

AdvancedLCA

Ökobilanz Wärmeerzeugungssysteme

**Vergleich der Umweltwirkungen verschiedener Systeme
inkl. Metallziegel- und Eisspeicher-Wärmepumpen**

Auftraggeber

Sabine Stöcklin
Amt für Umweltschutz und Energie (AUE)
Kanton Basel-Landschaft

Verfasser

Thomas Kägi, Fredy Dinkel
Carbotech AG, Zürich

Anzahl Seiten: 22
Zürich, 15. Mai 2012

—

Dieser Bericht wurde von der Carbotech AG mit Sorgfalt erarbeitet unter Verwendung aller uns zur Verfügung stehenden, aktuellen und angemessenen Hilfsmittel und Grundlagen, dies im Rahmen der vertraglichen Abmachung mit dem Auftraggeber unter Berücksichtigung der Vereinbarung bezüglich eingesetzter Ressourcen. Die Grundlagen der Bewertungsmethode, auf welcher dieser Bericht basiert, können ändern. Danach sind die Schlussfolgerungen nicht mehr uneingeschränkt gültig und vom Auftraggeber nur noch auf eigene Verantwortung verwendbar. Aus dem Inhalt dieses Berichtes hervorgehende Veröffentlichungen, welche Resultate und Schlussfolgerungen daraus nur teilweise und nicht im Sinne des Gesamtberichtes darstellen, sind nicht erlaubt. Insbesondere dürfen solche Veröffentlichungen diesen Bericht nicht als Quelle angeben oder es darf nicht anderweitig eine Verbindung mit diesem Bericht oder der Carbotech AG hergestellt werden können. Für Forderungen ausserhalb des oben genannten Rahmens lehnen wir jegliche Verantwortung gegenüber dem Auftraggeber sowie Dritten ab. Dieser Bericht ist ausschliesslich für den Auftraggeber erstellt worden und wir übernehmen keine Verantwortung gegenüber Dritten, welche Kenntnis erlangen über diesen Bericht oder Teile davon.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
1 Ausgangslage und Auftrag	5
2 Methodik	5
2.1 Festlegung der Zielsetzung und Systemgrenzen	6
2.2 Kurzbeschreibung Metallziegel-Wärmepumpensystem	8
2.3 Kurzbeschreibung Eisspeicher-Wärmepumpensystem	9
2.4 Sachbilanz	10
2.5 Wirkbilanz	10
2.6 Bewertungen	10
2.7 Unsicherheiten und Signifikanz	11
3 Resultate und Diskussion	11
3.1 Umweltbelastung der Wärmeerzeugungssysteme für Altbau	11
3.2 Umweltbelastung der Wärmeerzeugungssysteme für Neubau	14
3.3 Einfluss Strommix	15
3.4 Einfluss Jahresarbeitszahl bei Wärmepumpen	17
3.5 Anteil Infrastruktur bei Wärmepumpensystemen	19
4 Schlussfolgerung	21
5 Literaturverzeichnis	22
Anhänge	
A1 Resultate Altbau mit UCTE-Strommix	
A2 Resultate Neubau mit UCTE-Strommix	
A3 Resultate Altbau mit CH-Strommix	

Zusammenfassung

Das Amt für Umweltschutz und Energie (AUE) des Kantons Basel-Landschaft möchte die Umweltwirkungen von neuen Wärmeerzeugungssystemen mit Metallziegel- oder Eisspeicher-Wärmepumpen mit anderen bereits bestehenden Wärmeerzeugungssystemen für Einfamilienhäuser vergleichen. Es ist insbesondere von Interesse, inwiefern die neuen Systeme analog zu den Erdsonden-Wärmepumpen gefördert werden sollen. Konkret sollen deshalb die folgenden Fragestellungen mit der Studie beantwortet werden:

- Wie gross ist die Umweltbelastung der neuen Wärmeerzeugungssysteme insgesamt?
- Wie schneiden die neuen Wärmeerzeugungssysteme im Vergleich zu Erdsonden-Wärmepumpen ab?
- Welche Wärmeerzeugungssysteme schneiden hinsichtlich Gesamtumweltbelastung am besten ab und können empfohlen werden?

Mittels Ökobilanz wurde geprüft, wie die Umweltbelastungen über den gesamten Lebenszyklus der Wärmeerzeugungssysteme aussehen. Als funktionelle Einheit wurde der Wärmebedarf eines Einfamilienhauses mit einer Energiebezugsfläche von 196 m² gewählt. Die Daten zu Metallziegel- und Eisspeichersystemen wurden direkt bei den Herstellern erhoben. Für alle anderen Wärmeerzeugungssysteme sowie für vor- und nachgelagerte Prozesse wurden die entsprechenden ecoinvent V2.2 Inventare verwendet und gegebenenfalls angepasst, im Wesentlichen die Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpen.

Folgendes lässt sich aus den Resultaten ableiten:

- Die Hauptwärmeerzeugungssysteme schneiden hinsichtlich der Gesamtumweltbelastung alle ähnlich ab.
- Bei Wärmepumpen ist die JAZ der entscheidende Faktor hinsichtlich der Umweltbilanz. Metallziegel- und Eisspeichersysteme erreichen gemäss Angaben der Hersteller mindestens so gute JAZ wie die Erdsonden-Wärmepumpen. Daraus folgt, dass diese Wärmepumpensysteme im Vergleich zu Erdsonden-Wärmepumpen ähnlich gut abschneiden. Diese Erkenntnis kann als Entscheidungsgrundlage für eine Förderung dieser Heizsysteme analog zu den Erdsonden-Wärmepumpen verwendet werden.
- Wärmepumpensysteme sind unter Berücksichtigung des UCTE-Strommix erst ab einer JAZ von 5 und höher umweltfreundlicher als Pellets- und Erdgassysteme. Dies ist in Altbauten praktisch nicht möglich. Auch in Neubauten bleibt wegen der Warmwasserbereitstellung offen, ob solche JAZ in der Realität wirklich erreicht werden können.
- Der Einsatz von Sonnenkollektoren und Photovoltaikanlagen macht aus Umweltsicht immer Sinn. Je weniger Energie benötigt wird, desto einflussreicher wird deren Einsatz als Unterstützung zum Hauptwärmeerzeugungssystem. Es ist daher aus Umweltsicht am sinnvollsten, das Haus optimal zu isolieren und möglichst grossflächig Sonnenkollektoren- oder Photovoltaikanlagen zu installieren.

Vor dem Hintergrund der Schweizer Stromdiskussion stellt sich die Frage, inwiefern es sinnvoll ist, Strom zum Heizen zu verwenden, wenn:

- die Ökobilanz zeigt, dass Wärmepumpen aus heutiger Sicht keinen ökologischen Vorteil gegenüber den anderen Wärmeerzeugungssystemen haben.
- Erwartet wird, dass der Strom in Zukunft knapp sein wird
- Bei vielen Anwendungen keine Alternative zum Strom besteht, beim Heizen jedoch schon.

Neben der globalen Sichtweise der Ökobilanzierung sind für die Wahl des geeigneten Heizsystems auch andere Faktoren entscheidend, wie z.B. Infrastruktur (z.B. Erdgas- oder Fernwärmenetz), lokale Luftbelastung (Staub, NO_x, Ozon etc.), Gewässerschutz zonen etc. Die Erkenntnisse dieser Studie sowie die weiteren Faktoren liessen sich kombinieren und in einer Karte visualisieren. Diese würde die Grundlage schaffen für eine regionalisierte, flexible und aus Umweltsicht sehr sinnvolle Förderung von Hauptheizsystemen.

1 Ausgangslage und Auftrag

Das Amt für Umweltschutz und Energie (AUE) des Kantons Basel-Landschaft möchte die Umweltwirkungen von neuen Wärmeerzeugungssystemen mit Metallziegel- oder Eisspeicher-Wärmepumpen mit anderen bereits bestehenden Wärmeerzeugungssystemen für Einfamilienhäuser vergleichen. Es ist insbesondere von Interesse, inwiefern die neuen Systeme analog zu den Erdsonden-Wärmepumpen gefördert werden sollen. Konkret sollen deshalb die folgenden Fragestellungen mit der Studie beantwortet werden:

- Wie gross ist die Umweltbelastung der neuen Wärmeerzeugungssysteme insgesamt?
- Wie schneiden die neuen Wärmeerzeugungssysteme im Vergleich zu Erdsonden-Wärmepumpen ab?
- Welche Wärmeerzeugungssysteme schneiden hinsichtlich Gesamtumweltbelastung am besten ab und können empfohlen werden?

Das AUE beauftragte die Carbotech AG mit einer Grobbilanz der verschiedenen Wärmeerzeugungssysteme für eine Abschätzung der Grössenordnung der Umweltbelastungen der Wärmeerzeugungssysteme.

2 Methodik

Mit der Ökobilanz werden die Auswirkungen der relevanten Stoff- und Energieströme auf die Umwelt während des gesamten Lebensweges erfasst. Eine ökologische Bewertung umfasst nach ISO Norm 14'040 die folgenden Schritte:

- Festlegung der Zielsetzung und Systemgrenzen
- Sachbilanz
- Wirkungsbilanz
- Interpretation und Bewertung der Ergebnisse

Die hier verwendete AdvancedLCCompare ist eine Ökobilanz, welche relevante vor- und nachgelagerte Prozesse über den gesamten Lebensweg der Wärmeerzeugungssysteme betrachtet und auf vorhandene Inventardaten aus ecoinvent 2.2 und eigene Inventare der Carbotech zurückgreift. Der Fokus dieser Ökobilanz liegt auf der Auswertung der Gesamtumweltwirkung. Nicht betrachtet und bewertet werden mit diesem Ansatz wirtschaftliche Aspekte.

Bei der AdvancedLCCompare werden alle Inputdaten von der Carbotech entweder selber erhoben oder eingehend auf Plausibilität überprüft. Damit kann die Carbotech gewährleisten, dass die Erstellung dieser Ökobilanz nach bestem Wissen und Gewissen durchgeführt worden ist. Heute besteht Konsens, dass die Lebenszyklusanalyse oder Ökobilanz die umfassendste und aussagekräftigste Methode ist, um die Umweltauswirkungen von Produkten und Systemen zu beurteilen. Daher wird diese Methode verwendet, um die Umweltauswirkungen der betrachteten Produkte zu eruieren.

2.1 Festlegung der Zielsetzung und Systemgrenzen

Zielsetzung und funktionelle Einheit

Wie in Kapitel 1 dargelegt, ist das Ziel dieser Ökobilanz eine Analyse verschiedener Wärmebereitstellungssysteme für ein Einfamilienhaus. Betrachtet wurden dabei einerseits die Gesamtumweltbelastung sowie das Treibhauspotential. Die Resultate sollen in erster Linie aufzeigen, welche Wärmeerzeugungssysteme aus ökologischer Sicht am sinnvollsten sind.

