



## Mitteilung des Fachbereichs Flächenheizung/-kühlung:

# Thermische Behaglichkeit und Energieeffizienz

(Autor: Frank Hartmann, Referent des Fachbereichs Flächenheizung /-kühlung im BDH)

- 1. Einführung Flächenheizung /-kühlung** **Seite 2**  
*Thermische Behaglichkeit und Energieeffizienz*
- 2. Der Mensch im umbauten Raum** **Seite 4**  
*Der Mensch als Wärmekörper  
Systemtemperaturen*
- 3. Systeme der Flächenheizung/-kühlung** **Seite 7**  
*Boden  
Wand  
Decke  
Qualitätssicherung  
Elemente der Raumgestaltung  
Kombinierbarkeit mit Heizkörpern*
- 4. Flächenheizung und Wärmebereitstellung** **Seite 12**  
*Heizungspufferspeicher als Schnittstelle  
Der gemischte Wärmeübertragungskreis*
- 5. Flächenkühlung und Kältebereitstellung** **Seite 15**  
*Umkehrung des Wärmestroms  
Die Umschaltung von Flächenheizung auf Flächenkühlung  
Passive und aktive Kühlung*
- 6. Die besonderen Merkmale** **Seite 18**  
*Positionen (Infokasten/tabellarisch)*

# **1. Einführung Flächenheizung/ -kühlung**

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.

Im Neubau sind die Systeme der Flächenheizung/-kühlung die dominierende Variante der Wärmeübergabe. Auch bei der Modernisierung setzen sich diese Systeme als Alternative zum klassischen Heizkörper mehr und mehr durch. Sie bieten eine Vielfalt an Anwendungsmöglichkeiten, werden mit deutlich niedrigeren Systemtemperaturen betrieben als herkömmliche Heizkörper und verfügen über eine optionale Zusatzfunktion: Heizen und Kühlen als „2-in-1“-Lösung.

## ***Entwicklung der Wärmeübergabe an den Raum***

Vor mehr als hundert Jahren wurde bereits die wassergeführte Zentralheizungsanlage entwickelt, welche sich im 20. Jahrhundert durchsetzte und die gleichmäßige Beheizung von Räumen ermöglicht. Anfänglich waren sehr hohe Vorlauftemperaturen notwendig. Mit dieser Entwicklung gingen die verschiedenen Bauarten von Heizkörpersystemen einher. Ab den 1970er Jahren wurden die ersten Flächenheizungssysteme in Form von Fußbodenheizungen mit Kunststoffrohren entwickelt und angewandt.

Im Rahmen der Weiterentwicklung der Heizungsanlagenverordnung und durch die stetige Verbesserung der Wärmeschutzverordnung wurden immer niedrigere Vorlauftemperaturen (Systemtemperaturen) möglich. Dies hat sich in den 1990er Jahren auch in der Definition von Niedrigenergiehäusern etabliert. In dieser Zeit gewannen die Flächenheizungssysteme auch in der Nutzerakzeptanz eine immer größere Bedeutung. Durch den erhöhten Wärmekomfort und vermehrte systemische Einbindung erneuerbarer Energien (z.B. Solarthermie oder Wärmepumpe) wurde die Fußbodenheizung immer häufiger installiert. Mit dem Beginn unseres Jahrhunderts begannen sich andere Varianten der Flächenheizung wie die Decken- oder Wandheizung durchzusetzen.

Mit Einführung der Energieeinsparverordnung im Jahre 2002, in der die Heizungsanlagenverordnung mit der Wärmeschutzverordnung verschmolz, wurden Niedrigtemperatursysteme zum festen Bestandteil des modernen energieeffizienten Bauens. Der energetische Aufwand zur Bereitstellung der Raumwärme wurde mit Flächenheizungssystemen für Boden, Wand und Decke drastisch gesenkt.

