

## Wärmeabgabesysteme

Das System der Wärmeabgabe in einem Gebäude wird in erster Linie von der Nutzung und der Art des Wärmeerzeugers bestimmt.

Grundsätzlich unterscheidet man die Heizsysteme in Einzelheizungen und Zentralheizungen. Im Fall der Einzelheizung bilden Wärmeerzeuger und das Wärmeabgabesystem eine Einheit. Der Wärmeerzeuger gibt in diesem Fall seine Wärme direkt an den Aufstellraum ab. Zu den Einzelheizungen zählen:

- Kamine,
- Kachelöfen,
- Gasdirektheizgeräte,
- Ölbeheizte Einzelöfen,
- dezentrale elektrische Direktheizungen und
- dezentrale elektrische Speicherheizungen.

In Zentralheizungen sind Wärmeerzeuger und Wärmeübergabeeinrichtungen durch das Verteilsystem miteinander verbunden. Der Wärmeerzeuger gibt seine Wärme überwiegend indirekt an ein Heizmedium ab. Es kommen als Übertragermedium Wasser, Dampf, Luft oder Wärmeträgeröle zum Einsatz. Zu den Wärmeübergabeeinrichtungen in zentralen Heizungen gehören:

- freie Heizflächen (alle Heizkörperbauarten),
- integrierte Heizflächen (Wand- und Fußbodenheizungen) und
- Warmluftauslässe.

Im Folgenden werden die Heizkörperheizung, Fußboden- und Wandheizungen, Luftheizungen und Strahlungsheizungen vorgestellt. Einige der Einzelheizsysteme werden in Kapitel 5.2.9. behandelt.

### Heizflächen in Zentralheizungen

Einen Überblick über die Einsatzbereiche verschiedener Heizflächen in Kombination mit unterschiedlichen zentralen Wärmeerzeugern zeigt Tabelle 5.2.6.1-1. Der Einsatzbereich der Heizflächen richtet sich nach den üblichen Betriebstemperaturen der Erzeuger. So werden Konvektoren üblicherweise in Hochtemperaturnetzen eingesetzt, Fußboden- und Wandheizungen dagegen in Kombination mit Niedertemperaturwärmeerzeugern. Radiatoren und Plattenheizkörper sind nahezu universell einsetzbar.

Wärmeabgabesystem	Wärmeerzeuger
Konvektoren	Konstanttemperaturkessel, Niedertemperaturkessel, Fern- und Nahwärme, zentrale Holzfeuerungen
Radiatoren, Plattenheizkörper	Niedertemperaturkessel, Brennwertkessel, Fern- und Nahwärme, BHKW, zentrale Holzfeuerungen
Fußboden- und Wandheizung	Brennwertkessel, Wärmepumpen, BHKW, Elektroheizung

Tabelle 5.2.6.1-1 Heizflächen je nach Wärmeerzeuger

Die gewählte Vorlauftemperatur und die Auslegungsspreizung bei einer zentralen Heizungsanlage hat Einfluss auf die Regelbarkeit der Wärmeabgabe. Je größer die Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf und zwischen Vorlauf und Raum gewählt wird, desto günstiger ist das Regelverhalten. Bei kleinerer Spreizung zwischen Vor- und Rücklauf steigen die notwendigen Wassermassenströme und damit die Betriebskosten für die Pumpenergie an.

### Vergleich Fußboden- und Heizkörperheizung

Eine Gegenüberstellung von Fußbodenheizung und Heizkörperheizung ergibt die wichtigsten in Tabelle 5.2.6.1-2 aufgezählten Eigenschaften.

	Heizende Fußbodenheizflächen	Heizkörper
Planungsaufwand	etwas größer	mäßig
Planung in enger Verzahnung mit der Bauwerksplanung?	unbedingt erforderlich	nur in geringem Maße
Montage baufortschrittsabhängig?	in hohem Maße	nahezu unabhängig
Nachträgliche Korrekturen am System?	äußerst aufwendig	möglich
Temperaturverteilung im Raum?	bei großflächiger Verglasung z.T. unbehaglich	bei Aufstellung unter dem Fenster sehr gut
Regelfähigkeit bei Laständerungen?	weniger günstig bei Nass-Systemen	günstig
Einschränkungen für den Bodenbelag?	nicht zu hoher Bodenbelagswiderstand	keine

Tabelle 5.2.6.1-1 Gegenüberstellung Flächenheizung und Heizkörperheizungen

### Heizflächen nach einer Modernisierung

Im Falle einer Gebäudemodernisierung verzichten die Bauherren oft auf den Wechsel des Heizsystems, sofern sich schon eine Zentralheizungsanlage im Gebäude befindet. Begründet wird dies durch hohe Kosten der nachträglichen Veränderung des Verteilsystems, aber auch der installierten Heizflächen.

Im üblichen Fall werden die bereits installierten Heizflächen Heizkörper sein. Nach der baulichen Modernisierung sind die Heizflächen bei Beibehaltung der Vor- und Rücklauftemperaturen i. d. R. überdimensioniert. Die Temperaturen im System müssen angepasst – also abgesenkt – werden. Sie richten sich nach der Leistung der Heizflächen und der Raumheizlast und werden so gewählt, dass die Leistung jedes Heizkörpers gerade die Heizlast des jeweiligen Raumes deckt, also das nach der Anpassung insgesamt eine möglichst geringe Überdimensionierung im System vorhanden ist. Obwohl dies natürlich nicht für alle Heizkörper gleichmäßig erfolgen kann, kommt die generelle Absenkung der Temperatur der Wahl eines modernen Wärmeerzeugers entgegen. Die Temperaturanpassung für ein vorhandenes Netz kann üblicherweise nur mit Hilfe von Software oder durch "Probieren" erfolgen.

Bei der Senkung des Temperaturniveaus müssen ggf. einzelne Heizkörper ausgetauscht und durch größere ersetzt werden, weil sie in ihrer Leistung zu knapp bemessen sind. Sie würden anderenfalls verhindern, dass die Vorlauftemperatur im gesamten System abgesenkt werden kann.

Ist vor der Modernisierung ein System mit Einzelheizungen vorhanden, dann lohnt sich nach der Sanierung der Einbau einer Zentralheizung. Es gelten dann die Auslegungskriterien und Qualitätssicherungsmaßnahmen wie im Neubau.

### **Thermische Behaglichkeit: Luft- und Oberflächentemperaturen**

Es gibt diverse Einflüsse auf die Behaglichkeit von Menschen: Temperatur, Feuchte, Wind, Licht, Geräusche, Gerüche usw. An dieser Stelle soll nur über die thermische Behaglichkeit gesprochen werden.

Die thermische Behaglichkeit wird wesentlich durch die Lufttemperatur in einem Raum und die Oberflächentemperaturen bestimmt. Dabei empfindet der Mensch beide Temperaturwerte in erster Näherung als einen gewichteten Mittelwert. Ist die Lufttemperatur geringer, muss die Strahlungstemperatur höher sein für eine ähnliche Behaglichkeit – und umgekehrt. Strahlungsunterschiede in Räumen aufgrund zu hoher Asymmetrie der Umgebungflächentemperaturen sollten vermieden oder durch geschickte Wahl des Heizsystems ausgeglichen werden.

Dieses Problem tritt insbesondere in sehr schlecht gedämmten Gebäuden auf, in denen die Fenster eine sehr geringe Oberflächentemperatur haben. Hier sollten Heizkörper als Strahlungsausgleich unter den Fenstern angebracht werden, auf keinen Fall an entgegengesetzten Wänden. Gleichzeitig wird durch unter dem Fenster platzierte Heizkörper die am Fenster herabfallende Kaltluft durch die vom Heizkörper erwärmte aufsteigende Luft umgelenkt, so dass sich im Raum eine die Behaglichkeit erhöhende Raumlufthalze (an der Decke von der Außen- zur Innenwand, am Fußboden von der Innen- zur Außenwand) einstellt. Diese Problematik vermindert sich allerdings sehr stark im Niedrigenergiegebäude – sowohl im Neubau als auch im sanierten Bestand.

