

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses

**Band:** 91 (2000)

**Heft:** 24

**Artikel:** Bivalente Wärmepumpenanlagen : grosses Potenzial : wenig genutzt

**Autor:** Erb, Christian

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-855635>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 06.10.2024

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Bivalente Wärmepumpenanlagen: Grosses Potenzial – wenig genutzt

Auch bei Heizzentralen mit mehreren 100 kW können Wärmepumpen höchst effizient eingesetzt werden. Dies auch wenn hohe Vorlauftemperaturen (über 70 °C) notwendig sind. Bei richtigem Einsatz der Heissgasenthitzung und Flüssigkeitsunterkühlung können mit bivalenten Wärmepumpenanlagen Jahresarbeitszahlen von 3 bis über 4 erreicht werden.

■ Christian Erb

## Warum bivalente Wärmepumpen?

**Wirtschaftliche Optimierung:** Da wir in der Schweiz nur wenig wirklich kalte Tage haben, kann mit einer Wärmepumpe, welche nur auf einen Drittel der Gesamtleistung ausgelegt ist, bis zu 75% der Energie gedeckt werden. Die Wärmegestellungskosten werden mit einer bivalenten Wärmepumpe wesentlich günstiger, als wenn die Wärmepumpe auf die ganze Leistung ausgelegt werden müsste. Die spezifischen Investitionen für eine Heizkesselanlage sind wesentlich geringer als bei der Wärmepumpe.

**Optimierung der Temperaturen:** Wenn die Wärmepumpe nur auf einen Drittel der Leistung ausgelegt wird, so muss sie auch nur diesen Anteil des Temperaturhubes übernehmen. Bei einem Heizungsnetz mit einem maximalen Vorlauf von 70 °C und einem maximalen Rücklauf von 50 °C muss die Wärmepumpe nur einen Drittel des Temperaturhubes von der Rücklauftemperatur auf die Vorlauftemperatur übernehmen – also nur die Erwärmung von 50 °C auf etwa 56,5 °C. Dies ist für die meisten grösseren Wärmepumpen kein Problem, und einem Einsatz einer Wärmepumpe steht nichts im Wege.

mechanische Energie, die in den Verdichter gesteckt werden muss, um den Temperaturhub zu ermöglichen. Dies ist einfach zu verstehen, denn zu einer höheren Temperatur gehört ein höherer Druck, auf den das Kältemittel verdichtet werden muss. Dieser höhere Druck muss mit einer höheren mechanischen Leistung erkauft werden.

Wenn dann durch ein geschicktes Konzept noch dafür gesorgt wird, dass das Heizungsnetz gleitend nach Aussen-temperatur betrieben werden kann, so ist diese Maximaltemperatur nur bei sehr kalter Witterung notwendig und entsprechend selten. In der Regel wird die Wärmepumpe also Temperaturen zwischen 40 und 50 °C zu erzeugen haben.

## Optimierung der Jahresarbeitszahl bei bivalenten Wärmepumpenanlagen

Die Arbeitszahl einer Wärmepumpe hängt im Wesentlichen von zwei Faktoren ab:

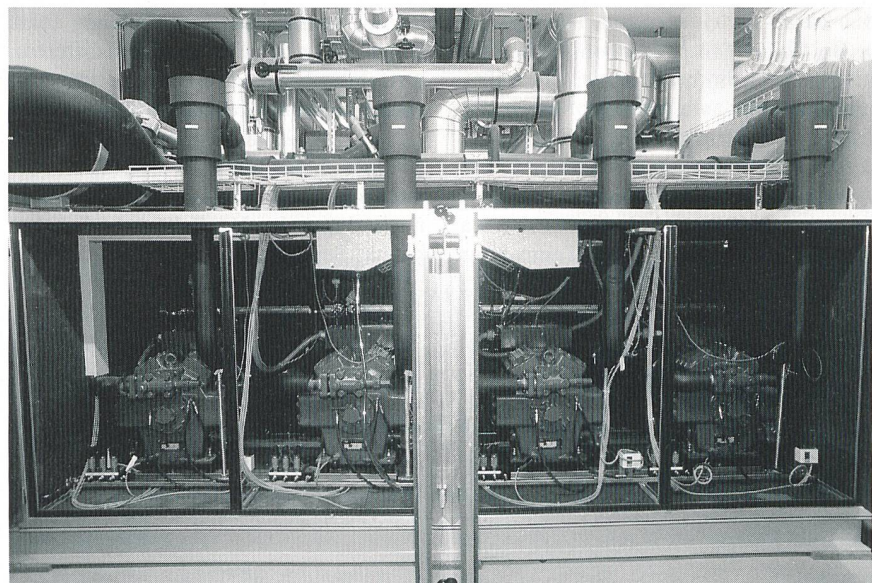
- Temperaturhub zwischen Quelle und Senke
- Temperaturspreizung bei der Wärmeentnahme.