In den letzten Jahren sanken durch den verbesserten Wärmeschutz, sowie durch solare Architektur die Heizlasten von Gebäuden so sehr, dass sich Niedrigtemperatursysteme zum Standard entwickelten. Allerdings stiegen in den Sommermonaten die Kühllasten der solaren und internen Wärmegewinne in vielen Gebäuden sehr stark an, so dass sich diese heute immer mehr zu Wärmelasten entwickeln und vielerorts eine Kühlung während der Sommermonate notwendig wird.

Diese zweifache Anforderung (Heizen und Kühlen) kann mit einer Flächenheizung/-kühlung hervorragend umgesetzt werden. Daneben kann mit diesem System nicht nur die Energieeffizienz, sondern ebenso die thermische Behaglichkeit signifikant erhöht werden.

### ***Thermische Behaglichkeit und Energieeffizienz***

Die thermische Behaglichkeit in einem Raum ist unter anderem abhängig von den Raumtemperaturen. Daher sollte die Raumtemperierung entsprechend den physiologischen Anforderungen des Menschen sowie in Abhängigkeit seiner Umgebung (thermische Hülle) und den jahreszeitlichen, klimatischen Schwankungen erfolgen. Im Idealfall, wie es dem natürlichen Wärmeempfinden des Menschen entspricht, durch Wärmestrahlung, da der Mensch selbst ein Wärmekörper ist.

Im Winter benötigt eine Flächenheizung zum Heizen keine hohen Systemtemperaturen (geringe Übertemperaturen), um dem Nutzer den gewünschten Komfort zu bieten. Auch im Sommer kann das gleiche System mit geringen Untertemperaturen den Raum kühlen. Dadurch ermöglicht die Flächenheizung/-kühlung in der Wärmenutzung maximale thermische Behaglichkeit mit niedrigsten Temperaturspreizungen. Darüber hinaus ist die Flächenheizung/-kühlung als Niedrigtemperatursystem mit einer zusätzlichen Effizienzsteigerung durch die Doppelfunktion „Heizen/Kühlen“ definiert.

Die Flächenheizung/-kühlung lässt sich dabei mit sämtlichen Wärme- und Kälteerzeugern kombinieren, z. B. mit dem Pufferspeicher als zentrale Schnittstelle der Wärmebereitstellung innerhalb einer wassergeführten Zentralheizungsanlage. Bei Bedarf können diese Systeme auch mit einer Wärmesenke (z. B. solegeführte Erdwärmesonden, Energiekörbe und –pfähle im Untergrund) gekoppelt werden.

Nicht nur konventionelle Wärmeerzeuger, sondern auch sämtliche Erneuerbare Energien (wie z. B. Solarthermie oder Wärmepumpe) lassen sich systemisch auch im Sinne einer multiplen Wärmebereitstellung (bedarfsgerechte Leistungsanpassung und Optimierung der gesamten Anlage) mit maximaler Energieeffizienz, Ressourcenschonung und nachhaltiger Minimierung des Primärenergiebedarfs, integrieren.

## ***2. Der Mensch im umbauten Raum***

Der Wärmekörper Mensch befindet sich im Raum inmitten des Prinzips von Wärmequelle und Wärmesenke und wirkt selbst auch in beide Richtungen. Selbst im ruhenden Zustand gibt der Mensch etwa 80 Watt Wärme an seine Umgebung durch Strahlung, Konvektion und Leitung ab.

Den fraglos größten Anteil im Wärmeempfinden des Menschen hat die flächenbezogene Wärmestrahlung. Je nach Umgebungstemperatur wirkt über die Oberfläche des Menschen der physiologische Wärmeübergang als positiver oder negativer Wärmestrom auf den Körper des

Menschen. Über eine so genannte „*thermische Behaglichkeit*“ weit hinaus, ist es der grundlegende Sinn von Atmung und Nahrungsaufnahme des Menschen, die Körperwärme als Lebensgrundlage überhaupt aufrecht zu halten.

