

Jens Schuberth, Helmut Kaschenz

Umweltbundesamt, Fachgebiet I 4.4 „Rationelle Energienutzung“
Dessau, 13. April 2007



Elektrische Wärmepumpen – eine erneuerbare Energie?

Warum werden Wärmepumpen im Marktanreizprogramm für erneuerbare Energien nicht berücksichtigt?

--- Langfassung ---

1 Neue Förderrichtlinien für erneuerbare Energien im Wärmemarkt

Das „Marktanreizprogramm (MAP) zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien“ zielt darauf, erneuerbare Energien im Wärmemarkt zu stärken. Es trägt damit wesentlich zur nachhaltigen Energienutzung bei.

Investitionsanreize sollen hauptsächlich Privatpersonen anregen, erneuerbare Energien im Gebäudebestand und in Neubauten zu nutzen.

In der Vergangenheit wurden die Förderrichtlinien mehrfach überarbeitet und aktualisiert. Zu den wieder entfallenen Fördergegenständen zählen elektrische Wärmepumpen, die von 1999 bis 2001 mit Zuschüssen gefördert wurden, sofern sie „Ökostrom“, also Strom aus erneuerbaren Quellen bezogen (Richtlinie vom 20. August 1999).

Nach der derzeit geltenden Richtlinienfassung vom 12. Januar 2007 werden insbesondere Solarkollektoren und Biomasseheizkessel gefördert. Im Jahre 2007 stehen dafür insgesamt 213 Mio. Euro Fördermittel zur Verfügung. Wärmepumpen, die Erdwärme (oberflächennahe Geothermie bis 100 m Tiefe) oder andere Umweltwärme aus Luft oder Grundwasser als Wärmequelle nutzen, bleiben aus der Förderung im MAP ausgeschlossen. Geothermieheizwerke (Tiefengeothermie ab 100 m Tiefe) sollen dagegen im Programm „Erneuerbare Energien“ der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) gefördert werden. Die Genehmigung des KfW-Programms „Erneuerbare Energien“ durch die EU-Kommission steht derzeit noch aus. Eine Aussage über die Förderbedingungen ist deshalb nicht möglich.¹

Das Bundesumweltministerium veröffentlichte am 26. Januar 2007 eine Bewertung des MAP, die auch auf die weitere Entwicklung dieses Programms eingeht.² Da die Fördermittel stark begrenzt sind, ist es für die Aufnahme einer Technik in das

¹ BAFA, http://www.bafa.de/1/de/aufgaben/energie/erneuerbare_energien.php, Stand 02.02.2007

² Bundesumweltministerium, Pressemitteilung 023/07, 26. Januar 2007

MAP wesentlich, dass die Technik ausschließlich erneuerbare Energiequellen nutzt und sich noch nicht positiv und stabil auf dem Markt entwickelt. Der Umsatz elektrischer Wärmepumpen verdoppelte sich im Jahr 2006 gegenüber 2005 auf 51 000 Stück und erreichte damit eine neue Rekordhöhe.³

Anhand umweltschutzbezogener Kriterien, insbesondere zum Ausstoß klimaschädlicher Treibhausgase und zum Verbrauch nichterneuerbarer Energieressourcen, erläutert dieses Positionspapier, dass es auch aus ökologischer Sicht nicht zielgerecht ist, elektrische Wärmepumpen in die Förderung durch das MAP aufzunehmen. Dazu wird der Einsatz elektrischer Wärmepumpen in Deutschland – unter Berücksichtigung ihres Entwicklungspotentials und bei Annahme von Bestwerten – mit ausgewählten anderen Heizungssystemen auf Basis fossiler und erneuerbarer Energieträger (Biomasse) verglichen.

Das Umweltbundesamt möchte mit dieser Ausarbeitung eine Diskussion in der Öffentlichkeit anregen, die Wärmepumpen im Besonderen und Heizungssysteme im Allgemeinen in *ganzheitlich* betrachtet: nämlich umfassend bilanziert mit sämtlichen Vorketten und allen Umweltwirkungen, die sich aus Herstellung, Betrieb und Entsorgung ergeben. Dieser Anspruch gilt generell für alle umweltbezogenen Systemvergleiche.

2 Wie funktioniert eine Wärmepumpe?

Eine Wärmepumpe funktioniert wie ein „umgestülpter“ Kühlschrank. Beim Kühlschrank wird dem innen liegenden Kühlraum Wärme entzogen. Auf der Rückseite des Kühlschranks geben Blechlamellen diese Wärme bei höherer Temperatur an die Umgebung ab. Auch eine Wärmepumpe für die Hausheizung hebt („pumpt“) Wärme von einem niedrigen auf ein höheres Temperaturniveau. Bei ihr geht es aber nicht darum, Medien wie die Luft und Nahrungsmittel im Kühlschrank zu kühlen, sondern ein Medium zu heizen. Die Wärmepumpe entzieht dazu der Umgebung Wärme und gibt sie bei höherer Temperatur über die Raumheizung an das Gebäude ab. Als Wärmequelle dienen Erdreich, Wasser, Luft, Abluft oder auch Abwärme aus z.B. kommunalem Abwasser.

Bei Kühlschrank und Wärmepumpe wird ein Arbeitsmedium (auch Kältemittel genannt) über vier Funktionseinheiten, nämlich Verdampfer, Verdichter, Wärmetauscher (Verflüssiger) und Expansionsventil, im Kreislauf geführt:

Im *Verdampfer* nimmt das flüssige Arbeitsmedium die erforderliche Verdampfungswärme aus der Umgebung auf und geht in den gasförmigen Zustand über. Beim Kühlschrank ist der Verdampfer im Kühlraum; bei der Wärmepumpe besteht er zum Beispiel aus Erdkollektoren, die Wärme aus der Erde aufnehmen.

Der *Verdichter* bringt das aufgewärmte, gasförmige Arbeitsmedium auf einen höheren Druck und erhöht damit dessen Temperatur, so dass man die Wärme im Gebäude nutzen kann. In der Regel treibt ein Elektro- oder Gasmotor den Verdichter

³ Pressemitteilung des Bundesindustrieverbandes Haus-, Energie- und Umwelttechnik BDH, 1.2.2007

mechanisch an. Sogenannte „thermische Verdichter“, die mit Erdgas, Fern- oder Abwärme angetrieben werden, sind noch selten anzutreffen.

Der *Verflüssiger* (Kondensator) überträgt die Wärme als Nutzwärme an das Heizungswasser (Kühlschränke geben sie als Abwärme an der Rückwand in den Raum ab). Dabei gibt das gasförmige Arbeitsmedium Wärme ab und kondensiert (es wird wieder flüssig).

Danach entspannt das *Expansionsventil* das nun flüssige, aber noch unter Druck stehende Arbeitsmedium. Dadurch kühlt es sich weiter ab und strömt wieder in den Verdampfer. Der Kreislauf beginnt von neuem.

Für die Umweltauswirkungen von Wärmepumpen ist es bedeutsam, wie der Verdichter angetrieben wird: Bei Kompressions-Wärmepumpen ist es ein Elektromotor (dieser braucht elektrischen Strom – man spricht dann von einer elektrischen Wärmepumpe) oder ein Gasmotor. Absorptions-Wärmepumpen nutzen vor allem Erdgas, aber auch Fernwärme oder Abwärme als Antriebsenergie für ihren thermischen Verdichter.

Während man in Kühlschränken und Gefriertruhen in der Regel FCKW-freie Kältemittel wie CO₂ oder Iso-Butan verwendet, arbeitet der größte Anteil elektrischer Wärmepumpen mit teilfluorierten Arbeitsmitteln (HFKW, allgemein auch F-Gase genannt), die zwar die Ozonschicht nicht angreifen, jedoch den Treibhauseffekt begünstigen. Wenn sie in die Atmosphäre gelangen, beeinflussen diese fluorierten Arbeitsmittel den Treibhauseffekt etwa 1500-mal bis 3000-mal stärker als CO₂, so dass sie trotz ihrer geringen Menge eine große Auswirkung auf den Treibhauseffekt haben.

