

Beat Wellig, Raphael Agner, Forschungsgruppe Thermische Energiesysteme und
Verfahrenstechnik, Hochschule Luzern – Technik & Architektur, Horw
Beat Kegel, Kegel Klimasysteme, Zürich
Torben Reuter, BMS Energietechnik AG, Wilderswil

Wärmepumpe mit COP 10 im Betrieb: Was es dafür braucht

Zusammenfassung

Nachhaltig und effizient geheizt wird heute mit Wärmepumpen (WP). In Anwendungen mit kleinen Temperaturhüben verfügen WP über ein bisher nicht ausgeschöpftes Energieeinsparpotenzial. Sie erreichen bei kleinen Hüben nur dann eine hohe Effizienz, wenn sie speziell für diese Betriebsbedingungen ausgelegt sind. In diesem Beitrag wird eine Niederhub-WP in einem Büro-/Gewerbegebäude in St. Gallen vorgestellt, welche über den relevanten Bereich der Heizleistungen und Temperaturhübe eine hohe Effizienz erreicht. Es wird aufgezeigt, welche Aspekte bei der Auslegung der Komponenten und Regelung der Anlage zu beachten sind. Der Feldbetrieb der Niederhub-WP mit dem Erdreich als Wärmequelle und Klimakonvektoren als Wärmeabgabesystem wurde umfassend analysiert. Bei den am häufigsten vorkommenden Betriebsbedingungen liegt der COP-Wert über 10, die höchsten gemessenen COP-Werte liegen bei rund 11.5. Die Wärmepumpe benötigt über die gesamte Heizsaison knapp über 1 kWh Strom pro Quadratmeter Gebäudefläche. Der Beitrag soll ein Anstoss sein, zukünftig kleine Temperaturhübe besser auszunützen und das vorhandene Potenzial für hocheffiziente Heizsysteme auszuschöpfen.

Abstract

Sustainable and efficient heating is accomplished today by heat pumps (HP). In applications with small temperature lifts, HPs can provide a large energy saving potential. However, they only achieve high efficiency with small lifts if they are designed specifically for this type of operating condition. This article presents a small temperature lift HP in a commercial building in St. Gallen, which achieves high efficiency over the relevant range of heat flows and temperature lifts. It shows which aspects need to be considered in the design of the components as well as the control of the system. The field operation of the small temperature lift HP using the ground as a heat source and fan coil units as the heat distribution system was extensively analyzed. Under the most common operating conditions, the COP value was above 10, with the highest measured COP values being around 11.5. The heat pump requires just over 1 kWh of electricity per square meter of building area during the entire heating season. The article aims to be an impetus to make better use of small temperature lifts in the future and to exploit their potential to achieve highly efficient heating systems.

Einleitung

Ausgangslage

An moderne Wohn- und Bürogebäude werden hohe Anforderungen gestellt. Investoren und Mieter haben hohe Ansprüche bezüglich Nutzungsqualität und erwarten gleichzeitig niedrige Betriebskosten für die Gebäudetechnik. Das Heizen von Gebäuden hat einen beträchtlichen Anteil an den gesamten CO₂-Emissionen. Es ist unbestritten, dass die Wärmepumpe die Kern-technologie für die ökologische Wärmebereitstellung in Gebäuden darstellt. Ohne den breiten Einsatz von Wärmepumpen ist das Ziel eines emissionsfreien Betriebs des Gebäudeparks nicht erreichbar.

Nachhaltig und effizient geheizt wird heute mit Wärmepumpen. Sie verfügen jedoch über ein bisher kaum erkanntes und nicht ausgeschöpftes Potenzial für Energieeinsparungen, nämlich dann, wenn diese in Kombination mit effizienten Gebäudetechniksystemen konsequent bei kleinen Temperaturhuben betrieben werden. Selbstverständlich dürfen Effizienzsteigerungen keine Verschlechterung der Behaglichkeit zur Folge haben. Dieses Ziel kann nur erreicht werden, wenn ganzheitlich optimale Lösungen bestehend aus Architektur, Bauphysik und Gebäudetechnik umgesetzt werden.

Die Effizienz von Wärmepumpen (und Klimakälteanlagen) ist stark vom Temperaturhub abhängig, d.h. von der Temperaturdifferenz zwischen der Wärmesenke und Wärmequelle. In einer Reihe von F&E-Projekten an der Hochschule Luzern (HSLU) wurde in den vergangenen 20 Jahren gezeigt, dass die Effizienz von Wärmepumpen durch die konsequente Ausnutzung von kleinen äusseren Temperaturhuben markant verbessert werden kann, siehe z.B. [1-4]. Beat Kegel hat bereits vor mehr als einem Dutzend Jahren gezeigt, dass mit Niederhub-Wärmepumpen sehr hohe Effizienzwerte im Feld erreicht werden [5]. Auf dem Markt sind jedoch bis heute keine Wärmepumpen verfügbar, welche das Potenzial von Niederhub-Anwendungen auszunutzen vermögen (eine Ausnahme sind Anlagen mit Turbokompressoren für grössere Leistungen). Aufgrund des grossen Potenzials wurde das Thema «Niederhub-Wärmepumpen» wieder aufgegriffen, eine Anlage in Zusammenarbeit mit der BMS Energietechnik AG aufgebaut und im Feldbetrieb in einem Büro-/Gewerbegebäude ausgemessen.