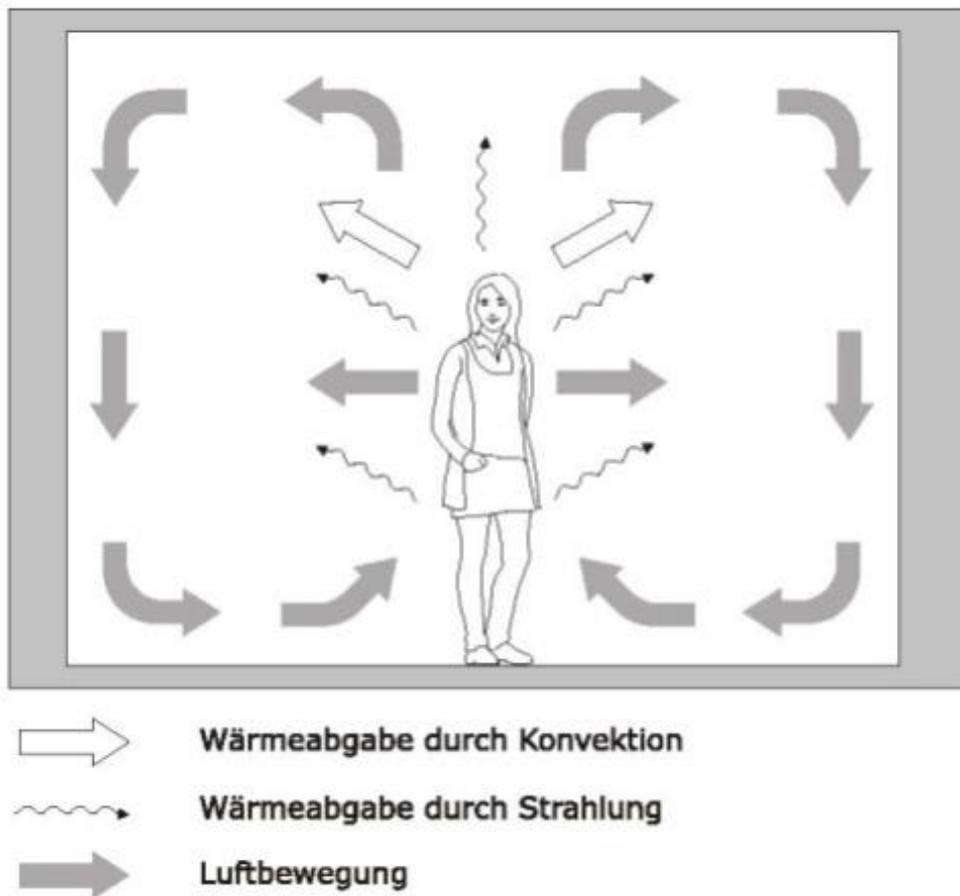


Abbildung 1 - Der Mensch als Wärmekörper und seine thermodynamischen Wechselbeziehungen in seiner Umgebung des umbauten Raums. Quelle: Frank Hartmann, Forum Wohnenergie

Für die thermische Behaglichkeit ist die den Menschen umgebende **Wärmequalität** entscheidend. Die hohe Wärmequalität des modernen Bauens beschreibt ausgeglichene Temperaturen in der unmittelbaren Umgebung von Körpern und Flächen im umbauten Raum und ist natürlich auch von den verwendeten Baustoffen, bzw. etwaigen Wärmebrücken abhängig. Dies bedeutet, dass auch Flächen, die nicht direkt erwärmt werden, durch die Strahlung der Flächenheizung/-kühlung in gegenüberliegenden Flächen ebenso temperiert werden. Das Wirkprinzip der Wärmestrahlung nutzt aber nicht nur die Wärmespeicherpotenziale passiver Körper, sondern unterstützt darüber hinaus auch die baukonstruktive Vermeidung von Wärmebrücken bzw. die thermische Optimierung von Bauteilen, sowohl in Wohn- als auch in Nichtwohngebäuden.

