



# Aktive und passive Kühlung mit der Wärmepumpentechnik

## Möglichkeiten und Grenzen zusätzlicher Kühlfunktionen von Sole/Wasser-Wärmepumpen

Burkhard Max\*

Die Wärmepumpentechnik wird zunehmend zur Beheizung und Warmwasserbereitung eingesetzt. Darüber hinaus besteht aber auch die Möglichkeit, mit dieser Technologie im Sommer Wärme aus den Räumen abzuführen und zu kühlen. Dabei kann in Verbindung mit erdgekoppelten Wärmepumpen die Wärme passiv oder aktiv entzogen werden. Insbesondere bei passiver Kühlung liegen die Bereitstellungskosten für eine Kühlung unter der einer Klimatisierung. Technisch gibt es jedoch Einsatzgrenzen. Der nachfolgende Beitrag beleuchtet unterschiedliche Konzepte und gibt Planungshinweise.

**D**ie Wärmepumpentechnologie bietet bei richtiger Einbindung in das Gesamtsystem heute eine Alternati-

ve zu konventionellen Heizsystemen. Das Gebäude kann monoenergetisch ganzjährig beheizt werden, je nach Wärmepumpe und Wärmequelle ist eine Zusatzheizung nicht erforderlich. Kompaktgeräte bieten zusätzliche Nutzungs-

möglichkeiten wie die kontrollierte Lüftung oder eine Wärmerückgewinnung und erfüllen damit die Erfordernisse an die Niedrig-Energiebauweise.

Eine weitere Option der Wärmepumpe rückt durch

■ Wärmepumpen-Kompaktgeräte bieten neben der monoenergetischen Beheizung auch die Option mit der Wärmepumpe „aktiv“ oder über eine Erdsonde „passiv“ zu kühlen.

den zunehmenden sommerlichen Kühlbedarf in den Blickpunkt: Die Raumtemperierung und Abfuhr von Kühl-lasten.

Bei der Kühlung von Gebäuden mit Wärmepumpen wird grundsätzlich zwischen aktiven und passiven Lösungen unterschieden. Ausschlaggebend dafür ist der Betrieb mit oder ohne Verdichter. Bei der aktiven Kühlung senkt der, durch den Verdichter angetriebene, Kältekreis die vorhandene Temperatur des Kühl-Mediums ab. Gegenüber der passiven Kühlung lassen sich dabei höhere Kälteleistungen erzielen. Während bei einer Klimatisierung sowohl Raumtemperatur und Luftfeuchte geregelt werden können, wird bei der aktiven Kühlung nur das Temperatur-niveau beeinflusst, sodass in Verbindung mit Flächenkühl-systemen keine Entfeuchtung der Raumluft stattfindet.

\*) Burkhard Max, Produktmanager Wärmepumpen, Tecalor GmbH, Holzminden.



■ Zwei Tecalor-Wärmepumpen vom Typ „TTW 44 SET“ ermöglichen die Beheizung und Kühlung eines Gewerbebetriebes. Da im Sommer das Grundwasser nicht über 12 °C ansteigt, kann es zusätzlich über einen Wärmetauscher für eine passive Kühlung genutzt werden. Sie wird ebenso wie die Wärme über Strahlungsplatten abgegeben.

## Passive Kühlung

Bei der passiven Kühlung wird dem Wasser aus dem Verteilsystem – also einer Flächenheizung oder Kühldecke – über einen Plattenwärmetauscher Wärme entzogen. Hierbei wird die Innenraumluft um 2 bis 3 °C abgesenkt. Da der Verdichter in diesem Falle nicht in Betrieb ist, spricht man von „passiver“ Kühlung.

Das ist nur dann möglich, wenn die Temperatur der im Kühlfall als Wärmesenke genutzten Wärmequellen-Anlagen (Erdsonde oder Erdkollektoren) unter der erforderlichen Kühlmediumtemperatur liegt. Bei der Nutzung von Fußbodenheizflächen liegt die minimale Vorlauftemperatur etwa bei 18 °C. Die Vorlauftemperatur bei Flächenkühlung mithilfe von Kühldecken oder Flächenheizsystemen ist auf 15 bis 20 °C und die Kühlleistung auf Werte von 25 bis 50 W/m<sup>2</sup> begrenzt.

