

# Flächenheizung und -kühlung

Teil 2 - Systeme, Wärme- und Kältebereitstellung

Um die Energiewende auch auf dem Wärmemarkt voranzubringen, stellt sich nicht nur die Frage nach energieeffizienten Wärmeerzeugern, sondern gleichfalls die Frage nach geeigneten Systemen für eine nachhaltige Wärmeübergabe, die nicht nur Wärme effizient einsetzen, sondern auch den mannigfachen Anforderungen in Neubau und Modernisierung entsprechen.

Bild 5  
Fußbodenheizung/-kühlung  
in einem System



Im ersten Teil dieses Beitrages<sup>1)</sup> wurde neben Ausführungen zur Entwicklung der Wärmeübergabe an den Raum und zur thermischen Behaglichkeit die Wechselwirkung zwischen Mensch und Raum dargestellt. Der folgende zweite Teil stellt die Systeme der Flächenheizung/-kühlung vor und betrachtet abschließend die Wärme- und Kältebereitstellung.

## Systeme der Flächenheizung/-kühlung

Der Markt bietet eine Vielzahl von Systemen der Flächenheizung/-kühlung in Trocken- und Nassbauweise, sowohl für den Gebäudebestand als auch für den Neubau. Besonders im Bestand kann durch eine Flächenheizung/-kühlung die angestrebte Effizienzsteigerung einer energetischen Sanierung wirksam umgesetzt werden.

Diese Systeme beinhalten sämtliche Komponenten und bieten neben der

Funktionssicherheit durch die Feinabstimmung und Anpassung auch eine umfassende Gewährleistung, sowie Planungsunterstützung für das Fachhandwerk ebenso wie für den Fachplaner. Darüber hinaus umfasst der Systemgedanke auch Befestigungsmaterial, Wärmedämmelemente und hydraulische Armaturen wie beispielsweise elektronische Regelkomponenten, als komplette Produkteinheit.

Es handelt sich jeweils um flächenbezogene und wassergeführte Wärmeübergabesysteme, welche sich unmittelbar unter der Oberfläche von Boden, Wand und Decke befinden. Durch diese bauliche Integration vermag die Flächenheizung/-kühlung sich nicht nur als integraler Bestandteil der raumbildenden Flächen auszuzeichnen, sondern überzeugt auch durch ihre thermische Qualität. Die Flächenheizung/-kühlung kann die den Menschen umgebenden Bauteile im Raum thermisch aktivieren und diese können somit ihr jeweiliges Wärmespeicherpotenzial im Sinne einer nachhaltigen Energieeffizienz ausschöpfen. Da ihre Wirkweise immer reversibel (Heizen und Kühlen) möglich ist, kann in diesem Zusammenhang von einer flächenbezogenen Temperierung des umbauten Raumes gesprochen werden.

Die Reaktionszeit bei der Raumtemperaturregelung ist von verschiedenen Faktoren abhängig, wie u. a. von der überbauten Materialschicht (Estrich, Bodenbelag, Putze und Anstriche, etc.) als Materialaufbauten, Verkleidungen

und Überbauungen durch Möbel (Hinweis: Dies sollte nach Möglichkeit vermieden werden), Raumgestaltungselemente, usw. Durch die Position der Wärmeübergabeelemente und den jeweiligen Aufbau, sowie eine fachgerecht Planung und Ausführung können unterschiedliche Reaktionszeiten bei der Raumtemperaturregelung erreicht werden. Allein hinsichtlich der Wärmeleitfähigkeit ( $\lambda$ ) von Materialien ergibt sich z. B. bei einer Fußbodenheizung/-kühlung mit keramischen Belägen naturgemäß eine geringere Reaktionszeit bei der Raumtemperaturregelung, als bei einem Laminat-, Holz- oder Korkbelag. Dies gilt es bereits bei der Planung zu berücksichtigen!

Für die Planung und Ausführung sind folgende, regelungstechnische Parameter der Detailplanung relevant:

- Wärmeleitfähigkeiten der Materialien
- Materialaufbauten und -schichten
- Massestrom
- Systemtemperaturen

Neben den Planungs- und Ausführungsregeln sind immer die Herstellerangaben insbesondere hinsichtlich der Materialkombinationen im Schichtaufbau (Wärmeleitwiderstand) der Oberflächen zu beachten.