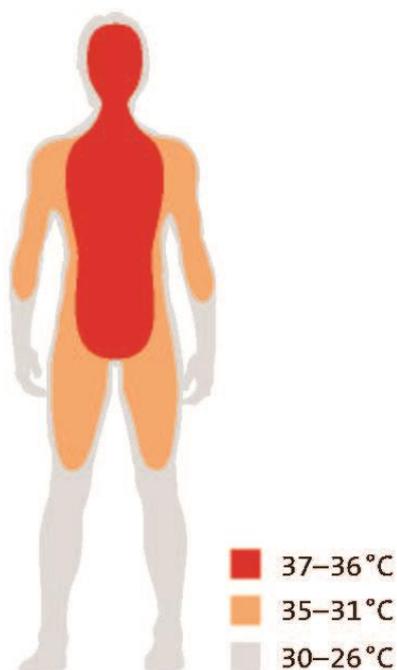
In diesem Sinne wirken sich die Systemtemperaturen der Flächenheizung/-kühlung besonders durch eine hohe Wärmequalität aus, da nicht nur die flächig in den Raum einwirkende Wärmestrahlung den physiologischen Anforderungen des Menschen optimal entspricht, sondern auch das Wärmeverhalten sämtlicher Baukörper im Raum.

Wärme kann nur von einem höher temperierten zu einem niedriger temperierten Körper (durch Strahlung, Konvektion und Leitung) übergehen. Lediglich die Richtung des Wärmestroms bezeichnet den Prozess des Wärmens (**Übertemperatur**) oder des Kühlens (**Untertemperatur**). Es ist also der Temperaturunterschied zwischen dem Körper und den Umgebungsflächen des Raumes der entscheidet, ob der Körper als Wärmequelle oder als Wärmesenke wirkt. Je größer die wirksame Fläche und der Temperaturunterschied, desto größer ist der Wärmeübergang. Die Oberflächentemperaturen der Umschließungsflächen des umbauten Raumes (Boden, Wand, Decke) haben demnach die größte Wirkung auf den Menschen. Letztendlich bilden der Mensch sowie die Umgebungsflächen ein thermisches Wechselverhältnis.

Ist das Wechselverhältnis zwischen Mensch und Raum durch eine Übertemperatur beschrieben, so spricht man vom Heizen. Bei der Kühlung verhält es sich umgekehrt. Es wirkt ein entgegengesetzter Wärmestrom und die Oberfläche der Umschließungsfläche weist eine Untertemperatur auf.

### ***Der Mensch als Wärmekörper***

Die niedrigste Oberflächentemperatur der nackten Haut beträgt etwa 26°C (je nach physischer Kondition auch weniger). Aus diesem Grund verlangt der thermische Komfortanspruch des Menschen insbesondere in Badezimmern und Duschbädern die höchste Raumtemperatur im umbauten Raum, da an diesen Orten seine gesamte Hautoberfläche der unmittelbaren Umgebung direkt ausgesetzt ist. Eine Raumtemperatur von bis zu 25°C wirkt in diesem physiologischen Sinne thermisch ausgleichend.



*Abbildung 2 - Die Wärmezonen des Menschen als physiologische Grundlage der thermischen Behaglichkeit.  
Quelle: Frank Hartmann, Forum Wohnenergie*

Wäre die Umgebungstemperatur deutlich geringer, wäre der Wärmestrom (Wärmeabgabe) des menschlichen Körpers an seine Umgebung so groß, dass dem Körper mehr Wärme entzogen würde, als es für die Thermische Behaglichkeit zuträglich wäre. Die Folge dieses überproportionalen Wärmeentzugs empfindet der Mensch als „Entwärmung“ und dementsprechend als thermische Unbehaglichkeit, umgangssprachlich als „Frieren“. Dieser Prozess findet auch in den Umschließungsflächen der thermischen Hülle („3. Haut“) eines Gebäudes statt. Wenn die Transmissions-Wärmeverluste größer sind, als der passive Solareintrag und interne Gewinne, beginnt auch das Haus zu „frieren“.