Wärmepumpen im „monovalenten Betrieb“ decken den Wärmebedarf eines Gebäudes vollständig das ganze Jahr über ab. Man spricht von einem „bivalenten Betrieb“, wenn bei sehr tiefen Außentemperaturen noch ein zweites, zusätzliches Heizungssystem (z.B. die alte, noch vorhandene Ölheizung oder ein Elektroheizstab) verwendet wird.

Nachfolgend werden nur elektrische Wärmepumpen im monovalenten Betrieb näher betrachtet, weil sie in Deutschland momentan die größte Bedeutung haben. Andere Wärmepumpenarten wie „Kompressions-Wärmepumpe mit Gasmotor“ und „Gasbetriebene Absorptions-Wärmepumpe“ werden nur zum Vergleich mitgeführt.

3 Einflüsse auf die Effizienz und die Umweltbelastungen elektrischer Wärmepumpen

3.1 Die Jahresarbeitszahl und ihre Einflussfaktoren

Die Jahresarbeitszahl (JAZ) beschreibt die Energieeffizienz einer elektrischen Wärmepumpe: Sie ist das für ein Jahr ermittelte Verhältnis von abgegebener Nutzwärme (Heizarbeit) für die Raumheizung zu dem dazu erforderlichen Aufwand

(Antriebsarbeit). Bei elektrischen Wärmepumpen ist dies der erforderliche elektrische Strom.

Zum Beispiel bedeutet eine JAZ von 3,0 für eine elektrische Wärmepumpe, dass für die Bereitstellung von 3 kWh Nutzwärme 1 kWh elektrischer Strom erforderlich ist.

Die Jahresarbeitszahl ist nicht zu verwechseln mit angegebenen Leistungszahlen, die nur momentane Bestwerte bestimmter Betriebszustände liefern und dadurch eine höhere Effizienz suggerieren. Maßgeblich ist es jedoch, das gesamte Betriebsjahr mit den vielen unterschiedlichen Betriebszuständen (und damit vielen unterschiedlichen, guten und schlechten Leistungszahlen) zu betrachten. Ausschließlich die Jahresarbeitszahl, die alle diese Betriebszustände berücksichtigt, kann Aussagen zur tatsächlichen Effizienz und Wirtschaftlichkeit von Wärmepumpen treffen.

Die Jahresarbeitszahl als wichtigste Kenngröße von Wärmepumpen hängt von mehreren *Einflussfaktoren* ab⁴:

- *Thermodynamisch begründeter Wirkungsgrad des Wärmepumpenaggregates*
Er allein erlaubt jedoch keine Rückschlüsse auf die Höhe der JAZ, da alle anderen wichtigen Einflussfaktoren stark von den individuellen Einsatzbedingungen abhängen.
- *Temperaturverlauf der Wärmequelle*
Es macht einen großen Unterschied, ob als Wärmequelle das über ein Jahr etwa gleichbleibend warme Abwasser eines Klärwerkes, das in der Temperatur schon stärker schwankende Erdreich oder die in der Temperatur besonders stark schwankende Außenluft genutzt wird.
- *Temperaturverlauf des Heizsystems (der Wärmesenke)*
Hohe Vorlauftemperaturen der Heizung, wie sie häufig in schlecht wärmegeprägten Altbauten und bei relativ kleinen Heizkörperoberflächen vorkommen, können von Wärmepumpen nur mit geringerer Effizienz (geringerer JAZ) bereitgestellt werden. Geringe Vorlauftemperaturen, welche bei Niedrigenergiehäusern mit Fußbodenheizung ausreichen, erfordern im Verdichter weniger Antriebsenergie, weil für eine niedrigere Vorlauftemperatur ein kleinerer Druckhub notwendig ist.
Ein Übergang von einem Wärmeverteilsystem mit 55 °C Vorlauf- und 45 °C Rücklauftemperatur (unsanierter Altbau) auf ein Wärmeverteilsystem mit 35 °C Vorlauf- und 30 °C Rücklauftemperatur (Niedrigenergiehaus) verbessert die JAZ um einen Wert von ca. 0,5⁵.

⁴ Hans Hertle u.a. „Untersuchung von Möglichkeiten zur Förderung der Wärmepumpentechnik durch das Umweltzeichen“, ifeu-Institut Heidelberg, Forschungsprojekt i.A. des Umweltbundesamtes, UBA-Texte 44/99

⁵ R. Heidelck, H.-J. Laue, „Aktualisierung der Basisdaten für den Primärenergiebedarf und die Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor zur ganzheitlichen Bewertung verschiedener Heizungssysteme“, Fachinformationszentrum Karlsruhe – IZW, April 1999, IZW-Bericht 1/99 sowie R. Heidelck, H.-J. Laue, „Untersuchung von Praxisdaten zum Primärenergiebedarf und den

- *Anlagenkonzept, Auslegung und Realisierung*
Wärmepumpen stellen hohe Anforderungen an die Qualität der Anlagenplanung, die fachgerechte Realisierung und die spätere Wartung. Eine Überdimensionierung des Wärmepumpenaggregates ist wie bei allen Heizungsanlagen wegen damit verbundener Effizienzverluste zu vermeiden. Besondere Aufmerksamkeit verdient die hydraulische Schaltung. Sinnvoll ist ein System mit parallel eingebundenem Pufferspeicher.

Aus Messwerten ermittelte Jahresarbeitszahlen elektrischer Wärmepumpenanlagen zeigen wegen dieser Einflussfaktoren relativ weite Schwankungen (z.B. 1,8 als Differenz der JAZ zwischen minimal 2,7 und maximal 4,5 bei Erdreich-Wärmepumpen und 40 °C Vorlauftemperatur); bei neuen Anlagen gibt es aber auch höhere Entwicklungsstände. Tabelle 1 zeigt gemessene Jahresarbeitszahlen (hier nur Mittelwerte) bestehender elektrischer Wärmepumpenanlagen in Deutschland in Abhängigkeit von der Wärmequelle, von der Vorlauftemperatur des Heizsystems und vom Inbetriebnahmezeitraum⁶.

Tabelle 1: Gemessene Jahresarbeitszahlen (Mittelwerte) bestehender elektrischer Wärmepumpenanlagen in Deutschland in Abhängigkeit von der Wärmequelle, von der Vorlauftemperatur des Heizsystems und von der Inbetriebnahme (IB)

Wärmequelle	Vorlauftemperatur (in °C)	mittlere JAZ bei IB 1990 - 1994	mittlere JAZ bei IB 1995 - 1998
Wasser	max. 40	3,84	4,32
	max. 55	-	-
Erdreich	max. 40	3,62	3,82
	max. 55	2,94	3,33
Luft	max. 40	3,03	3,32
	max. 55	2,67	-

Neuere Daten geben für Sole-Wasser-Wärmepumpen (Erdreich) in Niedrigenergiehäusern eine mittlere Jahresarbeitszahl von 3,57 an (Streuung von 3,05 bis 4,27).⁷ Angaben zum Heizsystem bzw. zur Vorlauftemperatur werden nicht gemacht.

Treibhausgasemissionen von modernen Wärmepumpen“, Fachinformationszentrum Karlsruhe - IZW, April 1999, IZW-Bericht 2/99

⁶ Wie Fußnote 5

⁷ Ewert, Markus Dr., „Feldtest bestätigt hohe Effizienz von Wärmepumpen“, in HLH Nr. 3/2005

3.2 Elektrischer Strom der öffentlichen Versorgung

Wie sehr der Betrieb elektrischer Wärmepumpen die Umwelt entlastet oder belastet, hängt zunächst davon ab, wie viel Strom eine Wärmepumpe benötigt. Dies ergibt sich über die Jahresarbeitszahl. Die eigentliche Umweltbelastung verursachen dann Erzeugung und Bereitstellung dieses Stromes.

