



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Abteilung Energieeffizienz und erneuerbare Energien

F. Rognon, August 2007
Rev. November 2007

Rund um Wärmepumpen in 10 Fragen

Antworten für Laien und Interessierte über
Wärmepumpen und deren Anwendungen.



Autor:

BFE

Sektion Erneuerbare Energien

Bereichsleitung Umgebungswärme, Wärme-Kraft-Kopplung, Kraftwerk2020, Verbrennung

F. Rognon



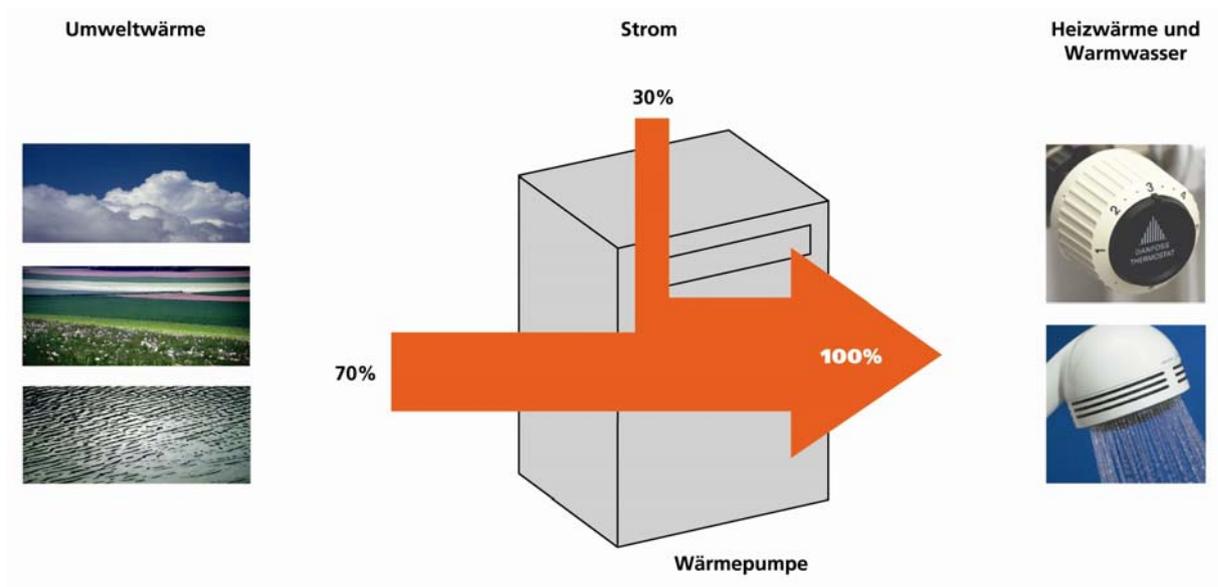
Inhaltsverzeichnis

1. Welche Energien nutzen und erzeugen Wärmepumpen?.....	4
2. Wie hoch ist der Anteil erneuerbarer Energie mit Wärmepumpen?	5
3. Wie effizient sind Wärmepumpen heute?.....	5
4. Kann die Effizienz der Wärmepumpen noch besser werden?	5
5. Kann im tiefen Winter das Gebäude ganz mit der Wärmequelle Luft beheizt werden?.....	6
6. Eignen sich Wärmepumpen für Radiatoren?.....	6
7. Wieviel Strom brauchen Wärmepumpen?.....	6
8. Verursacht der breite Einsatz von Wärmepumpen Import von Strom aus Kohlekraftwerken?	7
9. Wenn der Strom in der Schweiz zunehmend fossil erzeugt wird: tragen Wärmepumpen zur Reduktion der CO ₂ -Emissionen bei?	7
10. Wie gross ist das Anwendungspotenzial von Wärmepumpen?	8
11. Verzeichnis der Abkürzungen.....	9
12. Literatur.....	10



1. Welche Energien nutzen und erzeugen Wärmepumpen?

100% Nutz- und Heizenergie werden mit rund 30% Antriebsenergie (meist Elektrizität, auch Gas) erzeugt, indem die Wärmepumpe der Umgebung 70% Umweltwärme entzieht, diese auf eine höhere Temperatur bringt und an das Heizsystem abgibt. Umweltwärme ist in unserer nahen Umgebung gespeichert, in der Luft, in Gewässern, im Erdreich. Ähnlich wie Sonnenkollektoren und Holzheizungen nutzen also Wärmepumpen erneuerbare Energien, wie Figur 1 zeigt.