Entsprechend der Physiologie des Menschen als auch den Gesetzen der Thermodynamik ist die Wärmestrahlung die natürlichste und angenehmste Form der Wärmeempfindung. Die unmittelbare Umgebungslufttemperatur spielt für das thermische Empfinden des Menschen eine eher untergeordnete Rolle, wie jeder Mensch im Winter erleben kann, wenn bei  $-10^{\circ}\text{C}$  die Sonne scheint und sich der Mensch durchaus thermisch ausgeglichen fühlt. Schiebt sich eine Wolke davor, wirkt nunmehr die kalte Umgebungsluft, die thermische Ausgeglichenheit wird aufgelöst und der Mensch beginnt zu frieren.

### **Oberflächentemperaturen im Raum**

Durch die flächenbezogene Wirkung der Flächenheizung /-kühlung entsteht ein direktes Wechselverhältnis nicht nur zum Raum, sondern insbesondere zum Menschen und jedem anderen Körper (Möbel, Einrichtung) im Raum. Für die spezifische Wärme- als auch die Kälteleistung sind umso niedrigere Systemtemperaturen notwendig, je mehr wirksame Fläche zur Wärmeübertragung zur Verfügung steht.

	Oberflächentemperatur $\vartheta_F$ am Bauteil in $^{\circ}\text{C}$		Wärmeübergangskoeffizient $\alpha$ am Bauteil in $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$		Maximale spezifische Leistung $q_H$ in $\text{W}/\text{m}^2$	
	maximal beim Heizen	minimal beim Kühlen	Heizung	Kühlung	Heizung bei $\vartheta_i 20^{\circ}\text{C}$	Kühlung bei $\vartheta_i 26^{\circ}\text{C}$
<b>Boden</b>	29	19	10,8	6,5	ca. 100	ca. 45
<b>Wand</b>	40	18	8	8	ca. 160	ca. 65
<b>Decke</b>	29	18	6,5	10,8	ca. 60	ca. 85

*Tabelle 1: Typische thermische Kennwerte für eine Flächenheizung/-kühlung; Quelle: Werte in Anlehnung an DIN EN 1264 und DIN ISO 7730*

Die Tabelle 1 mit den thermischen Kennwerten der Flächenheizung/-kühlung zeigt die wesentlichen Unterschiede der drei verschiedenen Systemvarianten. Besonders auffällig sind in diesem Zusammenhang die Leistungsunterschiede für das Heizen und Kühlen im Bereich der Decke und des Bodens. Die Oberflächentemperaturen zeigen den direkten Bezug zum Menschen und seinem Körper.

### ***3. 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.

### **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 und von oben nach unten im Kühlfall. Besonders in Badezimmern und Duscbädern 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.



Abbildung 3 - Fußbodenheizung/-kühlung in einem System - Quelle: BDH

Eine Fußbodenheizung bedeutet nicht immer Heizestrich, wie es zu Beginn dieser Technologie der Fall war. Mittlerweile bietet der Markt eine Vielzahl 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. Bei Innenwänden profitiert das gesamte Bauteil von der thermischen Be- bzw. Entladung in alle Richtungen des Raumes, je nach Positionierung auch gegenüberliegende Flächen.



*Abbildung 4 - Die vielfältigen Bauweisen von Wandheizungs- und Kühlflächen erlauben gerade in der Modernisierung umfassende Anwendungsoptionen. Quelle: BDH*

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). 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. Zudem bietet eine Deckenheizung/-kühlung auch die Möglichkeit raumakustische Anforderungen zu vereinen.

