	3,5	3,5	10,1	10,0	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	25,1
CO2-Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO}_2,\text{spst}}$	t	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-3,2	-8,0	-7,3	0,0	0,0
Differenz			3,5	3,5	3,5	10,1	10,0	3,5	0,3	-4,5	-3,8	3,5	25,1
CO2-Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	t	11,6	10,7	10,3	10,1	10,0	9,5	9,3	5,7	6,7	4,8	25,1
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{CO}_2,\text{Nt}}$	%	0,0	8,0	11,5	13,3	14,0	18,2	19,5	50,8	42,3	58,5	-115,8
Spezifische CO2-Emissionen	$f_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	g/kWh	310,9	285,9	275,3	269,4	267,3	254,2	250,4	152,8	179,2	129,0	671,0







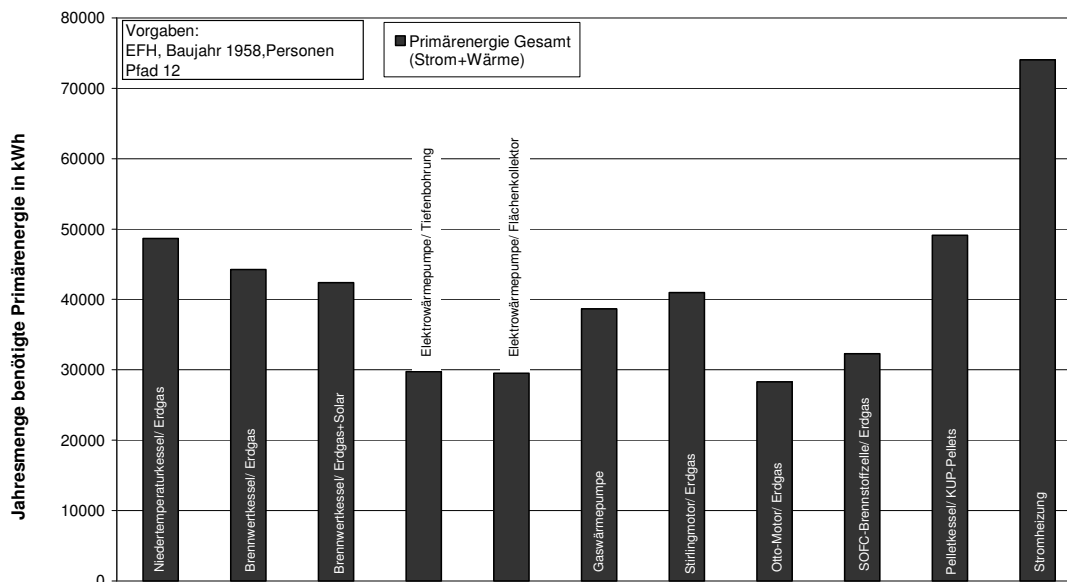
EFH 1958 Pfad 12

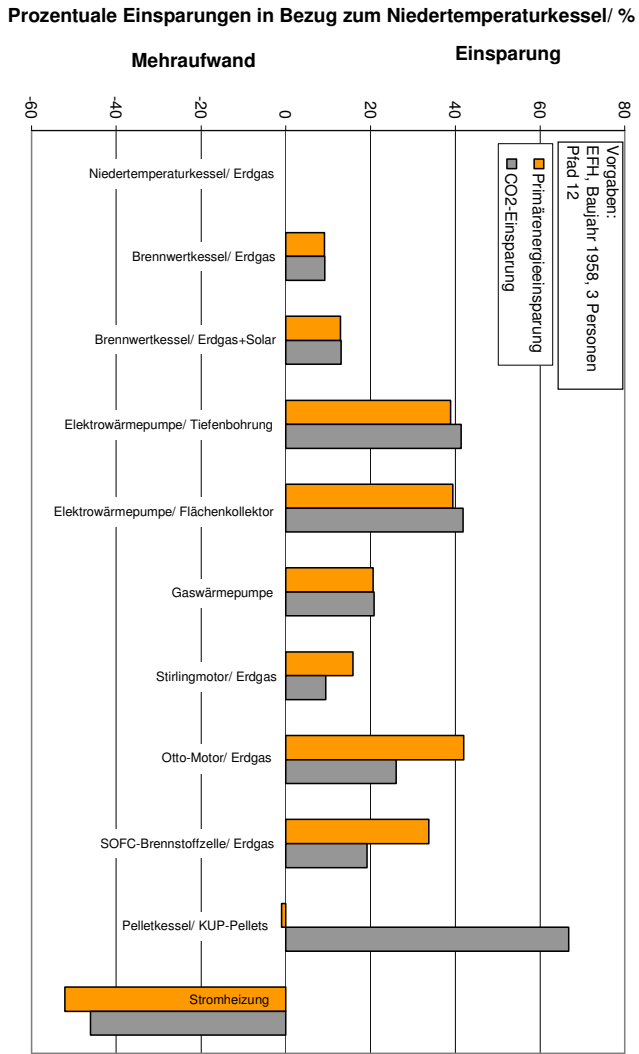
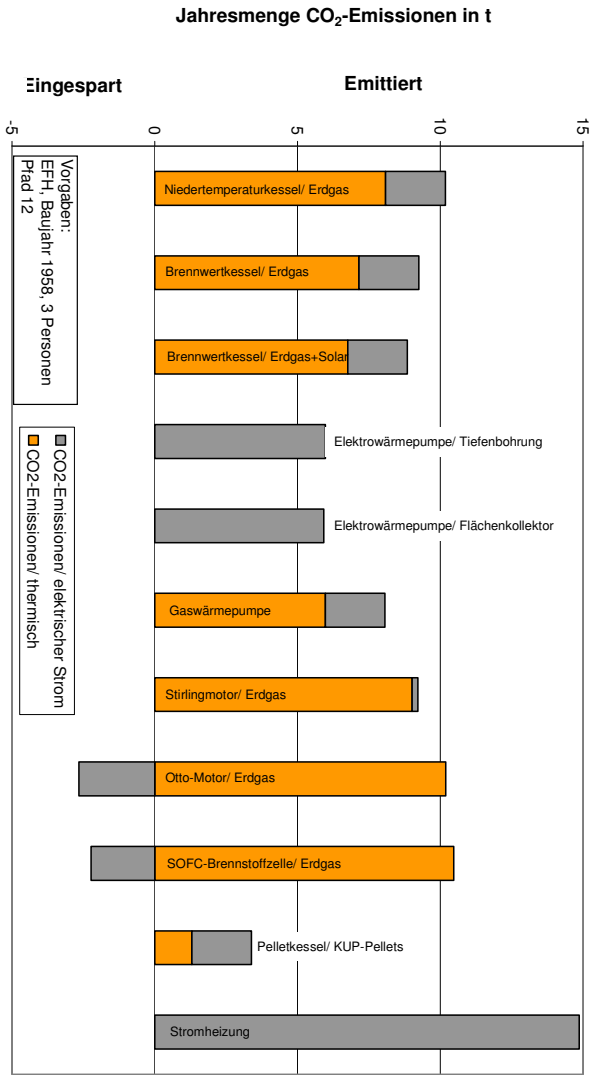
Auswertung Einfamilienhaus 1958; Pfad 12:

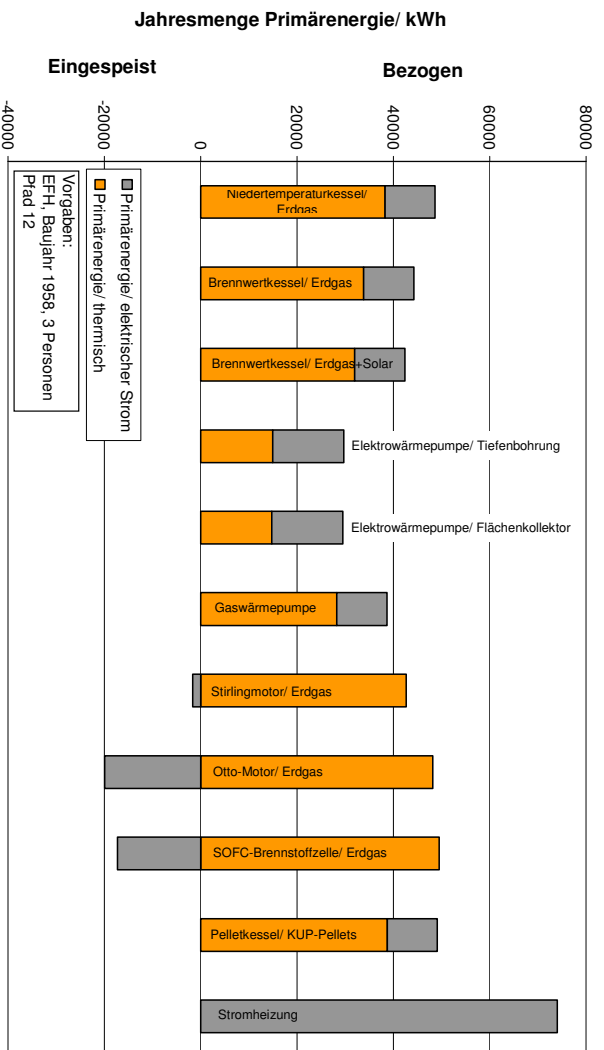
Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	29900
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWW,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	EFH 1958- P12-A1	EFH 1958- P12-A2	EFH 1958- P12-A3	EFH 1958- P12-A4	EFH 1958- P12-A5	EFH 1958- P12-A6	EFH 1958- P12-A7	EFH 1958- P12-A8	EFH 1958- P12-A9	EFH 1958- P12-A10	EFH 1958- P12-A11
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	$\xi_{\text{p,th}}$	%	90	90	90	39,33	39,33	90	90	90	90	88	100
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	$\xi_{\text{p,el}}$	%	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445
Spezifische CO2 Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO}_2,\text{th}}$	g/kWh	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	38	0
Spezifische CO2 Emissionen Strom	$f_{\text{CO}_2,\text{el}}$	g/kWh	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{p,th}}$	kWh	38249	33835	31960	14975	14734	28231	42647	48183	49512	38712	0
Stromproduktion	$W_{\text{el,kWK}}$	kWh	0	0	0	0	0	0	4753	11925	10875	0	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{p,el,stm}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-12092,90	-30344,39	-27670,63	0,00	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{p,el}}$	kWh	10407	10407	10407	14749	14749	10407	10407	10407	10407	10407	74021
Differenz	$\Delta E_{\text{p,el}}$	kWh	10407	10407	10407	14749	14749	10407	-1686	-19937	-17263	10407	74021
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{p,ges}}$	kWh	48656	44243	42367	29724	29483	38639	40961	28246	32248	49120	74021
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{p,NT}}$	%	0,0	9,1	12,9	38,9	39,4	20,6	15,8	41,9	33,7	-1,0	-52,1
Laufzeit Vollast	t_{vll}	h	355,0	463,6	439,8	1535,2	1689,3	976,1	214,6	2168,2	1665,7	355,0	0,0
Laufzeit Teillast	t_{tll}	h	4759,2	4746,7	4476,5	0,0	0,0	5931,3	4841,2	0,0	5881,8	4759,2	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	$\xi_{\text{b,th}}$	%	66,0	72,5	75,7	108,0	108,8	83,1	78,3	113,6	99,5	65,3	43,4
Brennstoffnutzungsgrad Strom	$\xi_{\text{b,el}}$	%	10,8	11,9	12,4	17,7	17,8	13,6	12,8	18,6	16,3	10,7	7,1
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	$\xi_{\text{b,ges}}$	%	76,7	84,4	88,1	125,6	126,6	96,6	91,2	132,2	115,8	76,0	50,4
Anlagennutzungsgrad Thermisch	$\xi_{\text{a,th}}$	%	80,9	89,9	94,3	224,3	225,9	104,7	73,5	66,0	64,4	81,6	85,9
Anlagennutzungsgrad Strom	$\xi_{\text{a,el}}$	%	13,2	14,7	15,4	55,8	56,2	17,1	14,0	15,8	14,6	13,4	14,1
Anlagennutzungsgrad Gesamt	$\xi_{\text{a,ges}}$	%	94,1	104,6	109,8	280,1	282,1	121,8	85,6	76,8	75,0	95,0	100,0
CO2-Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO}_2,\text{th}}$	t	8,1	7,2	6,8	0,0	0,0	6,0	9,0	10,2	10,5	1,3	0,0
CO2-Emissionen Strom	$m_{\text{CO}_2,\text{el}}$	t	2,1	2,1	2,1	6,0	5,9	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	14,9
CO2-Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO}_2,\text{spst}}$	t	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,9	-4,7	-4,3	0,0	0,0
Differenz			2,1	2,1	2,1	6,0	5,9	2,1	0,2	-2,7	-2,2	2,1	14,9
CO2-Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	t	10,2	9,2	8,8	6,0	5,9	8,1	9,2	7,5	8,2	3,4	14,9
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{CO}_2,\text{NT}}$	%	0,0	9,2	13,1	41,3	41,8	20,8	9,5	26,0	19,1	66,7	-46,1
Spezifische CO2-Emissionen	$f_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	g/kWh	272,5	247,5	236,9	159,9	158,6	215,8	246,8	201,6	220,4	90,6	398,1







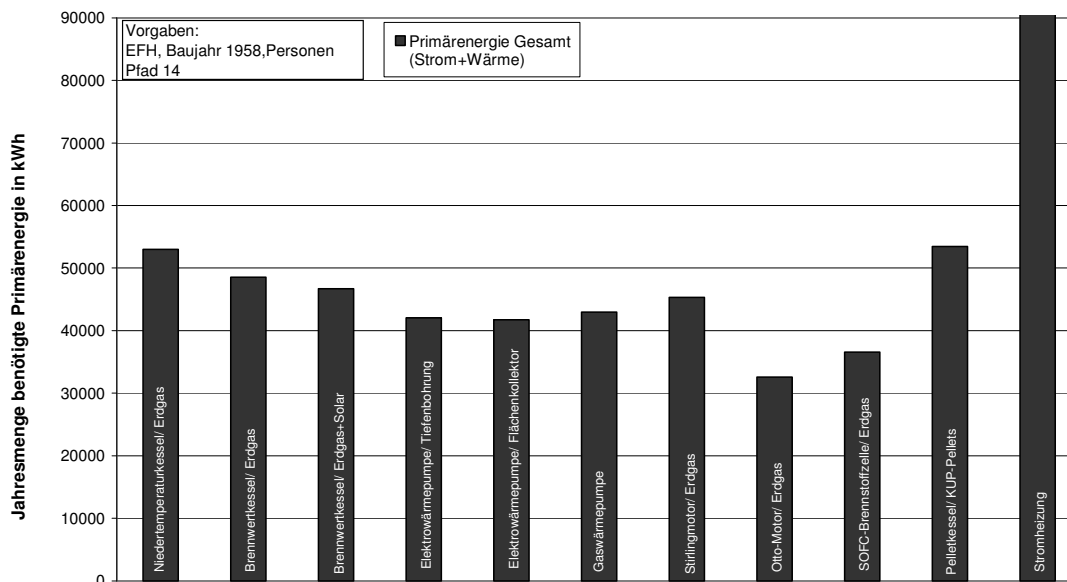
EFH 1958 Pfad 14

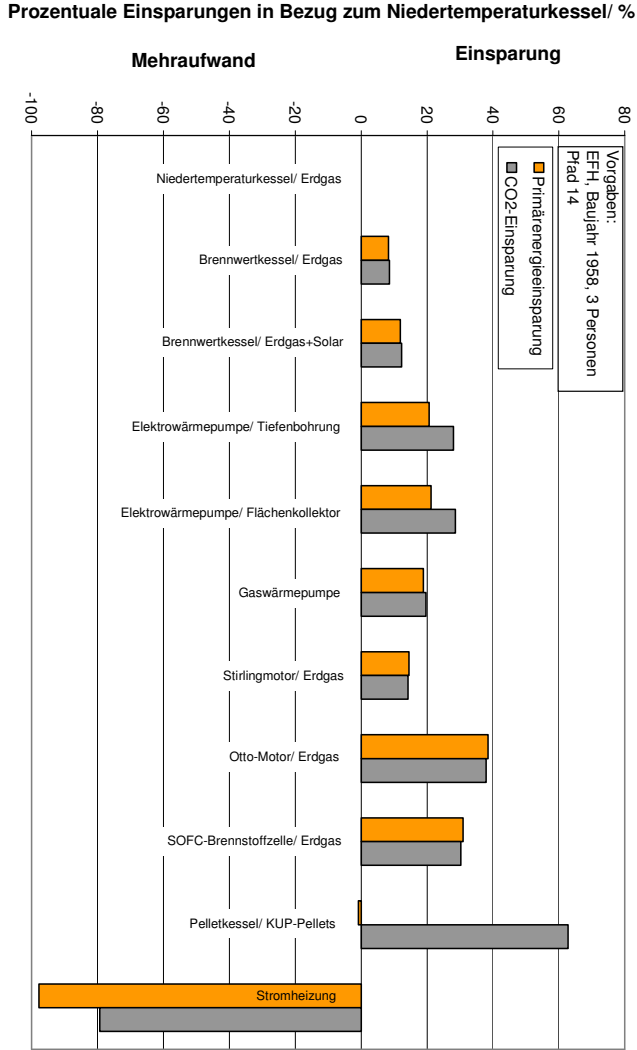
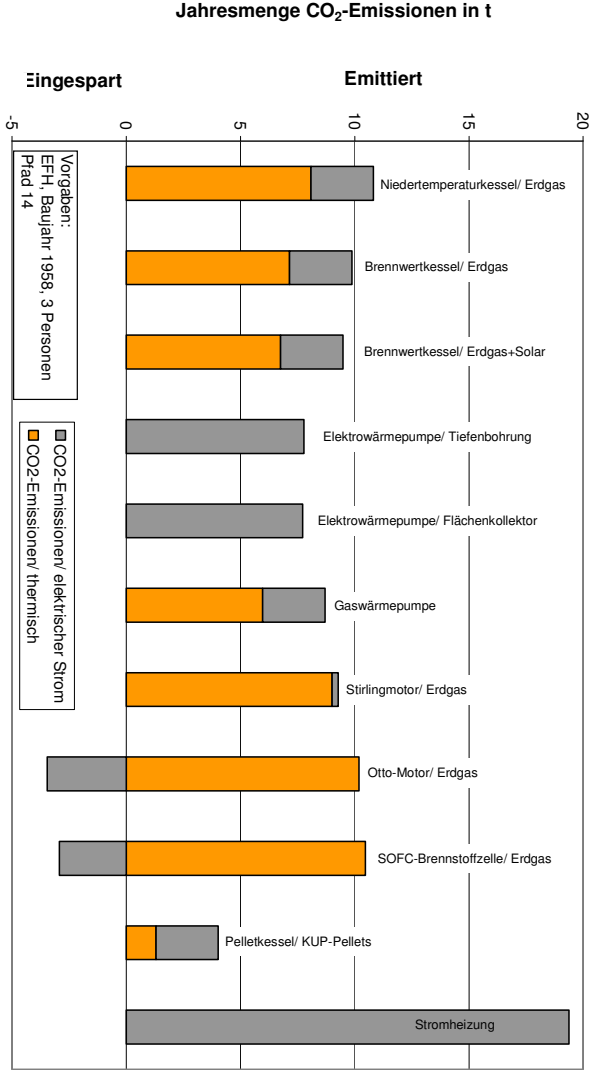
Auswertung Einfamilienhaus 1958; Pfad 14:

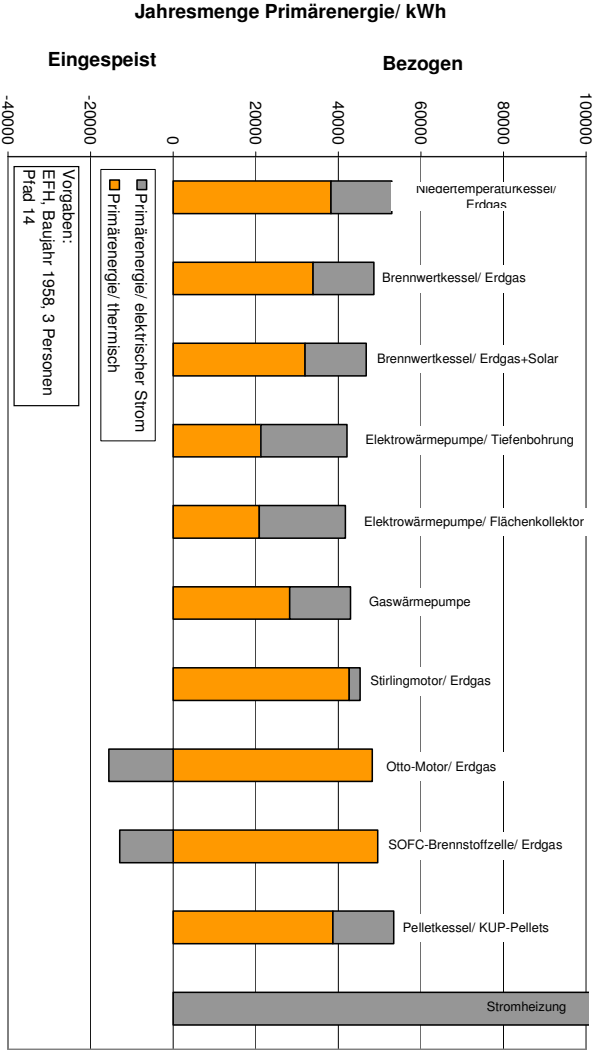
Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	29900
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWw,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	EFH 1958- P14-A1	EFH 1958- P14-A2	EFH 1958- P14-A3	EFH 1958- P14-A4	EFH 1958- P14-A5	EFH 1958- P14-A6	EFH 1958- P14-A7	EFH 1958- P14-A8	EFH 1958- P14-A9	EFH 1958- P14-A10	EFH 1958- P14-A11
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	$\eta_{\text{P,th}}$	%	90	90	90	39,33	39,33	90	90	90	90	88	100
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	$\eta_{\text{P,el}}$	%	35,65	35,65	35,65	35,65	35,65	35,65	35,65	35,65	35,65	35,653	35,65
Spezifische CO2 Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO}_2,\text{th}}$	g/kWh	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	38	0
Spezifische CO2 Emissionen Strom	$f_{\text{CO}_2,\text{el}}$	g/kWh	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{P,th}}$	kWh	38249	33835	31960	21190	20849	28231	42647	48183	49512	38712	0
Stromproduktion	$W_{\text{el,kWK}}$	kWh	0	0	0	0	0	0	4753	11925	10875	0	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{P,el,stm}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-12092,90	-30344,39	-27670,63	0,00	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{P,el}}$	kWh	14727	14727	14727	20870	20870	14727	14727	14727	14727	14725	104741
Differenz	$E_{\text{P,el}}$	kWh	14727	14727	14727	20870	20870	14727	2634	-15618	-12944	14725	104741
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{P,ges}}$	kWh	52976	48562	46686	42059	41719	42958	45280	32565	36568	53438	104741
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{P,N}}$	%	0,0	8,3	11,9	20,6	21,2	18,9	14,5	38,5	31,0	-0,9	-97,7
Laufzeit Vollast	t_{vol}	h	355,0	463,6	439,8	1535,2	1689,3	976,1	214,6	2168,2	1665,7	355,0	0,0
Laufzeit Teillast	t_{teil}	h	4759,2	4746,7	4476,5	0,0	0,0	5931,3	4841,2	0,0	5881,8	4759,2	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{B,th}}$	%	60,6	66,1	68,7	76,3	76,9	74,7	70,9	98,5	87,8	60,1	30,6
Brennstoffnutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{B,el}}$	%	9,9	10,8	11,2	12,5	12,6	12,2	11,6	16,1	14,4	9,8	5,0
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{B,ges}}$	%	70,5	76,9	80,0	88,8	89,5	86,9	82,5	114,7	102,1	69,9	35,6
Anlagennutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{N,th}}$	%	80,9	89,9	94,3	189,6	191,2	104,7	73,5	66,0	64,4	81,6	85,9
Anlagennutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{N,el}}$	%	13,2	14,7	15,4	47,2	47,6	17,1	13,4	13,9	13,1	13,4	14,1
Anlagennutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{N,ges}}$	%	94,1	104,6	109,8	236,7	238,7	121,8	85,6	76,8	75,0	95,0	100,0
CO2-Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO}_2,\text{th}}$	t	8,1	7,2	6,8	0,0	0,0	6,0	9,0	10,2	10,5	1,3	0,0
CO2-Emissionen Strom	$m_{\text{CO}_2,\text{el}}$	t	2,7	2,7	2,7	7,8	7,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	19,4
CO2-Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO}_2,\text{spst}}$	t	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-2,5	-6,2	-5,6	0,0	0,0
Differenz			2,7	2,7	2,7	7,8	7,7	2,7	0,3	-3,5	-2,9	2,7	19,4
CO2-Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	t	10,8	9,9	9,5	7,8	7,7	8,7	9,3	6,7	7,5	4,0	19,4
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{CO}_2,\text{N}}$	%	0,0	8,6	12,3	28,0	28,6	19,6	14,2	37,8	30,2	62,8	-79,3
Spezifische CO2-Emissionen	$f_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	g/kWh	289,6	264,6	253,9	208,5	206,8	232,8	248,4	180,0	202,1	107,7	519,2







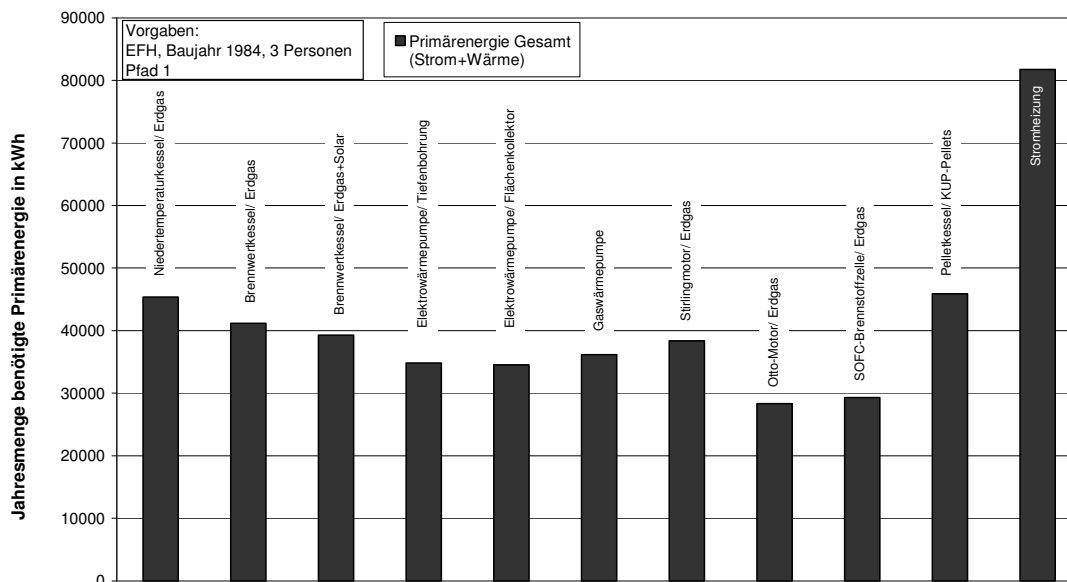
EFH 1984 Pfad 1

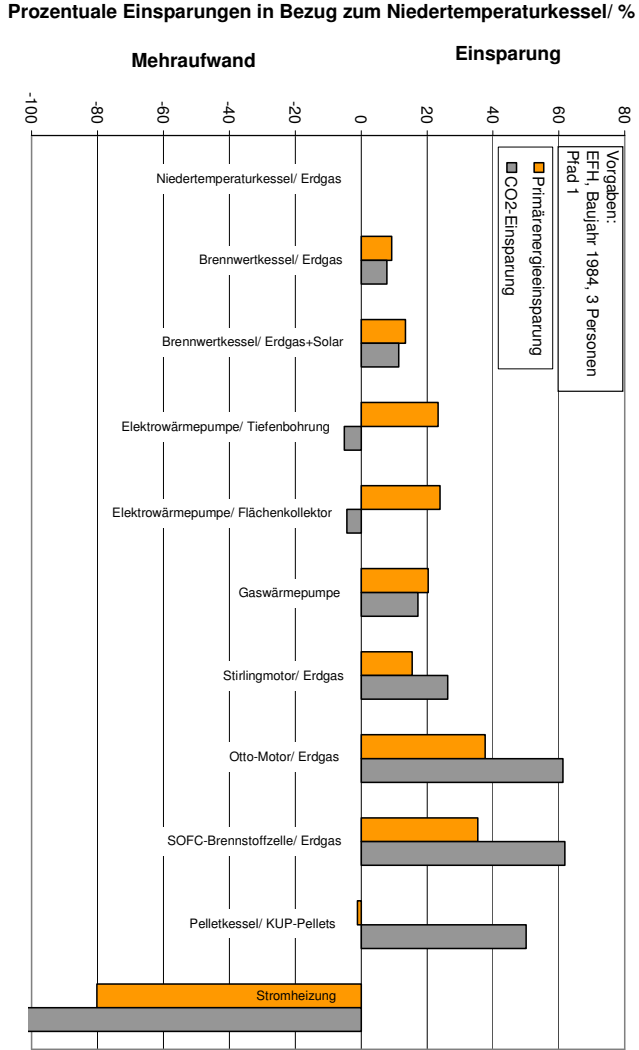
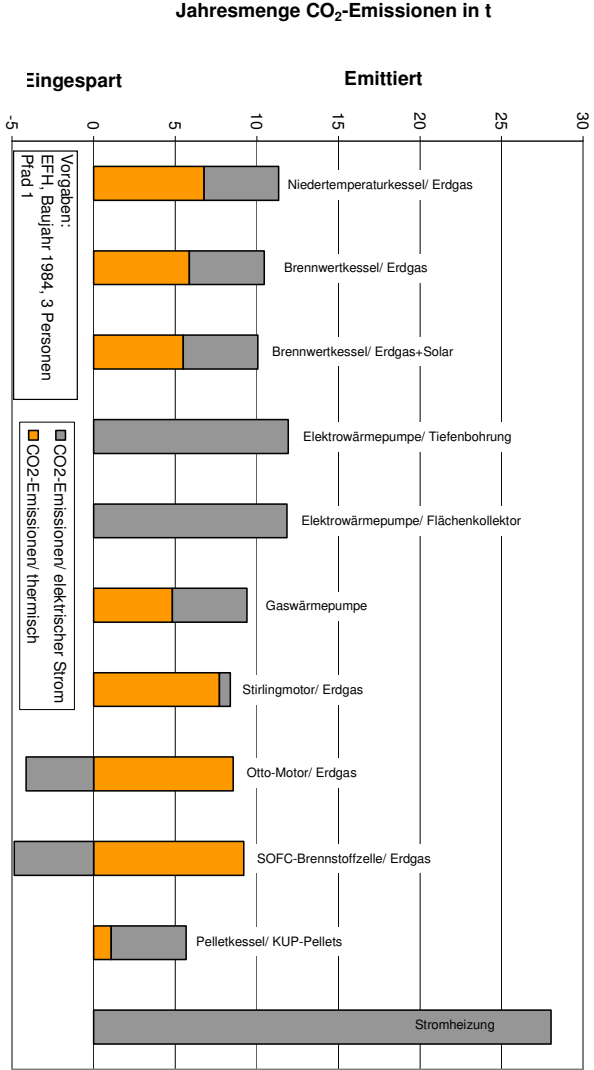
Auswertung Einfamilienhaus 1984; Pfad 1:

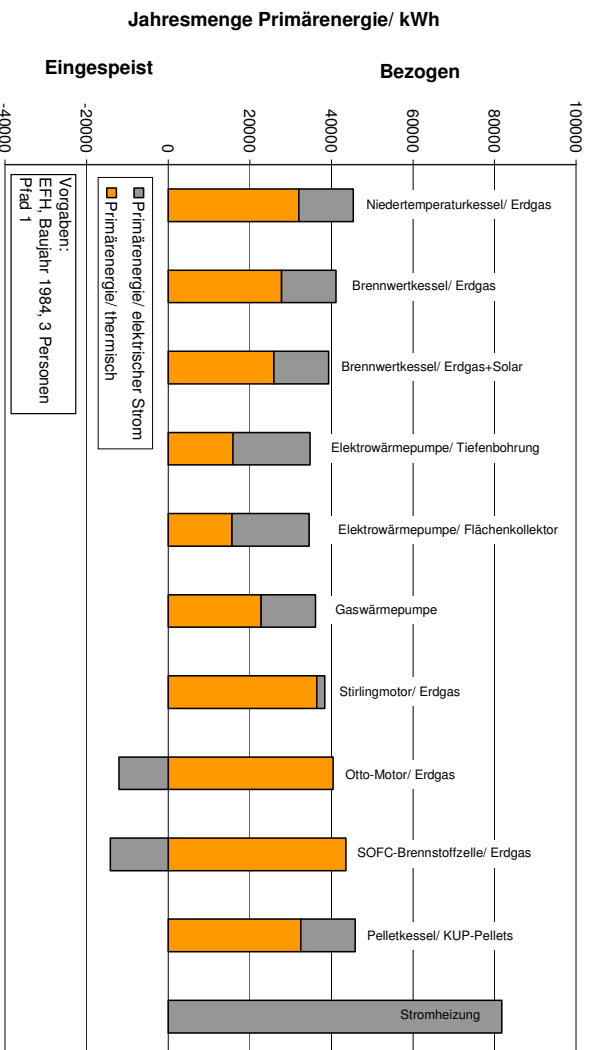
Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	24725
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWw,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	EFH 1984- P1-A1	EFH 1984- P1-A2	EFH 1984- P1-A3	EFH 1984- P1-A4	EFH 1984- P1-A5	EFH 1984- P1-A6	EFH 1984- P1-A7	EFH 1984- P1-A8	EFH 1984- P1-A9	EFH 1984- P1-A10	EFH 1984- P1-A11
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	$\eta_{\text{P,th}}$	%	90	90	90	39,33	39,33	90	90	90	90	88	100
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	$\eta_{\text{P,el}}$	%	39,33	39,33	39,33	39,33	39,33	39,33	39,33	39,33	39,33	39,33	39,33
Spezifische CO ₂ Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO}_2,\text{th}}$	g/kWh	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	38	0
Spezifische CO ₂ Emissionen Strom	$f_{\text{CO}_2,\text{el}}$	g/kWh	871,5	871,5	871,5	871,5	871,5	871,5	871,5	871,5	871,5	871,5	871,5
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{P,th}}$	kWh	32029	27807	25931	15883	15628	22795	36436	40413	43528	32526	0
Stromproduktion	$W_{\text{el,kWK}}$	kWh	0	0	0	0	0	0	4492	10002	10832	0	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{P,el,stm}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-11430,47	-25450,90	-27563,60	0,00	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{P,el}}$	kWh	13349	13349	13349	18917	18917	13349	13349	13349	13349	13349	81782
Differenz	$E_{\text{P,el}}$	kWh	13349	13349	13349	18917	18917	13349	1918	-12102	-14215	13349	81782
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{P,ges}}$	kWh	45378	41155	39279	34800	34544	36144	38354	28311	29313	45875	81782
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{P,NL}}$	%	0,0	9,3	13,4	23,3	23,9	20,3	15,5	37,6	35,4	-1,1	-80,2
Laufzeit Vollast	t_{vll}	h	50,5	139,4	115,6	1269,5	1396,9	625,4	8,7	1818,6	1361,3	50,5	0,0
Laufzeit Teillast	t_{teill}	h	4815,8	4812,7	4542,5	0,0	0,0	5565,5	4770,2	0,0	6186,3	4815,8	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{B,th}}$	%	59,3	65,4	68,5	77,3	77,9	74,5	70,2	95,1	91,8	58,7	32,9
Brennstoffnutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{B,el}}$	%	11,6	12,8	13,4	15,1	15,2	14,5	13,7	18,5	17,9	11,4	6,4
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{B,ges}}$	%	70,9	78,2	81,9	92,4	93,1	89,0	83,9	113,6	109,7	70,1	39,3
Anlagennutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{A,th}}$	%	79,0	88,9	94,1	180,6	182,0	104,5	70,7	64,7	60,6	79,5	83,7
Anlagennutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{A,el}}$	%	15,4	17,3	18,4	54,4	54,8	20,4	15,6	16,6	15,6	15,5	16,3
Anlagennutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{A,ges}}$	%	94,4	106,2	112,5	235,0	236,7	124,8	84,5	77,3	72,4	95,0	100,0
CO ₂ -Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO}_2,\text{th}}$	t	6,8	5,9	5,5	0,0	0,0	4,8	7,7	8,5	9,2	1,1	0,0
CO ₂ -Emissionen Strom	$m_{\text{CO}_2,\text{el}}$	t	4,6	4,6	4,6	11,9	11,8	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	28,0
CO ₂ -Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO}_2,\text{spst}}$	t	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-3,9	-8,7	-9,4	0,0	0,0
Differenz			4,6	4,6	4,6	11,9	11,8	4,6	0,7	-4,1	-4,9	4,6	28,0
CO ₂ -Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	t	11,3	10,5	10,1	11,9	11,8	9,4	8,4	4,4	4,3	5,7	28,0
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{CO}_2,\text{NL}}$	%	0,0	7,9	11,4	-5,1	-4,4	17,2	26,3	61,2	61,8	50,1	-147,0
Spezifische CO ₂ -Emissionen	$f_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	g/kWh	352,8	325,0	312,7	370,8	368,1	292,1	260,0	136,9	134,8	176,1	871,5







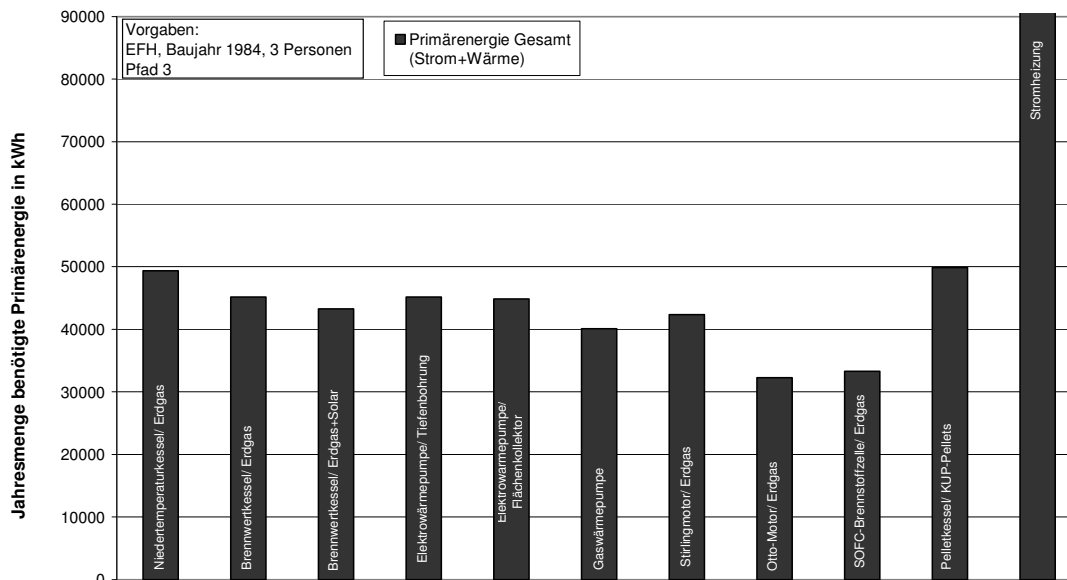
EFH 1984 Pfad 3

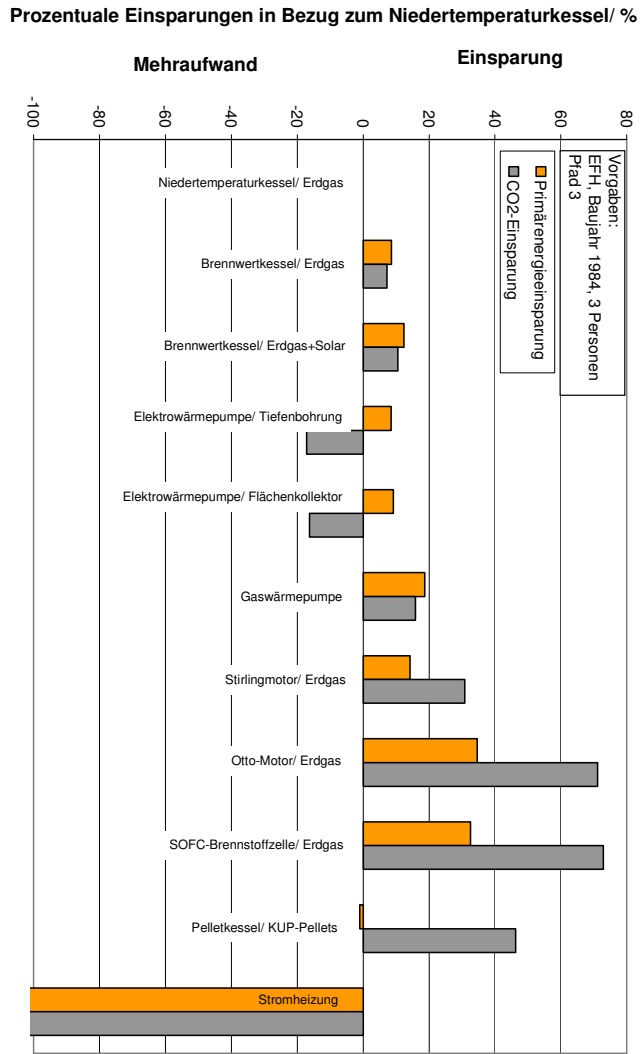
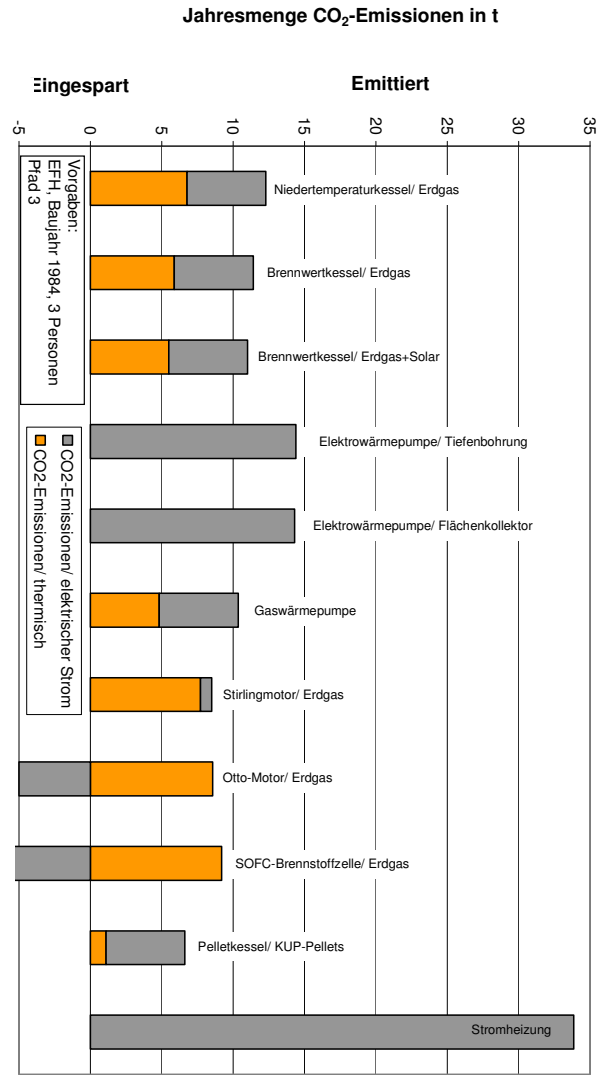
Auswertung Einfamilienhaus 1984; Pfad 3:

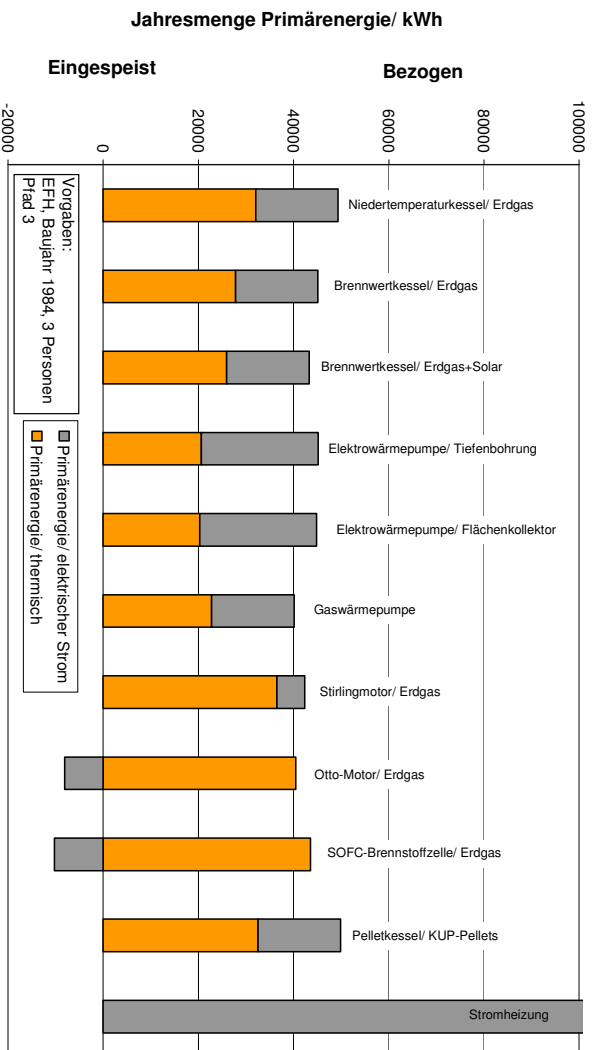
Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	24725
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWW,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	EFH 1984- P3-A1	EFH 1984- P3-A2	EFH 1984- P3-A3	EFH 1984- P3-A4	EFH 1984- P3-A5	EFH 1984- P3-A6	EFH 1984- P3-A7	EFH 1984- P3-A8	EFH 1984- P3-A9	EFH 1984- P3-A10	EFH 1984- P3-A11
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	$\eta_{p,th}$	%	90	90	90	39,33	39,33	90	90	90	90	88	100
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	$\eta_{p,el}$	%	30,3	30,3	30,3	30,3	30,3	30,3	30,3	30,3	30,3	30,3	30,3
Spezifische CO2 Emissionen Thermisch	$f_{CO_2,th}$	g/kWh	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	38	0
Spezifische CO2 Emissionen Strom	$f_{CO_2,el}$	g/kWh	1052,3	1052,3	1052,3	1052,3	1052,3	1052,3	1052,3	1052,3	1052,3	1052,3	1052,3
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{p,th}$	kWh	32029	27807	25931	20616	20285	22795	36436	40413	43528	32526	0
Stromproduktion	$W_{el,kWK}$	kWh	0	0	0	0	0	0	4492	10002	10832	0	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{p,el,stm}$	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-11430,47	-25450,90	-27563,60	0,00	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{p,el}$	kWh	17327	17327	17327	24554	24554	17327	17327	17327	17327	17327	106155
Differenz	$\Delta E_{p,el}$	kWh	17327	17327	17327	24554	24554	17327	5896	-8124	-10237	17327	106155
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{p,ges}$	kWh	49356	45133	43257	45171	44839	40122	42333	32289	33291	49853	106155
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{p,Nt}$	%	0,0	8,6	12,4	8,5	9,2	18,7	14,2	34,6	32,5	-1,0	-115,1
Laufzeit Vollast	t_{vol}	h	50,5	139,4	115,6	1269,5	1396,9	625,4	8,7	1818,6	1361,3	50,5	0,0
Laufzeit Teillast	t_{teil}	h	4815,8	4812,7	4542,5	0,0	0,0	5565,5	4770,2	0,0	6186,3	4815,8	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	$\eta_{b,th}$	%	54,5	59,6	62,2	59,6	60,0	67,1	63,6	83,4	80,8	54,0	25,4
Brennstoffnutzungsgrad Strom	$\eta_{b,el}$	%	10,6	11,6	12,1	11,6	11,7	13,1	12,4	16,3	15,8	10,5	4,9
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	$\eta_{b,ges}$	%	65,2	71,3	74,4	71,2	71,7	80,2	76,0	99,6	96,6	64,5	30,3
Anlagennutzungsgrad Thermisch	$\eta_{a,th}$	%	79,0	88,9	94,1	159,0	160,4	104,5	70,7	64,7	60,6	79,5	83,7
Anlagennutzungsgrad Strom	$\eta_{a,el}$	%	15,4	17,3	18,4	47,9	48,3	20,4	15,2	15,5	14,6	15,5	16,3
Anlagennutzungsgrad Gesamt	$\eta_{a,ges}$	%	94,4	106,2	112,5	206,9	208,6	124,8	84,5	77,3	72,4	95,0	100,0
CO2-Emissionen Thermisch	$m_{CO_2,th}$	t	6,8	5,9	5,5	0,0	0,0	4,8	7,7	8,5	9,2	1,1	0,0
CO2-Emissionen Strom	$m_{CO_2,el}$	t	5,5	5,5	5,5	14,4	14,3	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	33,8
CO2-Einsparung Strom KWK	$m_{CO_2,spst}$	t	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-4,7	-10,5	-11,4	0,0	0,0
Differenz			5,5	5,5	5,5	14,4	14,3	5,5	0,8	-5,0	-5,9	5,5	33,8
CO2-Emissionen Gesamt	$m_{CO_2,ges}$	t	12,3	11,4	11,0	14,4	14,3	10,3	8,5	3,5	3,3	6,6	33,8
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{CO_2,Nt}$	%	0,0	7,3	10,5	-17,1	-16,3	15,9	30,9	71,2	72,9	46,2	-175,3
Spezifische CO2-Emissionen	$f_{CO_2,ges}$	g/kWh	382,3	354,5	342,2	447,8	444,5	321,6	264,3	110,1	103,5	205,6	1052,3