Für die passive Kühlung ist ein zusätzlicher Wärmetauscher im Solekreis erforderlich. In einigen der aktuell angebotenen Kompaktgeräte ist dieser bereits enthalten. Ein Raumregler zur Erfassung von Raumlufttemperatur und -feuchte verhindert die Tau-

punktunterschreitung und somit die Kondenswasserbildung. Als Verteilsystem für das Kühlmedium wird aus Kostengründen in der Regel auf die Flächenheizung oder aber auf eine Kühldecke zurückgegriffen.

Dabei müssen sämtliche Rohre und Formstücke korrosionsbeständig ausgeführt sein. Alle Zuleitungen sind dampfdiffusionsdicht zu isolieren, um eine Kondenswasserbildung auszuschließen.

## Aktive Kühlung

Soll nun aktiv gekühlt werden, so wird der Kältekreis hydraulisch so verändert, dass Verdampfer (Wärmequelle) und Kondensator (Wärmesenke) miteinander vertauscht werden. Dieses erfolgt entweder kältemittelseitig über Umschaltventile, sodass der Kältemittelkreis umgekehrt (reversiert) wird oder durch eine externe hydraulische Umschaltung von Verdampfer und Kondensator (Kompaktstationen). Hierfür eignen sich allerdings nur Sole/Wasser-Wärmepumpen.

Damit in größeren Anlagen bei der aktiven Kühlung nicht das komplette System mit einem Wasser-Glykol-Gemisch gefüllt werden muss,

können zusätzliche Plattenwärmetauscher als Systemtrennung eingesetzt werden.

Die Einsatzgebiete der passiven Kühlung finden sich überwiegend im Wohnungsbau. Hier kann auf das konventionelle Heizsystem der Fußbodenheizung als Kühlfläche zurückgegriffen werden. Die Kälteleistung ist dabei aufgrund der Auslegung für den Heizfall nicht definiert. In Büro- und Gewerbebauten sowie in Industrieanlagen, die definierte und meist höhere spezifische Kühlleistungen benötigen, wird üblicherweise eine aktive Kühlung benötigt.

Hierzu können auch Gebläsekonvektoren eingesetzt werden, deren minimale Vorlauftemperatur bei etwa 7 bis 13 °C liegt und eine Entfeuchtung der Raumluft zulassen.

## Vorteile einer aktiven Kühlung:

Höhere Kühlleistung, Entfeuchtung der Raumluft über Gebläsekonvektoren möglich, wirksamere Regeneration der Erdsonde aufgrund des höheren Temperaturniveaus.

## Nachteile aktiver Kühlung:

Höherer Installations- und Kostenaufwand, höherer Energieaufwand, System komplett mit Sole gefüllt.

## Vorteile passiver Kühlung:

Bei vorhandener Wärmequellenanlage (Erdsonde oder Erdkollektor) kostengünstige Kühlfunktion, geringer Ener-

gieverbrauch, Regeneration der Erdsonde möglich.

## Nachteile passive Kühlung:

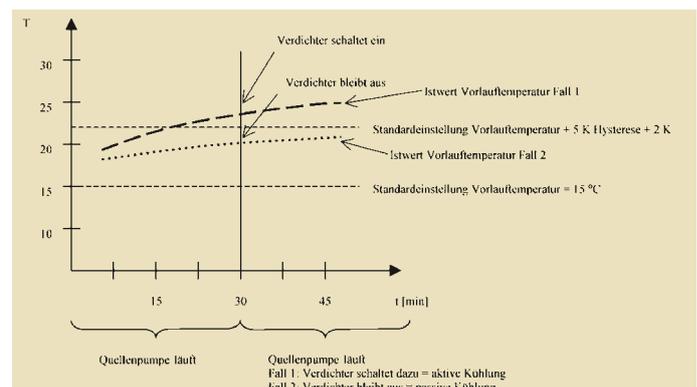
Keine definierte Kälteleistung, da sowohl Wärmequelle als auch Kühlflächen (Fußbodenheizsystem) auf den Heizfall ausgelegt werden. Keine Entfeuchtung der Raumluft, relative Raumluftfeuchte als Freigabe zur Kühlung (Taupunkt), dadurch geringes Kühlpotenzial an schwülwarmen Tagen.