Die vorliegende Studie beschränkt sich auf die Betrachtung der ökologischen Aspekte der Wärmeerzeugungssysteme, eine Betrachtung von wirtschaftlichen Kriterien wurde nicht durchgeführt.

Als funktionelle Einheit wurde der Wärmebedarf eines Einfamilienhauses gewählt, der basierend auf unten genannten Energiekennwerten pro Jahr benötigt wird (25'000 kWh/a für Altbau, 11'160 kWh/a für Neubau).

Folgende Wärmeerzeugungssysteme wurden verglichen:

1. Metallziegel mit S/W-WP
2. Eisspeicher-WP mit Wärmeabsorber
3. L/W-WP
4. L/W-WP mit thermischer Solaranlage (3.2 m² sowie 15 m²)
5. L/W-WP mit Photovoltaikanlage (4.9 m² sowie 13.7 m²)
6. Erdsonden-WP
7. Erdsonden-WP mit thermischer Solaranlage (3.2 m² sowie 15 m²)
8. Erdsonden-WP mit Photovoltaikanlage (4.9 m² sowie 13.7 m²)
9. Gasheizung
10. Gasheizung mit thermischer Solaranlage (3.2 m² sowie 15 m²)
11. Ölheizung
12. Ölheizung mit thermischer Solaranlage (3.2 m² sowie 15 m²)
13. Pelletsheizung
14. Pelletsheizung mit thermischer Solaranlage (3.2 m² sowie 15 m²)

Systemgrenzen, Inputdaten und Annahmen

Als Standardobjekt wurde ein Altbau-Einfamilienhaus mit einer Energiebezugsfläche von 196 m² gewählt. Als zusätzliche Variante wurde ein Neubau-Einfamilienhaus mit Energiebezugsfläche von 196 m² betrachtet. Sämtliche Annahmen wurden in Absprache mit dem AUE getroffen (siehe auch Tab. 1). Sonnenkollektoren (270 kWh/m²a) oder Solarzellen (122 kWh/m²a) decken den Warmwasserbedarf zu mindestens 50%. Es wurden zusätzliche Varianten mit 15 m² Sonnenkollektorfläche sowie 13.7 m² Photovoltaikfläche gerechnet. Die Jahresarbeitszahlen (JAZ) wurden entsprechend den Erfahrungswerten des AUE festgesetzt und entsprechen nicht unbedingt den von den Anbietern mitgeteilten JAZ. Deshalb wurde insbesondere bei den Metallziegel- und Eisspeicher-Wärmepumpensystemen mit Spannbreiten gerechnet.

In das System der Ökobilanz eingeschlossen sind alle als relevant betrachteten Stoff- und Energieflüsse für die Herstellung und den Betrieb der Wärmeerzeugungssysteme. Im Wesentlichen sind dies die folgenden Aspekte für die Analyse der Gesamtumweltbelastung:

- Abbau fossiler Rohstoffe und entsprechende Emissionen
- Emissionen der Verbrennung fossiler Energieträger
- Konsum Strom und Wärme, Abbau Rohstoffe und Emissionen der Energiebereitstellung
- Transporte, Luftemissionen der Transporte (CO₂, NO_x, SO₂, etc.)
- Produktion weiterer Hilfsmaterialien und Infrastruktur

Die Daten fürs Metallziegel- und Eisspeichersystem wurden bei den Herstellern erhoben (Tab. 2/3). Für alle anderen Wärmeerzeugungssysteme sowie für vor- und nachgelagerte Prozesse wurden die entsprechendenecoinvent V2.2 Inventare verwendet und gegebenenfalls angepasst.

Tabelle 1: Eckwerte der Wärmeerzeugungssysteme.

JAZ (Jahresarbeitszahl): Definiert das Verhältnis der bezogenen Menge Strom und der gelieferten Menge Nutzwärme, ab Raumheizung

Kenngrosse	Altbau	Neubau
Energiebezugsfläche	196 m ²	196 m ²
Norm-Heizlast SIA 384.201	9 kW	5,1 kW
Gesamtwärmebedarf Heizung + Warmwasser	450 MJ/m ² = 24498 kWh/a	205 MJ/m ² = 11161 kWh/a
Heizwärmebedarf SIA 380/1:2009)	400 MJ/m ² = 21776 kWh/a	155 MJ/m ² = 8439 kWh/a
Wärmebedarf Warmwasser (SIA 380/1)	50 MJ/m ² = 2722 kWh/a	50 MJ/m ² = 2722 kWh/a
Solarertrag Kollektorfläche thermisch	270 kWh/m ² a	270 kWh/m ² a
Kollektorfläche thermisch, flach, brutto, für 50% WW	3.2 m ²	3.2 m ²
Kollektorfläche thermisch, 65% WW, Rest Heizungsunterstützung	15 m ²	15 m ²
Solarertrag Kollektorfläche PV	122 kWh/m ² a	122 kWh/m ² a
Kollektorfläche PV polykristallin brutto für 50% WW	4.9 m ²	4.9 m ²
Kollektorfläche PV polykristallin 65% WW, Rest Heizungsunterstützung	13.7 m ²	13.2 m ²
JAZ Luft/Wasser-Wärmepumpe für WW gemäss EN-3	2.3	2.3
JAZ Luft/Wasser-Wärmepumpe für Heizung	2.5	2.7
JAZ Erdsonden-Wärmepumpe für Warmwasser	3	3
JAZ Erdsonden-Wärmepumpe für Heizung	3.4	3.7
JAZ Metallziegel-Wärmepumpe untere Grenze/obere Grenze	2.3/3.4*	2.3/3.7*
JAZ Eisspeicher-Wärmepumpe untere Grenze/obere Grenze	2.3/3.4*	2.3/3.7*

*Angaben von Hersteller liegen höher (3.1 bis 5.4): Als GrundszENARIO wurden gleiche JAZ wie für L/W- und Erdsonden-Wärmepumpen angenommen. Der Einfluss der JAZ und wie die Ergebnisse mit Angaben der Hersteller aussehen, wird im Kapitel 3.4 näher diskutiert.

Photovoltaikanlagen

Bei den Photovoltaikanlagen wurde angenommen, dass der mittels Photovoltaikanlage produzierte Strom wegen zeitlicher Abweichung zwischen Produktion und Bedarf nicht selbst genutzt, sondern vollständig ins Netz eingespeist wird. Dafür bezieht der Wärmepumpenbetreiber vom Netz die gleiche Menge als Solarstrom zum Betrieb der Wärmepumpe, das Netz wird also lediglich als Speicher betrachtet. Der ökologische Mehrwert des Solarstromes bleibt dadurch beim Produzenten. Der restliche Strombedarfs für den Betrieb der Wärmepumpe wird durch Netzstrom abgedeckt. Die Umweltbelastung des eigens produzierten Solarstroms entsteht also einzig durch die Infrastruktur der Photovoltaikanlage. Nicht berücksichtigt wurden dabei die bei der notwendigen Speicherung im System anfallenden Umweltbelastungen.

Wahl des Strommixes

Der Einsatz von immer mehr Wärmepumpen führt insgesamt zu einem erhöhten Strombedarf in der Schweiz. Da diese Erhöhung durch die aktuelle Schweizer Stromproduktion nicht gedeckt werden kann, muss zusätzlich Strom importiert werden. Dieser zusätzlich generierte Strom wird mittelfristig zu einem grossen Teil aus fossilen Energiequellen generiert, entweder indem ältere Kohlekraftwerke nicht abgeschaltet werden oder indem zusätzliche Gas-Kombikraftwerke gebaut werden. Aus pragmatischen Gründen wur-

de dieser Grenzstrommix mit dem Europäischen Strommix (UCTE-Verbund) angenähert, wobei dieser tendenziell zu tieferen Umweltbelastungen führt als der reale Grenzstrommix. In einer Sensitivitätsbetrachtung wurde aufgezeigt, wie sich das Resultat ändert, wenn mit dem Schweizer Strommix gerechnet wird.

2.2 Kurzbeschreibung Metallziegel-Wärmepumpensystem

Das Wärmeerzeugungssystem besteht grundsätzlich aus einer Energieabsorberfläche in Form von Bronzeziegeln sowie einer Wärmepumpe (Abbildung. 1). Die Bronzeziegel dienen dabei der Wärmepumpe als Energiequelle für die benötigte Nutzwärme.

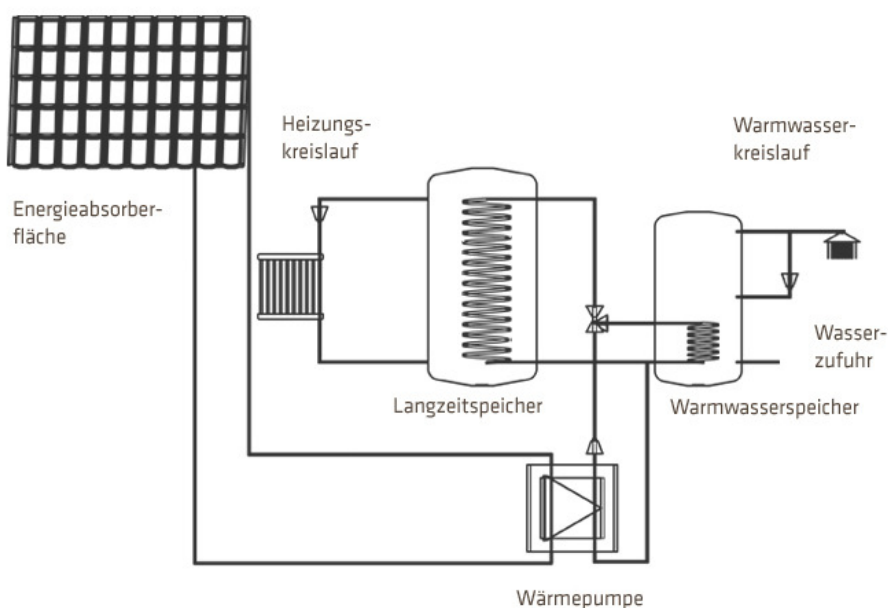


Abbildung 1: Schema des Metallziegel-Wärmepumpensystems

Tabelle 2: Datengrundlagen Metallziegel-Wärmepumpensystem

Prozess	Angaben	Herkunft Daten
Metallziegel Material (70% Rezyklat)	57.5% Cu, 40% Zn, 1.5% Mn, 1% Fe	Hersteller
Metallziegel Herstellung	Giessen, Extrudieren, Schweißen	Hersteller
Metallziegel Gewicht	42 kg/m ² Dachfläche	Hersteller
Metallziegel Leistung	800 kWh/(m ² *a)	Hersteller
Metallziegel Lebensdauer	>25 a (Annahme: 50 a)	
JAZ Angabe Hersteller		Hersteller
Herkömlischer Typ, Altbau	3.1	
L-33W50, Minergie	4.0	