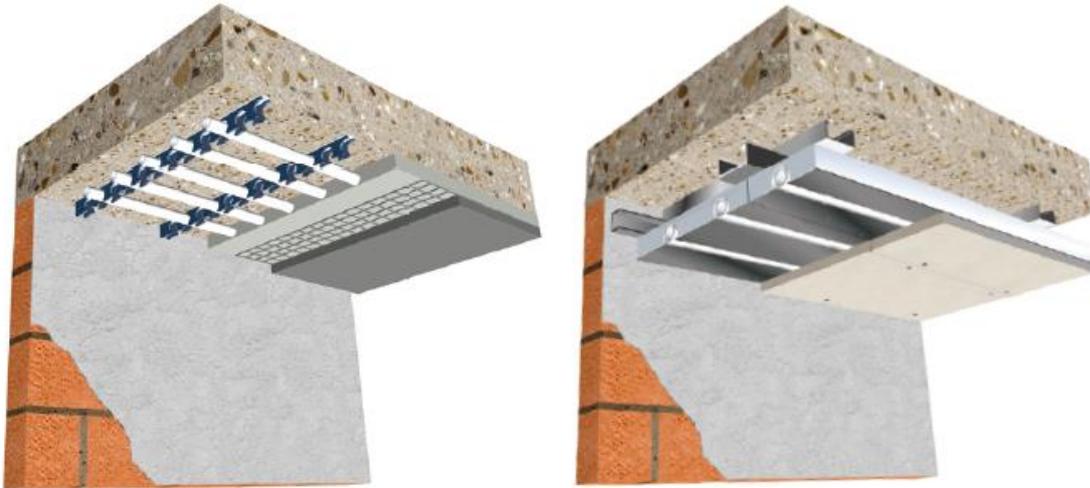


Abbildung 5 - Deckenheizung/-kühlung in verschiedenen Ausführungssystemen - Quelle: BDH

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 Meter und eine Begrenzung der Oberflächentemperatur 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. 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 Systemkomponenten 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 Verwendung- und Nutzungszweck, der Ausrichtung des Gebäudes und der einzelnen Räume, der Grundstücksgröße und dessen Umgebung, sowie den Präferenzen der Investoren.



Abbildung 6 - Ineinandergreifende Komponenten schließen den Kreis für ein hohes Energieeinsparpotenzial, sowie Planungs- und Funktionssicherheit. Quelle: BDH

### 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 eine 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 z. B. 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 Auslegungs-Wärmeleistung, sondern um eine Bodentemperierung mit nur abschätzbarer Wärmeleistung.

## **4. 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. Nebenstehende Grafik zeigt die drei wesentlichen Bauformen von Kombi-Pufferspeichern aufgrund dieser Doppelfunktion im Kontext einer multiplen Wärmebereitstellung, wie sie sich heute als Standard durchgesetzt haben.

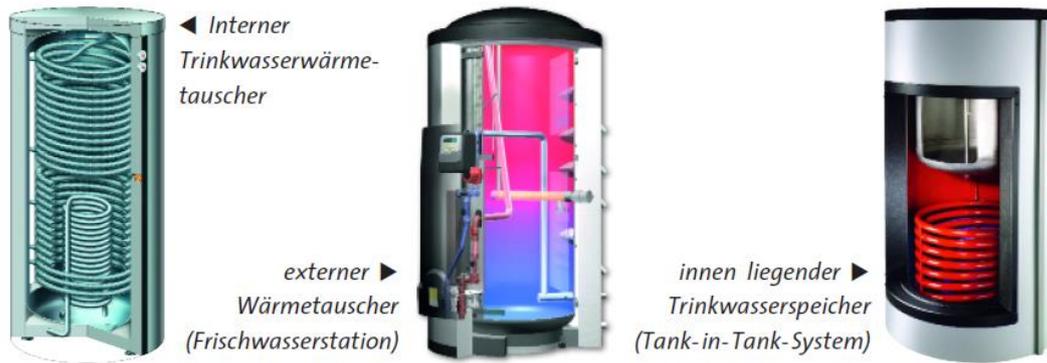


Abbildung 7 - Unterschiedliche Bauweisen von Kombi-Pufferspeichern; Quelle: BDH

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.

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 jeweiligen 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.