## Reversible Funktionsweise bei aktiver Kühlung

Soll mit einer Luft/Wasser-Wärmepumpe gekühlt werden, ist dies nur durch die Umkehrung des Kältekreislaufs möglich. Ausschlaggebend ist die Strömungsrichtung des Kältemittels. Die Stellung eines 4-2-Wegeventils entscheidet über die Reihenfolge der zu durchströmenden Komponenten. Nun wird der Verdampfer zum Kondensator und der Kondensator zum Verdampfer. Die dem Gebäude entzogene Wärme wird an die Umgebungsluft abgegeben. Infolgedessen kann mit Luft/Wasser-Wärmepumpen nur aktiv gekühlt werden.

## Planungsgrundlagen

Sind Anforderung an die Raumtemperatur Grundlage der Auslegung, so ist die Kühllast nach VDI 2078 zu ermit-



■ Stufenbetrieb einer Wärmepumpe mit passiver und aktiver Kühlung.

■ **Tabelle 1: Vor- und Nachteile von Hydraulik-Umschaltung und reversiblen Wärmepumpen.**

	Kühlung mittels Hydraulik-Umschaltung	Kühlung mit einer reversiblen Wärmepumpe
<b>Vorteile:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Auch passive Kühlung möglich.</li> <li>● Gleichzeitiges Kühlen und Warmwasserbereitung möglich.</li> <li>● Minimal bessere Effizienz im Kältekreis.</li> <li>● Standardgerät kann genutzt werden, nachträglicher Einbau möglich (Dämmung bestehender Rohre beachten!)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Geringere Druckverluste im Heizkreis.</li> <li>● Geringere Investition.</li> <li>● Entfeuchtung bei Einsatz von Gebläsekonvektoren möglich.</li> </ul>
<b>Nachteile:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Vier Umschaltventile erforderlich.</li> <li>● Höhere Druckverluste im Heizkreis.</li> <li>● Deutlich höherer Installationsaufwand und Platzbedarf.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Nur aktive Kühlung möglich.</li> <li>● Kühlung und Warmwasserbereitung nicht parallel möglich.</li> </ul>

Wärmeübertragungsfläche betragen. Hier ist die Kühltauglichkeit des geplanten Gerätes sicherzustellen, da Sole mit geringerer spez. Wärmekapazität zirkuliert.

**Taupunkttemperatur**

Wird passiv oder aktiv gekühlt, lässt sich in Abhängigkeit von Lufttemperatur und -feuchtigkeit der Taupunkt bestimmen. Bei einer Temperatur von 22°C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 80% ergibt sich beispielsweise eine Taupunkttemperatur von 18,4°C. Wird bis unterhalb dieser Sättigungstemperatur gekühlt, fällt Kondensat

keln. Für eine überschlägige Auslegung können die nachfolgenden Erfahrungswerte herangezogen werden:

- Privatwohnungen: 30 W/m<sup>2</sup>
- Büros: 40 W/m<sup>2</sup>
- Verkaufsräume: 50 W/m<sup>2</sup>
- Glasanbauten: 200 W/m<sup>2</sup>

Aufgrund der erforderlichen Genehmigung ist es empfehlenswert, Sondenbohrungen über 100m Tiefe zu vermeiden. Für die richtige Auslegung der Erdsonden sollte sowohl der Heiz- als auch der Kühlbedarf für das Gebäude berechnet werden.