Kupferauswaschung

Bei den Metallziegeln handelt es sich um eine Kupfer-Zink-Legierung mit Zusatz von Mangan und Eisen. Sie eignet sich besonders für architektonische kunstgewerbliche Arbeiten, die gegen Witterungseinflüsse beständig sein sollen. Die Zugabe von Mangan und Eisen verleiht den Ziegeln eine zusätzliche Witterungsbeständigkeit, so dass im Gegensatz zu reinen Kupfer- oder Messingdächern keine oder nur sehr minimale

Auswaschungen von Kupfer zu erwarten sind (Herstellerangabe). Eine Untersuchung der Kupferauswaschungen des KKL Luzern (Kupferdach) kam zum Schluss, dass keine Toxizität der Wasserproben auf Leuchtakterien, Algen oder Wasserflöhe (Daphnien) festzustellen ist. Dies ist mit hoher Wahrscheinlichkeit darauf zurückzuführen, dass das Kupfer nicht bioverfügbar, sondern gebunden und damit biologisch inaktiv vorlag (Arens 2001). Eine grobe Abschätzung mit den vom KKL gemessenen Kupferkonzentrationen ergab eine zusätzliche Umweltbelastung von weniger als 3 Promille für die in Frage kommenden Wärmeerzeugungssysteme. Da bei den Metallziegeln wesentlich geringere Auswaschungsmengen erwartet werden, wurde die Umweltbelastung der Kupferauswaschung in dieser Studie nicht ausgewiesen.

2.3 Kurzbeschreibung Eisspeicher-Wärmepumpensystem

Das Wärmeerzeugungssystem besteht grundsätzlich aus einer Energieabsorberfläche in Form von Polyethylen-Schläuchen, einer Wärmepumpe und einem Eisspeicher (Abbildung. 2). Die Wärme des Dachabsorbers wird in den Eisspeichertank geleitet. Das Wasser im Speicher dient der Wärmepumpe als Energiequelle für die benötigte Nutzwärme, wobei der Phasenübergang von Wasser zu Eis als besondere Energiequelle dienen kann.

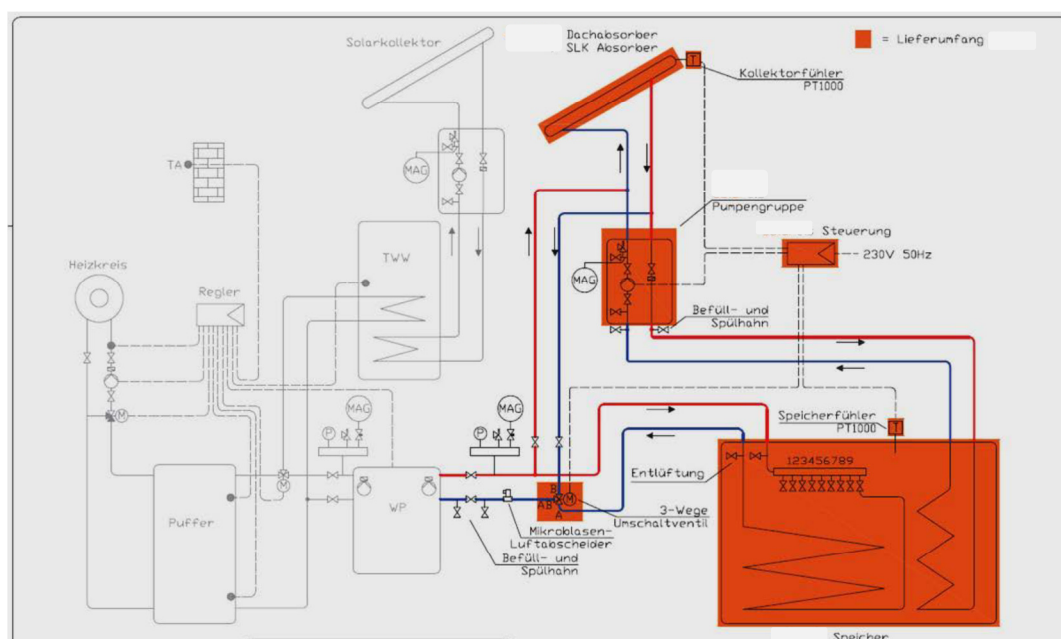


Abbildung 2: Schema des Eisspeicher-Wärmepumpensystems.

Tabelle 3: Datengrundlage Eisspeicher-Wärmepumpensystem

Prozess	Angaben	Herkunft Daten
Eisspeicher Volumen	12 m3	Hersteller
Eisspeicher Material	8 t Beton, 30 kg PE Schläuche	Hersteller
Eisspeicher Lebensdauer	25 a	Hersteller
Wärmeabsorber (PE) Fläche	12 m2	Hersteller
JAZ Angabe Hersteller		Hersteller
Altbau	4	

2.4 Sachbilanz

In der Sachbilanz wird ein Modell für die bilanzierenden Wärmeerzeugungssysteme entworfen und die Energie- und Stoffflüsse der damit verbundenen Prozesse erfasst. Diese umfassen:

- die Beziehungen eines Prozesses mit andern Prozessen der Technosphäre, wie z.B. Menge an benötigten Rohstoffen, Hilfsstoffen, Energiebedarf oder Transporte
- die Beziehungen eines Prozesses mit seiner natürlichen Umwelt der Ökosphäre, wie z.B. Bedarf an Ressourcen (fossile Energieträger, Landressourcen etc.) und Emissionen, wie z. B. CO₂, CO, Methan Stickoxide u.a.

Die Sachbilanz wurde mit der Ökobilanz-Software EMIS 5.7 erstellt und entsprechende Stoff- und Energieflüsse als Basis für die Wirkbilanz berechnet. Als Datengrundlage für vorgelagerte Prozesse wurde soweit möglich auf Standarddaten aus ecoinvent 2.2 zurückgegriffen.

2.5 Wirkbilanz

In diesem Schritt wird die Sachbilanz bezüglich den Auswirkungen auf die Umwelt bewertet. Im Rahmen dieses Projektes wurden u. a. die folgenden Wirkungen berechnet: Treibhauspotential, energetische Ressourcen, Ozonbildungspotential, Säurepotential, Eutrophierung. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde nur das Treibhauspotential (CO₂-eq, IPCC 2007) dargestellt. Die verschiedenen Wirkungen bilden jedoch zusammen mit den Bewertungsmethoden (siehe nächstes Kapitel) die Basis für die Beurteilung.

2.6 Bewertungen

Die gewählte Methode der Ökologischen Knappheit (UBP, 2006) wurde 1970 von S. Ahbe, A. Braunschweig und R. Müller-Wenk mit dem Ziel entwickelt, die verschiedenen Umweltauswirkungen zu einer einzigen Kenngrösse (Umweltbelastungspunkte - UBP) zusammenzufassen. Unter Mithilfe des BAFU wurde die Methode seit 1990 periodisch weiter entwickelt und hat sich in der Schweiz etabliert. Die Methode widerspiegelt die Umweltpolitik der Schweiz und bewertet die verschiedenen Umweltwirkungen anhand den aktuellen Belastungen und den umweltpolitischen Zielwerten („distance-to-target“-Ansatz). Für die Bewertung von Prozessen, deren Umweltbelastung ausserhalb der Schweiz erzeugt wird, gilt die Annahme, dass die relative Wichtigkeit der Belastungsfaktoren gleich gelagert ist wie hierzulande.

Um die Resultate besser abzustützen wurde eine zweite Bewertungsmethode mit einem anderen Ansatz zur Aggregation der verschiedenen Umweltwirkungen verwendet. Dazu wurde die Methode ReCiPe Endpoint (Nachfolger Eco-Indicator 99) gewählt. Diese beruht auf einem Indikator mit Bewertungspunkten für Schäden, welche an den drei Schutzziele Menschliche Gesundheit, Ökosystemqualität und Ressourcen entstehen. Die Schäden werden dabei auf der Basis von gesellschaftlichen Wertmassstäben relativ zueinander gewichtet.

2.7 Unsicherheiten und Signifikanz

Jede Ökobilanz ist mit Unsicherheiten behaftet, welche sich aus Unsicherheiten bei der Datenerhebung, wie auch bei der Berechnung der Einwirkungen und Auswirkungen auf die Umwelt ergeben. Diese Unsicherheiten wurden soweit möglich ausgewiesen und liegen bei der Darstellung der Szenarien im Bereich der darin ausgewiesenen Spannweite des ökologischen Nutzens.

Daher ist folgendes zu beachten:

- Die Unsicherheit der Bewertung ist eine Abschätzung, die voraussichtlich eher zu tief angenommen wurde.
- Die berechneten Unsicherheiten gelten für unabhängige Systeme. Wenn z.B. Wärmepumpen mit unterschiedlicher Effizienz verglichen werden, dann ist die Unsicherheit deutlich kleiner.

3 Resultate und Diskussion

In Kap. 3.1 werden die Umweltwirkungen der Wärmeerzeugungssysteme für einen Altbau unter Berücksichtigung des UCTE-Strommix miteinander verglichen. Die Umweltwirkungen der Wärmeerzeugungssysteme für einen Neubau werden in Kap. 3.2 betrachtet. Wie die Resultate aussehen, wenn anstelle des UCTE-Strommix der Schweizer Strommix verwendet wird, wird in Kap. 3.3 ersichtlich. Kap. 3.4 betrachtet in einem weiteren Schritt den Zusammenhang zwischen der JAZ und der Umweltbelastung der Wärmepumpensysteme. In Kap. 3.5 wird analysiert, wie stark die Infrastruktur der Wärmepumpensysteme zur Umweltbelastung beiträgt.

3.1 Umweltbelastung der Wärmeerzeugungssysteme für Altbau

Ein Vergleich der Wärmeerzeugungssysteme (Abbildung 3) für ein Altbau-Einfamilienhaus mit 196 m² Energiebezugsfläche führt unter Verwendung des UCTE-Strommix zu folgenden Resultaten (absolute Emissionshöhen sind im Anhang ersichtlich):

Bewertet mit UBP:

- Aufgrund der hohen methodischen Unsicherheit der UBP-Methode schneiden die meisten Wärmeerzeugungssysteme im Vergleich zur Gasheizung in etwa gleich gut ab.
- Eine deutlich höhere Umweltbelastung weisen einzig die L/W-Wärmepumpe sowie die Wärmepumpenvarianten mit JAZ 2.3 ab aufgrund der eher tiefen JAZ.
- Die Pelletsheizung schneidet nicht besser ab als eine Gasheizung aufgrund ihrer Feinstaub- und NO_x-Emissionen.
- Tendenziell scheinen jedoch die Gas- und Pelletsheizungen zu den umweltfreundlicheren und die Wärmepumpensysteme zu den schlechteren Wärmeerzeugungssystemen zu gehören.