Wie für andere elektrisch betriebene Geräte auch, ist es für elektrische Wärmepumpen angemessen, für die Bewertung den Strommix der öffentlichen Versorgung zugrunde zu legen.

Abbildung 1 zeigt die Primärenergieträger, mit denen im Jahre 2005 in Deutschland Strom erzeugt wurde (insgesamt 619 TWh).⁸

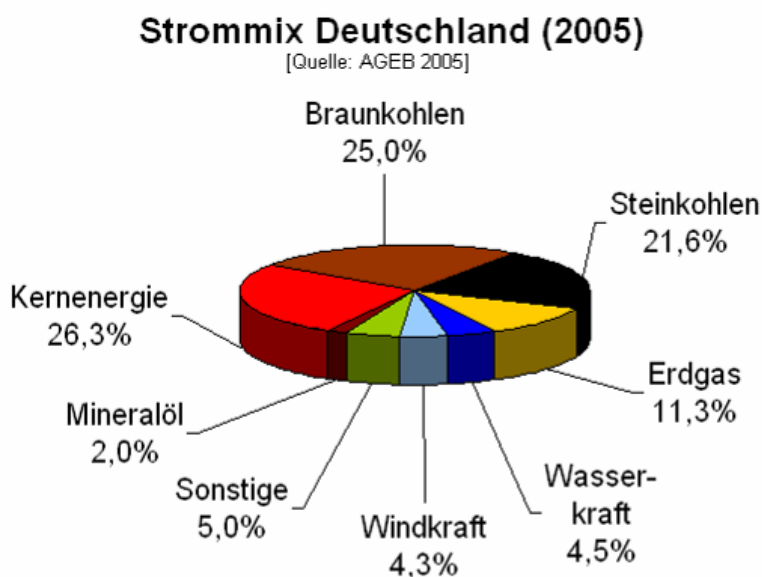


Abbildung 1: Primärenergieträger für die Stromerzeugung 2005

Die Zusammensetzung dieser Energieträger bestimmt die Umweltbelastungen, die bei der Erzeugung des elektrischen Stromes entstehen. Weil fast die Hälfte der deutschen Stromerzeugung aus Kohlen erfolgt, ist **jede Kilowattstunde (kWh) elektrischen Stromes** mit einem beträchtlichen „Rucksack“ an Umweltschäden sowie den hier nicht quantifizierbaren Risiken aus der Kernenergienutzung belastet.⁹

Für jede Kilowattstunde, die der Endverbraucher der Steckdose entnimmt, müssen etwa 1,1 Kilowattstunden im Kraftwerk erzeugt werden; unter anderem aufgrund des Eigenverbrauches der Kraftwerke sowie der Leitungsverluste. Jede an der Steckdose *verbrauchte* Kilowattstunde steht für

⁸ Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 2005

⁹ Modell „Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme“ GEMIS, Version 4.3, des Öko-Institutes Darmstadt; im Internet verfügbar: www.oeko.de/service/gemis. Prozess „Netz-el-DE-lokal-HH/KV-2000“

- 646 Gramm CO₂-Äquivalent¹⁰ (→ Treibhauseffekt),
- 2,65 kWh kumulierter Energieverbrauch (KEV) nichterneuerbarer Primärenergieträger (→ Inanspruchnahme nichterneuerbarer Energieressourcen Kohle, Erdöl, Erdgas, Uran),
- 866 Milligramm SO₂-Äquivalent¹¹ (→ Versauerung),
- 876 Milligramm TOPP-Äquivalent¹² (→ Photochemische Oxidantienbildung, Sommersmog, bodennahes Ozon) und
- 55 Gramm Asche sowie 11 Gramm Reststoffe aus Rauchgas-Entschwefelungs-Anlagen (REA) (→ Inanspruchnahme von Deponiefläche).

Nicht so in anderen europäischen Ländern: Die spezifischen Treibhausgas-Emissionen des deutschen Stromes mit 627 Gramm CO₂-Äquivalent pro *erzeugter* Kilowattstunde¹³ sind vergleichsweise sehr hoch. Sie werden nur vom Strom in Griechenland, Dänemark und Irland sowie in einigen der neuen osteuropäischen EU-Staaten übertroffen. In den anderen europäischen Ländern liegen sie darunter: In der Schweiz bei 41 Gramm CO₂-Äquivalent pro erzeugter kWh und in Norwegen bei nur 15 Gramm CO₂- Äquivalent pro erzeugter kWh (Abbildung 2). Schon deshalb ist der umfangreiche Einsatz elektrischer Wärmepumpen in der Schweiz und in Norwegen mit Blick auf den Umwelt- und Klimaschutz viel vorteilhafter als in Deutschland.

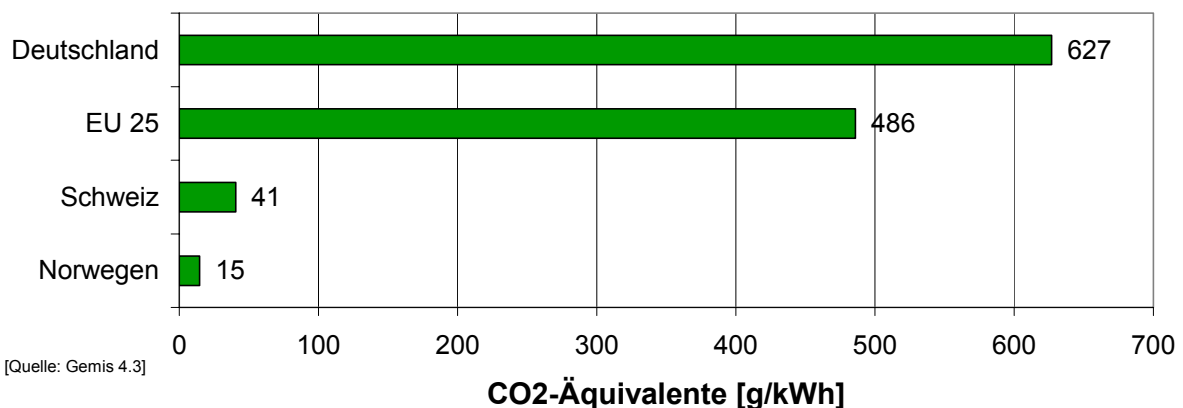


Abbildung 2: Klimarelevanz der Stromerzeugung in europäischen Ländern

Das vorn genannte Beispiel zeigte: Bei einer Jahresarbeitszahl von 3,0 ist 1 kWh elektrischen Stromes erforderlich, um 3 kWh Nutzwärme bereitzustellen. Der hohe Primärenergieverbrauch der Stromerzeugung in Deutschland bedingt, dass dafür fast

¹⁰ Aus den Emissionen der Treibhausgase CO₂, CH₄, N₂O, SF₆, PFC und HFC für eine Integrationszeit von 100 Jahren

¹¹ Aus den Emissionen der versauernd wirkenden Luftschadstoffe SO₂, NO_x, H₂S, HCl, HF, NH₃

¹² Troposphärisches Ozon-Vorläufer-Äquivalent TOPP aus den Emissionen der Luftschadstoffe CO, NMVOC, NO_x

¹³ Hier sind es nur 627 g pro erzeugter kWh statt vorher 646 g pro verbraucher kWh.

genau so viel nichterneuerbare Primärenergieträger, nämlich 2,65 kWh, für die Erzeugung einer kWh Strom in den Kraftwerken eingesetzt werden müssen.