Im Folgenden werden die drei verschiedenen Systeme der Flächenheizung/-kühlung vorgestellt.

## Autor



Frank Hartmann, Referent für Flächenheizung/-kühlung des Bundesverbandes der Deutschen Heizungsindustrie (BDH).

<sup>1)</sup> Der erste Teil dieses Beitrages ist erschienen in HLH Bd. 68 (2017) Nr. 3, S. ## - ##.

### Boden

Die Fußbodenheizung/-kühlung befindet sich im Bodenaufbau unterhalb der Fußbodenfläche und wirkt durch vertikalen Wärmestrom in den Raum von unten nach oben im Heizfall (Bild 5). Besonders in Badezimmern und Duschbädern mit keramischen Bodenbelägen bietet eine Flächenheizung einen höheren Wärme komfort und erfreut sich besonders an dieser Stelle einer hohen Nutzerakzeptanz.

In Wohnbereichen ist eine Fußbodenheizung/-kühlung heute für nahezu sämtliche Bodenbeläge geeignet. Allerdings sollte in der Auswahl von Bodenbelägen auf den maximalen Wärmeleitwiderstand und die maximal verträgliche Temperatur des Belages geachtet werden.

Eine Fußbodenheizung bedeutet nicht immer Heizestrich, wie es zu Beginn dieser Technologie der Fall war. Mittlerweile bietet der Markt eine Viel-



Bild 6

Die vielfältigen Bauweisen von Wandheizungs- und Kühlflächen erlauben gerade in der Modernisierung umfassende Anwendungsoptionen

zahl von Systemvarianten in diesem Bereich. Systeme mit niedrigem (Boden-)Materialaufbau eignen sich sowohl für die Modernisierung, als auch für den Neubau.

### Wand

Die Wandheizung/-kühlung kann sowohl an Innenwänden, als auch an Außenwänden, bei entsprechend gedämmter Gebäudehülle, installiert werden und wirkt durch einen horizontalen Wärmestrom in den Raum (Bild 6). Bei Innenwänden profitiert das gesamte

Bauteil von der thermischen Be- bzw. Entladung in alle Richtungen des Raumes, je nach Positionierung auch gegenüberliegende Flächen.

Der notwendige Flächenbedarf ist – wie bei jeder Flächenheizung/-kühlung – von der notwendigen Heizlast und den Systemtemperaturen (inkl. Massenstrom) abhängig und damit sehr variabel (siehe Tabelle 1 in Teil 1 dieses Beitrages).

Ein weiterer Aspekt für die besondere Eignung einer integralen Raumgestaltung ist der große Bereich der Systemtemperaturen für Wandflächensysteme. Daneben weisen diese Systeme eine große Variabilität in Bezug der wirksamen Fläche auf. Es können nicht nur die Oberflächen der Umschließungsflächen, sondern auch Oberflächen von raumtrennenden Innenwänden genutzt werden.

### Decke

Die Deckenheizung/-kühlung befindet sich im Deckenaufbau des Raumes und wirkt durch einen vertikalen Wärmestrom in den Raum von oben nach unten. Die verfügbaren Flächen für eine thermische Nutzung sind besonders auch in Nichtwohngebäuden (z. B. Büro- und Verwaltungsgebäude) sehr groß (Bild 7). Zudem bietet eine Deckenheizung/-kühlung auch die Möglichkeit raumakustische Anforderungen zu vereinen.

Die Deckensysteme bieten ähnlich wie die Wandheizung/-kühlung die Möglichkeit einer integralen Raumgestaltung. Neben den erwähnten schallschutztechnischen Möglichkeiten, bietet dieses System durch verschiedenartige Bauarten auch Kombinationen mit moderner Beleuchtungstechnik.

Entsprechend den physiologischen Anforderungen des Menschen verlangt eine Deckenheizung/-kühlung bei einer lichten Mindest-Raumhöhe von 2,50 m und eine Begrenzung der Oberflächen-

## Die besonderen Merkmale einer Flächenheizung/-kühlung

### □ Wirtschaftlich und energieeffizient

Energiesparend mit niedrigen Vorlauftemperaturen, reduzierte Raumtemperaturen bei hoher Behaglichkeit möglich. Im Betrieb und der Herstellung bezahlbar. Der Einbau ist in der Regel nicht teurer als bei freien Heizflächen, z. B. Heizkörpern.