Bewertet mit ReCiPe:

- Aufgrund der hohen methodischen Unsicherheit der ReCiPe-Methode schneiden die meisten Wärmeerzeugungssysteme im Vergleich zur Gasheizung in etwa gleich gut ab.
- Besser schneidet einzig die Pelletsheizung ab. Denn die ReCiPe-Methode gewichtet den Bedarf von nicht erneuerbaren Ressourcen sehr stark, gefolgt vom Treibhauseffekt. Die anderen Umweltwirkungen sind bei den untersuchten Systemen von untergeordneter Bedeutung.
- Tendenziell scheinen die Erdsonden-Wärmepumpe sowie die Metallziegel- und Eisspeicher-Varianten mit JAZ 3.4 besser abzuschneiden als die Gasheizung.

Hinsichtlich Treibhauspotential:

- Die Pelletsheizung weist die tiefsten Werte auf aufgrund der als biogen bewerteten CO₂-Emissionen der Verbrennung.
- Die Erdsonden-Wärmepumpe und die Metallziegel- und Eisspeicher-Systeme mit JAZ 3.4 weisen höhere Werte als die Pelletsheizung aber tiefere Werte als die Gasheizung auf.
- Die Ölheizung weist höhere Emissionen als die Gasheizung auf.

Grundsätzlich wirkt sich eine höhere JAZ positiv auf das Resultat aus (siehe dazu auch Kapitel 3.5).

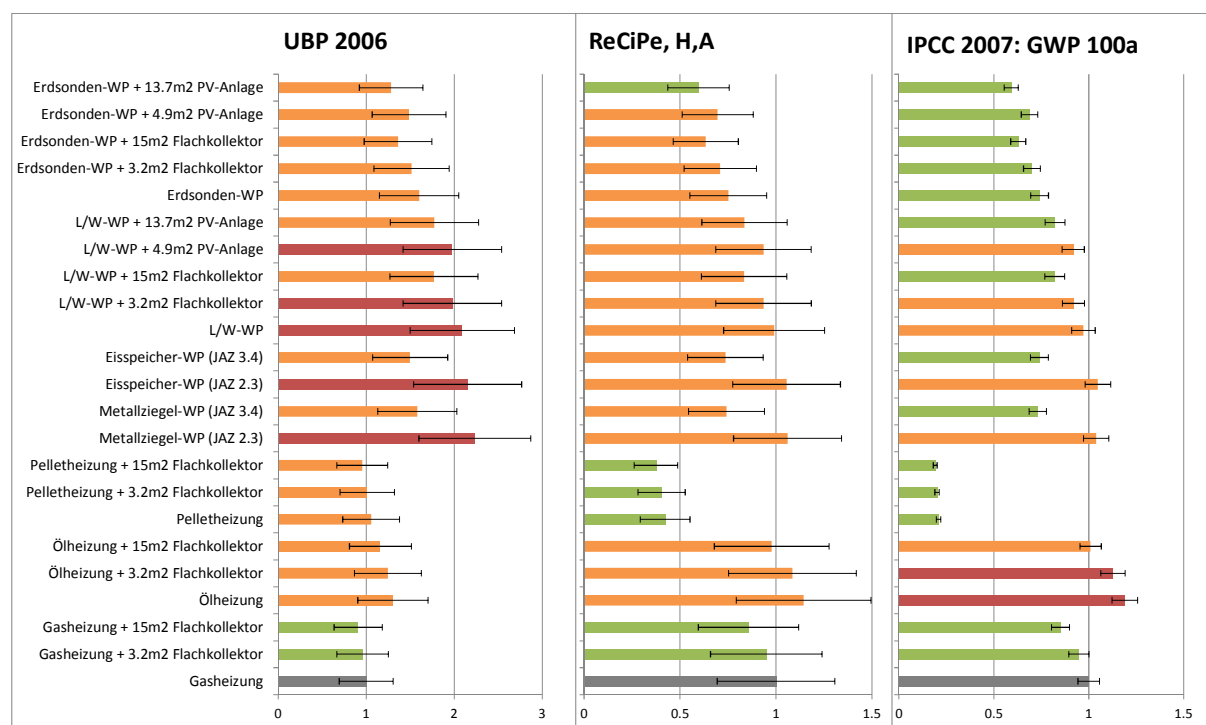


Abbildung 3: Vergleich der Umweltwirkungen der verschiedenen Wärmeerzeugungssysteme. Als Referenzsystem wurde die Gasheizung gewählt.

Grün: besser als Gasheizung. Rot: schlechter als Gasheizung. Orange: gleich wie Gasheizung. Die Unsicherheit der Resultate ist mit den schwarzen Strichen dargestellt. Es ist zu beachten, dass die Unsicherheit viel kleiner ist, wenn verschiedene Varianten desselben Wärmeerzeugungssystems betrachtet werden (z.B. L/W-WP mit Erdsonden-WP). Aus diesem Grund sind die Gasheizungsvarianten grün dargestellt, da sie auf jeden Fall besser abschneiden als das Referenzsystem (siehe auch Abb. 4)

Abbildung 4 zeigt den Einfluss von Sonnenkollektoren und Photovoltaikanlagen für die jeweiligen Wärmeerzeugungssysteme. In allen drei betrachteten Methoden führt der Einsatz von thermischen Sonnenkollektoren oder Photovoltaikanlagen zu einer signifikanten Reduktion der Umweltbelastung des jeweiligen Wär-

meerzeugungssystems. Dabei zeigt sich, dass die Einsparung umso höher ist, je grösser die Kollektor- oder Photovoltaikfläche ist.

Die Unsicherheiten sind bei diesen Vergleichen wesentlich kleiner, da das Hauptssystem jeweils das gleiche ist, d.h. alle Unsicherheiten des Hauptsystems fallen bei diesen Vergleichen weg.

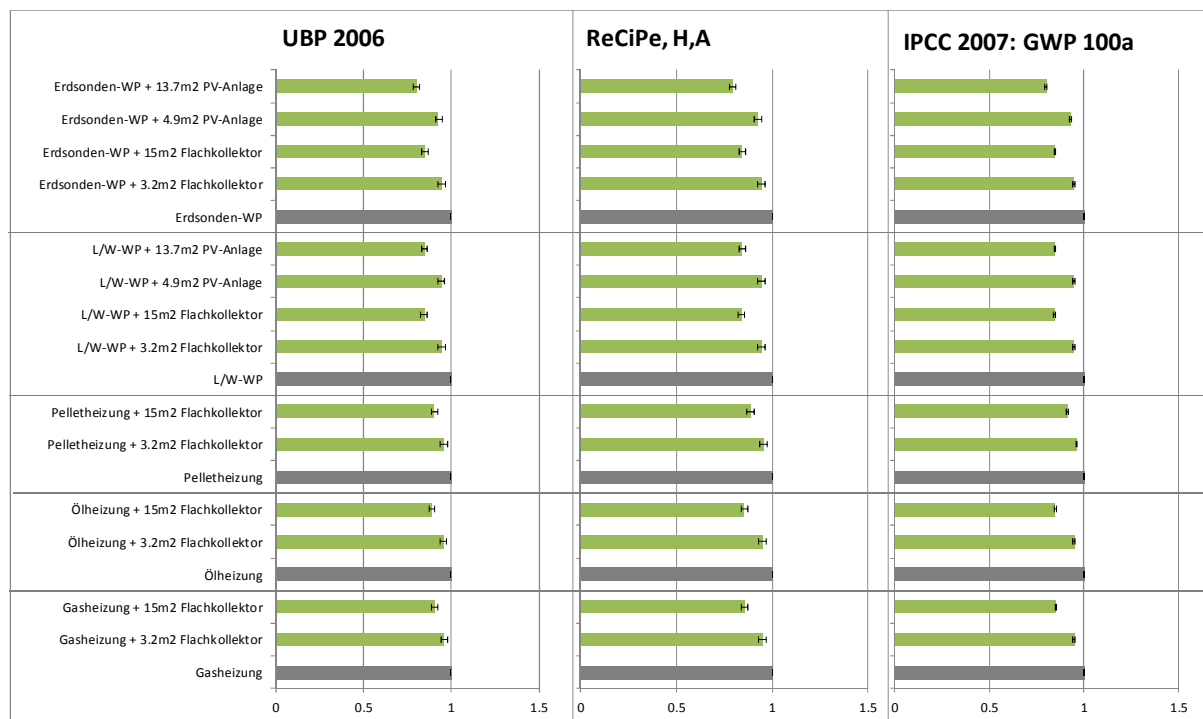


Abbildung 4: Vergleich der Umweltwirkungen der verschiedenen Wärmeerzeugungssysteme. Als Referenzsystem wurde das jeweilige Hauptwärmeerzeugungssystem gewählt.

Grün: besser als Hauptsystem. Rot: schlechter als Hauptsystem. Orange: gleich wie Hauptsystem. Die Unsicherheit der Resultate ist mit den schwarzen Strichen dargestellt.

3.2 Umweltbelastung der Wärmeerzeugungssysteme für Neubau

Ein Vergleich der Wärmeerzeugungssysteme (Abbildung 5) für ein Neubau-Einfamilienhaus mit 196 m² Energiebezugsfläche führt unter Verwendung des UCTE-Strommix zu sehr ähnlichen Resultaten wie beim Altbau (absolute Emissionshöhen sind im Anhang ersichtlich). Siehe Kap. 3.1 für die weitere Beschreibung der Resultate.