Es hat sich als sinnvoll erwiesen, zur Charakterisierung einer Raumtemperatur den Mittelwert aus Lufttemperatur und Strahlungstemperatur (Wandoberflächentemperatur aller Umschließungsflächen) zu bilden. Dieser Wert wird Empfindungstemperatur genannt. Die beiden Temperaturen, aus denen die Empfindungstemperatur berechnet, sollten nicht zu sehr voneinander abweichen. In der Literatur werden 3 K als Grenzwert genannt [Recknagel].

Auch die Temperaturen der Umschließungsflächen sollten sich nicht zu sehr unterscheiden. Dabei toleriert der Mensch zu warme Fußböden und Wände sowie kühle Decken eher als kalte Wände und Heizdecken.

Für den Menschen angenehme Werte von Luft- und Oberflächentemperaturen hängen des Weiteren von seinem Aktivitätsgrad ab. So müssen in Gießereien nur Temperaturen von etwa 10...12 °C eingehalten werden, um für die Arbeiter einen behaglichen Raumzustand herzustellen. In Wohnräumen sollten Werte um die 20...22 °C, im Sommer auch Werte bis 24°C erreicht werden.

## Konvektive und strahlende Heizflächen

Die heute überwiegend eingesetzten Heizflächen übertragen Wärme an den Raum durch Konvektion (Lufterwärmung) und Strahlung (Umschließungsflächenerwärmung). Dabei schwanken die Strahlungs- und Konvektionsanteile bei den unterschiedlichen Systemen. Warmluftheizungen sind reine konvektive Heizsysteme, Wand- und Fußbodenheizungen haben einen hohen Strahlungsanteil. Eine Übersicht ist in Tabelle 5.2.6.1-3 gegeben.

Konvektionsanteil sinkt ↓	Warmluftheizung	↓ Strahlungsanteil steigt
	Konvektoren	
	Radiatoren	
	Plattenheizkörper	
	Wand- und Fußbodenheizung	
	Deckenstrahlungsheizung	

Tabelle 5.2.6.1-3 Konvektive und strahlende Heizsysteme

Der Anteil der Strahlung und Konvektion wird für alle Heizkörperheizungen durch den Heizkörperexponenten  $n$  ausgedrückt. Konvektoren haben Heizkörperexponenten von etwa 1,4 – für Wand- und Fußbodenheizungen gelten Werte um die 1,1. Der Heizkörperexponent ist ein Maß dafür, wie stark die Wärmeabgabe des Heizkörpers von der Übertemperatur abhängt. Je näher der Wert an 1,0 liegt, desto linearer hängen Wärmeabgabe der Heizflächen und die Heizkörperübertemperatur als Differenz zwischen mittlerer Heizwasser- und Raumlufttemperatur zusammen.

### 1. Heizkörper

Raumheizkörper sind das am häufigsten eingesetzte Wärmeabgabesystem im Wohn- und Nichtwohnbau. Ihr Einsatz empfiehlt sich in Räumen mit geringen Raumhöhen (keine Hallen), denn sie geben im Mittel etwa 75 % ihrer Wärme konvektiv ab.

#### Auslegungsgrundsätze

Für das Niedrigenergieniveau sind Plattenheizkörper (ggf. Radiatoren) und in eingeschränktem Maße auch Fußbodenheizungen typische Heizflächen. Es gilt auch im Niedrigenergiehaus (Wohn- und Nichtwohnbau), dass Heizkörper unter den Fenstern angebracht werden sollten, um die Kältestrahlung des Fensters auszugleichen.

Heizflächen (heute meist Plattenheizkörper) in Niedrigenergiegebäuden - oder allgemein in Gebäuden mit niedriger Heizlast - sollen neuen Empfehlungen zufolge (VDI 6030) mit den Auslegungstemperaturen 55/45 °C zur Abdeckung von Behaglichkeitsanforderungen ausgelegt werden. Diese Temperaturen sind zwar optimal für den Einsatz von Brennwerttechnik, erfordern aber große Heizflächen. Damit erhöht sich vor allem in größeren Gebäuden der Investitionsaufwand für die Heizkörper deutlich, wobei ein Wirtschaftlichkeitsnachweis über die Lebensdauer in vielen Fällen nur schwer zu führen ist. In der Praxis – mit immer seltener korrekt eingestellten Vorlauf-temperaturen und Pumpen – führen die großen Heizflächen nicht selten zu einem starken Überangebot an Wärme. Die Forderung, Heizkörperbreiten nach den vorhandenen Fensterbreiten zu wählen, sollte im Niedrigenergiegebäude oder besser gedämmten Bestandsgebäude nicht aufrecht erhalten werden.

Die konventionelle, bisher übliche Auslegung von 70 °C Vorlauftemperatur und 50 bis 55 °C Rücklauftemperatur für Netze mit Heizkörpern eröffnet in fast gleichem Ausmaße die Chancen der Brennwertnutzung bei kleineren Heizkörperdimensionen, gleicher Behaglichkeit, aber niedrigeren Investitionen. Weiterhin ergibt sich durch die große Temperaturspreizung ein kleinerer Volumenstrom und damit ein geringerer Aufwand an elektrischer Hilfsenergie für die Umwälzpumpe. Dies ist jedoch nicht bei den heute weitgehend eingesetzten Brennwertwandgeräten (Thermen) möglich, da diese einen Mindestumlaufheizwasserstrom benötigen.

Die Auslegung von Netzen mit Heizkörpern auf hohe Vorlauftemperaturen - vor allem im Mehrfamilienwohnbau - hat zusammen mit einer witterungsgeführten Vorlauftemperaturregelung den Vorteil, dass die Wärmeabgabe vom Nutzer unmittelbar gespürt wird. In Niedertemperaturnetzen mit Vorlauftemperaturen von 55 bis 50 °C am kältesten Tag erreichen die Heizflächen ab etwa 5 °C Außentemperatur keine Körpertemperatur mehr, obwohl sie natürlich heizen.

### **Bauformen und Leistungen**

Es gibt verschiedene Bauformen, die sich vorrangig durch unterschiedliche Anteile von Strahlungswärme und Konvektion unterscheiden. Man unterscheidet:

- Plattenheizkörper (Flachheizkörper),
- Gliederheizkörper (Stahl- und Gussradiatoren),
- Rohrradiatoren,
- Rippenrohrheizkörper und Handtuchheizkörper,
- Konvektoren und
- Sockelheizkörper (Fußleisten-Heizkörper).

Heizkörperleistungen sind je nach Bauform in einschlägiger Literatur oder in Herstellerunterlagen genormt. Die Messung und Dokumentation der Normleistung erfolgt nach der EN 442 bei 75/65/20 °C (Vorlauf-, Rücklauf-, Raumtemperatur). Frühere Normleistungsangaben bezogen sich auf die Temperaturpaarung 90/70/20 °C.

### **Leistungsminderung bei Heizkörpern**

In älteren Gebäuden kann die Heizleistung durch Einbau in Nischen vermindert sein, diese Anordnung sollte im heutigen Neubau nicht mehr zu finden sein. Im Zuge von Sanierungen lohnt es sich meist, in Nischen befestigte Heizkörper weiter in den Raum hinein zu versetzen und die Nischenwand zusätzlich zu dämmen.