### □ Umweltfreundlich und nachhaltig

Niedriger Bereitstellungsaufwand für Wärme, Integration von erneuerbaren Energien, vor allem Solarthermie und Umweltwärme, aber auch in Kombination z. B. mit Brennwertechnik. In der Regel ist die Lebensdauer der Flächenheizung/-kühlung mit der wirtschaftlichen Lebensdauer des Gebäudes gleichzusetzen.

### □ Vielseitig und ästhetisch

Platzsparend bei einer freien Raumgestaltung und unsichtbar, da keine störenden Einflüsse auf die Raumoptik. Die Systeme sind kombinierbar, nahezu jeder Oberflächenaufbau ob Boden, Wand und Decke ist einsetzbar

### □ Hygienisch und sicher

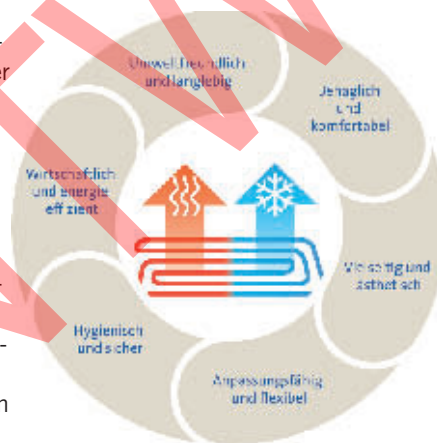
Keine Staubverwirbelung und zu trockene Luft, ideal für Asthmatiker und Stauballergiker. Keine extra Reinigung der Systemflächen nötig. Keine Verletzungsgefahr durch Kanten, z. B. in Kindergärten und Schulen. Beitrag zum konstruktiven, baulichen Feuchteschutz und Schimmelvorsorge.

### □ Behaglich und komfortabel

Große Wärmeübertragungsflächen erzeugen eine natürliche Strahlungswärme mit zusätzlichem Komfort. Im Sommer mit Kühlfunktion als kostenloser Zusatznutzen.

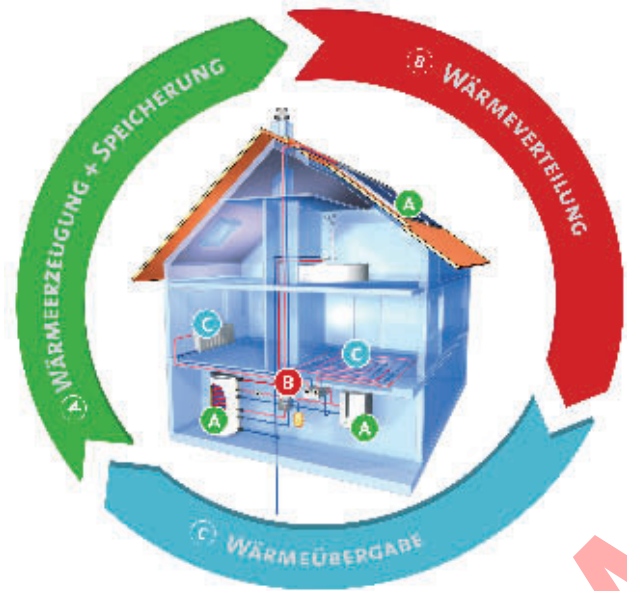
### □ Anpassungsfähig und flexibel

In Boden, Wand, Decke und massiven Bauteilen integrierbar. Passende Systeme für verschiedene Anwendungsfälle im Neubau und im Altbau und der Nutzungsänderung von Gebäuden.





**Bild 7**  
Deckenheizung/-kühlung in verschiedenen Ausführungssystemen



**Bild 8**  
Ineinandergreifende Komponenten schließen den Kreis für ein hohes Energieeinsparpotenzial, sowie Planungs- und Funktionssicherheit

temperatur auf maximal 29 °C. Auf diese Weise wird eine thermische Unbehaglichkeit durch Überhitzung des Kopfbereiches des Menschen vermieden. Bei größeren Raumhöhen kann die Oberflächentemperatur bei Bedarf entsprechend angehoben werden.