Damit elektrische Wärmepumpen eine spürbare Umweltentlastung bewirken können, muss ihre Jahresarbeitszahl viel größer als 3,0 sein. Voraussetzung dafür ist, dass eine elektrische Wärmepumpe und ihr Einsatz alle oben genannten Bedingungen bestmöglich erfüllen. Dann ist sie theoretisch in der Lage, mit nur einer zugeführten Menge Energie die vierfache Energiemenge aus der Wärmequelle nutzbar zu machen (siehe Abbildung 3). Abbildung 4 zeigt das Gleiche für eine Wärmepumpe mit einer geringeren Jahresarbeitszahl. Aber auch in diesen Fällen ist der Anteil an nicht erneuerbaren Energieträgern, die aus der Stromproduktion stammen, nicht vernachlässigbar.

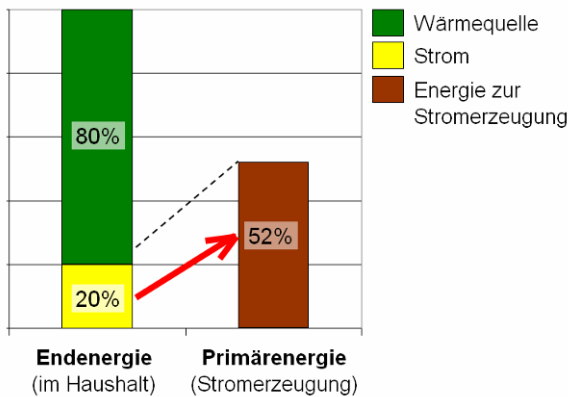


Abbildung 3: Qualitative Energiebilanz einer elektrischen Wärmepumpe mit theoretisch bestmöglicher Jahresarbeitszahl 5,0

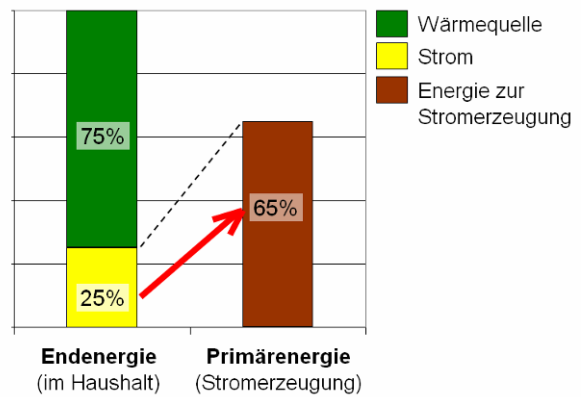


Abbildung 4: Qualitative Energiebilanz einer elektrischen Wärmepumpe mit realer, guter Jahresarbeitszahl 4,0

4 Umweltbezogener Vergleich elektrischer Wärmepumpen (Bestwerte) mit ausgewählten Heizungssystemen für fossile und erneuerbare Brennstoffe

4.1 Annahme von Bestwerten für elektrische Wärmepumpen

Um in den folgenden Modellrechnungen elektrische Wärmepumpen mit ausgewählten Heizungssystemen für fossile und erneuerbare Brennstoffe aus Umweltschutzsicht zu vergleichen, werden Bestwerte für die Jahresarbeitszahlen (JAZ) elektrischer Wärmepumpen angenommen (Tabelle 2).

n[10]:= CO2Strom = 0.62 kgCO₂/kWhel (*CO₂-Erzeugung pro erzeugter elektrischer kWh*);

n[10]:= eta[jaz_] := jaz kWhth/kWhel;(*Wirkungsgrad der Wärmepumpe bei einer Jahresarbeitszahl ja*)

n[10]:= CO2gbh[wg_] := 0.21 kgCO₂/(wg kWhth) (*CO₂-Erzeugung einer Gasbrennwert-Hzg mit Wirkungsgrad wg*)

Tabelle 2: Angenommene Bestwerte von Jahresarbeitszahlen (JAZ) elektrischer Wärmepumpen für ein Heizsystem mit 35 °C Vorlauftemperatur und 28 °C Rücklauftemperatur

Wärmequelle	Angenommene Bestwerte der JAZ elektrischer Wärmepumpen
Grundwasser	5,0
Erdreich	4,3
Außenluft	3,8

Diese Bestwerte berücksichtigen das Entwicklungspotenzial elektrischer Wärmepumpen. Thermodynamische und technische Gründe sprechen dafür, dass neue und optimierte elektrische Wärmepumpen näherungsweise diese Bestwerte der JAZ erreichen können. Das erfordert unter anderem minimale Vorlauf- und Rücklauftemperaturen von 35 und 28 °C, wie sie in Fußboden- oder Flächenheizungen in Niedrigenergiehäusern möglich sind.¹⁴

Für Wärmepumpen zukünftige Bestwerte anzunehmen, während bei anderen Heizungssystemen gegenwärtig erreichte Kennwerte angesetzt werden, ist an sich nicht sachgerecht. Doch erfolgt ein derartiger Vergleich in diesem Falle bewusst, um theoretisch erreichbare „Obergrenzen“ für elektrische Wärmepumpen darzustellen. Bei den tatsächlich installierten elektrischen Wärmepumpen werden allenfalls Wärmepumpen, die z.B. konstant warmes Abwasser von Industrieanlagen als Wärmequelle nutzen können, diese Obergrenze erreichen. Alle anderen aber werden in naher Zukunft „darunter“ bleiben.

4.2 Modellergebnisse nach GEMIS

Um einen umweltbezogenen Systemvergleich durchzuführen und dabei alle Umweltwirkungen mit Vorketten zu berücksichtigen, wurden für ausgewählte Heizungssysteme Prozesse aus Gemis 4.3¹⁵ herangezogen (siehe Tabelle 3). Die Prozesse für elektrische Wärmepumpen berücksichtigen die angenommenen Bestwerte entsprechend Tabelle 2 und verwenden den elektrischen Strom der öffentlichen Versorgung (Strommix) entsprechend Punkt 3.2.

Darüber hinaus flossen in Gemis 4.3 Ergebnisse eines vom Bundesumweltministerium geförderten Forschungsprojekts zur Biomassenutzung ein.¹⁶ Die Ergebnisse werden in der Modellrechnung für Holz-Pellets-Heizung und Holzhackschnitzel-Heizwerk angewendet.

¹⁴ Persönliche Information am 27.09.2005 von Prof. Hans-Jürgen Laue, Informationszentrum Wärmepumpen und Kältetechnik e.V. Karlsruhe, (Prof. Laue ist Mitautor der in Fußnote 5 genannten IZW-Studien)

¹⁵ wie Fußnote 9

¹⁶ Verbundprojekt „Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse“ unter der Leitung des Öko-Institutes, wissenschaftliche Partner: FhI-Umsicht, IE Leipzig, ifeu Heidelberg, IZES Saarbrücken, TU Braunschweig, TU München, gefördert vom BMU, 2004

Tabelle 3: Ausgewählte konventionelle Heizungssysteme für fossile und erneuerbare Brennstoffe zum umweltbezogenen Vergleich mit elektrischen Wärmepumpen (Bestwerte)

Kurzbezeichnung	Heizungssystem (Prozessbezeichnung aus Gemis 4.3)	Bemerkungen
EI-Heizung	Elektrische Nachtspeicherheizung (EI-Heizung-DE-2000-mix)	Betrieb mit Heizstrom
Öl-Hzgz	Öl-Heizung, atmosphärisch (Ölheizung-DE-2000)	Nutzungsgrad (NG) 85 %
Gas-BW	Gas-Heizung, Brennwert (Gas-Heizung-Brennwert-DE-2000)	NG 100 %
Gas-BW +Solar	Gas-Heizung, Brennwert, mit Solaranlage (Gas-Heizung-Brennwert-DE-2000 + SolarKollektorCu)	NG 100 %; Solarer Deckungsbeitrag 15 %
EI-WP-L	Elektr. Wärmepumpe, Luft (EI-Wärmepumpe-Luft-35/28-neu-Mix-IZW)	JAZ=3,8 (3,3); 35/28 °C
EI-WP-E	Elektr. Wärmepumpe, Erdreich (EI-Wärmepumpe-Erdreich-35/28-neu-Mix-IZW)	JAZ=4,3 (3,8); 35/28 °C
EI-WP-W	Elektr. Wärmepumpe, Wasser (EI-Wärmepumpe-Wasser-35/28-neu-Mix-IZW)	JAZ=5,0 (4,3); 35/28 °C
Gas-WP-A	Gas-Wärmepumpe, Absorption (Gas-Wärmepumpe-Absorption-IZW)	NG 135 %, Erdreich, NH ₃ /H ₂ O
Gas-WP-M	Gas-Wärmepumpe, Motor (Gas-Wärmepumpe-Motor-IZW)	NG 160 %, Erdreich
Holz-Pell-H	Holz-Pellet-Heizung (Holz-Pellet-Holz-wirtsch-Heizung-10kW-2000)	NG 85 %, 10 kW; LkW<100km
HS-HW-Netz	Holz-Hackschnitzel-Heizwerk (Netz/Nahwärme-Mix-HS-Waldholz-HW 5 MW)	5 MW; Nahwärmenetz