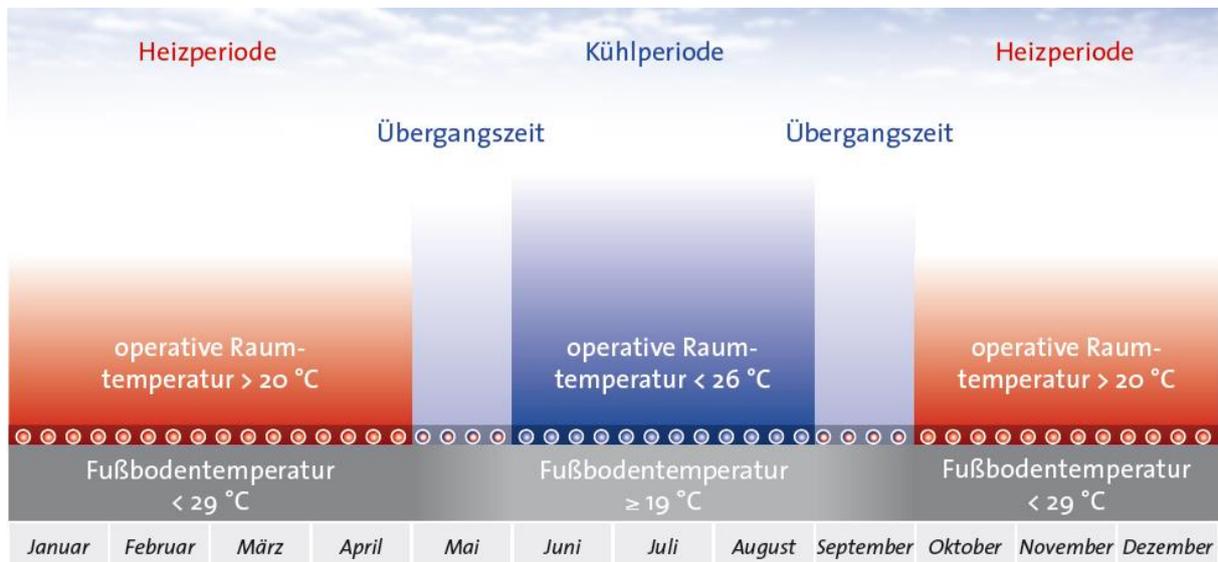


Abbildung 8 - Heizen im Winter und Kühlen im Sommer mit einem System; Quelle: BDH

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

## 5. 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. 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 Kälte-Pufferspeicher 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.

