

Überblick Heizungsregelung und Hydraulik

Eine Wärmeversorgungsanlage (für Heizwasser oder Trinkwarmwasserlieferung) kann nur energiesparend und komfortabel betrieben werden, wenn grundlegende Anforderungen der Regelung und Hydraulik bedacht werden. Diese sollen nachfolgend erläutert werden. Hinweise gibt auch die VDMA-Richtlinie 24199.

Als Regelung werden alle Bauteile einer Heizungsanlage zusammengefasst, die die Aufgabe haben, bestimmte vorgegebene Sollwerte (zumeist Temperaturen) einzuhalten. Zu den Elementen der Regelung zählen z.B. die Thermostatköpfe von Thermostatventilen, die witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung sowie die Pumpenregelung. Allgemein kann in zentrale und dezentrale Regelkreise unterschieden werden.

Aus Sicht der Hydraulik wird eine Wärmeversorgungsanlage in den Wärmeerzeugerteil, das Wärmeverteilnetz und den Wärmeverbraucherteil gegliedert. Eine andere Systematik unterscheidet zwischen Einfach- und Mehrkreisschaltungen. Letztere werden typisch durch eine hydraulische Entkopplung in den Erzeuger- und in den Verteil- bzw. Verbrauchernetzteil unterschieden. Für alle drei Bestandteile einer Anlage gelten bestimmte Grundregeln der Hydraulik, die bei der Neuplanung, aber auch bei der nachträglichen Optimierung beachtet werden sollten.

1. Grundlagen Hydraulik

Wichtigste Grundlagen zum Verständnis hydraulischer Probleme werden in folgenden Schlagworten zusammengefasst: hydraulischer Widerstand und k_v -Wert, Reihen- und Parallelschaltung, Pumpen- und Netzkennlinie.

Die Komponenten eines hydraulischen Netzes sind miteinander in Analogie zur Elektrotechnik verschaltet, in Reihen- oder Parallelschaltungen. Reihenschaltungen bewirken die Erhöhung des Widerstandes bei gleich bleibendem Wasserstrom (Erhöhung des erforderlichen Differenzdruckes), Parallelschaltungen bewirken bei gleichem Differenzdruck eine Verminderung des Widerstandes (größerer Wasserstrom). Zusätzlich treten in größeren Netzen, z.B. in Fernheiznetzen, auch vermaschte Netze auf, bei denen weder Reihen- noch Parallelschaltungen vorhanden sind; ähnlich wie analog in der Elektrotechnik bei der Wheatstoneschen Brückenschaltung auch keine reine Reihen- oder Parallelschaltung vorhanden ist.

Alle Bauteile (Rohre, Bögen, Filter, Klappen usw.) haben einen charakteristischen hydraulischen Widerstand. Der Druckverlust hängt – anders als in der Elektrotechnik – bei turbulenter Strömung annähernd quadratisch vom Wasservolumenstrom ab.

Für Ventile und einige andere Bauteile (Wärmemengenzähler, Klappen, Hähne) wird der hydraulische Widerstand vom Hersteller gemessen. Er wird indirekt als so genannter k_v -Wert angegeben. Dieser Durchflusswert gibt an, wie viel Wasser (in m^3/h) durch das Bauteil strömt, wenn es mit einem Differenzdruck von 1 bar beaufschlagt wird. Aus dieser Angabe lassen sich die Betriebswerte für die reale Anlage bestimmen. Vereinfacht gilt ohne Berücksichtigung der Temperaturabhängigkeit der Dichte:

$$\frac{\dot{V}}{k_v} = \sqrt{\frac{\Delta p}{1 \text{ bar}}}$$

Beispiele: die Herstellerangabe für ein Thermostatventil lautet $k_v=0,2 \text{ m}^3/\text{h}$. Wenn der Heizkörper nur $0,1 \text{ m}^3/\text{h}$ Wasser benötigt, dann darf nur ein Differenzdruck von $0,25 \text{ bar}$ am Ventil zur Verfügung stehen. Steht mehr zur Verfügung, fließt auch mehr. Oder, wenn am Heizkörper $0,25 \text{ bar}$ Differenzdruck zur Verfügung stehen und $0,1 \text{ m}^3/\text{h}$ Wasser benötigt werden, muss ein Ventil mit $k_v=0,2 \text{ m}^3/\text{h}$ gewählt werden.

Bei Drosselementen, Regulierventilen und bei Thermostatventilen mit Voreinstellmöglichkeit können für jede Einstellung/Stufe auch mehrere k_v -Werte vom Hersteller angegeben werden.

Eine Netzkennlinie ist der funktionale Zusammenhang des Druckverlustes in Abhängigkeit des Volumenstroms; nicht für ein einzelnes Bauteil, sondern für das gesamte (verschaltete) Netz. Entsprechend ist die Pumpenkennlinie das Gegenstück für die Pumpe – wie viel Differenzdruck kann die Pumpe aufbauen, wenn sie einen bestimmten Volumenstrom fördert, siehe Bild 5.2.10.1-1

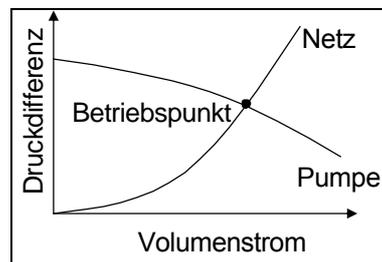


Bild 5.2.10.1-1 Pumpen- und Netzkennlinie

Netzauslegung im Überblick

Die Netzauslegung soll im Überblick an Bild 5.2.10.1-2 erläutert werden, zunächst für eine Neuplanung mit frei wählbaren Komponenten. Ausgelegt werden Rohre und Komponenten, Pumpe und Ventile.

Zunächst ist der ungünstigste Kreislauf der Anlage festzustellen, der Kreis mit dem höchsten hydraulischen Widerstand (Druckverlust), z.B. weil er am weitesten von der Pumpe (Zentrale) entfernt ist: Schlechtpunkt. Im Bild ist dies der Kreis von der Pumpe zum Heizkörper 1, über den Kessel zurück zur Pumpe. Der Kreis ist gedanklich abgewickelt in der Bildmitte als Diagramm des Druckverlaufs dargestellt. Man sieht die Druckverluste der Komponenten als mehr oder weniger starkes Gefälle und die Pumpe als (einzige) Steigung.

Die Netzauslegung und Berechnung beginnt für den ungünstigsten Verbraucher (Schlechtpunkt) mit der Bestimmung aller Druckverluste durch die Rohrleitungen und Komponenten (Filter, Heizkörper, Kessel) – Strecken "a". Der Volumenstrom muss aus einer Heizlastberechnung bekannt sein. Die Druckverluste lassen sich bei einer Neuplanung durch entsprechende Wahl der Bauteile nach oben oder unten beeinflussen.

Sind alle Druckverluste bis auf die des Thermostatventils bekannt, wird dieses gewählt. In den meisten Fällen sinnvoll hat es etwa 50 %...100% des Druckverlustes, den die restlichen Komponenten zusammen aufweisen (30 ... 70 % des Gesamtdruckverlustes – im Bild hat die vertikale Höhe der Strecke "b" etwa 1/3 der Höhe von Strecke "c"). Zuletzt liegt somit fest, wie hoch der Förderdruck der Pumpe sein muss – vertikale Höhe der Strecke "c" im Bild 5.2.10.1-1.

Auch für den zweiten Heizkörper wird ein Druckverlustdiagramm erstellt. Hier liegt ein Teil der Druckverluste schon fest – die Rohrstrecken und Bauteile, die auch im Kreis des Heizkörpers 1 vorhanden waren. Auch die Pumpe liegt fest – Strecken "d" im Bild 5.2.10.1-1 unten. Anschließend werden wiederum die Druckverluste der restlichen Rohrleitungen und Komponenten im Kreis 2 bestimmt – Strecken "e". Es bleibt nun eine Strecke übrig: die Strecke "f", der Druckverlust des Thermostatventils. Es muss für diesen Heizkörper ein Thermostatventil gewählt werden, welches bei einem bestimmten festgelegten Differenzdruck eine bestimmte festgelegte Heizwassermenge durchlässt. Der k_v -Wert des Ventils wird hieraus ermittelt.

Das Prinzip der Rohrnetzrechnung lässt sich – selbstverständlich ohne Grafik – auch auf komplexe Netze übertragen. Es ist für jeden Verbraucher oder Teilkreis zu klären, wie viel Druck zur Verfügung steht, wie viel in den vorhandenen Bauteilen bereits abgebaut wird und wie viel übrig bleibt und durch einen festen Widerstand und/oder eine Regeleinrichtung noch abgebaut werden muss.

Besonderheit 1: liegt die Pumpenförderhöhe fest, dann ist bei allen Verbrauchern so zu verfahren, wie im Bild 5.2.10.1-1 für den Heizkörper 2 (Pumpendruck liegt fest, Netz liegt fest, Regelventilwahl hinsichtlich des k_v -Wertes resultiert). Auch wenn die Pumpenförderhöhe nur stufig gewählt werden kann, gilt das gleiche Vorgehen.

Besonderheit 2: Im Bestand funktioniert die Berechnung ebenso, nur dass die Komponenten und Rohrleitungen in der Regel nicht gewählt werden, sondern ihre Widerstände schon fest vorgegeben sind. Druckverluste müssen dann ggf. geschätzt werden.