Figur 1: Funktionsprinzip der Wärmepumpe mit Energieflüssen.

Wie wird die Umweltwärme erneuert? Durch Geothermie und Sonnenenergie.

a) Wärmequelle Luft ist Sonnenenergie

Ohne Sonneneinstrahlung würden keine Niederschläge fallen, die Atmosphäre, ihre Bestandteile Luft und Wasser(-dampf) und die Erdoberfläche würden sich stetig abkühlen. Die Sonneneinstrahlung ist die treibende Kraft aller Phänomene in unserer Atmosphäre: Wärmeaustausch mit Luft, Boden, Oberflächengewässern; Niederschläge, Luftbewegungen und Wind. Die Oberflächengewässer (aus See, Fluss, Quelle), Grundwasser und Abwasser (welches zuerst einmal Trinkwasser war) werden energetisch ständig durch Niederschläge erneuert.

Die bekannteste Nutzung der Sonnenstrahlung sind thermische Sonnenkollektoren und Photovoltaik-Zellen. Diese nutzen die Strahlung, bevor sie die Erdoberfläche erreicht. Nachher können Sonnenstrahlen nicht mehr mit einem Kollektor gesammelt werden: sie haben ihre Energie (Wärme) an die Luft, den Boden, das Wasser (See, Fluss, usw.) abgegeben.



b) Wärmequelle Erdreich ist Geothermie

Über 99% der Erdkugel ist wärmer als 1000 Grad. Der geothermische Wärmefluss strömt aus dem Erdinneren nach aussen. Er ist auch verantwortlich für einen Teil der Wärme in Grundwasser und Oberflächengewässern.

Von der Erdoberfläche bis 300 Meter Tiefe steigt die Temperatur linear auf circa 25 °C. Erst mit Wärmepumpen kann also die geothermische Wärme genutzt werden. Dies erfolgt mit verschiedenen Einrichtungen: Erdwärmesonden, Energiepfähle, begrabene Kollektoren und Energiekörbe.

2. Wie hoch ist der Anteil erneuerbarer Energie mit Wärmepumpen?

Der Anteil erneuerbarer Energie zur Deckung des Bedarfes an Raumwärme UND Warmwasser beträgt (Zahlen gerundet):

- Wärmepumpe mit Wärmequelle Luft: 60% bis 70%
- Wärmepumpe mit Wärmequelle Wasser und Boden: 70% bis 80%

Zum Vergleich:

- Gaskessel plus Solaranlage: 10% bis 30%
- Oelkessel plus Solaranlage: 10% bis 30%
- Holzkessel: 100%

3. Wie effizient sind Wärmepumpen heute?

Die Effizienz wird mit der Jahresarbeitszahl gemessen: produzierte Wärme dividiert durch verbrauchten Strom, im Durchschnitt über ein Jahr. Diese Zahl hängt sehr stark von der Temperatur der Wärmeverteilsystems im Gebäude, von der Temperatur der Wärmequelle und vom Benutzerverhalten ab. Daher kann hier nicht eine Zahl, sondern muss eine Bandbreite genannt werden.

- Mit der Wärmequelle Luft werden heute Werte von 2,5 bis 3,5 erreicht.
- Mit der Wärmequelle Erdreich werden heute Werte von 3,0 bis 5,0 erreicht.

4. Kann die Effizienz der Wärmepumpen noch besser werden?

Ja, die Technologie ist reif und robust - aber nicht am Ende ihrer Entwicklung. Zwischen 1970 und 2000 wurde die Effizienz verdoppelt. Voraussichtlich wird sie von heute bis 2025 noch einmal deutlich erhöht. Zu erwarten sind durchschnittliche Jahresarbeitszahlen von 4,0 (Wärmequelle Luft) und 6,0 (Wärmequelle Erdreich). Dann sind weitere Fortschritte auf Basis der heute üblichen Technologien kaum mehr möglich.