### Qualitätssicherung aus einer Hand

Um das gesamte Energieeinsparpotenzial auszuschöpfen, ist es wichtig, dass sämtliche Komponenten aufeinander abgestimmt sind und als ein Gesamtsystem betrachtet werden (Bild 8). Angefangen vom Heiz- bzw. Kühlkreis, bestehend aus Rohrregistern und Dämmung, Armaturen, Rohrverbinder, hydraulische Anbindungen und Verteilung, Aktoren und Stellantriebe, elektrische Regelverteiler, Einzelraumthermostate/ Einzelraumbediengeräte bis zur Datenübertragung und die Sensorik (z. B. Temperatur- und Feuchtefühler) garantieren die Komponenten eines Systemanbieters die nachhaltige Funktionalität des Systems und geben nicht nur dem ausführenden Fachbetrieb Sicherheit im Haftungsfall, sondern auch dem Nutzer die maximale Funktionssicherheit. Die abgestimmten System-

komponenten eines Herstellers garantieren:  
 Die Gültigkeit der System-Planungsleistung des Herstellers  
 Den Anspruch auf die ganzheitliche Service-Leistung des Herstellers  
 Den effizienten und nachhaltigen Betrieb der Anlage (Funktionssicherheit)  
 Den optimalen Wärmekomfort (Heizen und Kühlen), wenn die planerischen und produktspezifischen Vorgaben des Systemherstellers umgesetzt werden

Dabei hängt die Entscheidung für das eine oder andere System von den jeweiligen Rahmenbedingungen ab, insbesondere von Heiz- und Kühllast des Gebäudes, seinem Verwendungs- und Nutzungszweck, der Ausrichtung des Gebäudes und der einzelnen Räume, der Grundstücksgröße und dessen Umgebung, sowie den Präferenzen der Investoren.

### Elemente der Raumgestaltung

Die moderne Raumgestaltung heutiger Wohn- und Arbeitsbereiche ermöglicht durchaus mittels Flächenheizung/-kühlung Akzente in der Raumwirkung zu setzen. Der besondere Stellenwert dieser thermisch aktivierten Körper reicht über die Funktion eines den Raum gestaltenden Bauteils hinaus. Diese thermodynamischen Wechselbeziehungen entsprechen optimal dem natürlichen Wärmeempfinden des Menschen, bei maximaler Effizienz mit höchstem Wärme- und Wohnkomfort.

In der Modernisierung von Gebäuden bietet die Flächenheizung/-kühlung ei-

ne hohe Flexibilität in der Anwendung. Dabei muss es sich nicht um eine energetische Sanierung oder Heizungsmodernisierung handeln. Selbst bei Hauserneuerungen, Aus- und Umbauten, Veränderungen der Grundrisse, usw. bieten sämtliche Systeme eine große Komponenten- und Bauartauswahl in Nass- und Trockenbauweise.

### Kombinierbarkeit zum Beispiel mit Heizkörpern

Die Kombinierbarkeit einer Flächenheizung/-kühlung ist immer am spezifischen Bauvorhaben zu prüfen. Ob dies über einen gemeinsamen oder einen getrennten Heizkreis erfolgen kann, ist in erster Linie von der Systemtemperatur und der Regelstrategie, sowie der gewünschten Heiz- und/oder Kühlfunktion abhängig. Eine der häufigsten Anwendungen ist die Kombination von Fußbodenheizung und Handtuch-Heizkörper im Bad, aber auch Wand- oder Deckenheizungen können mit Heizkörpern kombiniert werden.

Natürlich kann die Flächenheizung/-kühlung hervorragend mit einem Heizkörperkreis ergänzt und für beide Systeme eine unterschiedliche Regelstrategie realisiert werden. Um gemeinsam in einem Heizkreis kombiniert zu werden, sind Niedrigtemperaturheizkörper notwendig, oder die Integration vom Flächenheizsystem in Heizkörperheizkreise mittels entsprechenden Temperaturbegrenzungen. In diesem speziellen Fall handelt es sich nicht um eine Fußbodenheizung mit definierter Auslegungswärmeleistung, sondern um eine Bodentemperierung mit nur abschätzbarer Wärmeleistung.