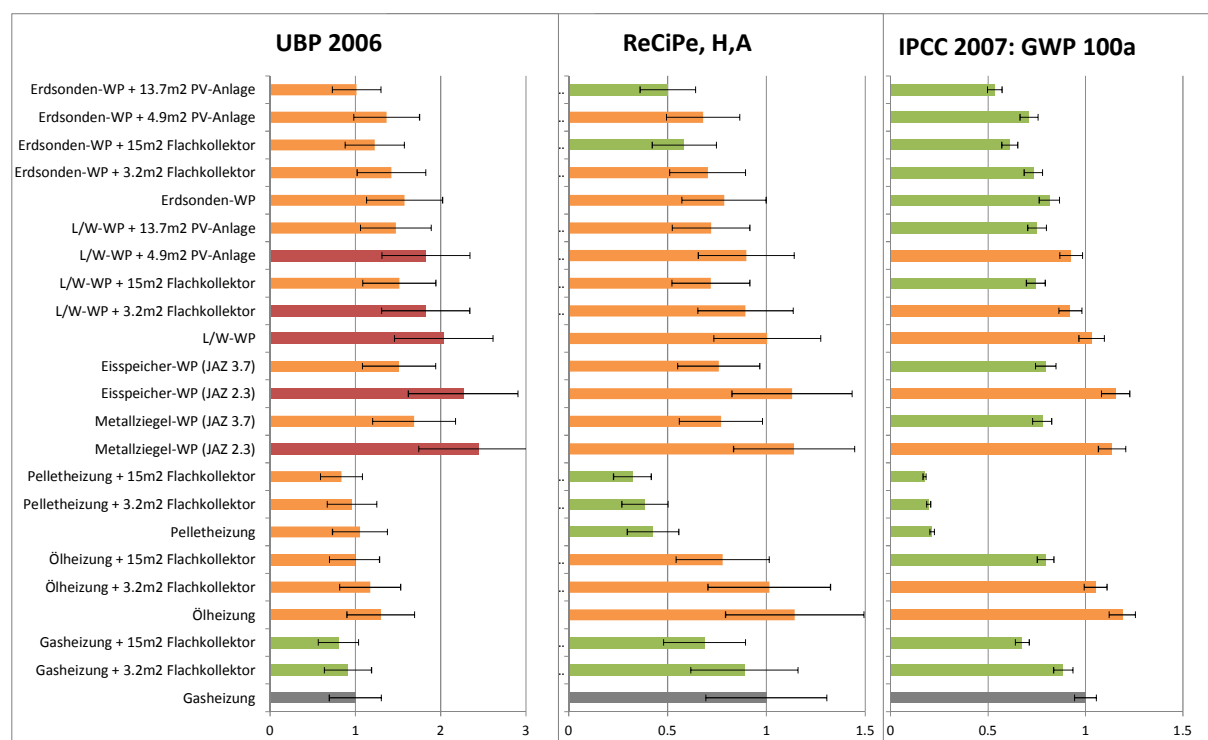


Abbildung 5: Vergleich der Umweltwirkungen der verschiedenen Wärmeerzeugungssysteme. Als Referenzsystem wurde die Gasheizung gewählt.

Grün: besser als Gasheizung. Rot: schlechter als Gasheizung. Orange: gleich wie Gasheizung. Die Unsicherheit der Resultate ist mit den schwarzen Strichen dargestellt. Es ist zu beachten, dass die Unsicherheit viel kleiner ist, wenn verschiedene Varianten desselben Wärmeerzeugungssystems betrachtet werden (z.B. L/W-WP mit Erdsonden-WP). Aus diesem Grund sind die Gasheizungsvarianten grün dargestellt, da sie auf jeden Fall besser abschneiden (siehe auch Abb. 5)

Abbildung 6 zeigt den Einfluss von Sonnenkollektoren und Photovoltaikanlagen für die jeweiligen Wärmeerzeugungssysteme in einem Neubau hinsichtlich einer Reduktion der Umweltbelastung. Relativ gesehen fällt die Einsparung höher aus als beim Altbau. Das ist damit zu begründen, dass die Sonnenkollektoren und Photovoltaikanlagen einen viel grösseren Anteil der gesamten Nutzwärme abdecken können und somit stärker ins Gewicht fallen.

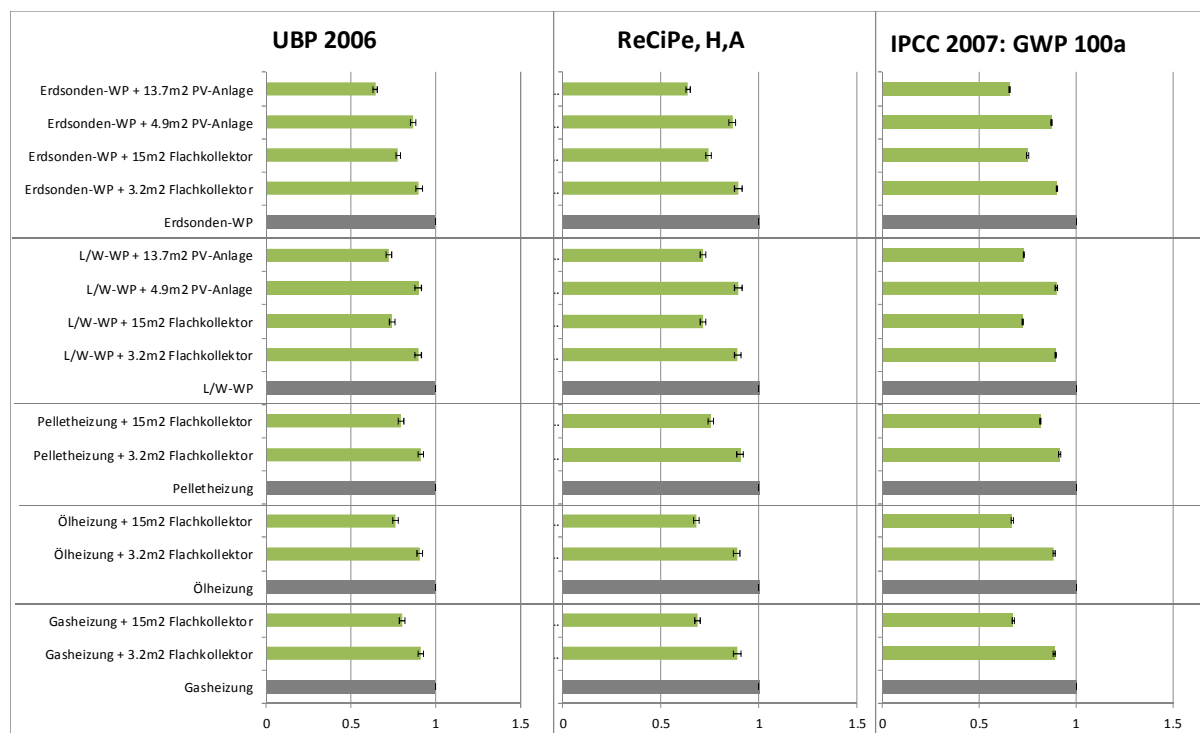


Abbildung 6: Vergleich der Umweltwirkungen der verschiedenen Wärmeerzeugungssysteme. Als Referenzsystem wurde das jeweilige Hauptwärmesystem gewählt.

Grün: besser als Hauptsystem. Rot: schlechter als Hauptsystem Orange: gleich wie Hauptsystem. Die Unsicherheit der Resultate ist mit den schwarzen Strichen dargestellt.

3.3 Einfluss Strommix

Abbildung 7 zeigt die relativen Umweltauswirkungen der diversen Wärmeerzeugungssysteme in einem Altbau-Einfamilienhaus mit 196 m² Energiebezugsfläche unter Berücksichtigung des Schweizer Strommixes (Die absoluten Emissionshöhen sind im Anhang ersichtlich). Im Vergleich zum UCTE-Strommix wird folgendes deutlich:

Bewertet mit UBP:

- Die Resultate sind sehr ähnlich wie mit dem UCTE-Strommix. Alle Systeme schneiden in etwa gleich gut ab. Einerseits aufgrund der relativ hohen Unsicherheit der Methode, die keine signifikanten Unterschiede zulässt. Andererseits weil die UBP-Methode die Belastungen des Atomstroms berücksichtigt, so dass die Wärmepumpensysteme, welche allesamt Strom benötigen, nicht besser abschneiden als fossile Energieträger.

Bewertet mit ReCiPe:

- Aufgrund der ebenfalls relativ hohen Unsicherheit dieser Methode können zwei Gruppen ausgemacht werden: Sämtliche Wärmepumpensysteme sowie die Pelletsheizung schneiden besser ab als Gas- und Ölheizungen. Der Grund liegt in der praktischen NICHT-Bewertung der Auswirkungen von Atomstrom und in der starken Gewichtung des fossilen Ressourcenbedarfs.

Bewertet mit Treibhauspotential:

- Der Schweizer Strommix weist ein vier Mal tieferes Treibhauspotential auf als der Europäische Verbundmix. Deshalb schneiden, ähnlich wie bei ReCiPe, die Wärmepumpensysteme deutlich umweltfreundlicher ab als die Gas- und Ölheizung.
- Die Pelletsheizung weist die tiefsten Werte aller Wärmeerzeugungssysteme auf, da das bei der Verbrennung emittierte CO₂ als biogen und somit klimaneutral betrachtet wird.
- Die Gas- und Ölheizungen weisen mit Abstand die höchsten Werte auf.

Es ist offensichtlich, dass die UBP-Methode zu völlig anderen Resultaten als die ReCiPe-Methode oder das Treibhauspotential kommt. Sämtliche Wärmepumpensysteme schneiden bei ReCiPe und Treibhauspotential deutlich besser ab als die fossilen Wärmeerzeugungssysteme. Ein wesentlicher Grund liegt darin, dass die UBP-Methode die Auswirkungen des Atomstroms (Radioaktivität und Endlager) berücksichtigt, während die ReCiPe-Methode (wie auch das Treibhauspotential) bezüglich dieser Auswirkungen blind ist. Da bei ReCiPe die Klimaauswirkungen und die fossilen Ressourcen sehr stark bewertet werden, ist es nicht erstaunlich, dass diese Methode zu vergleichbaren Resultaten wie das Treibhauspotential führt. Aus diesem Grund erachten wir die Resultate mit ReCiPe (und Treibhauspotential) als nicht vollständig und können zu irreführenden Schlussfolgerungen führen, wenn daraus eine ökologische Optimierung auf Kosten nicht berücksichtigter Umweltaspekte abgeleitet wird.