Der Temperaturhub zwischen der Quelle und der Senke bestimmt die me-

## Grosse Temperaturspreizung bei der Wärmeentnahme

Genauso wichtig ist die zweite Bedingung für eine gute Arbeitszahl: möglichst hohe Temperaturspreizung bei der Wärmeentnahme. Die Erkenntnis dieser zweiten Bedingung wird leider beim Wärmepumpeneinsatz bislang viel zu wenig umgesetzt.

Die Wärmeentnahme bei einer Wärmepumpe erfolgt in drei Phasen. Diese Phasen werden in Bild 1 in einem Kreisprozessdiagramm an einem Beispiel dargestellt. Bei Beginn der Wärmeentnahme am Punkt A ist das Kältemittel gasförmig und hat eine Temperatur von 85 °C. Bei Punkt B beginnt sich das Kältemittel zu verflüssigen und hat eine Temperatur von 40 °C. Die Temperatur bleibt konstant bis das ganze Kältemittel flüssig ist (Punkt C). In der Unterkühlungsphase wird das flüssige Kältemittel weiter abgekühlt bis auf 15 °C (Punkt D).



Quellwasser-Wärmepumpe «Wärmeverbund Moos» in Zürich (Wärmepumpe mit Enthitzung und Unterkühlung für Warmwasser, Leistung 480 kW).

### Kontaktadresse

ewz  
Elektrizitätswerk der Stadt Zürich  
Projektierung Energiedienstleistungen  
George Dubacher und Christian Erb  
Tramstrasse 35  
Postfach  
8050 Zürich  
E-Mail: georg.dubacher@ewz.stzh.ch  
www.ewz.ch

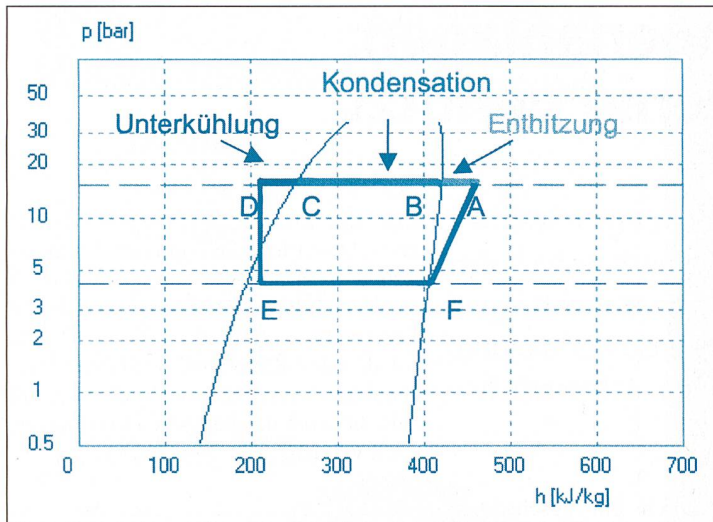


Bild 1 Darstellung von Entwärmung, Kondensation und Unterkuhlung im Kreisprozess.