Neue Wärmepumpen-Konzepte auf Basis des magneto-kalorischen Effektes werden heute erforscht und entwickelt. Dieses Prinzip würde theoretisch Jahresarbeitszahlen von 5,0 bis 10,0 (Wärmequelle Luft) ermöglichen.



5. Kann im tiefen Winter das Gebäude ganz mit der Wärmequelle Luft beheizt werden?

Im Mittelland: ja. Auch in höheren Lagen ist es möglich, da die Einsatzgrenze heutiger Wärmepumpen bei -20 °C liegt. In der Schweiz werden Heizungen nach Norm des SIA ausgelegt. Im schweizerischen Mittelland beträgt die typische Auslegetemperatur -8 °C , südlich der Alpen -4 °C . Die Effizienz der Wärmepumpe sinkt zwar mit tieferen Temperaturen, bleibt aber weit über 1.0: typische Werte heute sind 2,3 bei -7 °C und 1,9 bei -15 °C bei einer Vorlauf-temperatur von 45 °C . Eine Erhöhung der Vorlauf-temperatur um 5 °C reduziert die Effizienz um 8%.

Wenn die Aussenluft einmal kälter ist als der Auslegepunkt, wird in der Norm die Raumtemperatur von 20 °C nicht mehr garantiert. Dies gilt aber für ALLE Heizungen in der Schweiz, nicht nur für Wärmepumpen. In der Berechnung nach Norm steckt aber eine gewisse Reserve: eine Heizung auf -8 °C ausgelegt deckt den Bedarf bis $-10\text{... }-12\text{ °C}$ (egal ob Wärmepumpe oder Kessel). Nicht zu vergessen: wichtiger ist die Vorlauf-Temperatur der Wärmeverteilung.

6. Eignen sich Wärmepumpen für Radiatoren?

Die Einsatzgrenze der Vorlauf-temperatur liegt heute bei $55\text{--}65\text{ °C}$. Die jährliche Effizienz (Jahresarbeitszahl) liegt dann um 2,0 (Luft) und um 3,0 (Erdreich). Es ist in jedem Fall zu prüfen, ob diese Temperatur wirklich überall notwendig ist. Das Auswechseln von (meist wenigen) kritisch kleinen Heizkörpern kann die Vorlauf-temperatur reduzieren, was eine Effizienzsteigerung zur Folge hat (Reduktion der Vorlauf-temperatur von 5 °C erhöht die Effizienz um 8%).

Massnahmen zur Wärmedämmung sind auch empfehlenswert. Die Sanierung der Warmwasser-Anlagen kann aber unabhängig vom Gebäudezustand erfolgen. Meistens aber auch der Ersatz der Heizung: auch eine Wärmepumpe mit einer bescheidenen Jahresarbeitszahl von nur 2,0 reduziert die CO_2 -Emissionen um gut 20% (siehe dazu Punkt 9 unten).

7. Wieviel Strom brauchen Wärmepumpen?

Wärmepumpen sind eine intelligente Anwendung von Strom: er wird multipliziert und nicht dividiert. Die wichtigsten Verbräuche sahen im Jahr 2005 folgendermassen aus:

• Verbrauch der ganzen Schweiz:	100%
• Brenner von Oel- und Gasheizungen:	1%
• Elektrische Widerstandsheizungen:	6%
• Elektrische Warmwasser-Erhitzer:	4%
• Haushaltgeräte:	13%
• Antriebsmotoren in der Industrie:	27%
• Beleuchtung:	13%
• Züge, Trams, Seilbahnen	5%

Zum Vergleich:

• 100'000 Wärmepumpen (Stand Ende 2005)	1,3%
• 400'000 Wärmepumpen (Ziel Ende 2020)	4%



Der Ersatz aller Widerstandsheizungen und aller Warmwasser-Erhitzeer würde genügend Strom freisetzen, um 1 Million Wärmepumpen zu betreiben!

8. Verursacht der breite Einsatz von Wärmepumpen Import von Strom aus Kohlekraftwerken?

Ein sehr verbreiteter Verdacht lautet, dass für den Betrieb einer Wärmepumpe Strom aus fossilen Kraftwerken mit einem elektrischen Wirkungsgrad von 33% benötigt werde (Grenzbetrachtung). Mit diesem schlechtesten aller möglichen Szenarien kommt man selbstverständlich zum Schluss, dass Wärmepumpen mit einer Jahresarbeitszahl unter 3,0 ökologisch nicht sinnvoll seien. Diese „Kohlekraftwerkthese“ ist aber nicht haltbar.