Temperaturhübe von Wärmepumpen

Der Temperaturhub einer Wärmepumpe ist massgeblich von der Wärmequelle und vom Wärmeabgabesystem abhängig. Abb. 1 zeigt beispielhaft die Temperaturbereiche verschiedener Wärmequellen und Wärmesenken sowie den Zusammenhang zwischen Leistungszahl (Coefficient of Performance, COP) und Temperaturhub. Die Temperatur des ungestörten Erdreichs in einer Tiefe von rund 10-15 m beträgt konstant 10°C und nimmt mit einem Temperaturgradient von 0.03 K/m zu. Gut dimensionierte Erdwärmesonden und Verdampfer ermöglichen relativ hohe Verdampfungstemperaturen von bis zu 10°C. Mit Umgebungsluft als Wärmequelle liegen die Verdampfungstemperaturen naturgemäss die meiste Zeit tiefer. Als Abgabesysteme kommen Radiatoren, Fussbodenheizungen oder auch Klimakonvektoren zur Anwendung. Der Bereich der Temperaturhübe für die Gebäudeheizung ist gross: Er liegt je nach Quelle und Abgabesystem zwischen etwa 15 K und teilweise über 60 K.

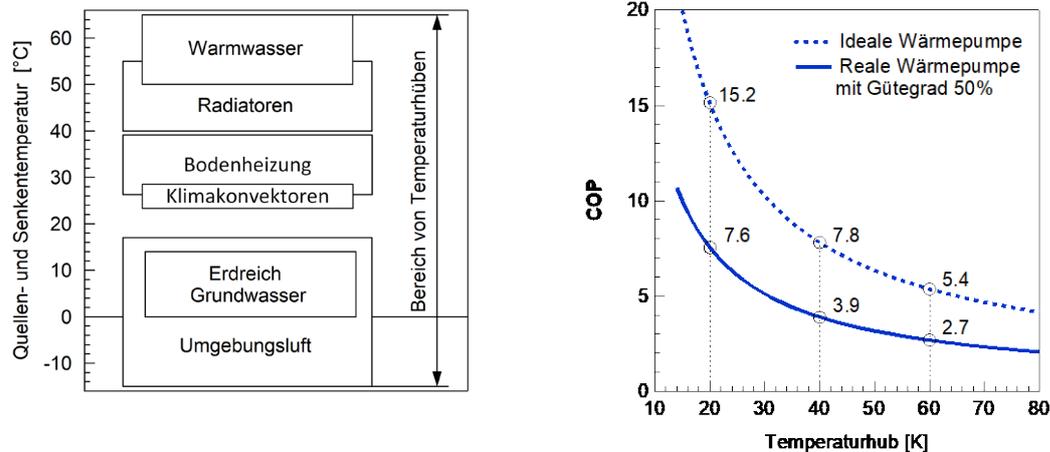


Abbildung 1: Links: Beispielhafte Temperaturbereiche von Wärmequellen und Wärmesenken. Rechts: Leistungszahl COP einer idealen Wärmepumpe (Carnot-Prozess) sowie einer realen Wärmepumpe mit einem Gütegrad von 50% in Funktion des Temperaturhubes.

Für eine effiziente Gebäudeheizung ist ein Temperaturhub unter 30 K oft ausreichend. Mehr noch: In System mit dem Erdreich als Wärmequelle und mit modernen Niedertemperatur-Umluftklimageräten (Klimakonvektoren) erreicht man Temperaturhübe im Bereich von 15-20 K. In Abb. 2 ist ersichtlich, wie der COP-Wert einer idealen Wärmepumpe und einer realen Wärmepumpe für diesen Fall vom inneren Temperaturhub abhängen. Für einen Temperaturhub von beispielsweise 18 K erreicht man mit einem inneren Gütegrad von 60% (Verhältnis von effektiver Leistungszahl zur Leistungszahl des Carnot-Prozesses zwischen den gleichen Temperaturniveaus) einen COP-Wert von 10. Die praktische Erfahrung zeigt, dass Standard-Wärmepumpen, welche für deutlich grössere Hübe ausgelegt sind, COP-Werte in dieser Grössenordnung nicht erreichen.

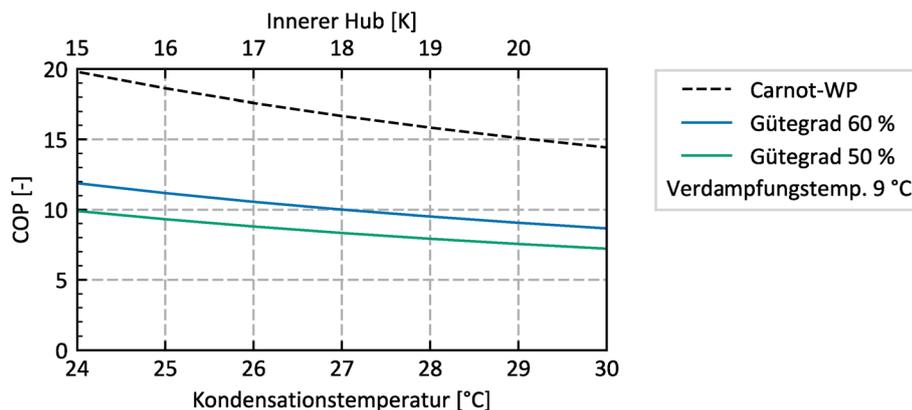


Abbildung 2: COP-Wert der idealen und realen Wärmepumpen in Abhängigkeit der Kondensationstemperatur bzw. des inneren Temperaturhubes (Differenz von Kondensations- und Verdampfungstemperatur) für eine konstante Verdampfungstemperatur von 9°C.

Ziele

Unabdingbare Voraussetzungen für kleine Temperaturhübe sind hohe Verdampfungstemperaturen sowie Heizwärmeabgabesysteme mit Temperaturniveaus nahe der Raumtemperatur. Wärmepumpen (WP) erreichen bei kleinen Temperaturhüben nur dann eine hohe Effizienz, wenn sie speziell für die entsprechenden Betriebsbedingungen ausgelegt sind. In diesem Beitrag wird eine Niederhub-Wärmepumpe vorgestellt, welche über den relevanten Bereich der erforderlichen Heizleistungen und Temperaturhübe hohe und relativ konstante Gütegrade erreicht. Weiter wird die Auslegung, der Betrieb und das Potenzial von Niederhub-Wärmepumpen diskutiert. Der Beitrag soll ein Anstoss sein, damit zukünftig vorhandene kleine Temperaturhübe besser ausgenutzt und das Potenzial für effiziente Anlagen ausgeschöpft wird.