Nachfolgende ausgewählte Umweltindikatoren beschreiben die Umweltbelastungen der ausgewählten Heizungssysteme (siehe auch Kapitel 3.2):

- CO₂-Äquivalent: Treibhauseffekt
- Kumulierter Energieverbrauch (KEV) nichtererneuerbarer Primärenergieträger: Inanspruchnahme nichterneuerbarer Energieressourcen (vor allem Kohle, Gas, Öl, Uran)
- SO₂-Äquivalent: Versauerung
- TOPP-Äquivalent: Photochemische Oxidantienbildung, Sommersmog
- Asche: Inanspruchnahme von Deponiefläche

Die gestrichelten Bereiche an den Enden der Balken für die elektrischen Wärmepumpen zeigen den Unterschied zwischen guten, realen Wärmepumpen und den theoretischen Bestwerten ihrer Entwicklung.

Tabelle 4 nennt die mit dem Modell GEMIS 4.3 ermittelten Werte der spezifischen **Umweltbelastungen für eine Kilowattstunde (kWh) bereitgestellter Nutzwärme für die Raumheizung** für elektrische Wärmepumpen und ausgewählte andere Heizungssysteme. Zur Veranschaulichung zeigen die anschließenden Abbildungen 3 bis 7 die betrachteten Umweltprobleme jeweils gesondert. Die gestrichelten Bereiche an den Enden der Balken für die elektrischen Wärmepumpen zeigen den Unterschied zwischen guten, realen Wärmepumpen und den theoretischen Bestwerten ihrer Entwicklung.

Tabelle 4: Umweltbezogener Vergleich elektrischer Wärmepumpen – bei angenommenen Bestwerten und Antriebsstrom aus dem öffentlichen Netz (deutscher Strommix) – mit ausgewählten anderen Heizungssystemen für fossile und erneuerbare Brennstoffe, je kWh Nutzwärme

Heizsystem	CO ₂ - Äquivalent g / kWh	KEV nicht- erneuerbar kWh / kWh	SO ₂ - Äquivalent mg / kWh	TOPP- Äquivalent mg / kWh	Asche g / kWh
El-Heizung	953	2,97	953	708	45,94
Öl-Hzg	375	1,38	685	403	0,78
Gas-BW	256	1,17	154	326	0,66
Gas-BW+solar	224	1,01	156	298	0,83
EI-WP-L	187	0,76	259	268	15,61
EI-WP-E	167	0,68	232	241	13,92
EI-WP-W	146	0,59	204	212	12,12
Gas-WP-A	200	0,90	128	293	1,22
Gas-WP-M	169	0,76	172	412	0,91
Holz-Pel-Hzg	35	0,12	409	555	1,51
HS-HW-N.	32	0,12	433	503	1,69