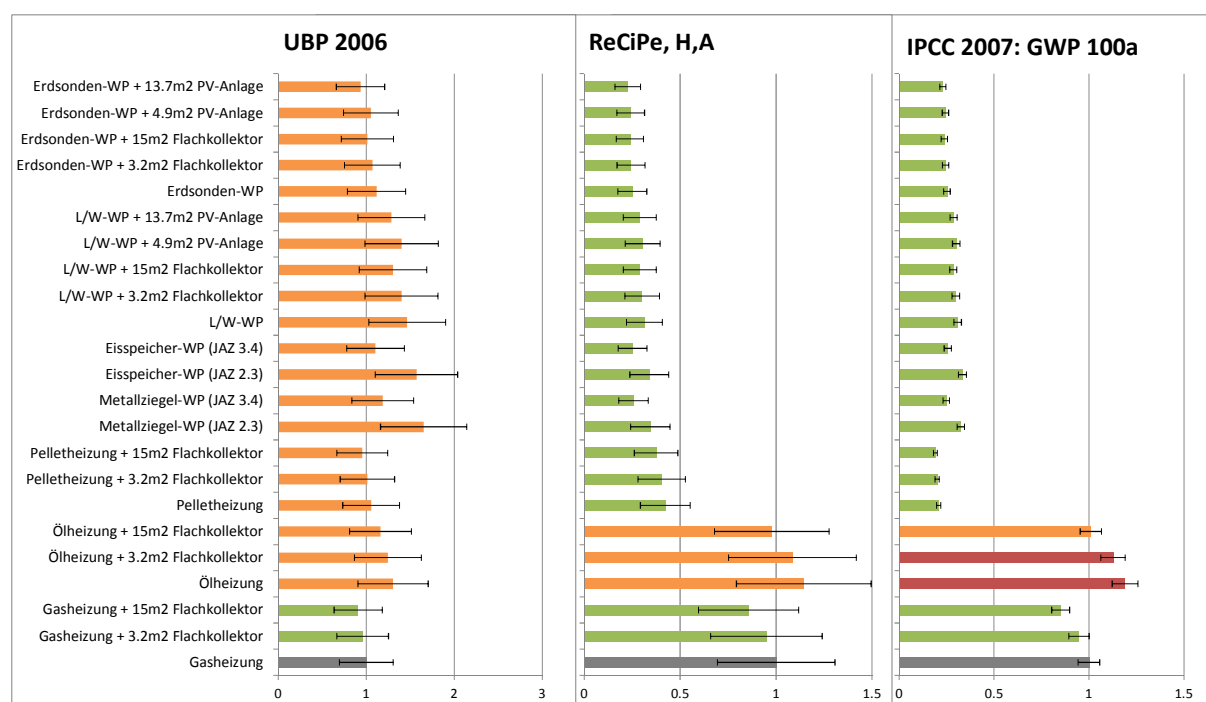


Abbildung 7: Vergleich der Umweltwirkungen der verschiedenen Wärmeerzeugungssysteme unter Verwendung des Schweizer Strommix. Als Referenzsystem wurde die Gasheizung gewählt.

Grün: besser als Gasheizung. Rot: schlechter als Gasheizung. Orange: gleich wie Gasheizung. Die Unsicherheit der Resultate ist mit den schwarzen Strichen dargestellt. Es ist zu beachten, dass die Unsicherheit viel kleiner ist, wenn verschiedene Varianten desselben Wärmeerzeugungssystems betrachtet werden (z.B. L/W-WP mit Erdsonden-WP). Aus diesem Grund sind die Gasheizungsvarianten grün dargestellt, da sie auf jeden Fall besser abschneiden (siehe auch Abb. 5).

3.4 Einfluss Jahresarbeitszahl bei Wärmepumpen

Die Jahresarbeitszahl (JAZ) beschreibt das Verhältnis zwischen bezogener Energie und als Nutzwärme abgegebener Energie. Die JAZ hängt einerseits von der Effizienz der Wärmepumpe ab - heute gebräuchliche Modelle weisen eine Effizienz von 50% auf, während die besten Geräte Werte bis 60% erreichen. Andererseits ist das Verhältnis von Nutzwärme zur Differenz Nutzwärme und Wärmequellentemperatur entscheidend. Dies ist physikalisch gegeben und definiert den maximal möglichen Wirkungsgrad. Je tiefer die Nutzwärmetemperatur ist, desto wirtschaftlicher kann die Wärmepumpe arbeiten, d.h. desto höher fällt die JAZ aus. Grundsätzlich sollte die Vorlauftemperatur bei $<35^{\circ}\text{C}$ liegen um eine optimale Effizienz der Wärmepumpe zu gewährleisten. In Neubauten ist dies heutzutage Standard, da dank besserer Isolierung und Fussbodenheizung eine solch tiefe Vorlauftemperatur ausreicht. In Altbauten sind oft Vorlauftemperaturen von 50°C und höher notwendig, um die Räume zu beheizen. Deshalb weisen Wärmepumpen in Altbauten oftmals eine schlechtere JAZ auf als in Neubauten. Tab. 4 zeigt die maximal denkbaren JAZ in Abhängigkeit der Nutzwärme- und Wärmequellentemperatur auf.

Tabelle 4: Theoretisch max. JAZ in Abhängigkeit der Temperatur bei einer Effizienz von 50% oder 60% der Wärmepumpe

Zweck	Vorlauftemp. Tn (in Kelvin)	Wärmequelle Tu (in Kelvin)	JAZ: $T_n/(T_n-T_u)*0.5$	JAZ: $T_n/(T_n-T_u)*0.6$
Raumwärme Altbau	322°	283° (Erdsonde)*	4.0	4.8
Raumwärme Altbau	322°	278° (Luft)**	3.6	4.3
Raumwärme Neubau	302°	283° (Erdsonde)	7.6	9.1
Raumwärme Neubau	302°	278° (Luft)	6.1	7.2
Warmwasser	322°	283° (Erdsonde)*	4.0	4.8
Warmwasser	322°	278° (Luft)**	3.6	4.3

* gemäss Heck 2007

** Durchschnittstemperatur während Heizperiode gemäss Witterungsstation Basel

Abbildung 8 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen der JAZ und der Umweltbelastung für ein Einfamilienhaus (Beispiel Altbau, beim Neubau ist das Ergebnis sehr ähnlich). Es wurden alle in dieser Studie verwendeten JAZ sowie die von den Herstellern angegebenen „Spitzenwerte“ miteinbezogen. Unter Berücksichtigung des UCTE-Strommix wird deutlich, dass Wärmepumpen erst ab einer JAZ von 5 und mehr wirklich umweltfreundlicher abschneiden als eine Pellets- oder Erdgasheizung. Somit liegt die Schlussfolgerung nahe, dass Wärmepumpensysteme erst dann empfohlen werden sollten, wenn eine JAZ von 5 oder höher garantiert werden kann. Aus Tabelle 4 geht hervor, dass dies für Altbauten praktisch nicht möglich sein wird. Bei Neubauten ist es dank den tieferen Vorlauftemperaturen jedoch theoretisch möglich, die geforderte JAZ von 5 oder höher zu erreichen. Zu beachten ist jedoch, dass bei gut isolierten Gebäuden der Warmwasseranteil an der gesamten Nutzwärme 50% und mehr ausmachen kann. Und da Warmwasser auf mindestens 50° erhitzt wird, verringert sich dadurch die Effizienz der Wärmepumpe beträchtlich, so dass JAZ von über 5 fraglich sind.

Bei Eisspeicher-Wärmepumpensystem sind JAZ von bis zu 5.4 dokumentiert. Das System ist vor allem für Liegenschaften mit Kühlbedarf im Sommer geeignet (z.B. Hotels), da so die im Winter aufsummierte Speicherkälte Strom zum Kühlen einsparen kann. Ein Kühlbedarf liegt jedoch bei den analysierten Einfamilienhäusern nicht vor.

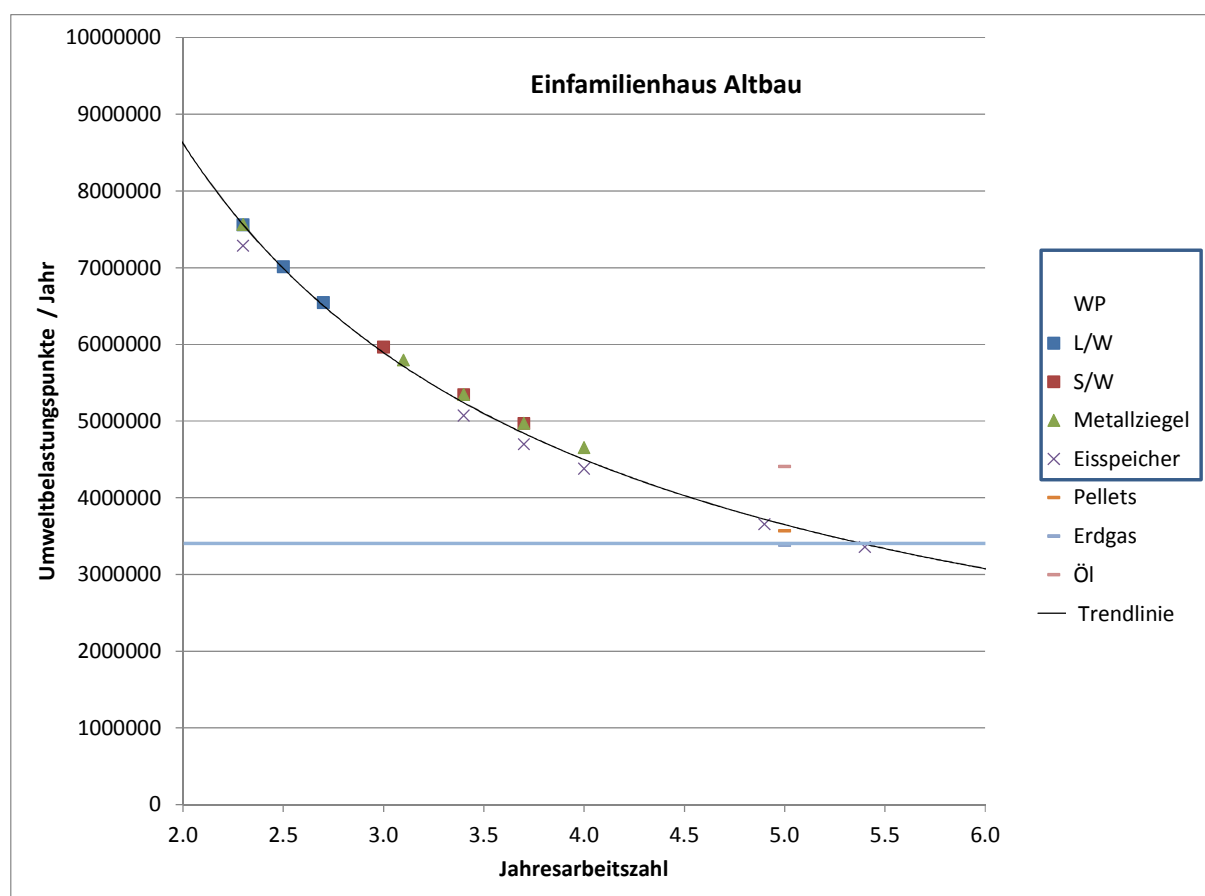


Abbildung 8: Einfluss der JAZ auf die Umweltbelastung im Vergleich zu den anderen Wärmeerzeugungssystemen beim Altbau.

Die Auflistung der JAZ gegenüber der Umweltbelastung zeigt auf, ab welcher JAZ Wärmepumpensysteme besser abschneiden als Pellets- oder fossile Wärmeerzeugungssysteme.