Heizkörper direkt vor Fensterfronten sollten vermieden werden. Die geltende Energieeinsparverordnung schreibt allerdings keine Strahlungsschirme zur Verminderung der Wärmeverluste nach hinten vor - und begrenzt auch den Wärmedurchgangskoeffizienten der dahinterliegenden Scheibe nicht – so wie es die frühere Wärmeschutzverordnung tat.

Auch unterschiedliche Anschlussarten – gleichseitiger Anschluss von Vor- und Rücklauf, Lanzenventile, reitender Anschluss o.ä. – führen zu verminderten Normwärmeleistungen. Dies tritt bei den beiden zuletzt genannten Anschlussarten vor allem bei geringen Massendurchsätzen auf.

Weitere Leistungsminderungen können durch Verkleidungen und Abdeckgitter auftreten. Wegen der verminderten Zuströmung von Raumluft und der Verminderten freien Abstrahlfläche ist mit Leistungsverlusten von 5 bis 20 % zu rechnen. Dabei ist die Leistungsminderung von Heizkörpern durch Verbauung umso größer, je größer der Strahlungsanteil ist.

### Heizkörper im Teillastbetrieb

Der Teillastbetrieb von Heizkörpern kann im Auslegungsdiagramm für Heizkörper sehr gut nachvollzogen werden – siehe Bild 5.2.6.1-1. Dem Bild liegen physikalische Zusammenhänge der Wärmeabgabe von Heizflächen zugrunde. Es ist für alle Plattenheizkörper und Gliederheizkörper mit Heizkörperexponenten von etwa 1,3 universell einsetzbar.

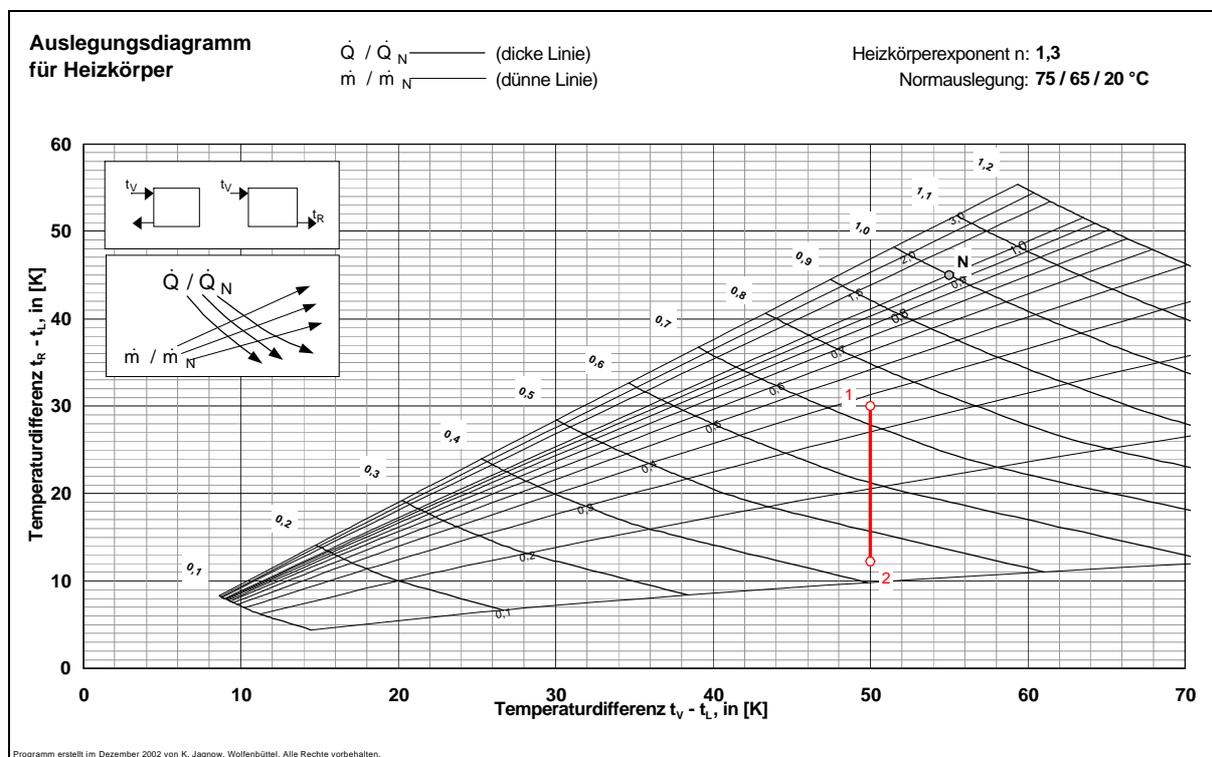


Bild 5.2.6.1-1 Auslegungsdiagramm für Heizkörper

Die Arbeit mit dem Diagramm funktioniert wie folgt: es gibt immer drei Punkte: den Normpunkt (75/65 °C), den Auslegungspunkt 1 (Volllast) und den Teillastpunkt 2 (Teillast).

Der gewünschte Auslegungspunkt wird in das Diagramm eingetragen. Hier soll eine Auslegung 70/50 °C vorliegen. Der Punkt "1" liegt daher bei  $t_V - t_L = 50$  K und bei  $t_R - t_L = 30$  K. Die Lufttemperatur beträgt 20°C. Man kann ablesen: der Heizkörper kann bei dieser Auslegung nur etwa 73 % der Leistung abgeben, die er unter Normbedingungen "N" abgegeben hätte. Dafür müssen auch nur etwa 37 % des Normmassenstroms fließen. Nun wird der Teillastpunkt "2" eingetragen. Die Leistung den Heizkörpers soll bei gleicher Vorlauftemperatur auf ca. 60 % des Auslegungswertes zurückgehen, weil Fremdwärme im Raum auftritt. Sie beträgt dann nur noch  $0,60 \cdot 0,73 = 0,44 = 44$  % der Normleistung und es fließen nur noch 13 % des Normmassen-

stroms. Der Massenstrom bei Teillast wurde also gedrosselt von 37 % auf 13 % – das entspricht einer Reduzierung auf 35 %.

## 2. Fußboden- und Wandheizung

Fußbodenheizungen geben ihre Wärme zu etwa zwei Dritteln durch Strahlung und einem Drittel durch Konvektion ab. Sie werden auch als Strahlungsheizungen bezeichnet.

### Systeme

Man unterscheidet unterschiedliche Systeme von Fußbodenheizungen. Grundsätzlich gibt es Nass- und Trocken-Systeme. Bei den Nass-Systeme liegen die Heizungsrohre oberhalb der Dämmschicht im Estrich, welcher flüssig ins Gebäude eingebracht werden muss. Die Heizrohre werden auf Trägermatten, Rosten, Stahlgeweben befestigt, direkt auf der Wärmedämmung verlegt oder auf Verlegeplatten eingespannt. Der Estrich (Heizestrich) verteilt die Wärme sehr gleichmäßig, es können zusätzlich Wärmeverteilbleche unterhalb der Rohre eingebracht werden.

Beim Trocken-System werden die Rohre in Schaumplatten verlegt und mit Trockenplatten abgedeckt. Trockensysteme haben geringere Aufbauhöhen und eignen sich daher besser für die Nachrüstung von Fußbodenheizungen in bestehenden Gebäuden.

Beide System sind in Bild 5.2.6.2-1 dargestellt.