Besonderheit 3: ein Stromkreis ist – wie im Bild 5.2.10.1-1 die geschlossene Gesamtanlage – gekennzeichnet durch eine Differenzdruckquelle. Im einfachsten Fall eine Pumpe. Es kann auch ein Differenzdruckregler in einem Teilkreis einer großen Anlage sein. Die Betrachtungen des "Stromkreises" beziehen sich in jedem Fall immer auf die Teile einer Anlage, die sich gegenseitig beeinflussen können. Für die Gesamtanlage werden somit z.B. alle Kreise, die mit einer eigenen Pumpe an einem Pufferspeicher/einer hydraulischen Weiche einzeln angeschlossen sind, separat betrachtet.

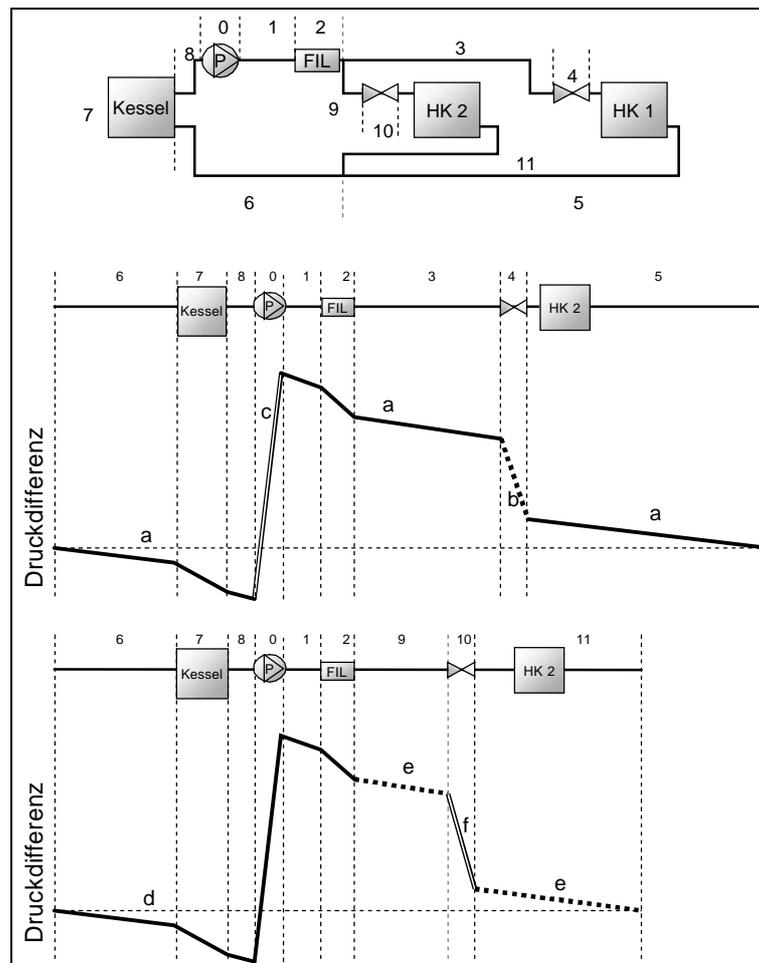


Bild 5.2.10.1-2 Schema einer Rohrnetzrechnung und Komponentenwahl

Auslegung von Stellventilen und Pumpen

Für die Auslegung von Stellventilen (Thermostatventilen, zentralen Durchgangsventilen, Dreiwegeventilen, Vierwegeventilen) sind jeweils zwei Größen zu erheben:

- der durchfließende Massenstrom
- der zu drosselnde Druck

Der Druck ergibt sich aus Sicht einer guten Regelbarkeit oder als Restdifferenzdruck, der zur Verfügung steht. Die Auslegung von Ventilen ist immer mit einer Berechnung verknüpft.

Die Pumpenwahl erfolgt anhand der berechneten notwendigen Werte für Volumenstrom und erforderliche Druckförderhöhe.

Der Auslegungspunkt muss nicht zwangsläufig mit dem Wert des höchsten Wirkungsgrades übereinstimmen, da die Umwälzpumpe praktisch nie unter Auslegungsbedingungen, sondern im Teillastbetrieb arbeitet. Deshalb wird eine Auslegung in Netzen mit variablen Volumenströmen rechts vom Wirkungsgradmaximum empfohlen (Volumenstrom bei Wirkungsgradmaximum ist kleiner als Auslegungsvolumenstrom). Der Teillastfall liegt dann mit hoher Wahrscheinlichkeit im Wirkungsgradmaximum (Volumenstrom im mittleren Betriebsfall ist gleich dem Volumenstrom bei Wirkungsgradmaximum) oder links daneben.

Hydraulischer Abgleich

Mit der Rohrnetzrechnung und Komponentenwahl verknüpft sich unmittelbar das Problem des hydraulischen Abgleichs. Wird er nicht durchgeführt, müssen Pumpen und/oder Heizkurven von Vorlauf-temperaturregelungen höher eingestellt werden, um alle Räume ausreichend mit Wärme zu versorgen.

Gegen die Unterversorgung einzelner Heizkörper hilft also im Sinne des hydraulischen Abgleichs der Einbau von zusätzlichen Widerständen in den Zweigen des Netzes, die überversorgt würden. Alle anderen Gegenmaßnahmen (Pumpendrehzahl höher wählen für größeren Differenzdruck und Volumenstrom, Vorlauftemperatur höher einstellen) führen zu einem Verschwendungspotential an den ohnehin überversorgten Heizkörpern.

Der hydraulische Abgleich des Netzes erfolgt für den Vollastfall. Für den Teillastfall, d.h. bei sich ändernden Volumenströmen im Netz, gibt es keine "richtige" Voreinstellung. Sobald an einer Stelle des Netzes eine Volumenstromänderung durch den Eingriff der dezentralen Regelung (Thermostatventile) zu verzeichnen ist, verändern sich die hydraulischen Verhältnisse im gesamten Netz bzw. innerhalb des hydraulisch gekoppelten Teils einer Großanlage. Der hydraulische Abgleich ist jedoch auch im Teillastfall eingeschränkt wirksam, v. a. wenn der Volumenstrom durch die einzelnen Verbraucher wegen einer vorhandenen Voreinstellung begrenzt ist. Auch bei Wahl von Thermostatventilen mit entsprechend begrenztem Durchfluss (passend gewählte k_v -Kegel) ergibt sich im Teillastfall eine Leistungsbegrenzung. Differenzdruckregler, auf die an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden kann, können für begrenzte Netzteile (z.B. für einen eigenen Strang) den Differenzdruck konstant halten und erzielen damit eine Verbesserung hinsichtlich des Teillastverhaltens bei schwankenden Differenzdrücken.

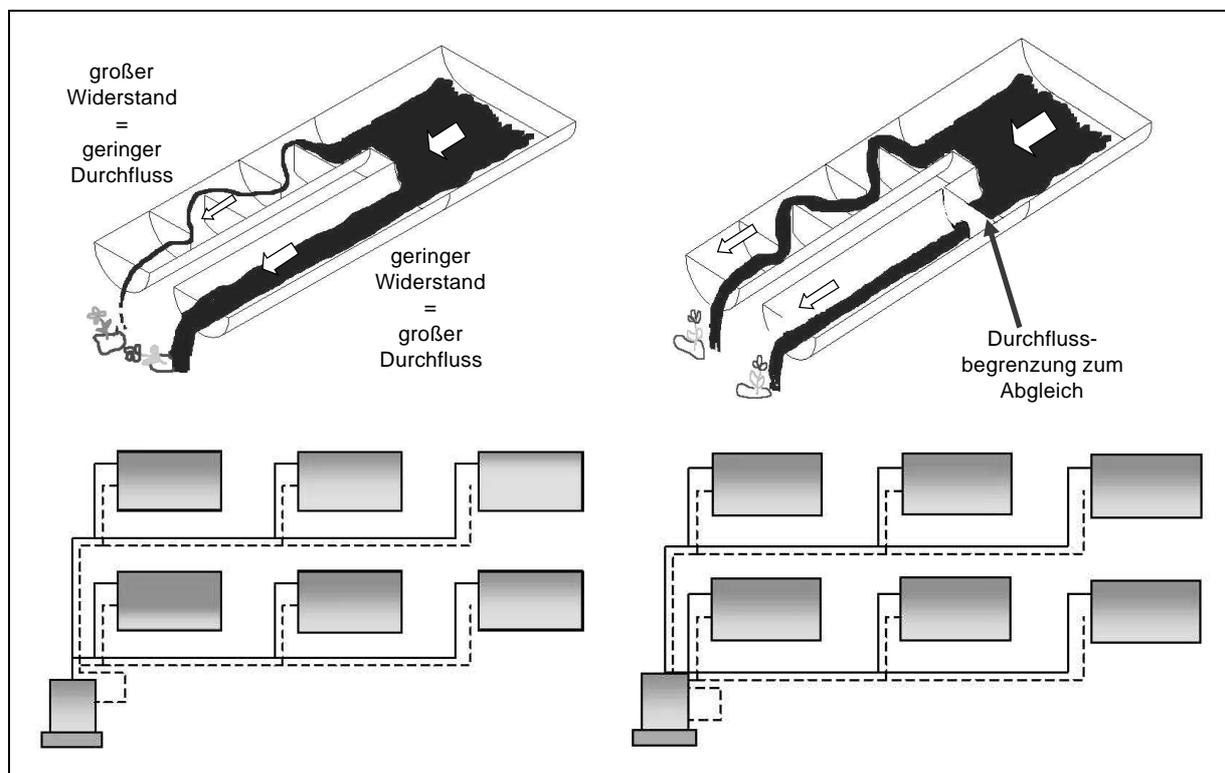


Bild 5.2.10.1-3 Hydraulischer Abgleich (links: nicht vorhanden, rechts: vorhanden)

Bild 5.2.10.1-3 macht deutlich: die pumpennahen Heizkörper werden ohne hydraulischen Abgleich mit Wärme übertersorgt, die fernen unterversorgt. Plastisch zeigt dies das Modell der "Regenrinnen", welches im Energieberatungsgespräch helfen kann. Es zeigt, dass nicht in dem Kreis, bei dem die Heizwärme nicht ausreicht eingestellt werden muss, sondern in allen anderen.