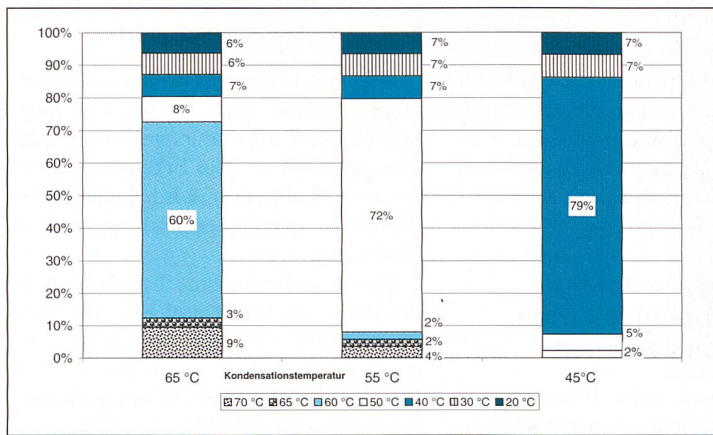


Bild 2 Aufteilung der Leistungsanteile bei verschiedenen Vorlauftemperaturen.

Die zur Verfügung stehende Energie in den drei Phasen ist je nach Kondensationstemperatur unterschiedlich (Bild 2). Bei hohen Kondensationstemperaturen steigt der Anteil der Energie, welcher bei höherer oder tieferer Vorlauftemperatur als der Heiztemperatur entnommen werden kann.

Bei einer Kondensationstemperatur von 65 °C kann noch immer etwa 10% mit einer Vorlauftemperatur von 70 °C genutzt werden; also rund 10 K höher als die Vorlauftemperatur des Kondensators. Aber auch bei einer Kondensationstemperatur von 45 °C steht immer noch etwa 7% der Leistung mit einer Temperatur zwischen 50 °C und 60 °C zur Verfügung (Bild 2).

Für die Nutzung der Unterkühlungsenergie stehen beträchtliche Leistungen auf verschiedenen Niveaus zur Verfügung. Was heisst dies für den effizienten Einsatz von Wärmepumpen? Durch eine stufengerechte Entnahme der Wärme können auch sehr hohe Vorlauftemperaturen mit einer guten Arbeitszahl erreicht werden.

Entscheidend ist allein eine möglichst hohe Temperaturspreizung bei der Wär-

meentnahme. Wie lassen sich die obigen Erkenntnisse zur Verbesserung der Leistungszahl umsetzen?

### Nutzung der Unterkühlung

Die Nutzung der Unterkühlung führt zu einer grösseren Enthalpiedifferenz zwischen A und D (Bild 3). Entsprechend grösser wird auch die Enthalpiedifferenz zwischen E und F (Bild 4), was zu einem höheren Anteil an Umweltwärme aus dem Verdampfer führt. Der elektrische Input des Verdichters bleibt aber gleich. Sein relativer Anteil wird geringer und die Leistungsziffer steigt (Bilder 3 und 4).

Eine Steigerung der Leistungszahl von 30% ist möglich. Die in den Bildern 3 und 4 dargestellten Leistungszahlen sind Werte des Verdichters; also ohne Verluste der Wärmepumpe und der Hilfsbetriebe. Wie sehen denn die Verhältnisse bei einer realen Anlage aus?

Betrachten wir beispielsweise eine Wärmepumpe, welche am Auslegepunkt (minimale Aussentemperatur) eine Vorlauftemperatur von 62 °C benötigt; also

	Ein	Aus
Kältemittel	63 °C	33 °C
Heizung	28 °C	45 °C

Tabelle I Auslegungswerte für den Unterkühler.

eine Kondensationstemperatur von etwa 65 °C verursacht. Ist eine Leistungszahl für die ganze Anlage von mehr als 3 möglich?

Eine Leistungszahl von etwa 3 ist auch bei einer Kondensationstemperatur von 65 °C erreichbar, wenn das flüssige Kältemittel um 30 K abgekühlt wird. Das Kältemittel verlässt den Kondensator mit etwa 63 °C und müsste demnach auf 33 °C abgekühlt werden können. Dazu wäre ein Unterkühlerwärmetauscher notwendig, der auf eine Leistung von 12% der Wärmepumpengesamtleistung ausgelegt ist (vergleiche auch Bild 2). Eine mögliche Auslegung für den Unterkühlerwärmetauscher ist in Tabelle I ersichtlich.