Exkurs Ökostrom

Abbildung 9 zeigt auf, dass sämtliche Wärmepumpen mindestens doppelt so gut abschneiden wie die Pellets- und fossilen Heizungen wenn der Strom zu 100% von Solarzellen hergestellt wird. Andere erneuerbare Energien führen meist zu noch besseren Resultaten. (Nicht berücksichtigt wurde die notwendige Speicherleistung zwischen Produktion und Bedarf des Stroms). Dies könnte zum Schluss führen, dass es aus ökologischer Sicht genauso sinnvoll ist, direkt mit einer Stromheizung zu heizen. In der heutigen Situation mit steigendem Strombedarf ist die Anrechnung von Strom aus erneuerbaren Energien nur dann gültig, wenn der Strom durch zusätzliche installierte Anlagen produziert wird. Es reicht daher nicht, einfach zertifizierten Ökostrom zu kaufen, da dieser nicht oder nur in sehr geringem Masse zu einem effektiven Ausbau an erneuerbaren Energien führt. Es macht jedoch dann Sinn, wenn man selber zusätzliche erneuerbare Anlagen anschafft. Vor dem Hintergrund der Schweizer Stromdiskussion stellt sich zudem die Frage, inwiefern es sinnvoll ist, Strom zum Heizen zu verwenden, wenn erwartet wird, dass der Strom in Zukunft knapp sein wird und bei vielen Anwendungen keine Alternative zum Strom besteht, beim Heizen jedoch schon (siehe dazu auch Kapitel 4).

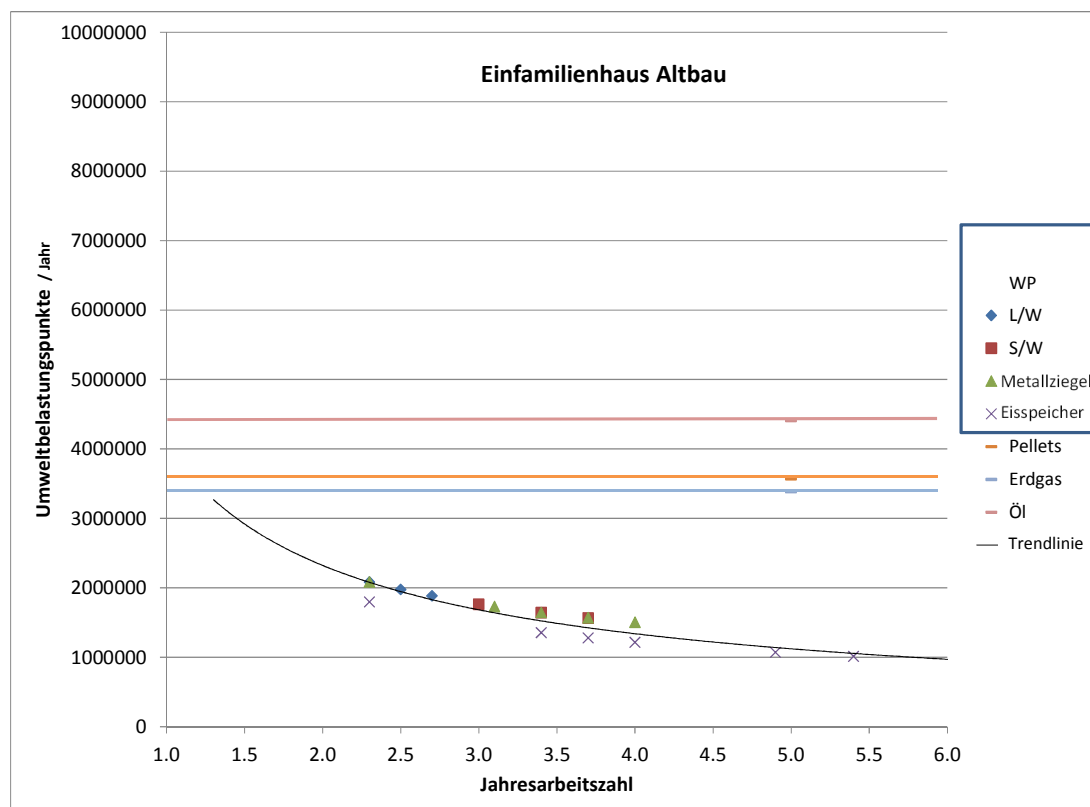


Abbildung 9: Einfluss der JAZ auf die Umweltbelastung im Vergleich zu den anderen Wärmeerzeugungssystemen unter Verwendung von Strom aus 100% erneuerbaren Energien (hier reiner PV Strom).

Die Auflistung der JAZ gegenüber der Umweltbelastung zeigt auf, ab welcher JAZ Wärmepumpensysteme besser abschneiden als Pellets- oder fossile Wärmeerzeugungssysteme.

3.5 Anteil Infrastruktur bei Wärmepumpensystemen

Während Erdgas-, Öl- sowie die Pelletsheizung direkte Luftemissionen verursachen, welche einen Grossteil zur Umweltbelastung der Systeme beitragen, generieren Wärmepumpen grundsätzlich keine direkten Luftemissionen vor Ort. Abbildungen 9 und 10 zeigen auf, wie sich die Umweltbelastung von Wärmepumpensystemen zusammensetzt. Der grösste Emissionsanteil stammt dabei von der Bereitstellung des benötigten Stroms (in diesem Fall der UCTE-Strommix). Die Infrastruktur der Wärmeerzeugungssysteme (Herstellung der Geräte etc.) macht den kleineren Teil an der Umweltbelastung aus. Der Anteil liegt beim Altbau zwischen 7% und 13% und beim Neubau zwischen 12% und 25%.

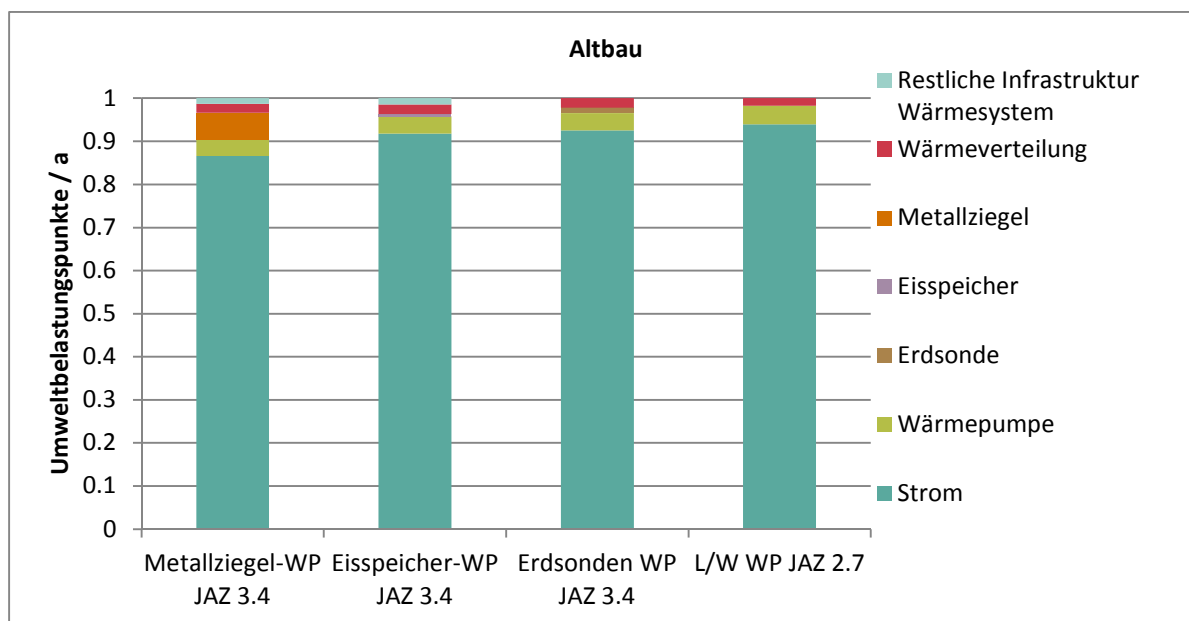


Abbildung 10: Anteil Infrastruktur und Strom bei Wärmepumpensystemen in einem Altbau.

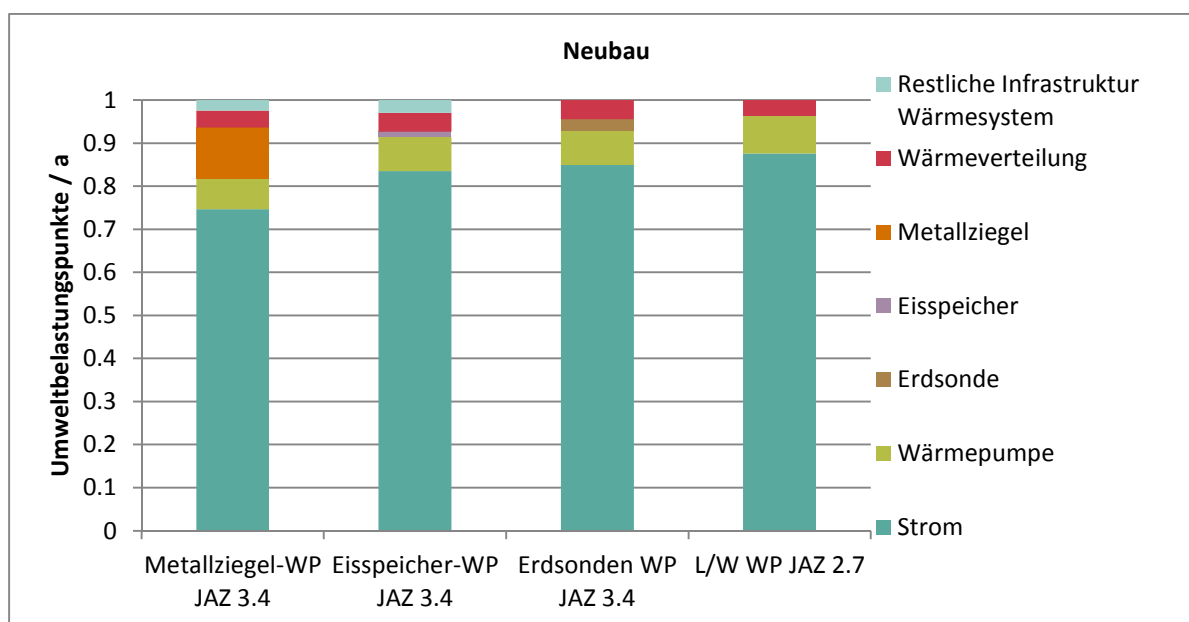


Abbildung 11: Anteil Infrastruktur und Strom bei Wärmepumpensystemen in einem Neubau.