Dezentraler und zentraler Abgleich

Der hydraulische Abgleich, d.h. das Einbringen von zusätzlichen hydraulischen Widerständen in ansonsten übertersorgte Anlagenzweige, kann zentral und dezentral erfolgen. Es muss beachtet werden: zentral angeordnete Festwiderstände (Strangreguliertventile) drosseln den gewünschten Differenzdruck nur ab, wenn sie mit dem geplanten Volumenstrom durchströmt werden (Vollastfall). Fließt im Teillastfall weniger Wasser, wird weniger Druck weggedrosselt.

Der Einsatz von Strangreguliertventilen (Festwiderstände) ist daher nur in volumenstromkonstanten Netzen wirksam, z.B. beim Abgleich von Solarkollektorfeldern.

Der hydraulische Abgleich in üblichen Heizungsanlagen mit variablen Volumenströmen wird i. d. R. durch Maßnahmen zur Differenzdruckregelung begleitet. Diese haben die Aufgabe, verschiedene Teile des Netzes (Verbraucher untereinander oder Verbraucher- und Erzeugerkreise) hydraulisch voneinander zu entkoppeln. Damit wird auch im Teillastbetrieb, d.h. bei veränderlichen Netzvolumenströmen, eine vernünftige Volumenstromverteilung sichergestellt.

Die separat differenzdruckgeregelten Kreise beeinflussen sich untereinander nicht. Zur Minderung von Differenzdruckschwankungen bzw. zur hydraulischen Entkopplung in Heizungsnetzen werden folgende Maßnahmen ergriffen:

- hydraulische Entkopplung von Wärmeerzeugern und Wärmeverbrauchern in Teilbereiche mit mehreren Pumpen (Mehrkreissschaltungen),
- Einsatz geregelter Pumpen mit interner Differenzdruckerfassung mit konstanter oder variabler Regelung (Differenzdruck zwischen Saug- und Druckstutzen der Pumpe wird konstant oder mit abnehmendem Volumenstrom fallend variabel gehalten),
- Einsatz geregelter Pumpen mit externer Druckerfassung (Differenzdruck zwischen zwei Punkten im Netz – ein oder mehrere Schlechtpunkte – wird konstant gehalten). Dies kann so erfolgen, dass ein oder mehrere Heiz- bzw. Verbraucherkreise ohne die Heizzentrale mit einem konstanten Differenzdruck betrieben werden. Damit arbeitet die Pumpe wie ein Differenzdruckregler, aber nahezu ohne Regelabweichung,
- Einsatz zentral oder bei größeren Anlagen an Strängen dezentral angeordneter Differenzdruckregler,
- Einsatz zentral angeordneter Überströmventile, z.B. für Brennwertthermen zur Aufrechterhaltung eines Mindestvolumenstroms (dies ist vor allem im Teillastbetrieb ungünstig, weil der Volumenstrom durch Pumpe und Erzeuger künstlich hoch gehalten und damit die Rücklauftemperatur von Brennwertkesseln angehoben wird).

Innerhalb dieser – nun kleineren Verbraucherguppen – wird weiterhin mit Festwiderständen (z.B. voreinstellbaren Ventilen oder einstellbaren Rücklaufverschraubungen gearbeitet. Alternativ werden Thermostatventile mit integriertem Differenzdruckregler eingesetzt. Diese Maßnahme bietet eine völlige Entkopplung der Verbraucher untereinander.

2. Grundlagen Regelung

Regelung und Steuerung

Unter Regelung versteht man einen Vorgang, bei dem eine physikalische Größe (Regelgröße), z. B. Lufttemperatur, Druck und andere, aufgrund einer Messung fortlaufend erfasst, mit einer anderen Größe (Führungsgröße, Sollwert) verglichen und trotz störender Einflüsse von außen möglichst konstant oder auf vorgeschriebenen Werten gehalten wird.

Beispiel: Man stelle sich die Temperaturregelung eines Wohnraumes vor, in dem sich ein Heizkörper befindet, siehe Bild 5.2.10.2-1. Regelgröße X ist die konstant zu haltende Größe, im Beispiel also die Raumtemperatur. Sollwert nennt man den gewünschten Wert dieser Größe W . Weicht die Regelgröße von ihrem Sollwert ab, stellt der Regler das durch Messung fest. Liegt eine Regelabweichung vor,

verändert der Regler darauf die Stellgröße Y (hier: Ventilhub) derart, dass der Energiefluss im richtigen Sinn und Maß korrigiert wird. Weil diese Verstellung ihrerseits sich auf die Regelgröße auswirkt und vom Regler als Regelgrößenänderung gemessen wird, spricht man von einem geschlossenen Regelkreis.

Durch äußere Einflüsse, z. B. mehr oder weniger Wärmeverluste durch Fenster und Wände, schwankende Heizmitteltemperatur, Sonneneinstrahlung, mehr Beleuchtung oder Personen usw., wird die Raumtemperatur immer wieder verändert. Diese Einflüsse sind so genannte Störgrößen Z , sie sind es, die eine Regelung erforderlich machen.

Ein anderes Beispiel für einen Regelkreis ist die Vorlauftemperaturregelung. Die Vorlauftemperatur wird gemessen (X^*), mit dem gewünschten Sollwert (W^*) verglichen. Sobald eine Regelabweichung festgestellt wird, korrigiert der Regler dies und gibt ein Signal für veränderten Ventilhub (Y^*).

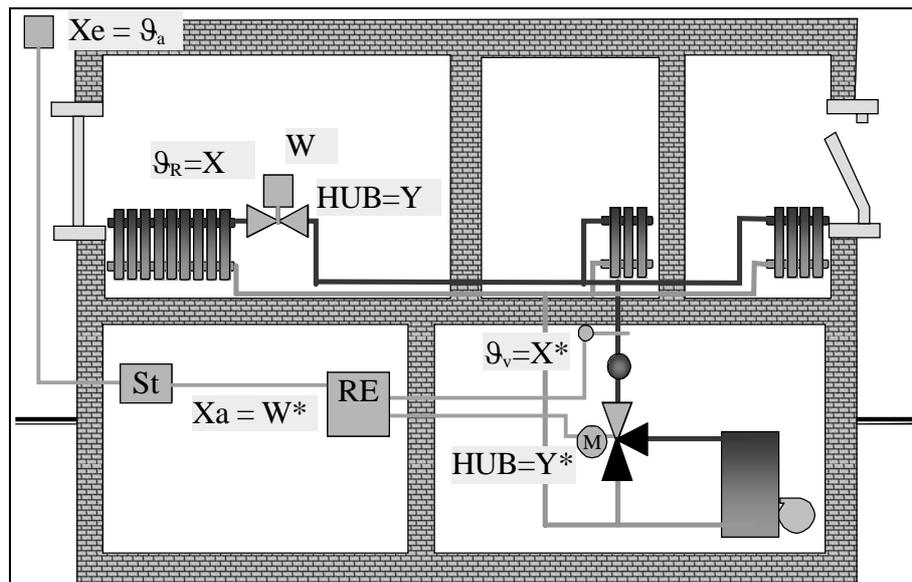


Bild 5.2.10.2-1 Grundbegriffe der Regelung und Steuerung

Von der Regelung zu unterscheiden ist die Steuerung. Hierunter versteht man einen Vorgang in einem System, bei dem eine (oder mehrere) Größen als Eingangsgröße eine andere Größe, die Ausgangsgröße, erzeugt. Man spricht dann von einer offenen Wirkungskette. Im Beispiel von 5.2.10.2-1 ist die Steuerung die Umwandlung des Signals der Außentemperatur (Eingangssignal X_e) in einen Sollwert für die Vorlauftemperaturregelung (Ausgangssignal X_a).

Regelkreis, Regler, Regelstrecke

Ein Regelkreis – wie die Vorlauftemperatur- oder Raumtemperaturregelung – besteht aus zwei wichtigen Komponenten:

- der Regeleinrichtung / dem Regler (mit Fühler, Vergleich und Antrieb), beginnend am Messort und endend am Stellort
- der Regelstrecke (je nach Kreis mit Stellventil, Heizkörper, Raum, Rohrleitungen usw.), beginnend am Stellort und endend am Messort.