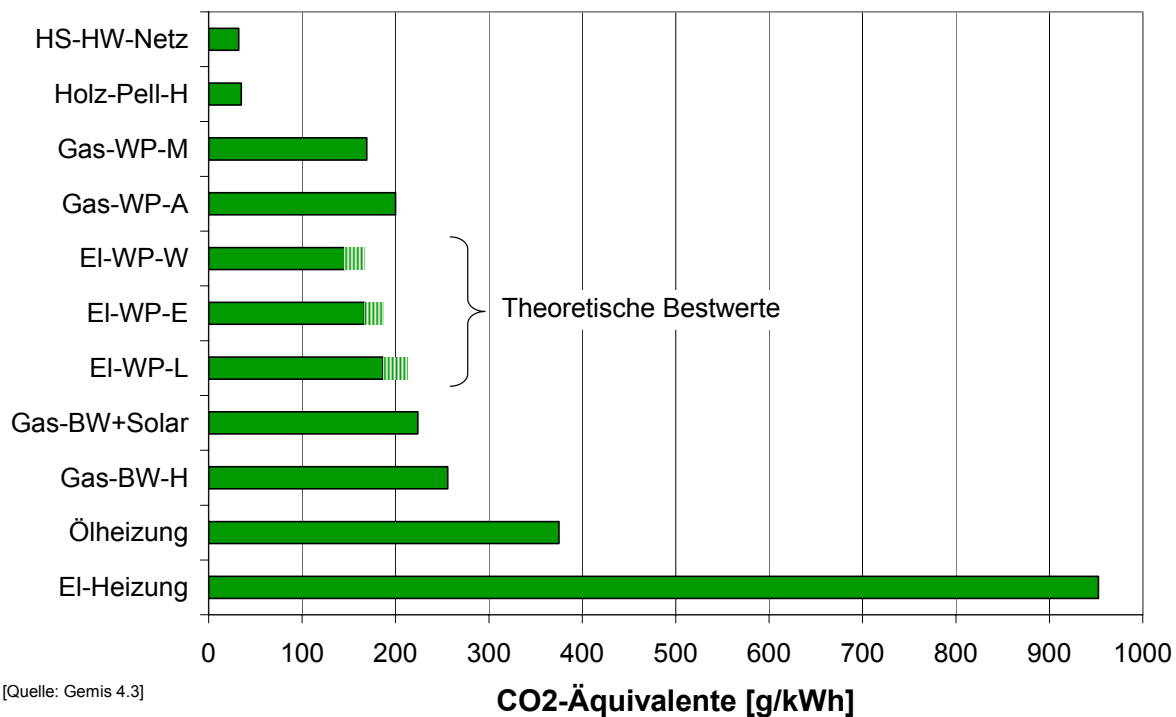


Abbildung 5: Klimarelevanz ausgewählter Heizungssysteme

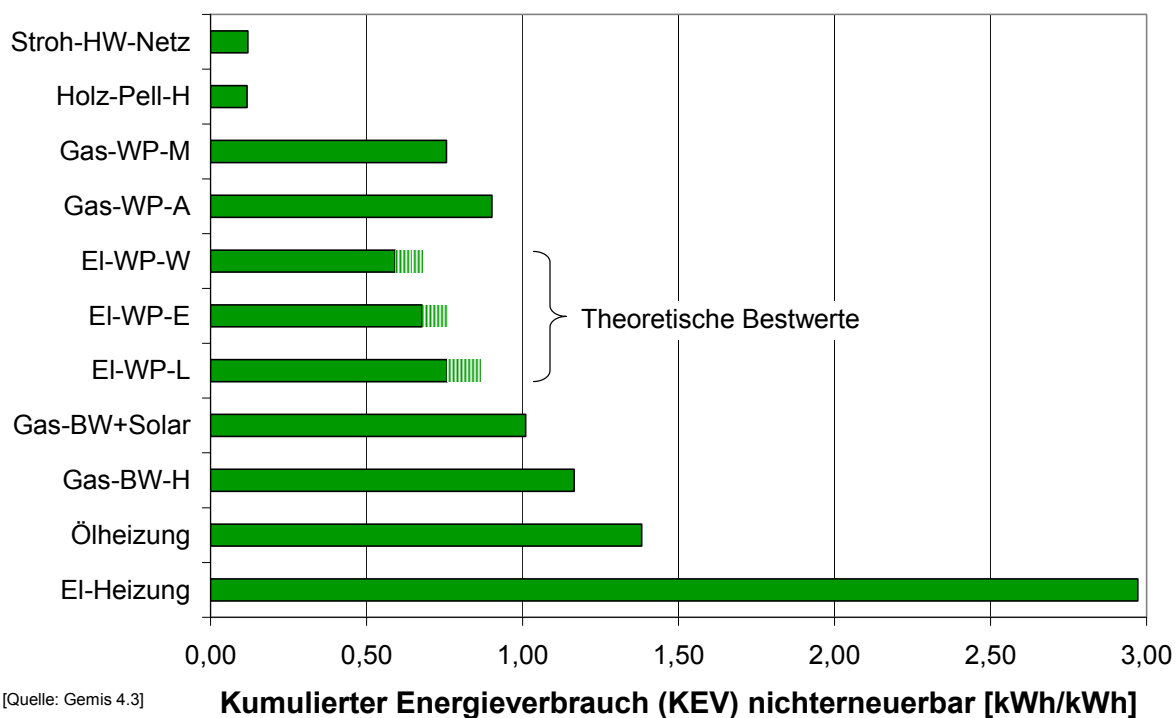


Abbildung 6: Inanspruchnahme nichterneuerbarer Energieressourcen durch ausgewählte Heizungssysteme