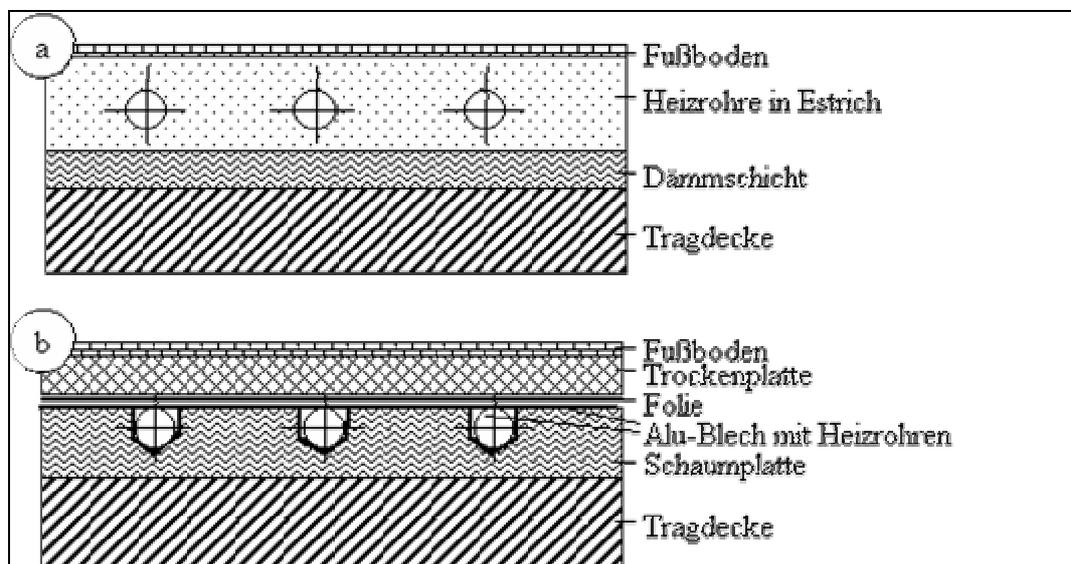


Bild 5.2.6.2-1 Nass (a)- und Trockensystem (b)

### Verlegearten

Leitungen von Fußbodenheizungen werden – wie in Bild 5.2.6.2-2 gezeigt – entweder mäanderförmig (schlangenförmig) oder bifilar (spiral- bzw. ringförmig) verlegt. Auch Mischformen der Verlegung sind üblich.

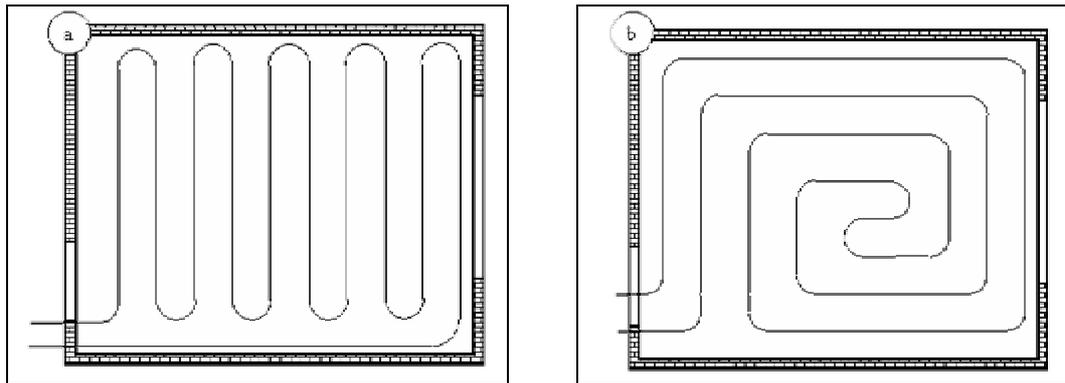


Bild 5.2.6.2-2 Mäanderförmige (a) und bifilare (b) Rohrverlegung

## Wärmeleistung

Die Wärmeleistung von Fußbodenheizungen richtet sich bei vorgegebener Raumtemperatur allein nach der Oberflächentemperatur der Fußbodenoberfläche. Einer bestimmten mittleren Übertemperatur des Fußbodens – vereinfacht:  $(t_v + t_R)/2$  – wird eine Leistung zugeordnet. Der allgemeine Zusammenhang lautet:

$$\dot{q}_{FBH} = 8,92 \cdot (\vartheta_{FB,Oberfläche} - \vartheta_{Luft})^{1,1} \quad \text{Gl. 1}$$

In dieser Gleichung findet sich auch der für Fußbodenheizungen in Kapitel 5.2.6.2. genannte Heizkörperexponent von 1,1 wieder. Die Wärmeleistung wird auf den Quadratmeter bezogen (in  $W/m^2$ ) bestimmt.

Die mit einer Fußbodenheizung erreichbaren Temperaturen an der Fußbodenoberfläche - und damit die Wärmeleistung - richten sich nach dem verwendeten System (Nass- oder Trocken-), den Wärmeleitwiderständen oberhalb und unterhalb der Rohrebene (Estrich, Trockenplatte, Bodenbelag), der Verlegedichte sowie der mittleren Heizwasserübertemperatur.

Liegen System und die Temperaturen für einen Raum fest, können in bestimmten Zonen, z.B. unter Fenstern höhere Wärmeleistungen erreicht werden, wenn die Rohre in höherer Dichte verlegt werden. Eine Auslegung erfolgt üblicherweise mit Diagrammen der Hersteller.

Die Wärmeabgabe und der Wärmefluss der Heizleitungen hängen davon ab, welche Wärmeleitwiderstände sich oberhalb und unterhalb der Rohrebene befinden. Daher ist darauf zu achten, dass oberhalb der Heizebene geringe Widerstände vorhanden sind. Wenigstens 90 % des Wärmeflusses soll nach oben abgegeben werden. Der Wärmeleitwiderstand des Fußbodenbelags soll nicht größer sein als  $R_{\lambda, B, \max} = 0,15$  ( $m^2K/W$ ).

## Maximale Temperaturen

Um eine hohe Behaglichkeit zu erreichen, sollen bei Fußbodenheizungen bestimmte maximale Oberflächentemperaturen nicht überschritten werden. Dies sind:

- für den Daueraufenthaltsbereich:  $\vartheta_{\text{FB,Oberfläche,max}} = 29^{\circ}\text{C}$
- für stärker beheizte Randzonen:  $\vartheta_{\text{FB,Oberfläche,max}} = 35^{\circ}\text{C}$
- für Bäder:  $\vartheta_{\text{FB,Oberfläche,max}} = \vartheta_i + 9 \text{ K}$

Aus diesen Randbedingungen lässt sich sehr schnell ableiten, welche maximalen Leistungen eine Fußbodenheizung bei Auslegung decken kann: Geht man von einer Raumtemperatur von  $20^{\circ}\text{C}$  aus, können Daueraufenthaltsbereiche mit Leistungen bis zu  $100 \text{ W/m}^2$  und Randzonen bzw. Bäder mit bis zu  $175 \text{ W/m}^2$  Heizlast mit Fußbodenheizungen ausgestattet werden.

### Fußbodenheizungen im NEH

Für Fußbodenheizungen gelten die Zusammenhänge für Vorlauf-, Rücklauftemperatur und Temperaturspreizung ebenso. Je höher die Spreizung, desto geringer der umzuwälzende Heizwassermassenstrom und damit die Betriebskosten für die Pumpe. Es können in Netzen mit Fußbodenheizungen geringere Leitungslängen verlegt werden, wenn das Temperaturniveau insgesamt höher ist - obwohl aus Komfortgründen hier natürliche Grenzen gesetzt sind. In diesem Fall muss die Verlegedichte höher gewählt werden.