Bei allen Regelkreisen ist es von Bedeutung, wie der Regler bei einer Sollwertabweichung eingreifen soll, z. B. schnell oder langsam, stark oder schwach. Dies hängt von den regelungstechnischen (statischen und dynamischen) Eigenschaften der Regelstrecke ab. Reagieren Regelstrecken selbst träge (große Speichermassen), müssen angepasste Regler eingesetzt werden, usw.

Es gibt Regler mit und ohne Hilfsenergie, unstetige (schaltende) und stetige Regler.

Regler ohne Hilfsenergie (Thermostatköpfe, Differenzdruckregler u. a.) zählen zu den Proportionalreglern oder P-Reglern. Der Proportionalbereich (P-Bereich, X_p) des Reglers ist die maximale Regelabweichung, die auftreten muss, damit der Regler seinen gesamten Arbeitsbereich (z.B. der Hub eines Ventils) durchläuft. Ein P-Bereich von 2 K für ein Thermostatventil bedeutet, dass das Ventil ausgehend vom offenen Zustand komplett schließt, wenn die Abweichung zwischen Raumtemperatur und Sollwert 2 K beträgt (z.B. 20 ... 22 °C). Entsprechend dieses P-Bereichs stellt sich bei Einsatz eines solchen Reglers in der Praxis nie der Sollwert, sondern immer ein Wert mit Regelabweichung ein. Der Preis für das Arbeiten ohne Hilfsenergie ist eine Regelabweichung.

Regler mit Hilfsenergie (i. d. R. Strom) arbeiten ohne Regelabweichung und werden Integralregler (I-Regler) oder PI-Regler (Mischform) genannt.

3. Komponenten

Zu den wichtigen regelungstechnischen und hydraulischen Komponenten von Heizungsanlagen werden nachfolgend einzelne Details erläutert.

Thermostatventile

Thermostatventile haben einen Reglerkopf, indem sich ein temperaturempfindliches Medium befindet. Dieses zieht sich bei Abkühlung zusammen oder dehnt sich bei Erwärmung aus und gibt somit im Zusammenspiel mit dem Ventil mehr oder weniger Strömungsquerschnitt frei, siehe Bild 5.2.10.3-1. Die Funktion eines Thermostatventils besteht darin, vorhandene innere und solare Gewinne nutzbar zu machen. Es ist nicht die Aufgabe eines THKV ist, Störgrößen wie die Vorlauftemperatur oder schwankenden Differenzdruck auszuregulieren – auch wenn Thermostatventile in der Praxis dies oft tun (müssen).

Erhöht sich die Raumtemperatur aufgrund von Wärmegewinnen, drosselt das Thermostatventil den Volumenstrom, der durch den Heizkörper fließt und vermindert so dessen Leistung. Die Raumtemperatur bleibt – bis auf die Regelabweichung – konstant.

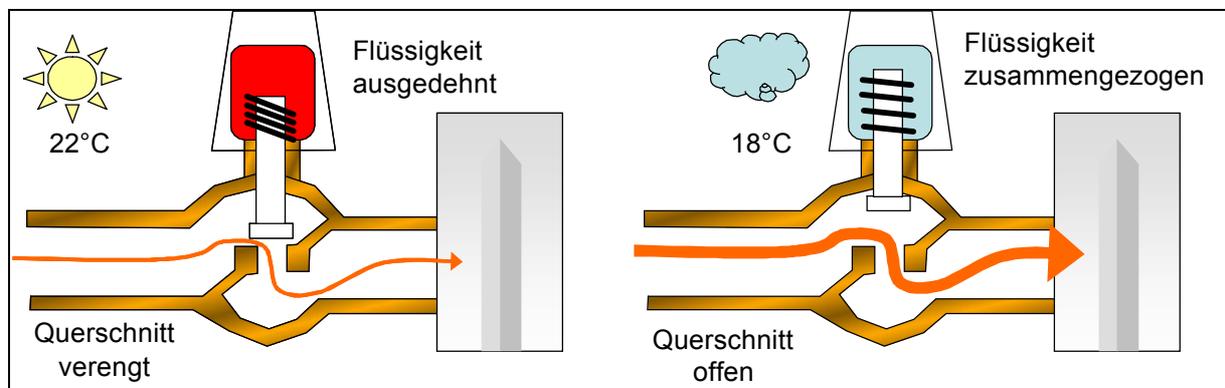


Bild 5.2.10.3-1 Funktion eines Thermostatventils

Thermostatventile werden standardmäßig mit eingebautem Fühler und Sollwertversteller eingesetzt (Bild 5.2.10.3-2 a). Es kommen aber auch Thermostatventile mit Fernfühler (Bild 5.2.10.3-2 b) oder mit Fernfühler/Fernsollwertversteller (Bild 5.2.10.3-2 c) zum Einsatz. Das Verbindungselement bei Einsatz von Fernfühler und/oder Fernsollwertversteller ist eine Kapillare, in der sich das Dehnungsmedium befindet.

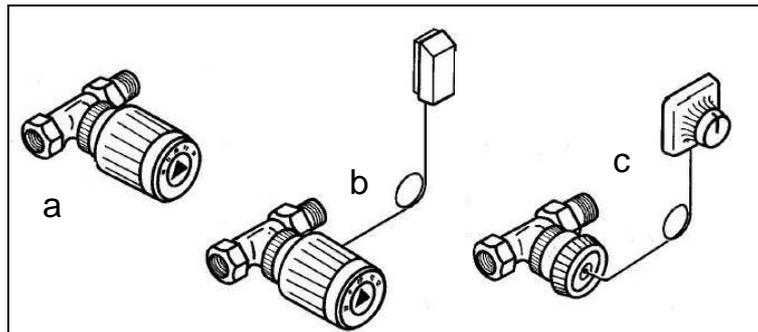


Bild 5.2.10.3-2 Unterschiedliche Regler bei Thermostatventilen (a: integrierter Sollwertversteller/Fühler, b: Fernfühler, c: Fernsollwertversteller/Fernfühler)

Das Thermostatventil muss dem gewünschten Durchfluss und der gegebenen Druckdifferenz der Anlage angepasst werden. Dazu sind verschiedene k_v -Werte der Ventile notwendig, siehe Kapitel 5.2.10.1. Dies lässt sich konstruktiv erreichen, indem als eine Lösungsmöglichkeit verschieden große Ventileinsätze verwendet werden. Dieser konstruktiven und beim Einbau notwendigen Anpassung sind – aus Gründen der Lagerhaltung aber auch des planerischen und praktischen Aufwands – wirtschaftliche Grenzen gesetzt.

Es haben sich daher zwei Trends entwickelt. In der Mehrzahl werden Ventile nur in groben Baugrößen (Stufen) angeboten und die Feineinstellung erfolgt mit der so genannten Voreinstellung. Eher selten kommen alternativ Thermostatventile mit austauschbaren Ventilkegeleinsätzen zum Einsatz.

Die Voreinstellung ist ein in Reihe zum eigentlichen Ventilkörper geschalteter hydraulischer variabel einstellbarer Widerstand (Drossel). Siehe Bild 5.2.10.3-3. Anhand eines Zahlenringes kann die Feineinstellung auf den gewünschten k_v -Wert vorgenommen werden.

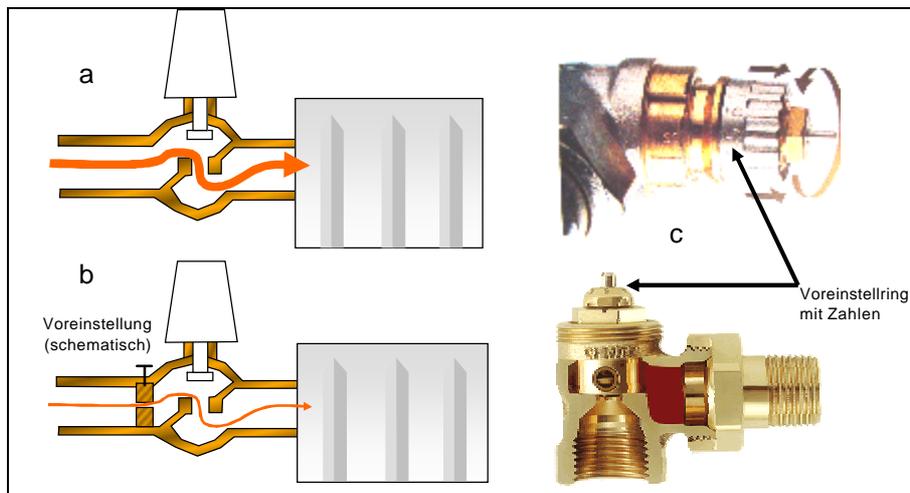


Bild 5.2.10.3-3 Voreinstellung eines Thermostatventils (a: ohne, b: schematische Darstellung einer Voreinstellung, c: Voreinstellung in der Praxis)

Der Voreinstellung sind Grenzen gesetzt. Da die Voreinstellung ein Festwiderstand und zur eigentlichen Regelung in Reihe geschaltet ist, funktioniert sie – wie alle Festwiderstände – nur im Vollastfall. Im Teillastfall drosselt sie kaum noch Druck ab, das Regelventil muss dann den Druck fast allein weg-drosseln. Es ergeben sich damit in der Praxis stark mit Druck übertensorgte Ventile, die kurz über dem Schließpunkt arbeiten. Das verschlechtert damit das Regelverhalten des Ventils insgesamt, bis hin zum Zweipunktverhalten mit periodisch öffnenden und schließenden Ventilen. Das Problem ist im Bestand besonders deutlich festzustellen, da vielfach zu große Pumpen (hohe vorhandene Differenzdrücke) mit zu hohen Vorlauftemperaturen (kleine notwendiger Durchfluss) kombiniert zu finden sind. Das widerspricht hohen k_v -Werten der installierten Thermostatventilen (d.h. Ventile mit großen möglichen Durchflüssen schon bei wenig Differenzdruck). Es kommt hier verstärkt zum Arbeiten der Ventile nahe am Schließpunkt.