**Wärmequellen-Anlage**

**Erdkollektor/Erdsonde**

Bei der Wahl der Wärmequelle ist zu beachten, dass der Erdkollektor nur bedingt zur Kühlung geeignet ist. Da die Erdsonden auf den Heizfall ausgelegt werden, ist deren Kühlleistung geringer. Näherungsweise kann für die Kühlleistung von ca. 70%

der Heizleistung einer Wärmepumpe ausgegangen werden. Zur aktiven Kühlung eignet sich insbesondere die Erdsonde, da die Leistungszahl höher als bei Systemen mit Luft als Wärmesenke ist. Als Kühlleistung kann die Kälteleistung der Wärmepumpe in Ansatz gebracht werden. In beiden Fällen wird die Wärmequelle „Erdreich“ regeneriert.

**Grundwasser**

Mit Grundwasser kann sowohl aktiv als auch passiv gekühlt werden. Das ins Erdreich zurückgeleitete Grundwasser darf allerdings nicht wärmer als 20°C sein. Eine Wasseranalyse empfiehlt sich, um die Materialbeständigkeit des Wärmeübertragers im Betrieb mit Grundwasser gewährleisten zu können.

**Außenluft**

Die Außenluft kann als Wärmesenke durch eine reversible Luft/Wasser-Wärmepumpe genutzt werden. Die Raumluft wird mithilfe von

Gebläsekonvektoren heruntergekühlt und gegebenenfalls entfeuchtet.

**Verteilssysteme**

Sowohl Flächenheizungssysteme als auch Kühldecken

■ **Tabelle 2: Temperatur-Einsatzgrenzen reversibler Luft/Wasser-Wärmepumpe.**

	Außenlufttemperatur		Vorlauftemperatur	
	Min.	Max.	Min.	Max.
<b>Heizen:</b>	- 20 °C	35 °C	18 °C	60 °C
<b>Kühlen:</b>	15 °C	40 °C	7 °C	20 °C

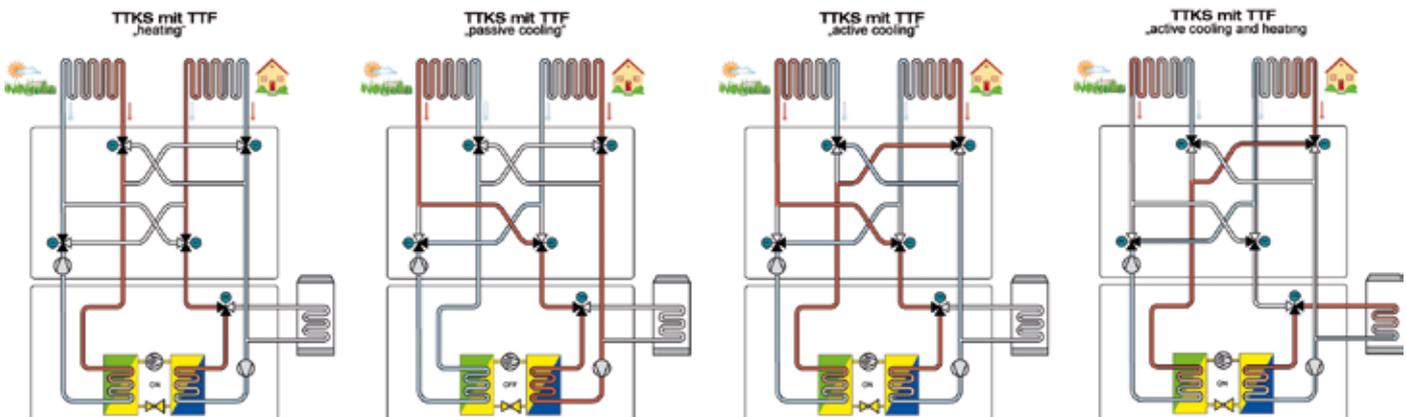
eignen sich für die passive Kühlung. Die Regelung der Kühlfunktion erfolgt durch Temperatur- und Feuchteüberwachung. Die Vorlauftemperatur von 15 bis 18°C bei Kühldecken und Flächenheizungen begrenzen jedoch die mögliche Kühlleistung.