Kritisch sind die nachfolgend beschriebenen Zusammenhänge zu sehen:

Niedrigenergiegebäude mit sehr guter Wärmedämmung weisen eine extrem niedrige Heizlast auf. Diese kann durch einen großen Verlegeabstand oder sehr niedrige Heizwassertemperaturen erreicht werden. Durch die bei Fußbodenheizungen vorgegebene Fläche besteht nur in begrenztem Maße die Möglichkeit, den Verlegeabstand der Rohrleitungen im Fußboden zu vergrößern. Die in Normen vorgegebenen maximalen Verlegeabstände sind außerdem so zu wählen, dass noch mit einer gleichmäßigen Wärmeverteilung im Boden gerechnet werden kann. Somit besteht für die Wärmeabgabe bei sehr kleinen Heizlasten im NEH eine Grenze, die zu sehr geringen Vorlauftemperaturen führt und damit die Gefahr, Behaglichkeitsgrenzen zu unterschreiten.

Auch sollte der Einsatz von Flächenheizsystemen (Fußbodenheizung) in Räumen mit stark besonnten Fensterflächen genauestens bedacht werden. Nach Schweizer Untersuchungen sollte das Verhältnis Fensterfläche eines Südraumes zur Bodenfläche des Raumes kleiner oder höchstens gleich 25 % sein.

### Wandheizung

Wandheizungen können analog zu Fußbodenheizsystemen betrachtet werden. Es ist darauf zu achten, dass die Flächen hinter der Heizebene besonders gut gedämmt ist und die wärmeabgebende Fläche nicht durch Möbel verbaut ist. Vor allem deshalb haben Wandheizungen keine sehr weite Verbreitung gefunden.

### Sonderformen der Flächenheizung (Überarbeitung von [DWD Schlapmann])

Zur Beheizung von Hallen und Fabriken eignen sich Industriebodenheizungen. Sie bieten eine sehr gleichmäßige Wärmeabgabe innerhalb des Aufenthaltsbereiches. Durch die oft sehr großen Raumhöhen, hohe innere Lasten, Luftströmungen von Lüftungsanlagen und anderen Einflussgrößen muss die Wärmeleistung aufwändiger

berechnet werden. Der in Gleichung 1 gezeigte Zusammenhang gilt in den seltensten Fällen.

Da Industriefußböden sehr stark beansprucht werden, sind sie oftmals mit zwei Bewehrungsebenen im vergossenen Zementboden ausgeführt. Es hat sich als praktikabel erwiesen, die Heizrohrleitungen direkt unter der oberen Bewehrungsebene im Zement zu verlegen. So kann eine gute Wärmeverteilung sowie eine hohe Heizleistung bei gleichzeitiger hoher Festigkeit, Montagefreundlichkeit und Sicherheit erreicht werden. Die Rohre haben einen definierten Abstand zur Oberfläche, was sich bei Bohrarbeiten im Boden als günstig erweist.

Eine weitere Sonderform der Flächenheizungen sind die Sportbodenheizungen. Sportböden werden sehr elastisch ausgeführt. Die darunter liegenden Heizrohre werden üblicherweise in Systemplatten mit Wärmeleitblechen verlegt. Weil die oberhalb der Rohrebene liegenden Schichten (Elastikschicht, Linoleum, Parkett o.ä.) einen hohen Wärmeleitwiderstand aufweisen, müssen ggf. höhere Temperaturen gefahren werden. Aber es stellt sich eine sehr gleichmäßige Temperaturverteilung auf der Oberfläche ein.

Freiflächenheizungen werden zur Enteisung bzw. Schneeschmelze von Wegen und Zufahrten im Freien eingesetzt. Sie sollen die entsprechenden Oberflächen auf Temperaturen zwischen 0 °C und 3 °C temperieren. Die Auslegung hängt von diversen Faktoren ab :

- Windgeschwindigkeit,
- minimale Außentemperatur,
- Abstrahlung und Sonneneinstrahlung,
- Einfluss der latenten Schmelzwärme,
- Einfluss von Verdunstungswärme,
- Wärmeabgabe an den Untergrund sowie
- Berücksichtigung von andauernden Schneefällen.

Praxiserfahrungen haben gezeigt, dass für Rampen, Fahr- und Gehwege Auslegeleistungen von 150 ... 300 W/m<sup>2</sup> zu wählen sind, für Gras- und Sand sportplätze sowie Tribünen 50 bis 150 W/m<sup>2</sup> ausreichen und für Rasen- und Steinparkplätze im allgemeinen 120 bis 150 W/m<sup>2</sup> benötigt werden.

### **3. Luftheizung**

Luftheizungen werden im Wohn- und Nichtwohnbereich eingesetzt. Sie übertragen die gesamte Wärme, die zur Heizung notwendig ist mit dem eingebrachten Luftstrom. Da Luft ein schlechter Wärmespeicher ist, müssen große Massenströme zur Deckung geringer Lasten umgewälzt werden. Dies führt in allen Luftheizungen zu hohen Energiekosten.

Luftheizungen können im Außenluftbetrieb, Umluftbetrieb oder Mischluftbetrieb eingesetzt werden. Sofern der Betrieb mit reiner Außenluft vorgesehen ist, sollte aus Gründen der Energieeinsparung an eine Wärmerückgewinnung gedacht werden. Umluft- und Mischluftheizungen werden heute fast ausschließlich im Nichtwohnbau eingesetzt.

## Luftheizung im Wohnbau

Früher wurden Luftheizungen im Wohnungsbau oft mit einem zentralen Einzelofen oder Kachelofeneinsatz als Umluftheizung betrieben. Der Luftumtrieb erfolgte – aufgrund der hohen Vorlauftemperaturen von bis zu 70 °C - im Schwerkraftumlauf. Heute werden fast ausschließlich ventilatorbetriebene Systeme verwendet.

Luftheizungen werden heute im Wohnbau meist nur in Gebäuden mit sehr geringen Heizlasten eingesetzt. Wirtschaftlich vertretbar sind sie in Gebäuden, in denen bei Einsatz einer Luftheizung auf ein konventionelles Heizsystem verzichtet werden kann. Dies sind in der Regel Passivhäuser. Die Luftheizanlagen sind dann mit Wärmerückgewinnung und (meist elektrischem) Nachheizregister sowie ggf. mit Abluft/Zuluft-Wärmepumpen ausgestattet. Wird der hygienische Mindestluftwechsel für Wohngebäude von etwa 0,4 h<sup>-1</sup> herangezogen, dann kann bei Zulufttemperaturen bis maximal 50 °C eine Heizlast von etwa 10 W/m<sup>2</sup> gedeckt werden.

## Luftheizung im Nicht-Wohnbau

Im Nichtwohnbau kommen Luftheizungen zum Beispiel als Hallenheizung zum Einsatz. Nachteil dieses Heizsystems ist der bereits oben genannte hohe Energieverbrauch für den Lufttransport. Luftheizungen eignen sich daher – wirtschaftlich betrachtet – vor allem in Hallen, die sowieso entsprechend gut belüftet werden müssen. Anderenfalls sind Strahlungsheizungen zu empfehlen, mit denen Wärme punktuell eingebracht werden kann.

In sehr großen Räumen kann bei ungünstiger Luftführung eine starke Luftschichtung unter der Decke erfolgen. Dies ist möglichst aus Energiespargründen zu vermeiden.

## Anordnung der Zuluftdurchlässe

Bei der Wahl der Zuluftdurchlässe ist vor allem auf die resultierende Raumströmung zu achten. Es müssen ausreichende Luftaustrittsgeschwindigkeiten zur Durchmischung der Luft mit der Raumluft gegeben sein. Andererseits darf es nicht zu Zugscheinungen kommen. Vorgewärmte Luft sollte in Nähe der Fenster eingebracht werden, um Kaltlufteinfall in den Raum zu verhindern.