### Flächenheizung und Wärmebereitstellung

Die Heizfunktion wirkt durch eine Übertemperatur. Der Wärmestrom erfolgt aus dem Bauteil in den Raum durch Erhöhung der Oberflächentemperatur.

Während der Heizfunktion wirkt der umbaute Raum als Wärmesenke, welche durch die Übertemperatur des Systems thermisch beladen wird und die der Mensch über die Haut wahrnimmt. Dafür ist eine übergeordnete Wärmequelle (technische Wärmebereitstellung) notwendig. (z. B. ein Pufferspeicher, der durch diverse Wärmeerzeuger thermisch beladen wird – Wärmebereitstellung).

Der *Pufferspeicher* bildet als thermischer Akkumulator im Zentrum der wassergeführten Zentralheizungsanlage die Schnittstelle zwischen Wärmeerzeugung und Wärmenutzung/Wärmeübergabe im Raum. Seine Aufgabe ist die Bereitstellung von Heizungswasser für die Wärmeübertragung an den Raum.

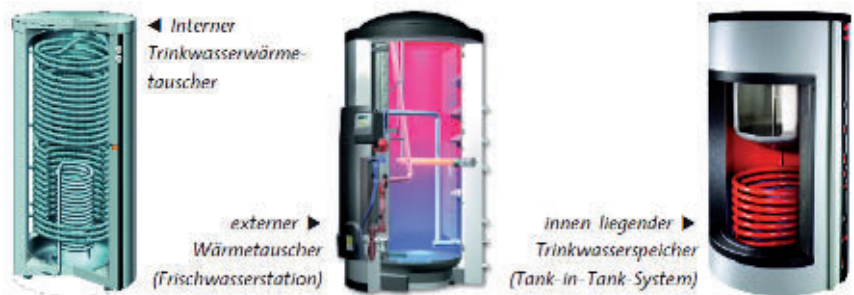
Die Wärmebereitstellung in Gebäuden betrifft allerdings nicht nur die Raumwärme, sondern auch die Bereitstellung von Trink-Warmwasser. **Bild 9** zeigt die drei wesentlichen Bauformen von Kombi-Pufferspeichern aufgrund dieser Doppelfunktion im Kontext einer multiplen Wärmebereitstellung, wie sie sich heute als Standard durchgesetzt haben.

Ein Heizungspufferspeicher ist für eine Flächenheizung/-kühlung zwar nicht immer zwingend notwendig, wie beispielsweise für gewerbliche Anwendungen in Nichtwohngebäuden, diversen Sonderfällen, oder spezifischen baulichen Anforderungen. Dennoch sprechen aber viele Gründe für die Wärmebereitstellung mittels eines zentralen Heizungspufferspeichers.

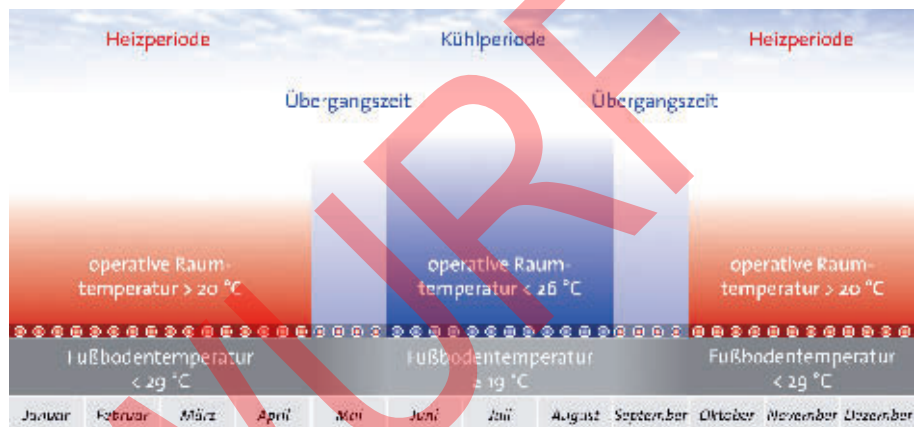
Nicht nur für eine multiple Wärmebereitstellung aus verschiedenen Wärmequellen, sondern auch zur nachhaltigen Steigerung des Deckungsanteils zur solarthermischen Heizungsunterstützung ist dies im Kontext des Niedrigtemperatursystems Flächenheizung nicht selten das Argument für einen Pufferspeicher. Im Betriebsfall einer passiven Flächenkühlung, wird der Pufferspeicher über einen hydraulischen Bypass umgangen.