Auslegung von Niederhub-Wärmepumpen

In früheren F&E-Projekten an der HSLU wurden verschiedene Niederhub-Wärmepumpe entwickelt und getestet (mit Kolben-, Scroll- und Turbokompressoren [2-4]). Dabei wurden wichtige Erkenntnisse bezüglich Auslegung und Betrieb solcher WP gewonnen. Wenn Standard-WP bei kleinen Temperaturhüben betrieben werden, führt dies zu einer vergleichsweise schlechten Effizienz, da deren Gütegrad bei kleinen Hüben teilweise stark absinkt. Das volle Potenzial kann nur mit speziell für kleine Temperaturhübe ausgelegten Anlagen ausgeschöpft werden. Die Realisierung hocheffizienter Niederhub-WP mit Standard-Komponenten ist grundsätzlich möglich, bei der Dimensionierung der Komponenten und der Anlage müssen jedoch einige Aspekte beachtet werden.

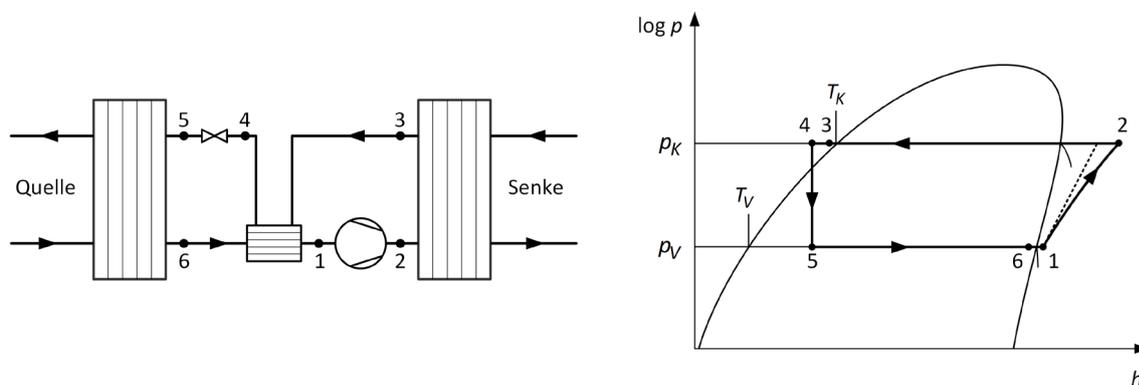


Abbildung 3: Vereinfachte Darstellung des Kältekreislaufs mit internem Wärmeübertrager sowie Darstellung des Kreisprozesses im log p, h-Diagramm.

Die Auslegung des Verdampfers und Kondensators erfolgt mit dem Ziel, die Temperaturdifferenz für die Wärmeübertragung klein zu halten, damit möglichst hohe Verdampfungs- und möglichst tiefe Kondensationstemperaturen erreicht werden. Zur Erreichung einer hohen Effizienz sind zwingend kleine Sauggasüberhitzungen anzustreben. Die von der BMS Energietechnik AG entwickelte zweistufige Verdampfung bietet dazu hervorragende Voraussetzungen [6]. Damit können, je nach Lastpunkt, Temperaturannäherungen von Wasseraustritt zu Verdampfung von 1 K erreicht werden. Die Evaluierung des Expansionsventils darf nicht nach Kälteleistung «gemäss Kältetechnik-Katalogen» erfolgen. Als Auswahlkriterium dient stattdessen der Druckverlust über das Expansionsventil: Der bei voller Ventilöffnung resultierende

Druckverlust darf nicht grösser sein als die Differenz zwischen Kondensations- und Verdampfungsdruck. Für die Auslegung ist der Betriebspunkt mit der höchsten Verdampfungs-temperatur und dem kleinsten Temperaturhub relevant (grösster Massenstrom des Kältemittels und kleinstes Druckverhältnis). Dieses Auswahlkriterium führt zu deutlich grösseren Expansionsventilen als für die vorhandene Kälteleistung üblich.

Die Auswahl des Kompressors ist entscheidend für die Realisierung von effizienten Niederhub-WP. Moderne, leistungsgeregelte Scroll-Kompressoren sind sehr gut geeignet. In Abb. 4 ist die Betriebscharakteristik des eingesetzten Kompressors dargestellt (Copeland Scroll ZPV-0662E-4E9). Die Drehzahl und damit die Heizleistung kann über einen weiten Bereich geregelt werden (von ca. 1'000 bis 7'200 min^{-1} bzw. von ca. 8 bis 65 kW für die angegebenen Betriebsbedingungen). Der Kompressor wird so ausgewählt, dass er bei den am häufigsten vorkommenden Betriebsbedingungen mit möglichst hoher Effizienz läuft (im betrachteten Gebäude ca. 12-25 kW, maximale Heizleistung ca. 35 kW). Der Kompressor ist also etwas grosszügig dimensioniert. Das fällt aber preislich kaum ins Gewicht und hat den Vorteil, dass der effizienteste, untere bis mittlere Drehzahlbereich kaum verlassen werden muss.