## 4. Strahlungsheizung

Strahlungsheizungen geben ihre Wärme zu über 70 % als Infrarotstrahlung ab. Damit heizen sie alle bestrahlten Flächen auf, die dann ihrerseits die Wärme konvektiv an die Luft abgeben. Strahlungsheizungen sind sehr gut zur Schnellaufheizung geeignet. Typische Einsatzgebiete von Strahlungsheizungen sind Industriehallen, Sportbauten und Werkstätten. Sie werden grundsätzlich in Hell- und Dunkelstrahler unterschieden.

Dunkelstrahler verwenden als Heizmittel Heißluft mit Temperaturen von 150 ... 300 °C. Die Luft wird durch abstrahlende Platten oder Rohre geleitet. Die Strahlung ist nicht sichtbar.

Hellstrahler sind mit Gas betriebene Geräte, die das heiße Abgas der Verbrennung nutzen. Die wärmeabgebenden Teile – meist Keramik- oder Metallplatten – sind sichtbar glühend. Sie benötigen keine Abgasführung und können auch als mobile

Geräte (mit Gasflasche) verwendet werden.

Deckenstrahlplatten werden ggf. auch mit Wasser als Wärmequelle betrieben. Dabei sind Temperaturen unter 100 °C üblich. Aufgrund der geringeren Temperaturen muss dieses System großflächiger verlegt werden.

Da sowohl Hell- als auch Dunkelstrahler mit sehr hohen Temperaturen betrieben werden und die Strahlungstemperatur sich in der vierten Potenz vom Abstand zur Strahlungsquelle ändert, ist auf einen genauen Einbauabstand zur bestrahlten Fläche zu achten. Bei zu großer Nähe zur Strahlungsquelle kann es für Personen zu thermischer Unbehaglichkeit kommen. Bei zu großen Entfernungen zur Strahlungsquelle können nur noch geringe Temperaturen erreicht werden.

### **5. Thermostatventile und Regelverhalten**

Die heute am weitesten verbreitete Heizung ist die Wasserheizung mit Heizkörpern. Ein Heizkörper kann nicht ohne das Regelsystem umfassend betrachtet werden. Die übliche Kombination besteht aus der wärmeübertragenden Fläche (=Heizkörper) und dem thermostatischen Heizkörperventil als Regler ohne Hilfsenergie. Ventilheizkörper fassen beide Komponenten mit steigender Marktbedeutung zusammen.

Richtige Planung und Auslegung von thermostatischen Heizkörperventilen ist die Grundlage für eine gleichmäßige Versorgung aller Verbraucher und die damit eng in Verbindung stehende Einhaltung der Rücklauftemperatur, z.B. in Nah- und Fernwärmesystemen.

Thermostatventile gibt es mit und ohne Möglichkeit der Voreinstellung. Die Voreinstellung ist ein variabler Festwiderstand, der zum hydraulischen Abgleich des Netzes verwendet werden kann. Jedem Heizkörper kann so der Volumenstrom zugeordnet werden, den er laut Heizlastberechnung benötigt.

Durch die niedrigen Heizlasten und Volumenströme im Niedrigenergiegebäude oder im gut sanierten Bestand sind sehr kleine, unter Umständen am Markt nicht verfügbare thermostatische Heizkörperventile erforderlich. Oft müssen feinsteinstellbare Ventile verwendet werden, die zusätzlich sehr stark voreingestellt werden. Die Kennlinien eines voreinstellbaren Ventils dieser Bauart zeigt Bild 5.2.6.5-1.

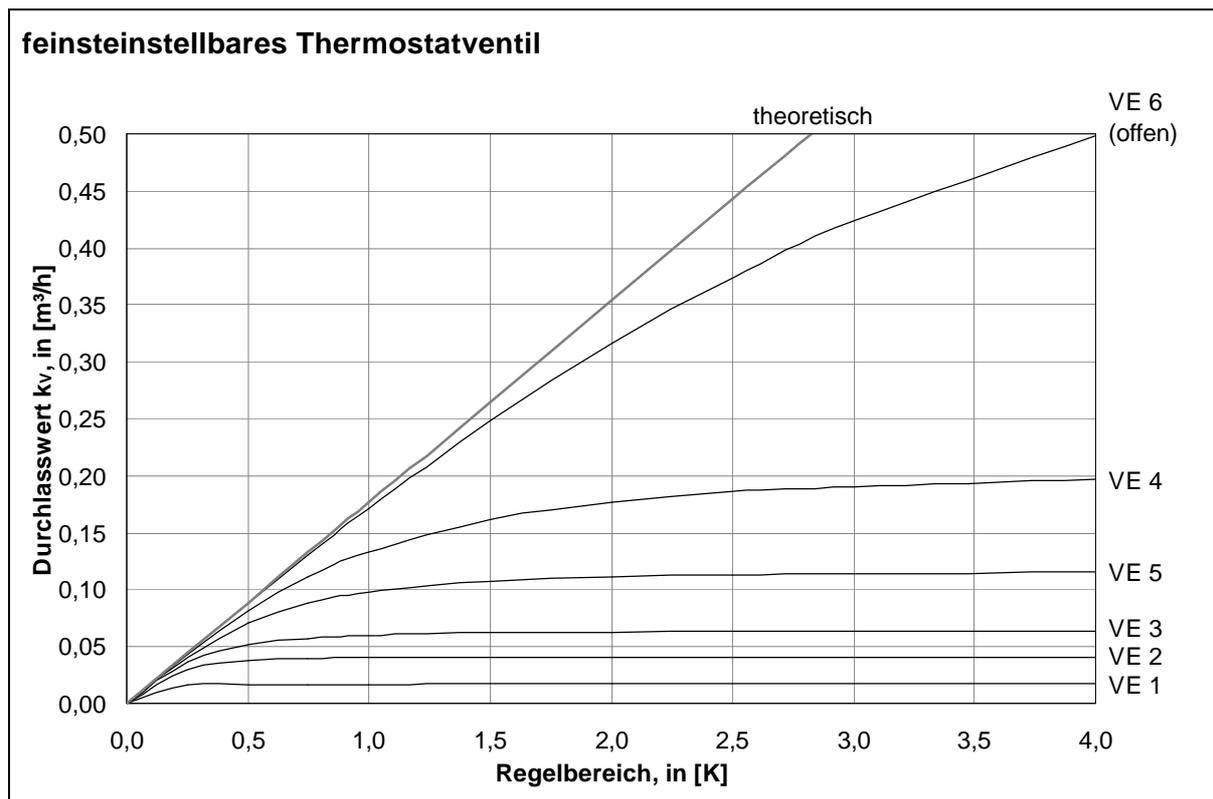


Bild 5.2.6.5-1 Feinsteinstellbares Thermostatventil mit unterschiedlichen Voreinstellungen (VE)

Für den Niedrigenergiehausbereich mit Heizlasten um die  $40 \text{ W/m}^2$  und Temperaturspreizungen zwischen Vor- und Rücklauf von etwa  $15 \text{ K}$  ergeben sich – je nach Druckerhöhung der Pumpe – Durchlasswerte von etwa  $0,02 \dots 0,15 \text{ m}^3/\text{h}$ . Bei einem üblichen Regelbereich der Ventile von  $1$  bis  $2 \text{ K}$  liegt die Auslegung immer in der unteren linken Ecke, d.h. im Bereich der stark gekrümmten bis waagerechten Kennlinien. In diesem Bereich weicht das Regelverhalten des Ventils deutlich von der theoretischen – idealen – Kennlinie des Ventils ab. Dies führt tendenziell zum Zweipunktverhalten. Das bedeutet: unterhalb der Solltemperatur ist das Ventil voll offen, leicht darüber voll geschlossen. Es kann zum ständigen Öffnen und Schließen kommen.