### *Der Pufferspeicher als Schnittstelle der Wärmeübertragung*

In der Regel sind Pufferspeicher im Bereitstellungsbereich (Schichtenbereich) entsprechend temperiert, um den Anforderungen an die Wärmeübertragung an den Raum zu entsprechen, welche als Bereitstellungstemperatur durch den oder die Wärmeerzeuger sichergestellt wird. Die Integration einer solarthermischen Anlage als Wärmequelle ist bei einem Pufferspeicher entweder intern oder extern möglich. Durch die niedrigen Systemtemperaturen einer Flächenheizung/-kühlung können auch niedrige Temperaturen der thermischen Solaranlage innerhalb der Heizperiode effizient genutzt werden und den Solarertrag in der Energiebilanz deutlich erhöhen.



**Bild 9**  
Unterschiedliche Bauweisen von Kombi-Pufferspeichern



**Bild 10**  
Heizen im Winter und Kühlen im Sommer mit einem System

In der Anwendung einer aktiven Flächenkühlung kann auch ein „Kälte“-Pufferspeicher eingesetzt werden, der somit nicht als Wärmequelle sondern als Wärmesenke dient und insbesondere in der aktiven Kühlung zum Einsatz kommt. Dieser wird nicht durch einen Wärmeerzeuger thermisch beladen, sondern durch einen Kälteerzeuger thermisch entladen. Bei der passiven Kühlung wird der Pufferspeicher (der als Wärmespeicher in der Regel für den Heizbetrieb bereitsteht), um einen externen Wärmeübertrager ergänzt, der einen hydraulischen Bypass zum Pufferspeicher bildet und die Wärmesenke versorgt, also Wärme aus dem umbauten Raum abführt.

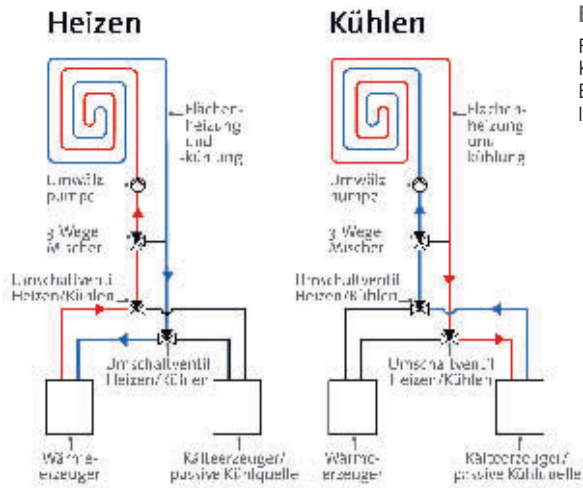
### *Der geregelte Wärmeübertragungskreis*

An der Heizwasser-Entnahmeseite wird der Heizkreis zur Wärmeverteilung angeschlossen. Der klassische Heizkreis für eine Flächenheizung/-kühlung wird in der Regel als geregelter Heizkreis ausgeführt, der die Vorlauftemperatur dynamisch in Abhängigkeit der Außentemperatur anpasst und zu den jeweili-

gen Wärmeübergabesystemen bringt. Über die in der Heizungsregelung integrierte Heizkennlinie wird die maximale Vorlauftemperatur im Auslegungsfall festgelegt, die durch die Mischereinrichtung verwirklicht wird.

Dieser geregelte Heizkreis ist bei der Kühlung derselbe, da die typische Baugruppe „Geregelte Heizkreisstation“, bestehend aus den wesentlichen Komponenten Umwälzpumpe und einem motorisch betriebenem Drei-Wege-Mischventil, lediglich die Zwangszirkulation mit dynamischen Vorlauftemperaturen, sowohl für das Kühlen, als auch für das Heizen erledigt. Außerhalb der Heizperiode und vor allem im Sommer kann durch eine reversible Temperierung mit der Flächenheizung/-kühlung ein doppelter Nutzen erzielt werden.