Die Wärmepumpe wird in der „Kohlekraftwerkthese“ sozusagen als oberster Spitzenverbraucher angenommen, deren Strombedarf nur noch durch Hinzuschalten der miserabelsten Kraftwerke gedeckt werden kann. Diese Annahme ist aber unzutreffend. Die Wärmepumpen werden in der Schweiz im Wesentlichen mit unterbrechbaren Stromlieferungen betrieben. Sie werden während den Verbrauchsspitzen ausgeschaltet und tragen demzufolge auch nichts zu diesen bei.

Das BFE verfolgt seit 1990 konsequent folgende Strategie für die Förderung der Wärmepumpen: sie werden in Verbindung mit fossiler Wärme-Kraft-Kopplung (WKK¹) und nicht mit Stromimporten verbunden. Dies soll sicherstellen, dass die fossile WKK die CO₂-Bilanz der Schweiz nicht verschlechtert. Diese kombinierte WKK-WP-Strategie führt bei gleicher Nutzwärmeerzeugung zu Primärenergieeinsparung von 30% bis 50%.

In diesem Zusammenhang ist nochmals daran zu erinnern, dass in der Schweiz Wärmepumpen nur etwa 1,3% des Stromverbrauches benötigen. Die vorrangig durch Wärmepumpen zu ersetzenden Elektrowiderstandsheizungen und Elektroboiler machen leider noch 6% bzw. 4% aus.

9. Wenn der Strom in der Schweiz zunehmend fossil erzeugt wird: tragen Wärmepumpen zur Reduktion der CO₂-Emissionen bei?

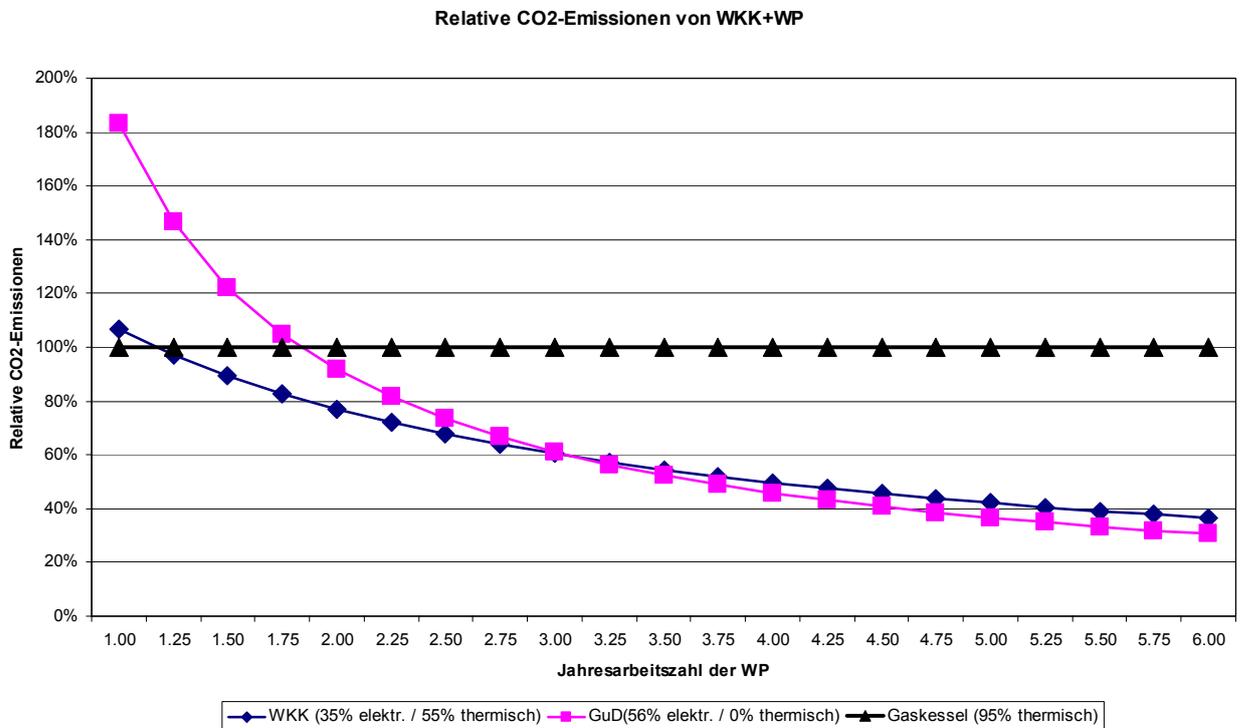
Mit heutigem Stand der Technik lautet die Antwort eindeutig ja:

- Wenn der Strom aus einer dezentralen (fossilen) Wärme-Kraft-Kopplungsanlage (WKK) kommt (auch Blockheizkraftwerk genannt), genügt eine Jahresarbeitszahl von 1,3.
- Wenn der Strom aus einem (fossilen) Gas-Kombi-Kraftwerk kommt (GuD, ohne Wärmenutzung), genügt eine Jahresarbeitszahl von 1,8.

¹ Für WKK kommen folgende Technologien in Frage: Kolbenmaschinen mit innerer Verbrennung (Gas- und Dieselmotoren), Stirling-Maschinen, Brennstoffzellen und Turbinen. Während die erstgenannten aus technisch-ökonomischen Gründen eher für kleinere Leistungen von 2 kW bis 1 MW in Frage kommen, sind Turbinen aus den gleichen Gründen in der Regel grösseren Leistungen vorbehalten. Bei den Turbinen sind sowohl einfache Dampfkreisläufe (elektrischer Wirkungsgrad typischerweise etwa 20-35 %) als auch Kraftwerke mit einem kombinierten Gas- und Dampfprozess (GuD, elektrischer Wirkungsgrad heute bis 58%) möglich.



Die Sensitivität zeigt Figur 2.



Figur 2: relative CO₂-Emissionen von Wärmepumpen betrieben mit Strom aus Wärme-Kraft-Kopplung (WKK) oder Gas-Kombi-Kraftwerk (GuD) in Abhängigkeit der Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe. Die Prozent-Angaben sind Nutzungsgrade über eine Heizperiode, bezogen auf den unteren Brennwert vom Erdgas. Referenz: Gaskessel kondensierend.

Annahmen: Wirkungsgrade der WKK sind 35% elektrisch und 55% thermisch, Wirkungsgrade der GuD sind 56% elektrisch und 0% thermisch (keine Wärmenutzung).

Schon im ungünstigen Fall einer Heizungssanierung mit Jahresarbeitszahlen von 2.6 (Luft) oder 3.4 (Erdreich) wird der CO₂-Austoss im Vergleich mit den besten Kesseln um 40% bis 50% reduziert. In Neubauten kann die Reduktion 60% und mehr betragen. Durch Kauf von Ökostrom wird er sogar voll und ganz vermieden.

10. Wie gross ist das Anwendungspotenzial von Wärmepumpen?

Gemäss Volkszählung 2000 sind in Schweiz insgesamt 1'400'000 Heizungen, davon 800'000 mit Oelkesseln, 200'000 mit Gaskesseln und 170'000 mit Elektro-Widerstandsheizungen in Betrieb (Zahlen gerundet). Die Oel- und Gasheizungen sind verantwortlich für fast die Hälfte aller CO₂-Emissionen der Schweiz.

Mit dem heutigen technischen und wirtschaftlichen Stand der Wärmepumpe können rund ein Drittel der alten Heizungen ersetzt werden, was einem Potenzial von 400'000 Wärmepumpen entspricht. Die aus der Umwelt verfügbaren Wärmequellen stellen keinen begrenzenden Faktor dar. Mit den heutigen verfügbaren Technologien gibt es genug Wärmequellen in der Nähe von Wärmeverbrauchern, um die ganze Schweiz mehrfach zu heizen.



Der Antriebsstrom kann durch rund 20'000 dezentrale Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen (Blockheizkraftwerke) oder zwei grosse Kombi-Kraftwerke oder durch eine Kombination beider Erzeugungsarten gedeckt werden.