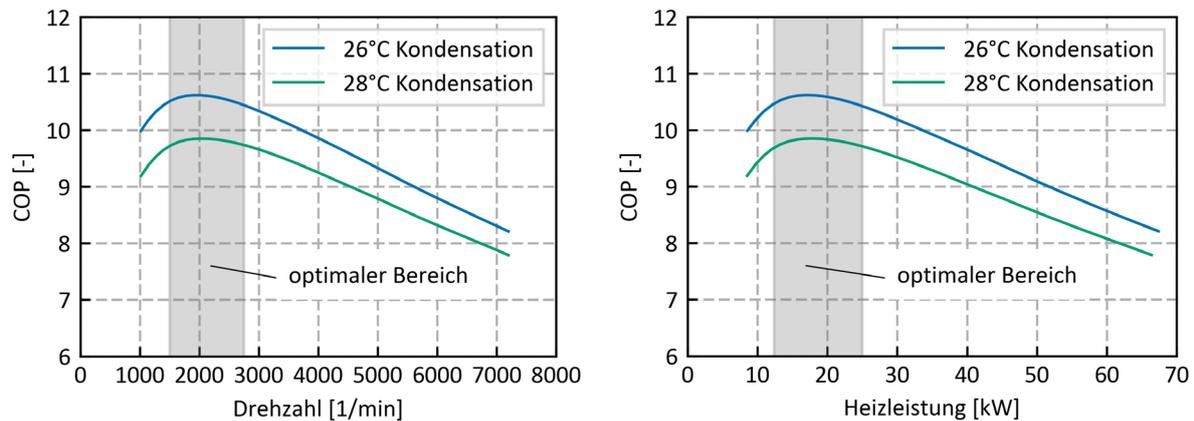


Abbildung 4: COP in Abhängigkeit der Drehzahl und Heizleistung für den drehzahlgeregelten Scroll-Kompressor von Copeland, Typ ZPV-0662E-4E9, Kältemittel R410A, für eine Verdampfungs-temperatur von 9°C und typische Kondensationstemperaturen für Niederhub-WP (berechnet mit Auslegungssoftware Copeland Select, Version 8.24.5).

Die Wahl des Kältemittels spielt eine zentrale Rolle bei der Realisierung von effizienten Niederhub-WP. Neben den thermodynamischen Eigenschaften soll das Kältemittel ein geringes Ozon-Abbaupotenzial (ODP) und Treibhauspotenzial (GWP) aufweisen. Die für Niederhub-WP infrage kommenden Kompressoren können (noch) nicht mit natürlichen Kältemitteln betrieben werden. Aus diesem Grund wird für die realisierte Niederhub-WP, wie für viele andere Heizungs-WP auch, das Kältemittel R410A verwendet.

Büro- und Gewerbehaus mit Niederhub-Wärmepumpe

Die Niederhub-WP kommt in einem Büro-/Gewerbegebäude in St. Gallen zum Einsatz (Baujahr 1981, an Hanglage, Beton- und Stahlkonstruktion, ebenerdige Einstellhalle, darüber vier beheizte Vollgeschosse, Energiebezugsfläche gerundet 5'700 m^2 , energetische Sanierung der Gebäudehülle 2013). Auf dem Gebäudedach ist eine PV-Anlage installiert (96 kWp). Im Jahr

2023 wurden im Gebäude alle Radiatoren durch Umluftklimageräte (Klimakonvektoren) und der Heizkessel durch die Niederhub-WP ersetzt. Die Klimakonvektoren sind entlang der Fassade eingebaut. Dabei kommen unterschiedliche Bauweisen zum Einsatz, in Abb. 5 ist beispielhaft ein Klimakonvektor in Form eines «Heizkörperersatzes» zu sehen. Die Geräte konditionieren die Räume über die Luft. Auf diese Weise wird die natürliche Raumdynamik nicht gestört und die Gebäudemasse kann optimal als Kurzzeitspeicher genutzt werden.

Mit den Klimakonvektoren wird geheizt und gekühlt, für die Kühlung ergeben sich also keine Mehrinvestitionen für das Kälteabgabesystem. Die Geräte arbeiten mit Heizwasser-Temperaturen von 25°C bis maximal 28°C, die Kühlung erfolgt mit Kühlwasser-Temperaturen von 20°C. Dank den raumnahen Wassertemperaturen ist das System zu einem hohen Grad selbstregulierend. Die tiefen Heizwasser-Temperaturen ermöglichen den Einsatz der Niederhub-WP (siehe Abb. 5). Die Gebäudekühlung wird ohne Kälteanlage vollumfänglich durch Regeneration des Erdreichs bewerkstelligt.



Abbildung 5: Rechts: Klimakonvektor (Heizkörperersatz). Rechts: Niederhub-WP mit drehzahlgeregeltem Scroll-Kompressor, realisiert durch die BMS Energietechnik AG, Wilderswil.

Für die Erschliessung der Klimakonvektoren werden die bestehenden Leitungen verwendet. Das Heiz-/Kühlwasser-System ist ein «Change-Over-System», der Volumenstrom durch die Klimakonvektoren ist konstant, es sind keine Ventile und kein hydraulischer Abgleich notwendig. Jeder Klimakonvektor verfügt über einen Thermostat, jede Nutzungszone über einen MSR-Fühler. Der Energiebedarf zum Heizen ist deutlich geringer als bei bekannten Systemen wie Fussbodenheizung oder Radiatoren. Für Gewerbe-/Bürogebäude liegt die installierte Leistung bei rund 10 W/m². Durch die schnelle Regelbarkeit passen sich die Geräte sehr gut der Nutzung an und reduzieren dadurch den Heizenergiebedarf und erhöhen den Komfort.

Ein wichtiges Ziel ist die möglichst einfache Einbindung der Niederhub-WP in das System (siehe Abb. 6). Die Erdwärmesonden (EWS) werden mit Wasser betrieben, welches im Sommer direkt für die Gebäudekühlung verwendet wird. Der Einbau eines technischen Speichers ist nicht notwendig – ein Speicher würde sich stark negativ auf die Effizienz der WP auswirken. Die Leistungsregelung der WP erfolgt nach der benötigten Vorlauf-Temperatur.