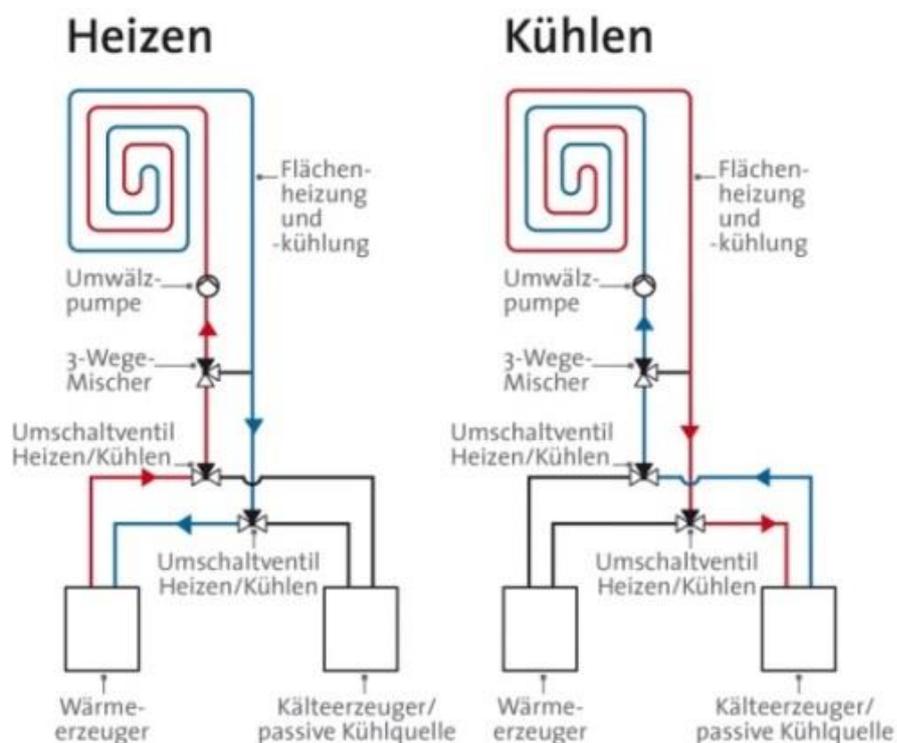


Abbildung 9 - Funktionsgrafik Heizen-Kühlen mit den Bypass-Einrichtungen in der Anlagenhydraulik  
Quelle: BDH

### ***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 Taupunktwärter 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 Wärmeseite 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).

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, welche sowohl die Pumpen als auch die Umschaltung entsprechend den Temperaturen, welche über Sensoren erfasst werden, betreibt. Der Taupunktwärter 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 Erdwärmeübertrager 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 Wärmeübertrager (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 begrenzten 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 Wärmelasten 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 Wärmeübertragungskreise 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 Bürogebäuden oder Serverräumen definierte Kühlleistungen erforderlich sind. Darüber hinaus ist die aktive Kühlung im Stande einen ungleich höheren Beitrag zur Wärmebereitstellung für Trink-Warmwasser zu leisten. Nachteilig wirken sich dahingehend die höheren Investitions- und Betriebskosten aus.



<b>Die besonderen Merkmale von Systemen der Flächenheizung /-kühlung</b>	
<b>Umweltfreundlich und nachhaltig</b>	Niedriger Bereitstellungsaufwand für Wärme, Integration von erneuerbaren Energien, vor allem Solarthermie und Umweltwärme, aber auch in Kombination z.B. mit Brennwerttechnik
<b>Wirtschaftlich und energieeffizient</b>	Energiesparend mit niedrigen Vorlauftemperaturen, reduzierte Raumtemperaturen bei hoher Behaglichkeit möglich und nicht nur im Betrieb, sondern auch in der Herstellung bezahlbar. Der Einbau ist in der Regel nicht teurer als bei freien Heizflächen, z. B. Heizkörper
<b>Vielseitig und ästhetisch</b>	Platzsparend bei einer freien Raumgestaltung und unsichtbar, da keine störenden Einflüsse auf die Raumoptik, die Systeme sind kombinierbar, nahezu jeder Oberflächenaufbau auf Boden, Wand und Decke ist einsetzbar
<b>Hygienisch und sicher</b>	Keine Staubverwirbelung und zu trockene Luft, ideal für Asthmatiker und Stauballergiker, keine extra Reinigung für der Systemflächen nötig, keine Verletzungsgefahr durch Kanten, z.B. in Kindergärten und Schulen
<b>Behaglich und komfortabel</b>	Große Wärmeübertragungsflächen erzeugen eine natürliche Strahlungswärme mit zusätzlichem Komfort. Im Sommer mit Kühlfunktion, als praktisch kostenloser Zusatznutzen
<b>Anpassungsfähig und flexibel</b>	In Boden, Wand, Decke und massiven Bauteilen integrierbar, passende Systeme für verschiedene Anwendungsfälle im Neubau und im Altbau und der Nutzungsänderung von Gebäuden
Quelle: BDH	

**Kontakt:**

**Frank Hartmann**

Referent für Flächenheiz- und Kühlsysteme des Bundesverbandes der Deutschen Heizungsindustrie (BDH)

frank.hartmann@bdh-koeln.de

www.flaechenheizung-bdh.de

Home Office: Forum Wohnenergie

**Telefon: 09381. 716 831**

**hartmann@forum-wohnenergie.de**