11. Verzeichnis der Abkürzungen

a, /a	Jahr, pro Jahr
äquiv.	Äquivalent
BHKW	Blockheizkraftwerk
el	Elektrisch
GuD	Gas- und Dampfturbine
GWh	Giga-Watt-Stunden
h	Stunden
JAZ	Jahresarbeitszahl
KK	Kombi-Kraftwerk (Kombination von Gas- und Dampfturbine in einem Kraftwerk)
kW	Kilo-Watt
PJ	Petajoule
th	Thermisch
TWh	Tera-Watt-Stunden
WKK	Wärme-Kraft-Kopplung
WP	Wärmepumpe



12. Literatur

- Programmziele EnergieSchweiz, Sektorziele und Zielbeiträge 2001 und 2002, BFE, Bern, Februar 2004
Daten gemäss Kap. 6.1 Seite 28, Kap. 3.4, Seite 12 und Kap. 3.3, Seite 11:
Energieverbrauch fossiler Brennstoffe für Heizung und Warmwasser in Wohngebäuden und Betriebsgebäuden zusammen gezählt ergibt $223'670 + 67'413 = 291'083$ TJ
Ziel EnergieSchweiz für Brennstoffe, gesamt: 50'503 TJ
Ziel EnergieSchweiz für Brennstoffe, notwendiger Zielbeitrag der erneuerbaren Energien: 10'800 TJ
- Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2005, BFE, Bern, August 2006
- Steps toward a sustainable development, A white book for R&D of energy-efficient technologies, Novatlantis, E. Jochem (Editor), CEPE ETH, Zürich, März 2004
- Konzept Umgebungswärme, WKK, Kälte 2004-2007, verabschiedet durch die CORE am 10.9.2004
- M. Ehrbar, M. Erb, P. Hubacher, Feldanalyse von Wärmepumpenanlagen FAWA 1996-2003, Schlussbericht, April 2004, ENET 240016
- Das Potenzial von Wärmepumpen-Heizungen im Falle eines Erdoel-Lieferstoppes, BFE, Bern, Juli 1983 (internes Arbeitspapier, nur noch 1 Exemplar im Archiv).
- F. Rognon, Förderung der erneuerbaren Energien durch das Bundesamt für Energie: Ziele für Wärmepumpen und Umfeld für grosse Wärmepumpen, im Tagungsband der 9. UAW-Tagung vom 2002, ENET-Nr. 220358.
- Bundesamt für Statistik, Volkszählung 2000, Kennzahlen von Gebäuden und Wohnungen, aus www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/bau- und_wohnungswesen.
- Projekt GaBE: Ganzheitliche Betrachtung von Energiesystemen, Perspektiven der zukünftigen Strom- & Wärmeversorgung für die Schweiz, PSI, Villigen, August 2001.
- Road Map für die erneuerbaren Energien in der Schweiz bis 2050, SATW, Bern, November 2004
- R. Rigassi, HP. Eicher, Zukünftige Marktbedeutung von WKK-Anlagen ($1-1'000\text{kW}_{el}$), BFE, Bern, 2003
- Ueberprüfung der Erhebung der Widerstandsheizungen, BFE, Sektion Statistik, Notiz vom 8.9.2003
- Die Wärme-Kraft-Kopplung im Programm EnergieSchweiz, BFE, August 2003 (Dok.-ID 003692950)
- J. Nipkow, Stand-by-Verbrauch von Haushaltgeräten, BFE, Bern, Juni 2003
- M. Zogg, Wärme und Strom aus Brennstoffen – effizient und umweltschonend, BFE, Mai 2002
- D. Favrat, G. Sarlos et al., Projet PACLAC, Valorisation de l'énergie thermique des lacs pour le chauffage urbain, Rapport final, NEFF, mars 1995



- M. Strebel, W. Seidinger, Heizkörperwärmepumpe, Zusammenfassung bisher erarbeiteter Informationen und Grundlagen zur Förderstrategie, BFE, Bern, August 1997
- UNO-IPCC TAR (2001), Kap. 1.2.1, http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/041.htm#121
- F. Rognon, Energetische Potenziale von Wärmepumpen kombiniert mit Wärme-Kraft-Kopplung, BFE, Bern, Juni 2005