Bei zu hohen Differenzdrücken am Ventil kann es zu Geräuschen kommen. Je nach Ventil liegt die Grenze bei typisch 0,2 ... 0,25 bar. Daher begründet sich u. a. die Forderung, große Netze mit Differenzdruckreglern oder einzelnen Pumpenkreisen in kleine Einheiten zu teilen.

Elektronische Regler

Elektronische Regler arbeiten mit Hilfsenergie (motorisch betriebener Stellmotor), in der Heizungstechnik meist mit einem PI-Verhalten, d.h. ohne wenigstens theoretisch bleibende Regelabweichung. Meist weisen die elektronischen Regler eine hohe Nachstellzeit auf, um die Empfindlichkeit und damit die Schwingungsneigung zu reduzieren. Eine zusätzliche Aufschaltung von Fensterkontakten und dezentrale Zeitprogramme sind möglich. Obwohl Felduntersuchungen mit adaptiven Reglern bzw. elektronischen Reglern mit Fensteröffnungserkennung geringere Lüftungsdauern und geringeren Verbrauch zeigen, haben sie sich in der Praxis aus Wirtschaftlichkeitsgründen noch nicht gegen konventionelle Thermostatventile durchgesetzt.

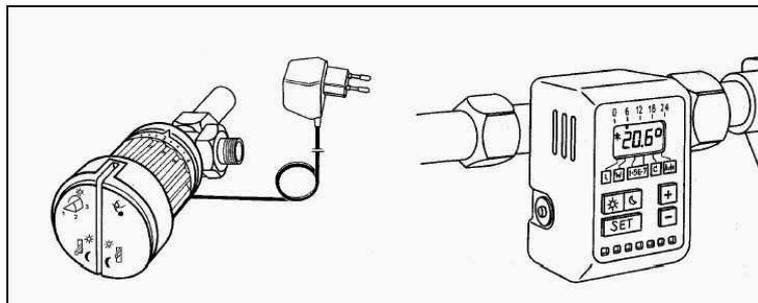


Bild 5.2.10.3-4 Elektronische Thermostatventile (mit Hilfsenergie)

Pumpen

Die Aufgaben einer Pumpe sind, den benötigten Volumenstrom für die Verbraucher zu fördern und den dabei auftretenden Druckverlust durch Rohrreibung eines Netzes auszugleichen. Die Ausführung einer Pumpe kann ein- oder mehrstufig ungeregelt oder geregelt sein, siehe Bild 5.2.10.3-5. Ungeregelte mehrstufige Pumpen sind an Stufenschaltern zu erkennen, Regelpumpen haben stufenlose Schalter oder elektronische Einstellmöglichkeiten.

Eine ungeregelte Pumpe läuft immer mit derselben weitgehend konstanten Drehzahl. Dies führt dazu, dass bei sinkender Volumenstromabnahme des Netzes durch Eingriff von Regelventilen die aufgenommene Pumpenleistung verstärkt in Druckenergie umgewandelt wird. Die erzeugte Druckdifferenz der Pumpe steigt im Teillastfall – entgegen der Anforderungen üblicher Netze, in denen der Differenzdruckbedarf im Teillastfall sinkt. Einsatzgebiete für ungeregelte Pumpen sind daher Netze, in denen ein konstanter Volumenstrom benötigt wird (z.B. Zirkulationsnetze, Einrohrheizungen oder Brauchwasserladekreise).

Regelpumpen gibt es seit etwa 1988. Es erfolgt eine Regelung des Differenzdruckes (in den meisten Fällen zwischen Druck- und Saugstutzen der Pumpe) durch Anpassung der Drehzahl. Die Regelung erfolgt nur innerhalb eines bestimmten Drehzahlbereiches, d.h. zwischen einem Minimal- und einem Maximalwert des Differenzdruckes.

Die Regelung kann entweder " Δp -konstant" oder " Δp -variabel" erfolgen. Das bedeutet, unabhängig vom Volumenstrom wird der Druck entweder konstant gehalten (Bild 5.2.10.3-5 Regelpumpe III-a) oder mit sinkendem Volumenstrom wird auch der Differenzdruck abgesenkt (Bild 5.2.10.3-5 Regelpumpe III-b). Üblich ist bei der variablen Regelung, dass der minimale Differenzdruck halb so groß ist wie der maximale. Die Werkseinstellung der meisten Fabrikate ist die Konstantregelung.

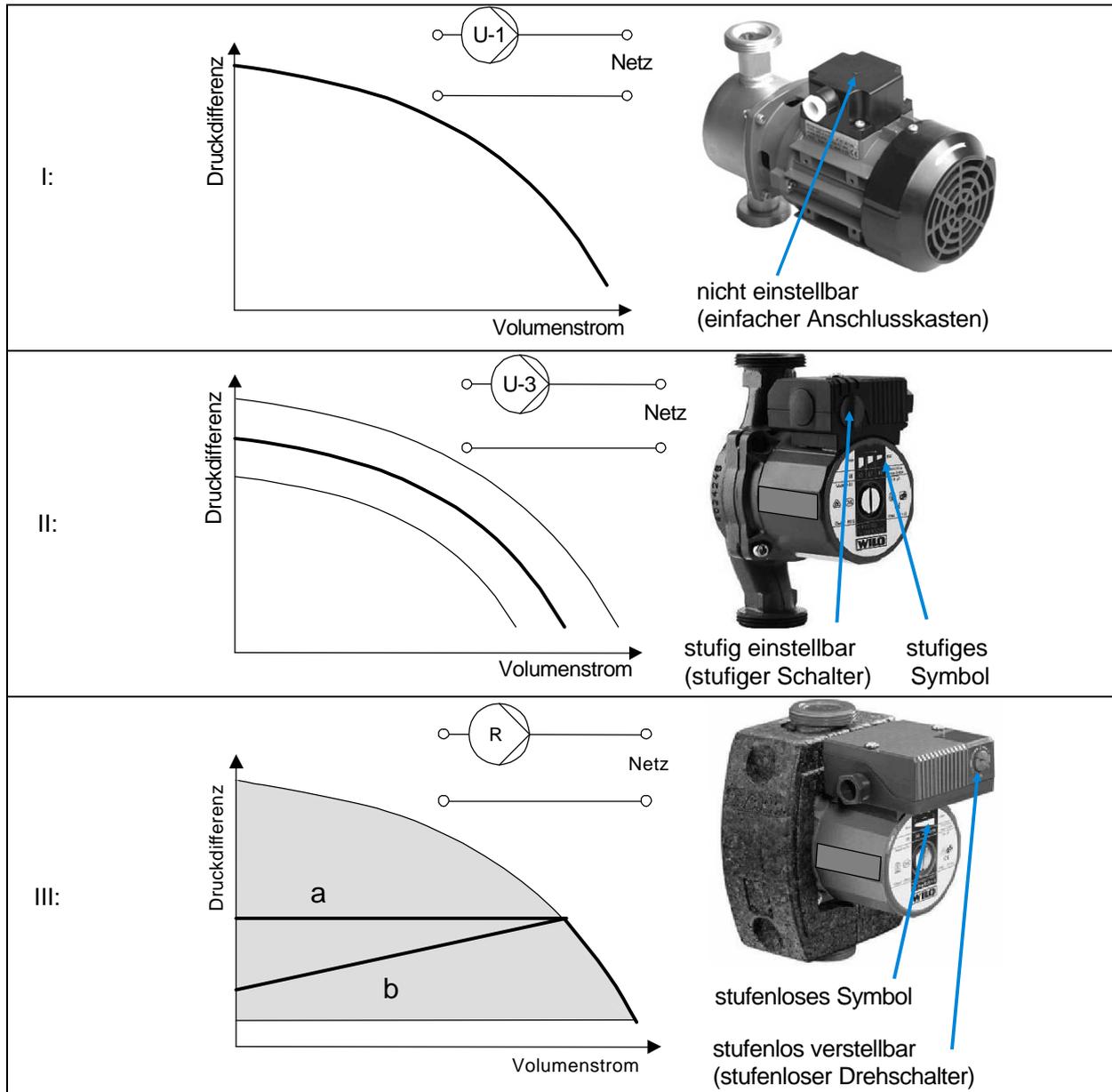


Bild 5.2.10.3-5 Pumpen (I: einstufig unregelt, II: mehrstufig unregelt, III: geregelt)

Sind Pumpen an die zentrale Regelung eines Erzeugers mit angeschlossen, können auch andere Regelprogramme durchlaufen werden, z.B. die Regelung der Spreizung zwischen Vor- und Rücklauf usw. Regelpumpen sind in der Anschaffung teurer als unregelte Pumpen, nehmen bei richtigem Einsatz jedoch über ihre Lebensdauer bedeutend weniger elektrische Energie auf und sind somit wirtschaftlich. Sie werden in Netzen mit veränderlichen Volumenströmen eingesetzt.