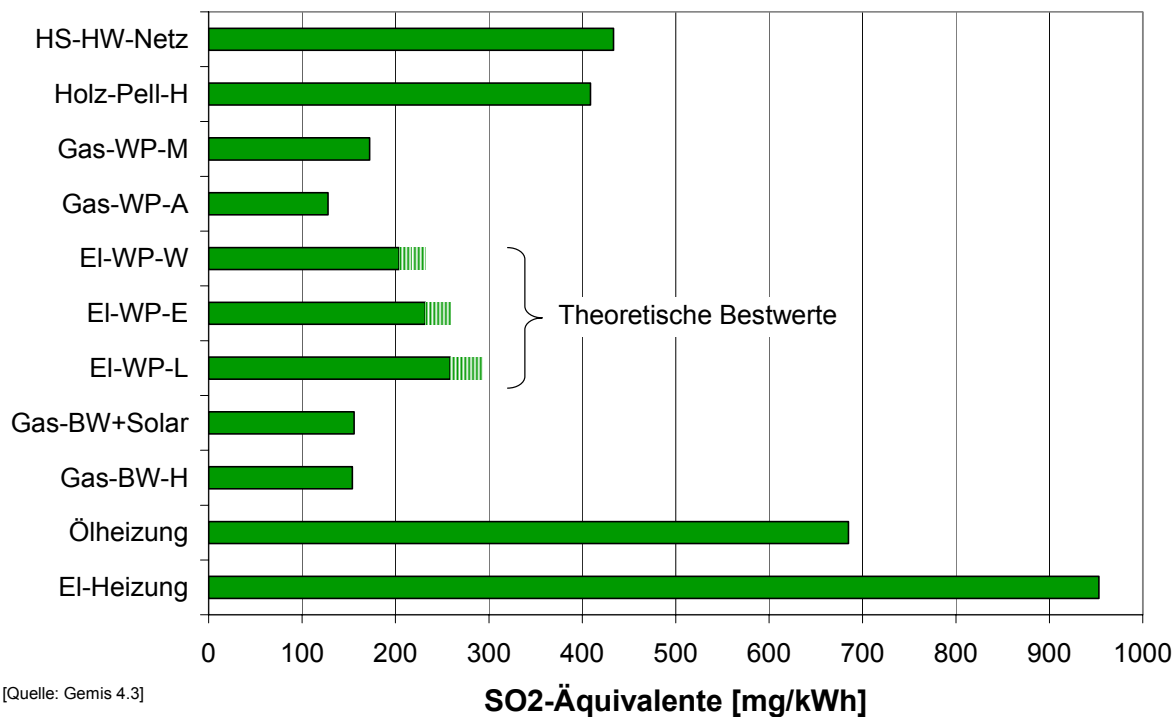


Abbildung 7: Versauerungs-Relevanz ausgewählter Heizungssysteme

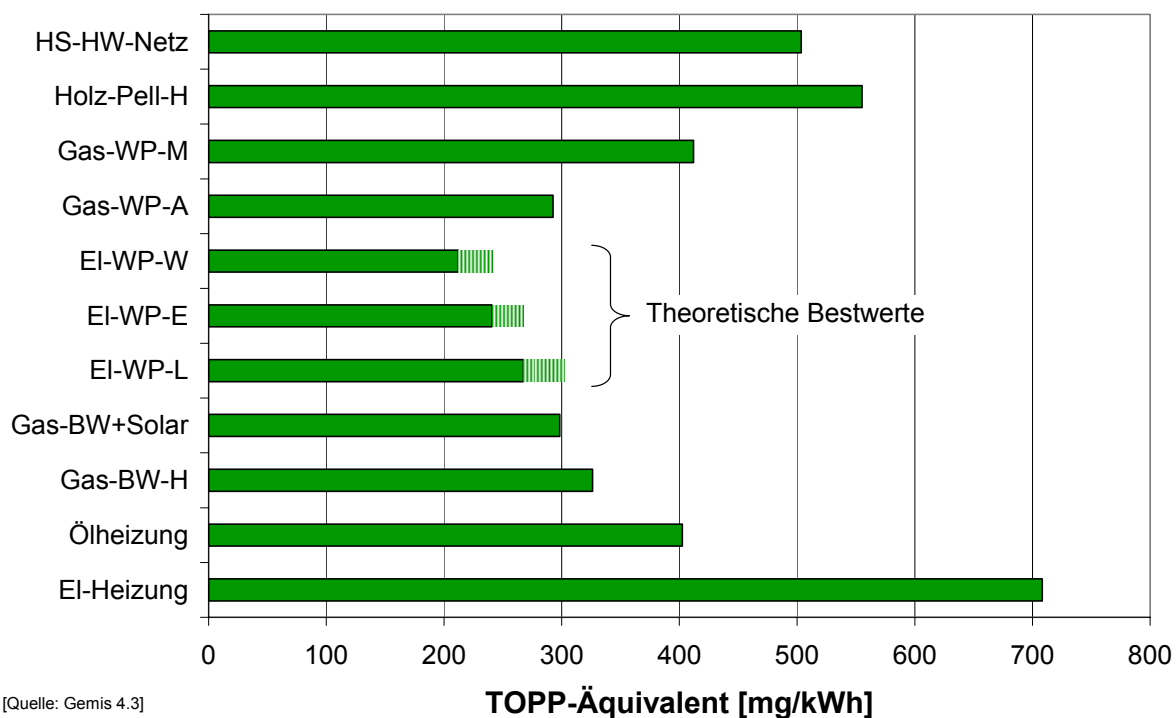


Abbildung 8: Sommersmog-Relevanz ausgewählter Heizungssysteme

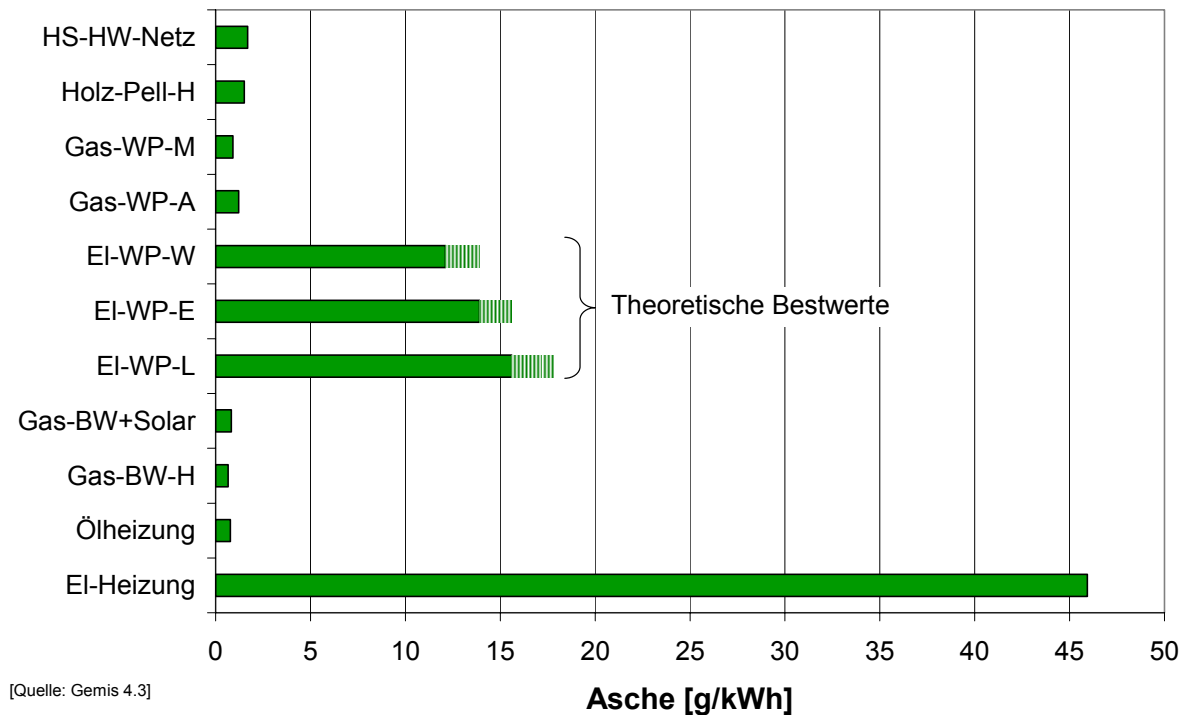


Abbildung 9: Deponie-Inanspruchnahme (Asche) ausgewählter Heizungssysteme

Für die besonders bedeutsamen Nachhaltigkeitsprobleme des Treibhauseffektes und der Inanspruchnahme nichterneuerbarer Energieressourcen (Abbildungen 3 und 4) sind die Heizungssysteme auf Basis erneuerbarer Brennstoffe (z.B. Holzpellets oder Stroh) gegenüber den anderen Heizungssystemen, gerade auch gegenüber den elektrischen Wärmepumpen mit den angenommenen Bestwerten, deutlich überlegen.

Zwar können erdgestützte elektrische Wärmepumpen *mit theoretischen Bestwerten* bis zu 35 % weniger Treibhausgase emittieren als Gas-Brennwertheizungen¹⁷; doch ein qualitativer Sprung erfolgt erst durch Biomasse-Heizungen – und das *mit bereits heute verfügbaren Anlagen*. Selbst die Holz-Pellet-Heizung, die wegen des Energieaufwandes zur Pelletherstellung unter den Biomasse-Heizungen relativ ungünstig ist, emittiert 85 % weniger Treibhausgase als Gas-Brennwertheizungen. Ähnliche Verhältnisse gelten bei der Inanspruchnahme nichterneuerbarer Energieressourcen.

¹⁷ Die im Vergleich mitgeführten Gas-Wärmepumpen (Absorption sowie Gasmotor) sind bestehende Anlagen und erscheinen hier gegenüber den elektrischen Wärmepumpen mit zukünftigen Bestwerten umweltbezogen ungünstiger. Im sachgerechten Vergleich jeweils bestehender Anlagen nach dem Stand der Technik ist es jedoch umgekehrt: Tatsächlich sind bestehende Gas-Wärmepumpen umweltbezogen vorteilhafter als bestehende elektrische Wärmepumpen. Gegenüber einer bestehenden elektrischen Wärmepumpe mit einer JAZ = 3,3 (z.B. Erdwärmepumpe mit Heizungsvorlauftemperatur von 55 °C oder Luft-Wasser-Wärmepumpe mit niedriger Vorlauftemperatur) sind bei einer bestehenden Gas-Wärmepumpe mit Gasmotor (Erdreich) die Emissionen von CO₂-Äquivalenten um 20 % geringer und bei einer bestehenden Gas-Wärmepumpe, Absorption (Erdreich) um 6 % geringer.

Auch die relativ hohen Emissionen von versauernd wirkenden Luftschadstoffen und von Ozon-Vorläufer-Substanzen können diesen eindeutigen Vorrang von Biomasse-Heizungen gegenüber elektrischen Wärmepumpen und fossil befeuerten Heizungssystemen hinsichtlich ihrer Klima- und Ressourcenrelevanz nicht umkehren (Abbildungen 5 und 6).

Die Inanspruchnahme von Deponiefläche durch anfallende Aschen untermauert den umweltbezogenen Vorteil von Biomasse-Heizungen gegenüber elektrischen Wärmepumpen. Weil die Stromerzeugung in Deutschland zur Hälfte auf Kohlen basiert, sind hierbei elektrische Stromheizungen, aber auch in etwas geringerem Maße elektrische Wärmepumpen, gegenüber allen anderen Heizungssystemen im großen Nachteil (Abbildung 7).

5 Perspektiven für elektrische Wärmepumpen gibt es in einer nachhaltigen Energienutzung

Selbst wenn man Bestwerte für die Energieeffizienz (Jahresarbeitszahlen) von elektrischen Wärmepumpen annimmt, können diese gegenwärtig keinen deutlichen umweltbezogenen Vorteil erlangen. Dies scheitert an der ungünstigen Erzeugungsstruktur des deutschen Kraftwerksparks (siehe Punkt 3.2).

5.1 Ungünstige Trendentwicklung der Stromerzeugung in Deutschland

In der absehbaren Trendentwicklung der Stromerzeugung in Deutschland werden in Folge der umfangreichen Erneuerungen und Energieträgerwechsel im Kraftwerkspark bis etwa 2020 die spezifischen Treibhausgas-Emissionen des deutschen Stromes nur um rund ein Achtel sinken – und immer noch deutlich mehr als 500 Gramm CO₂-Äquivalente pro Kilowattstunde betragen.¹⁸ Nach der aktuellen energiewirtschaftlichen Prognose werden die erneuerbaren Energien zwar 26 % der Bruttostromerzeugung im Jahre 2030 abdecken, doch die verbleibenden drei Viertel der Stromerzeugung werden auf den nichterneuerbaren und CO₂-emittierenden Energieträgern Kohlen und Erdgas basieren: Die wichtigsten Primärenergieträger im Jahre 2030 sind – gemessen an der Bruttostromerzeugung – Braunkohle (29 %), Steinkohle (21 %), Windenergie (16 %) und Erdgas (10 %).¹⁹ Entsprechend dem Ausstiegsbeschluss werden die deutschen Kernkraftwerkskapazitäten bis etwa 2020 stillgelegt. Verfahren zur CO₂-Abscheidung, die zeitweise die spezifischen CO₂-Emissionen senken würden, spielen diesem Szenario zufolge keine Rolle.

In der Trendentwicklung der Stromerzeugung in Deutschland bis 2030 ergeben sich mit Blick auf den Umweltschutz keine grundsätzlich verbesserten Bewertungen der

¹⁸ EW/Prognos „Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030“, Energiewirtschaftliche Referenzprognose, Energiereport IV, BMWA Dokumentation Nr. 545, Mai 2005

¹⁹ EW/Prognos-Studie „Auswirkungen höherer Ölpreise auf Energieangebot und –nachfrage. Ölpreisvariante der Energiewirtschaftlichen Referenzprognose 2030“, August 2006, www.bmwi.de

elektrischen Wärmepumpen; ihr Nachteil bleibt der überwiegend aus fossilen Energieträgern erzeugte elektrische Strom.