Der Scroll-Kompressor wird mit einem 0-10 V-Signal angesteuert (Analog Board). Dieses wurde so konfiguriert, dass der gesamte Drehzahlbereich zur Verfügung steht («full speed range mode»). Die Einsatzgrenzen im gewünschten Betriebskennfeld (maximal zulässige Verdampfungs- und Kondensationstemperatur) müssen bei dieser Konfiguration durch die eigene

Regelung überwacht werden, die Überwachung durch den Drive von Copeland ist nicht möglich. Der bei längerem Betrieb bei kleinen Drehzahlen notwendige «Oil Boost» muss ebenfalls selbst in die Regelung implementiert werden.

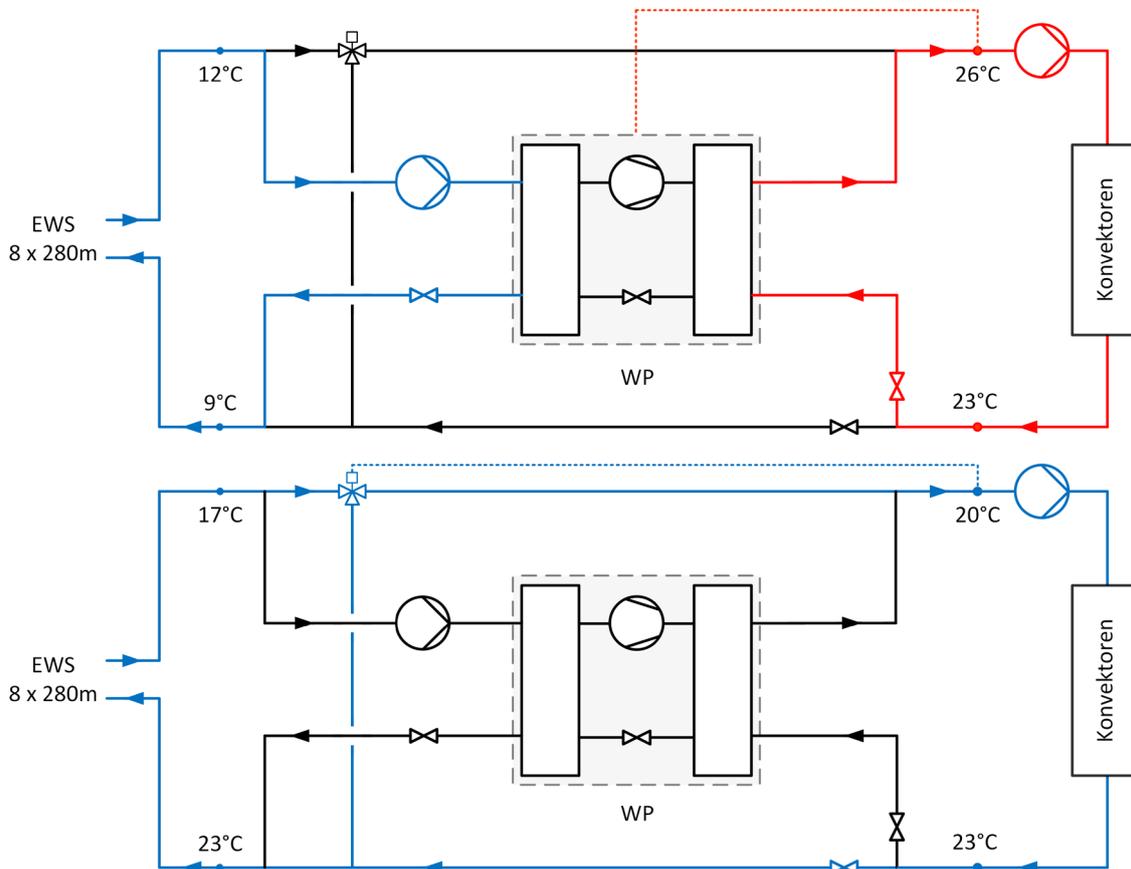


Abbildung 6: Vereinfachtes Prinzipschema der Anlage mit Angaben von typischen Temperaturen für den Heizbetrieb (oben) und Kühlbetrieb (unten). Die Regelung der WP erfolgt nach VL-Temperatur. Die Kühlung erfolgt vollumfänglich durch Geo Cooling, die konstante Kühlwassertemperatur von 20°C wird mit einer Beimisch-Schaltung geregelt.

Die Gebäudekühlung erfolgt vollständig durch «Geo Cooling» (siehe Abb. 6 unten). Mit dem eingezeichneten Dreiwegventil wird die Kühlwassertemperatur auf einen konstanten Wert von 20°C geregelt. Mit der Abfuhr der Kühlenergie ins Erdreich wird dieses regeneriert. Nach der ersten Kühlsaison betrug die Wassertemperatur aus dem Erdreich rund 18°C. Bei der Gebäudekühlung ist nur eine Umwälzpumpe sowie die Ventilatoren in den Konvektoren in Betrieb. Der System-COP-Wert für die Gebäudekühlung liegt in der Größenordnung von 50.

Resultate und Diskussionen

In der Heizsaison 2023/24 wurde ein umfassendes Monitoring der Anlage durchgeführt. Nachfolgend werden einige Kernresultate dargestellt und diskutiert. In Abb. 7 sind verschiedene Messwerte sowie der COP der Wärmepumpe an einem Wintertag mit einer mittleren Aussentemperatur von 1.1°C dargestellt. Die WP war an diesem Tag durchgehend in Betrieb, die VL-

Temperatur betrug 27°C . Deutlich zu erkennen sind die «Oil Boosts», welche dafür sorgen, dass bei tiefen Drehzahlen das Öl aus dem Kältemittelkreislauf zurück in den Kompressor gelangt. Zwischen ca. 4 Uhr nachts und 10 Uhr am Vormittag war die Heizleistung und damit die Drehzahl höher, so dass kein Oil Boost notwendig war. Der COP-Wert lag die meiste Zeit über 10, der Mittelwert über die 24 Stunden war $\text{COP} = 9.96 \approx 10.0$.