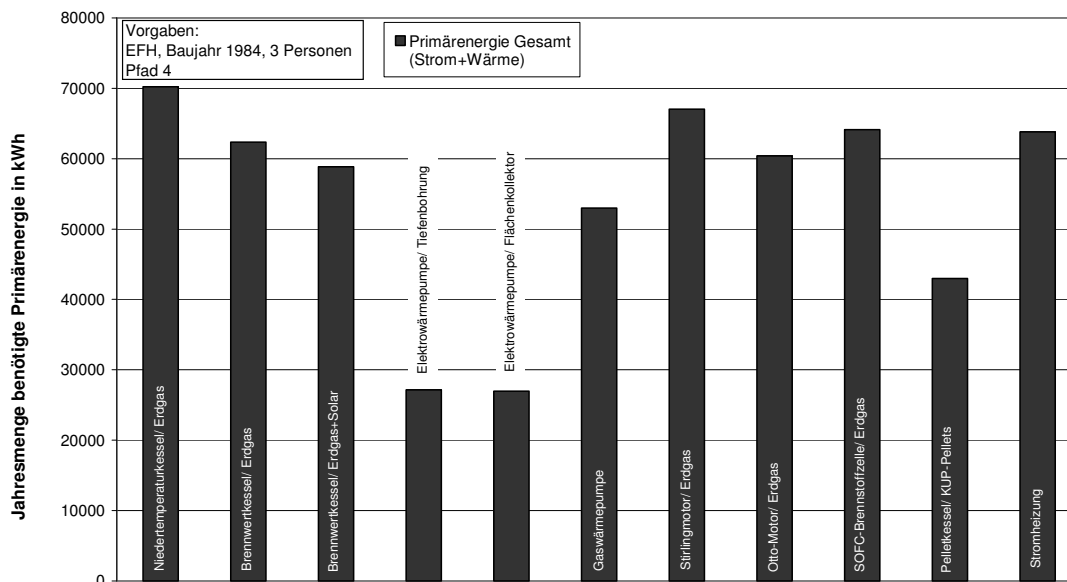
EFH 1984 Pfad 4

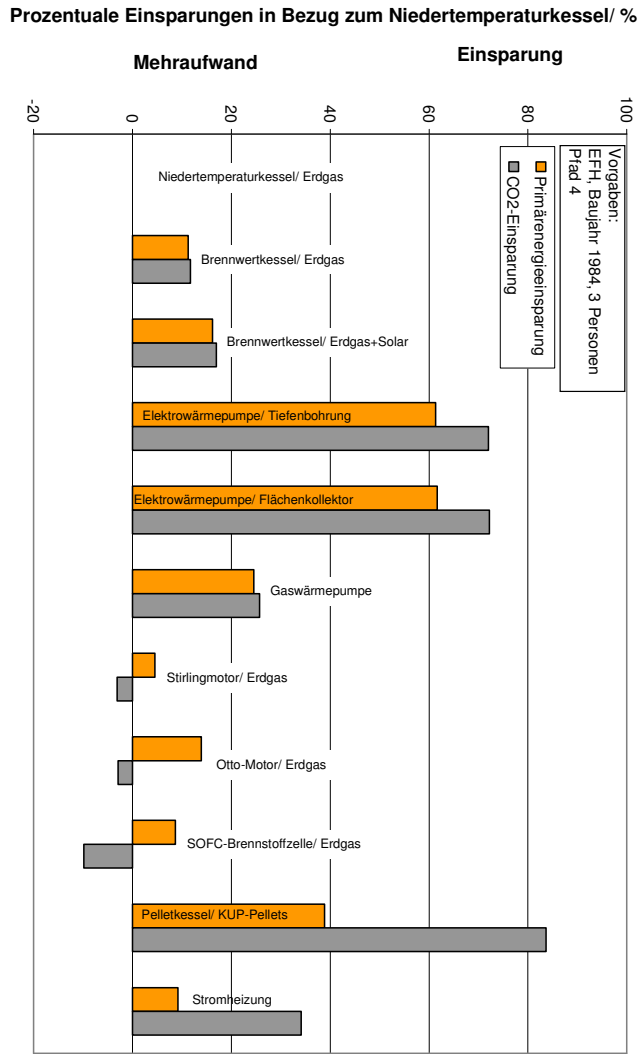
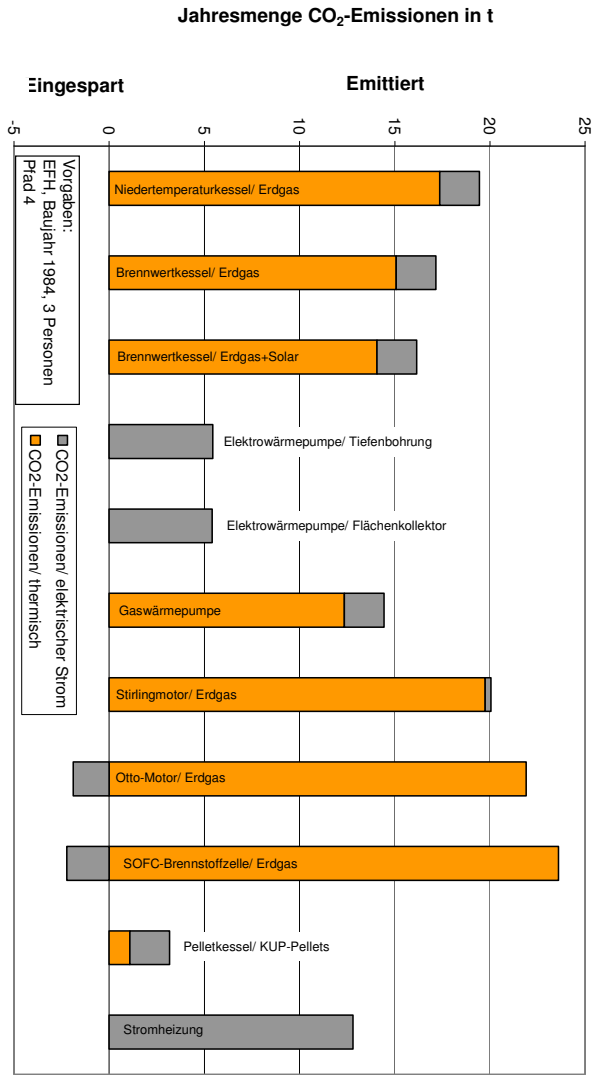
Auswertung Einfamilienhaus 1984; Pfad 4:

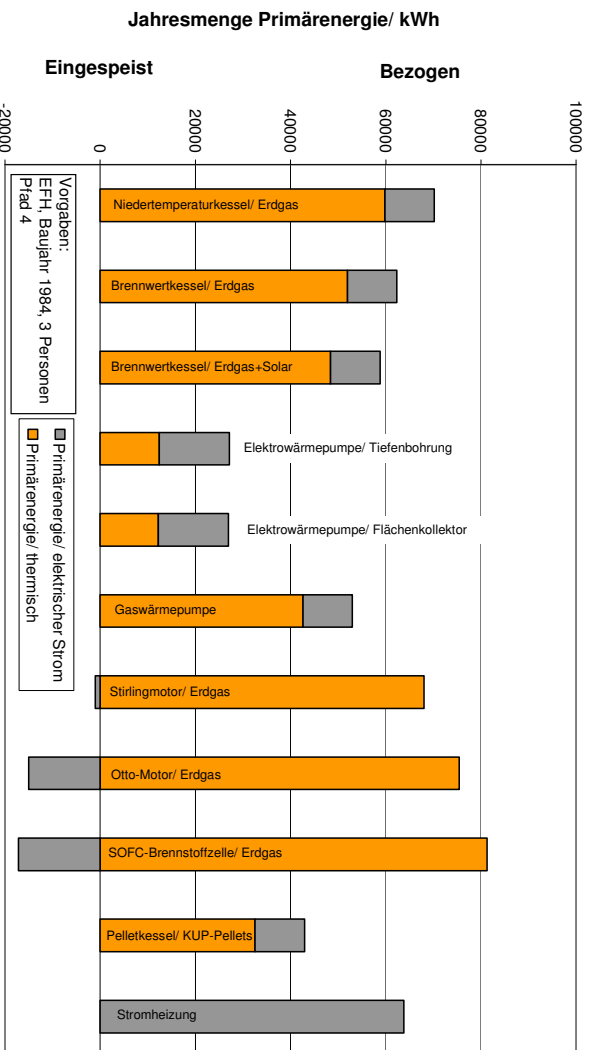
Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	24725
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWW,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	EFH 1984- P4-A1	EFH 1984- P4-A2	EFH 1984- P4-A3	EFH 1984- P4-A4	EFH 1984- P4-A5	EFH 1984- P4-A6	EFH 1984- P4-A7	EFH 1984- P4-A8	EFH 1984- P4-A9	EFH 1984- P4-A10	EFH 1984- P4-A11
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	$\xi_{\text{p,th}}$	%	48,2	48,2	48,2	39,33	39,33	48,2	48,2	48,2	48,2	88	100
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	$\xi_{\text{p,el}}$	%	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445
Spezifische CO2 Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO}_2,\text{th}}$	g/kWh	602,2	602,2	602,2	602,2	602,2	602,2	602,2	602,2	602,2	38	0
Spezifische CO2 Emissionen Strom	$f_{\text{CO}_2,\text{el}}$	g/kWh	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{p,th}}$	kWh	59806	51921	48418	12383	12184	42563	68035	75460	81277	32526	0
Stromproduktion	$W_{\text{el,kWK}}$	kWh	0	0	0	0	0	0	4492	10002	10832	0	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{p,el,stm}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-11430,47	-25450,90	-27563,60	0,00	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{p,el}}$	kWh	10407	10407	10407	14749	14749	10407	10407	10407	10407	10407	63763
Differenz	$\Delta E_{\text{p,el}}$	kWh	10407	10407	10407	14749	14749	10407	-1023	-15044	-17156	10407	63763
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{p,ges}}$	kWh	70213	62328	58826	27132	26933	52971	67012	60416	64121	42933	63763
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{p,NT}}$	%	0,0	11,2	16,2	61,4	61,6	24,6	4,6	14,0	8,7	38,9	9,2
Laufzeit Vollast	t_{vll}	h	50,5	139,4	115,6	1269,5	1396,9	625,4	8,7	1818,6	1361,3	50,5	0,0
Laufzeit Teillast	t_{teill}	h	4815,8	4812,7	4542,5	0,0	0,0	5565,5	4770,2	0,0	6186,3	4815,8	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	$\xi_{\text{b,th}}$	%	38,3	43,2	45,8	99,2	99,9	50,8	40,2	44,5	42,0	62,7	42,2
Brennstoffnutzungsgrad Strom	$\xi_{\text{b,el}}$	%	7,5	8,4	8,9	19,3	19,5	9,9	7,8	8,7	8,2	12,2	8,2
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	$\xi_{\text{b,ges}}$	%	45,8	51,6	54,7	118,6	119,4	60,7	48,0	53,2	50,2	74,9	50,4
Anlagennutzungsgrad Thermisch	$\xi_{\text{a,th}}$	%	79,0	88,9	94,1	200,8	202,1	104,5	70,7	64,7	60,6	79,5	83,7
Anlagennutzungsgrad Strom	$\xi_{\text{a,el}}$	%	15,4	17,3	18,4	60,4	60,8	20,4	16,3	18,2	17,2	15,5	16,3
Anlagennutzungsgrad Gesamt	$\xi_{\text{a,ges}}$	%	94,4	106,2	112,5	261,3	263,0	124,8	84,5	77,3	72,4	95,0	100,0
CO2-Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO}_2,\text{th}}$	t	17,4	15,1	14,1	0,0	0,0	12,4	19,7	21,9	23,6	1,1	0,0
CO2-Emissionen Strom	$m_{\text{CO}_2,\text{el}}$	t	2,1	2,1	2,1	5,4	5,4	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	12,8
CO2-Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO}_2,\text{spst}}$	t	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,8	-4,0	-4,3	0,0	0,0
Differenz			2,1	2,1	2,1	5,4	5,4	2,1	0,3	-1,9	-2,2	2,1	12,8
CO2-Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	t	19,4	17,2	16,1	5,4	5,4	14,4	20,0	20,0	21,4	3,2	12,8
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{CO}_2,\text{NT}}$	%	0,0	11,8	17,0	72,0	72,2	25,7	-3,1	-2,9	-9,9	83,7	34,2
Spezifische CO2-Emissionen	$f_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	g/kWh	604,7	533,5	501,9	169,4	168,2	449,1	623,3	622,1	664,4	98,8	398,1







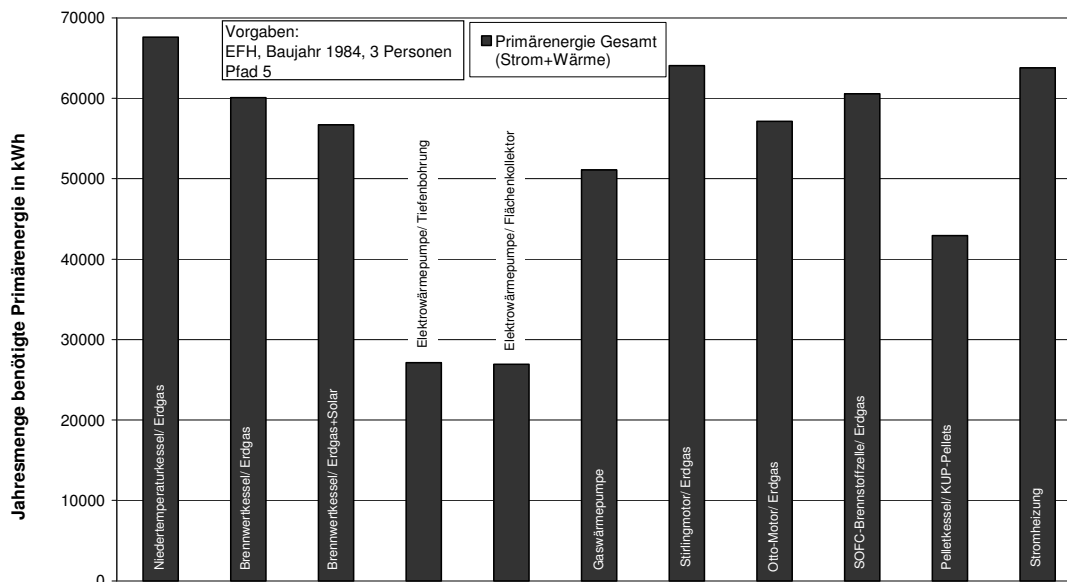
EFH 1984 Pfad 5

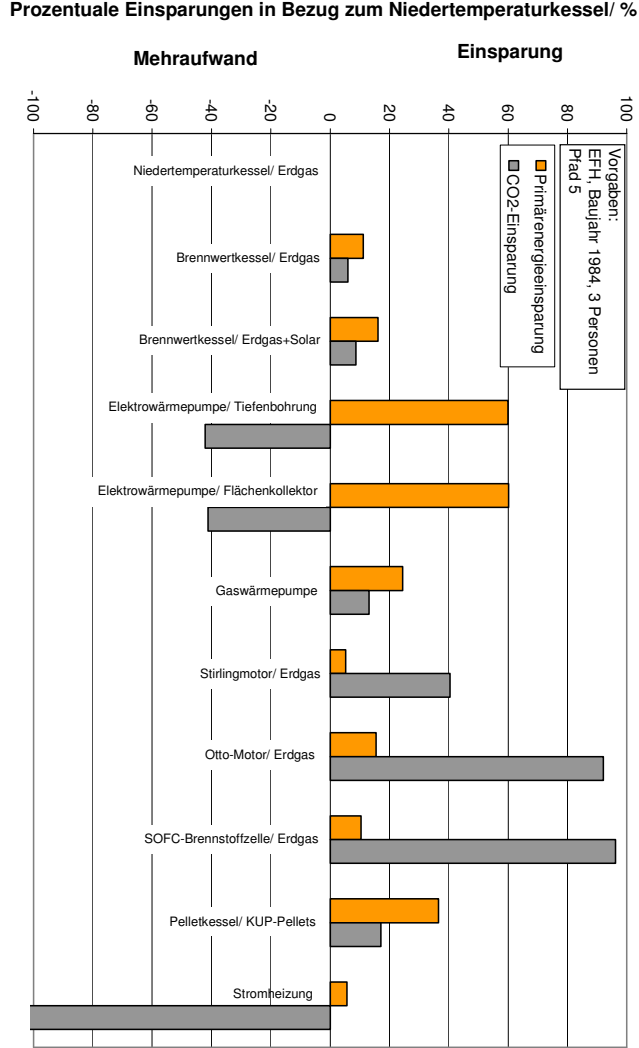
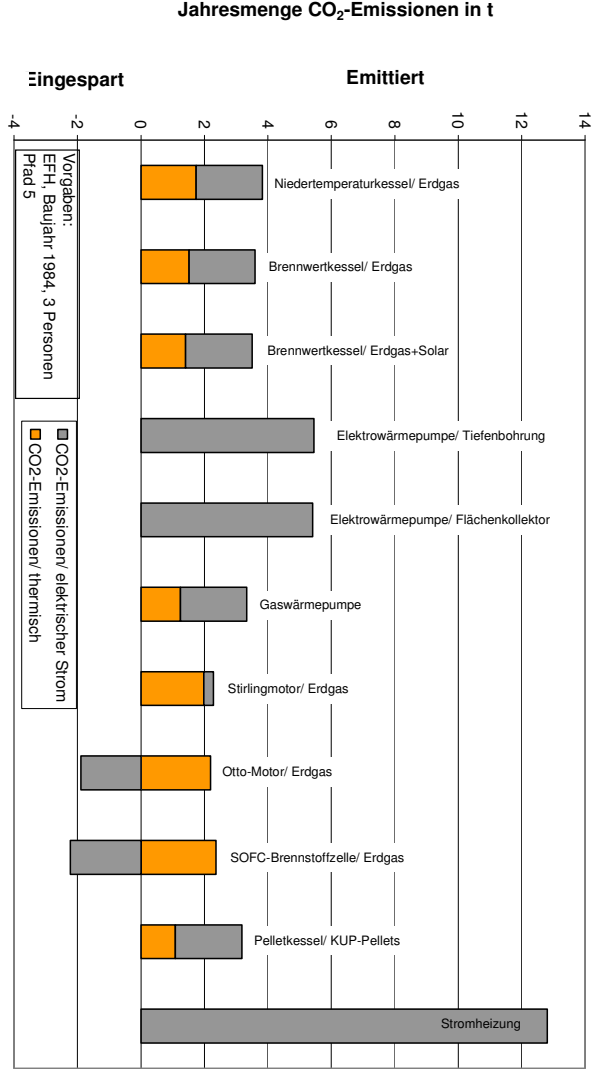
Auswertung Einfamilienhaus 1984; Pfad 5:

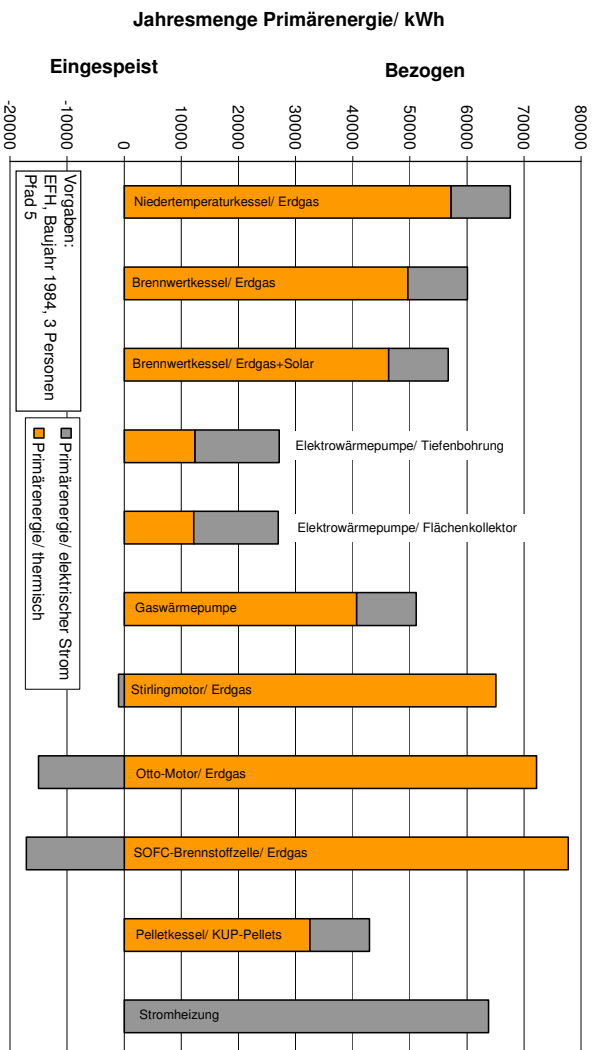
Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	24725
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWW,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	EFH 1984- P5-A1	EFH 1984- P5-A2	EFH 1984- P5-A3	EFH 1984- P5-A4	EFH 1984- P5-A5	EFH 1984- P5-A6	EFH 1984- P5-A7	EFH 1984- P5-A8	EFH 1984- P5-A9	EFH 1984- P5-A10	EFH 1984- P5-A11
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	$\eta_{\text{P,th}}$	%	50,4	50,4	50,4	39,33	39,33	50,4	50,4	50,4	50,4	88	100
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	$\eta_{\text{P,el}}$	%	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445
Spezifische CO2 Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO}_2,\text{th}}$	g/kWh	60,4	60,4	60,4	60,4	60,4	60,4	60,4	60,4	60,4	38	0
Spezifische CO2 Emissionen Strom	$f_{\text{CO}_2,\text{el}}$	g/kWh	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{P,th}}$	kWh	57195	49655	46305	12383	12184	40705	65065	72166	77729	32526	0
Stromproduktion	$W_{\text{el,kWK}}$	kWh	0	0	0	0	0	0	4492	10002	10832	0	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{P,el,stm}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-11430,47	-25450,90	-27563,60	0,00	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{P,el}}$	kWh	10407	10407	10407	14749	14749	10407	10407	10407	10407	10407	63763
Differenz	$\Delta E_{\text{P,el}}$	kWh	10407	10407	10407	14749	14749	10407	-1023	-15044	-17156	10407	63763
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{P,ges}}$	kWh	67603	60062	56712	27132	26933	51113	64042	57122	60573	42933	63763
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{P,NL}}$	%	0,0	11,2	16,1	59,9	60,2	24,4	5,3	15,5	10,4	36,5	5,7
Laufzeit Vollast	t_{vol}	h	50,5	139,4	115,6	1269,5	1396,9	625,4	8,7	1818,6	1361,3	50,5	0,0
Laufzeit Teillast	t_{teil}	h	4815,8	4812,7	4542,5	0,0	0,0	5565,5	4770,2	0,0	6186,3	4815,8	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{B,th}}$	%	39,8	44,8	47,5	99,2	99,9	52,7	42,0	47,1	44,4	62,7	42,2
Brennstoffnutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{B,el}}$	%	7,8	8,7	9,3	19,3	19,5	10,3	8,2	9,2	8,7	12,2	8,2
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{B,ges}}$	%	47,6	53,6	56,7	118,6	119,4	62,9	50,2	56,3	53,1	74,9	50,4
Anlagennutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{N,th}}$	%	79,0	88,9	94,1	200,8	202,1	104,5	70,7	64,7	60,6	79,5	83,7
Anlagennutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{N,el}}$	%	15,4	17,3	18,4	60,4	60,8	20,4	16,3	18,2	17,2	15,5	16,3
Anlagennutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{N,ges}}$	%	94,4	106,2	112,5	261,3	263,0	124,8	84,5	77,3	72,4	95,0	100,0
CO2-Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO}_2,\text{th}}$	t	1,7	1,5	1,4	0,0	0,0	1,2	2,0	2,2	2,4	1,1	0,0
CO2-Emissionen Strom	$m_{\text{CO}_2,\text{el}}$	t	2,1	2,1	2,1	5,4	5,4	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	12,8
CO2-Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO}_2,\text{spst}}$	t	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,8	-4,0	-4,3	0,0	0,0
Differenz			2,1	2,1	2,1	5,4	5,4	2,1	0,3	-1,9	-2,2	2,1	12,8
CO2-Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	t	3,8	3,6	3,5	5,4	5,4	3,3	2,3	0,3	0,1	3,2	12,8
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{CO}_2,\text{NL}}$	%	0,0	6,0	8,7	-42,2	-41,2	13,1	40,4	92,0	96,2	17,1	-234,2
Spezifische CO2-Emissionen	$f_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	g/kWh	119,1	112,0	108,8	169,4	168,2	103,5	71,0	9,5	4,5	98,8	398,1







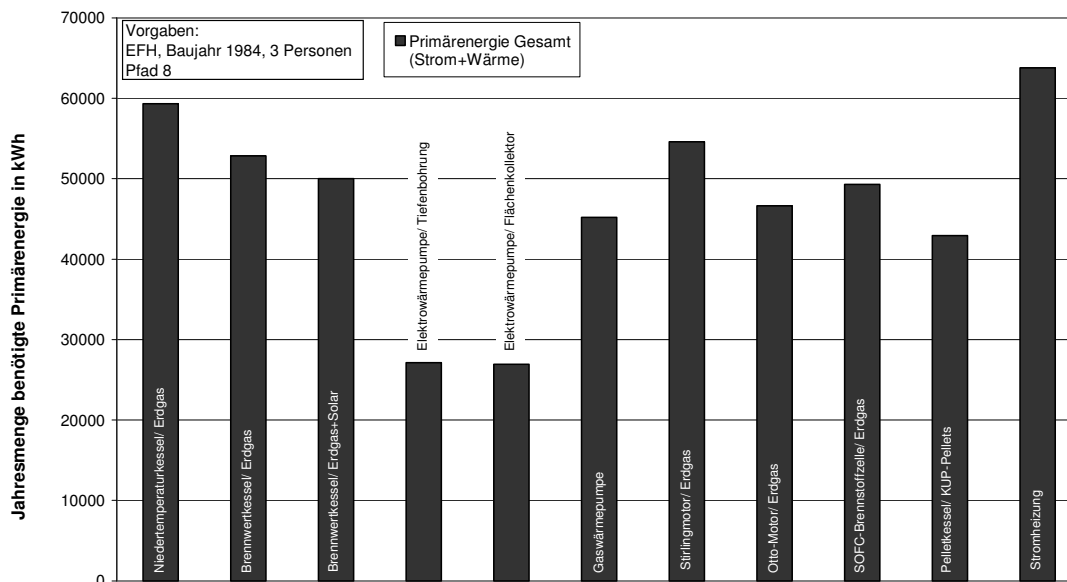
EFH 1984 Pfad 8

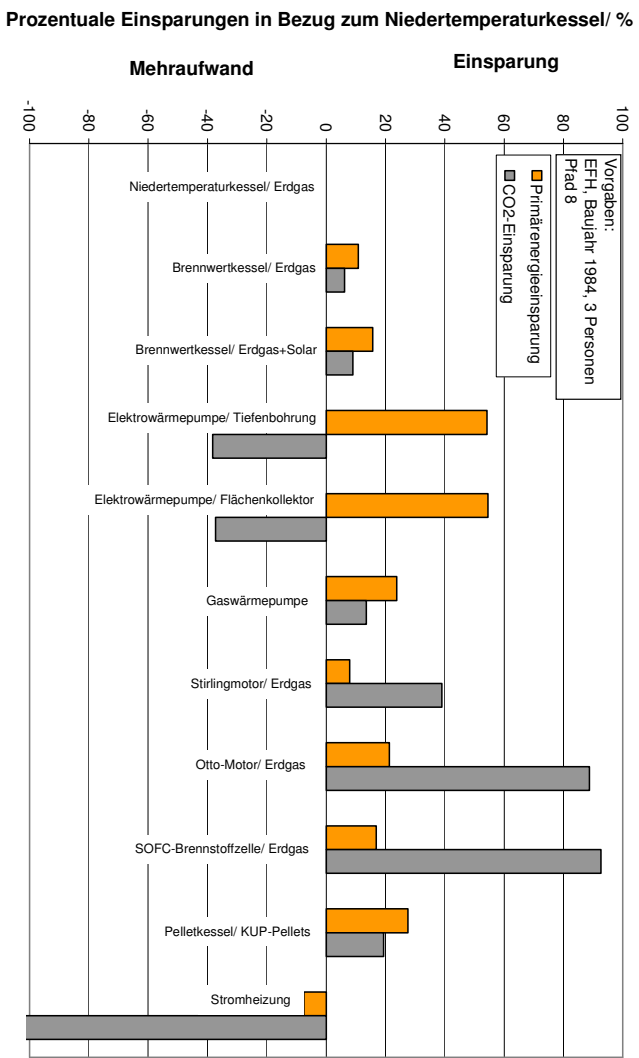
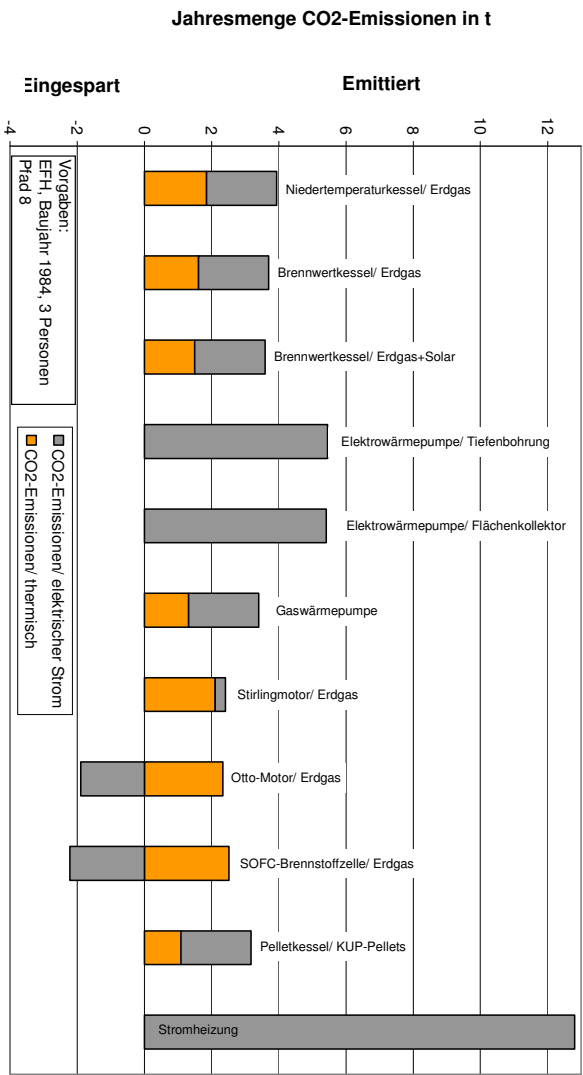
Auswertung Einfamilienhaus 1984; Pfad 8:

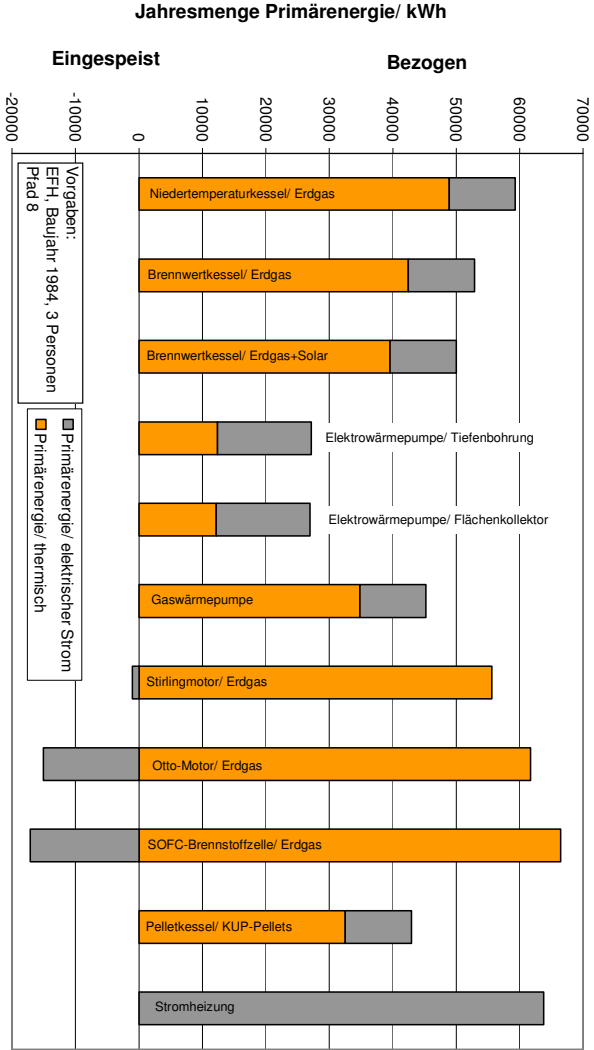
Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	24725
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWw,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	EFH 1984- P8-A1	EFH 1984- P8-A2	EFH 1984- P8-A3	EFH 1984- P8-A4	EFH 1984- P8-A5	EFH 1984- P8-A6	EFH 1984- P8-A7	EFH 1984- P8-A8	EFH 1984- P8-A9	EFH 1984- P8-A10	EFH 1984- P8-A11
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	$\eta_{p,th}$	%	58,96	58,96	58,96	39,33	39,33	58,96	58,96	58,96	58,96	88	100
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	$\eta_{p,el}$	%	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445
Spezifische CO2 Emissionen Thermisch	$f_{CO_2,th}$	g/kWh	64,2	64,2	64,2	64,2	64,2	64,2	64,2	64,2	64,2	38	0
Spezifische CO2 Emissionen Strom	$f_{CO_2,el}$	g/kWh	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{p,th}$	kWh	48891	42446	39582	12383	12184	34796	55619	61689	66444	32526	0
Stromproduktion	$W_{el,kWK}$	kWh	0	0	0	0	0	0	4492	10002	10832	0	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{p,el,stm}$	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-11430,47	-25450,90	-27563,60	0,00	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{p,el}$	kWh	10407	10407	10407	14749	14749	10407	10407	10407	10407	10407	63763
Differenz	$\Delta E_{p,el}$	kWh	10407	10407	10407	14749	14749	10407	-1023	-15044	-17156	10407	63763
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{p,ges}$	kWh	59299	52853	49990	27132	26933	45203	54595	46645	49288	42933	63763
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{p,Nt}$	%	0,0	10,9	15,7	54,2	54,6	23,8	7,9	21,3	16,9	27,6	-7,5
Laufzeit Vollast	t_{vol}	h	50,5	139,4	115,6	1269,5	1396,9	625,4	8,7	1818,6	1361,3	50,5	0,0
Laufzeit Teillast	t_{teil}	h	4815,8	4812,7	4542,5	0,0	0,0	5565,5	4770,2	0,0	6186,3	4815,8	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	$\eta_{br,th}$	%	45,4	50,9	53,8	99,2	99,9	59,5	49,3	57,7	54,6	62,7	42,2
Brennstoffnutzungsgrad Strom	$\eta_{br,el}$	%	8,9	9,9	10,5	19,3	19,5	11,6	9,6	11,3	10,7	12,2	8,2
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	$\eta_{br,ges}$	%	54,2	60,9	64,3	118,6	119,4	71,2	58,9	69,0	65,3	74,9	50,4
Anlagennutzungsgrad Thermisch	$\eta_{an,th}$	%	79,0	88,9	94,1	200,8	202,1	104,5	70,7	64,7	60,6	79,5	83,7
Anlagennutzungsgrad Strom	$\eta_{an,el}$	%	15,4	17,3	18,4	60,4	60,8	20,4	16,3	18,2	17,2	15,5	16,3
Anlagennutzungsgrad Gesamt	$\eta_{an,ges}$	%	94,4	106,2	112,5	261,3	263,0	124,8	84,5	77,3	72,4	95,0	100,0
CO2-Emissionen Thermisch	$m_{CO_2,th}$	t	1,9	1,6	1,5	0,0	0,0	1,3	2,1	2,3	2,5	1,1	0,0
CO2-Emissionen Strom	$m_{CO_2,el}$	t	2,1	2,1	2,1	5,4	5,4	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	12,8
CO2-Einsparung Strom KWK	$m_{CO_2,stm}$	t	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,8	-4,0	-4,3	0,0	0,0
Differenz			2,1	2,1	2,1	5,4	5,4	2,1	0,3	-1,9	-2,2	2,1	12,8
CO2-Emissionen Gesamt	$m_{CO_2,ges}$	t	3,9	3,7	3,6	5,4	5,4	3,4	2,4	0,4	0,3	3,2	12,8
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{CO_2,Nt}$	%	0,0	6,2	8,9	-38,3	-37,3	13,5	38,9	88,8	92,6	19,4	-224,9
Spezifische CO2-Emissionen	$f_{CO_2,ges}$	g/kWh	122,5	114,9	111,6	169,4	168,2	105,9	74,8	13,8	9,1	98,8	398,1







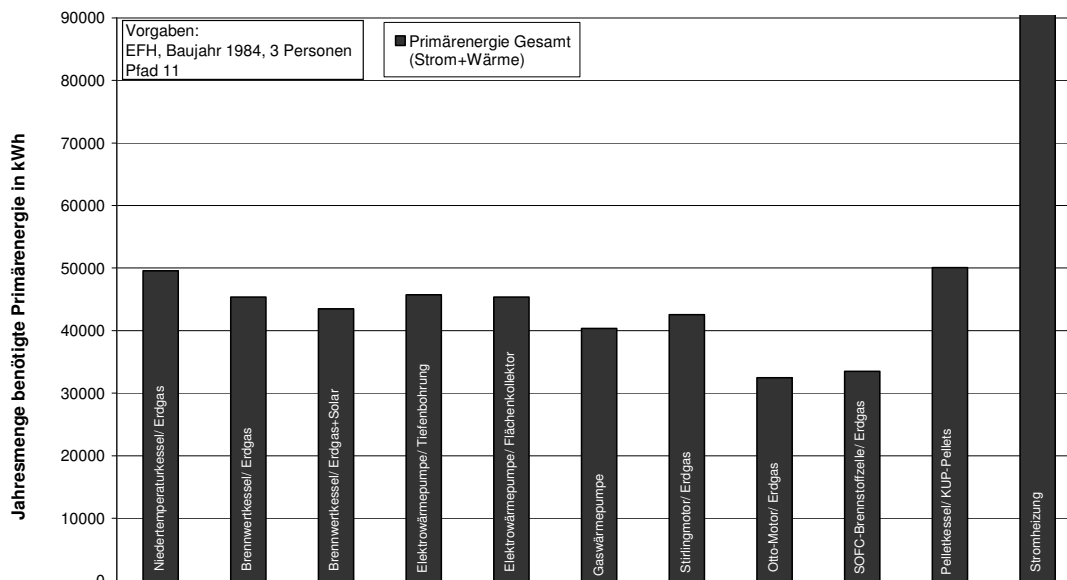
EFH 1984 Pfad 11

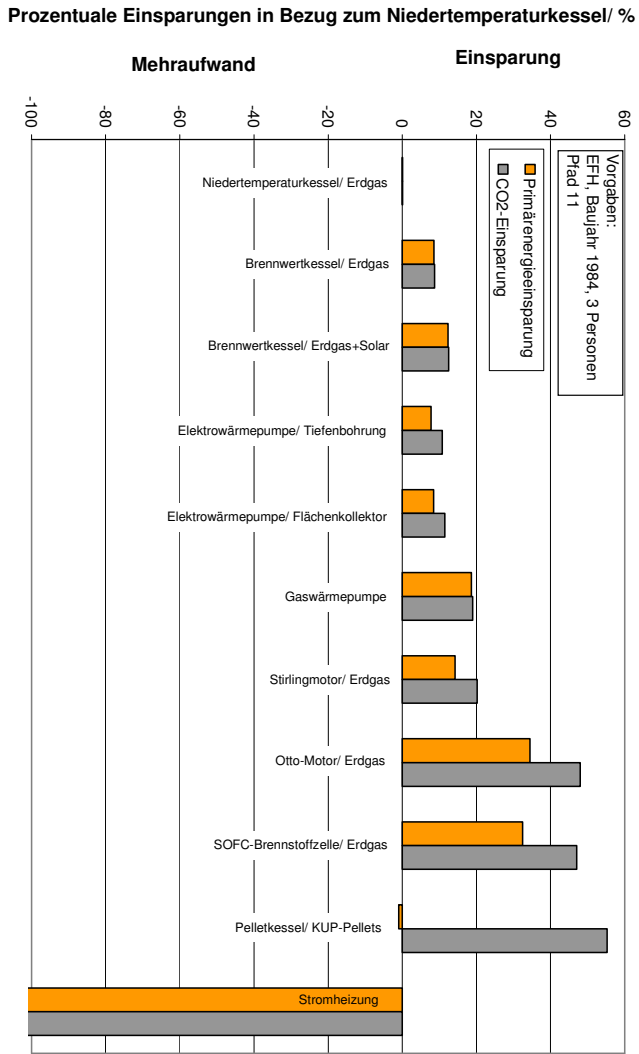
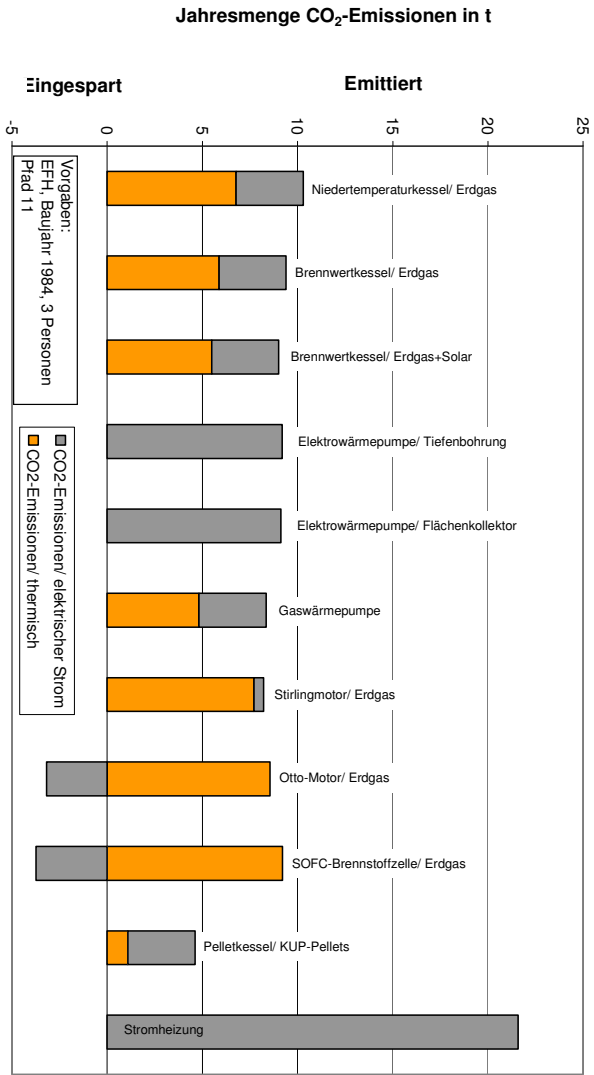
Auswertung Einfamilienhaus 1984; Pfad 11:

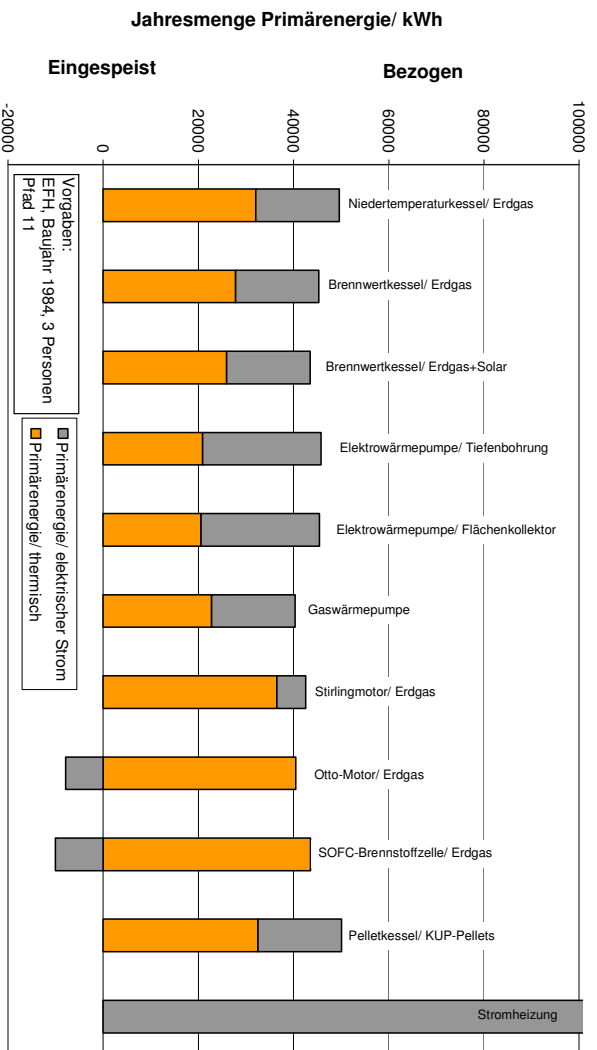
Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	24725
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWw,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	EFH 1984- P11-A1	EFH 1984- P11-A2	EFH 1984- P11-A3	EFH 1984- P11-A4	EFH 1984- P11-A5	EFH 1984- P11-A6	EFH 1984- P11-A7	EFH 1984- P11-A8	EFH 1984- P11-A9	EFH 1984- P11-A10	EFH 1984- P11-A11
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	$\eta_{\text{p,th}}$	%	90	90	90	39,33	39,33	90	90	90	90	88	100
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	$\eta_{\text{p,el}}$	%	29,93	29,93	29,93	29,93	29,93	29,93	29,93	29,93	29,93	29,93	29,93
Spezifische CO2 Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO}_2,\text{th}}$	g/kWh	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	38	0
Spezifische CO2 Emissionen Strom	$f_{\text{CO}_2,\text{el}}$	g/kWh	671	671	671	671	671	671	671	671	671	671	671
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{p,th}}$	kWh	32029	27807	25931	20871	20536	22795	36436	40413	43528	32526	0
Stromproduktion	$W_{\text{el,kWK}}$	kWh	0	0	0	0	0	0	4492	10002	10832	0	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{p,el,stm}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-11430,47	-25450,90	-27563,60	0,00	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{p,el}}$	kWh	17541	17541	17541	24858	24858	17541	17541	17541	17541	17541	107468
Differenz	$\Delta E_{\text{p,el}}$	kWh	17541	17541	17541	24858	24858	17541	6110	-7910	-10023	17541	107468
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{p,ges}}$	kWh	49570	45348	43472	45729	45394	40336	42547	32503	33506	50067	107468
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{p,Nt}}$	%	0,0	8,5	12,3	7,7	8,4	18,6	14,2	34,4	32,4	-1,0	-116,8
Laufzeit Vollast	t_{vll}	h	50,5	139,4	115,6	1269,5	1396,9	625,4	8,7	1818,6	1361,3	50,5	0,0
Laufzeit Teillast	t_{teill}	h	4815,8	4812,7	4542,5	0,0	0,0	5565,5	4770,2	0,0	6186,3	4815,8	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{b,th}}$	%	54,3	59,4	61,9	58,9	59,3	66,7	63,3	82,8	80,3	53,8	25,0
Brennstoffnutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{b,el}}$	%	10,6	11,6	12,1	11,5	11,6	13,0	12,3	16,2	15,7	10,5	4,9
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{b,ges}}$	%	64,9	70,9	74,0	70,3	70,9	79,7	75,6	99,0	96,0	64,2	29,9
Anlagennutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{a,th}}$	%	79,0	88,9	94,1	158,0	159,3	104,5	70,7	64,7	60,6	79,5	83,7
Anlagennutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{a,el}}$	%	15,4	17,3	18,4	47,5	47,9	20,4	15,2	15,4	14,5	15,5	16,3
Anlagennutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{a,ges}}$	%	94,4	106,2	112,5	205,5	207,3	124,8	84,5	77,3	72,4	95,0	100,0
CO2-Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO}_2,\text{th}}$	t	6,8	5,9	5,5	0,0	0,0	4,8	7,7	8,5	9,2	1,1	0,0
CO2-Emissionen Strom	$m_{\text{CO}_2,\text{el}}$	t	3,5	3,5	3,5	9,2	9,1	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	21,6
CO2-Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO}_2,\text{spst}}$	t	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-3,0	-6,7	-7,3	0,0	0,0
Differenz			3,5	3,5	3,5	9,2	9,1	3,5	0,5	-3,2	-3,7	3,5	21,6
CO2-Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	t	10,3	9,4	9,0	9,2	9,1	8,3	8,2	5,4	5,5	4,6	21,6
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{CO}_2,\text{Nt}}$	%	0,0	8,7	12,5	10,8	11,4	19,0	20,2	48,0	47,0	55,2	-109,7
Spezifische CO2-Emissionen	$f_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	g/kWh	320,0	292,3	280,0	285,5	283,4	259,3	255,3	166,5	169,6	143,3	671,0