Die Forderung bei der Wahl von Thermostatventilen für das Niedrigenergiehaus lautet: es sollten Ventile mit möglichst kleinen Durchlasswerten und einer möglichst proportionalen Grundkennlinie (im Bereich von  $0,5$  bis  $1,5 \text{ K}$ ) eingebaut werden.

Für die Modernisierung vorhandener Netze kommt oftmals nur der Austausch von Thermostatventilen in Frage, vor allem wenn die vorhandenen Ventile früher übliche sehr große Durchlasswerte aufweisen oder nicht voreinstellbar sind.

Zwei weitere Größen zur Beurteilung der Raumtemperaturregelung sind die Ventilautorität  $a_v$  des THKV und der Wärmeübertragerkennwert  $a$  der Heizfläche.

Die **Ventilautorität**  $a_v$  ist das Verhältnis von Druckabfall über dem Thermostatventil  $\Delta p_{\text{THKV}}$  zum maximal verfügbaren Druck  $\Delta p_{\text{verfügbar}}$ . Der verfügbare Druck kann auch ausgedrückt werden als Summe des Druckabfalls über dem Ventil  $\Delta p_{\text{THKV}}$  und dem restlichen Netz  $\Delta p_{\text{Netz}}$ . Fließt im Netz kein Wasser, d.h. es sind alle Thermostatventile geschlossen, liegt am Ventil der maximal verfügbare Druck an.

$$a_v = \frac{\Delta p_{\text{THKV}}}{\Delta p_{\text{Verfügbar}}} = \frac{\Delta p_{\text{THKV}}}{\Delta p_{\text{THKV}} + \Delta p_{\text{Netz}}}$$

Gl. 2

Der maximal verfügbare Druck wird durch die Pumpe vorgegeben, ggf. auch durch einen eingesetzten Differenzdruckregler oder ein Überströmventil. Der Druckabfall im Netz wird bestimmt durch Leitungslängen und Einbauten zwischen Pumpe und Ventil.

Das Regelverhalten ist umso besser, je höher die Ventilautorität  $a_v$  ist. Sie kann maximal 1,0 werden, wenn der Druckabfall im restlichen Netz vernachlässigbar klein ist. In diesem idealen Fall verhalten sich Ventilhub und der durch das Thermostatventil fließende Volumenstrom proportional zueinander. Bei 50 % geschlossenem Ventil fließen nur noch 50 % des maximalen Volumenstroms.

Je kleiner die Ventilautorität  $a_v$  wird, desto mehr weicht das Betriebsverhalten des Ventils von der Linearität ab. Deutlich zu erkennen sind die Zusammenhänge in Bild 5.2.6.5-2, dort im I. Quadranten. Bei einem zu 50 % geschlossenem Ventil fließen bei der gezeichneten Ventilautorität immer noch 75 % des maximalen Volumenstroms. Die merkliche Verminderung des Volumenstromes wird in den unteren Hubbereich verschoben.

In der Praxis hat sich bewährt, die **Ventilautorität** für den im Netz am hydraulisch ungünstigsten gelegenen Heizkörper **nicht kleiner als  $a_v = 0,30$**  zu wählen. Hydraulisch ungünstig heißt: der Druckverlust in den Vor- und Rückleitungen ist für diesen Heizkörper am größten verglichen mit allen anderen Heizkörpern. Meist ergibt sich der höchste Druckverlust bei dem Heizkörper, den am weitesten von der Pumpe entfernt ist und die längste Leitungslänge aufweist. Alle anderen, hydraulisch günstiger gelegenen Heizkörper weisen dann bessere (größere) Ventilautoritäten auf, weil die Netzdruckverluste kleiner sind, die Pumpendruckhöhung aber gleich bleibt.

Der **Wärmeübertragerkennwert  $a$**  einer Heizfläche (auch Flächenheizung) ist das Verhältnis der Temperaturspreizung zwischen Vor- und Rücklauf am kältesten Tag  $\vartheta_{V,A} - \vartheta_{R,A}$  zur Vorlaufübertemperatur  $\vartheta_{V,A} - \vartheta_L$  ( $\vartheta_L$  ist die Temperatur im Raum). Er wird - bei vorgegebener Übertemperatur des Heizkörpers - größer, wenn die Spreizung zunimmt.

$$a = \frac{\vartheta_{V,A} - \vartheta_{R,A}}{\vartheta_{V,A} - \vartheta_L}$$

Gl. 3

Das Regelverhalten der Heizfläche ist umso besser, je höher der Wärmeübertragerkennwert  $a$  ist. Er kann im besten Fall 1,0 betragen. In diesem idealen Fall verhalten sich der Volumenstrom durch den Heizkörper und seine Leistungsabgabe proportional zueinander. Bei 50 % des fließenden Volumenstroms wird nur noch 50 % der maximalen Leistung abgegeben.

Je kleiner der Wärmeübertragerkennwert  $a$  wird, desto mehr weicht das Betriebsverhalten des Heizkörpers von der Linearität ab. Auch dieser Zusammenhang ist Bild 5.2.6.5-2 dargestellt, dort im II. Quadranten. Dargestellt ist etwa die 90/70 °C Auslegung. Bei einer Reduzierung des Volumenstroms auf 25 % des Auslegungswertes wird immer noch 50 % der maximalen Leistung abgegeben. Eine Verminderung der Leistungsabgabe erfolgt erst bei sehr kleinen Volumenströmen.

Um eine einigermaßen gute Regelbarkeit zu gewährleisten, sollte der **Wärmeübertragerkennwert  $a$**  für den thermisch ungünstigsten Heizkörper so groß wie möglich sein, jedoch **größer oder gleich 0,2**. Thermisch ungünstig heißt: dieser Heizkörper benötigt die höchste Übertemperatur zu Deckung der Raumheizlast, weil er am wenigsten überdimensioniert ist. Eine hohe Übertemperatur ergibt sich bei vorgegebener Vorlauftemperatur nur bei einer ebenfalls recht hohen Rücklauftemperatur. Die Spreizung zwischen beiden Werten ist gering. Der Wärmeübertragerkennwert ist schlecht. Alle anderen, thermisch günstigeren Heizkörper weisen eine größere Überdimensionierung auf. Hier werden geringere Übertemperaturen benötigt, es stellen sich niedrigere Rücklauftemperaturen ein. Die Wärmeübertragerkennwerte sind besser.

Das Zusammenspiel zwischen der Regelbarkeit des Ventils (Ventilautorität) und der Heizflächen (Wärmeübertragerkennwert) ist im mehrfach angesprochenen Bild 5.2.6.5-2 dargestellt.