Bei der aktiven Kühlung sollten Gebläsekonvektoren oder Decken-Kassettengeräte installiert werden. Nach DIN 1946 muss die Kühlleistung zwischen 30 und 60 W/m<sup>2</sup>

an den Wärmeübertragungsflächen aus.

**Kühlung mit Sole/Wasser-Wärmepumpen**

Erdwärmesonden werden nach der Heizleistung der Wärmepumpe ausgelegt. Die Tabelle 3 zeigt für verschiedene Tecalor Wärmepumpentypen die möglichen Heiz- und Kühlleistungen bei entsprechender Sondenauslegung.



■ **Betriebsarten einer Sole/Wasser-Wärmepumpe mit passiver und aktiver Kühlung im Fließschema.**

**Tabelle 3: Auslegungstabelle Erdwärmesonde.**

Typ Wärmepumpe	Heizleistung (0/35) [kW]	Kälteleistung [kW]	Erdsonde* 32 x 2,9 mm		Kühlleistung [kW]
			Anzahl	Tiefe [m]	
TTF 5 cool	5,8	4,5	1 Stück	80	3,2
TTF 7 cool	7,8	6,0	1 Stück	110	4,2
TTF 10 cool	9,9	7,7	2 Stück	70	5,4
TTF 13 cool	13,4	10,3	2 Stück	90	7,2
TTF 5	5,8	4,5	1 Stück	80	3,2
TTF 7	7,8	6,0	1 Stück	110	4,2
TTF 10	9,9	7,7	2 Stück	70	5,4
TTF 13	13,4	10,3	2 Stück	90	7,2
TTF 16	16,1	12,5	3 Stück	75	9,6

\*) Randbedingung: ca. 55 W/m Entzugsleistung.

Sind höhere Kühlleistungen erforderlich, so muss die Zahl der Sonden erhöht werden. Für die aktive Kühlung wird ein sogenanntes „Kühlmodul TTKS“, mit oder ohne integrierter Sole-Umwälzpumpe benötigt. Die Module bestehen aus vier 3-2-Wege-Ventilen, die bedarfsabhängig zwischen Heizen, passiver oder aktiver Kühlung umschalten. Der Wechsel von passiver auf die aktive Kühlung erfolgt in zwei Stufen. Dabei wird zuerst die Quellenpumpe eingeschaltet. Reicht die zur Verfügung gestellte Kühlleistung nicht aus, wird in der 2. Stufe der Verdichter des Kältekreislaufs zugeschaltet. Dies geschieht, wenn nach 30-minütiger Kühlung auf Stufe 1 die Vorlauftemperatur höher ist als die gewünschte Solltemperatur.

medium die aufgenommene Wärme wieder zu entziehen. Der Verdichter ist dabei in Betrieb. Möglich sind zwei Stufen der Kühlung: Befindet sich das Gerät im Kühlmodus Stufe 1 (Quellenpumpe an, Verdichter aus), wird der Ausgang kühlen bei Warmwasseranforderung weggeschaltet und die Warmwasserbereitung aktiviert. Sind Quellenpumpe und Verdichter parallel in Betrieb, so kann parallel gekühlt und Warmwasser bereitet werden. Dabei dient der Kühlkreis (Fußbodenheizung) direkt als Wärmequelle für die Warmwasserbereitung. Zusätzlich kann aus der Erdsonde Wärme bezogen werden, wenn die Raumkühlung die gewünschte Vorlauf- und Raumsolltemperatur erreicht hat.

### Kostenbetrachtung verschiedener Kühlverfahren

Der nachfolgend dargestellte Kostenvergleich verschiedener Kühlsysteme am Beispiel eines Wohnhauses, eines Bürogebäudes und eines Einkaufsmarktes [1] stellt die Investitions- und Betriebskosten einer passiven und aktiven Wärmepumpenkühlung, denen von Direktverdampfer-Splitgeräten und VRF-Systemen gegenüber.