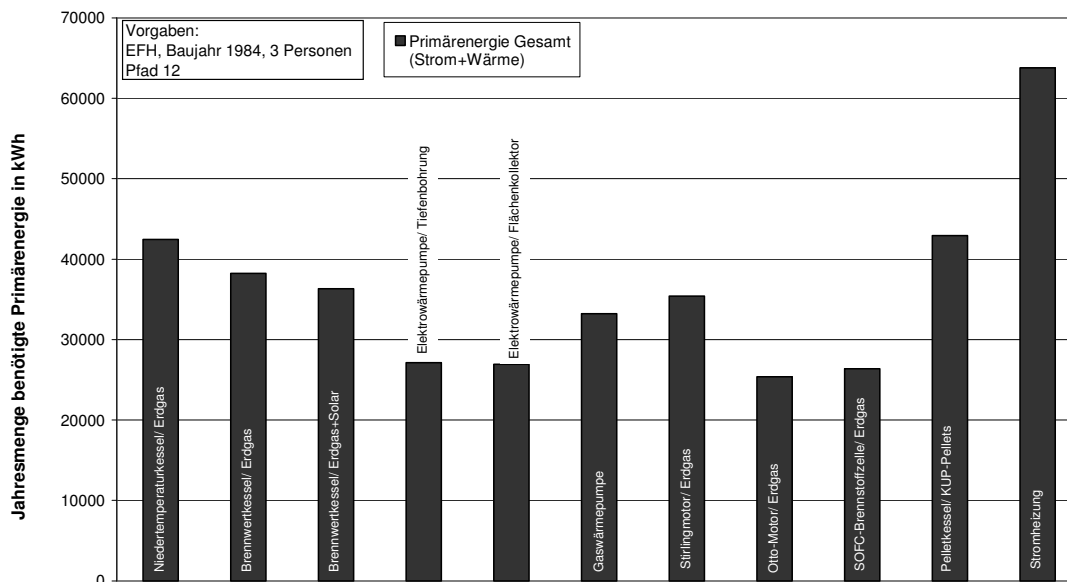
EFH 1984 Pfad 12

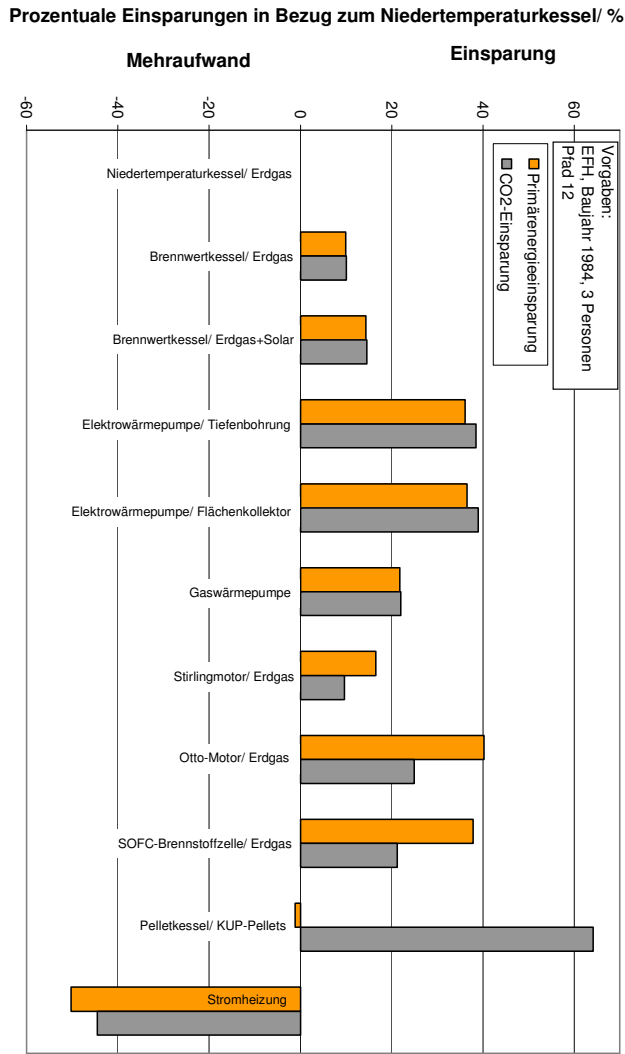
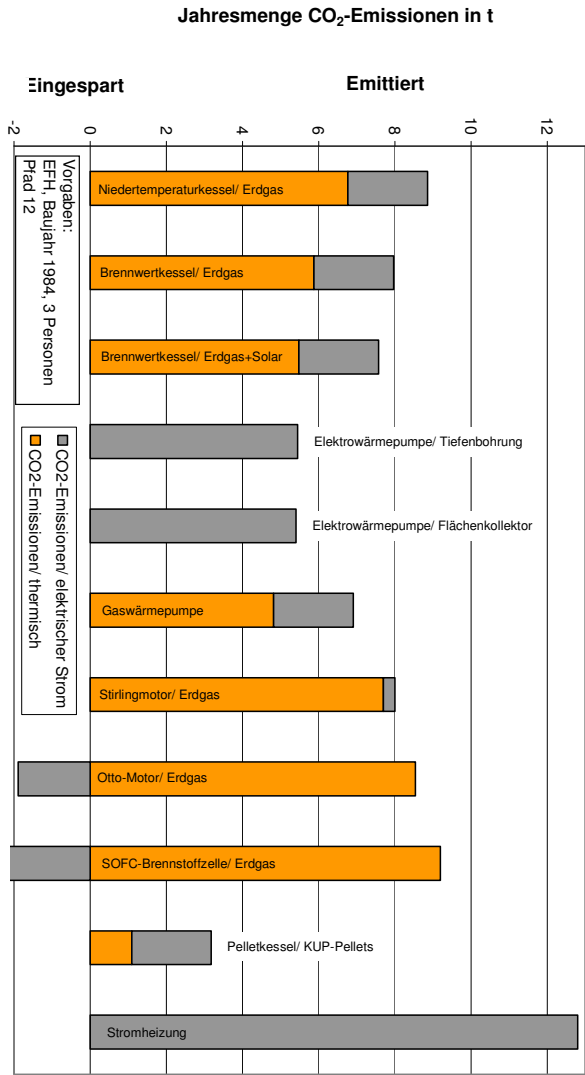
Auswertung Einfamilienhaus 1984; Pfad 12:

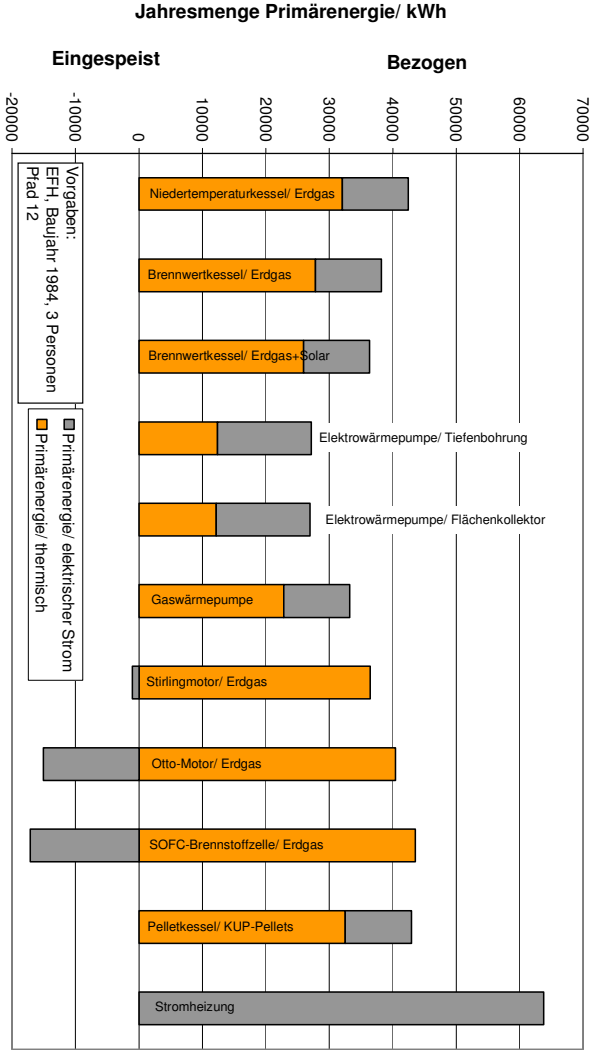
Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	24725
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWW,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	EFH 1984- P12-A1	EFH 1984- P12-A2	EFH 1984- P12-A3	EFH 1984- P12-A4	EFH 1984- P12-A5	EFH 1984- P12-A6	EFH 1984- P12-A7	EFH 1984- P12-A8	EFH 1984- P12-A9	EFH 1984- P12-A10	EFH 1984- P12-A11
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	$\eta_{\text{p,th}}$	%	90	90	90	39,33	39,33	90	90	90	90	88	100
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	$\eta_{\text{p,el}}$	%	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445
Spezifische CO2 Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO}_2,\text{th}}$	g/kWh	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	38	0
Spezifische CO2 Emissionen Strom	$f_{\text{CO}_2,\text{el}}$	g/kWh	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{p,th}}$	kWh	32029	27807	25931	12383	12184	22795	36436	40413	43528	32526	0
Stromproduktion	$W_{\text{el,kWK}}$	kWh	0	0	0	0	0	0	4492	10002	10832	0	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{p,el,stm}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-11430,47	-25450,90	-27563,60	0,00	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{p,el}}$	kWh	10407	10407	10407	14749	14749	10407	10407	10407	10407	10407	63763
Differenz	$\Delta E_{\text{p,el}}$	kWh	10407	10407	10407	14749	14749	10407	-1023	-15044	-17156	10407	63763
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{p,ges}}$	kWh	42437	38214	36338	27132	26933	33202	35413	25369	26372	42933	63763
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{p,NT}}$	%	0,0	10,0	14,4	36,1	36,5	21,8	16,6	40,2	37,9	-1,2	-50,3
Laufzeit Vollast	t_{vll}	h	50,5	139,4	115,6	1269,5	1396,9	625,4	8,7	1818,6	1361,3	50,5	0,0
Laufzeit Teillast	t_{teill}	h	4815,8	4812,7	4542,5	0,0	0,0	5565,5	4770,2	0,0	6186,3	4815,8	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{br,th}}$	%	63,4	70,4	74,1	99,2	99,9	81,1	76,0	106,1	102,1	62,7	42,2
Brennstoffnutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{br,el}}$	%	12,4	13,7	14,4	19,3	19,5	15,8	14,8	20,7	19,9	12,2	8,2
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{br,ges}}$	%	75,8	84,2	88,5	118,6	119,4	96,9	90,8	126,8	122,0	74,9	50,4
Anlagennutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{an,th}}$	%	79,0	88,9	94,1	200,8	202,1	104,5	70,7	64,7	60,6	79,5	83,7
Anlagennutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{an,el}}$	%	15,4	17,3	18,4	60,4	60,8	20,4	16,3	18,2	17,2	15,5	16,3
Anlagennutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{an,ges}}$	%	94,4	106,2	112,5	261,3	263,0	124,8	84,5	77,3	72,4	95,0	100,0
CO2-Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO}_2,\text{th}}$	t	6,8	5,9	5,5	0,0	0,0	4,8	7,7	8,5	9,2	1,1	0,0
CO2-Emissionen Strom	$m_{\text{CO}_2,\text{el}}$	t	2,1	2,1	2,1	5,4	5,4	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	12,8
CO2-Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO}_2,\text{spst}}$	t	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,8	-4,0	-4,3	0,0	0,0
Differenz			2,1	2,1	2,1	5,4	5,4	2,1	0,3	-1,9	-2,2	2,1	12,8
CO2-Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	t	8,9	8,0	7,6	5,4	5,4	6,9	8,0	6,7	7,0	3,2	12,8
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{CO}_2,\text{NT}}$	%	0,0	10,1	14,5	38,5	39,0	22,0	9,7	24,9	21,2	64,1	-44,5
Spezifische CO2-Emissionen	$f_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	g/kWh	275,5	247,7	235,4	169,4	168,2	214,8	248,9	206,8	217,0	98,8	398,1







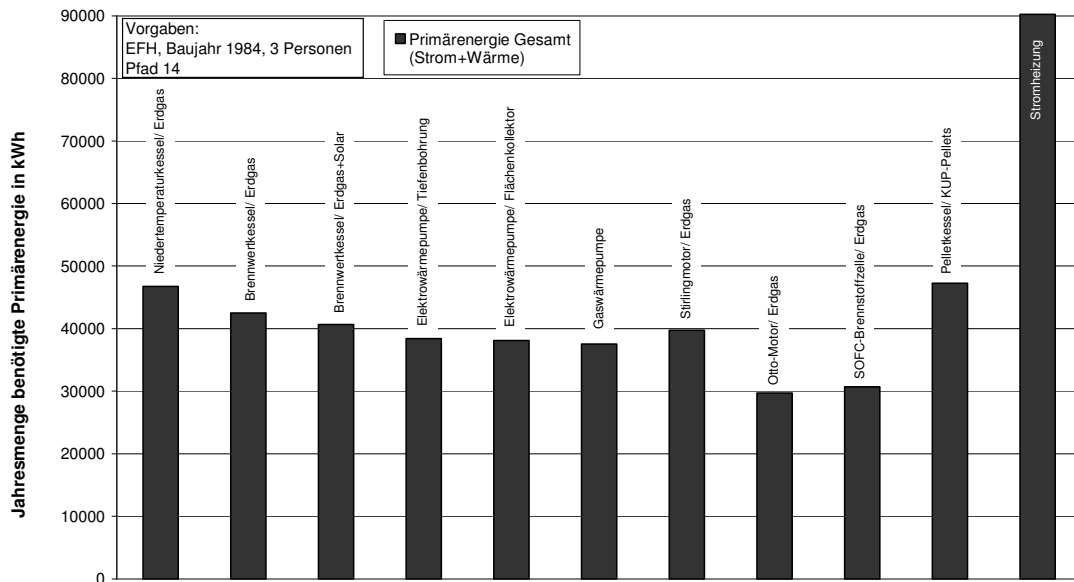
EFH 1984 Pfad 14

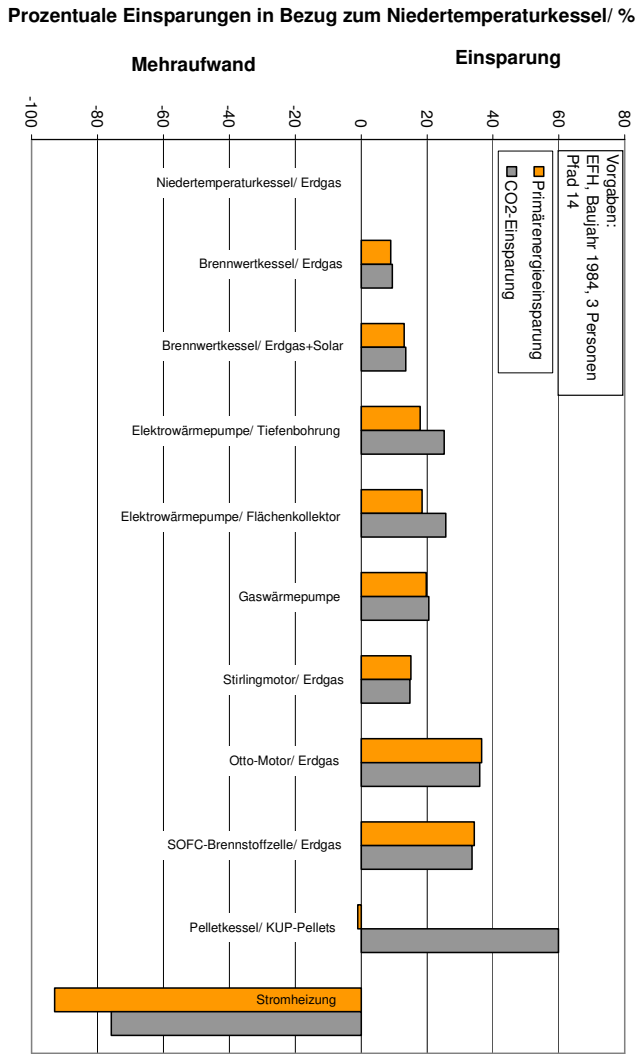
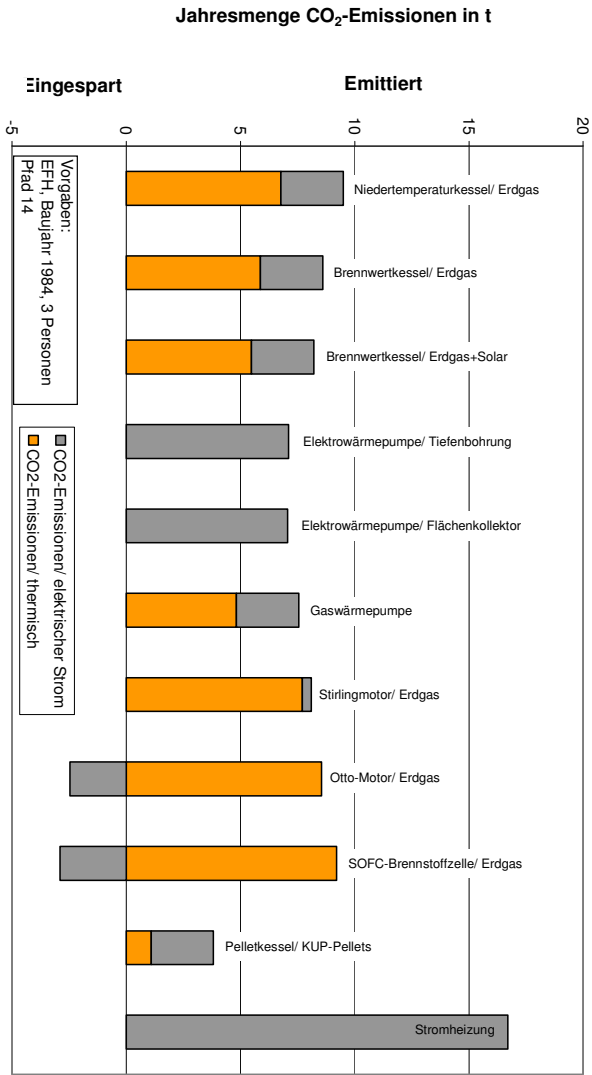
Auswertung Einfamilienhaus 1984; Pfad 14:

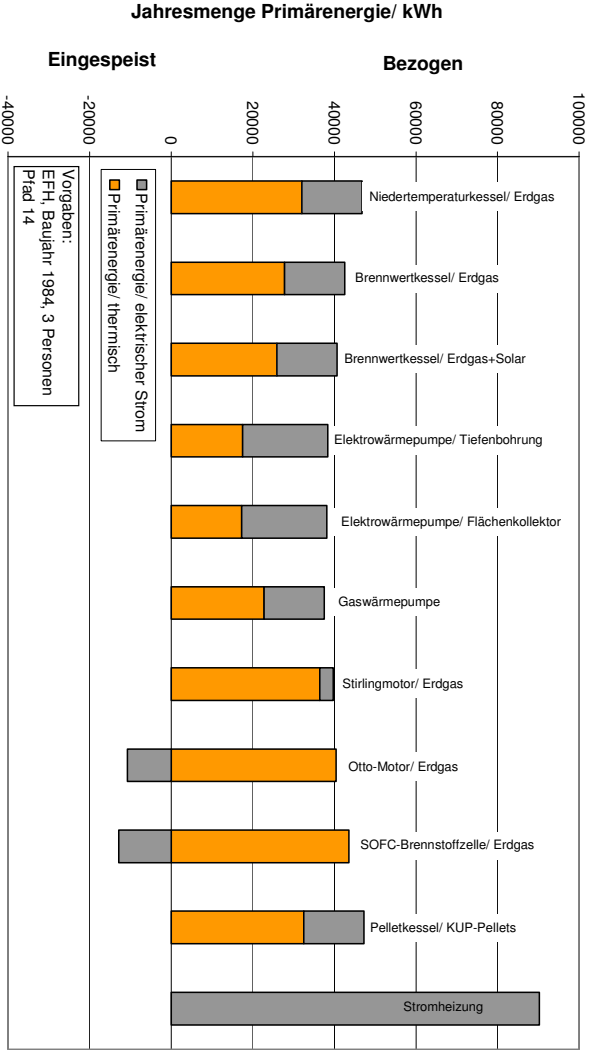
Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	24725
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWw,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	EFH 1984- P14-A1	EFH 1984- P14-A2	EFH 1984- P14-A3	EFH 1984- P14-A4	EFH 1984- P14-A5	EFH 1984- P14-A6	EFH 1984- P14-A7	EFH 1984- P14-A8	EFH 1984- P14-A9	EFH 1984- P14-A10	EFH 1984- P14-A11
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	$\zeta_{\text{p,th}}$	%	90	90	90	39,33	39,33	90	90	90	90	88	100
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	$\zeta_{\text{p,el}}$	%	35,65	35,65	35,65	35,65	35,65	35,65	35,65	35,65	35,65	35,653	35,65
Spezifische CO2 Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO}_2,\text{th}}$	g/kWh	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	38	0
Spezifische CO2 Emissionen Strom	$f_{\text{CO}_2,\text{el}}$	g/kWh	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{p,th}}$	kWh	32029	27807	25931	17522	17241	22795	36436	40413	43528	32526	0
Stromproduktion	$W_{\text{el,kWK}}$	kWh	0	0	0	0	0	0	4492	10002	10832	0	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{p,el,stm}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-11430,47	-25450,90	-27563,60	0,00	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{p,el}}$	kWh	14727	14727	14727	20870	20870	14727	14727	14727	14727	14725	90224
Differenz	$\Delta E_{\text{p,el}}$	kWh	14727	14727	14727	20870	20870	14727	3296	-10724	-12837	14725	90224
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{p,ges}}$	kWh	46756	42533	40657	38392	38110	37522	39732	29689	30691	47251	90224
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{p,NT}}$	%	0,0	9,0	13,0	17,9	18,5	19,8	15,0	36,5	34,4	-1,1	-93,0
Laufzeit Vollast	t_{vst}	h	50,5	139,4	115,6	1269,5	1396,9	625,4	8,7	1818,6	1361,3	50,5	0,0
Laufzeit Teillast	t_{te}	h	4815,8	4812,7	4542,5	0,0	0,0	5565,5	4770,2	0,0	6186,3	4815,8	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	$\zeta_{\text{b,th}}$	%	57,6	63,3	66,2	70,1	70,6	71,7	67,7	90,7	87,7	57,0	29,8
Brennstoffnutzungsgrad Strom	$\zeta_{\text{b,el}}$	%	11,2	12,3	12,9	13,7	13,8	14,0	13,2	17,7	17,1	11,1	5,8
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	$\zeta_{\text{b,ges}}$	%	68,8	75,6	79,1	83,8	84,4	85,7	81,0	108,3	104,8	68,1	35,6
Anlagennutzungsgrad Thermisch	$\zeta_{\text{a,th}}$	%	79,0	88,9	94,1	172,5	173,9	104,5	70,7	64,7	60,6	79,5	83,7
Anlagennutzungsgrad Strom	$\zeta_{\text{a,el}}$	%	15,4	17,3	18,4	51,9	52,3	20,4	15,5	16,1	15,2	15,5	16,3
Anlagennutzungsgrad Gesamt	$\zeta_{\text{a,ges}}$	%	94,4	106,2	112,5	224,4	226,2	124,8	84,5	77,3	72,4	95,0	100,0
CO2-Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO}_2,\text{th}}$	t	6,8	5,9	5,5	0,0	0,0	4,8	7,7	8,5	9,2	1,1	0,0
CO2-Emissionen Strom	$m_{\text{CO}_2,\text{el}}$	t	2,7	2,7	2,7	7,1	7,1	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	16,7
CO2-Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO}_2,\text{spst}}$	t	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-2,3	-5,2	-5,6	0,0	0,0
Differenz			2,7	2,7	2,7	7,1	7,1	2,7	0,4	-2,5	-2,9	2,7	16,7
CO2-Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	t	9,5	8,6	8,2	7,1	7,1	7,5	8,1	6,1	6,3	3,8	16,7
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{CO}_2,\text{NT}}$	%	0,0	9,4	13,6	25,2	25,7	20,6	14,7	36,0	33,6	59,8	-75,8
Spezifische CO2-Emissionen	$f_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	g/kWh	295,3	267,5	255,2	220,9	219,3	234,6	251,7	188,9	196,0	118,6	519,2







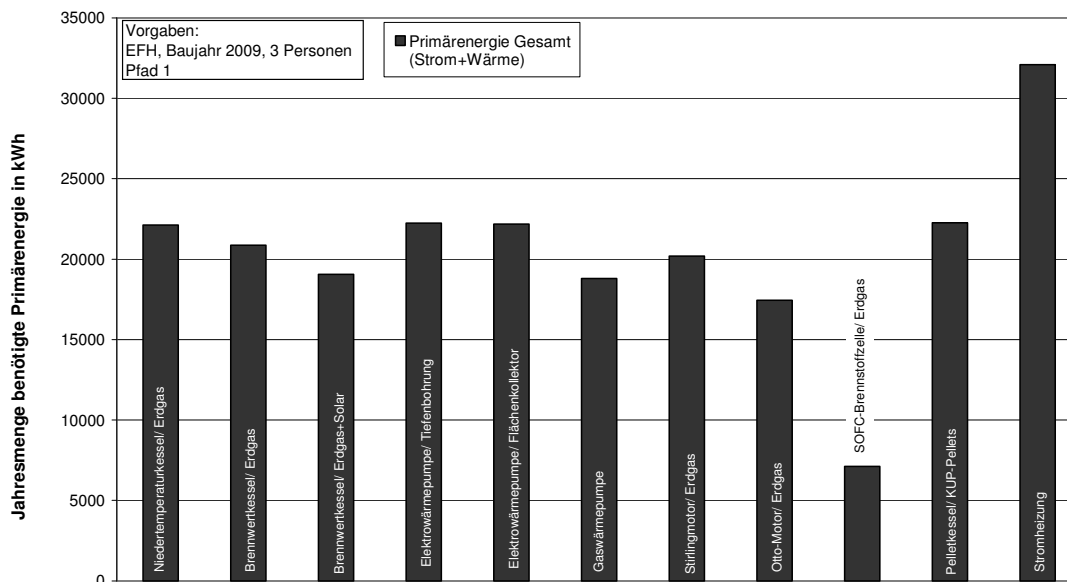
EFH 2009 Pfad 1

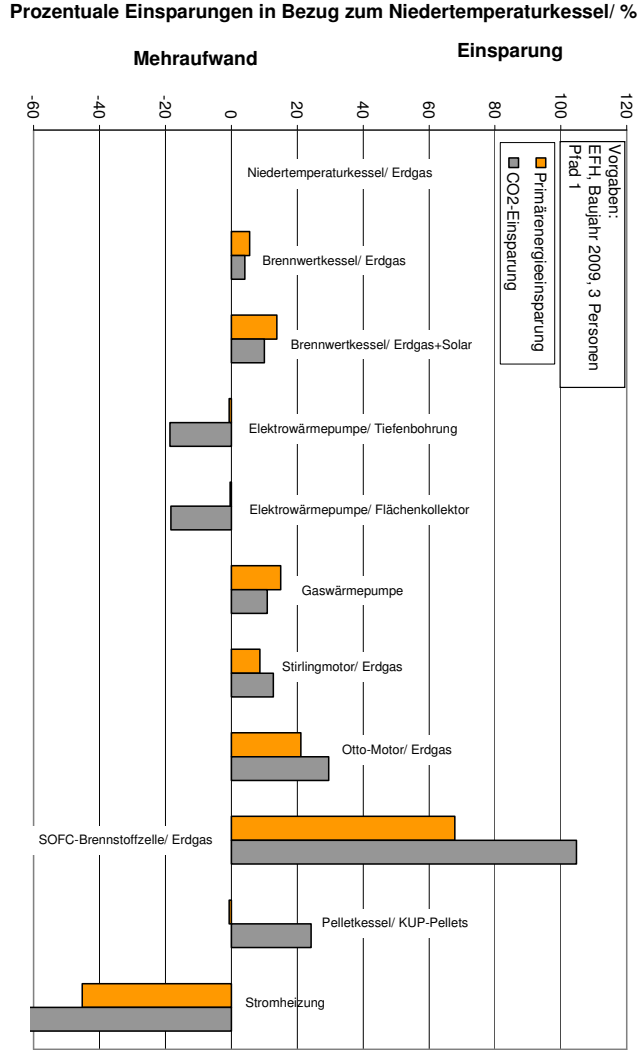
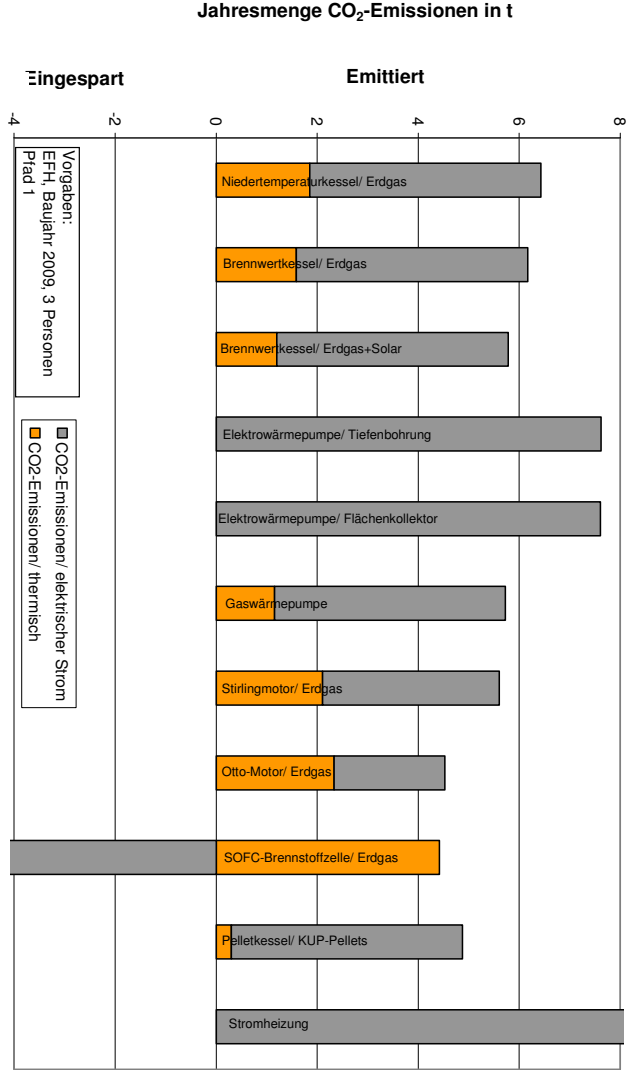
Auswertung Einfamilienhaus 2009; Pfad 1:

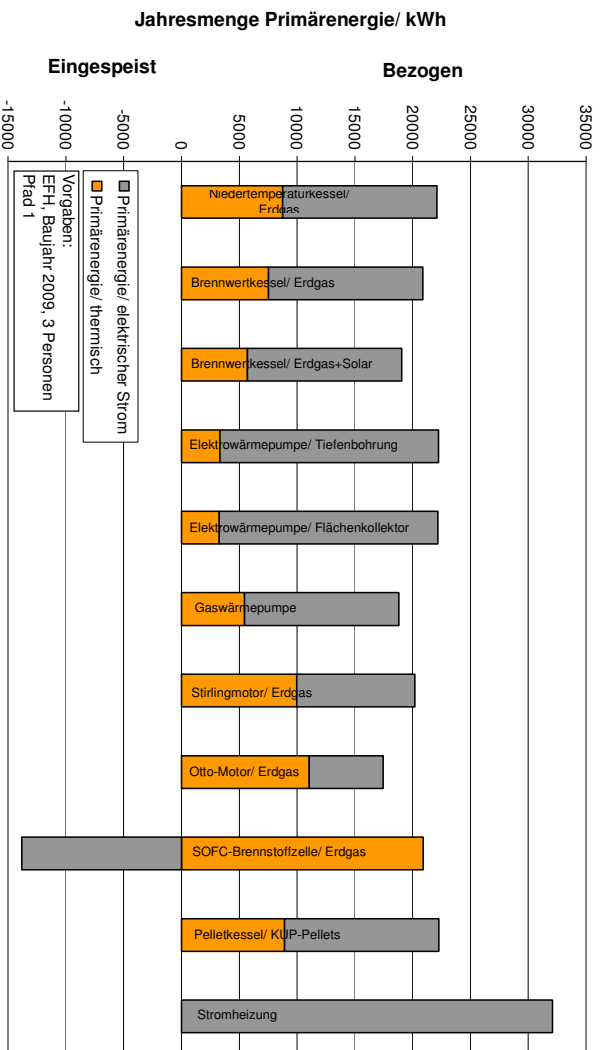
Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	5175
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWw,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	EFH 2009- P1-A1	EFH 2009- P1-A2	EFH 2009- P1-A3	EFH 2009- P1-A4	EFH 2009- P1-A5	EFH 2009- P1-A6	EFH 2009- P1-A7	EFH 2009- P1-A8	EFH 2009- P1-A9	EFH 2009- P1-A10	EFH 2009- P1-A11
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	$\eta_{\text{P,th}}$	%	90	90	90	39,33	39,33	90	90	90	90	88	100
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	$\eta_{\text{P,el}}$	%	39,33	39,33	39,33	39,33	39,33	39,33	39,33	39,33	39,33	39,33	39,3
Spezifische CO2 Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO}_2,\text{th}}$	g/kWh	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	38	0
Spezifische CO2 Emissionen Strom	$f_{\text{CO}_2,\text{el}}$	g/kWh	871,5	871,5	871,5	871,5	871,5	871,5	871,5	871,5	871,5	871,5	871,5
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{P,th}}$	kWh	8762	7521	5700	3324	3271	5456	9980	11059	20924	8904	0
Stromproduktion	$W_{\text{el,KWK}}$	kWh	0	0	0	0	0	0	1236	2737	10674	0	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{P,el,stm}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-3145,72	-6964,36	-27159,29	0,00	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{P,el}}$	kWh	13349	13349	13349	18917	18917	13349	13349	13349	13349	13349	32099
Differenz	$E_{\text{P,el}}$	kWh	13349	13349	13349	18917	18917	13349	10203	6384	-13811	13349	32099
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{P,ges}}$	kWh	22110	20870	19049	22241	22188	18804	20183	17443	7114	22252	32099
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{P,Nt}}$	%	0,0	5,6	13,8	-0,6	-0,4	15,0	8,7	21,1	67,8	-0,6	-45,2
Laufzeit Vollast	t_{Voll}	h	0,0	0,0	0,0	265,7	292,4	0,0	0,0	497,6	211,2	0,0	0,0
Laufzeit Teillast	t_{Teil}	h	1363,9	1444,1	1094,4	0,0	0,0	2045,8	1315,2	0,0	7336,3	1363,9	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{B,th}}$	%	33,3	35,3	38,7	33,1	33,2	39,2	36,5	42,2	103,5	33,1	22,9
Brennstoffnutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{B,el}}$	%	23,7	25,2	27,6	23,6	23,7	27,9	26,0	30,1	73,8	23,6	16,4
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{B,ges}}$	%	57,1	60,4	66,2	56,7	56,9	67,1	62,5	72,3	177,3	56,7	39,3
Anlagennutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{N,th}}$	%	56,1	61,3	71,0	59,2	59,3	72,5	51,8	48,4	30,6	56,3	58,4
Anlagennutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{N,el}}$	%	40,0	43,7	50,6	85,1	85,3	51,7	40,4	42,1	39,2	40,1	41,6
Anlagennutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{N,ges}}$	%	96,0	105,0	121,5	144,2	144,6	124,2	88,6	83,0	52,4	96,4	100,0
CO2-Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO}_2,\text{th}}$	t	1,9	1,6	1,2	0,0	0,0	1,2	2,1	2,3	4,4	0,3	0,0
CO2-Emissionen Strom	$m_{\text{CO}_2,\text{el}}$	t	4,6	4,6	4,6	7,6	7,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	11,0
CO2-Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO}_2,\text{spst}}$	t	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,1	-2,4	-9,3	0,0	0,0
Differenz			4,6	4,6	4,6	7,6	7,6	4,6	3,5	2,2	-4,7	4,6	11,0
CO2-Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	t	6,4	6,2	5,8	7,6	7,6	5,7	5,6	4,5	-0,3	4,9	11,0
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{CO}_2,\text{Nt}}$	%	0,0	4,1	10,1	-18,6	-18,3	10,9	12,8	29,6	104,7	24,2	-71,0
Spezifische CO2-Emissionen	$f_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	g/kWh	509,5	488,7	458,2	604,3	602,9	454,1	444,5	358,9	-24,0	386,3	871,5







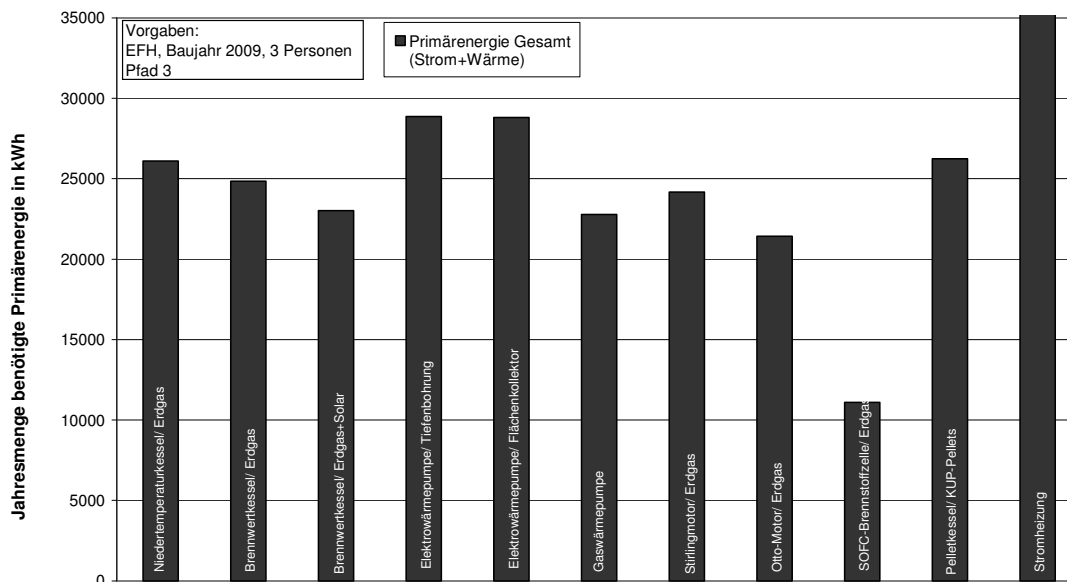
EFH 2009 Pfad 3

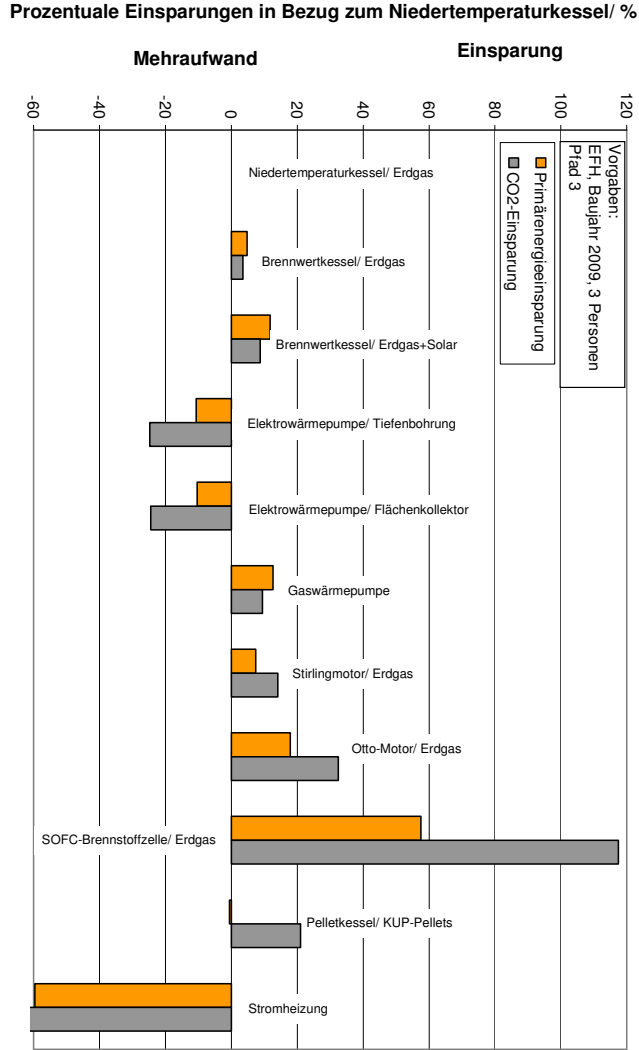
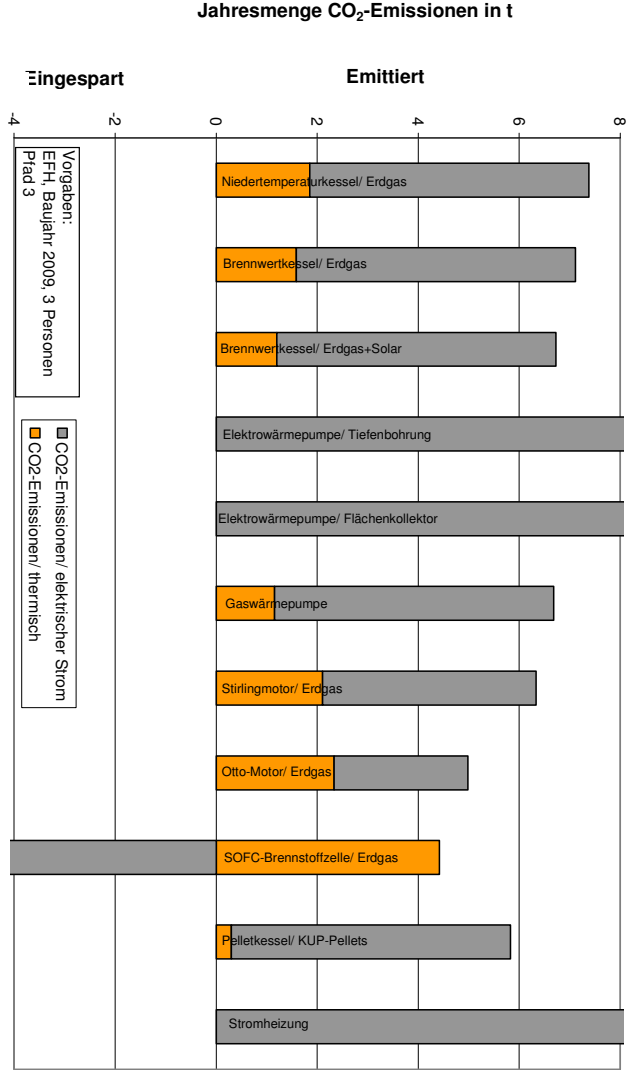
Auswertung Einfamilienhaus 2009; Pfad 3:

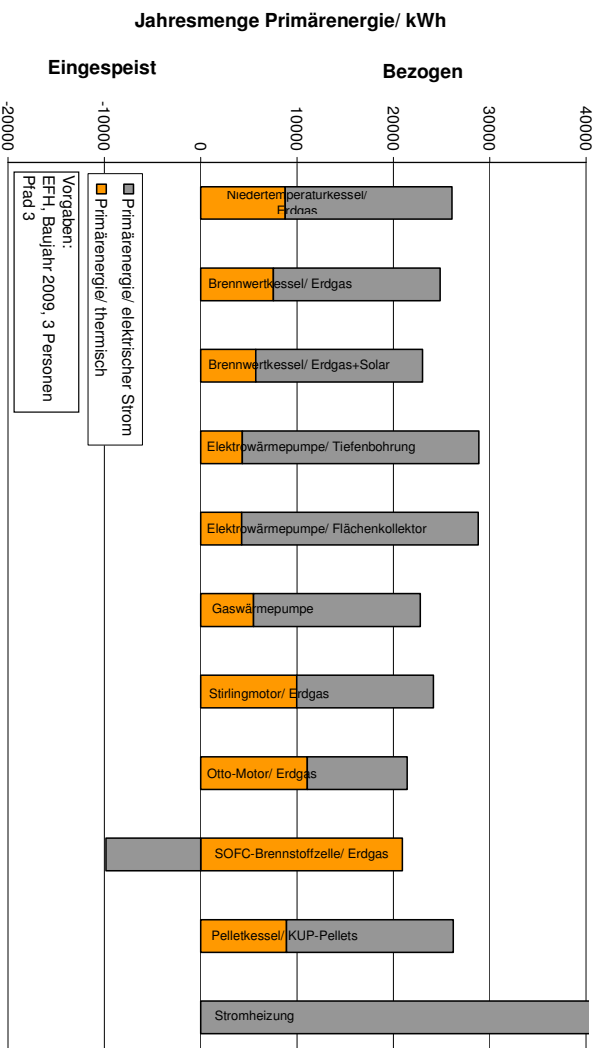
Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	5175
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWW,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	EFH 2009- P3-A1	EFH 2009- P3-A2	EFH 2009- P3-A3	EFH 2009- P3-A4	EFH 2009- P3-A5	EFH 2009- P3-A6	EFH 2009- P3-A7	EFH 2009- P3-A8	EFH 2009- P3-A9	EFH 2009- P3-A10	EFH 2009- P3-A11
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	$\epsilon_{\text{p,th}}$	%	90	90	90	39,33	39,33	90	90	90	90	88	100
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	$\epsilon_{\text{p,el}}$	%	30,3	30,3	30,3	30,3	30,3	30,3	30,3	30,3	30,3	30,3	30,3
Spezifische CO ₂ Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO}_2,\text{th}}$	g/kWh	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	38	0
Spezifische CO ₂ Emissionen Strom	$f_{\text{CO}_2,\text{el}}$	g/kWh	1052,3	1052,3	1052,3	1052,3	1052,3	1052,3	1052,3	1052,3	1052,3	1052,3	1052,3
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{p,th}}$	kWh	8762	7521	5700	4315	4246	5456	9980	11059	20924	8904	0
Stromproduktion	$W_{\text{el,kWK}}$	kWh	0	0	0	0	0	0	1236	2737	10674	0	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{p,el,stm}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-3145,72	-6964,36	-27159,29	0,00	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{p,el}}$	kWh	17327	17327	17327	24554	24554	17327	17327	17327	17327	17327	41634
Differenz	$\Delta E_{\text{p,el}}$	kWh	17327	17327	17327	24554	24554	17327	14181	10362	-9833	17327	41634
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{p,ges}}$	kWh	26088	24848	23027	28869	28800	22782	24161	21421	11092	26230	41634
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{p,NT}}$	%	0,0	4,8	11,7	-10,7	-10,4	12,7	7,4	17,9	57,5	-0,5	-59,6
Laufzeit Vollast	t_{vll}	h	0,0	0,0	0,0	265,7	292,4	0,0	0,0	497,6	211,2	0,0	0,0
Laufzeit Teillast	t_{teill}	h	1363,9	1444,1	1094,4	0,0	0,0	2045,8	1315,2	0,0	7336,3	1363,9	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	$\epsilon_{\text{b,th}}$	%	28,2	29,6	32,0	25,5	25,6	32,3	30,5	34,4	66,4	28,1	17,7
Brennstoffnutzungsgrad Strom	$\epsilon_{\text{b,el}}$	%	20,1	21,1	22,8	18,2	18,2	23,0	21,7	24,5	47,3	20,0	12,6
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	$\epsilon_{\text{b,ges}}$	%	48,4	50,8	54,8	43,7	43,8	55,4	52,2	58,9	113,7	48,1	30,3
Anlagennutzungsgrad Thermisch	$\epsilon_{\text{a,th}}$	%	56,1	61,3	71,0	56,6	56,8	72,5	51,8	48,4	30,6	56,3	58,4
Anlagennutzungsgrad Strom	$\epsilon_{\text{a,el}}$	%	40,0	43,7	50,6	81,4	81,7	51,7	39,5	40,1	33,1	40,1	41,6
Anlagennutzungsgrad Gesamt	$\epsilon_{\text{a,ges}}$	%	96,0	105,0	121,5	138,1	138,5	124,2	88,6	83,0	52,4	96,4	100,0
CO ₂ -Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO}_2,\text{th}}$	t	1,9	1,6	1,2	0,0	0,0	1,2	2,1	2,3	4,4	0,3	0,0
CO ₂ -Emissionen Strom	$m_{\text{CO}_2,\text{el}}$	t	5,5	5,5	5,5	9,2	9,2	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	13,3
CO ₂ -Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO}_2,\text{spst}}$	t	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,3	-2,9	-11,2	0,0	0,0
Differenz			5,5	5,5	5,5	9,2	9,2	5,5	4,2	2,6	-5,7	5,5	13,3
CO ₂ -Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	t	7,4	7,1	6,7	9,2	9,2	6,7	6,3	5,0	-1,3	5,8	13,3
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{CO}_2,\text{NT}}$	%	0,0	3,6	8,8	-24,8	-24,5	9,5	14,1	32,5	117,4	21,1	-80,0
Spezifische CO ₂ -Emissionen	$f_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	g/kWh	584,8	564,0	533,5	729,7	727,9	529,4	502,1	395,0	-101,8	461,5	1052,3







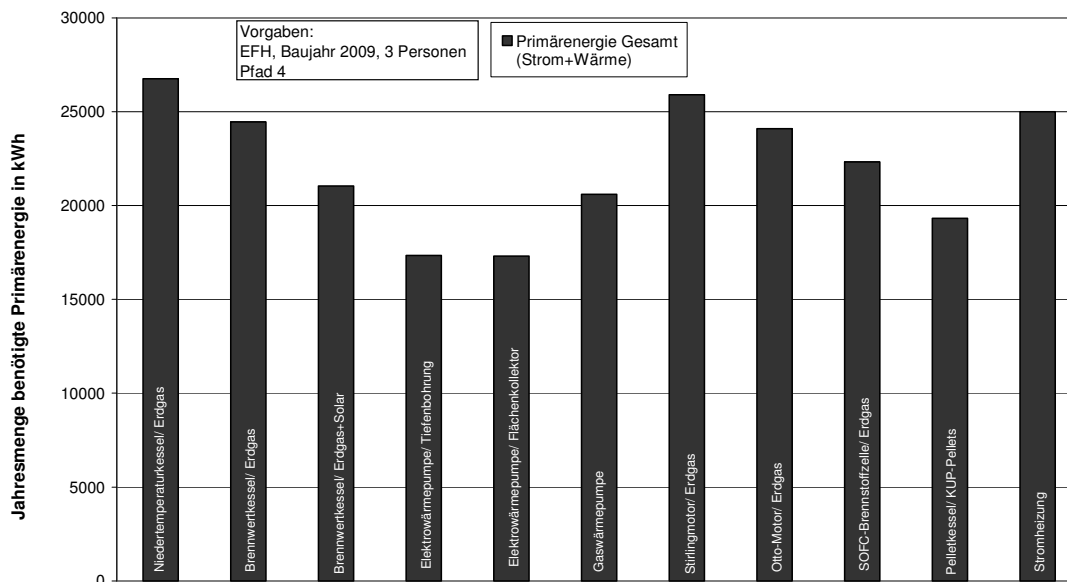
EFH 2009 Pfad 4

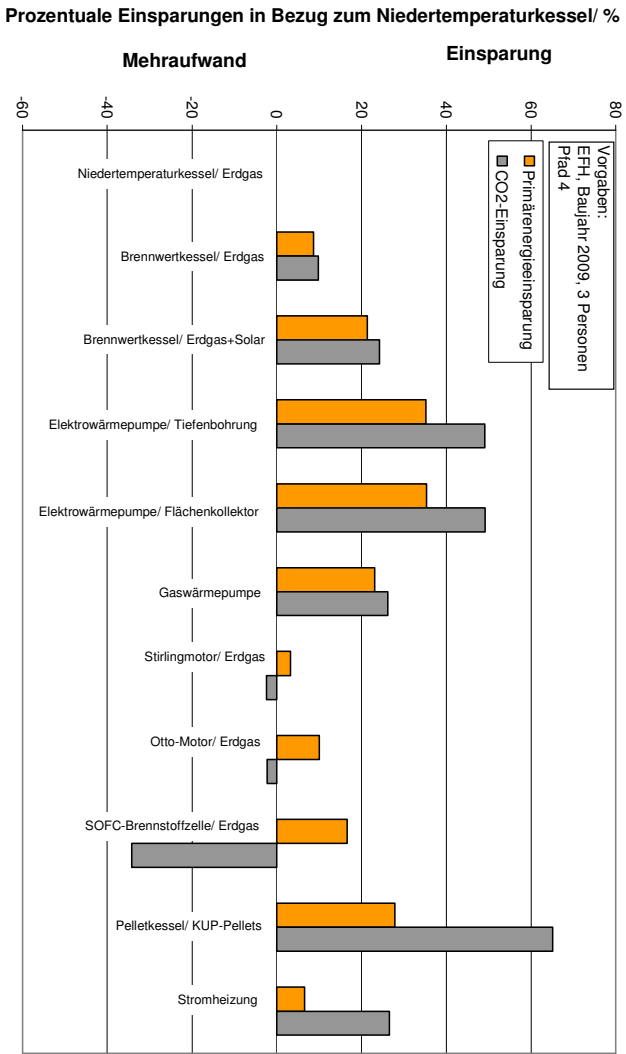
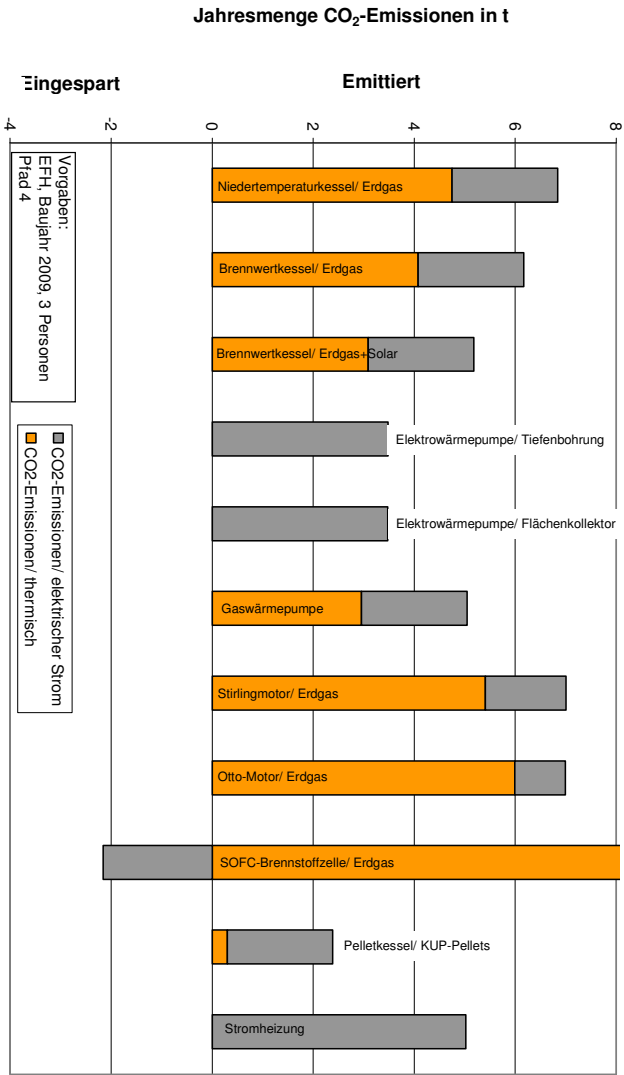
Auswertung Einfamilienhaus 2009; Pfad 4:

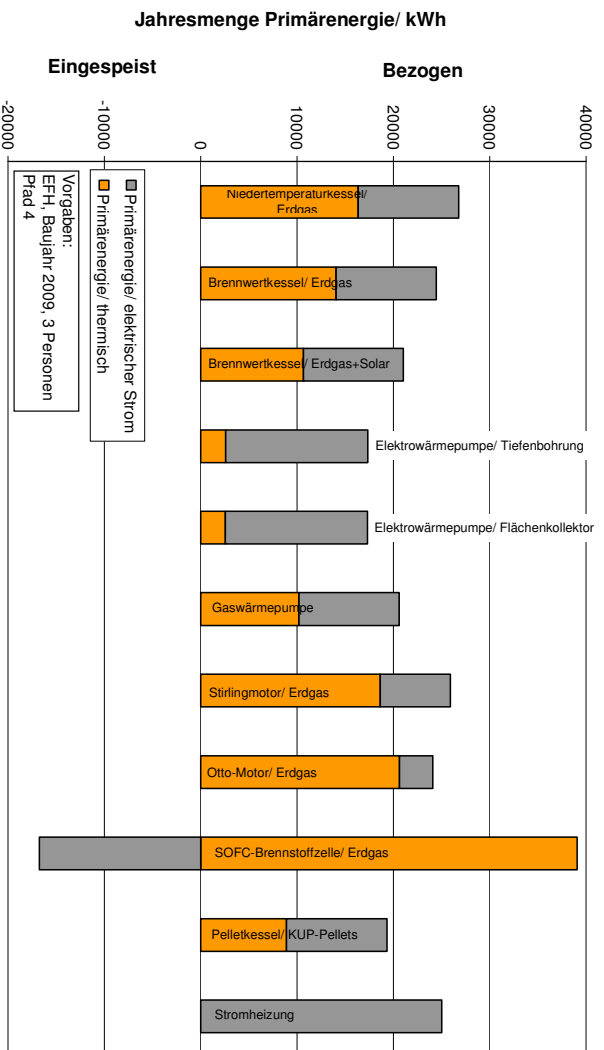
Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	5175
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWw,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	EFH 2009- P4-A1	EFH 2009- P4-A2	EFH 2009- P4-A3	EFH 2009- P4-A4	EFH 2009- P4-A5	EFH 2009- P4-A6	EFH 2009- P4-A7	EFH 2009- P4-A8	EFH 2009- P4-A9	EFH 2009- P4-A10	EFH 2009- P4-A11
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	$\eta_{\text{P,th}}$	%	48,2	48,2	48,2	39,33	39,33	48,2	48,2	48,2	48,2	88	100
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	$\eta_{\text{P,el}}$	%	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445
Spezifische CO2 Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO2,th}}$	g/kWh	602,2	602,2	602,2	602,2	602,2	602,2	602,2	602,2	602,2	38	0
Spezifische CO2 Emissionen Strom	$f_{\text{CO2,el}}$	g/kWh	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{P,th}}$	kWh	16360	14044	10644	2592	2550	10187	18634	20649	39071	8904	0
Stromproduktion	$W_{\text{el,KWK}}$	kWh	0	0	0	0	0	0	1236	2737	10674	0	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{P,el,Strom}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-3145,72	-6964,36	-27159,29	0,00	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{P,el}}$	kWh	10407	10407	10407	14749	14749	10407	10407	10407	10407	10407	25007
Differenz	$E_{\text{P,el}}$	kWh	10407	10407	10407	14749	14749	10407	7262	3443	-16752	10407	25007
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{P,ges}}$	kWh	26767	24452	21051	17341	17299	20594	25896	24092	22319	19311	25007
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{P,Nt}}$	%	0,0	8,7	21,4	35,2	35,4	23,1	3,3	10,0	16,6	27,9	6,6
Laufzeit Vollast	t_{Voll}	h	0,0	0,0	0,0	265,7	292,4	0,0	0,0	497,6	211,2	0,0	0,0
Laufzeit Teillast	t_{Teil}	h	1363,9	1444,1	1094,4	0,0	0,0	2045,8	1315,2	0,0	7336,3	1363,9	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	η_{th}	%	27,5	30,1	35,0	42,5	42,6	35,8	28,4	30,6	33,0	38,1	29,5
Brennstoffnutzungsgrad Strom	η_{el}	%	19,6	21,5	24,9	30,3	30,3	25,5	20,3	21,8	23,5	27,2	21,0
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	η_{ges}	%	47,1	51,6	59,9	72,9	72,9	61,3	48,7	52,4	56,5	65,3	50,4
Anlagennutzungsgrad Thermisch	η_{th}	%	56,1	61,3	71,0	61,2	61,3	72,5	51,8	48,4	30,6	56,3	58,4
Anlagennutzungsgrad Strom	η_{el}	%	40,0	43,7	50,6	87,9	88,1	51,7	41,5	44,9	50,6	40,1	41,6
Anlagennutzungsgrad Gesamt	η_{ges}	%	96,0	105,0	121,5	149,1	149,4	124,2	88,6	83,0	52,4	96,4	100,0
CO2-Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO2,th}}$	t	4,7	4,1	3,1	0,0	0,0	3,0	5,4	6,0	11,3	0,3	0,0
CO2-Emissionen Strom	$m_{\text{CO2,el}}$	t	2,1	2,1	2,1	3,5	3,5	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	5,0
CO2-Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO2,spst}}$	t	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,5	-1,1	-4,2	0,0	0,0
Differenz			2,1	2,1	2,1	3,5	3,5	2,1	1,6	1,0	-2,2	2,1	5,0
CO2-Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO2,ges}}$	t	6,8	6,2	5,2	3,5	3,5	5,0	7,0	7,0	9,2	2,4	5,0
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{CO2,Nt}}$	%	0,0	9,8	24,3	49,1	49,2	26,2	-2,5	-2,3	-34,3	65,1	26,6
Spezifische CO2-Emissionen	$f_{\text{CO2,ges}}$	g/kWh	542,1	488,8	410,6	276,0	275,4	400,1	555,4	554,4	727,8	189,3	398,1







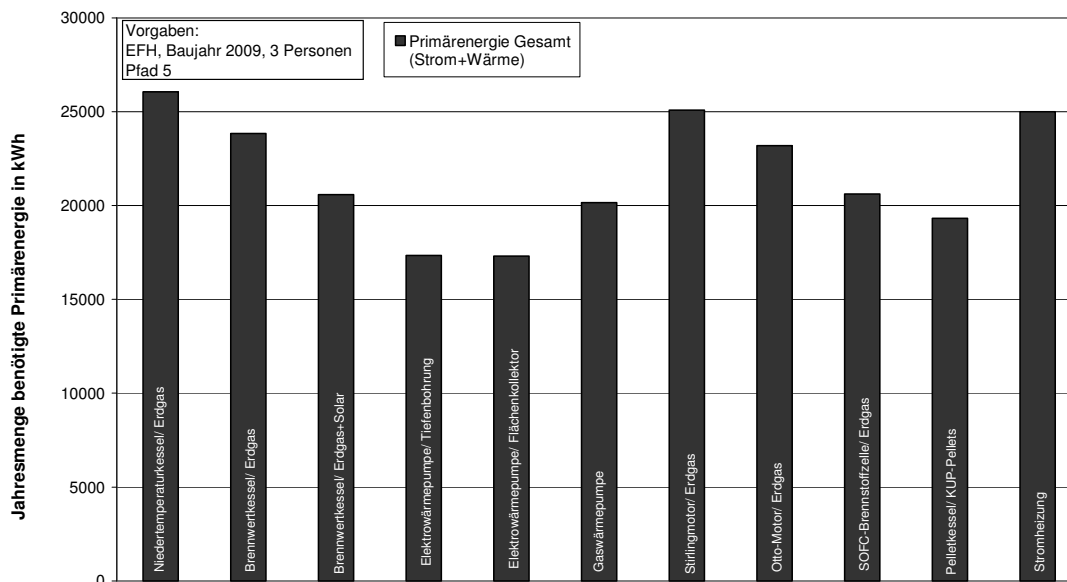
EFH 2009 Pfad 5

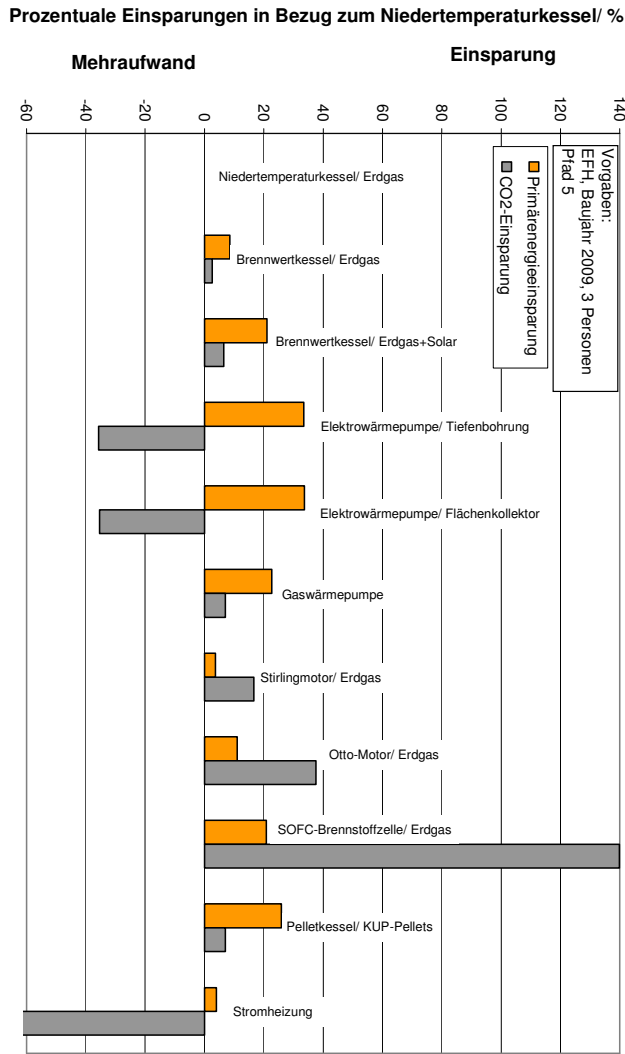
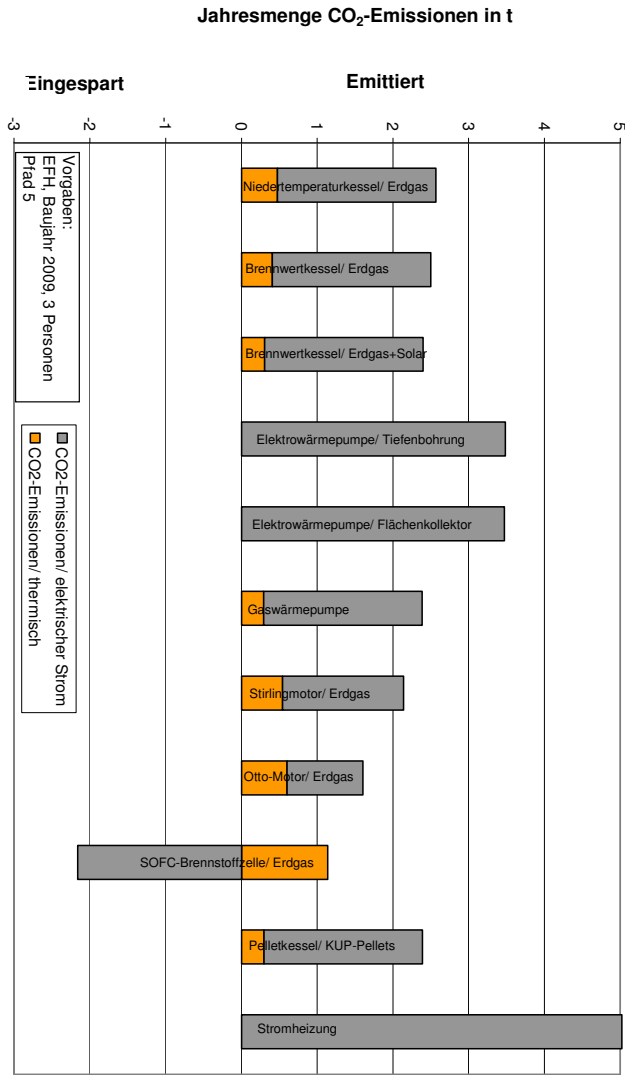
Auswertung Einfamilienhaus 2009; Pfad 5:

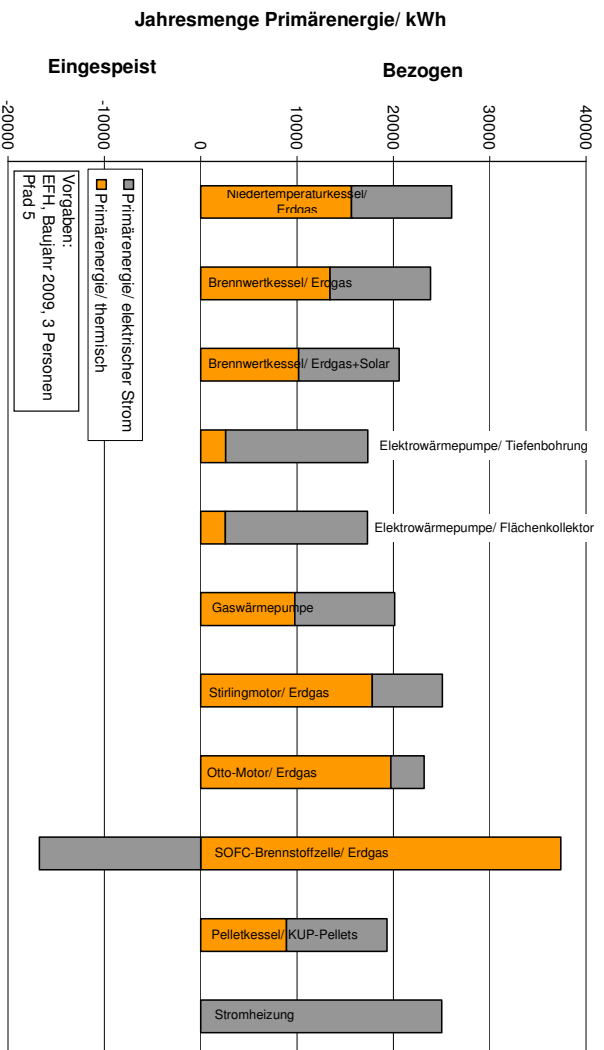
Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	5175
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWw,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	EFH 2009- P5-A1	EFH 2009- P5-A2	EFH 2009- P5-A3	EFH 2009- P5-A4	EFH 2009- P5-A5	EFH 2009- P5-A6	EFH 2009- P5-A7	EFH 2009- P5-A8	EFH 2009- P5-A9	EFH 2009- P5-A10	EFH 2009- P5-A11
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	$\eta_{\text{p,th}}$	%	50,4	50,4	50,4	39,33	39,33	50,4	50,4	50,4	50,4	88	100
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	$\eta_{\text{p,el}}$	%	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445
Spezifische CO2 Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO}_2,\text{th}}$	g/kWh	60,4	60,4	60,4	60,4	60,4	60,4	60,4	60,4	60,4	38	0
Spezifische CO2 Emissionen Strom	$f_{\text{CO}_2,\text{el}}$	g/kWh	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{p,th}}$	kWh	15646	13431	10179	2592	2550	9742	17821	19747	37365	8904	0
Stromproduktion	$W_{\text{el,kWK}}$	kWh	0	0	0	0	0	0	1236	2737	10674	0	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{p,el,stm}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-3145,72	-6964,36	-27159,29	0,00	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{p,el}}$	kWh	10407	10407	10407	14749	14749	10407	10407	10407	10407	10407	25007
Differenz	$\Delta E_{\text{p,el}}$	kWh	10407	10407	10407	14749	14749	10407	7262	3443	-16752	10407	25007
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{p,ges}}$	kWh	26053	23839	20586	17341	17299	20149	25083	23190	20613	19311	25007
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{p,Nt}}$	%	0,0	8,5	21,0	33,4	33,6	22,7	3,7	11,0	20,9	25,9	4,0
Laufzeit Vollast	t_{vll}	h	0,0	0,0	0,0	265,7	292,4	0,0	0,0	497,6	211,2	0,0	0,0
Laufzeit Teillast	t_{tll}	h	1363,9	1444,1	1094,4	0,0	0,0	2045,8	1315,2	0,0	7336,3	1363,9	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{br,th}}$	%	28,3	30,9	35,8	42,5	42,6	36,6	29,4	31,8	35,7	38,1	29,5
Brennstoffnutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{br,el}}$	%	20,2	22,0	25,5	30,3	30,3	26,1	20,9	22,6	25,5	27,2	21,0
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{br,ges}}$	%	48,4	52,9	61,3	72,9	72,9	62,6	50,3	54,4	61,2	65,3	50,4
Anlagennutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{nl,th}}$	%	56,1	61,3	71,0	61,2	61,3	72,5	51,8	48,4	30,6	56,3	58,4
Anlagennutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{nl,el}}$	%	40,0	43,7	50,6	87,9	88,1	51,7	41,5	44,9	50,6	40,1	41,6
Anlagennutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{nl,ges}}$	%	96,0	105,0	121,5	149,1	149,4	124,2	88,6	83,0	52,4	96,4	100,0
CO2-Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO}_2,\text{th}}$	t	0,5	0,4	0,3	0,0	0,0	0,3	0,5	0,6	1,1	0,3	0,0
CO2-Emissionen Strom	$m_{\text{CO}_2,\text{el}}$	t	2,1	2,1	2,1	3,5	3,5	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	5,0
CO2-Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO}_2,\text{spst}}$	t	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,5	-1,1	-4,2	0,0	0,0
Differenz			2,1	2,1	2,1	3,5	3,5	2,1	1,6	1,0	-2,2	2,1	5,0
CO2-Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	t	2,6	2,5	2,4	3,5	3,5	2,4	2,1	1,6	-1,0	2,4	5,0
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{CO}_2,\text{Nt}}$	%	0,0	2,6	6,5	-35,7	-35,4	7,0	16,6	37,6	139,8	7,0	-95,7
Spezifische CO2-Emissionen	$f_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	g/kWh	203,4	198,1	190,2	276,0	275,4	189,2	169,7	127,0	-81,0	189,3	398,1







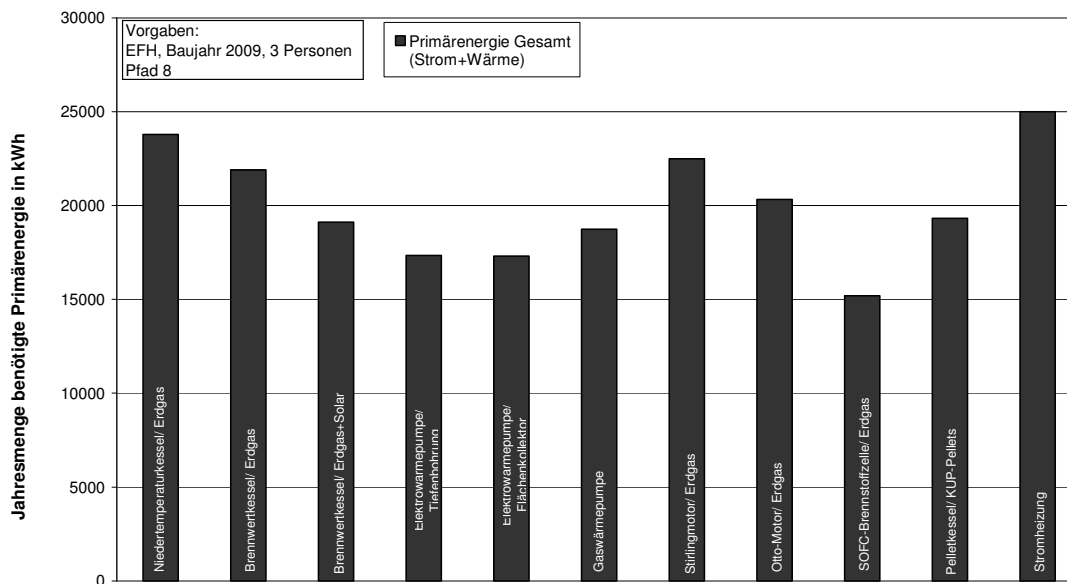
EFH 2009 Pfad 8

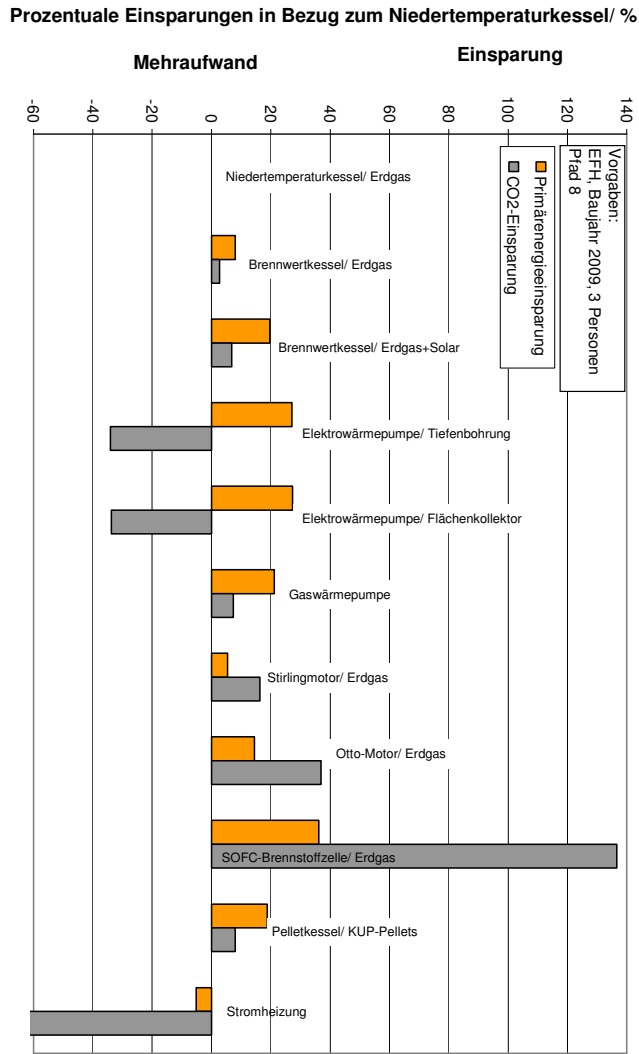
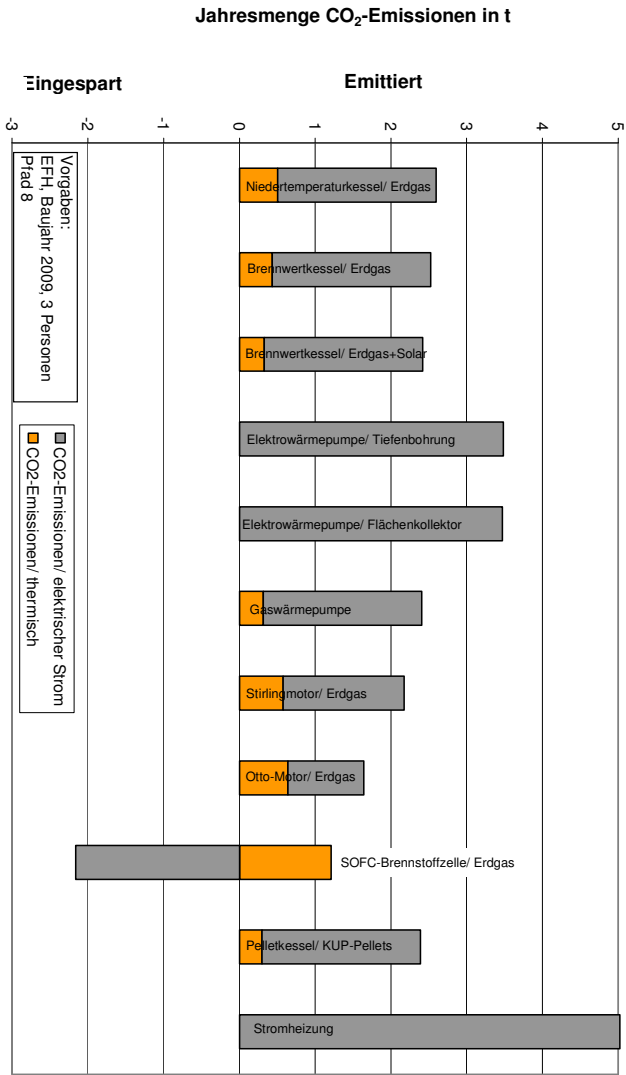
Auswertung Einfamilienhaus 2009; Pfad 8:

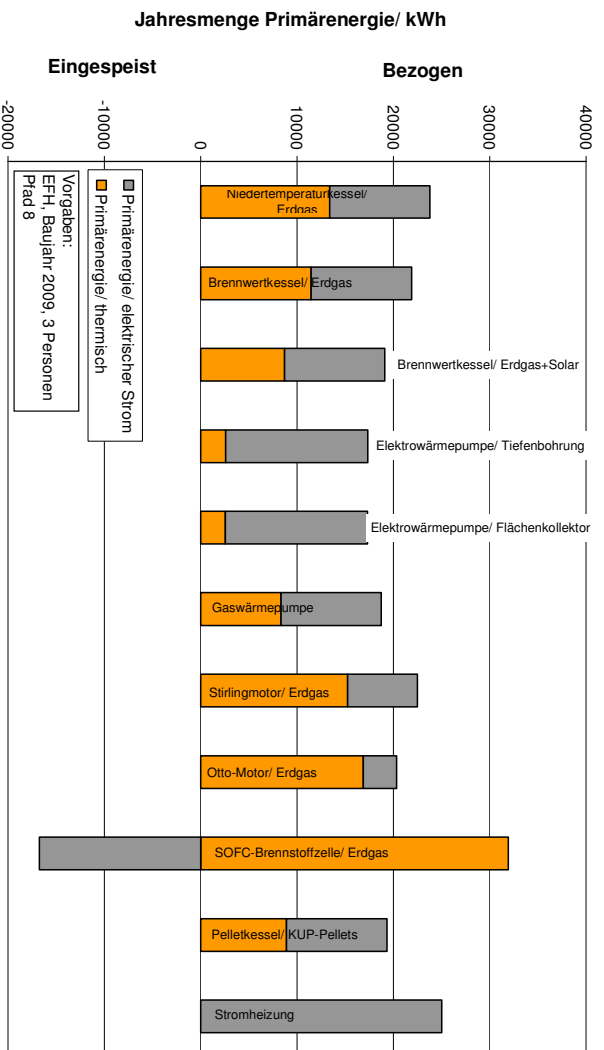
Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	5175
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWw,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	EFH 2009- P8-A1	EFH 2009- P8-A2	EFH 2009- P8-A3	EFH 2009- P8-A4	EFH 2009- P8-A5	EFH 2009- P8-A6	EFH 2009- P8-A7	EFH 2009- P8-A8	EFH 2009- P8-A9	EFH 2009- P8-A10	EFH 2009- P8-A11
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	$\eta_{\text{p,th}}$	%	58,96	58,96	58,96	39,33	39,33	58,96	58,96	58,96	58,96	89	100
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	$\eta_{\text{p,el}}$	%	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445
Spezifische CO ₂ Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO}_2,\text{th}}$	g/kWh	64,2	64,2	64,2	64,2	64,2	64,2	64,2	64,2	64,2	38	0
Spezifische CO ₂ Emissionen Strom	$f_{\text{CO}_2,\text{el}}$	g/kWh	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{p,th}}$	kWh	13374	11481	8701	2592	2550	8328	15234	16880	31940	8904	0
Stromproduktion	$W_{\text{el,kWK}}$	kWh	0	0	0	0	0	0	1236	2737	10674	0	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{p,el,sch}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-3145,72	-6964,36	-27159,29	0,00	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{p,el}}$	kWh	10407	10407	10407	14749	14749	10407	10407	10407	10407	10407	25007
Differenz	$\Delta E_{\text{p,el}}$	kWh	10407	10407	10407	14749	14749	10407	7262	3443	-16752	10407	25007
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{p,ges}}$	kWh	23782	21889	19109	17341	17299	18735	22495	20323	15188	19311	25007
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{p,Nt}}$	%	0,0	8,0	19,6	27,1	27,3	21,2	5,4	14,5	36,1	18,8	-5,2
Laufzeit Vollast	t_{vll}	h	0,0	0,0	0,0	265,7	292,4	0,0	0,0	497,6	211,2	0,0	0,0
Laufzeit Teillast	t_{teill}	h	1363,9	1444,1	1094,4	0,0	0,0	2045,8	1315,2	0,0	7336,3	1363,9	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{b,th}}$	%	31,0	33,6	38,5	42,5	42,6	39,3	32,7	36,2	48,5	38,1	29,5
Brennstoffnutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{b,el}}$	%	22,1	24,0	27,5	30,3	30,3	28,0	23,3	25,8	34,6	27,2	21,0
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{b,ges}}$	%	53,0	57,6	66,0	72,7	72,9	67,3	56,1	62,1	83,1	65,3	50,4
Anlagennutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{a,th}}$	%	56,1	61,3	71,0	61,2	61,3	72,5	51,8	48,4	30,6	56,3	58,4
Anlagennutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{a,el}}$	%	40,0	43,7	50,6	87,9	88,1	51,7	41,5	44,9	50,6	40,1	41,6
Anlagennutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{a,ges}}$	%	96,0	105,0	121,5	149,1	149,4	124,2	88,6	83,0	52,4	96,4	100,0
CO ₂ -Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO}_2,\text{th}}$	t	0,5	0,4	0,3	0,0	0,0	0,3	0,6	0,6	1,2	0,3	0,0
CO ₂ -Emissionen Strom	$m_{\text{CO}_2,\text{el}}$	t	2,1	2,1	2,1	3,5	3,5	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	5,0
CO ₂ -Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO}_2,\text{spst}}$	t	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,5	-1,1	-4,2	0,0	0,0
Differenz			2,1	2,1	2,1	3,5	3,5	2,1	1,6	1,0	-2,2	2,1	5,0
CO ₂ -Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	t	2,6	2,5	2,4	3,5	3,5	2,4	2,2	1,6	-1,0	2,4	5,0
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{CO}_2,\text{Nt}}$	%	0,0	2,8	6,8	-34,1	-33,8	7,4	16,2	36,9	136,6	8,0	-93,4
Spezifische CO ₂ -Emissionen	$f_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	g/kWh	205,8	200,1	191,8	276,0	275,4	190,7	172,4	130,0	-75,3	189,3	398,1







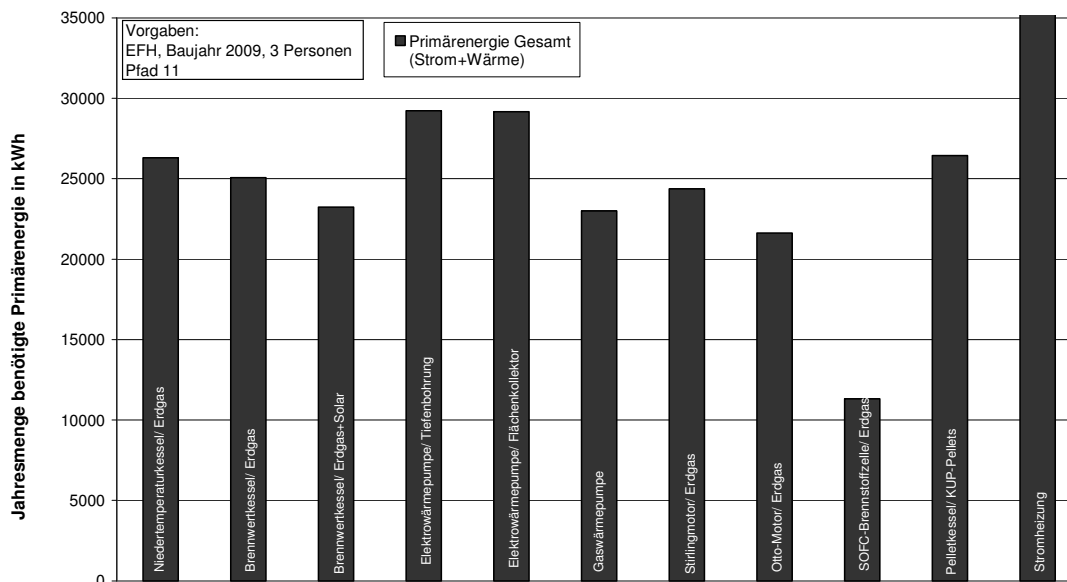
EFH 2009 Pfad 11

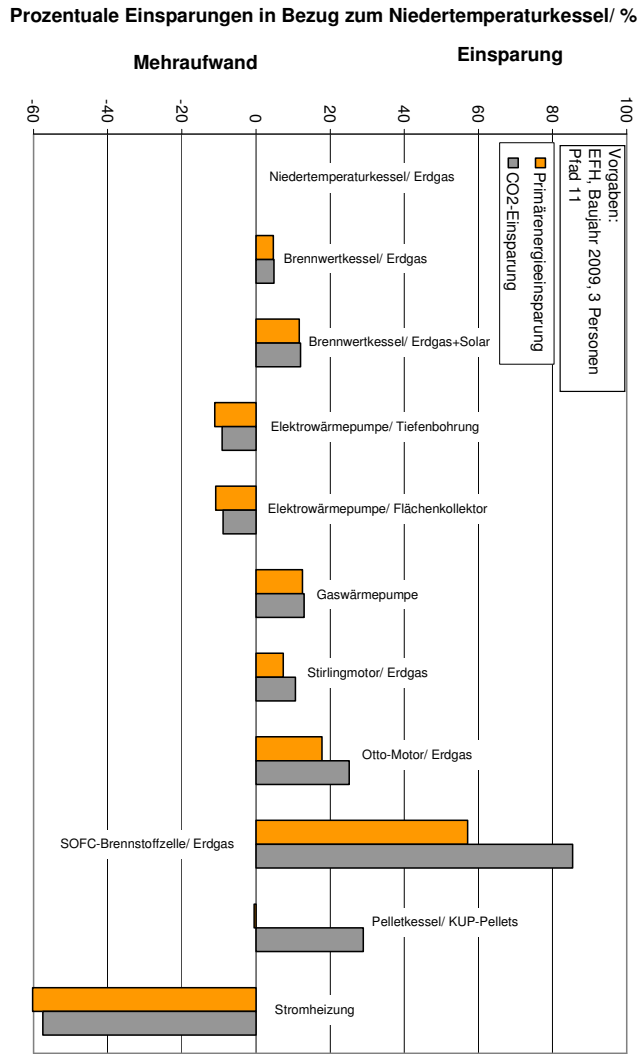
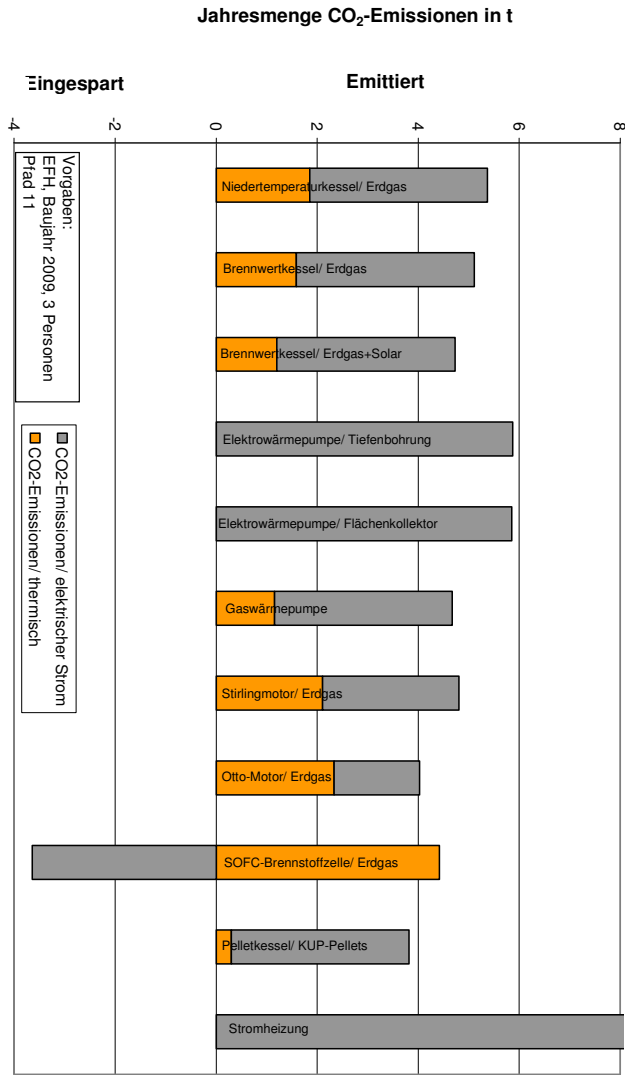
Auswertung Einfamilienhaus 2009; Pfad 11:

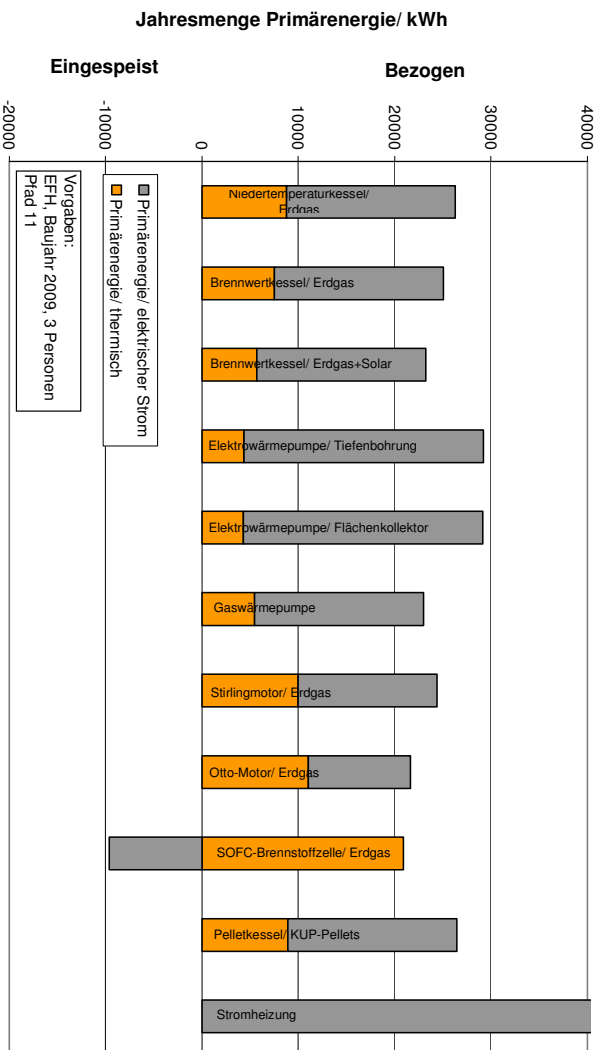
Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	5175
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWW,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	EFH 2009- P11-A1	EFH 2009- P11-A2	EFH 2009- P11-A3	EFH 2009- P11-A4	EFH 2009- P11-A5	EFH 2009- P11-A6	EFH 2009- P11-A7	EFH 2009- P11-A8	EFH 2009- P11-A9	EFH 2009- P11-A10	EFH 2009- P11-A11
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	$\eta_{\text{P,th}}$	%	90	90	90	39,33	39,33	90	90	90	90	88	100
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	$\eta_{\text{P,el}}$	%	29,93	29,93	29,93	29,93	29,93	29,93	29,93	29,93	29,93	29,93	29,93
Spezifische CO ₂ Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO}_2,\text{th}}$	g/kWh	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	38	0
Spezifische CO ₂ Emissionen Strom	$f_{\text{CO}_2,\text{el}}$	g/kWh	671	671	671	671	671	671	671	671	671	671	671
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{P,th}}$	kWh	8762	7521	5700	4368	4298	5456	9980	11059	20924	8904	0
Stromproduktion	$W_{\text{el,KWK}}$	kWh	0	0	0	0	0	0	1236	2737	10674	0	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{P,el,sch}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-3145,72	-6964,36	-27159,29	0,00	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{P,el}}$	kWh	17541	17541	17541	24858	24858	17541	17541	17541	17541	17541	42148
Differenz	$E_{\text{P,el}}$	kWh	17541	17541	17541	24858	24858	17541	14395	10577	-9618	17541	42148
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{P,ges}}$	kWh	26303	25062	23241	29226	29156	22997	24375	21635	11306	26444	42148
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{P,NL}}$	%	0,0	4,7	11,6	-11,1	-10,8	12,6	7,3	17,7	57,0	-0,5	-60,2
Laufzeit Vollast	t_{Voll}	h	0,0	0,0	0,0	265,7	292,4	0,0	0,0	497,6	211,2	0,0	0,0
Laufzeit Teillast	t_{Teil}	h	1363,9	1444,1	1094,4	0,0	0,0	2045,8	1315,2	0,0	7336,3	1363,9	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{B,th}}$	%	28,0	29,4	31,7	25,2	25,3	32,0	30,2	34,0	65,1	27,9	17,5
Brennstoffnutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{B,el}}$	%	20,0	20,9	22,6	18,0	18,0	22,8	21,5	24,3	46,4	19,9	12,5
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{B,ges}}$	%	48,0	50,3	54,3	43,2	43,3	54,9	51,8	58,3	111,6	47,7	29,9
Anlagennutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{N,th}}$	%	56,1	61,3	71,0	56,5	56,7	72,5	51,8	48,4	30,6	56,3	58,4
Anlagennutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{N,el}}$	%	40,0	43,7	50,6	81,2	81,5	51,7	39,5	40,0	32,9	40,1	41,6
Anlagennutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{N,ges}}$	%	96,0	105,0	121,5	137,7	138,2	124,2	88,6	83,0	52,4	96,4	100,0
CO ₂ -Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO}_2,\text{th}}$	t	1,9	1,6	1,2	0,0	0,0	1,2	2,1	2,3	4,4	0,3	0,0
CO ₂ -Emissionen Strom	$m_{\text{CO}_2,\text{el}}$	t	3,5	3,5	3,5	5,9	5,9	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	8,5
CO ₂ -Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO}_2,\text{spst}}$	t	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,8	-1,8	-7,2	0,0	0,0
Differenz			3,5	3,5	3,5	5,9	5,9	3,5	2,7	1,7	-3,6	3,5	8,5
CO ₂ -Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	t	5,4	5,1	4,7	5,9	5,9	4,7	4,8	4,0	0,8	3,8	8,5
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{CO}_2,\text{NL}}$	%	0,0	4,9	12,0	-9,2	-8,9	13,0	10,6	25,1	85,4	28,9	-57,5
Spezifische CO ₂ -Emissionen	$f_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	g/kWh	426,1	405,3	374,8	465,3	464,2	370,7	380,7	319,0	62,2	302,9	671,0







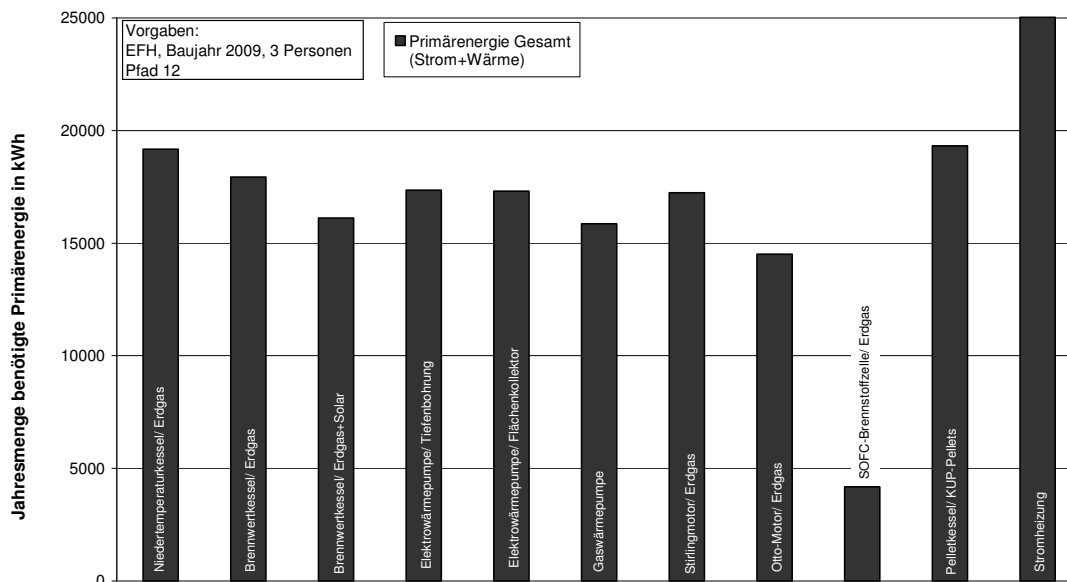
EFH 2009 Pfad 12

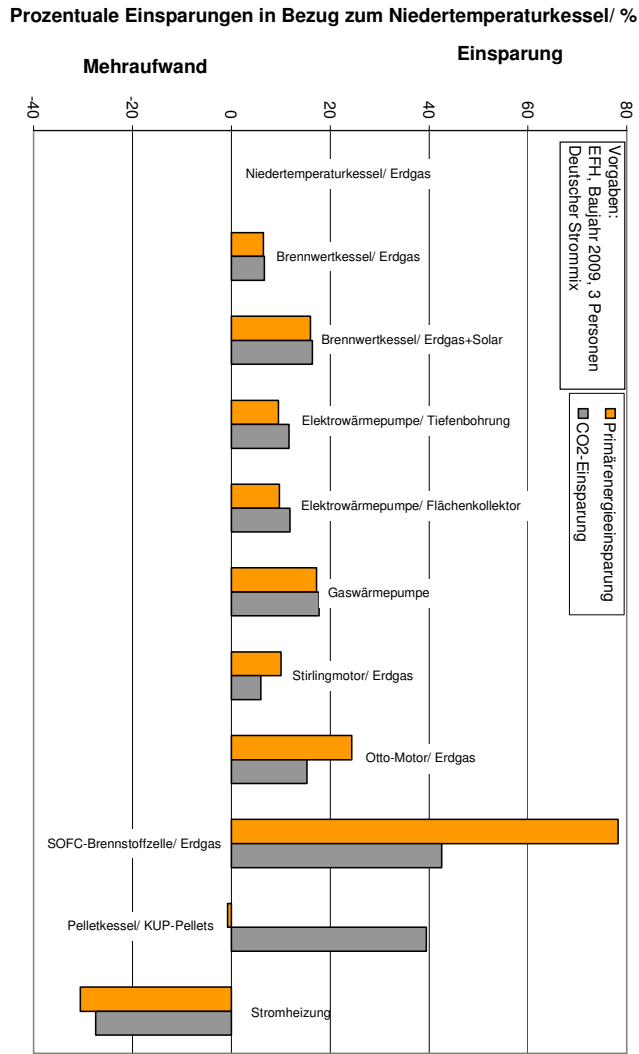
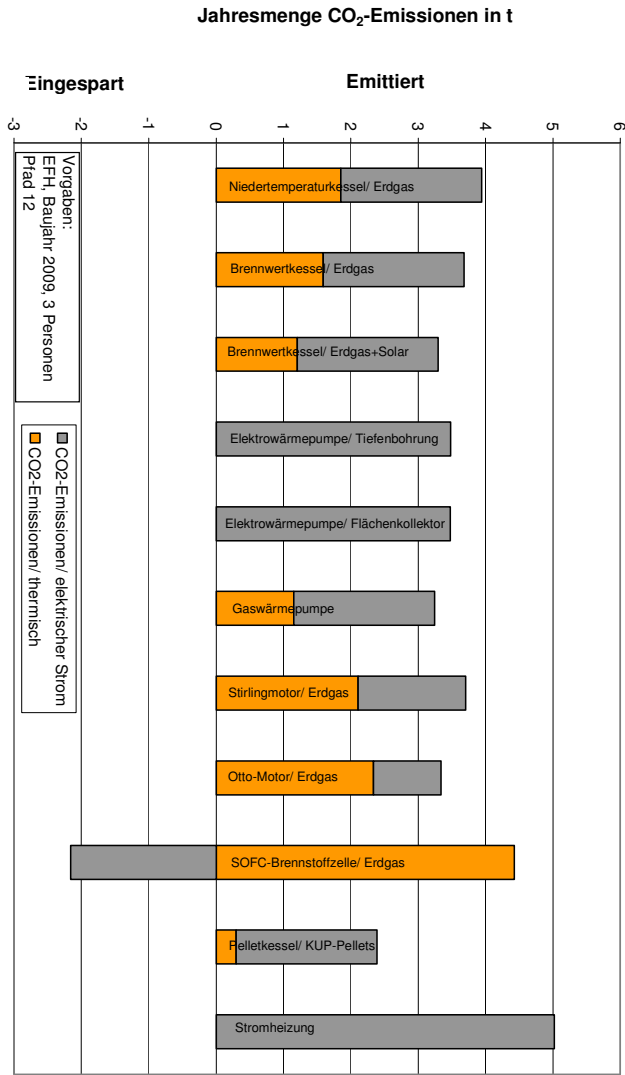
Auswertung Einfamilienhaus 2009; Pfad 12:

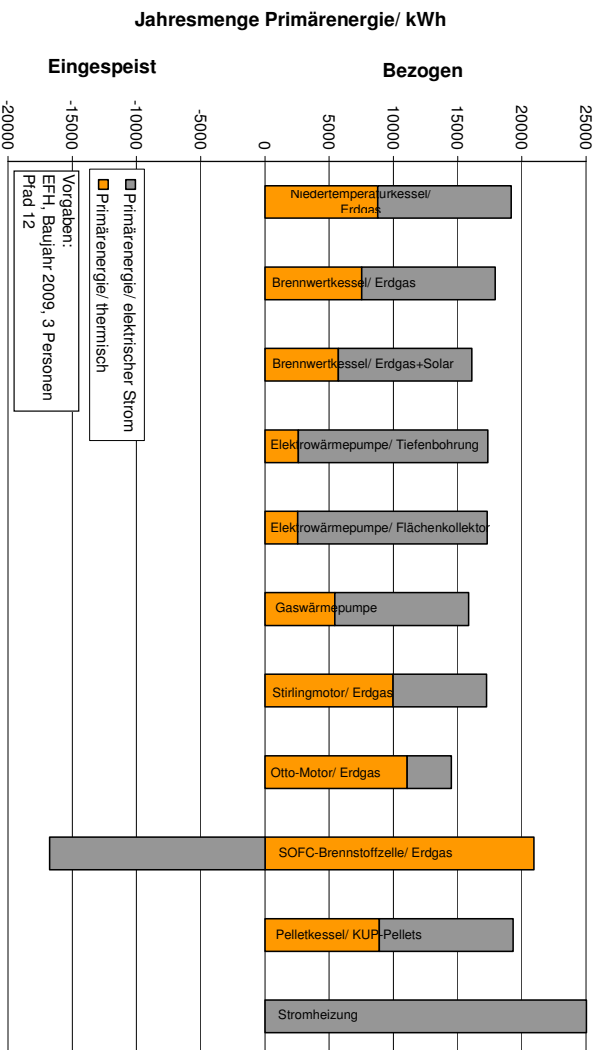
Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	5175
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWw,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	EFH 2009- P12-A1	EFH 2009- P12-A2	EFH 2009- P12-A3	EFH 2009- P12-A4	EFH 2009- P12-A5	EFH 2009- P12-A6	EFH 2009- P12-A7	EFH 2009- P12-A8	EFH 2009- P12-A9	EFH 2009- P12-A10	EFH 2009- P12-A11
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	$\eta_{\text{P,th}}$	%	90	90	90	39,33	39,33	90	90	90	90	88	100
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	$\eta_{\text{P,el}}$	%	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,445	50,4
Spezifische CO2 Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO}_2,\text{th}}$	g/kWh	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	38
Spezifische CO2 Emissionen Strom	$f_{\text{CO}_2,\text{el}}$	g/kWh	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{P,th}}$	kWh	8762	7521	5700	2592	2550	5456	9980	11059	20924	8904	0
Stromproduktion	$W_{\text{el,kWK}}$	kWh	0	0	0	0	0	0	1236	2737	10674	0	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{P,el,stm}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-3145,72	-6964,36	-27159,29	0,00	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{P,el}}$	kWh	10407	10407	10407	14749	14749	10407	10407	10407	10407	10407	25030
Differenz	$E_{\text{P,el}}$	kWh	10407	10407	10407	14749	14749	10407	7262	3443	-16752	10407	25030
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{P,ges}}$	kWh	19169	17929	16108	17341	17299	15863	17241	14502	4173	19311	25030
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{P,NL}}$	%	0,0	6,5	16,0	9,5	9,8	17,2	10,1	24,3	78,2	-0,7	-30,6
Laufzeit Vollast	t_{vll}	h	0,0	0,0	0,0	265,7	292,4	0,0	0,0	497,6	211,2	0,0	0,0
Laufzeit Teillast	t_{teill}	h	1363,9	1444,1	1094,4	0,0	0,0	2045,8	1315,2	0,0	7336,3	1363,9	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{B,th}}$	%	38,4	41,1	45,7	42,5	42,6	46,4	42,7	50,8	176,5	38,1	29,4
Brennstoffnutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{B,el}}$	%	27,4	29,3	32,6	30,3	30,3	33,1	30,5	36,2	125,8	27,2	21,0
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{B,ges}}$	%	65,8	70,4	78,3	72,7	72,9	79,5	73,2	87,0	302,3	65,3	50,4
Anlagennutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{N,th}}$	%	56,1	61,3	71,0	61,2	61,3	72,5	51,8	48,4	30,6	56,3	58,4
Anlagennutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{N,el}}$	%	40,0	43,7	50,6	87,9	88,1	51,7	41,5	44,9	50,6	40,1	41,6
Anlagennutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{N,ges}}$	%	96,0	105,0	121,5	149,1	149,4	124,2	88,6	83,0	52,4	96,4	100,0
CO2-Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO}_2,\text{th}}$	t	1,9	1,6	1,2	0,0	0,0	1,2	2,1	2,3	4,4	0,3	0,0
CO2-Emissionen Strom	$m_{\text{CO}_2,\text{el}}$	t	2,1	2,1	2,1	3,5	3,5	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	5,0
CO2-Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO}_2,\text{spst}}$	t	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,5	-1,1	-4,2	0,0	0,0
Differenz			2,1	2,1	2,1	3,5	3,5	2,1	1,6	1,0	-2,2	2,1	5,0
CO2-Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	t	3,9	3,7	3,3	3,5	3,5	3,2	3,7	3,3	2,3	2,4	5,0
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{CO}_2,\text{NL}}$	%	0,0	6,7	16,4	11,7	11,9	17,7	6,0	15,3	42,6	39,4	-27,4
Spezifische CO2-Emissionen	$f_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	g/kWh	312,5	291,7	261,2	276,0	275,4	257,1	293,9	264,6	179,5	189,3	398,1





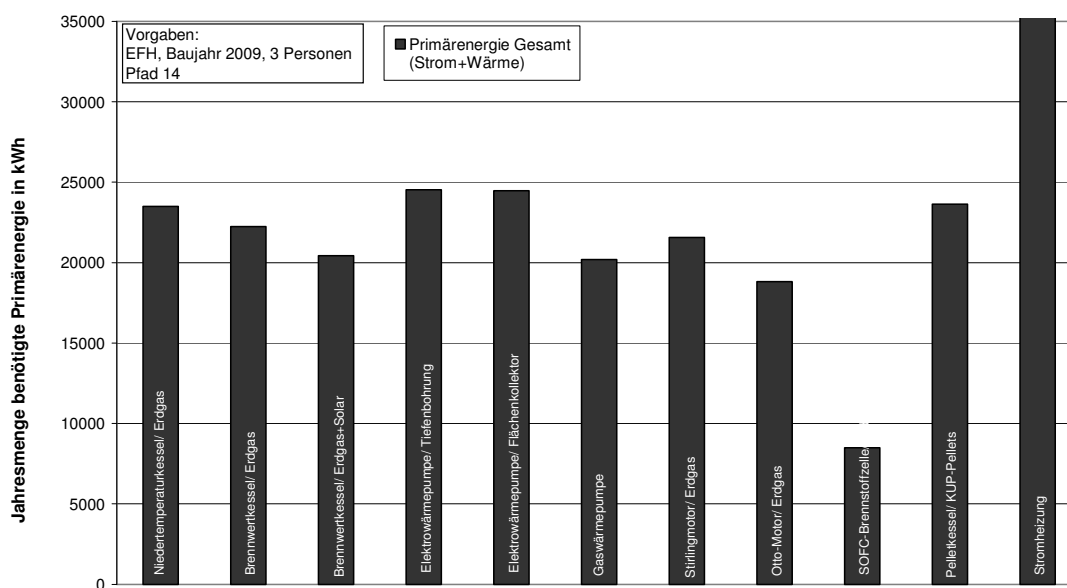


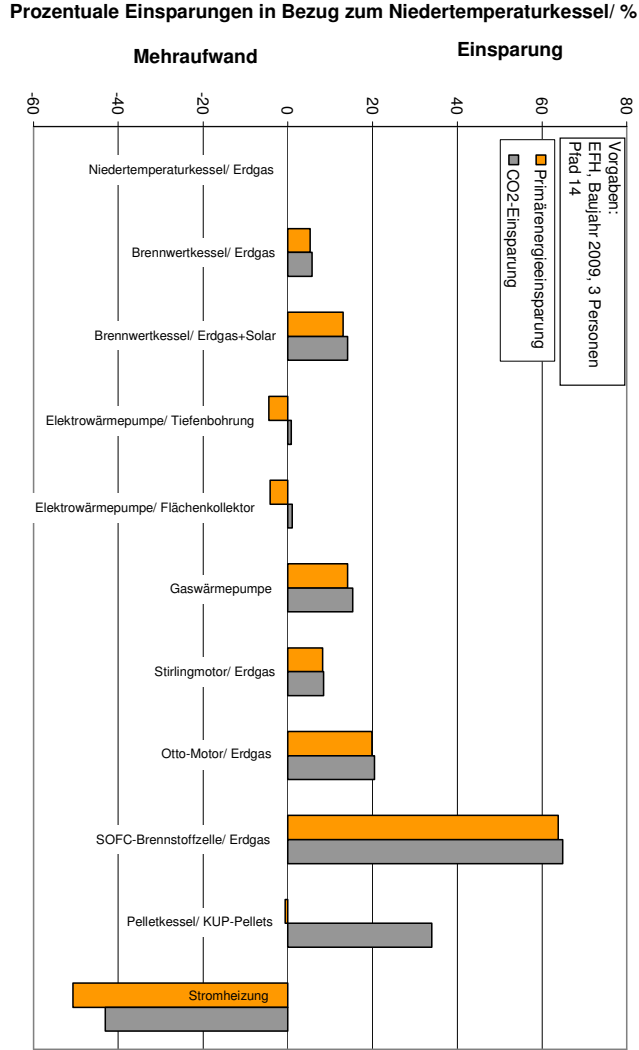
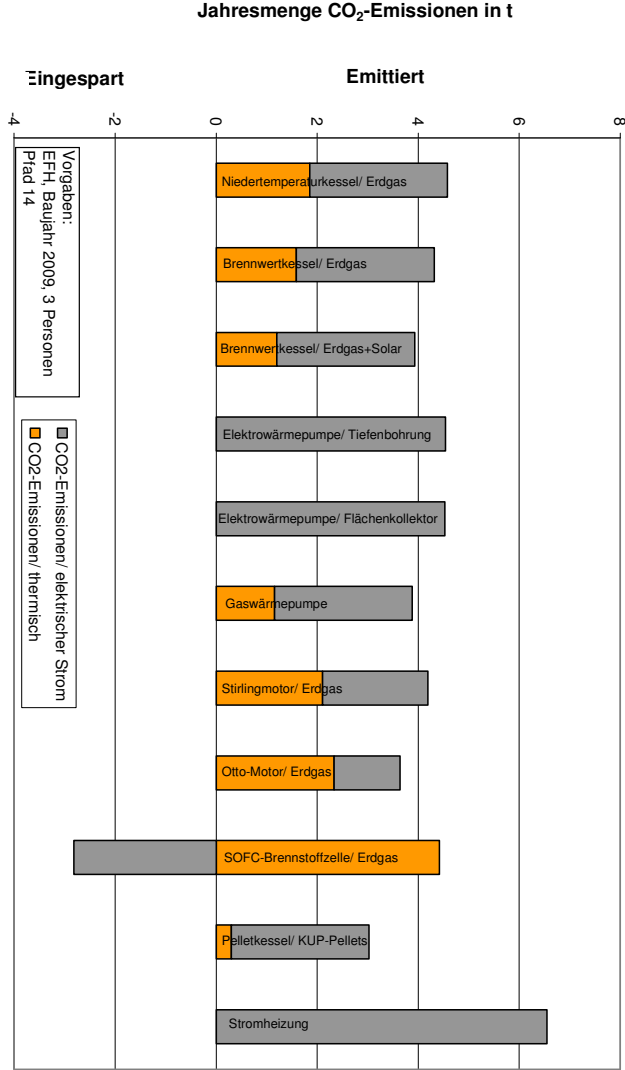
Auswertung Einfamilienhaus 2009; Pfad 14:

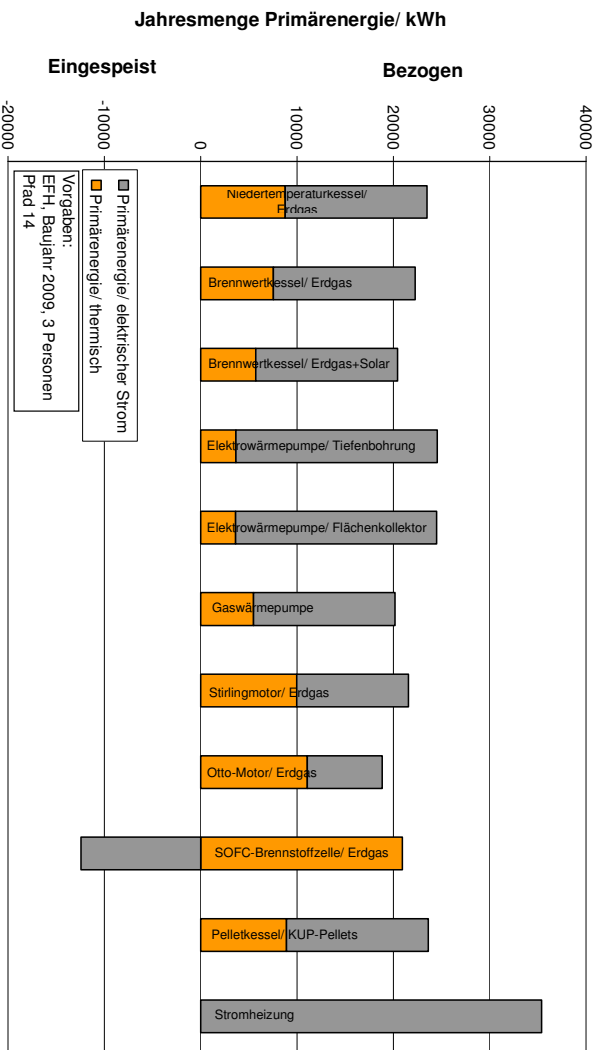
Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	5175
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWw,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	EFH 2009- P14-A1	EFH 2009- P14-A2	EFH 2009- P14-A3	EFH 2009- P14-A4	EFH 2009- P14-A5	EFH 2009- P14-A6	EFH 2009- P14-A7	EFH 2009- P14-A8	EFH 2009- P14-A9	EFH 2009- P14-A10	EFH 2009- P14-A11
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	$\eta_{\text{p,th}}$	%	90	90	90	39,33	39,33	90	90	90	90	88	100
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	$\eta_{\text{p,el}}$	%	35,65	35,65	35,65	35,65	35,65	35,65	35,65	35,65	35,65	35,653	35,65
Spezifische CO2 Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO}_2,\text{th}}$	g/kWh	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	234,9	38	0
Spezifische CO2 Emissionen Strom	$f_{\text{CO}_2,\text{el}}$	g/kWh	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{p,th}}$	kWh	8762	7521	5700	3667	3609	5456	9980	11059	20924	8904	0
Stromproduktion	$W_{\text{el,kwk}}$	kWh	0	0	0	0	0	0	1236	2737	10674	0	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{p,el,sub}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-3145,72	-6964,36	-27159,29	0,00	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{p,el}}$	kWh	14727	14727	14727	20870	20870	14727	14727	14727	14727	14725	35386
Differenz	$\Delta E_{\text{p,el}}$	kWh	14727	14727	14727	20870	20870	14727	11581	7762	-12433	14725	35386
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{p,ges}}$	kWh	23488	22248	20427	24537	24478	20182	21560	18821	8492	23629	35386
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{p,nt}}$	%	0,0	5,3	13,0	-4,5	-4,2	14,1	8,2	19,9	63,8	-0,6	-50,7
Laufzeit Volllast	t_{voll}	h	0,0	0,0	0,0	265,7	292,4	0,0	0,0	497,6	211,2	0,0	0,0
Laufzeit Teillast	t_{teil}	h	1363,9	1444,1	1094,4	0,0	0,0	2045,8	1315,2	0,0	7336,3	1363,9	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{b,th}}$	%	31,4	33,1	36,1	30,0	30,1	36,5	34,2	39,1	86,7	31,2	20,8
Brennstoffnutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{b,el}}$	%	22,4	23,6	25,7	21,4	21,4	26,0	24,4	27,9	61,8	22,2	14,8
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{b,ges}}$	%	53,7	56,7	61,8	51,4	51,5	62,5	58,5	67,0	148,6	53,4	35,6
Anlagennutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{a,th}}$	%	56,1	61,3	71,0	58,3	58,4	72,5	51,8	48,4	30,6	56,3	58,4
Anlagennutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{a,el}}$	%	40,0	43,7	50,6	83,8	84,0	51,7	40,0	41,3	36,5	40,1	41,6
Anlagennutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{a,ges}}$	%	96,0	105,0	121,5	142,0	142,4	124,2	88,6	83,0	52,4	96,4	100,0
CO2-Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO}_2,\text{th}}$	t	1,9	1,6	1,2	0,0	0,0	1,2	2,1	2,3	4,4	0,3	0,0
CO2-Emissionen Strom	$m_{\text{CO}_2,\text{el}}$	t	2,7	2,7	2,7	4,5	4,5	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	6,5
CO2-Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO}_2,\text{sp}}$	t	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,6	-1,4	-5,5	0,0	0,0
Differenz			2,7	2,7	2,7	4,5	4,5	2,7	2,1	1,3	-2,8	2,7	6,5
CO2-Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	t	4,6	4,3	3,9	4,5	4,5	3,9	4,2	3,6	1,6	3,0	6,5
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$\theta_{\text{CO}_2,\text{nt}}$	%	0,0	5,7	14,1	0,8	1,0	15,3	8,4	20,4	64,9	34,0	-43,1
Spezifische CO2-Emissionen	$f_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	g/kWh	362,9	342,1	311,6	360,0	359,2	307,5	332,4	288,8	127,4	239,7	519,2







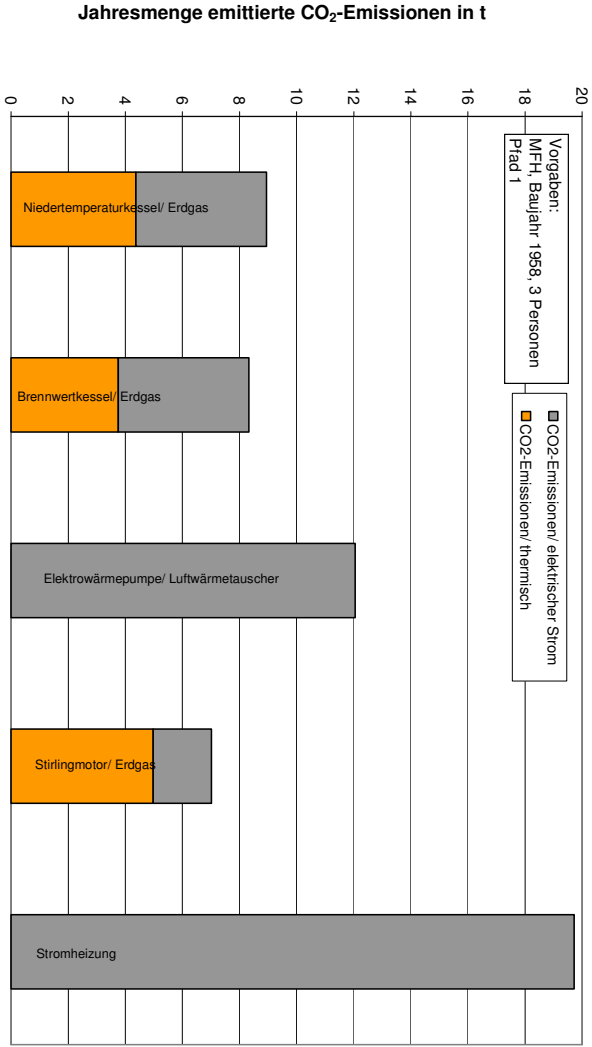
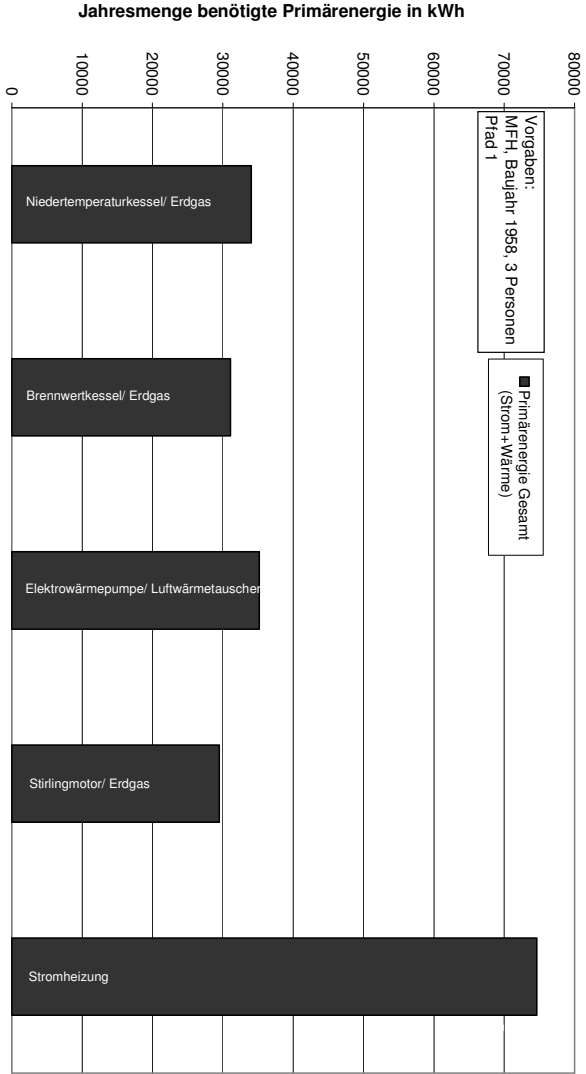
MFH 1958 Pfad 1

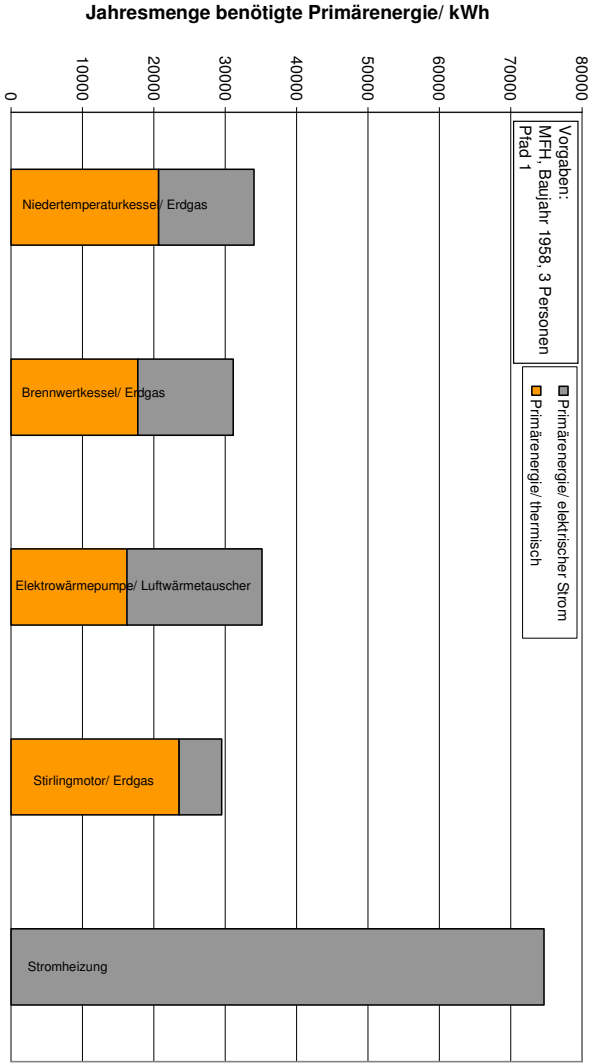
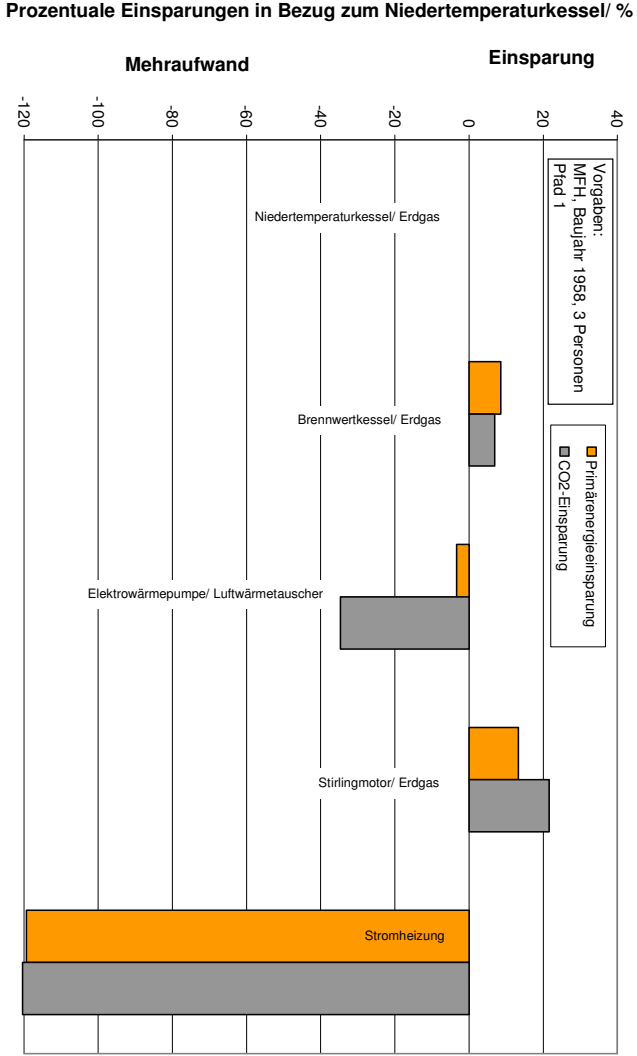
Auswertung Mehrfamilienhaus 1958; Pfad 1:

Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	15180
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWW,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	EFH 1958- P14-A1	EFH 1958- P14-A2	EFH 1958- P14-A3	EFH 1958- P14-A4	EFH 1958- P14-A5
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	$\zeta_{\text{P,th}}$	%	90	90	39,33	90	90
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	$\zeta_{\text{P,el}}$	%	39,3	39,3	39,3	39,3	30,3
Spezifische CO2 Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO2,th}}$	g/kWh	234,9	234,9	234,9	234,9	0
Spezifische CO2 Emissionen Strom	$f_{\text{CO2,el}}$	g/kWh	871,5	871,5	871,5	871,5	871,5
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{P,th}}$	kWh	20664	17739	16235	23537	0
Stromproduktion	$W_{\text{el,kwk}}$	kWh	0	0	0	2916	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{P,el,sub}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	-7419,03	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{P,el}}$	kWh	13359	13359	18931	13359	74654
Differenz	$\zeta_{\text{E,P,el}}$	kWh	13359	13359	18931	5940	74654
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{P,ges}}$	kWh	34023	31098	35167	29476	74654
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$e_{\text{P,Nt}}$	%	0,0	8,6	-3,4	13,4	-119,4
Laufzeit Vollast	t_{Voll}	h	0,0	0,0	1165,8	0,0	0,0
Laufzeit Teillast	t_{teill}	h	3216,7	3405,9	0,0	3101,8	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	$\zeta_{\text{Br,th}}$	%	51,1	55,9	49,4	58,9	23,3
Brennstoffnutzungsgrad Strom	$\zeta_{\text{Br,el}}$	%	15,4	16,9	14,9	17,8	7,0
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	$\zeta_{\text{Br,ges}}$	%	66,5	72,7	64,3	76,7	30,3
Anlagennutzungsgrad Thermisch	$\zeta_{\text{N,th}}$	%	72,8	81,9	109,8	65,7	76,8
Anlagennutzungsgrad Strom	$\zeta_{\text{N,el}}$	%	22,0	24,7	53,8	22,3	23,2
Anlagennutzungsgrad Gesamt	$\zeta_{\text{N,ges}}$	%	94,9	106,6	163,6	85,6	100,0
CO2-Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO2,th}}$	t	4,4	3,8	0,0	5,0	0,0
CO2-Emissionen Strom	$m_{\text{CO2,el}}$	t	4,6	4,6	12,0	4,6	19,7
CO2-Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO2,spar}}$	t	0,0	0,0	0,0	-2,5	0,0
Differenz			4,6	4,6	12,0	2,0	19,7
CO2-Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO2,ges}}$	t	8,9	8,3	12,0	7,0	19,7
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$e_{\text{CO2,Nt}}$	%	0,0	6,9	-34,7	21,6	-120,4
Spezifische CO2-Emissionen	$f_{\text{CO2,ges}}$	g/kWh	395,4	368,1	532,5	309,9	871,5





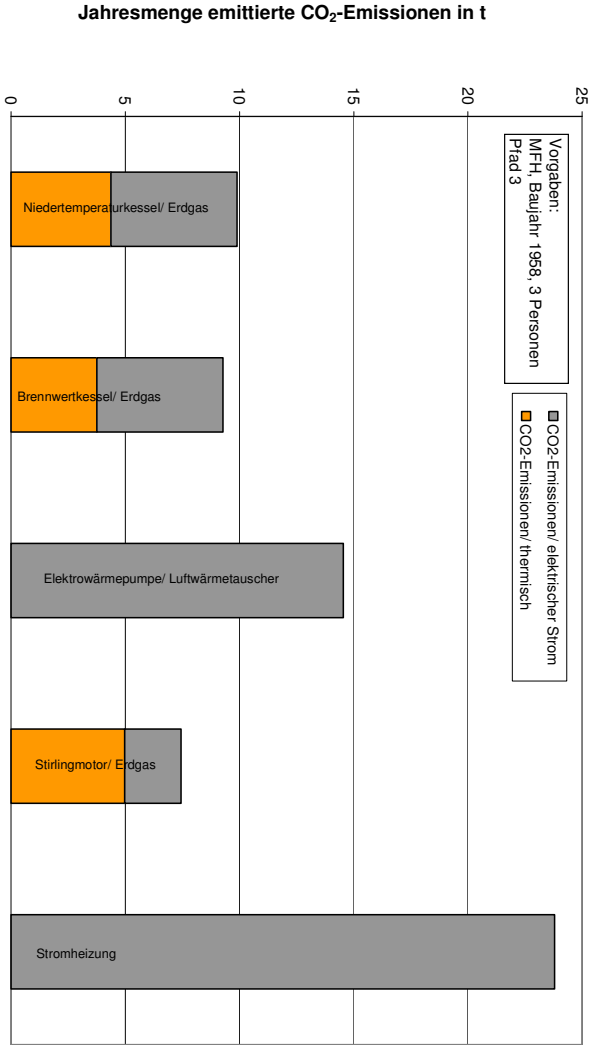
MFH 1958 Pfad 3

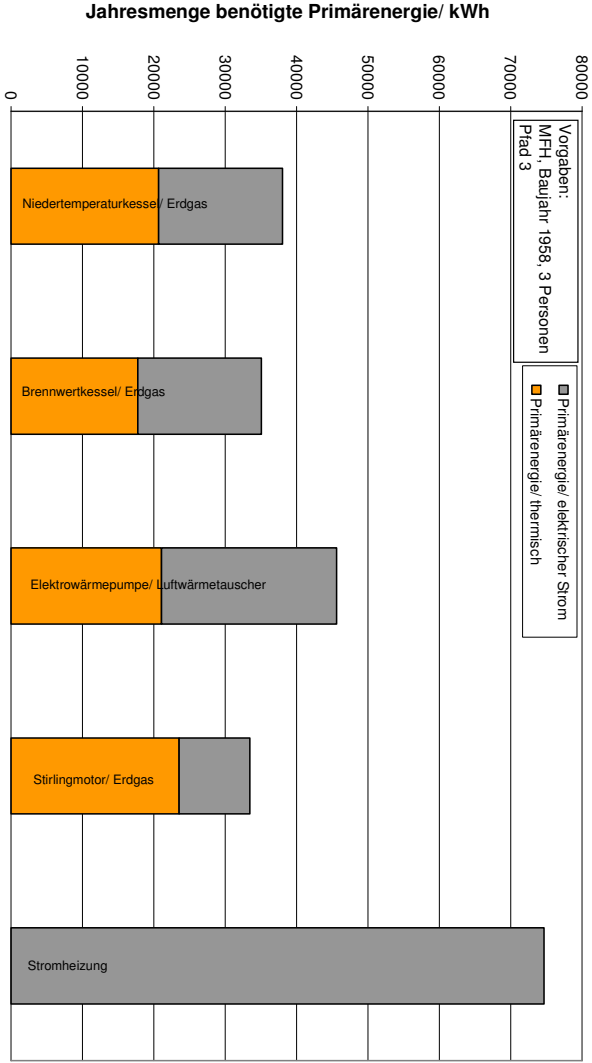
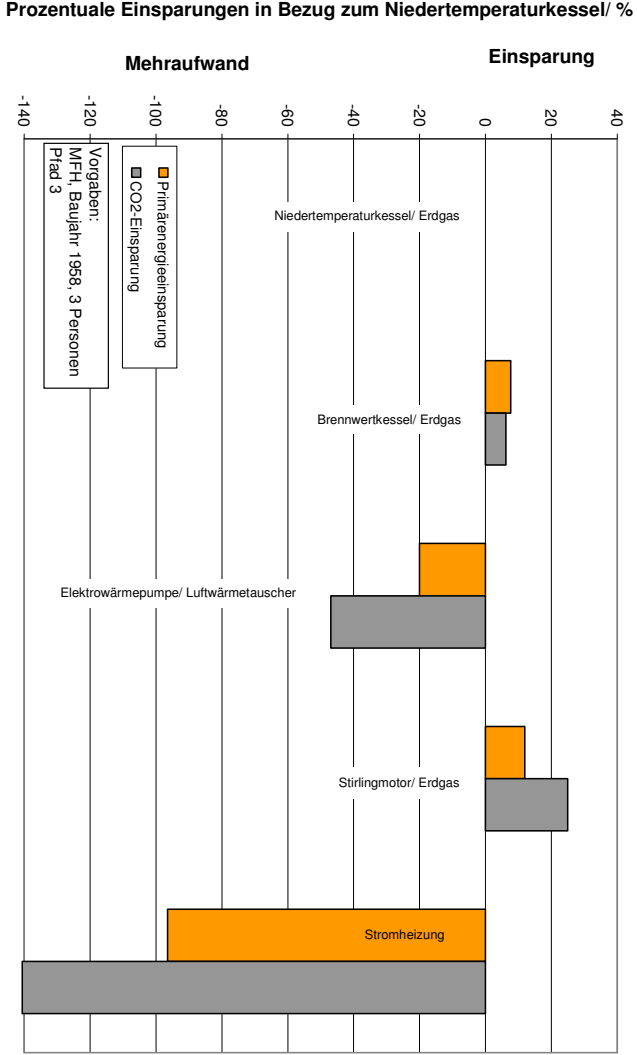
Auswertung Mehrfamilienhaus; Pfad 3:

Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	15180
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWW,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	MFH 1958- P3-A1	EFH 1958- P3-A2	EFH 1958- P3-A3	EFH 1958- P3-A4	EFH 1958- P3-A5
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	$\eta_{\text{P,th}}$	%	90	90	39,33	90	90
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	$\eta_{\text{P,el}}$	%	30,3	30,3	30,3	30,3	30,3
Spezifische CO2 Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO2,th}}$	g/kWh	234,9	234,9	234,9	234,9	0
Spezifische CO2 Emissionen Strom	$f_{\text{CO2,el}}$	g/kWh	1052,3	1052,3	1052,3	1052,3	1052,3
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{P,th}}$	kWh	20664	17739	21058	23537	0
Stromproduktion	$W_{\text{el,kwk}}$	kWh	0	0	0	2916	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{P,el,sub}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	-7419,03	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{P,el}}$	kWh	17327	17327	24554	17327	74654
Differenz	$\Delta E_{\text{P,el}}$	kWh	17327	17327	24554	9908	74654
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{P,ges}}$	kWh	37991	35066	45612	33444	74654
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$e_{\text{P,Nt}}$	%	0,0	7,7	-20,1	12,0	-96,5
Laufzeit Vollast	t_{Voll}	h	0,0	0,0	1165,8	0,0	0,0
Laufzeit Teillast	t_{teil}	h	3216,7	3405,9	0,0	3101,8	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{Br,th}}$	%	45,7	49,5	38,1	51,9	23,3
Brennstoffnutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{Br,el}}$	%	13,8	15,0	11,5	15,7	7,0
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{Br,ges}}$	%	59,5	64,5	49,6	67,6	30,3
Anlagennutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{N,th}}$	%	72,8	81,9	96,6	65,7	76,8
Anlagennutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{N,el}}$	%	22,0	24,7	47,3	21,7	23,2
Anlagennutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{N,ges}}$	%	94,9	106,6	143,9	85,6	100,0
CO2-Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO2,th}}$	t	4,4	3,8	0,0	5,0	0,0
CO2-Emissionen Strom	$m_{\text{CO2,el}}$	t	5,5	5,5	14,5	5,5	23,8
CO2-Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO2,spar}}$	t	0,0	0,0	0,0	-3,1	0,0
Differenz			5,5	5,5	14,5	2,5	23,8
CO2-Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO2,ges}}$	t	9,9	9,3	14,5	7,4	23,8
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$e_{\text{CO2,Nt}}$	%	0,0	6,3	-47,0	24,9	-140,6
Spezifische CO2-Emissionen	$f_{\text{CO2,ges}}$	g/kWh	437,4	410,0	642,9	328,6	1052,3