5.2 Große Chancen in einer nachhaltigen Stromerzeugung

Gegenüber allen anderen fossil-basierten Heizungssystemen hätten effiziente elektrische Wärmepumpen in einer nachhaltigen Energienutzung eine große Chance bei der Bereitstellung von Heizwärme für Niedrigenergiehäuser. Ein „Nachhaltigkeits-Weg“ kann die Treibhausgas-Emissionen bis zum Jahre 2030 um rund 50 % und um 80 % bis 2050 (gegenüber 1990), verringern.²⁰ In diesem Falle wären schon ab etwa 2020 elektrische Wärmepumpen auch gegenüber ihren möglichen zukünftigen Konkurrenten auf dem Wärmemarkt, den Brennstoffzellen, mit Blick auf den Umweltschutz überlegen und könnten dann verstärkt eingesetzt werden.

Unabhängig davon sollten Heizungssysteme für Biomasse, Nah- und Fernwärmesysteme sowie auch für Solarstrahlung stark an Bedeutung gewinnen.

Die „Umweltgüte“ der zukünftigen Stromerzeugung in Deutschland entscheidet also (mit) über die ökologischen Vorteile einzelner Heizungssysteme: In einer Trendentwicklung dürften zukünftig Brennstoffzellen zur Wärmeversorgung umweltbezogen eher vorteilhafter sein; auf einem „Nachhaltigkeits-Weg“ dürften elektrische Wärmepumpen gegenüber Brennstoffzellen die bessere Alternative für die Wärmeversorgung darstellen.²¹

5.3 Den Einsatz aller Wärmepumpen vielfältiger gestalten

Die Einsatzmöglichkeiten elektrischer Wärmepumpen sollten nicht ausschließlich auf Umweltwärme – und damit auf Erneuerbare Energien – beschränkt werden. Es gibt vielfältige, mit Blick auf den Umweltschutz vorteilhafte Einsatzmöglichkeiten elektrischer Wärmepumpen in einer rationellen Energienutzung. Beispielsweise können elektrische Wärmepumpen industrielle Abwärme (wie in Abwässern oder Kühlwässern), oft mit über das Jahr konstanten und höheren Temperaturen, besonders vorteilhaft nutzen.

²⁰ wenn alle Stromeinsparpotenziale in allen Anwendungsbereichen konsequent erschlossen und damit höhere Anteile erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung (mit 38 % in 2030 und mit 63 % im Jahre 2050) ermöglicht werden

²¹ Fishedick, M., Nitsch, J., „Langfristszenarien für eine nachhaltige Energienutzung in Deutschland“, Wuppertal-Institut u. DLR Stuttgart, im Auftrag des Umweltbundesamtes, UBA-Reihe „Climate Change“ 01/02

6 Schlussfolgerungen

Elektrische Wärmepumpen stellen Energie für die Gebäudeheizung bereit, indem sie relativ kühle Umgebungswärme aus Erdreich, Wasser oder Luft auf ein nutzbares Temperaturniveau heben („pumpen“), wobei sie elektrischen Strom verbrauchen. Da sie einerseits erneuerbare Umweltwärme verwenden, andererseits aber auch aus nichterneuerbaren Energieträgern erzeugten Strom, sind sie eine Art „Zwitter“ unter den Heizungssystemen.

- 1) Die Effizienz der Wärmepumpenanlage (die Jahresarbeitszahl) ist gut, wenn die Installation folgende Punkte erfüllt:
 - Hohe Güte des Wärmepumpenaggregates selbst (hohe Leistungszahl)
 - gute Abstimmung der installierten Einzelkomponenten
 - möglichst konstant hohe Temperatur der verwendeten Wärmequelle (Abwärme oder warmes Abwasser sind besser als Außenluft)
 - niedrige Vorlauftemperatur und kleine Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Heizungsvorlauf
- 2) Kunden sollten beim Kauf einer Wärmepumpenanlage eine möglichst gute Qualität ihrer Anlage aktiv nachfragen und eine garantierte Jahresarbeitszahl zum Bestandteil des Vertrages machen.
- 3) Viele Stadtwerke und Energieversorger bieten günstige Sondertarife für Wärmepumpen-Strom oder Investitionszuschüsse an.²² Effiziente elektrische Wärmepumpen (gemäß Schlussfolgerung 1) können damit im Allgemeinen wirtschaftlich betrieben werden. Sie bedürfen auch deshalb keiner besonderen Förderung durch den Bund.
- 4) Tatsächliche Umweltbelastungen durch elektrische Wärmepumpen verursacht die Stromerzeugung in Deutschland, die überwiegend auf nichterneuerbaren Energieträgern basiert. Sie stellt in Deutschland eine große Hürde für eine spürbare Umweltentlastung durch elektrische Wärmepumpen dar. Dies spielt aber in der öffentlichen Wahrnehmung kaum eine Rolle, da die Emissionen nicht an den Orten entstehen, an denen die Wärme genutzt wird.
- 5) Die Trendentwicklung der Stromerzeugung in Deutschland bis 2030 reicht nicht für eine qualitative Verbesserung der gegenwärtigen Situation aus.
- 6) Heute vorhandene Heizsysteme auf Basis erneuerbarer Brennstoffe erreichen Treibhausgasreduzierungen von 85% und mehr. Auch wenn man zukünftige Bestwerte für die Effizienz elektrischer Wärmepumpen annimmt, können z.B. erdwärmegestützte Wärmepumpen nur bis zu 35 % weniger Treibhausgase emittieren als Gas-Brennwertheizungen.

²² Informationen dazu enthalten z.B. folgende Datenbanken für Förderprogramme:
<http://www.energiefoerderung.info/> oder <http://www.waerme-plus.de/fdb/fdb2.php>

Elektrische Wärmepumpen schonen deshalb Umwelt und Klima nicht genug, um im Marktanzreizprogramm für erneuerbare Energien gefördert werden zu können.

- 7) Elektrische Wärmepumpen sind eine sehr hohes Potenzial, wenn elektrischer Strom auf nachhaltige Weise produziert wird (Szenarien zeigen, dass bis 2050 etwa 80 % niedrigere CO₂-Emissionen möglich sind²¹). Dann können elektrische Wärmepumpen auch Brennstoffzellen übertreffen.
- 8) Große Chancen haben elektrische Wärmepumpen schon heute in Ländern, die ihren Strom quasi CO₂-frei erzeugen, wie z.B. in Norwegen oder in der Schweiz. Aber auch in Deutschland können elektrische Wärmepumpen stärker als bislang zur Umweltentlastung beitragen, wenn sie mit zertifiziertem „Ökostrom“ betrieben werden, der einen tatsächlichen Umweltnutzen hat. Dafür muss er aus Stromerzeugungsanlagen stammen, die anlässlich des Ökostromauftrags zusätzlich installiert wurden und ausschließlich erneuerbare Energiequellen verwenden.
- 9) Grundsätzlich gilt: Vorrangig sollte zunächst der Energiebedarf eines Gebäudes durch bauliche Maßnahmen reduziert werden, um günstige Bedingungen für den Einsatz von Wärmepumpen zu schaffen (z.B. Niedertemperaturheizung). Danach kann man den verbleibenden Bedarf umso umweltfreundlicher decken.
- 10) Als Wärmequelle sollte nicht nur Umweltwärme (Grundwasser, Erdwärme, Außenluft) verwendet werden. Oft steht Wärme mit höherer Temperatur zur Verfügung, z.B. in industrielle Abwärme (Abwasser, Kühlwasser). Wärmepumpen können diese Abwärme mit hoher Effizienz wieder nutzbar machen.

Ansprechpartner:

Fachgebiet I 4.4 Rationelle Energienutzung, Jens Schuberth, Tel. 0340/2103-2450
(Schema unserer E-Mail-Adressen: vorname.nachname@uba.de)