Durch die hohe energetische Qualität der thermischen Hülle, wirken die winterlichen Wärmegewinne als sommerliche Wärmelasten, über eine Flächenkühlung wird nicht nur im Hochsommer die thermische Behaglichkeit im umbauten Raum erhöht (**Bild 10**). Umso sinnvoller und konsequenter er-



**Bild 11**  
Funktionsgrafik Heizen-Kühlen mit den Bypass-Einrichtungen in der Anlagenhydraulik

scheint somit die Doppelfunktion einer Flächenheizung/-kühlung entsprechend dieser Bedarfsdynamik. Die aus dem Kühlprozess gewonnene Wärme kann z. B. zur Trinkwassererwärmung verwendet werden.

## Flächenkühlung und Kältebereitstellung

Die Kühlfunktion wirkt durch eine Untertemperatur. Der Wärmestrom erfolgt in das Bauteil aus dem Raum durch Reduzierung der Oberflächentemperatur. Beide Funktionen werden mit demselben Wärmeübergabesystem realisiert (Bild 11). Es ändert sich lediglich die Richtung des Wärmestroms (Umkehrung des Wärmestroms) durch die thermische Be- oder Entladung des Wärmeträgermediums (Heizwasser).

□ Während der Kühlfunktion wirkt der Raum als Wärmequelle, welche durch die Untertemperatur des Systems thermisch entladen wird. Dafür ist eine dementsprechende Wärmesenke notwendig. (z. B. ein Kältepufferspeicher der durch diverse Kälteerzeuger thermisch entladen wird – Kältebereitstellung).

Aufgrund der geringen Temperaturdifferenzen zwischen Kühlwasser, Raumluft und Körpern, ist eine Flächenheizung/-kühlung bestens dafür geeignet, im Sinne der thermischen Behaglichkeit und Energieeffizienz einen Beitrag zur Raumkühlung leisten. Dabei wirkt sich besonders die flächenbezogene Kühlleistung auf das Wohlbefinden der Nutzer aus.

## Umkehrung des Wärmestroms (Taupunktunterschreitung)

Bei einer Umkehrung des Wärmestroms zur Flächenkühlung wird nicht von einer maximalen Vorlauftemperatur

gesprochen, sondern von einer Mindest-Vorlauftemperatur. Auch dies markiert den direkten Zusammenhang mit den Temperaturbereichen des menschlichen Körpers, berücksichtigt aber auch den baulichen Feuchteschutz. Durch die Absenkung der Oberflächentemperatur

(Untertemperatur im Bauteil) kann die Gefahr einer Taupunktunterschreitung bestehen, welche z. B. wirksam mit einem so genannten Taupunktüberwacher verhindert werden kann.

Dieser überwacht die relative Feuchte (Wasserdampfaktivität) an der Bauteiloberfläche oder an kritischen Oberflächen der Anlage und schaltet bei drohender Unterschreitung der Taupunkttemperatur (dynamischer Grenzwert) die Kühlfunktion aus, um keine Feuchteschäden am oder im Bauteil zu provozieren.

Beispielsweise liegt die Taupunkttemperatur bei einer relativen Luftfeuchte von 60 % und einer Lufttemperatur von 26 °C bei 18 °C.

## Die Umschaltung von Flächenheizung auf Flächenkühlung

Die hydraulische Umschaltung für die Flächenkühlung wird zwischen Heizkreisstation und Pufferspeicher integriert, da der Pufferspeicher in der Regel für den Heizbetrieb (bzw. im Sommer für WW-Bereitung) während der Heizperiode notwendig sein wird. Interne Wärmegewinne werden innerhalb der Heizperiode in der Regel auf der Wärmeabgabe Seite bilanziert. Im Sommer aber sind es – insbesondere im Hochsommer – interne Wärmelasten, welche eine Kühlung verlangen. Die erreichbare Kühlleistung je Quadratmeter ist je nach Flächenorientierung (Boden, Wand oder Decke) unterschiedlich und weicht von der Heizleistung je Quadratmeter ab (siehe Tabelle 1 in Teil 1 dieses Beitrages).