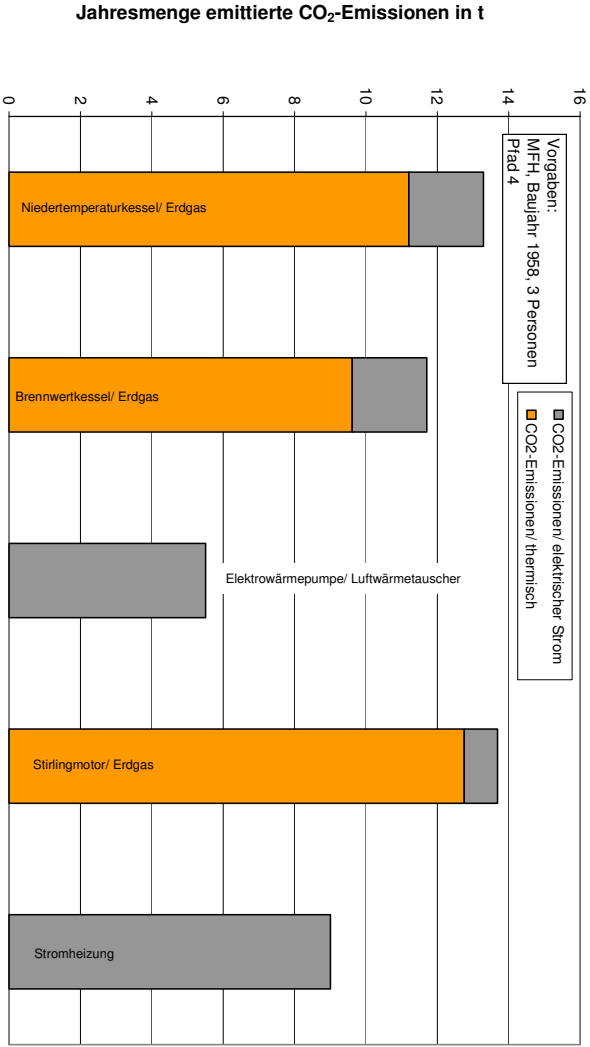
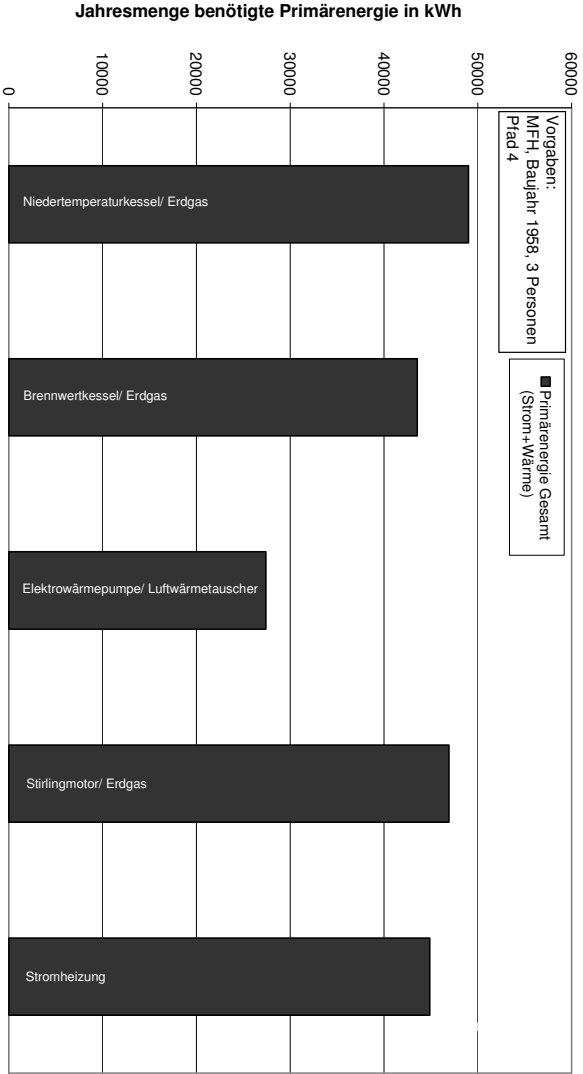
MFH 1958 Pfad 4

Auswertung Mehrfamilienhaus; Pfad 4:

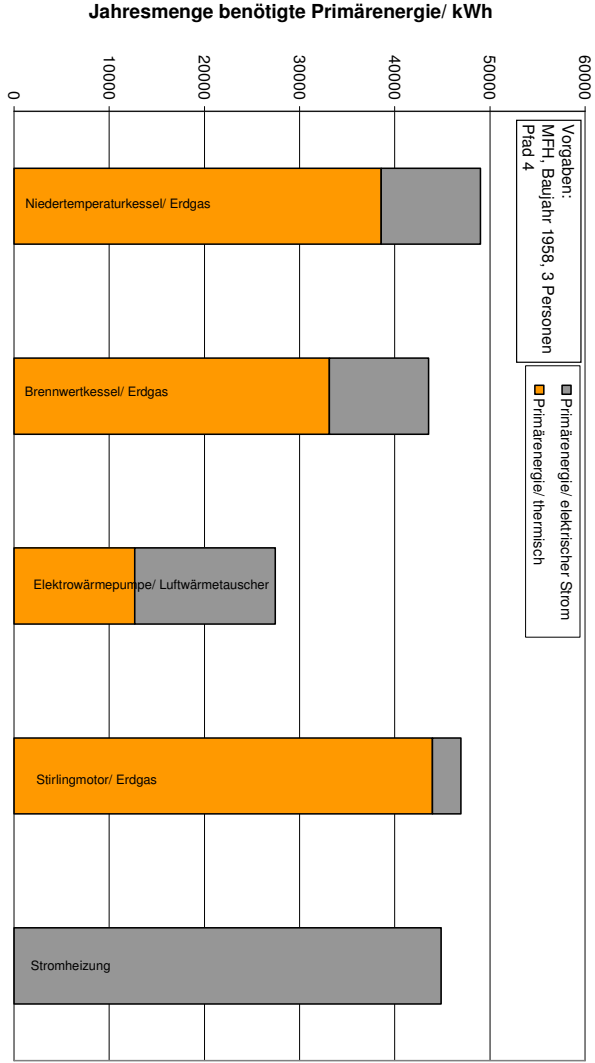
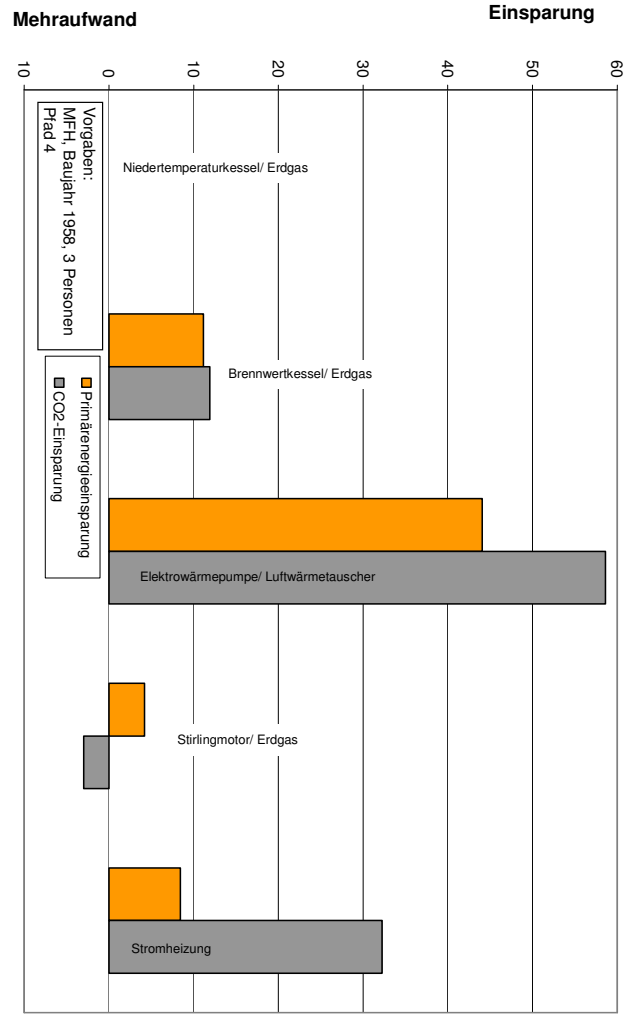
Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	15180
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWW,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	MFH 1958- P4-A1	EFH 1958- P4-A2	EFH 1958- P4-A3	EFH 1958- P4-A4	EFH 1958- P4-A5
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	P_{th}	%	48,2	48,2	48,2	48,2	48,2
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	P_{el}	%	50,4	50,4	50,4	50,4	50,4
Spezifische CO2 Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO2,th}}$	g/kWh	602,2	602,2	602,2	602,2	0
Spezifische CO2 Emissionen Strom	$f_{\text{CO2,el}}$	g/kWh	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{P,th}}$	kWh	38584	33123	12660	43948	0
Stromproduktion	$W_{\text{el,kwk}}$	kWh	0	0	0	2916	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{P,el,sub}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	-7419,03	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{P,el}}$	kWh	10417	10417	14762	10417	44881
Differenz	$E_{\text{P,el}}$	kWh	10417	10417	14762	2998	44881
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{P,ges}}$	kWh	49001	43539	27422	46946	44881
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$e_{\text{P,Nt}}$	%	0,0	11,1	44,0	4,2	8,4
Laufzeit Vollast	t_{voll}	h	0,0	0,0	1165,8	0,0	0,0
Laufzeit Teillast	t_{teil}	h	3216,7	3405,9	0,0	3101,8	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	Br_{th}	%	35,4	39,9	63,3	37,0	38,7
Brennstoffnutzungsgrad Strom	Br_{el}	%	10,7	12,1	19,1	11,2	11,7
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	Br_{ges}	%	46,2	52,0	82,5	48,2	50,4
Anlagennutzungsgrad Thermisch	N_{th}	%	72,8	81,9	112,1	65,7	76,8
Anlagennutzungsgrad Strom	N_{el}	%	22,0	24,7	54,9	23,1	23,2
Anlagennutzungsgrad Gesamt	N_{ges}	%	94,9	106,6	167,0	85,6	100,0
CO2-Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO2,th}}$	t	11,2	9,6	0,0	12,8	0,0
CO2-Emissionen Strom	$m_{\text{CO2,el}}$	t	2,1	2,1	5,5	2,1	9,0
CO2-Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO2,spar}}$	t	0,0	0,0	0,0	-1,2	0,0
Differenz			2,1	2,1	5,5	0,9	9,0
CO2-Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO2,ges}}$	t	13,3	11,7	5,5	13,7	9,0
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$e_{\text{CO2,Nt}}$	%	0,0	11,9	58,6	-3,0	32,2
Spezifische CO2-Emissionen	$f_{\text{CO2,ges}}$	g/kWh	587,5	517,4	243,2	605,0	398,1



Prozentuale Einsparungen in Bezug zum Niedertemperaturkessel/ %



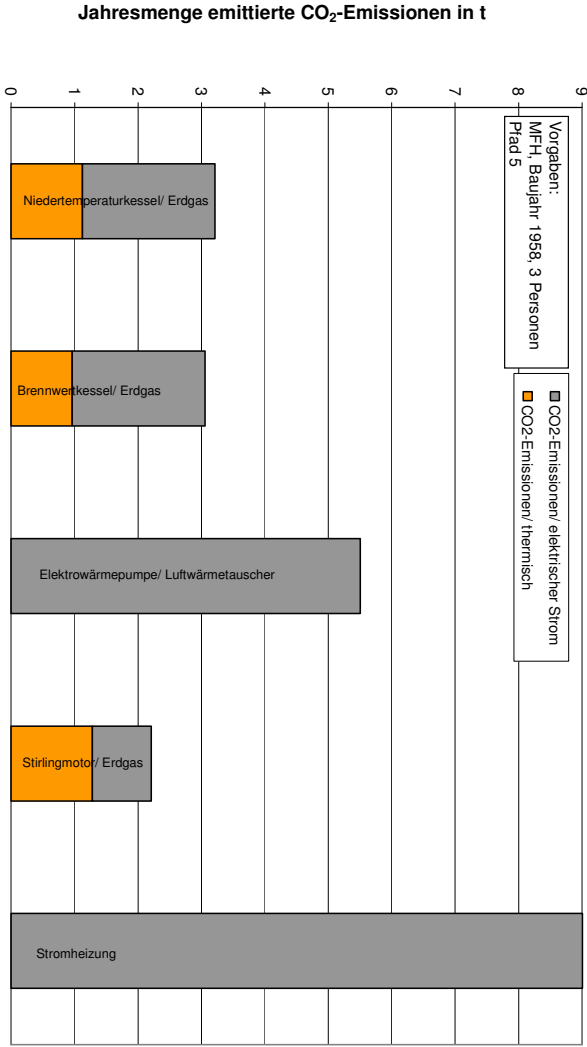
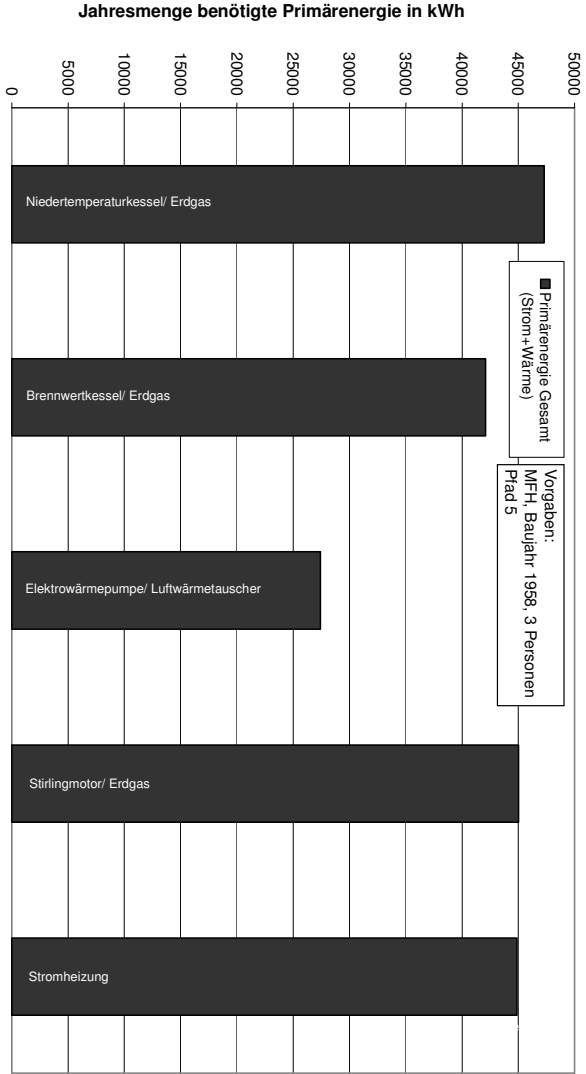
MFH 1958 Pfad 5

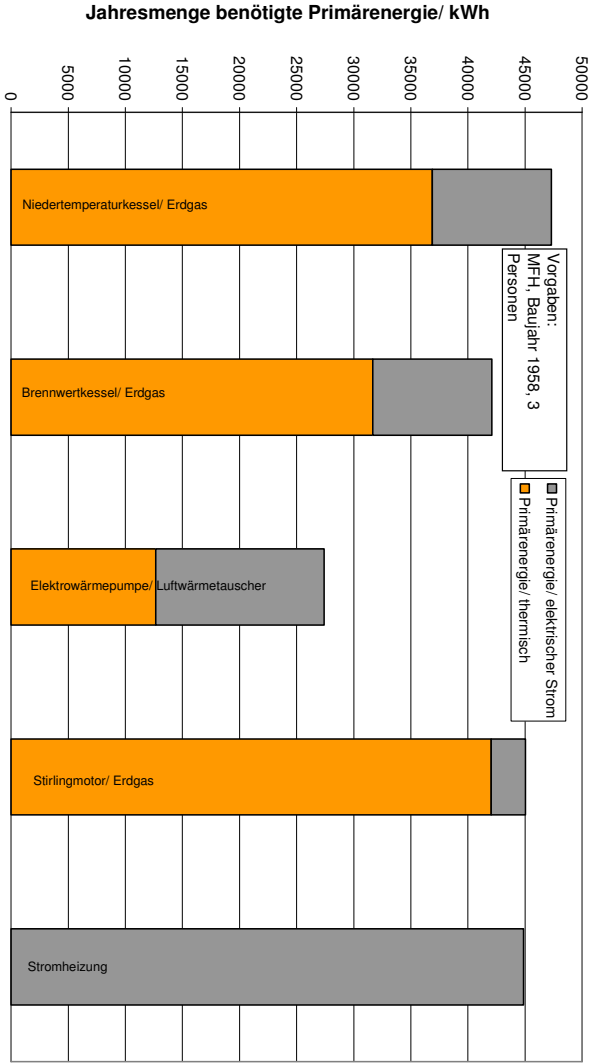
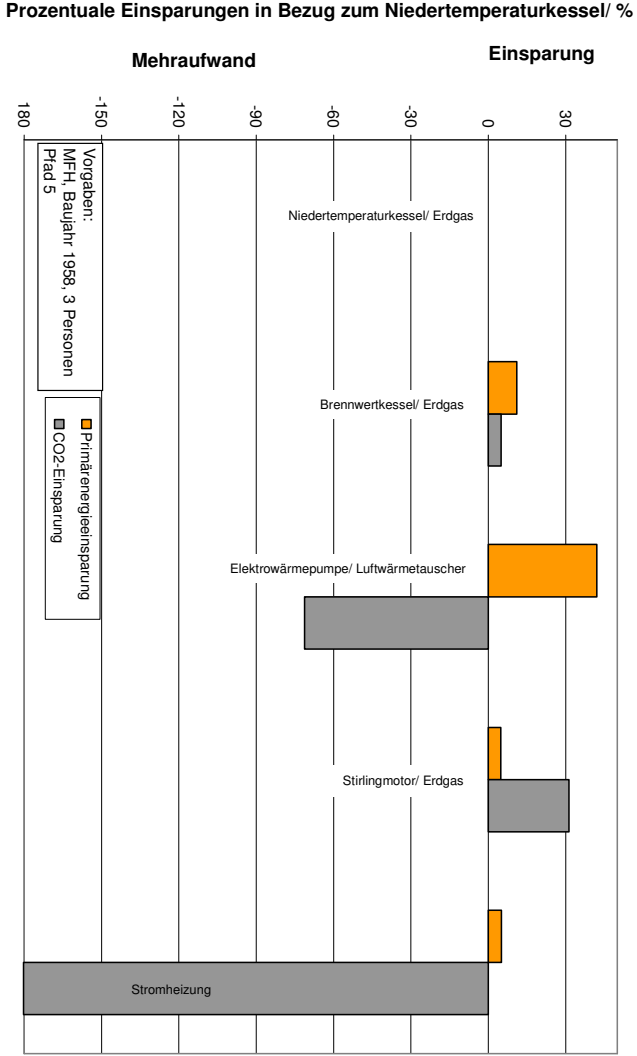
Auswertung Mehrfamilienhaus; Pfad 5:

Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	15180
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWW,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	MFH 1958- P5-A1	EFH 1958- P5-A2	EFH 1958- P5-A3	EFH 1958- P5-A4	EFH 1958- P5-A5
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	$\delta_{\text{P,th}}$	%	50,4	50,4	50,4	50,4	0
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	$\delta_{\text{P,el}}$	%	50,4	50,4	50,4	50,4	50,4
Spezifische CO2 Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO2,th}}$	g/kWh	60,4	60,4	60,4	60,4	0
Spezifische CO2 Emissionen Strom	$f_{\text{CO2,el}}$	g/kWh	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{P,th}}$	kWh	36900	31677	12660	42030	0
Stromproduktion	$W_{\text{el,kwk}}$	kWh	0	0	0	2916	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{P,el,sub}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	-7419,03	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{P,el}}$	kWh	10417	10417	14762	10417	44881
Differenz	$\delta E_{\text{P,el}}$	kWh	10417	10417	14762	2998	44881
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{P,ges}}$	kWh	47316	42093	27422	45027	44881
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$e_{\text{P,Nt}}$	%	0,0	11,0	42,0	4,8	5,1
Laufzeit Vollast	t_{voll}	h	0,0	0,0	1165,8	0,0	0,0
Laufzeit Teillast	t_{teil}	h	3216,7	3405,9	0,0	3101,8	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	$\delta_{\text{Br,th}}$	%	36,7	41,3	63,3	38,6	38,7
Brennstoffnutzungsgrad Strom	$\delta_{\text{Br,el}}$	%	11,1	12,5	19,1	11,7	11,7
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	$\delta_{\text{Br,ges}}$	%	47,8	53,7	82,5	50,2	50,4
Anlagennutzungsgrad Thermisch	$\delta_{\text{N,th}}$	%	72,8	81,9	109,8	65,7	76,8
Anlagennutzungsgrad Strom	$\delta_{\text{N,el}}$	%	22,0	24,7	53,8	23,1	23,2
Anlagennutzungsgrad Gesamt	$\delta_{\text{N,ges}}$	%	94,9	106,6	163,7	85,6	100,0
CO2-Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO2,th}}$	t	1,1	1,0	0,0	1,3	0,0
CO2-Emissionen Strom	$m_{\text{CO2,el}}$	t	2,1	2,1	5,5	2,1	9,0
CO2-Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO2,spar}}$	t	0,0	0,0	0,0	-1,2	0,0
Differenz			2,1	2,1	5,5	0,9	9,0
CO2-Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO2,ges}}$	t	3,2	3,1	5,5	2,2	9,0
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$e_{\text{CO2,Nt}}$	%	0,0	4,9	-71,2	31,3	-180,2
Spezifische CO2-Emissionen	$f_{\text{CO2,ges}}$	g/kWh	142,1	135,0	243,2	97,6	398,1





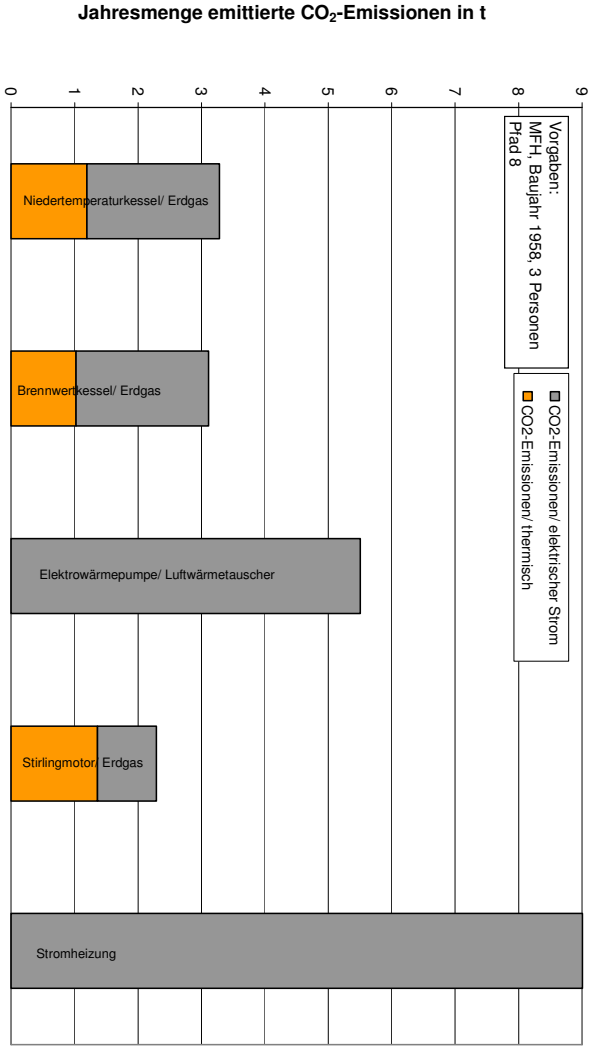
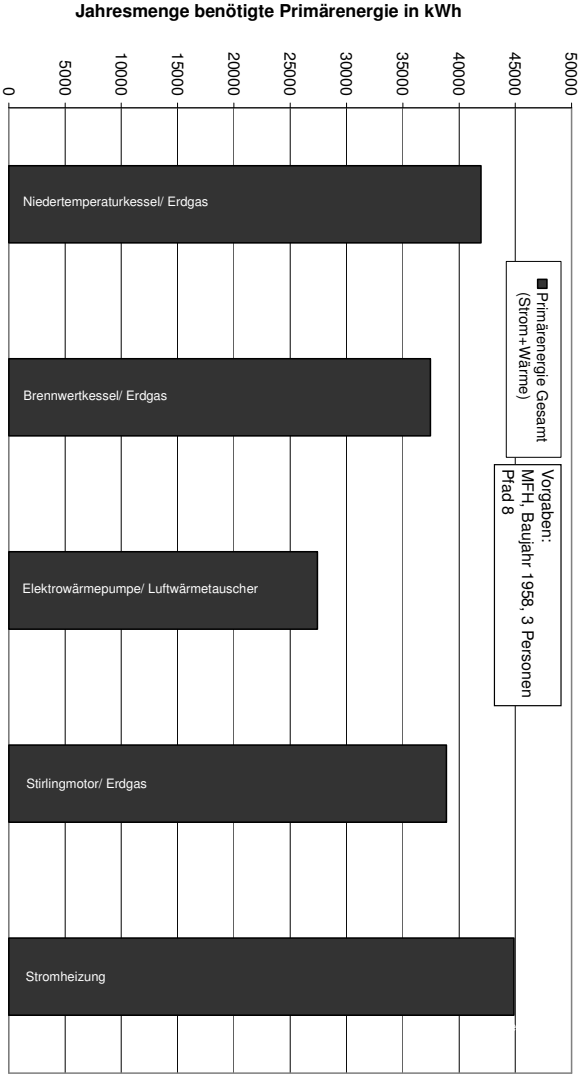
MFH 1958 Pfad 8

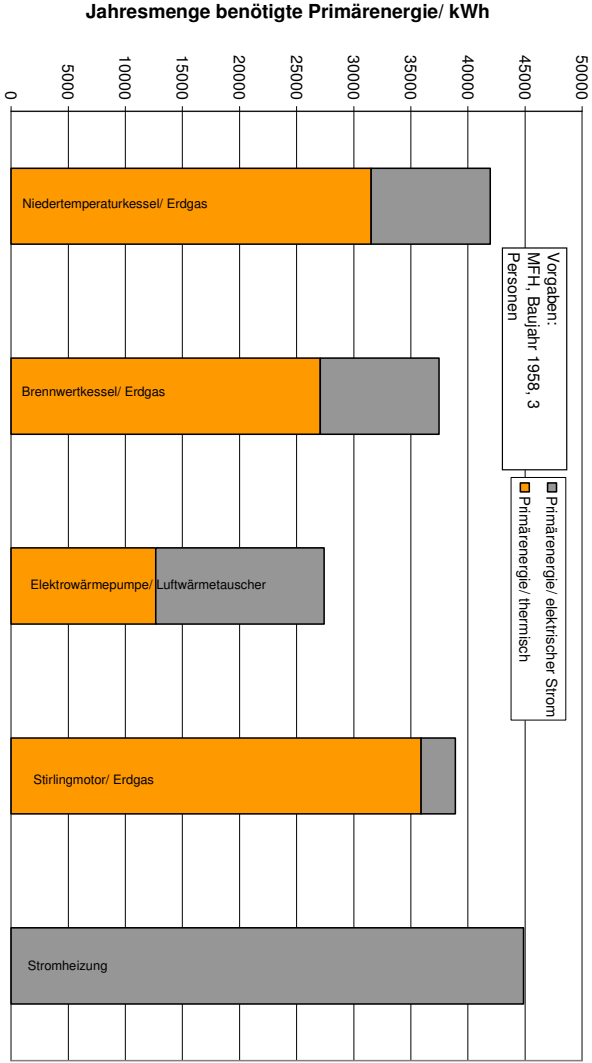
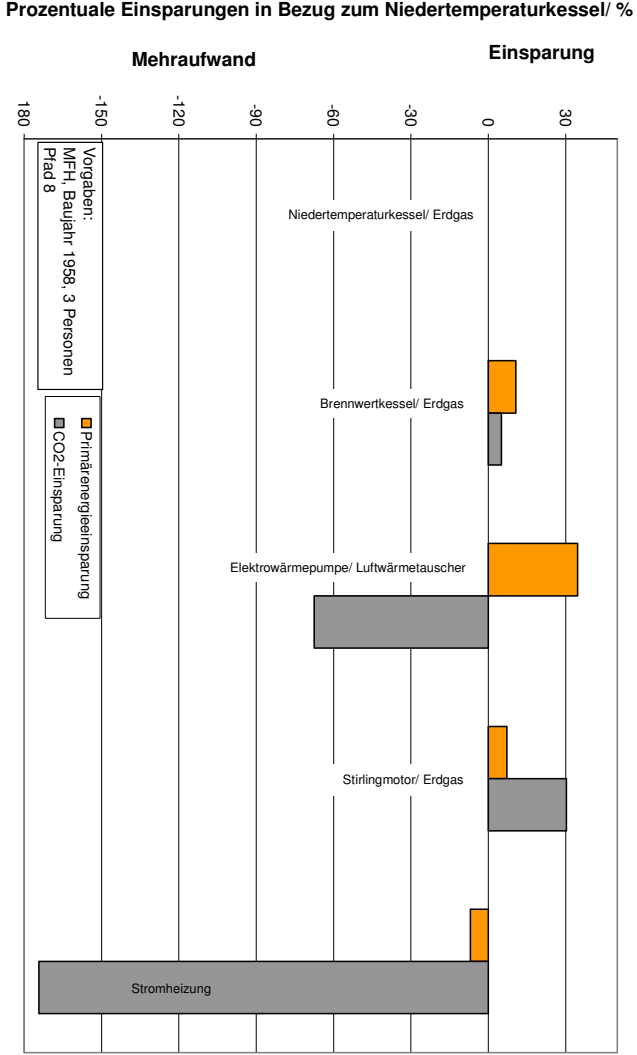
Auswertung Mehrfamilienhaus; Pfad 8:

Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	15180
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWW,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	MFH 1958- P8-A1	EFH 1958- P8-A2	EFH 1958- P8-A3	EFH 1958- P8-A4	EFH 1958- P8-A5
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	$\phi_{\text{P,th}}$	%	59	59	59	59	0
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	$\phi_{\text{P,el}}$	%	50,4	50,4	50,4	50,4	50,4
Spezifische CO2 Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO2,th}}$	g/kWh	64,2	64,2	64,2	64,2	0
Spezifische CO2 Emissionen Strom	$f_{\text{CO2,el}}$	g/kWh	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{P,th}}$	kWh	31521	27059	12660	35903	0
Stromproduktion	$W_{\text{el,kwk}}$	kWh	0	0	0	2916	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{P,el,sub}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	-7419,03	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{P,el}}$	kWh	10417	10417	14762	10417	44881
Differenz	$\phi E_{\text{P,el}}$	kWh	10417	10417	14762	2998	44881
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{P,ges}}$	kWh	41938	37476	27422	38901	44881
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$e_{\text{P,Nt}}$	%	0,0	10,6	34,6	7,2	-7,0
Laufzeit Vollast	t_{Voll}	h	0,0	0,0	1165,8	0,0	0,0
Laufzeit Teillast	t_{teil}	h	3216,7	3405,9	0,0	3101,8	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	$\phi_{\text{Br,th}}$	%	41,4	46,3	63,3	44,7	38,7
Brennstoffnutzungsgrad Strom	$\phi_{\text{Br,el}}$	%	12,5	14,0	19,1	13,5	11,7
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	$\phi_{\text{Br,ges}}$	%	53,9	60,4	82,5	58,1	50,4
Anlagennutzungsgrad Thermisch	$\phi_{\text{N,th}}$	%	72,8	81,9	101,8	65,7	76,8
Anlagennutzungsgrad Strom	$\phi_{\text{N,el}}$	%	22,0	24,7	49,9	23,1	23,2
Anlagennutzungsgrad Gesamt	$\phi_{\text{N,ges}}$	%	94,9	106,6	151,7	85,6	100,0
CO2-Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO2,th}}$	t	1,2	1,0	0,0	1,4	0,0
CO2-Emissionen Strom	$m_{\text{CO2,el}}$	t	2,1	2,1	5,5	2,1	9,0
CO2-Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO2,spar}}$	t	0,0	0,0	0,0	-1,2	0,0
Differenz			2,1	2,1	5,5	0,9	9,0
CO2-Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO2,ges}}$	t	3,3	3,1	5,5	2,3	9,0
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$e_{\text{CO2,Nt}}$	%	0,0	5,1	-67,5	30,3	-174,2
Spezifische CO2-Emissionen	$f_{\text{CO2,ges}}$	g/kWh	145,2	137,7	243,2	101,2	398,1





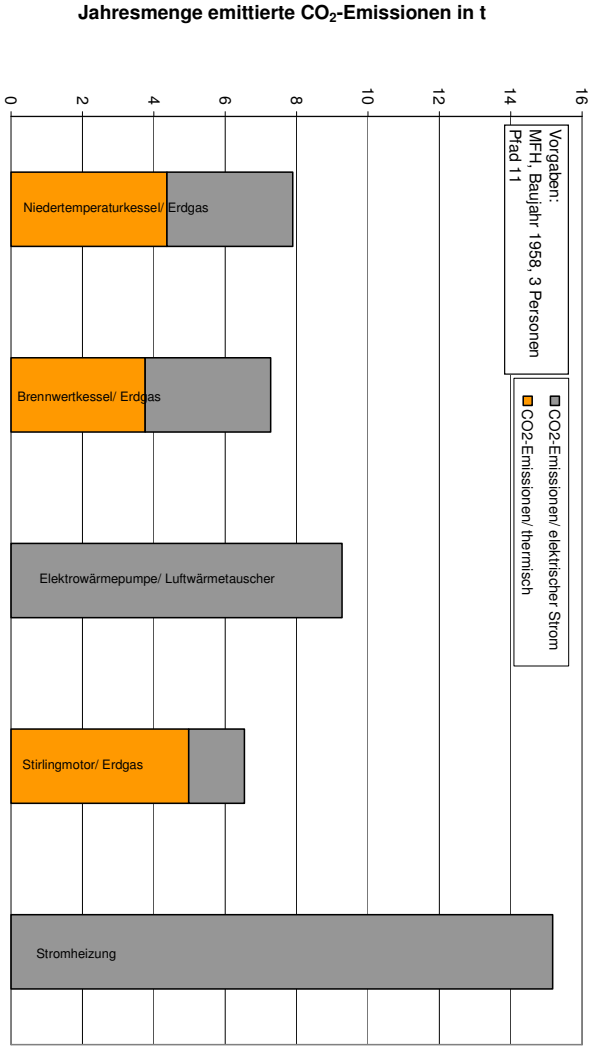
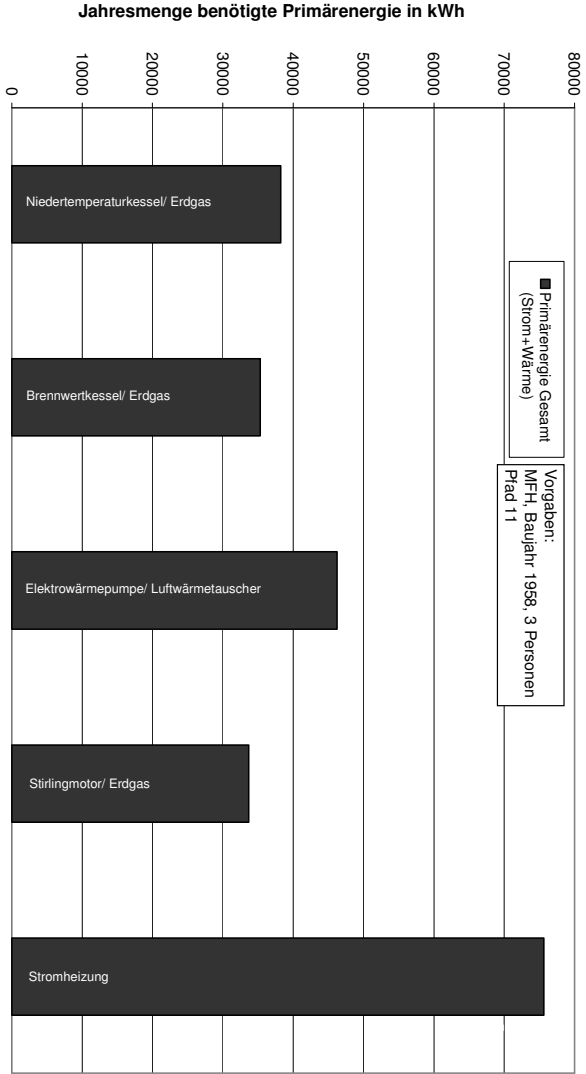
MFH 1958 Pfad 11

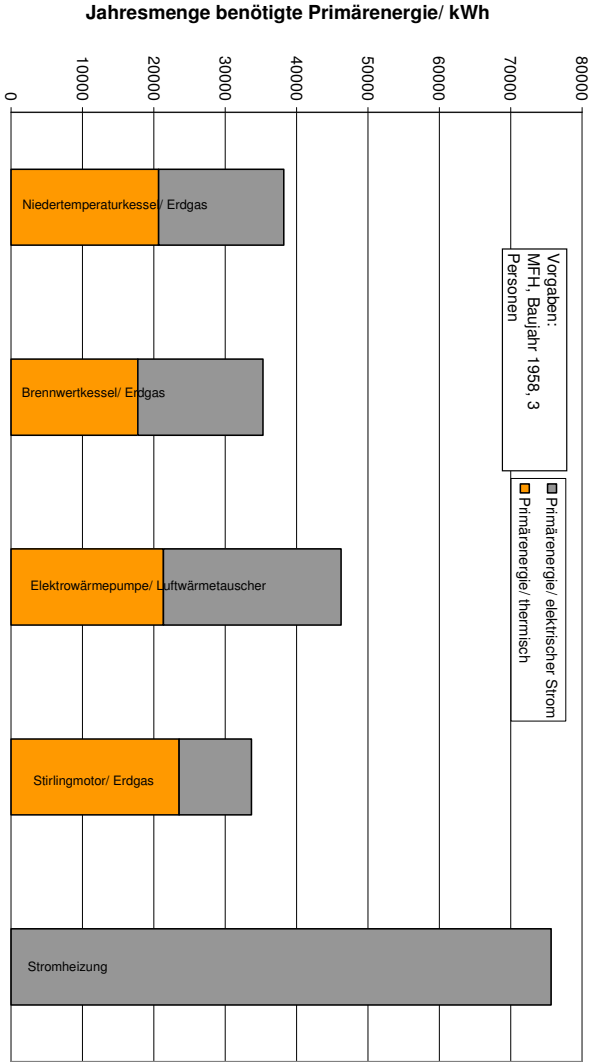
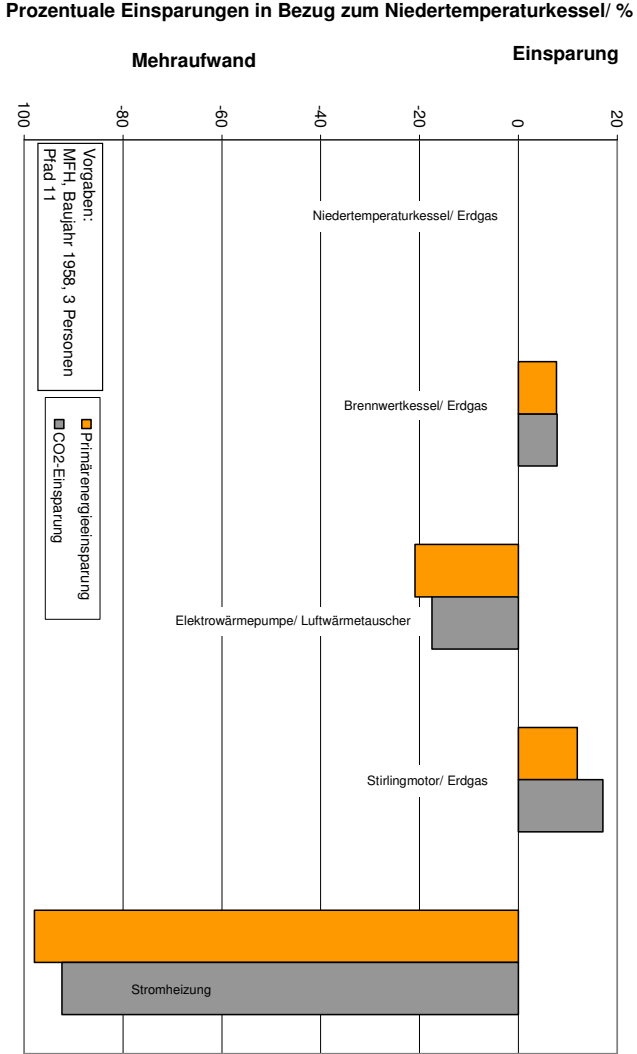
Auswertung Mehrfamilienhaus; Pfad 11:

Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	15180
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWW,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	MFH 1958- P11-A1	EFH 1958- P11-A2	EFH 1958- P11-A3	EFH 1958- P11-A4	EFH 1958- P11-A5
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	$\epsilon_{\text{P,th}}$	%	90	90	90	90	100
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	$\epsilon_{\text{P,el}}$	%	29,9	29,9	29,9	29,9	29,9
Spezifische CO2 Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO2,th}}$	g/kWh	234,9	234,9	234,9	234,9	0
Spezifische CO2 Emissionen Strom	$f_{\text{CO2,el}}$	g/kWh	671	671	671	671	671
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{P,th}}$	kWh	20664	17739	21340	23537	0
Stromproduktion	$W_{\text{el,kwk}}$	kWh	0	0	0	2916	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{P,el,sub}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	-7419,03	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{P,el}}$	kWh	17559	17559	24883	17559	75652
Differenz	$\epsilon E_{\text{P,el}}$	kWh	17559	17559	24883	10140	75652
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{P,ges}}$	kWh	38222	35298	46223	33676	75652
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$e_{\text{P,Nt}}$	%	0,0	7,7	-20,9	11,9	-97,9
Laufzeit Vollast	t_{Voll}	h	0,0	0,0	1165,8	0,0	0,0
Laufzeit Teillast	t_{teil}	h	3216,7	3405,9	0,0	3101,8	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	$\epsilon_{\text{Br,th}}$	%	45,4	49,2	37,6	51,6	23,0
Brennstoffnutzungsgrad Strom	$\epsilon_{\text{Br,el}}$	%	13,7	14,9	11,4	15,6	6,9
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	$\epsilon_{\text{Br,ges}}$	%	59,2	64,1	48,9	67,2	29,9
Anlagennutzungsgrad Thermisch	$\epsilon_{\text{N,th}}$	%	72,8	81,9	57,0	65,7	76,8
Anlagennutzungsgrad Strom	$\epsilon_{\text{N,el}}$	%	22,0	24,7	27,9	21,7	23,2
Anlagennutzungsgrad Gesamt	$\epsilon_{\text{N,ges}}$	%	94,9	106,6	84,9	85,6	100,0
CO2-Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO2,th}}$	t	4,4	3,8	0,0	5,0	0,0
CO2-Emissionen Strom	$m_{\text{CO2,el}}$	t	3,5	3,5	9,3	3,5	15,2
CO2-Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO2,spar}}$	t	0,0	0,0	0,0	-2,0	0,0
Differenz			3,5	3,5	9,3	1,6	15,2
CO2-Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO2,ges}}$	t	7,9	7,3	9,3	6,5	15,2
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$e_{\text{CO2,Nt}}$	%	0,0	7,8	-17,5	17,1	-92,3
Spezifische CO2-Emissionen	$f_{\text{CO2,ges}}$	g/kWh	348,9	321,5	410,0	289,2	671,0





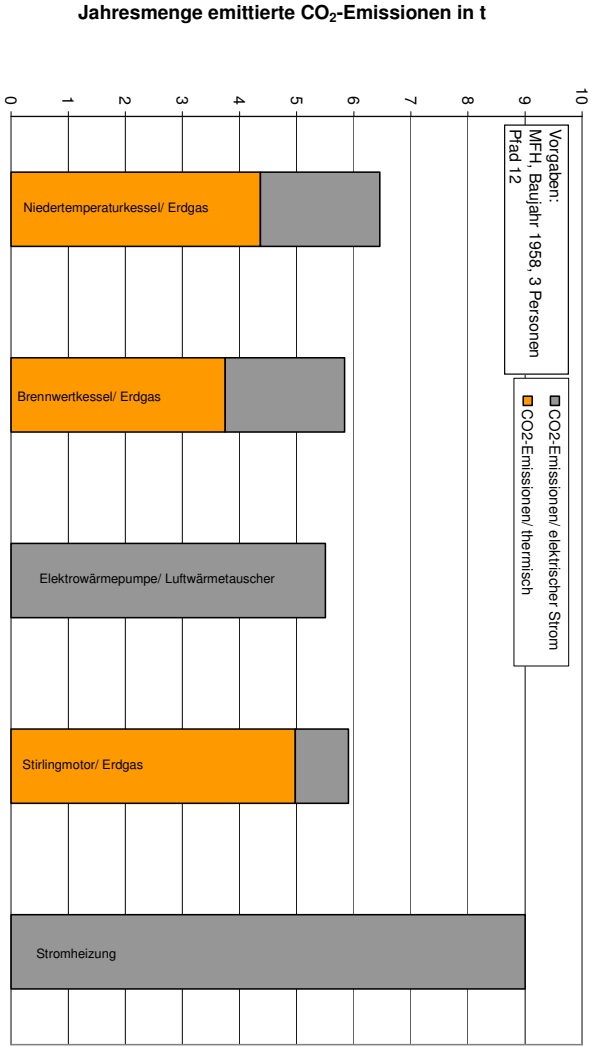
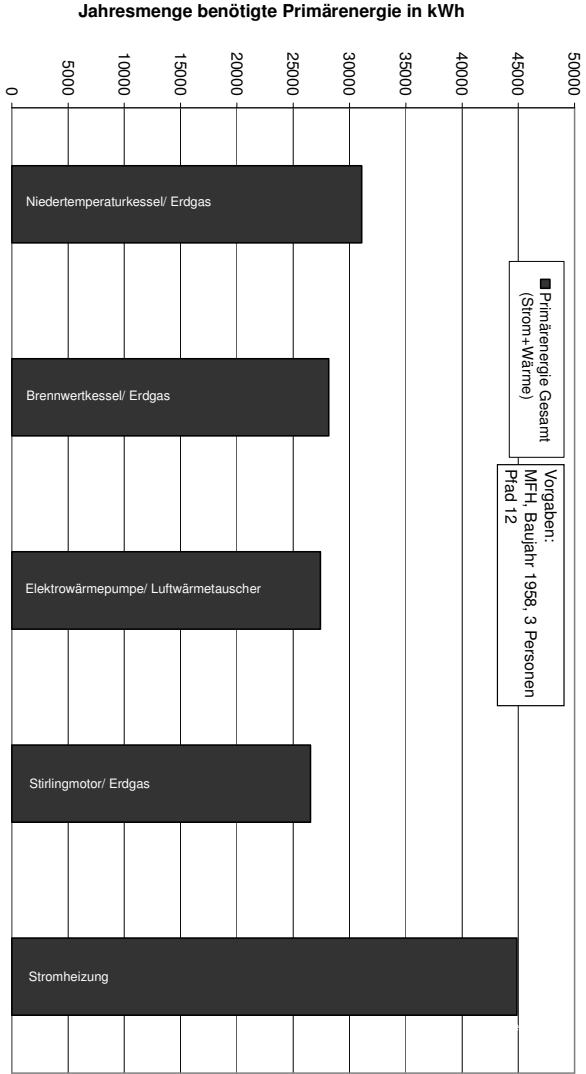
MFH 1958 Pfad 12