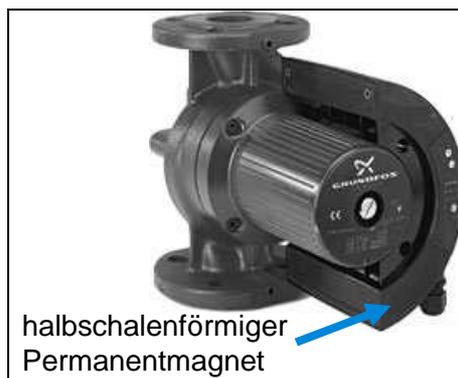


Bild 5.2.10.3-5 Hocheffizienzpumpe (Beispiel)

Seit 2001 gibt es eine weiterentwickelte Form der Regelpumpen, die Hocheffizienzpumpen. Sie arbeiten mit verbesserten strömungstechnisch optimierten Laufradkonstruktionen und sehr viel verlustärmeren elektronisch kommutierenden Motoren (EC-Pumpen). Dies ermöglicht Energieeinsparungen gegenüber Standardpumpen von bis zu 80 %.

Heizkurve

Mit der Heizkurve werden den mit einem Temperatursfühler (typisch an der Nord oder Nordwestfassade ohne Sonneneinwirkung) gemessenen Außentemperaturen bestimmte Sollwerte der Heizwasservorlauftemperaturen zugeordnet. Die Rechenlogik dafür ist in der Regelung heutzutage als Chip eingebaut. Es gibt zwei wichtige Einflussgrößen auf die resultierenden Vorlauftemperaturen: die Steilheit und die Parallelverschiebung.

- **Steigung:** Je höher die Steigung ist, desto höher ist die Vorlauftemperatur an den kalten Tagen des Jahres (Bild 5.2.10.3-6 links). Eine Steilheit von 2,0 bedeutet eine Vorlauftemperatur von 90 °C, wenn es draußen -15 °C kalt ist. Berechnet mit: $2,0 = (90-20) / [20-(-15)]$, d.h. je Kelvin Außentemperaturänderung wird die Vorlauftemperatur um 2 Kelvin erhöht. Steilere bzw. flachere Heizkurven bedeuten entsprechend prozentuale Leistungsänderungen der Heizflächen.
- **Parallelverschiebung:** Mit einer Parallelverschiebung können ganzjährig höhere Raumtemperaturen erreicht werden (Bild 5.2.10.3-6 rechts). Bei einer Außentemperatur von 20 °C wird z.B. Vorlaufwasser mit 35 °C Temperatur verteilt. Das bedeutet eine mögliche Raumtemperatur von 25 °C. Parallelverschiebungen bedeuten absolute Leistungssteigerungen.

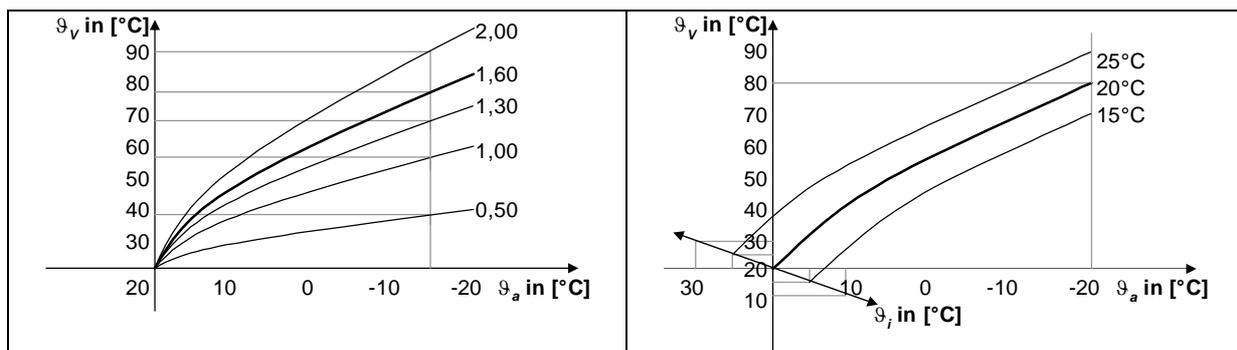


Bild 5.2.10.3-6 Einstellmöglichkeiten bei der Heizkurve (links: Steigung, rechts: Parallelverschiebung)

4. Regelkonzepte und -systeme

Vor der Erstellung von Regelkonzepten für eine Warmwasserheizung sollten die möglichen Regelkreise untersucht werden. In der Regel unterscheiden sich hier Groß- und Kleinanlagen voneinander.

In der Großanlage sind Wärmeerzeuger- und Wärmeverbraucher- bzw. -verteilkreis häufig hydraulisch und regelungstechnisch entkoppelt und weisen separate Pumpen auf. Die hydraulische Entkopplung eines Anlagenteils bedeutet, den entsprechenden hydraulischen Kreis von Druckeinflüssen anderer Kreise zu trennen. Dies kann z.B. durch eine hydraulische Weiche erfolgen, die einen Druckausgleich zwischen Vor- und Rücklauf aller angeschlossenen Komponenten schafft. Verbraucherkreise können außerdem untereinander strangweise hydraulisch getrennt sein. In Großanlagen erfolgt meistens eine witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung mit Hilfe separater hydraulischer Schaltungen (z.B. Beimischschaltung mit Dreiwegeventil) für jeden Heizkreis.

Beispiele für Temperaturregelkreise einer großen Heizungsanlage sind primärseitig der Kesseltemperatur- und sekundär ggf. ein oder mehrere getrennte Vorlauftemperaturregelkreise, sekundäre Einzelraum- oder zusammengefasste Zonentemperaturregelkreise und der Speicherwarmwassertemperaturregelkreis. Zusätzlich können der Differenzdruckregelkreis einer Pumpe oder eines autarken Differenzdruckreglers wirken. Wichtige Regelkreise in einer Großanlage sind in Bild 5.2.10.4-1 gezeigt.

Kleinanlagen sind dagegen häufig mit Kompaktwärmeerzeugern ausgestattet (z.B. Kessel mit integrierter Pumpe und ggf. Überströmventil). Alle Komponenten sind hydraulisch gekoppelt in einem Pumpenkreis verschaltet. Die witterungsgeführte Regelung erfolgt i. d. R. allein über eine Anpassung der

Wärmeerzeugertemperatur ohne separate hydraulische Schaltungen.

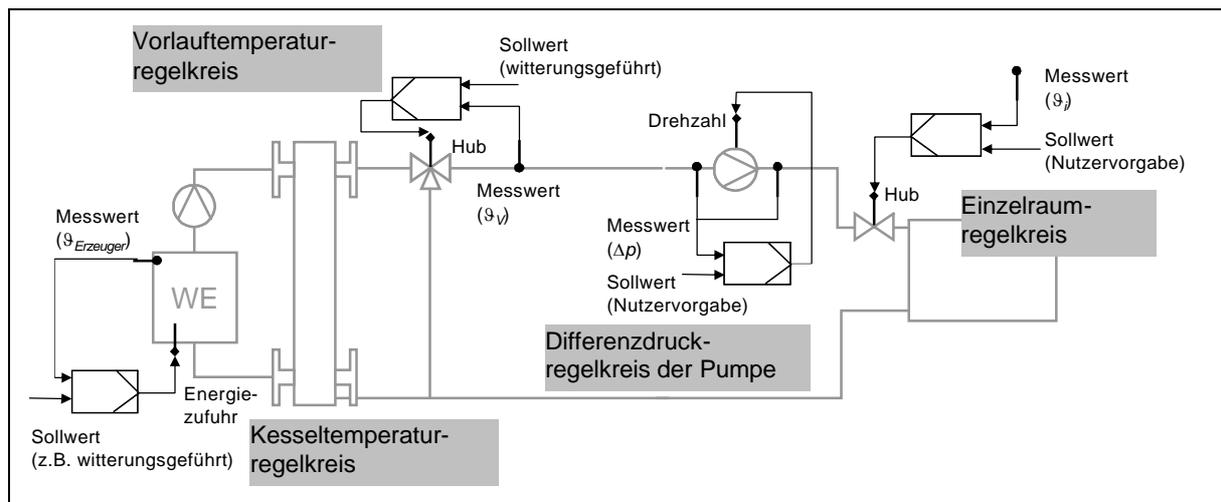


Bild 5.2.10.4-1 Regelkreise einer großen Heizungsanlage

Witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung

Die Aufgabe der zentralen Temperaturregelung ist, die Voraussetzungen dafür zu schaffen, dass die dezentrale Regelung eine hohe Regelgenauigkeit erreichen kann. Die wichtigste zentrale Reglereinstellung einer Heizungsanlage ist die Vorlauftemperatur. Sie wird nach der Außentemperatur und ohne Berücksichtigung von Fremdwärme bestimmt. Es sind dazu ein oder mehrere Außentemperaturfühler vorhanden.