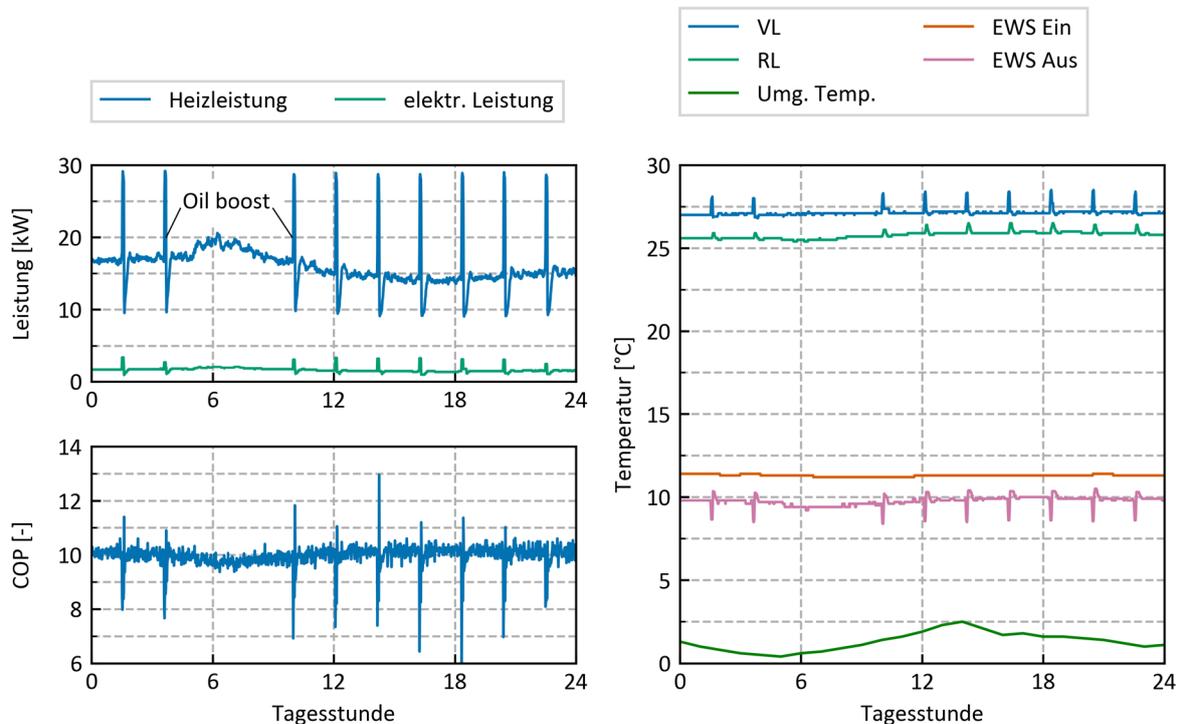


Abbildung 7: Heizleistung, elektrische Leistungsaufnahme der Wärmepumpe, COP sowie Verlauf verschiedener Temperaturen an einem Wintertag mit 1.1°C mittlerer Aussentemperatur. Abkürzungen: VL Vorlauf, RL Rücklauf, EWS Erdwärmesonden.

Die präsentierten Resultate beschränken sich bewusst auf die Betrachtung des COP-Wertes der WP. Selbstverständlich muss auch die EWS-Umwälzpumpe sorgfältig evaluiert und optimal betrieben werden. Es wird an dieser Stelle auf die Forschungsarbeiten der HSLU im Bereich «Leistungsgeregelte S/W-WP» hingewiesen [7]. Zur Erreichung einer hohen Effizienz bei EWS-WP ist eine simultane Leistungsregelung von Kompressor und Umwälzpumpe nicht zwingend erforderlich. Stattdessen ist bei bestmöglicher Wahl des EWS-Massenstroms die alleinige Leistungsregelung des Kompressors ausreichend. Der Massenstrom muss grundsätzlich so klein wie möglich gewählt werden, die Strömung in der EWS muss jedoch immer im turbulenten Bereich liegen. In der betrachteten Anlage wird ein konstanter Massenstrom eingestellt, die Leistungsaufnahme der Umwälzpumpe beträgt ca. 180 W.

Weiter wurden Auswertungen bei konstanten Betriebsbedingungen durchgeführt. In Abb. 8 sind COP-Werte in Funktion der Heizleistung und Drehzahl dargestellt. Die COP-Werte wurden dabei in zwei Temperaturfenster für den äusseren Hub eingeteilt. Bei Heizleistungen zwischen etwa 9 kW und 17 kW liegt der COP-Wert immer über 10. Die in der Heizsaison 2023/24 höchsten gemessenen COP-Werte lagen bei rund 11.5.

Die bestmögliche Regelung würde die erzeugte Heizleistung durch Drehzahlreduktion des Kompressors kontinuierlich der erforderlichen Heizleistung anpassen, sofern dazu die optimale Drehzahl des Kompressors nicht unterschritten werden muss. Müsste diese unterschritten werden, wird die WP mit der optimalen Kompressor-Drehzahl Ein/Aus-geregelt. Auf diese Art der Regelung wird bewusst verzichtet, um den kontinuierlich regelbaren Leistungsbereich zu erweitern und damit die WP «gleichmässiger» läuft (weniger Takten).