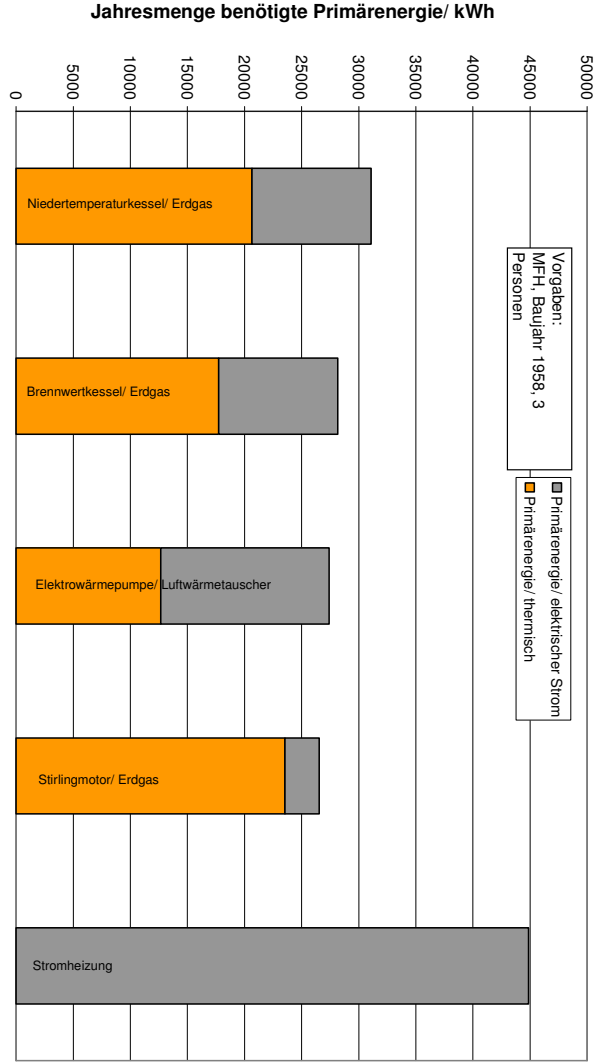
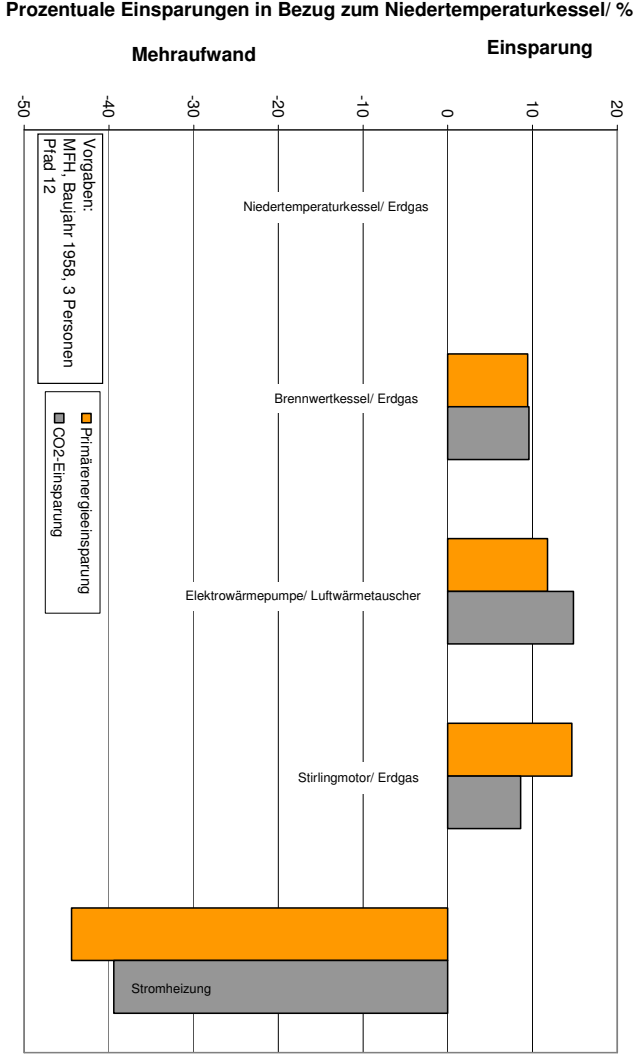
Auswertung Mehrfamilienhaus; Pfad 12:

Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	15180
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWW,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	MFH 1958- P12-A1	EFH 1958- P12-A2	EFH 1958- P12-A3	EFH 1958- P12-A4	EFH 1958- P12-A5
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	P_{th}	%	90	90	90	90	100
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	P_{el}	%	50,4	50,4	50,4	50,4	50,4
Spezifische CO2 Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO2,th}}$	g/kWh	234,9	234,9	234,9	234,9	0
Spezifische CO2 Emissionen Strom	$f_{\text{CO2,el}}$	g/kWh	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{P,th}}$	kWh	20664	17739	12660	23537	0
Stromproduktion	$W_{\text{el,kwk}}$	kWh	0	0	0	2916	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{P,el,sub}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	-7419,03	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{P,el}}$	kWh	10417	10417	14762	10417	44881
Differenz	$E_{\text{P,el}}$	kWh	10417	10417	14762	2998	44881
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{P,ges}}$	kWh	31081	28156	27422	26534	44881
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$e_{\text{P,Nt}}$	%	0,0	9,4	11,8	14,6	-44,4
Laufzeit Vollast	t_{voll}	h	0,0	0,0	1165,8	0,0	0,0
Laufzeit Teillast	t_{teil}	h	3216,7	3405,9	0,0	3101,8	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	Br_{th}	%	55,9	61,7	63,3	65,5	38,7
Brennstoffnutzungsgrad Strom	Br_{el}	%	16,9	18,6	19,1	19,8	11,7
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	Br_{ges}	%	72,8	80,3	82,5	85,2	50,4
Anlagennutzungsgrad Thermisch	N_{th}	%	72,8	81,9	80,6	65,7	76,8
Anlagennutzungsgrad Strom	N_{el}	%	22,0	24,7	39,5	23,1	23,2
Anlagennutzungsgrad Gesamt	N_{ges}	%	94,9	106,6	120,1	85,6	100,0
CO2-Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO2,th}}$	t	4,4	3,8	0,0	5,0	0,0
CO2-Emissionen Strom	$m_{\text{CO2,el}}$	t	2,1	2,1	5,5	2,1	9,0
CO2-Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO2,spar}}$	t	0,0	0,0	0,0	-1,2	0,0
Differenz			2,1	2,1	5,5	0,9	9,0
CO2-Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO2,ges}}$	t	6,5	5,8	5,5	5,9	9,0
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$e_{\text{CO2,Nt}}$	%	0,0	9,6	14,8	8,6	-39,4
Spezifische CO2-Emissionen	$f_{\text{CO2,ges}}$	g/kWh	285,5	258,2	243,2	261,1	398,1





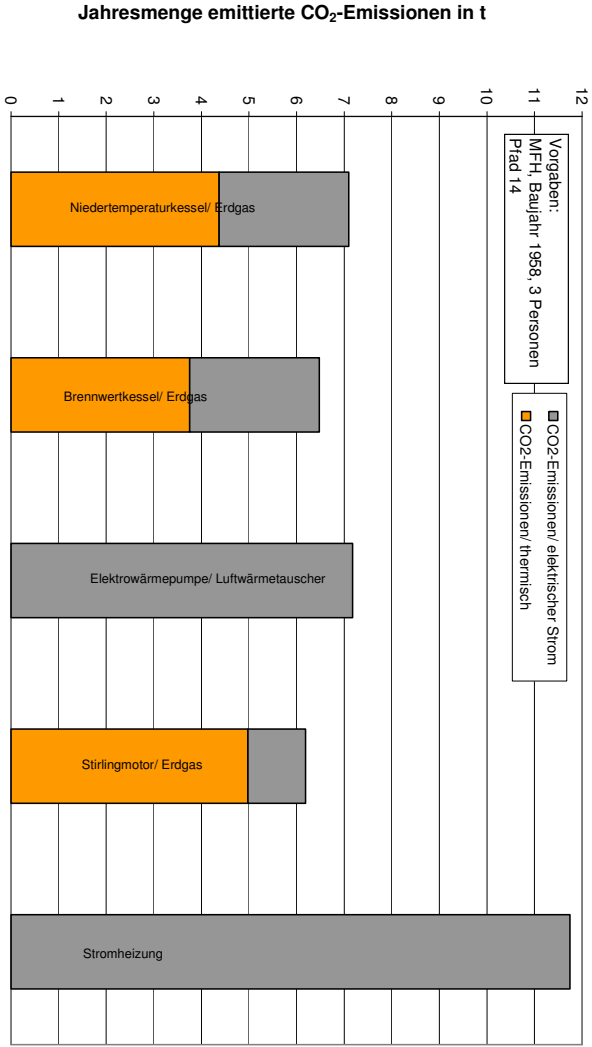
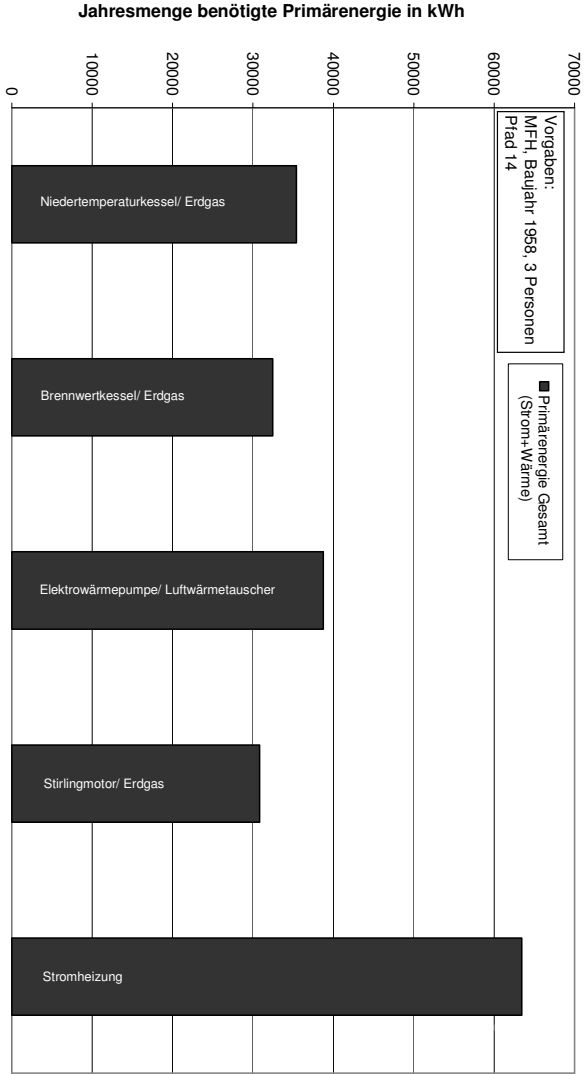
MFH 1958 Pfad 14

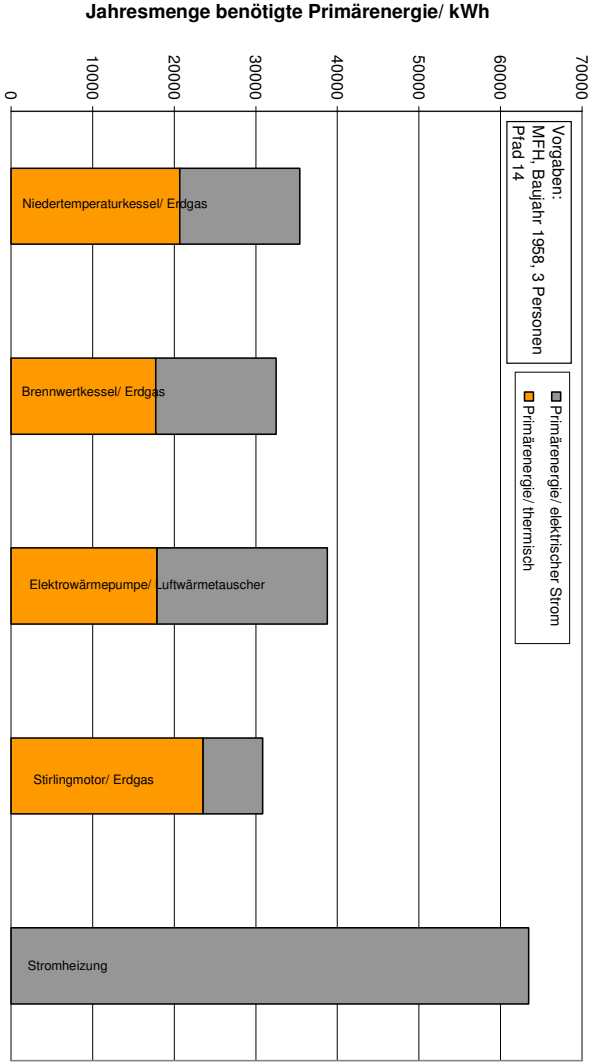
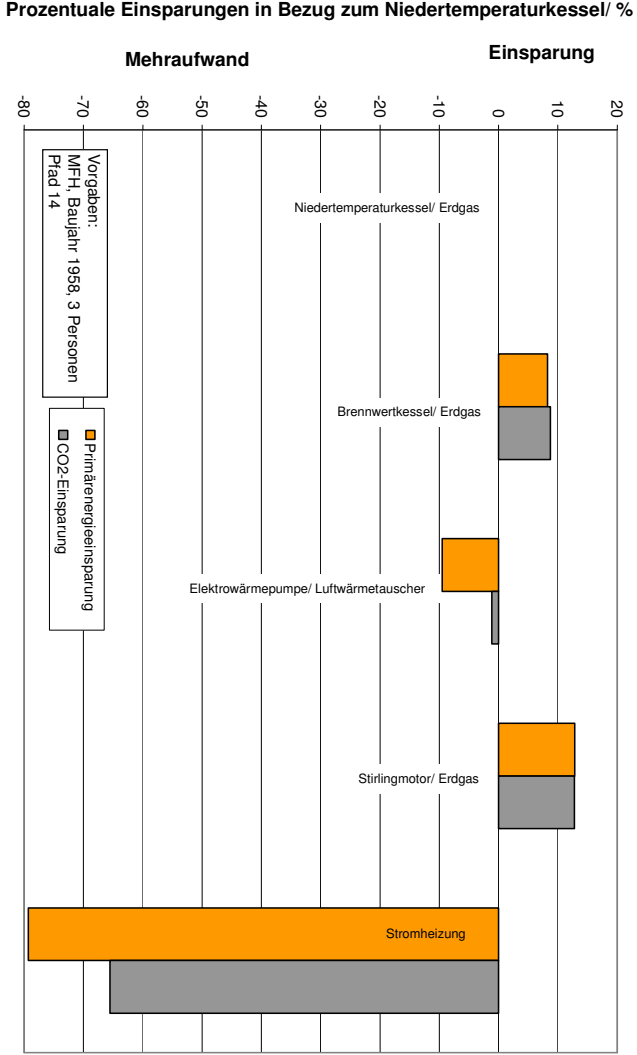
Auswertung Mehrfamilienhaus 1958; Pfad 14:

Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	15180
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWW,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	MFH 1958- P14-A1	MFH 1958- P14-A2	MFH 1958- P14-A3	MFH 1958- P14-A4	MFH 1958- P14-A5
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	P_{th}	%	90	90	90	90	100
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	P_{el}	%	35,65	35,65	35,65	35,65	35,65
Spezifische CO2 Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO}_2,\text{th}}$	g/kWh	234,9	234,9	234,9	234,9	0
Spezifische CO2 Emissionen Strom	$f_{\text{CO}_2,\text{el}}$	g/kWh	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{P,th}}$	kWh	20664	17739	17898	23537	0
Stromproduktion	$W_{\text{el,kwk}}$	kWh	0	0	0	2916	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{P,el,sub}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	-7419,03	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{P,el}}$	kWh	14727	14727	20870	14727	63450
Differenz	$E_{\text{P,el}}$	kWh	14727	14727	20870	7307	63450
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{P,ges}}$	kWh	35390	32466	38767	30844	63450
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$e_{\text{P,Nt}}$	%	0,0	8,3	-9,5	12,8	-79,3
Laufzeit Vollast	t_{Voll}	h	0,0	0,0	1165,8	0,0	0,0
Laufzeit Teillast	t_{teil}	h	3216,7	3405,9	0,0	3101,8	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	Br_{th}	%	49,1	53,5	44,8	56,3	27,4
Brennstoffnutzungsgrad Strom	Br_{el}	%	14,8	16,2	13,5	17,0	8,3
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	Br_{ges}	%	63,9	69,7	58,3	73,3	35,6
Anlagennutzungsgrad Thermisch	N_{th}	%	72,8	81,9	64,5	65,7	76,8
Anlagennutzungsgrad Strom	N_{el}	%	22,0	24,7	31,6	22,1	23,2
Anlagennutzungsgrad Gesamt	N_{ges}	%	94,9	106,6	96,1	85,6	100,0
CO2-Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO}_2,\text{th}}$	t	4,4	3,8	0,0	5,0	0,0
CO2-Emissionen Strom	$m_{\text{CO}_2,\text{el}}$	t	2,7	2,7	7,2	2,7	11,7
CO2-Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO}_2,\text{spar}}$	t	0,0	0,0	0,0	-1,5	0,0
Differenz			2,7	2,7	7,2	1,2	11,7
CO2-Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	t	7,1	6,5	7,2	6,2	11,7
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$e_{\text{CO}_2,\text{Nt}}$	%	0,0	8,7	-1,1	12,8	-65,5
Spezifische CO2-Emissionen	$f_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	g/kWh	313,6	286,3	317,2	273,6	519,2





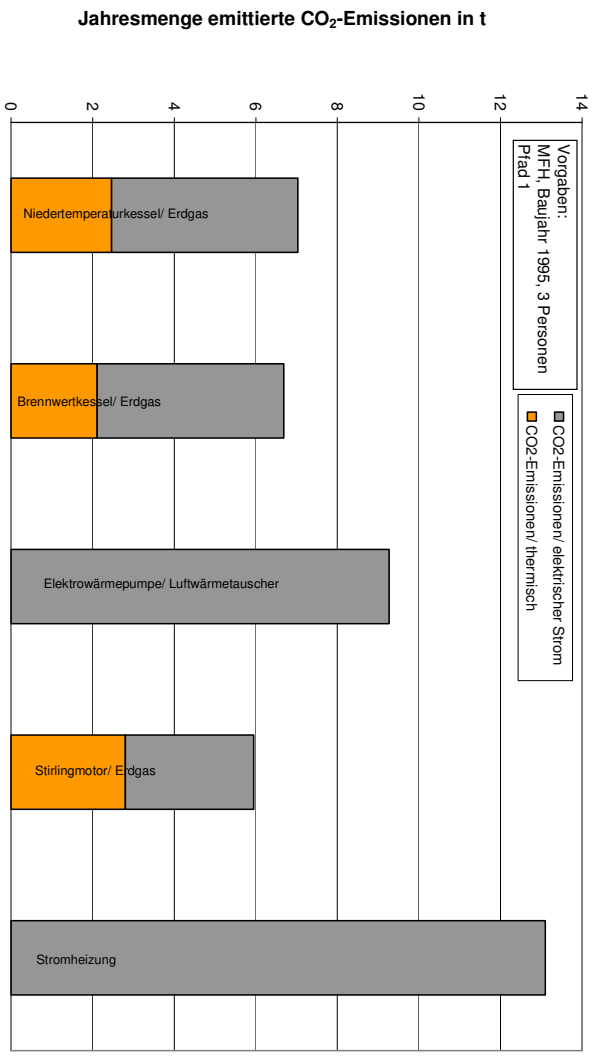
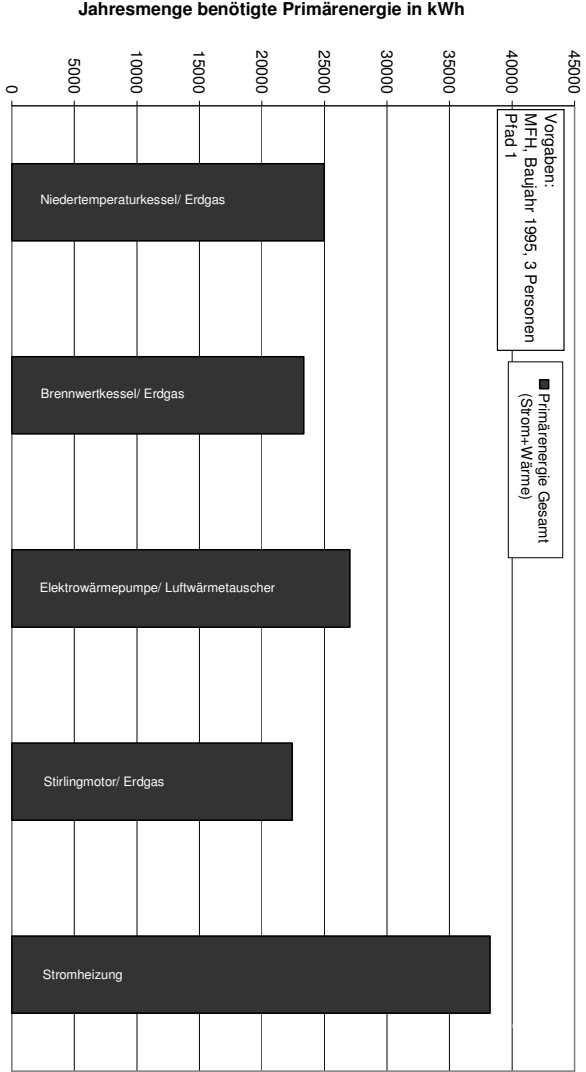
MFH 1995 Pfad 1

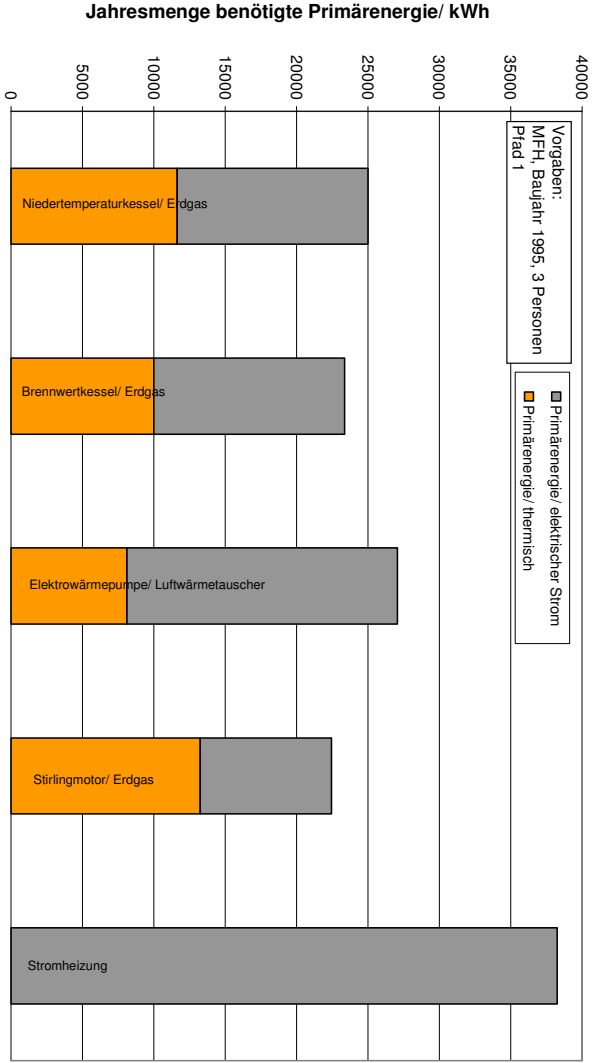
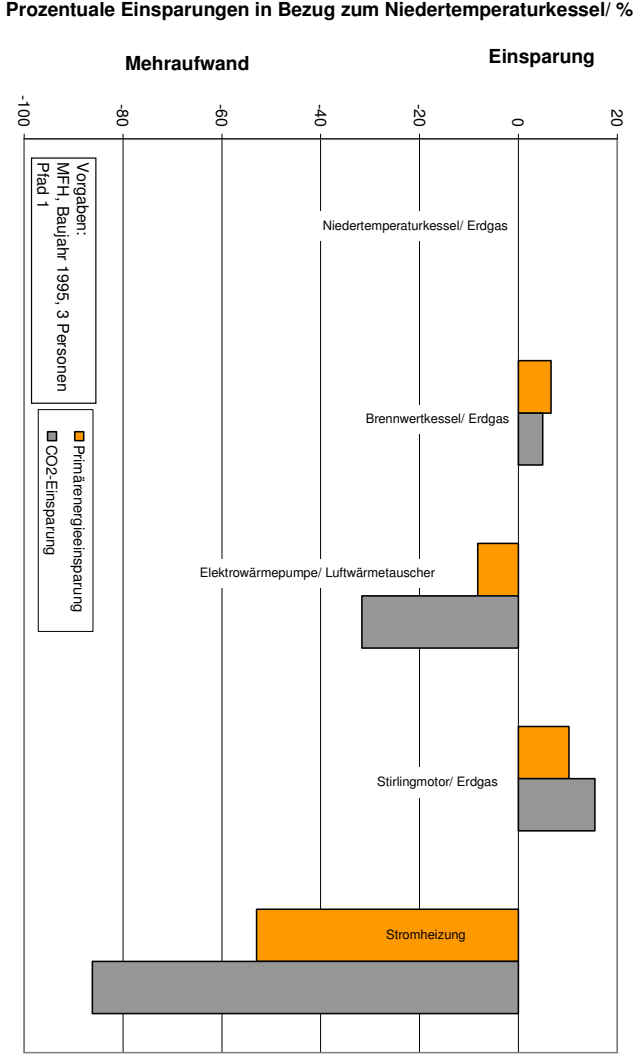
Auswertung Mehrfamilienhaus 1995; Pfad 1:

Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	7590
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWW,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	MFH 1995- P1-A1	MFH 1995- P1-A2	MFH 1995- P1-A3	MFH 1995- P1-A4	MFH 1995- P1-A5
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	$\epsilon_{\text{P,th}}$	%	90	90	90	90	90
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	$\epsilon_{\text{P,el}}$	%	39,3	39,3	39,3	39,3	39,3
Spezifische CO2 Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO2,th}}$	g/kWh	234,9	234,9	234,9	234,9	0
Spezifische CO2 Emissionen Strom	$f_{\text{CO2,el}}$	g/kWh	871,5	871,5	871,5	871,5	871,5
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{P,th}}$	kWh	11635	9988	8118	13252	0
Stromproduktion	$W_{\text{el,kwk}}$	kWh	0	0	0	1642	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{P,el,sub}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	-4177,21	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{P,el}}$	kWh	13359	13359	18931	13359	38244
Differenz	$\epsilon E_{\text{P,el}}$	kWh	13359	13359	18931	9182	38244
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{P,ges}}$	kWh	24993	23347	27049	22434	38244
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$e_{\text{P,Nt}}$	%	0,0	6,6	-8,2	10,2	-53,0
Laufzeit Vollast	t_{Voll}	h	0,0	0,0	582,9	0,0	0,0
Laufzeit Teillast	t_{teil}	h	1811,1	1917,6	0,0	1746,4	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	$\epsilon_{\text{Br,th}}$	%	39,1	41,9	36,2	43,6	25,6
Brennstoffnutzungsgrad Strom	$\epsilon_{\text{Br,el}}$	%	21,0	22,5	19,4	23,4	13,7
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	$\epsilon_{\text{Br,ges}}$	%	60,1	64,4	55,6	67,0	39,3
Anlagennutzungsgrad Thermisch	$\epsilon_{\text{N,th}}$	%	62,2	68,7	51,5	56,9	65,1
Anlagennutzungsgrad Strom	$\epsilon_{\text{N,el}}$	%	33,4	36,9	50,5	33,8	34,9
Anlagennutzungsgrad Gesamt	$\epsilon_{\text{N,ges}}$	%	95,6	105,6	101,9	87,5	100,0
CO2-Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO2,th}}$	t	2,5	2,1	0,0	2,8	0,0
CO2-Emissionen Strom	$m_{\text{CO2,el}}$	t	4,6	4,6	9,3	4,6	13,1
CO2-Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO2,spar}}$	t	0,0	0,0	0,0	-1,4	0,0
Differenz			4,6	4,6	9,3	3,1	13,1
CO2-Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO2,ges}}$	t	7,0	6,7	9,3	5,9	13,1
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$e_{\text{CO2,Nt}}$	%	0,0	4,9	-31,7	15,5	-86,2
Spezifische CO2-Emissionen	$f_{\text{CO2,ges}}$	g/kWh	468,1	444,9	616,4	395,6	871,5





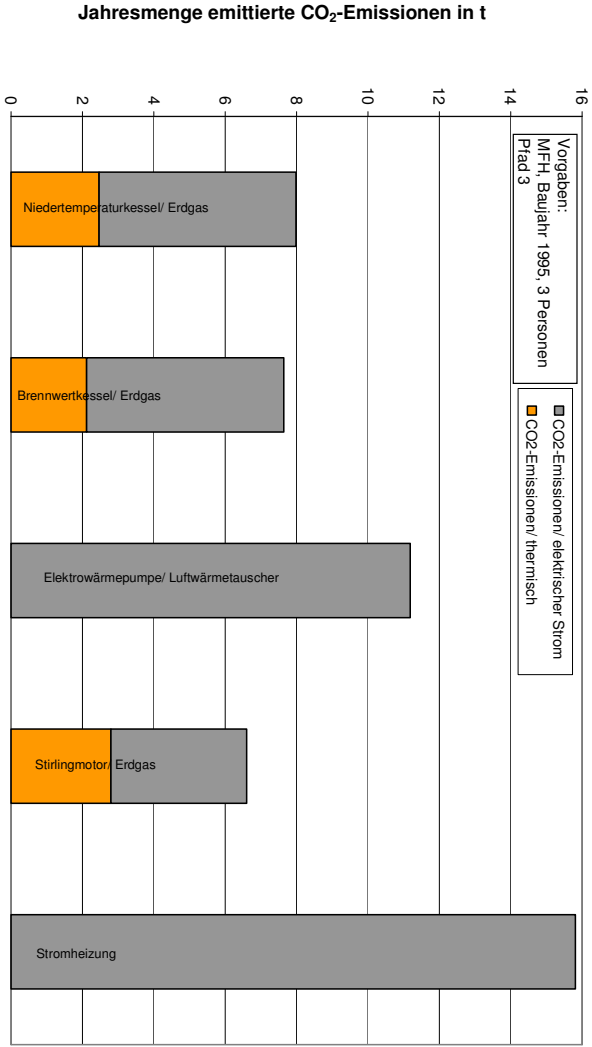
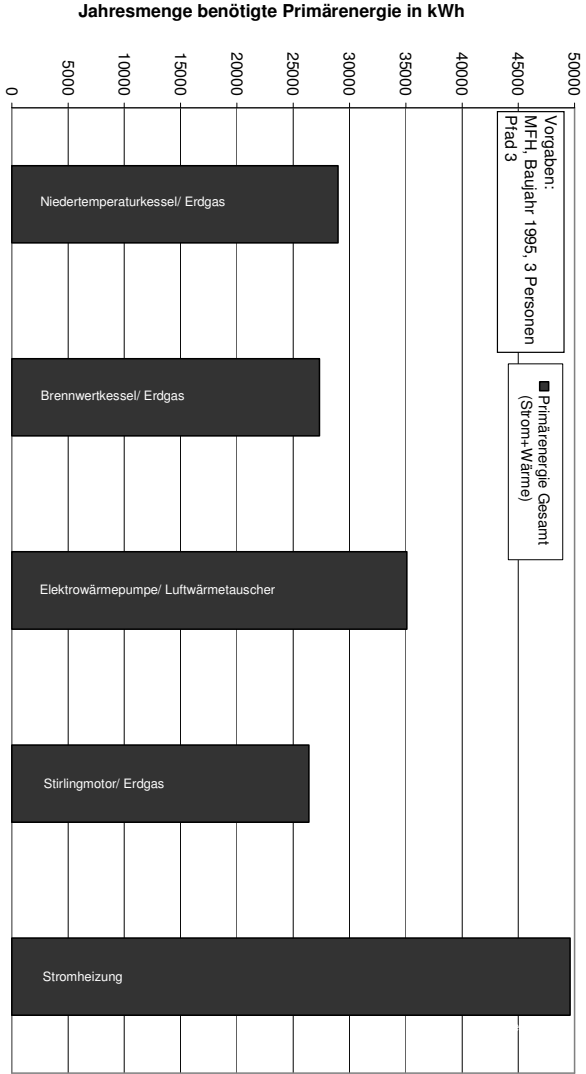
MFH 1995 Pfad 3

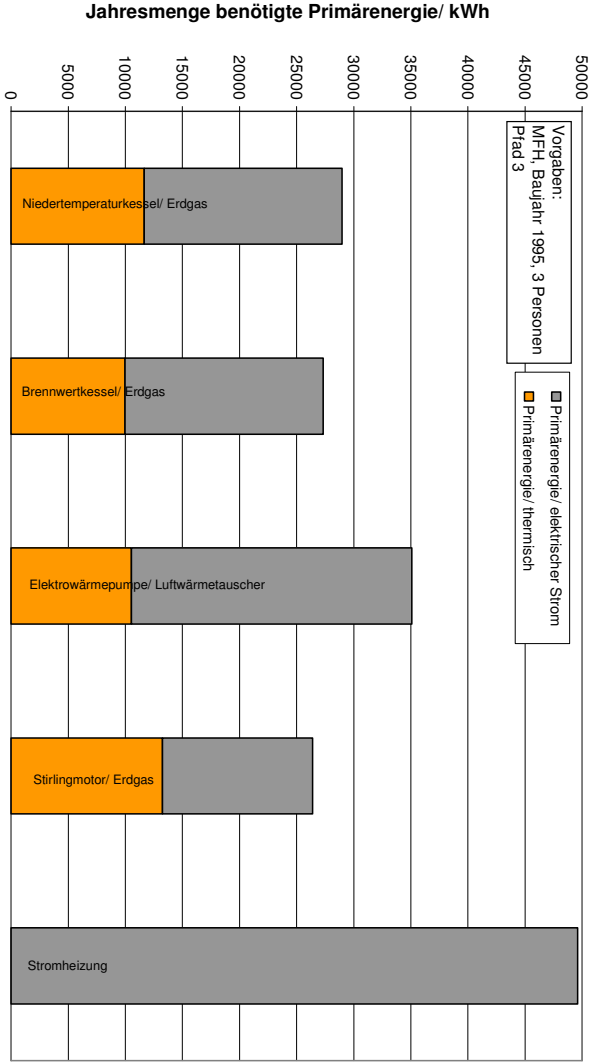
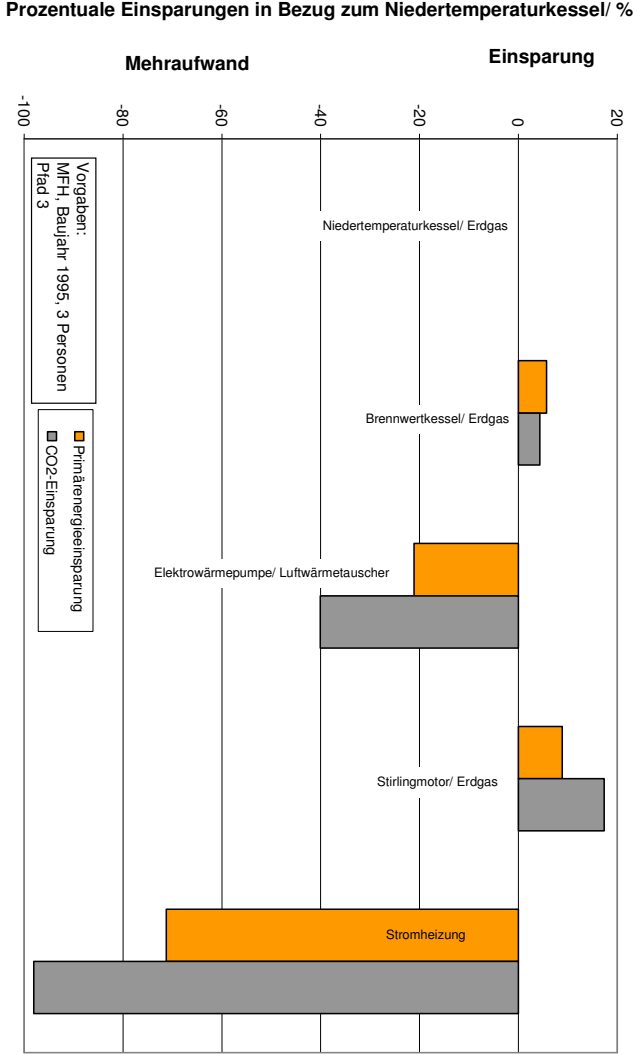
Auswertung Mehrfamilienhaus 1995; Pfad 3:

Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	7590
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWW,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	MFH 1995- P3-A1	MFH 1995- P3-A2	MFH 1995- P3-A3	MFH 1995- P3-A4	MFH 1995- P3-A5
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	$\eta_{\text{P,th}}$	%	90	90	90	90	90
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	$\eta_{\text{P,el}}$	%	30,3	30,3	30,3	30,3	30,3
Spezifische CO2 Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO2,th}}$	g/kWh	234,9	234,9	234,9	234,9	0
Spezifische CO2 Emissionen Strom	$f_{\text{CO2,el}}$	g/kWh	1052,3	1052,3	1052,3	1052,3	1052,3
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{P,th}}$	kWh	11635	9988	10529	13252	0
Stromproduktion	$W_{\text{el,kwk}}$	kWh	0	0	0	1642	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{P,el,sub}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	-4177,21	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{P,el}}$	kWh	17327	17327	24554	17327	49604
Differenz	$\Delta E_{\text{P,el}}$	kWh	17327	17327	24554	13150	49604
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{P,ges}}$	kWh	28961	27315	35083	26402	49604
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$e_{\text{P,Nt}}$	%	0,0	5,7	-21,1	8,8	-71,3
Laufzeit Vollast	t_{Voll}	h	0,0	0,0	582,9	0,0	0,0
Laufzeit Teillast	t_{teil}	h	1811,1	1917,6	0,0	1746,4	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{Br,th}}$	%	33,8	35,8	27,9	37,0	19,7
Brennstoffnutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{Br,el}}$	%	18,1	19,2	15,0	19,9	10,6
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{Br,ges}}$	%	51,9	55,0	42,8	56,9	30,3
Anlagennutzungsgrad Thermisch	$\eta_{\text{N,th}}$	%	62,2	68,7	44,9	56,9	65,1
Anlagennutzungsgrad Strom	$\eta_{\text{N,el}}$	%	33,4	36,9	44,0	33,0	34,9
Anlagennutzungsgrad Gesamt	$\eta_{\text{N,ges}}$	%	95,6	105,6	88,9	87,5	100,0
CO2-Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO2,th}}$	t	2,5	2,1	0,0	2,8	0,0
CO2-Emissionen Strom	$m_{\text{CO2,el}}$	t	5,5	5,5	11,2	5,5	15,8
CO2-Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO2,spar}}$	t	0,0	0,0	0,0	-1,7	0,0
Differenz			5,5	5,5	11,2	3,8	15,8
CO2-Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO2,ges}}$	t	8,0	7,6	11,2	6,6	15,8
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$e_{\text{CO2,Nt}}$	%	0,0	4,4	-40,1	17,4	-98,1
Spezifische CO2-Emissionen	$f_{\text{CO2,ges}}$	g/kWh	531,2	508,1	744,3	439,0	1052,3





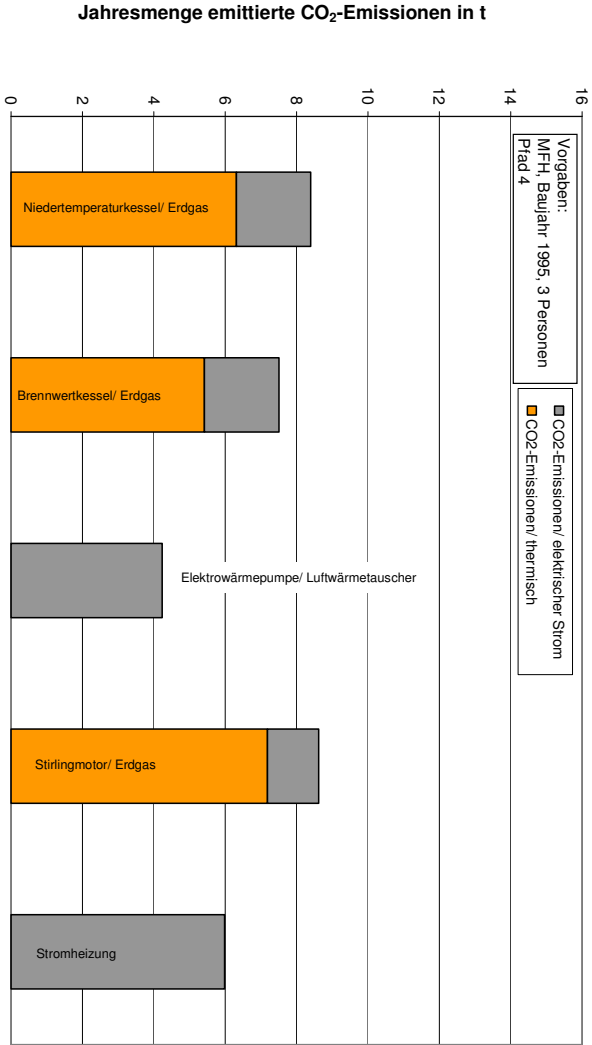
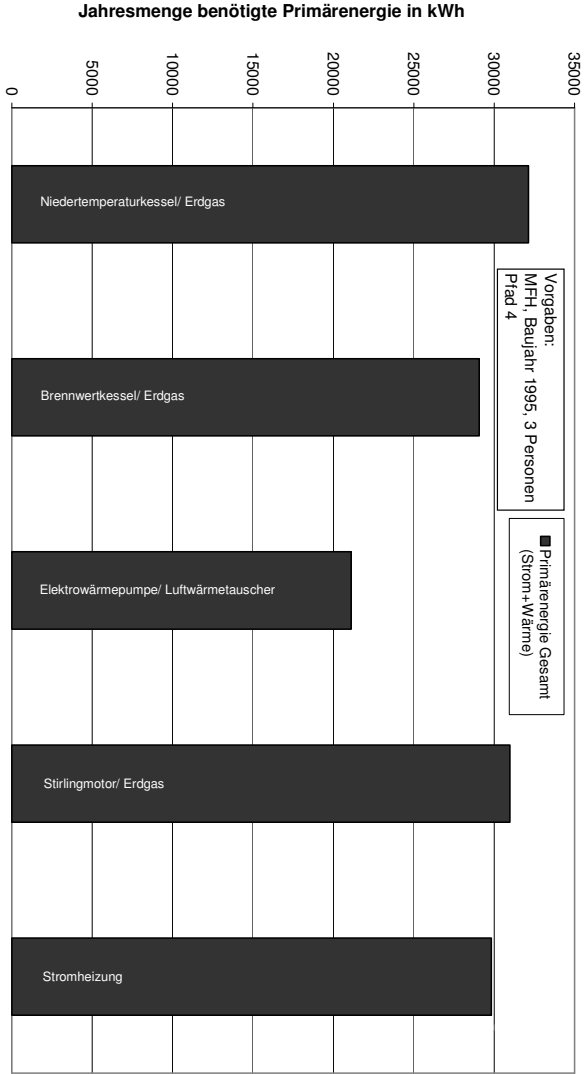
MFH 1995 Pfad 4

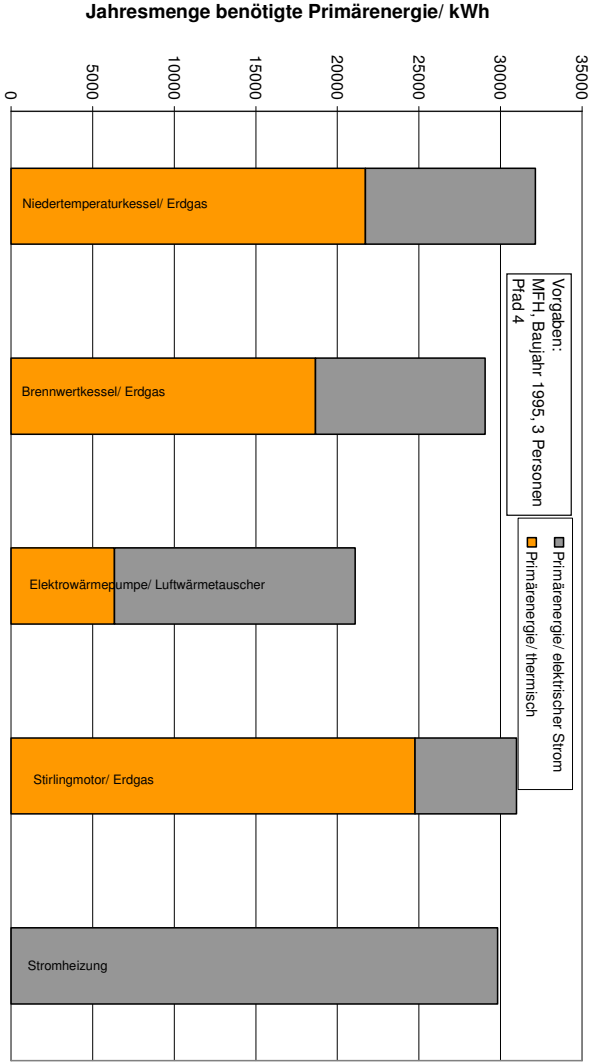
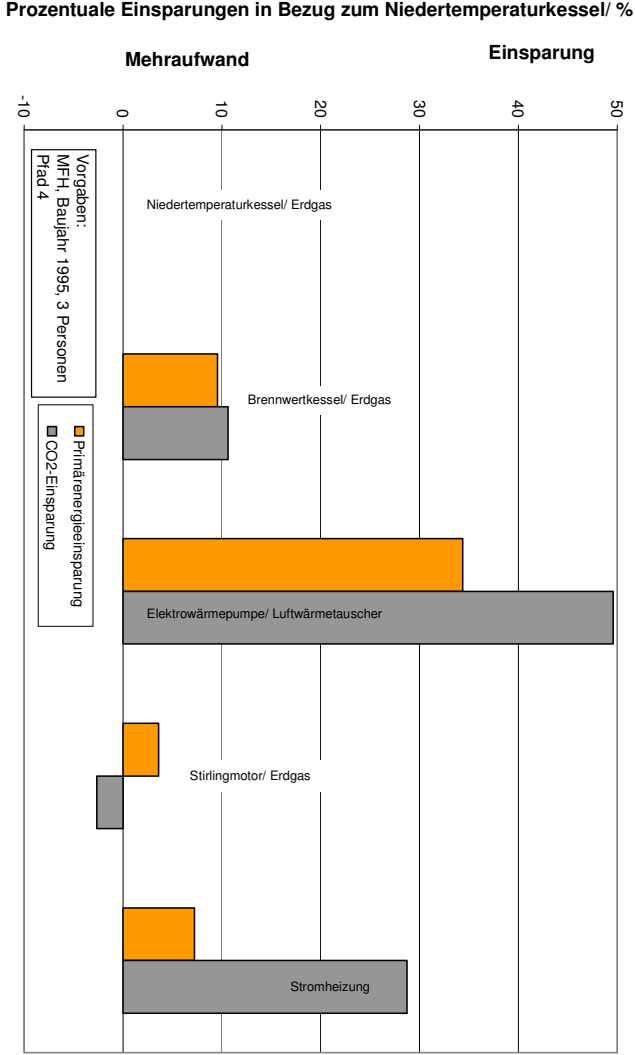
Auswertung Mehrfamilienhaus 1995; Pfad 4:

Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	7590
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWW,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	MFH 1995- P4-A1	MFH 1995- P4-A2	MFH 1995- P4-A3	MFH 1995- P4-A4	MFH 1995- P4-A5
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	P_{th}	%	48,2	48,2	48,2	48,2	48,2
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	P_{el}	%	50,4	50,4	50,4	50,4	50,4
Spezifische CO2 Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO2,th}}$	g/kWh	602,2	602,2	602,2	602,2	0
Spezifische CO2 Emissionen Strom	$f_{\text{CO2,el}}$	g/kWh	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{P,th}}$	kWh	21724	18649	6330	24744	0
Stromproduktion	$W_{\text{el,kwk}}$	kWh	0	0	0	1642	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{P,el,sub}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	-4177,21	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{P,el}}$	kWh	10417	10417	14762	10417	29821
Differenz	$E_{\text{P,el}}$	kWh	10417	10417	14762	6239	29821
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{P,ges}}$	kWh	32141	29066	21092	30984	29821
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$e_{\text{P,Nt}}$	%	0,0	9,6	34,4	3,6	7,2
Laufzeit Vollast	t_{Voll}	h	0,0	0,0	582,9	0,0	0,0
Laufzeit Teillast	t_{teill}	h	1811,1	1917,6	0,0	1746,4	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	Br_{th}	%	30,4	33,6	46,4	31,6	32,8
Brennstoffnutzungsgrad Strom	Br_{el}	%	16,3	18,1	24,9	16,9	17,6
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	Br_{ges}	%	46,8	51,7	71,3	48,5	50,4
Anlagennutzungsgrad Thermisch	N_{th}	%	62,2	68,7	72,3	56,9	65,1
Anlagennutzungsgrad Strom	N_{el}	%	33,4	36,9	70,9	34,8	34,9
Anlagennutzungsgrad Gesamt	N_{ges}	%	95,6	105,6	143,3	87,5	100,0
CO2-Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO2,th}}$	t	6,3	5,4	0,0	7,2	0,0
CO2-Emissionen Strom	$m_{\text{CO2,el}}$	t	2,1	2,1	4,2	2,1	6,0
CO2-Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO2,spar}}$	t	0,0	0,0	0,0	-0,7	0,0
Differenz			2,1	2,1	4,2	1,4	6,0
CO2-Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO2,ges}}$	t	8,4	7,5	4,2	8,6	6,0
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$e_{\text{CO2,Nt}}$	%	0,0	10,6	49,6	-2,7	28,7
Spezifische CO2-Emissionen	$f_{\text{CO2,ges}}$	g/kWh	558,6	499,2	281,6	573,4	398,1





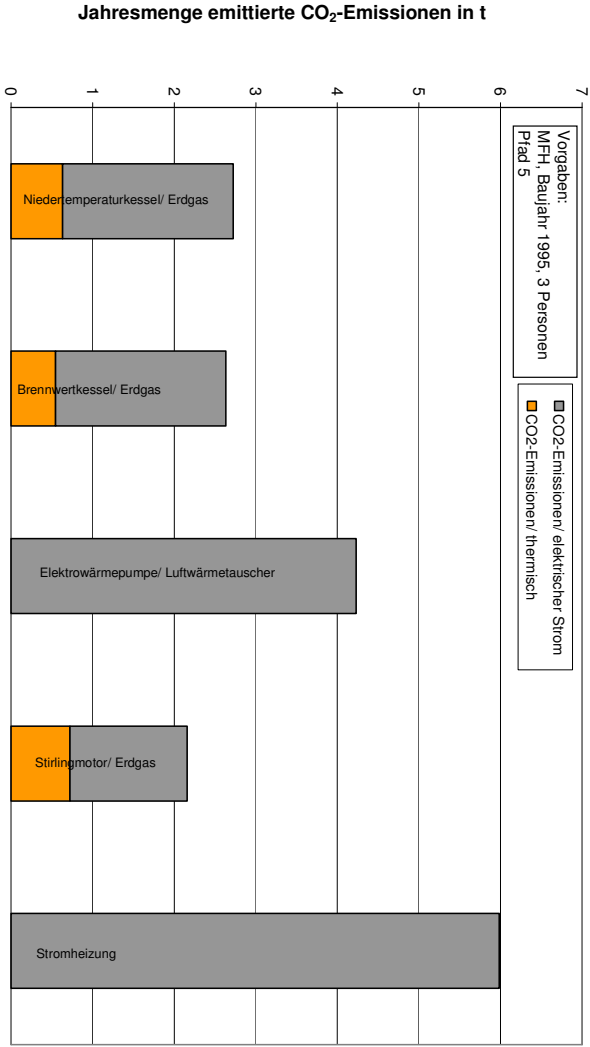
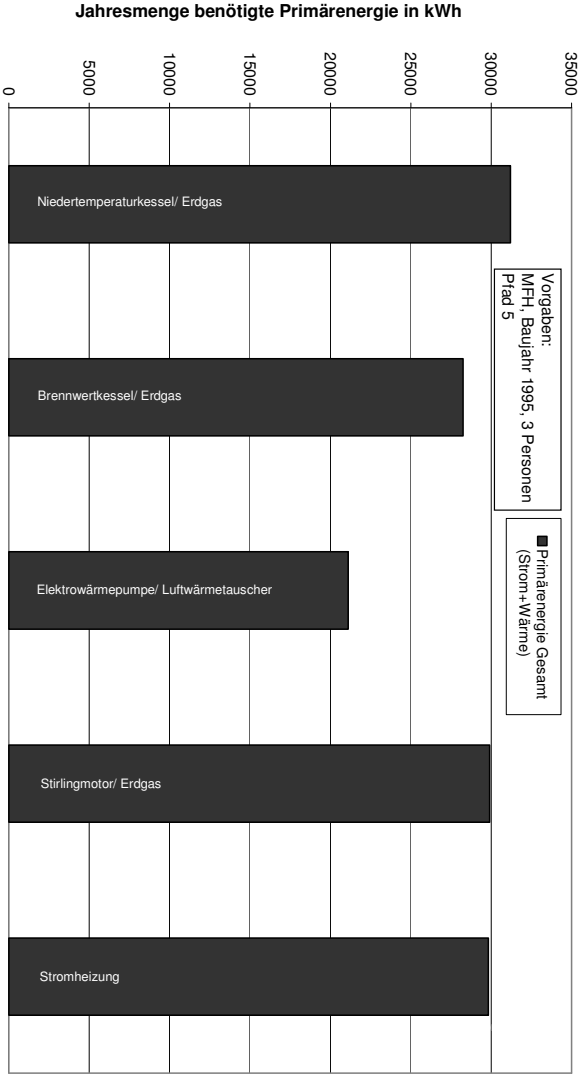
MFH 1995 Pfad 5

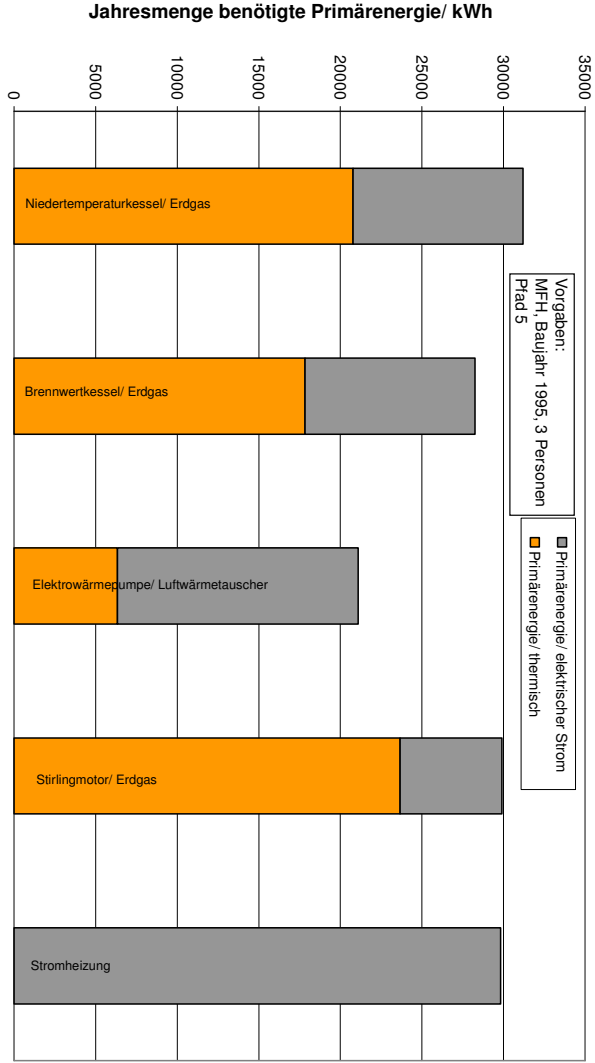
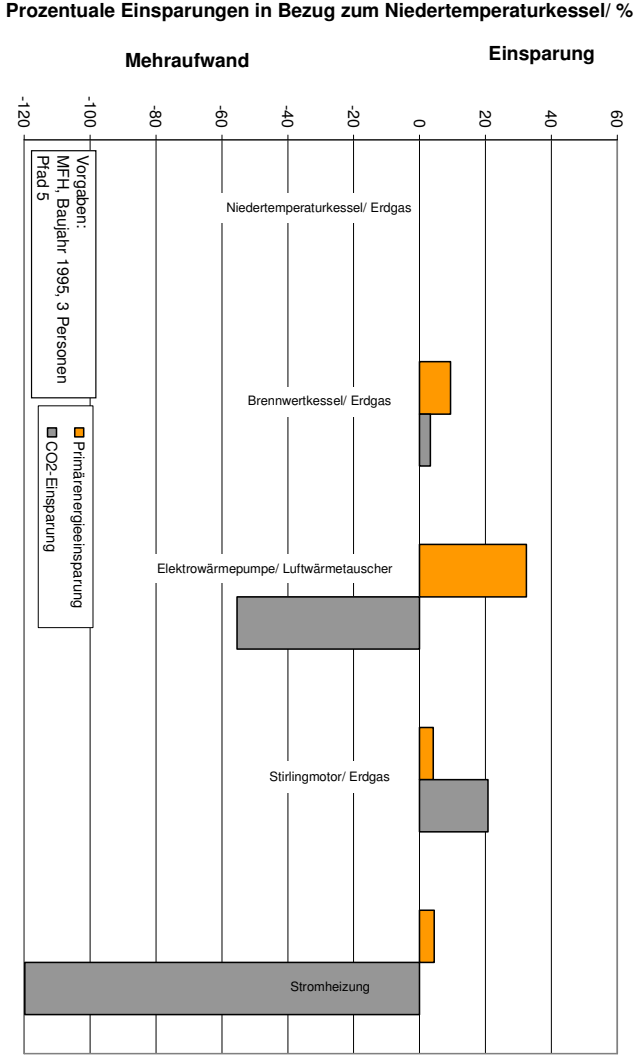
Auswertung Mehrfamilienhaus 1995; Pfad 5:

Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	7590
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWW,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	MFH 1995- P5-A1	MFH 1995- P5-A2	MFH 1995- P5-A3	MFH 1995- P5-A4	MFH 1995- P5-A5
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	$\epsilon_{\text{P,th}}$	%	50,4	50,4	50,4	50,4	100
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	$\epsilon_{\text{P,el}}$	%	50,4	50,4	50,4	50,4	50,4
Spezifische CO2 Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO2,th}}$	g/kWh	60,4	60,4	60,4	60,4	0
Spezifische CO2 Emissionen Strom	$f_{\text{CO2,el}}$	g/kWh	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{P,th}}$	kWh	20776	17835	6330	23664	0
Stromproduktion	$W_{\text{el,kwk}}$	kWh	0	0	0	1642	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{P,el,sub}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	-4177,21	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{P,el}}$	kWh	10417	10417	14762	10417	29821
Differenz	$\epsilon E_{\text{P,el}}$	kWh	10417	10417	14762	6239	29821
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{P,ges}}$	kWh	31193	28252	21092	29904	29821
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$e_{\text{P,Nt}}$	%	0,0	9,4	32,4	4,1	4,4
Laufzeit Vollast	t_{Voll}	h	0,0	0,0	582,9	0,0	0,0
Laufzeit Teillast	t_{teil}	h	1811,1	1917,6	0,0	1746,4	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	$\epsilon_{\text{Br,th}}$	%	31,4	34,6	46,4	32,7	32,8
Brennstoffnutzungsgrad Strom	$\epsilon_{\text{Br,el}}$	%	16,8	18,6	24,9	17,6	17,6
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	$\epsilon_{\text{Br,ges}}$	%	48,2	53,2	71,3	50,3	50,4
Anlagennutzungsgrad Thermisch	$\epsilon_{\text{N,th}}$	%	62,2	68,7	71,4	56,9	65,1
Anlagennutzungsgrad Strom	$\epsilon_{\text{N,el}}$	%	33,4	36,9	70,0	34,8	34,9
Anlagennutzungsgrad Gesamt	$\epsilon_{\text{N,ges}}$	%	95,6	105,6	141,4	87,5	100,0
CO2-Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO2,th}}$	t	0,6	0,5	0,0	0,7	0,0
CO2-Emissionen Strom	$m_{\text{CO2,el}}$	t	2,1	2,1	4,2	2,1	6,0
CO2-Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO2,spar}}$	t	0,0	0,0	0,0	-0,7	0,0
Differenz			2,1	2,1	4,2	1,4	6,0
CO2-Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO2,ges}}$	t	2,7	2,6	4,2	2,2	6,0
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$e_{\text{CO2,Nt}}$	%	0,0	3,3	-55,4	20,8	-119,8
Spezifische CO2-Emissionen	$f_{\text{CO2,ges}}$	g/kWh	181,1	175,2	281,6	143,5	398,1





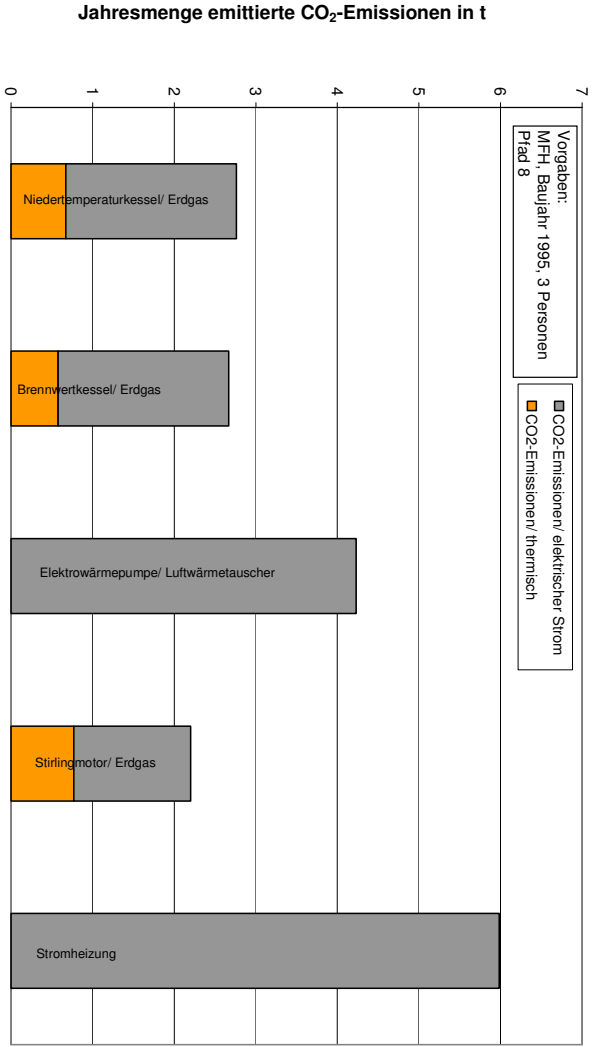
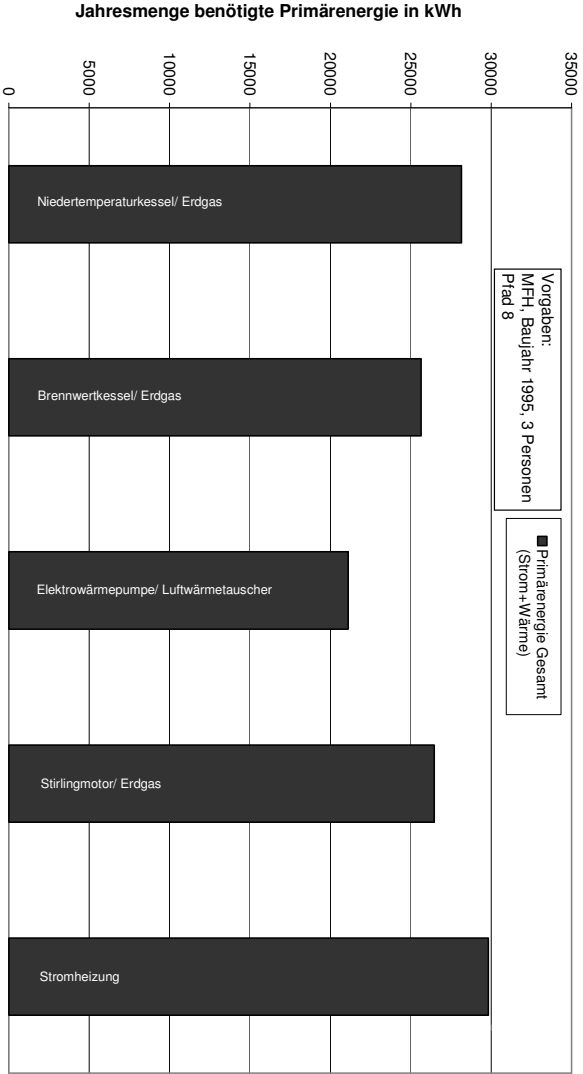
MFH 1995 Pfad 8

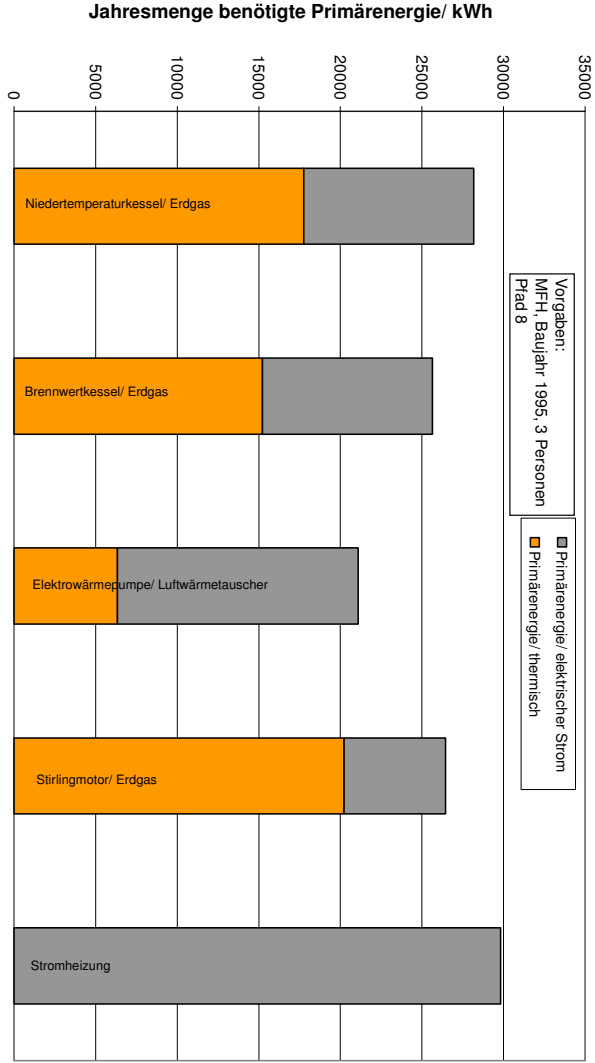
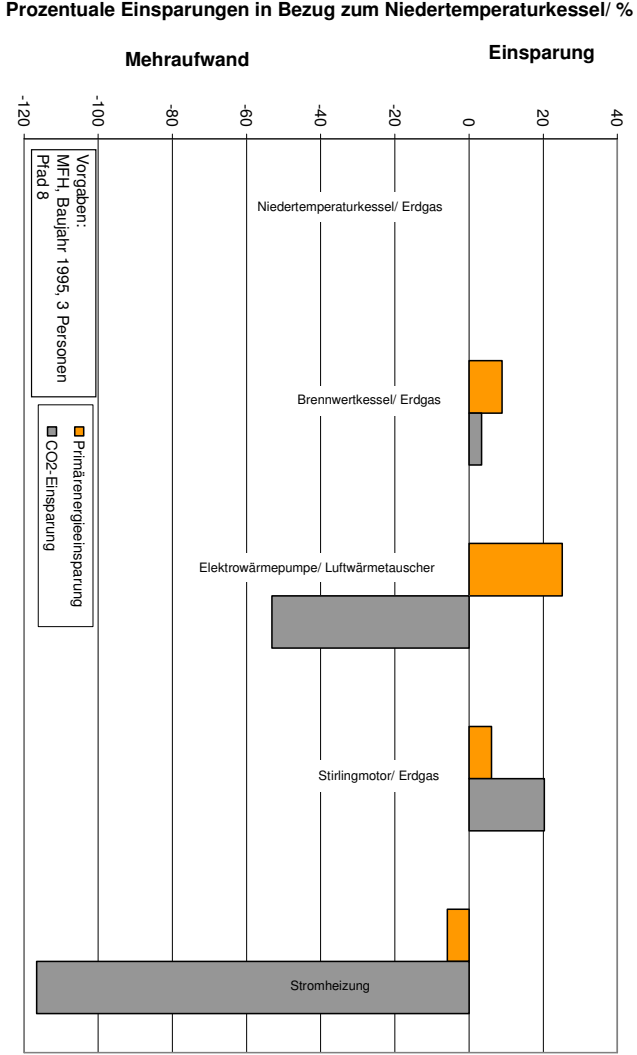
Auswertung Mehrfamilienhaus 1995; Pfad 8:

Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	7590
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWW,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	MFH 1995- P8-A1	MFH 1995- P8-A2	MFH 1995- P8-A3	MFH 1995- P8-A4	MFH 1995- P8-A5
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	$\Pi_{\text{p,th}}$	%	59	59	59	59	100
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	$\Pi_{\text{p,el}}$	%	50,4	50,4	50,4	50,4	50,4
Spezifische CO2 Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO2,th}}$	g/kWh	64,2	64,2	64,2	64,2	0
Spezifische CO2 Emissionen Strom	$f_{\text{CO2,el}}$	g/kWh	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{p,th}}$	kWh	17748	15236	6330	20215	0
Stromproduktion	$W_{\text{el,kwk}}$	kWh	0	0	0	1642	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{p,el,sub}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	-4177,21	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{p,el}}$	kWh	10417	10417	14762	10417	29821
Differenz	$\Delta E_{\text{p,el}}$	kWh	10417	10417	14762	6239	29821
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{p,ges}}$	kWh	28164	25652	21092	26454	29821
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$e_{\text{p,Nt}}$	%	0,0	8,9	25,1	6,1	-5,9
Laufzeit Vollast	t_{voll}	h	0,0	0,0	582,9	0,0	0,0
Laufzeit Teillast	t_{teil}	h	1811,1	1917,6	0,0	1746,4	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	$\Pi_{\text{br,th}}$	%	34,7	38,1	46,4	37,0	32,8
Brennstoffnutzungsgrad Strom	$\Pi_{\text{br,el}}$	%	18,6	20,5	24,9	19,8	17,6
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	$\Pi_{\text{br,ges}}$	%	53,4	58,6	71,3	56,8	50,4
Anlagennutzungsgrad Thermisch	$\Pi_{\text{n,th}}$	%	62,2	68,7	67,9	56,9	65,1
Anlagennutzungsgrad Strom	$\Pi_{\text{n,el}}$	%	33,4	36,9	66,6	34,8	34,9
Anlagennutzungsgrad Gesamt	$\Pi_{\text{n,ges}}$	%	95,6	105,6	134,5	87,5	100,0
CO2-Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO2,th}}$	t	0,7	0,6	0,0	0,8	0,0
CO2-Emissionen Strom	$m_{\text{CO2,el}}$	t	2,1	2,1	4,2	2,1	6,0
CO2-Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO2,spar}}$	t	0,0	0,0	0,0	-0,7	0,0
Differenz			2,1	2,1	4,2	1,4	6,0
CO2-Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO2,ges}}$	t	2,8	2,7	4,2	2,2	6,0
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$e_{\text{CO2,Nt}}$	%	0,0	3,4	-53,2	20,3	-116,6
Spezifische CO2-Emissionen	$f_{\text{CO2,ges}}$	g/kWh	183,8	177,5	281,6	146,5	398,1





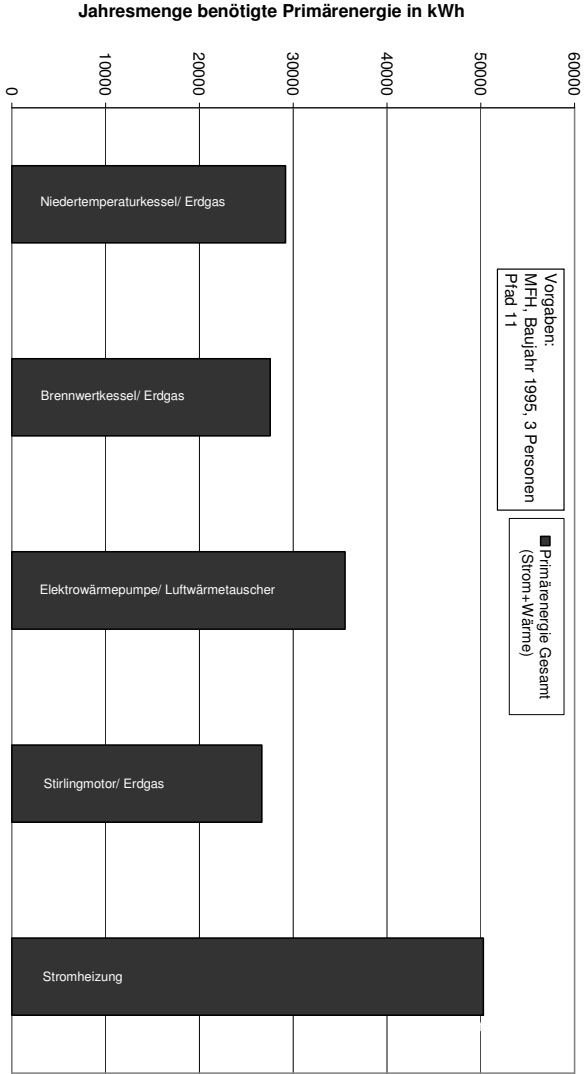
MFH 1995 Pfad 11

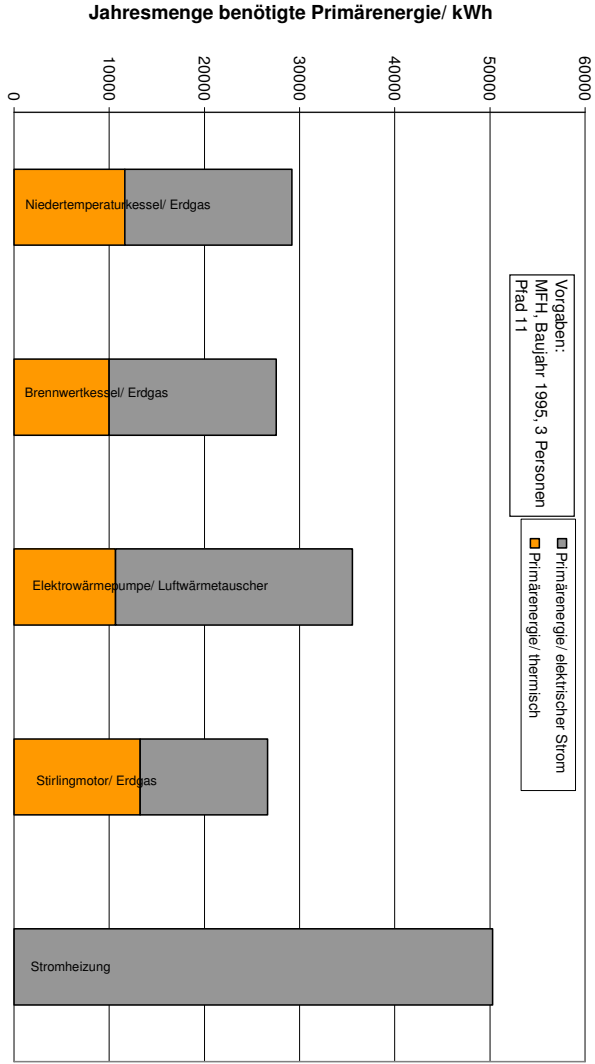
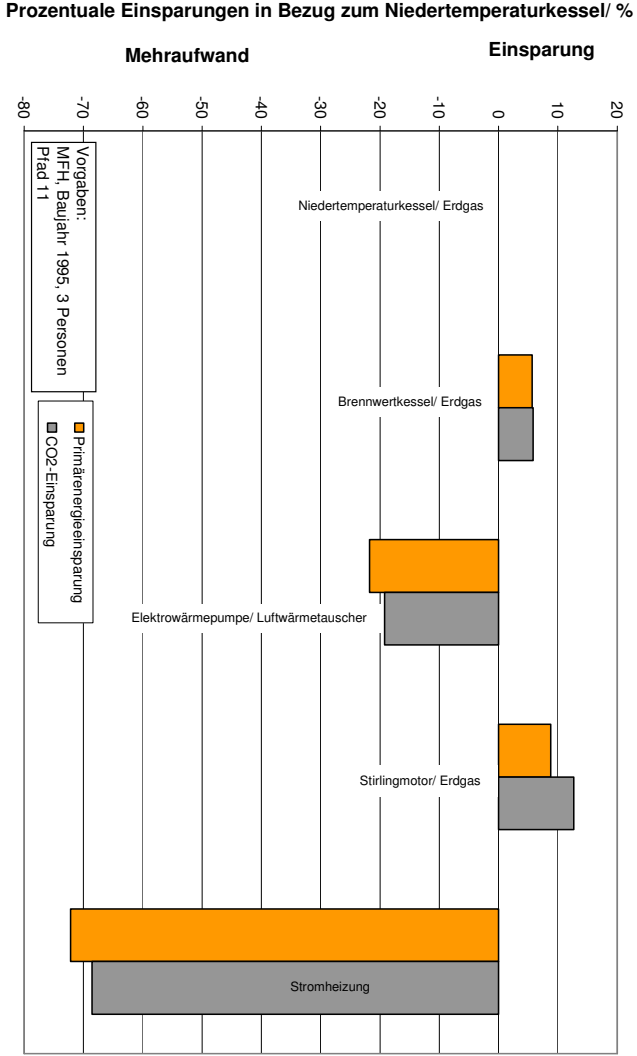
Auswertung Mehrfamilienhaus 1995; Pfad 11:

Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	7590
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWW,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	MFH 1995- P11-A1	MFH 1995- P11-A2	MFH 1995- P11-A3	MFH 1995- P11-A4	MFH 1995- P11-A5
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	$\uparrow_{P,th}$	%	90	90	90	90	90
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	$\uparrow_{P,el}$	%	29,9	29,9	29,9	29,9	29,9
Spezifische CO2 Emissionen Thermisch	$f_{CO_2,th}$	g/kWh	234,9	234,9	234,9	234,9	0
Spezifische CO2 Emissionen Strom	$f_{CO_2,el}$	g/kWh	671	671	671	671	671
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{P,th}$	kWh	11635	9988	10670	13252	0
Stromproduktion	$W_{el,kwk}$	kWh	0	0	0	1642	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{P,el,sub}$	kWh	0,00	0,00	0,00	-4177,21	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{P,el}$	kWh	17559	17559	24883	17559	50268
Differenz	$\uparrow E_{P,el}$	kWh	17559	17559	24883	13381	50268
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{P,ges}$	kWh	29193	27546	35553	26633	50268
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$e_{P,Nt}$	%	0,0	5,6	-21,8	8,8	-72,2
Laufzeit Vollast	t_{Voll}	h	0,0	0,0	582,9	0,0	0,0
Laufzeit Teillast	t_{teil}	h	1811,1	1917,6	0,0	1746,4	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	$\uparrow_{Br,th}$	%	33,5	35,5	27,5	36,7	19,5
Brennstoffnutzungsgrad Strom	$\uparrow_{Br,el}$	%	18,0	19,1	14,8	19,7	10,4
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	$\uparrow_{Br,ges}$	%	51,5	54,6	42,3	56,4	29,9
Anlagennutzungsgrad Thermisch	$\uparrow_{N,th}$	%	62,2	68,7	44,5	56,9	65,1
Anlagennutzungsgrad Strom	$\uparrow_{N,el}$	%	33,4	36,9	43,7	33,0	34,9
Anlagennutzungsgrad Gesamt	$\uparrow_{N,ges}$	%	95,6	105,6	88,2	87,5	100,0
CO2-Emissionen Thermisch	$m_{CO_2,th}$	t	2,5	2,1	0,0	2,8	0,0
CO2-Emissionen Strom	$m_{CO_2,el}$	t	3,5	3,5	7,1	3,5	10,1
CO2-Einsparung Strom KWK	$m_{CO_2,spar}$	t	0,0	0,0	0,0	-1,1	0,0
Differenz			3,5	3,5	7,1	2,4	10,1
CO2-Emissionen Gesamt	$m_{CO_2,ges}$	t	6,0	5,6	7,1	5,2	10,1
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$e_{CO_2,Nt}$	%	0,0	5,8	-19,2	12,7	-68,6
Spezifische CO2-Emissionen	$f_{CO_2,ges}$	g/kWh	398,0	374,9	474,6	347,5	671,0





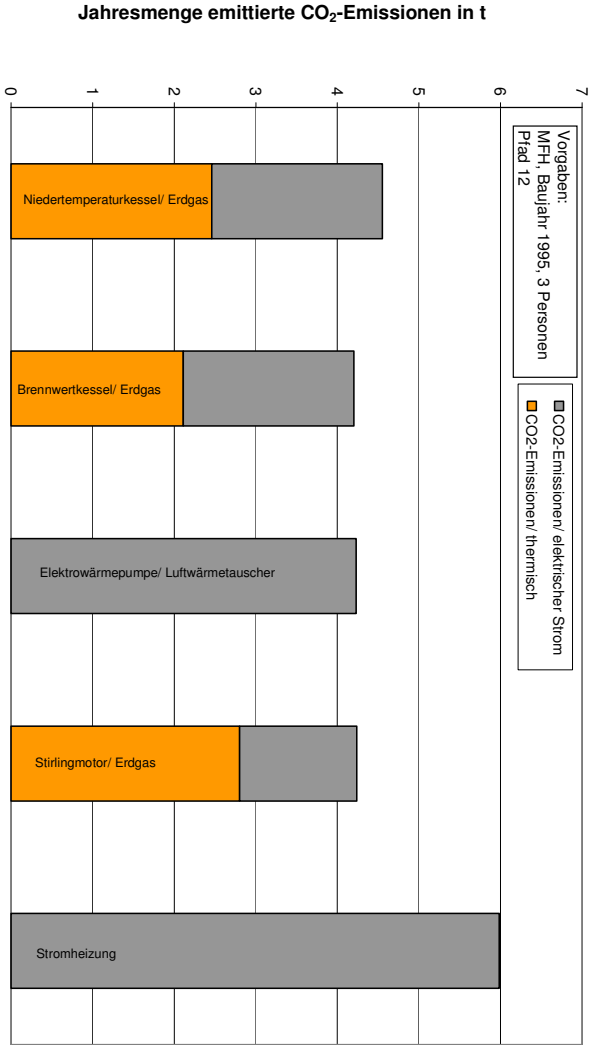
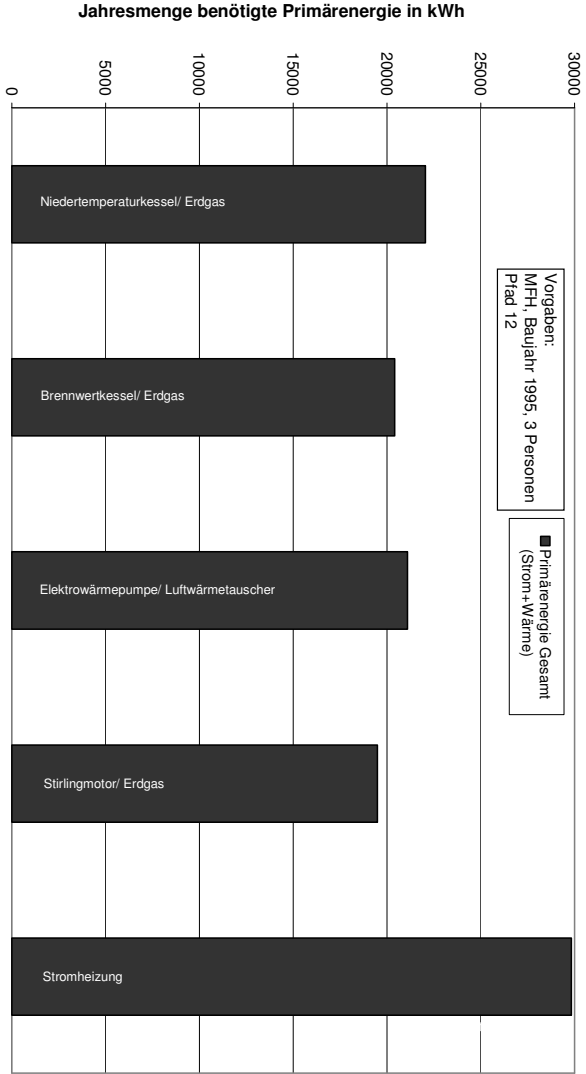
MFH 1995 Pfad 12

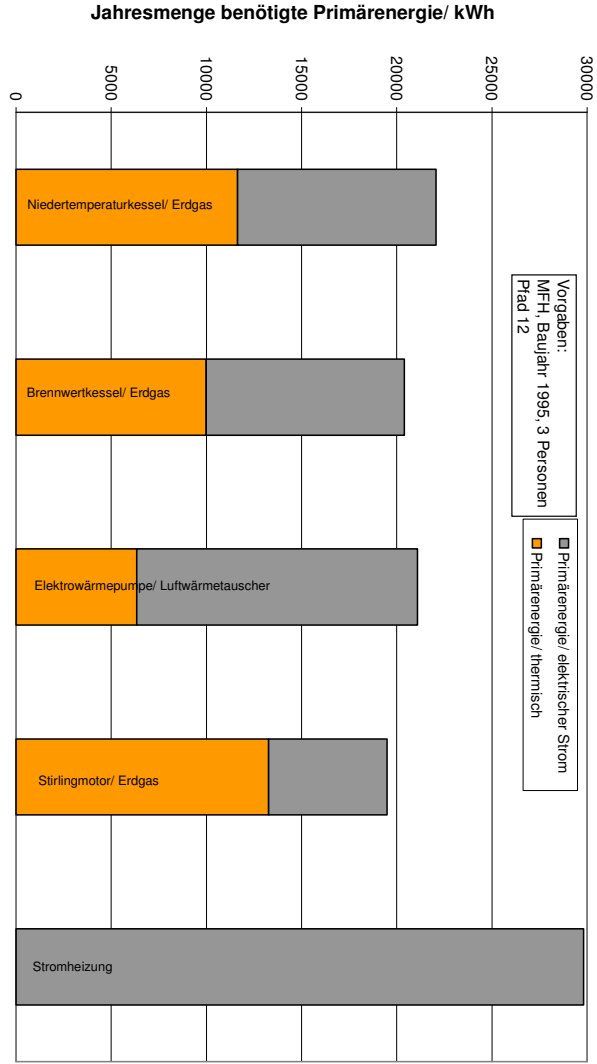
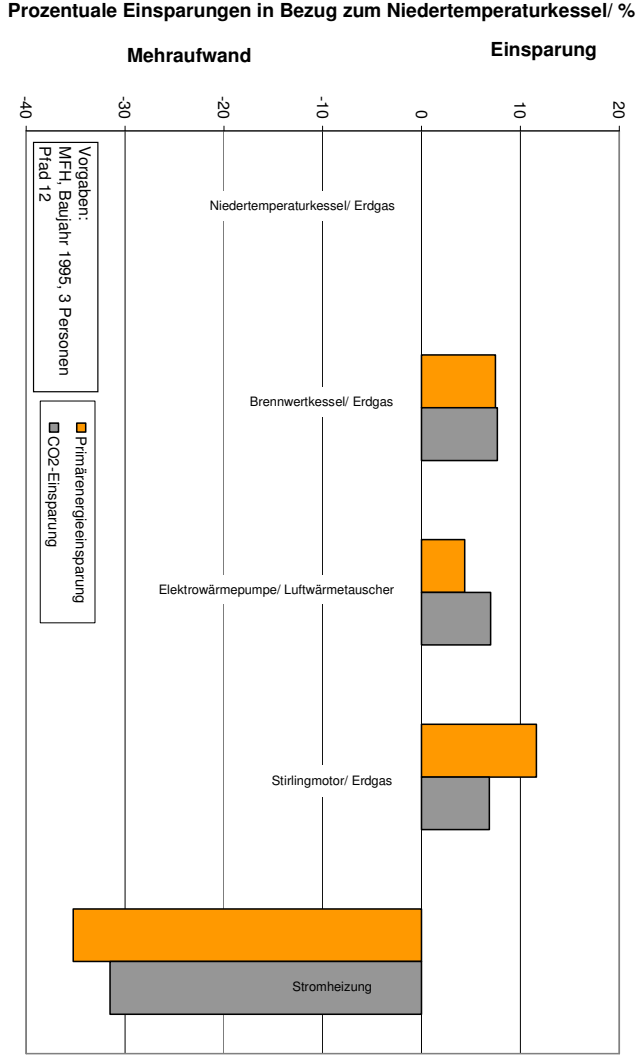
Auswertung Mehrfamilienhaus 1995; Pfad 12:

Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	7590
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWW,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	MFH 1995- P12-A1	MFH 1995- P12-A2	MFH 1995- P12-A3	MFH 1995- P12-A4	MFH 1995- P12-A5
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	$\dot{\eta}_{\text{P,th}}$	%	90	90	90	90	100
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	$\dot{\eta}_{\text{P,el}}$	%	50,4	50,4	50,4	50,4	50,4
Spezifische CO2 Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO2,th}}$	g/kWh	234,9	234,9	234,9	234,9	0
Spezifische CO2 Emissionen Strom	$f_{\text{CO2,el}}$	g/kWh	398,1	398,1	398,1	398,1	398,1
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{P,th}}$	kWh	11635	9988	6330	13252	0
Stromproduktion	$W_{\text{el,kwk}}$	kWh	0	0	0	1642	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{P,el,sub}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	-4177,21	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{P,el}}$	kWh	10417	10417	14762	10417	29821
Differenz	$\div E_{\text{P,el}}$	kWh	10417	10417	14762	6239	29821
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{P,ges}}$	kWh	22051	20404	21092	19492	29821
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$e_{\text{P,Nt}}$	%	0,0	7,5	4,4	11,6	-35,2
Laufzeit Vollast	t_{Voll}	h	0,0	0,0	582,9	0,0	0,0
Laufzeit Teillast	t_{teil}	h	1811,1	1917,6	0,0	1746,4	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	$\dot{\eta}_{\text{Br,th}}$	%	44,4	47,9	46,4	50,2	32,8
Brennstoffnutzungsgrad Strom	$\dot{\eta}_{\text{Br,el}}$	%	23,8	25,7	24,9	26,9	17,6
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	$\dot{\eta}_{\text{Br,ges}}$	%	68,2	73,7	71,3	77,1	50,4
Anlagennutzungsgrad Thermisch	$\dot{\eta}_{\text{N,th}}$	%	62,2	68,7	57,8	56,9	65,1
Anlagennutzungsgrad Strom	$\dot{\eta}_{\text{N,el}}$	%	33,4	36,9	56,6	34,8	34,9
Anlagennutzungsgrad Gesamt	$\dot{\eta}_{\text{N,ges}}$	%	95,6	105,6	114,4	87,5	100,0
CO2-Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO2,th}}$	t	2,5	2,1	0,0	2,8	0,0
CO2-Emissionen Strom	$m_{\text{CO2,el}}$	t	2,1	2,1	4,2	2,1	6,0
CO2-Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO2,spar}}$	t	0,0	0,0	0,0	-0,7	0,0
Differenz			2,1	2,1	4,2	1,4	6,0
CO2-Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO2,ges}}$	t	4,5	4,2	4,2	4,2	6,0
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$e_{\text{CO2,Nt}}$	%	0,0	7,7	7,0	6,8	-31,5
Spezifische CO2-Emissionen	$f_{\text{CO2,ges}}$	g/kWh	302,7	279,5	281,6	282,0	398,1





MFH 1995 Pfad 14

Auswertung Mehrfamilienhaus 1995; Pfad 14:

Gebäudedaten

Jährl. Wärmebedarf Gebäude	$Q_{\text{heiz,a}}$	kWh	7590
Jährl. Warmwasserbedarf Gebäude	$Q_{\text{TWW,a}}$	kWh	2190
Jährl. Strombedarf Gebäude	$W_{\text{el,a}}$	kWh	5250

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	MFH 1995- P14-A1	MFH 1995- P14-A2	MFH 1995- P14-A3	MFH 1995- P14-A4	MFH 1995- P14-A5
Primärenergetischer Nutzungsgrad thermisch	P_{th}	%	90	90	90	90	100
Primärenergetischer Nutzungsgrad elektrisch	P_{el}	%	35,65	35,65	35,65	35,65	35,65
Spezifische CO2 Emissionen Thermisch	$f_{\text{CO}_2,\text{th}}$	g/kWh	234,9	234,9	234,9	234,9	0
Spezifische CO2 Emissionen Strom	$f_{\text{CO}_2,\text{el}}$	g/kWh	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2
Jährlich benötigte Primärenergie Thermisch	$E_{\text{P,th}}$	kWh	11635	9988	8949	13252	0
Stromproduktion	$W_{\text{el,kwk}}$	kWh	0	0	0	1642	0
Vermiedene Stromerzeugung (dt. Strommix)	$E_{\text{P,el,sub}}$	kWh	0,00	0,00	0,00	-4177,21	0,00
Jährlich benötigte Primärenergie Strom	$E_{\text{P,el}}$	kWh	14727	14727	20870	14727	42160
Differenz	$E_{\text{P,el}}$	kWh	14727	14727	20870	10549	42160
Jährlich benötigte Primärenergie Gesamt	$E_{\text{P,ges}}$	kWh	26361	24714	29818	23801	42160
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$e_{\text{P,Nt}}$	%	0,0	6,2	-13,1	9,7	-59,9
Laufzeit Vollast	t_{Voll}	h	0,0	0,0	582,9	0,0	0,0
Laufzeit Teillast	t_{teil}	h	1811,1	1917,6	0,0	1746,4	0,0
Brennstoffnutzungsgrad Thermisch	Br_{th}	%	37,1	39,6	32,8	41,1	23,2
Brennstoffnutzungsgrad Strom	Br_{el}	%	19,9	21,2	17,6	22,1	12,5
Brennstoffnutzungsgrad Gesamt	Br_{ges}	%	57,0	60,8	50,4	63,1	35,6
Anlagennutzungsgrad Thermisch	N_{th}	%	62,2	68,7	49,0	56,9	65,1
Anlagennutzungsgrad Strom	N_{el}	%	33,4	36,9	48,0	33,5	34,9
Anlagennutzungsgrad Gesamt	N_{ges}	%	95,6	105,6	97,0	87,5	100,0
CO2-Emissionen Thermisch	$m_{\text{CO}_2,\text{th}}$	t	2,5	2,1	0,0	2,8	0,0
CO2-Emissionen Strom	$m_{\text{CO}_2,\text{el}}$	t	2,7	2,7	5,5	2,7	7,8
CO2-Einsparung Strom KWK	$m_{\text{CO}_2,\text{spar}}$	t	0,0	0,0	0,0	-0,9	0,0
Differenz			2,7	2,7	5,5	1,9	7,8
CO2-Emissionen Gesamt	$m_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	t	5,2	4,8	5,5	4,7	7,8
Einsparung ggü. Niedertemperatur	$e_{\text{CO}_2,\text{Nt}}$	%	0,0	6,7	-6,4	9,8	-50,5
Spezifische CO2-Emissionen	$f_{\text{CO}_2,\text{ges}}$	g/kWh	345,0	321,8	367,2	311,0	519,2