4 Schlussfolgerung

In dieser Studie wurde der Einsatz diverser Heizungssysteme in einem Einfamilienhaus mit 196 m² Energiebezugsfläche verglichen. Wie in Kapitel 3.3 dargelegt wurde, ist für den hier untersuchten Vergleich verschiedener Wärmeerzeugungssysteme mit sehr unterschiedlichen Energiequellen die UBP-Methode am besten geeignet, um die effektiven Umweltbelastungen in der Schweiz zu bewerten. Deshalb beziehen sich die Schlussfolgerungen vorwiegend auf die UBP-Resultate. Folgendes lässt sich aus den Resultaten ableiten:

1. Die Hauptwärmeerzeugungssysteme schneiden hinsichtlich der Gesamtumweltbelastung alle ähnlich gut ab.
2. Die Pelletsheizung ist bei den Wärmeerzeugungssystemen mit den tendenziell tiefsten Umweltbelastungen dabei, während Wärmepumpen tendenziell bei den Wärmeerzeugungssystemen mit den höchsten Umweltbelastungen liegen.
3. Bei Wärmepumpen ist die JAZ der entscheidende Faktor hinsichtlich der Umweltbilanz. Metallziegel- und Eisspeichersysteme erreichen gemäss Angaben der Hersteller mindestens so gute JAZ wie die Erdsonden-Wärmepumpen. Daraus folgt, dass diese Wärmepumpensysteme im Vergleich zu Erdsonden-Wärmepumpen ähnlich gut abschneiden. Dieses Erkenntnis kann als Entscheidungsgrundlage für eine Förderung dieser Heizsysteme analog zu den Erdsonden-Wärmepumpen verwendet werden.
4. Wärmepumpensysteme sind unter Berücksichtigung des UCTE-Strommix erst ab einer JAZ von 5 und höher umweltfreundlicher als Pellets- und Erdgassysteme. Dies ist in Altbauten praktisch nicht möglich. Auch in Neubauten bleibt wegen der Warmwasserbereitstellung offen, ob solche JAZ in der Realität wirklich erreicht werden können.
5. Der Einsatz von Sonnenkollektoren und Photovoltaikanlagen macht aus Umweltsicht immer Sinn. Je weniger Energie benötigt wird, desto einflussreicher wird deren Einsatz als Unterstützung zum Hauptwärmeerzeugungssystem. Es ist daher aus Umweltsicht am sinnvollsten, das Haus optimal zu isolieren und möglichst grossflächig Sonnenkollektoren- oder Photovoltaikanlagen zu installieren.

Vor dem Hintergrund der Schweizer Stromdiskussion stellt sich die Frage, inwiefern es sinnvoll ist, Strom zum Heizen zu verwenden, wenn

- die Ökobilanz zeigt, dass Wärmepumpen aus heutiger Sicht keinen ökologischen Vorteil gegenüber den anderen Wärmeerzeugungssystemen haben.
- erwartet wird, dass der Strom in Zukunft knapp sein wird
- bei vielen Anwendungen keine Alternative zum Strom besteht, beim Heizen jedoch schon.

Neben der globalen Sichtweise der Ökobilanzierung sind für die Wahl des geeigneten Heizsystems auch andere Faktoren entscheidend, wie z.B. Infrastruktur (z.B. Erdgas- oder Fernwärmenetz), lokale Luftbelastung (Staub, NO_x, Ozon etc.), Gewässerschutz zonen etc. Basierend auf diesen Erkenntnissen schlagen wir vor, die Förderung von Heizsystemen regionalisiert zu betrachten. Es liesse sich eine Karte erstellen, die aufzeigt, in welchen Gebieten welches Hauptheizsystem gefördert werden sollte. In Gebieten ohne Erdgasnetz und mit hoher Luftbelastung würde dann der Einsatz von Wärmepumpensystemen durchaus sinnvoll sein, während in Gebieten mit Erdgasanschluss und relativ geringen Luftbelastungen sogar die Förderung von Erdgassystemen denkbar wäre. Eine solche Visualisierung und flächenbezogene Einbindung der Erkenntnisse dieser Studie in Kombination mit weiteren Faktoren würde die Grundlage schaffen für eine flexible und aus Umweltsicht sehr sinnvolle Förderung von Hauptheizsystemen.

5 Literaturverzeichnis

P. Arens (2001). Kupfer und Umwelt. Deutsches Kupferinstitut.

ecoinvent Daten v2.2, Schweizer Zentrum für Ökoinventare. Dübendorf, 2010

T. Heck (2007). Wärmepumpen. In: R. Dones (Ed) et al., Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und der Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. Final report ecoinvent No. 6-X, Paul Scherrer Institut Villigen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf.

IPCC, (2007). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

Goedkoop M.J., Heijungs R, Huijbregts M., De Schryver A.;Struijs J.,; Van Zelm R, ReCiPe 2008, A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the end-point level; First edition Report I: Characterisation; 6 January 2009, <http://www.lcia-recipe.net>

Frischknecht R., Steiner R., Jungbluth N. (2008) Methode der ökologischen Knappheit – Ökofaktoren 2006. Bundesamt für Umwelt (BAFU)/ÖBU.

Anhänge

A1 Resultate Altbau mit UCTE-Strommix

Tabelle 5: Umweltbelastung der Nutzwärmebereitung eines Altbaus pro Jahr.

Altbau, Umweltbelastung pro Jahr	kg CO₂-eq.	ReCiPe ecopoints	UBP
Metallziegel-WP (JAZ 2.3)	6910	680	7560000
Metallziegel-WP (JAZ 3.4)	4860	470	5340000
Metallziegel-WP (JAZ 4)	4220	410	4650000
Eisspeicher-WP (JAZ 2.3)	6950	670	7270000
Eisspeicher-WP (JAZ 3.4)	4900	470	5060000
L/W-WP	6460	630	7070000
L/W-WP + 3.2 m ² Flachkollektor	6110	600	6690000
L/W-WP + 15 m ² Flachkollektor	5460	530	5980000
L/W-WP + 4.9 m ² PV-Anlage	6110	600	6690000
L/W-WP + 13.7 m ² PV-Anlage	5470	530	6000000
Erdsonden-WP	4930	480	5410000
Erdsonden-WP + 3.2 m ² Flachkollektor	4660	450	5120000
Erdsonden-WP + 15 m ² Flachkollektor	4180	410	4600000
Erdsonden-WP + 4.9 m ² PV-Anlage	4570	440	5030000
Erdsonden-WP + 13.7 m ² PV-Anlage	3930	380	4340000
Gasheizung	6650	640	3380000
Gasheizung + 3.2 m ² Flachkollektor	6300	610	3250000
Gasheizung + 15 m ² Flachkollektor	5660	550	3070000
Ölheizung	7910	730	4410000
Ölheizung + 3.2 m ² Flachkollektor	7500	690	4210000
Ölheizung + 15 m ² Flachkollektor	6710	620	3930000
Pelletheizung	1390	270	3570000
Pelletheizung + 3.2 m ² Flachkollektor	1330	260	3420000
Pelletheizung + 15 m ² Flachkollektor	1270	240	3230000

A2 Resultate Neubau mit UTCE-Strommix

Tabelle 6: Umweltbelastung der Nutzwärmeproduktion eines Neubaus pro Jahr.

Altbau, Umweltbelastung pro Jahr	kg CO₂-eq.	ReCiPe ecopoints	UBP
Metallziegel-WP (JAZ 2.3)	2370	230	2650000
Metallziegel-WP (JAZ 3.4)	2410	220	2370000
Metallziegel-WP (JAZ 4)	3140	290	3200000
Eisspeicher-WP (JAZ 2.3)	2810	260	2870000
Eisspeicher-WP (JAZ 3.4)	2270	210	2380000
L/W-WP	2820	260	2870000
L/W-WP + 3.2 m ² Flachkollektor	2290	210	2320000
L/W-WP + 15 m ² Flachkollektor	2480	230	2480000
L/W-WP + 4.9 m ² PV-Anlage	2230	210	2240000
L/W-WP + 13.7 m ² PV-Anlage	1860	170	1930000
Erdsonden-WP	2170	200	2150000
Erdsonden-WP + 3.2 m ² Flachkollektor	1630	150	1600000
Erdsonden-WP + 15 m ² Flachkollektor	3050	290	1570000
Erdsonden-WP + 4.9 m ² PV-Anlage	2700	260	1430000
Erdsonden-WP + 13.7 m ² PV-Anlage	2060	200	1260000
Gasheizung	3620	340	2040000
Gasheizung + 3.2 m ² Flachkollektor	3210	300	1850000
Gasheizung + 15 m ² Flachkollektor	2420	230	1560000
Ölheizung	650	130	1660000
Ölheizung + 3.2 m ² Flachkollektor	600	110	1510000
Ölheizung + 15 m ² Flachkollektor	530	90	1310000
Pelletheizung	2370	230	2650000
Pelletheizung + 3.2 m ² Flachkollektor	2410	220	2370000
Pelletheizung + 15 m ² Flachkollektor	3140	290	3200000

A3 Resultate Altbau mit CH-Strommix

Tabelle 7: Umweltbelastung der Nutzwärmeproduktion eines Altbaus pro Jahr, CH-Strommix.

Altbau, Umweltbelastung pro Jahr	kg CO ₂ -eq.	ReCiPe ecopoints	UBP
Metallziegel-WP (JAZ 2.3)	2160	220	5590000
Metallziegel-WP (JAZ 3.4)	1650	160	4010000
Metallziegel-WP (JAZ 4)	1490	150	3520000
Eisspeicher-WP (JAZ 2.3)	2200	220	5300000
Eisspeicher-WP (JAZ 3.4)	1690	160	3720000
L/W-WP	2050	200	4960000
L/W-WP + 3.2 m ² Flachkollektor	1990	190	4740000
L/W-WP + 15 m ² Flachkollektor	1900	190	4410000
L/W-WP + 4.9 m ² PV-Anlage	2000	190	4740000
L/W-WP + 13.7 m ² PV-Anlage	1910	190	4350000
Erdsonden-WP	1680	160	3780000
Erdsonden-WP + 3.2 m ² Flachkollektor	1630	160	3620000
Erdsonden-WP + 15 m ² Flachkollektor	1580	150	3420000
Erdsonden-WP + 4.9 m ² PV-Anlage	1620	160	3560000
Erdsonden-WP + 13.7 m ² PV-Anlage	1530	150	3160000
Gasheizung	6650	640	3380000
Gasheizung + 3.2 m ² Flachkollektor	6300	610	3250000
Gasheizung + 15 m ² Flachkollektor	5660	550	3070000
Ölheizung	7910	730	4410000
Ölheizung + 3.2 m ² Flachkollektor	7500	690	4210000
Ölheizung + 15 m ² Flachkollektor	6710	620	3930000
Pelletheizung	1390	270	3570000
Pelletheizung + 3.2 m ² Flachkollektor	1330	260	3420000
Pelletheizung + 15 m ² Flachkollektor	1270	240	3230000