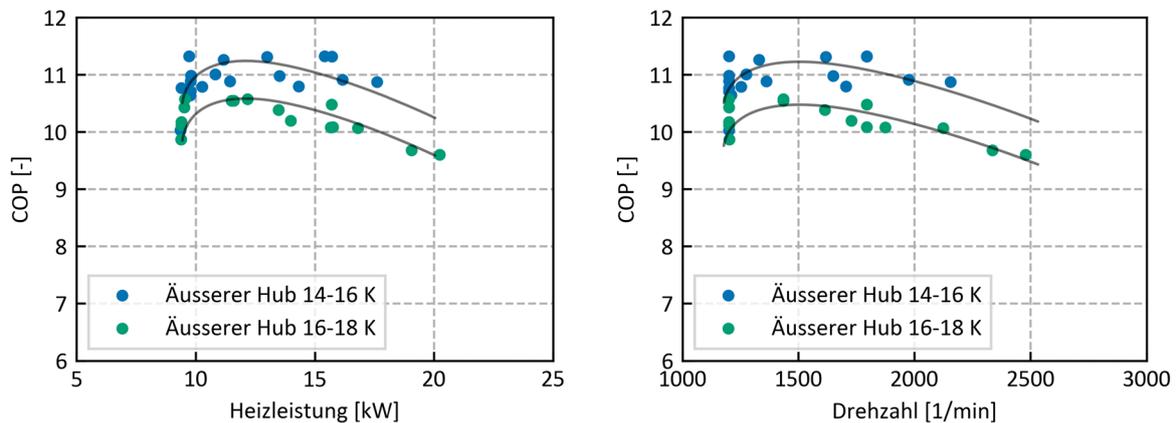


Abbildung 8: COP-Werte in Funktion der Heizleistung und Kompressordrehzahl für zwei Temperaturfenster des äusseren Temperaturhubs (Differenz Senke Austritt und Quelle Eintritt).

Unten sind die COP-Werte und Gütegrade der stationären Betriebszustände in Abhängigkeit des äusseren Temperaturhubs dargestellt. Die COP-Werte sinken naturgemäss mit steigendem Hub. Der äussere Gütegrad verschlechtert sich nur wenig mit sinkendem Hub.

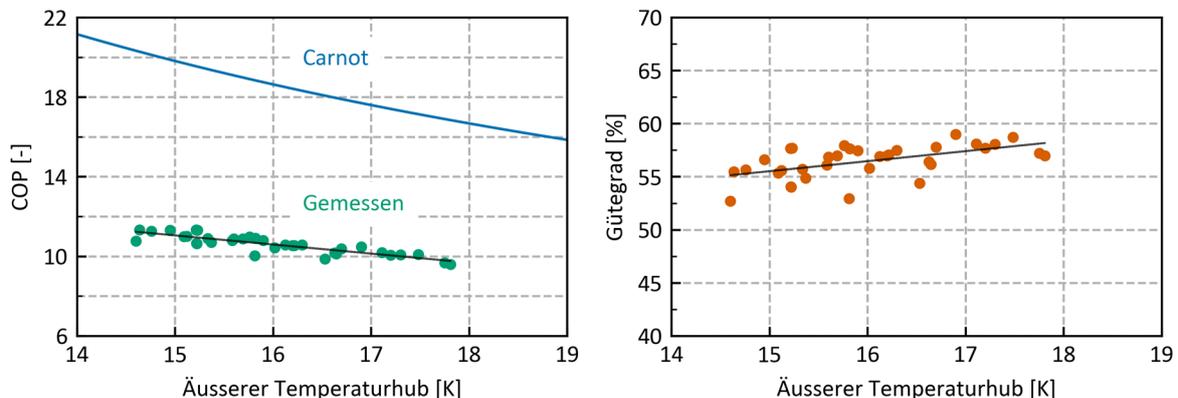


Abbildung 9: Carnot-COP bezogen auf äusseren Temperaturhub, gemessener COP und zugehöriger äusserer Gütegrad (äusserer exergetischer Wirkungsgrad) der Niederhub-WP für die betrachteten stationären Betriebspunkte.

Aufgrund teilweise unvollständiger Datensätze ist eine detaillierte Auswertung für die gesamte Heizsaison 2023/24 leider nicht möglich. Trotzdem lassen verschiedene Werte gut abschätzen. Mit der fundierten Annahme, dass die WP über die Heizsaison einen durchschnittlichen COP-Wert von 9 (konservativ) bis 10 erreicht, ergibt sich folgendes Bild:

- Wärmebedarf mit Ölkessel: 13.0 kWh_{th}/m² a
(Durchschnitt der letzten Jahre)
- Wärmebedarf nach Umstieg auf Klimakonvektoren: 10.2 kWh_{th}/m² a
(Heizsaison 2023/24)
- Stromverbrauch der Wärmepumpe: ca. 1.00-1.15 kWh_e/m² a
(Schätzung mit COP = 9-10)

Die Wärmepumpe benötigt etwas mehr als **1 kWh Strom pro m² und Jahr**. Das Gebäude weist dank der guten Wärmedämmung, der hohen Effizienz der WP, der optimierten Betriebsweise und dem PV-Strom eine ausgezeichnete energetische Charakteristik auf.

Die durchschnittlichen flächenspezifischen Leistungen für den in Abb. 7 dargestellten typischen Wintertag (durchschnittliche Aussentemperatur 1.1°C) betragen:

- Heizleistung: 2.8 W/m²
- Elektrische Leistung Wärmepumpe 0.28 W/m²
- Elektrische Leistung Umwälzpumpen, Ventilatoren 0.12 W/m²

Die spezifische elektrische Leistung beträgt 0.40 W/m². Bildlich gesprochen bedeutet das: Mit der Leistung einer alten 40 W-Glühbirne können 100 m² des Gebäudes geheizt werden.