Es dürfte in den meisten Fällen nicht allzu schwer sein, eine Einbindung für einen Unterkühler mit diesen Auslegungswerten zu finden. Wenn wir das Modellbeispiel zu Ende denken, so wäre bei Annahme einer bivalenten Wärmepumpe (Leistung Wärmepumpe 33% der Gesamtleistung) also lediglich eine Leistung von 4% der Gesamtleistung notwendig. Gute Möglichkeiten ergeben sich mit einzelnen Bodenheizungsgruppen oder Lüftungsgruppen, deren Wärmetauscher speziell tief ausgelegt werden. Die grösser ausgelegten Wärmetauscher dürften nur geringe Mehrkosten verursachen.

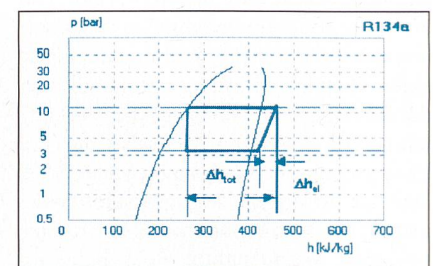


Bild 3 Kreisprozess ohne Unterkühlung; Leistungszahl Verdichter:  $\Delta h_{tot} : \Delta h_{el} = 4,7$ .

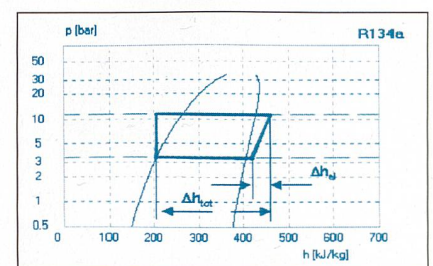


Bild 4 Kreisprozess mit 40 K Unterkühlung; Leistungszahl Verdichter:  $\Delta h_{tot} : \Delta h_{el} = 6,2$ .

Wärmeabgabesystem		
WP-Konzept	75/55	40/30 (°C)
Ohne Nutzung der Unterkühlung	3,0	3,7
Unterkühlung für Warmwasser	3,7	4,5
Unterkühlung für Warmwasser und eine NT-Heizgruppe	4,0	

Tabelle II Erreichbare Jahresarbeitszahlen einer bivalenten Grundwasserwärmepumpe.

Ein sehr grosses Potenzial für die Nutzung von Unterkühlerenergie ist die Warmwasservorwärmung. Die Kaltwassertemperatur beträgt in der Regel etwa 10 °C, und somit sind Flüssigkeitsunterkühlungen von mehr als 40 K möglich. Die Leistungsziffer könnte im erwähnten Beispiel auf etwa 3,2 gesteigert werden, was immerhin 35% besser ist als ohne Unterkühlung.

### Nutzung der Enthitzung

Ein Teil der Energie kann bei einer höheren Temperatur als der Kondensationstemperatur entnommen werden. Interessant ist die Nutzung der Enthitzung für die Versorgung einzelner Verbraucher mit einer höheren Temperatur.

Besonders interessant ist der Einsatz des Enthitzers für Verbraucher, die eine konstant hohe Temperatur benötigen, während der Rest aussentemperaturabhängig gefahren wird (z. B. Wassererwärmung). Das Warmwasser soll immer auf eine Temperatur von 60 °C erwärmt werden, während die Vorlauftemperatur in Abhängigkeit der Aussentemperatur sinkt oder steigt. Es ist energetisch also interessant, wenn die Kondensationstemperatur für die Wassererwärmung nicht angehoben werden muss, weil mit dem Enthitzer das Warmwasser immer parallel zur Heizwärme aufgewärmt wird.

Selbstverständlich müssen die Verhältnisse der Leistungen auf den Temperaturstufen beachtet werden. Bild 2 zeigt, welche Leistungen bei welchen Vorlauftemperaturen und Kondensationstemperaturen im Enthitzer entnommen werden können. Bei tiefen Kondensationstemperaturen (z. B. Bodenheizungen) ist im Enthitzer eine Vorlauftemperatur von 60 °C für die Wassererwärmung gar nicht mehr möglich, und eine zeitweise Erhöhung der Kondensationstemperatur für die Nachwärmung des Warmwassers ist notwendig. Der Enthitzer macht aber