Bei korrekter Heizlastberechnung und Heizflächenauslegung der Räume ermöglicht die witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung, dass den Räumen mit dem Auslegungsmassenstrom immer gerade die Wärmemenge zugeführt, die zur stationären Deckung der Transmissions- und Lüftungswärmeverluste (Luftwechsel ganzjährig so wie in der Lastberechnung) notwendig ist. Ein dezentrales Drosseln des Massenstroms muss somit nur bei Fremdwärmeanfall durch die Einzelraumregelung erfolgen.

Die Vorlauftemperaturregelung erfolgt beispielsweise als Mischerregelung mit einem zentralen Drei- oder Vierwegemischer (meist in Großanlagen), als Primärregelung über den Wärmeübertrager bei Fernwärmesystemen oder allein über die Kesselwasserregelung (witterungsgeführte Kesselregelung, Kleinanlagen).

Die witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung ist für Heizwärmenetze mit überwiegend außen-temperaturabhängigen Lastprofilen sinnvoll (Altbauten mit hohen Verlusten, Abnehmer mit geringen oder gering schwankenden dezentralen Fremdwärmelasten). Derzeit ist ihr Einsatz noch Standard, auch im Niedrigenergiegebäude.

Sonderausführungen zentraler witterungsgeführter Regelung sind Sonnen- und Windaufschaltungen, die eine Veränderung der Heizkurvenlage bewirken.

Die zentrale Regelung kann zusätzlich mit einer Minimal- und/oder Maximalbegrenzung der Vorlauftemperatur ausgestattet sein. Eine Minimalbegrenzung ist sinnvoll, um für den Nutzer am Heizkörper fühlbar Wärme bereitzustellen, auch in den Übergangszeiten. Die Minimalbegrenzung erhöht die Gefahr der Energieverschwendung.

Kesseltemperaturregelung

Die Kesseltemperaturregelung dient der Anpassung der Kesselwassertemperatur an einen gewünschten Sollwert. Der Sollwert kann fest eingestellt sein oder an den Bedarf der Abnehmer angepasst werden - angenähert beispielsweise anhand der Witterung (witterungsgeführte Kesselregelung).

Die witterungsgeführte Kesselregelung kann kombiniert mit einer witterungsgeführten Vorlauftemperaturregelung erfolgen. Diese Art der Regelung ist genauer, aber kostenintensiver – daher weniger typisch in Kleinanlagen. In Kleinanlagen kommt die witterungsgeführte Kesselregelung separat vor.

Die Vorlauftemperatur kann bei einer (stetigen) Mischerregelung sehr genau eingehalten werden. Mit der Kesselwasserregelung ist die Regelgenauigkeit vor allem bei Kesseln mit einstufigen Brennern und geringem Wasserinhalt ungenauer (wegen der Schaltdifferenz einer un stetigen Regelung) und Temperaturschwankungen können sich vor allem im Teillastbetrieb bis zum Heizkörper bemerkbar machen.

Bedarfsgeführte Vorlauftemperaturregelung

Die bedarfsgeführte Vorlauftemperaturregelung ist im Gegensatz zur witterungsgeführten Regelung für Heizwärmenetze mit hohen bzw. stark schwankenden dezentralen Fremdwärmelasten sinnvoll, in denen die Außentemperatur das Lastprofil in geringem Maß bestimmt. Dies sind Gebäude mit guter Wärmedämmung, hohen inneren Lasten, stark dynamischer Beanspruchung (Absenk- und Aufheizphasen).

Die Außentemperatur ist nur noch sekundär oder überhaupt nicht mehr Führungsgröße für den Vorlauftemperatursollwert. Die Regelung erfolgt nach dem Bedarf (der Raumtemperatur, der Stellung von Einzelraumventile o. ä.). Die Raumtemperaturregelung nach einem Referenzraum ist eine weitere Art der bedarfsgeführten Regelung, wobei nur ein Raum den Bedarf vorgibt und alle anderen sich danach richten müssen. Soll der Bedarf mehrerer Verbraucher berücksichtigt werden, erfordert dies zusätzliche Messstellen bzw. eine Kommunikation zwischen zentraler und dezentraler Regelung.

Selbstlernende, d.h. adaptive Regler, bzw. FUZZY-Regler führen aufgrund des Lastverlaufes die real benötigte Heizkurve und fahren die Heizleistung entsprechend nach. Dies führt zu einem insgesamt verringerten Wärmeangebot in den Räumen.

Vorteil der bedarfsgeführten Regelung: die Vorlauftemperatur kann abgesenkt werden, wenn seitens der Abnehmer kein Bedarf besteht. Nachteil: eine Energieverschwendung (offen stehende Fenster) kann nicht erkannt werden und wird vom System (durch Anheben der Vorlauftemperatur) zugelassen.

Zeitliche Absenkung oder Abschaltung

Zentrale Absenkphasen dienen der Energieeinsparung und werden durch Abschaltung der Anlage (Totalabschaltung oder Stützbetrieb, d.h. Aufrechterhaltung einer Mindesttemperatur) oder durch eine Absenkung der Vorlauftemperatur (reduzierter Betrieb mit niedrigerer, nach unten parallel verschobener Heizkurve) ermöglicht.

Der Abschaltbetrieb kann ggf. im Einfamilienhaus realisiert werden, im Mehrfamilienhaus wird die zeitweise eingeschränkte Beheizung meist durch Absenken der Vorlauftemperatur erreicht. Es sind jedoch wegen der unterschiedlichen Nutzeranforderungen dort meist nur kurze Heizpausen möglich. Für Nichtwohnbauten mit zeitlicher Absenkung am Wochenende sind Abschaltungen mit Stützbetrieb (13 ... 15°C Raumtemperatursollwert) empfehlenswert.

Wird Absenkbetrieb angestrebt, dann hängt die notwendige Vorlauftemperaturabsenkung ($\Delta\vartheta_v$) während des Absenkbetriebes von der Steilheit der Heizkurve ($m_{\text{Heizkurve}}$) und der gewünschten maximalen Raumtemperaturabsenkung im Absenkbetrieb (typisch ist $\Delta\vartheta_{i,\text{Absenk}} = 5 \dots 7 \text{ K}$) ab.

$$\Delta\vartheta_v \approx (1 + m_{\text{Heizkurve}}) \cdot \Delta\vartheta_{i,\text{Absenk}}$$

Bei typischen Heizkurven Einstellungen von 1,6 (ca. 75 °C Auslegungsvorlauftemperatur) muss die Vorlauftemperatur also etwa 13 K abgesenkt werden, um eine Raumtemperaturabsenkung von maximal 5 °C zu erreichen. Bei einer Heizkurve von 1,0 (ca. 55°C Auslegungsvorlauftemperatur) sind noch 10 K Vorlauftemperaturabsenkung notwendig.

Da dem Gebäude auch während der Nachtabsenkung Energie zugeführt wird, wird die gewünschte niedrigere Raumtemperatur nie bzw. erst nach unendlich langer Zeit erreicht. Die Auskühlung ist von der Gebäudekonstante, d. h. von der Speicherkapazität des Gebäudes und von den Lüftungswärmeverlusten in der Heizpause abhängig. Je größer die thermische Trägheit (massereiche, gut wärme gedämmte Gebäude), desto geringer wird der energiesparende Einfluss von zeitlicher Teilbeheizung.

Weil die Absenkung allein über die Vorlauftemperaturminderung funktioniert, müssen Heizflächendimensionierung und Druckverlustberechnung (incl. THKV-Auslegung) sorgfältig sein, damit es nicht zu einer starken Ungleichverteilung der Leistung kommt. Bei nicht erfolgtem hydraulischen Abgleich sind die Räume sehr unterschiedlich von der Nachtabsenkung betroffen. Es kann ggf. keine Energie durch Nachtabsenkung eingespart werden, wenn die Heizkurve bereits im Normalbetrieb so hoch liegt, dass sie im Absenkfall gerade stimmt.

In thermostatisch geregelten Räumen kann eine wirkungsvolle zentrale Temperaturabsenkung ohne manuelle Verstellung der Ventil-sollwerte nur erreicht werden, wenn der Durchfluss begrenzt ist: Einsatz von Thermostatventilen mit Voreinstellung oder Begrenzung durch Einstellung von Rücklaufverschraubungen. Sind diese Begrenzungsvorrichtungen nicht vorhanden, öffnen die Thermostatventile weiter als bei Normalbetrieb und erreichen so höhere als die erwünschten Raumtemperaturen.

Diesem Verhalten der Thermostatventile kann begegnet werden, indem die Vorlauftemperatur etwa um 15 ... 20 K reduziert wird (Empfehlung Schweizer Bundesamt für Energie). Alternativ oder ergänzend sollte auch die Pumpenstufe bzw. die Förderhöhe im Teillastfall verringert werden.

Aus energetischer Sicht ist die Absenkung der Temperatur zu begrüßen, das der Wiederaufheizung muss natürlich gelöst werden. Bereits im guten Niedrigenergiegebäude kann der Fall eintreten, dass die nach der Absenkzeit zur Verfügung stehende Heizleistung nicht ausreicht, das Gebäude in entsprechend akzeptablen Zeiträumen wieder auf die Solltemperatur zu beheizen.

Hinsichtlich des Vorgehens bei der Wiederaufheizung nach Nachtabsenkungen gibt es zwei Tendenzen: einerseits wird vorgeschlagen, einen eingeschränkten Heizbetrieb bei extremen Außentemperaturen nicht zuzulassen. Für Fernwärmanlagen schließt sich dies ggf. sowieso aus, wenn keine Aufheizreserven vorhanden sind. Andererseits gibt es den Trend, diesem Problem mit Überdimensionierung von Heizflächen und Wärmeerzeuger zu begegnen. Hier steigt dann das Verschwendungspotential im Normalbetrieb.