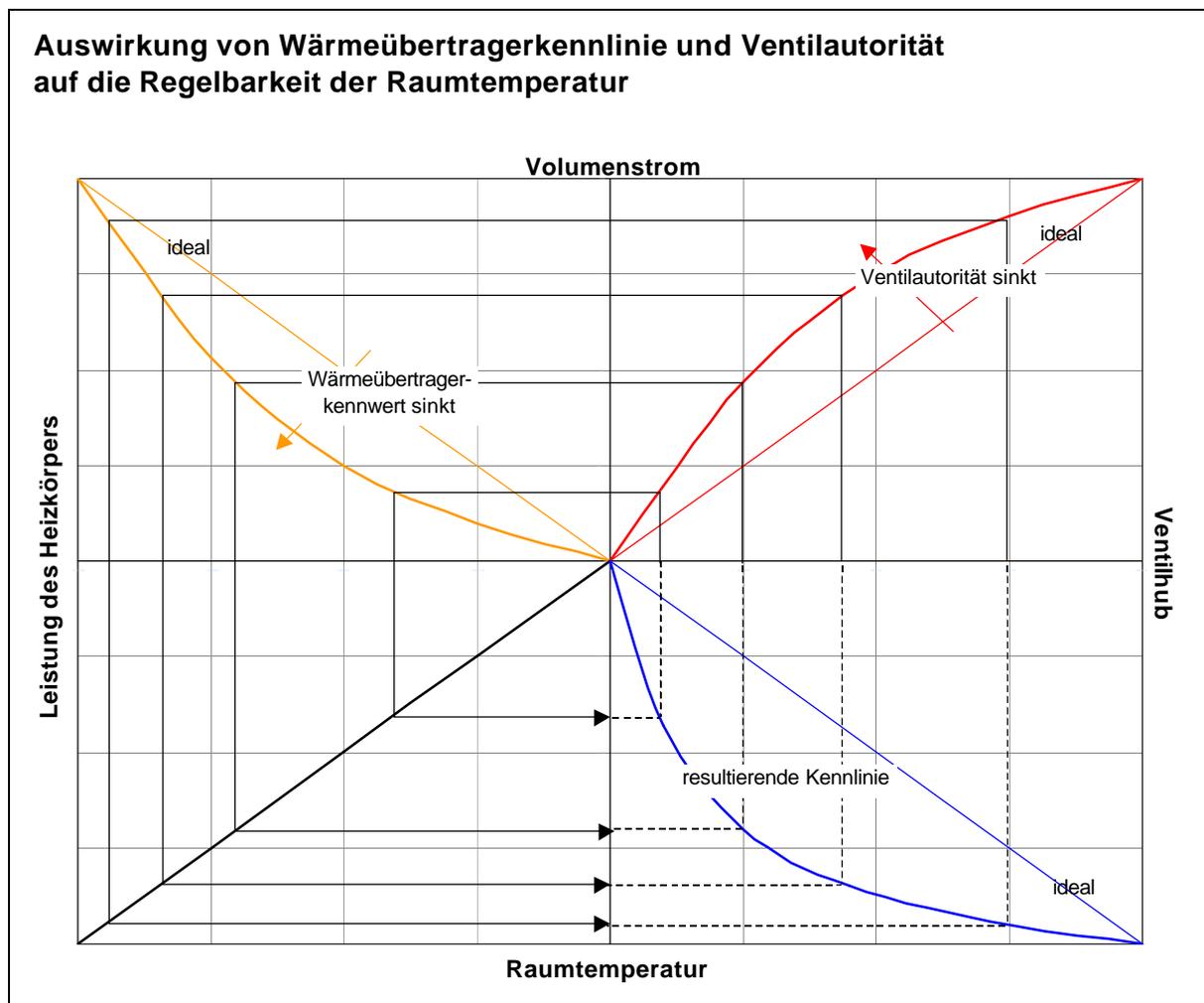


Bild 5.2.6.5-2 Auswirkungen unterschiedlicher Ventilautorität und unterschiedlicher Wärmeübertragerkennwerte auf die Regelbarkeit

Das Bild zeigt in seinem IV. Quadranten den Zusammenhang zwischen dem Ventilhub und der sich einstellenden Raumtemperatur. Man sieht deutlich: weil im realen Betrieb weder für die Ventilautorität noch für den Wärmeübertragerkennwert die idea-

len (linearen) Kennlinien erreicht werden können, ergibt sich eine sehr stark durchgebogene Kurve. Ein Schließen des Thermostatventils bewirkt zunächst fast keine Minderung der Raumtemperatur. Erst im unteren Viertel des Hubbereiches beginnt die eigentliche Regelung. Die Effekte der geringen Ventilautoritäten und geringen Wärmeübertragerkennwerte können sich derart verstärken, dass praktisch nur noch eine Zweipunktregelung möglich ist.

## 6. Qualitätssicherungsmaßnahmen

Die Wahl der Heizflächen wird ganz wesentlich auch von der Art des Wärmeerzeugers und damit dem verfügbaren und energetisch sinnvollen Temperaturniveau sowie der Art der Nutzung bestimmt. Bestimmte Übergabesysteme haben sich für einzelne Anwendungen etabliert. Diese Praxiserfahrung sollte bei der Neu- und Umplanung beachtet werden.

Ist die Wahl für ein Wärmeübergabesystem erfolgt, sollten im Rahmen der Qualitätssicherung und Energieeinsparung folgende Daten erst geplant und dokumentiert werden, damit der spätere Einbau entsprechend erfolgen kann:

- Typ und Größe der Heizfläche für jeden Raum,
- Temperaturniveau der zugrundeliegenden Vorlauftemperatur und
- Typ und Einstellwert des Reglers (z. B. Thermostatventil).

### Heizkostenerfassung im NEH

Zur Qualität eines Gebäudes zählt ohne Zweifel auch die Art und Möglichkeit der Heizkostenerfassung. Der verbrauchsabhängige Anteil an den Gesamtheizkosten nimmt im Niedrigenergiehaus stetig bis auf Werte von 10 bis 25 % ab. Das heißt 75 bis 90 % der Kosten sind Kapital- und Wartungskosten.

Die Dienstleistung "Heizkostenerfassung" bei Niedertemperaturlösung von Heizflächen verteuert sich wegen des notwendigen Einsatzes elektrischer Heizkostenverteiler und kann in Einzelfällen den verbrauchs- bzw. brennstoffabhängigen Heizkostenanteil sogar übersteigen. Die alternative wohnungsweise Wärmemengenerfassung, z.B. mit einem Wärmemengenzähler, führt ebenfalls zu erhöhten Kosten, sowohl in der Investition als auch im Betrieb, da Wärmemengenzähler einen nicht vernachlässigbaren Druckverlust erzeugen, der von der Pumpe als elektrische Hilfsenergie zusätzlich aufgebracht werden muss. Für kleine Volumenströme, wie sie in heutigen Niedrigenergiehauswohnungen auftreten, sind die kleinsten, heute am Markt angebotenen Wärmemengenzähler noch zu groß.

Aufgrund der vagabundierenden Wärmeströme zwischen den nicht gedämmten Wänden verschiedener Wohnungen und aufgrund des unterschiedlichen Fremdwärmeanfalles durch Sonnenstrahlung und innere Wärmequellen entstehen Verbrauchsunterschiede zwischen den Wohneinheiten bzw. Nutzeinheiten.

Aber auch bei einem echten Niedrigenergiehaus-Niveau wird ein großer Teil der Gesamtenergieaufwendungen nur zur Aufrechterhaltung der Betriebsbereitschaft verwendet (Deckung der Speicherverluste, Verteilverluste, Erzeugerverluste). Die über Warmwasserzähler oder Heizkostenverteiler abgerechneten Nutzwärmemengen nehmen mit besserem energetischen Standard ab, während der Anteil der Fremdwärme zur Deckung der Wärmeverluste zunimmt.

Für das echte Niedrigenergiehaus sollte auch die flächenbezogene Heizkostenverteilung in Erwägung gezogen werden. Sie kann einen wesentlichen Beitrag zur Kostendämpfung im Wohnungsbau beitragen. Mit dem Übergang auf das Passivhausniveau in den nächsten 10 bis 15 Jahren gewinnt der Einsatz von Wohnungslüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung an Bedeutung. Herkömmliche Verbrauchserfassungssysteme verlieren spätestens dann an Bedeutung.

Quelle: K. Jagnow und D. Wolff  
Manuskript für "Der Energieberater"  
Verlag Deutscher Wirtschaftsdienst, Köln, 2003-2009