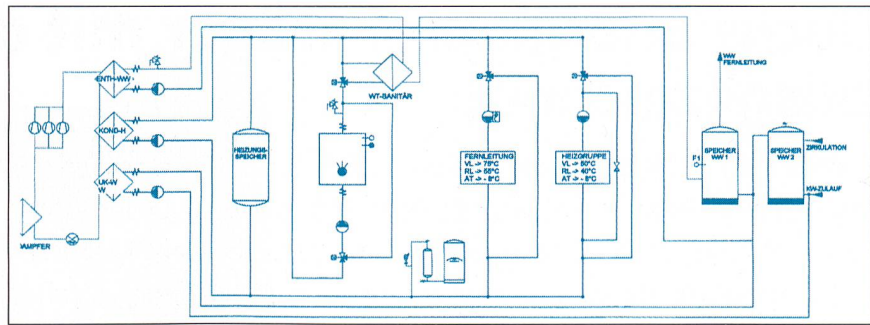


Bild 5 Prinzipschema bivalente Wärmepumpe mit Heissgasenthitzer und Flüssigkeitsunterkühler.

trotzdem auch in diesem Fall Sinn, weil er einerseits eine weitgehende Vorwärmung des Warmwassers ermöglicht, und weil er im Nachheizfall direkt als Kondensator genutzt werden kann. Zwischen Kältemittel und Warmwasser ist nur ein Wärmetauscher eingebaut, was die Verluste reduziert (Bild 5).

### Erreichbare Jahresarbeitszahlen

Für einen Wärmeverbund mit einer bivalenten Grundwasserwärmepumpe, zentraler Wassererwärmung und gleitenden Fernleitungstemperaturen sind in Abhängigkeit des Konzeptes und des Wärmeabgabesystemes hohe Jahresarbeitszahlen erreichbar (Tabelle II).

### Ein grosses Potenzial - wenig genutzt; warum?

Es gibt in der Schweiz viele Heizzentralen mit einer Leistung ab etwa 150 kW, bei der energetisch sinnvoll eine bivalente Wärmepumpe eingesetzt werden könnte. Trotzdem wird das Potenzial bislang noch viel zu wenig genutzt. Dies hat vorab die folgenden Gründe:

- *Wirtschaftliche Einwände*  
Gerade bei grösseren Heizzentralen sind in der Regel Verwaltungen oder

Immobilienfirmen als Entscheidungsträger aktiv. Diese messen der Wirtschaftlichkeit in der Regel eine grosse Bedeutung zu. Bei den sehr tiefen Brennstoffpreisen in der Vergangenheit waren bivalente Wärmepumpenanlagen ohne deutlich höhere Jahreskosten nicht zu realisieren. Durch die höheren Brennstoffpreise und eine bevorstehende CO<sub>2</sub>-Abgabe wird sich diese Situation einiges verbessern.

- *Energetische, technische Einwände*  
Leider ist die Vorstellung, dass Wärmepumpen in bestehenden Heizzentralen und bei herkömmlichen Wärmeabgabesystemen technisch schwierig einzubinden seien und schlechte Jahresarbeitszahlen erreichbar seien, noch immer weit verbreitet. Eine bessere Ausbildung der Planer und Unternehmer sowie eine breite Aufklärung der Bauherren ist dringend notwendig.
- *Keine Risikobereitschaft*  
Immer wieder kommt es vor, dass Bauherrschaften eigentlich an einer ökologischen Wärmeerzeugung interessiert wären, aber den Mut oder die Kapazität nicht haben, sich an ein solches Projekt zu wagen. Für diese Fälle kann das Angebot eines externen Contractors eine grosse Hilfe sein. Für innovative und kompetente Elektrizitätswerke liegt darin eine grosse Chance.

### Les installations de pompes à chaleur bivalentes: un potentiel important peu utilisé

Il est possible d'équiper les centrales de chauffage d'une puissance de quelques centaines de kilowatts de pompes à chaleur. Celles-ci peuvent alors être utilisées de façon très efficace, même s'il faut une température aller élevée (c'est-à-dire supérieure à 70 °C). En utilisant correctement le prélèvement de température sur les gaz chauds et le surrefroidissement du liquide des pompes à chaleur bivalentes, des chiffres de rendement annuels allant de 3 à 4 (et plus) peuvent être atteints.