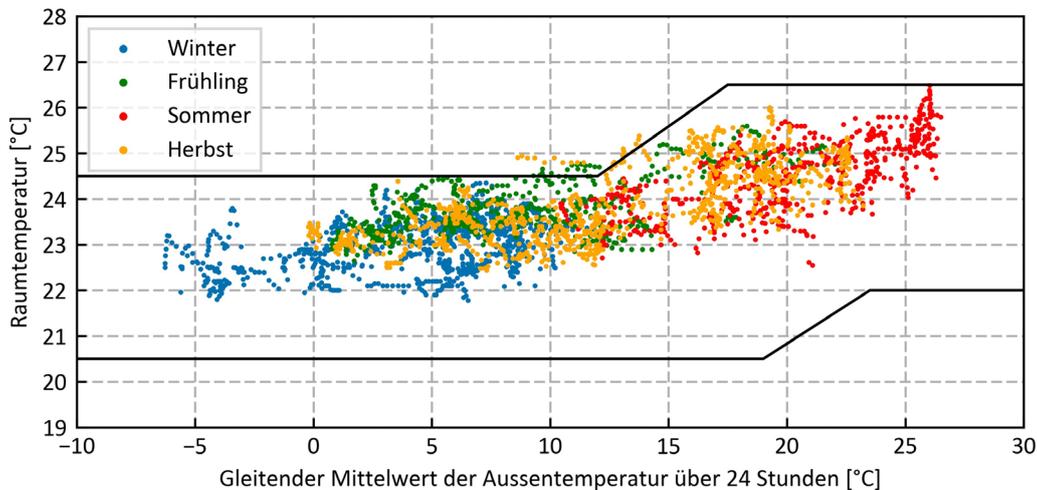


Abbildung 10: Behaglichkeitsdiagramm für ein Grossraumbüro. Messwerte Juli 2023 bis Ende April 2024, Tagesstunden von 08:00-18:00 Uhr.

Abschliessend wird die Behaglichkeit betrachtet. In Abb. 10 ist die Behaglichkeitsdiagramm für ein Grossraumbüro dargestellt (Tagesstunden Juli 2023 bis April 2024). Die Raumtemperaturen befinden sich in den Winter- und Sommermonaten immer im Behaglichkeitsfeld, nur im Frühling und Herbst gibt es einige wenige Stunden mit Temperaturen ausserhalb des Behaglichkeitsfelds. Allgemein bemerkenswert sind die sehr kleinen Temperatur-Amplituden, was für einen sehr guten Komfort spricht.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Dieser Beitrag zeigt auf, dass durch konsequente Ausnutzung eines kleinen Temperaturhubs viel Strom eingespart werden kann. Obwohl die Idee «kleine Hübe» auf den ersten Blick banal erscheinen mag, gibt es bei der Realisierung verschiedene Herausforderungen zu meistern. Eine zwingende Voraussetzung ist, dass die WP speziell für kleine Hübe gebaut ist, damit sie hohe Gütegrade erreicht. Der Einsatz einer hocheffizienten Niederhub-WP erschliesst nur einen Teil des Potenzials: Das Gesamtsystem bestehend aus Wärmequelle, Wärmepumpe, Verteil- und Abgabesystem sowie Regelung muss optimal ausgelegt werden.

Die Sanierung des Gebäudes in St. Gallen zeigt, dass mit einer ganzheitlichen Planung und Realisierung ein Gebäude mit sehr gutem Komfort und geringem CO₂-Fussabdruck erreicht wird. Das Low-Tech-System mit Niederhub-WP und Geo Cooling ist einfach im Aufbau, einfach zu verstehen und zu bedienen, praktisch wartungsfrei und bietet eine hohe Flexibilität. Mit der Realisierung von hocheffizienten Niederhub-WP in Kombination mit effizienten Gebäudetechniksystemen werden markante Energieeinsparungen erzielt. Gebäude dieser Art benötigen einen Bruchteil der Energie im Vergleich zu Standard-Gebäuden und leisten damit ihren Beitrag zur Erreichung der Energie- und Klimaziele im Gebäudesektor.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich herzlich bei Simon Lang, Emerson Copeland, Maintal DE, für die Unterstützung auf Seite Kompressortechnik sowie Lukas Gasser, Alera energies AG, Ballwil, für die Unterstützung bei der Realisierung der Niederhub-Wärmepumpe. Weiter danken die Autoren Michael Mettler (Mettiss AG, St. Gallen, Bauherrschaft) sowie Franz Capaul (inpla ag, Flawil, Gebäudetechnikplanung) und Bern Pschorn (APTech Friedel AG, Schönengrund, Gebäudeautomation) für die sehr gute Zusammenarbeit.

Quellen

- [1] B. Wellig, B. Kegel, M. Meier: Verdoppelung der Jahresarbeitszahl von Klimakälteanlagen durch die Ausnutzung eines kleinen Temperaturhubs. BFE, 2006.
- [2] Wyssen, L. Gasser, B. Wellig, M. Meier, B. Kegel: Effizientes Heizen und Kühlen mit Niedrighub-Anlagen. 16. Status-Seminar, Zürich, 2010.
- [3] Wyssen, L. Gasser, B. Wellig: Effiziente Niederhub-Wärmepumpen und -Klimakälteanlagen. 19. Tagung des Forschungsprogramms Wärmepumpen und Kälte des BFE, 2013.
- [4] L. Gasser, B. Wellig, M. Bättschmann, C. Meier: Hocheffiziente Turbo-Wärmepumpe für Niederhub-Anwendungen. 18. Status-Seminar, Zürich, 2014.
- [5] B. Kegel, Ch. Maeder: Herausforderungen bei der Minergie-P Sanierung eines bestehenden Bürogebäudes aus den 80er Jahren. 17. Status-Seminar, 2012.
- [6] R. Meister, E. Hänni: Hocheffiziente zweistufige Verdampfung. BFE, 2005.
- [7] L. Gasser, I. Wyssen, T. Käch, M. Kleingries, B. Wellig: Sole/Wasser-Wärmepumpen mit kontinuierlicher Leistungsregelung. BFE, 2016.