Die hydraulische Umschaltung ist Bestandteil des Systems und entsprechend den Komponenten und der Auslegung konfiguriert. Sowohl der Heiz- als auch der Kühlbetrieb werden von einer zentralen Steuereinheit sichergestellt, wel-

che sowohl die Pumpen als auch die Umschaltung entsprechend den Temperaturen, welche über Sensoren erfasst werden, betreibt. Der Taupunktüberwacher ist als sicherheitstechnische Einrichtung in der Steuereinheit integriert.

## Passive und aktive Kühlung

Die Kälte kann auf zwei verschiedene Weisen bereitgestellt werden; entweder passiv aus Erdsonden, Erdkollektoren, Energiekörben, oder aktiv aus Kältemaschinen, Kaltwassersätzen oder umschaltbaren Wärmepumpen. Dementsprechend wird von einer passiven oder von einer aktiven Kühlung gesprochen.

□ Die *passive Kühlung* verlangt lediglich eine natürliche Wärmesenke, welche keinen Endenergieaufwand verlangt, um Kälte zu erzeugen. Dies ist in der Regel ein Erdwärmüberträger im Untergrund, der eine zuverlässige hohe Temperaturdifferenz zur Wärmequelle (Innenraum) aufweist. Je größer und konstanter diese Temperaturdifferenz ist, desto qualitativ hochwertiger ist die Wärmesenke, von der die Kühlwirkung, bzw. Kühlqualität abhängt. Für den Betrieb ist lediglich ein Bypass in Form eines Wärmeübertragers zur Systemtrennung mit einer Pumpengruppe für den sekundären Wärmeüberträger (Wärmesenke) notwendig, die Bestandteil des Gesamtsystems ist.

□ Die *aktive Kühlung* benötigt anstelle der natürlichen Wärmequelle einen Kälteerzeuger, der eine definierte Kälte erzeugt. Dies kann z. B. eine reversible Wärmepumpe sein, die im Winter heizt und im Sommer kühlt. Die aus dem Kühlprozess generierte Wärme kann anderen Prozessen zugeführt werden. Mit einer aktiven Kühlung können definierte Kühlleistungen mit hoher Regelgüte realisiert werden. Im Gegensatz zur passiven Kühlung ist bei der aktiven Kühlung neben der Hilfsenergie für die Umwälzpumpe zusätzliche Endenergie für das Kälteaggregat notwendig.

Die Vorteile der passiven Kühlung liegen in den minimalen Investitions- und Betriebskosten mit gleichzeitigem Synergiepotenzial (z. B. Unterstützung der natürlichen Regeneration bei erdgekoppelten Wärmequellenanlagen im Sommer). Nachteilig sind die begrenzte Kühlleistungen, da diese stets von der Qualität der Wärmesenke abhängen. Für einen thermischen Ausgleich kann aber in vielen Fällen eine passive Kühlung im Wohnbereich ausreichend sein, wenn keine besonderen Wärme-

lasten im umbauten Raum vorherrschen. Die begrenzten Kühlleistungen erklären sich aus der Passiven Betriebsweise, wo keine Kälte aktiv erzeugt wird, sondern lediglich eine *Ankühlung* in Verbindung einer (natürlichen) Wärmesenke. Lediglich die beiden Umwälzpumpen der beiden Wärmeübertra-

gungskreise sind bei der passiven Kühlung in Betrieb. Eine aktive Kühlung verlangt hingegen zusätzlich einen Kälteerzeuger, der eine definierte Kälteleistung bereitzustellen vermag.

Für die aktive Kühlung kann festgehalten werden, dass deren Vorteile dann zum Tragen kommen, wenn z. B. in Bü-

rogebäuden oder Serverräumen definierte Kühlleistungen erforderlich sind. Darüber hinaus ist die aktive Kühlung im Stande einen ungleich höheren Beitrag zur Wärmebereitstellung für Trinkwarmwasser zu leisten. Nachteilig wirken sich dahingehend die höheren Investitions- und Betriebskosten aus.

ENTWURF