#### Grundlagen der Berechnung:

- Marktübliche Kosten für Geräte und Installation.
- Bei Kühlung mit Sole/Wasser-Wärmepumpe ist eine Heizungs-Wärmepumpe mit entsprechender Erdsonde bereits vorhanden.

- Strompreis für aktive Kühlung: 11 ct/kWh.
- Strompreis für passive Kühlung bzw. für Raumklimageräte und VRF-Systeme: 15 ct/kWh.
- Annuität: 12,95 % bei 10 Jahren Nutzungsdauer sowie einem Kalkulationszinssatz von 5%.

Ausgehend von den Energie- und Jahreskühlkosten sowie den unterschiedlichen Kühllasten empfiehlt sich die passive Kühlung in Einfamilienhäusern. In kleinen Gewerbebetrieben ist die aktive Kühlung mit der Wärmepumpe zu favorisieren. In Bürogebäuden sind grundsätzlich beide möglich. Eine Kühlung von Lebensmitteln ist mit dieser Technologie aufgrund von Sperrzeiten, Temperatur-Einsatzgrenzen und der Regelung nicht möglich.

Bilder: Tecalor GmbH, Holzminden

#### Literatur:

[1] Brugmann, Krone; Technische, energetische und wirtschaftliche Bewertung passiver und aktiver Kühlsysteme mit Sole/Wasser-Wärmepumpen, Veröffentlichung 4. Forum Wärmepumpen 2006, Berlin

@ Internetinformationen: [www.tecalor.de](http://www.tecalor.de)

### Betriebsarten einer Sole/Wasser-Wärmepumpe

Die Regelung erfolgt über den sogenannten „Wärmepumpenmanager“. Aktiv gekühlt wird mithilfe von Gebläsekonvektoren oder Deckenkassetten.

In der Betriebsart „aktive Kühlung“ werden die Ventile so geschaltet, dass der aus dem Gebläsekonvektor kommende Kühlwasser-Volumenstrom durch den Verdampfer geführt wird, um dem Kühl-

**Tabelle 4: Kostenvergleich verschiedener Kühlverfahren gegenüber aktiver und passiver Kühlung mit der Wärmepumpe.**

	Wärmepumpe		Raumklimageräte	VRF-regelbare Klimasysteme
	Passive Kühlung	Aktive Kühlung		
<b>Arbeitszahlen im Kühlbetrieb</b>	15,0	5,0	3,0	3,8
<b>Beispiel Wohnhaus 150 m<sup>2</sup> (Kühllast 6 kW, 4 Räume, 150 Vollbenutzungsstunden Kühlen)</b>				
(Mehr-)Investitionen Kühlen	2000 €	7000 €	9000 €	Nicht möglich
Energiekosten	9,0 €/a	19,8 €/a	45,0 €/a	
Gesamtkosten Kühlen	268,0 €/a	926,3 €/a	1210,5 €/a	
<b>Beispiel Bürogebäude 300 m<sup>2</sup> (Kühllast 25 kW, 15 Räume, 400 Vollbenutzungsstunden Kühlen)</b>				
(Mehr-)Investitionen Kühlen	4000 €	25 000 €	30 000 €	45 000 €
Energiekosten	100,0 €/a	220,0 €/a	500,0 €/a	395,0 €/a
Gesamtkosten Kühlen	618,0 €/a	3457,5 €/a	4385,0 €/a	6222,5 €/a
<b>Beispiel Einkaufsmarkt 500 m<sup>2</sup> (Kühllast 45 kW, 700 Vollbenutzungsstunden Kühlen)</b>				
(Mehr-)Investitionen Kühlen	Nicht möglich	27 000 €	Nicht möglich	40 000 €
Energiekosten		693,0 €/a		1243,0 €/a
Gesamtkosten Kühlen		4189,5 €/a		6423,0 €/a