Zur Vermeidung zu langer Aufheizzeiten sollte in jedem Fall die Heizunterbrechung im schweren Gebäude kürzer als im leichten Gebäude sein. Außerdem sollte das Aufheizen bei geschlossenen Fenstern und abgeschalteter (abgesenkter) Lüftungsanlage erfolgen, um natürliche Reserven zu nutzen.

Witterungsgeführtes Ein- und Ausschalten

Ein empfehlenswertes Ausstattungsmerkmal der Heizungsregelung ist die Einstellmöglichkeit der Heizgrenztemperatur bzw. eines Bereiches. Dieser gibt an oberhalb (unterhalb) welcher Außentemperatur die Heizung ausgeschaltet sein kann (eingeschaltet sein muss). Typische Wertebereiche für diese Ein- und Ausschaltung liegen je nach Gebäudedämmstandard zwischen 12 und 17°C Außentemperatur. Um zu häufiges Takten in den Übergangszeiten zu vermeiden gibt es "Dämpfungselemente": Ausschalten der Anlage, wenn im 72 h-Mittel die eingestellte Heizgrenztemperatur überschritten wird.

Die spezielle Heizgrenztemperatur eines Gebäudes hängt von verschiedenen Größen ab, im Wesentlichen vom Verhältnis der Wärmeverluste aus Transmission und Lüftung zu den Fremdwärmemengen (in welchem Maße können Verluste mit Fremdwärmemengen ausgeglichen werden) und der wirksamen Zeitkonstante des Gebäudes und der Heizflächen (Ausgleich kurzfristiger Spitzen). In großen Objekten bestimmt der Verbraucher mit dem höchsten Bedarf das Ende bzw. den Beginn der Heizperiode.

Die am zentralen Regler eingestellte Heizgrenze bestimmt die Dauer der Wärmeverhaltung in Übergangszeiten. Eine sehr hoch oder gar nicht eingestellte Heizgrenze bedeutet nicht zwangsläufig auch eine Wärmeabforderung durch die Nutzer. Aber selbst ohne Nutzung des Wärmeangebotes werden Wärmeerzeuger, das gesamte (Einrohrheizung) oder Teile des Heizverteilnetzes und ggf. Heizungspeicher auf Temperatur gehalten (Erhöhung der Verluste). Dies gilt vor allem beim Einsatz von Überströmeinrichtungen oder Dreiwege-Thermostatventilen (bzw. einfach Kurzschlussstrecken), die beim Einsatz zwangsdurchströmter Wandgeräte von vielen Kesselherstellern gefordert oder empfohlen werden.

Es sollte zumindest die Umwälzpumpen außer Betrieb genommen werden. Der Kessel – sofern keine Trinkwarmwasseranforderungen bestehen – ebenfalls.

Pumpenregelung

Die Regelung des Förderdrucks einer Pumpe erfolgt durch Steuerung der Drehzahl in Abhängigkeit vom Widerstand des angeschlossenen Netzes und dem daraus resultierenden Volumenstrom. Geregelt wird üblicherweise der Pumpendruck zwischen Saug- und Druckstutzen in Abhängigkeit vom indirekt aus der Stromaufnahme der Pumpe abgeleiteten Volumenstrom. Alternativ könnten externe Differenzdrucksensoren an einer oder mehreren „Schlechtpunkten“ des angeschlossenen Rohrnetzes gesetzt werden, um den Druck an diesen Punkten der Anlage konstant zu halten. Dies ist meist nur in größeren Anlagen üblich, weil sehr kostenintensiv.

Raumtemperaturregelung

Die Raumtemperaturregelung mit Thermostatventilen und deren Regelverhalten ist im Zusammenhang mit den Heizflächen beschrieben-

5. Zentrale Leittechnik und Automation

Alle Regelfunktionen und –aufgaben können in einer zentralen Gebäudeleittechnik vereint werden. Systeme der Gebäudeleittechnik sind mehrstufig hierarchisch aufgebaut. Sensoren und Aktoren stellen in der untersten Ebene die Verbindung zwischen dem Gebäudeleitsystem und den Einzelprozessen in den betriebstechnischen Anlagen her. In der darüberliegenden Leitebene werden die analogen Signale in digitale umgewandelt und die Einzelprozesse rechnergestützt geregelt. Die nächsthöhere Leitebene und schließlich die übergeordnete Leitzentrale übernehmen Steuerungs-, Überwachungs- und Optimierungsaufgaben mit dem Ziel, eine optimale Funktion der Gesamtheit aller Einzelprozesse sicherzustellen.

Charakteristisch für moderne Gebäudeleittechnik ist, dass mit Hilfe von Kommunikationssystemen (sog. Bussysteme) eine ständige Verbindung zwischen den verschiedenen Ebenen gegeben ist. Damit stehen einem zentralen Rechner ständig Informationen über sämtliche Mess- und Stellwerte eines angeschlossenen Gesamtsystems zur Verfügung. Zentrale Leittechnik ist für komplexere Nichtwohngebäude (mit Raumluftechnik) praxisrelevant.

Gebäudeautomation stellt die Summe aller Automatisierungsmaßnahmen in Gebäuden bzw. an Anlagen der Technischen Gebäudeausrüstung und darüber hinaus der Sicherheitstechnik, der Transporttechnik, der Elektrotechnik und der Energieversorgung dar. Beim Einsatz von Systemen der Gebäudeautomation ist eine interdisziplinäre Zusammenarbeit aller beteiligten Gewerke erforderlich. Die Wartung (und Verwendung!) der installierten Systeme ist unbedingt sicherzustellen, um die langfristige Lebensdauer der Investition zu rechtfertigen.

Eine funktionierende Gebäudeautomation setzt die optimale Planung und Ausführung der Komponenten und Netze voraus. Beim Aufbau der Gebäudeautomation sollten auch Aspekte der künftigen Erweiterung der Anlagen mitbedacht werden (Kompatibilität von Regelkomponenten, Software usw.)

Da die Gefahr besteht, dass bei der Erstinstallation dem Kunden alle möglichen und denkbaren Funktionen angeboten werden, von denen ein großer Teil nicht genutzt wird oder werden kann, gilt für die Gebäudeautomation die alte Regel „manchmal ist weniger mehr“ ganz besonders. Für hochkomplexe Systeme wird heute der Service des Geräteherstellers unabdingbar. Entsprechende Kosten sind im Vorfeld zu bedenken.

Home Automation

Für den Wohnbau wird seit längerem der Begriff "Home Automation" geprägt. Hierunter versteht man die Überwachung, Steuerung und Regelung der elektrischen Komponenten im Haus von jedem Ort im Gebäude oder von der ganzen Welt aus (Internet oder Telefon). Home Automation umfasst:

- die Zentrale Regelung und die Einzelraumregelung für Heizung und kontrollierte Lüftung,
- Lichtdimmung, Beleuchtung und Beschattung (Rollladen-/Jalousie-/Markisensteuerung),
- Zentrale Schalt- und Timerfunktionen,
- Sicherheits- und Anwesenheitsüberwachung,
- Verbrauchserfassung und Visualisierung,
- Kontrolle von Haushaltsgeräten, Kommunikation und Multimedia.

Motivationen aus Sicht der Endverbraucher im Wohnbau: Verbrauchsminderung und Verbrauchskontrolle, Sicherheit, Komfort und Behaglichkeit, Fernservice und Technikkontrolle.

6. Qualitätssicherungsmaßnahmen

Die in den vorhergehenden Abschnitten besprochenen Einsatzbedingungen für eine optimale Regelung und Hydraulik sollen hier zusammengefasst wiedergegeben werden. Darüber hinaus werden weitere Hinweise, z. T. aus rechtlicher Sicht, angesprochen. Beispielsweise:

Die Energieeinsparverordnung (EnEV) schreibt vor, dass in Zentralheizungen "selbsttätig wirkende Einrichtungen zur Verringerung und Abschaltung der Wärmezufuhr sowie zur Ein- und Ausschaltung elektrischer Antriebe" vorhanden sein sollen. Geregelt/gesteuert werden soll nach der Außentemperatur (oder einer anderen geeigneten Führungsgröße) und der Zeit. Hier besteht auch sofortige Nachrüstpflicht ohne Übergangsfristen! Ausgenommen sind Hausanlagen mit Nah- und Fernwärmeanschluss, in denen der Versorger die Vorlauftemperatur nach der Außentemperatur und der Zeit regelt.

Zirkulationspumpen in Trinkwarmwasseranlagen müssen dagegen nur bei Ersatz oder im Neubau mit selbsttätig wirkenden Einrichtungen zur Ein- und Ausschaltung ausgestattet werden.

Hydraulischer Abgleich

Fehlt der hydraulische Abgleich einer Heizungsanlagen, ist von einem Mehrverbrauch an Wärmeenergie im Normal- und Absenkbetrieb sowie erhöhten Pumpenergiekosten zu rechnen. Die Gebäudeaufheizung nach einer Absenkung erfolgt ungleichmäßig. Der hydraulische Abgleich gehört an oberster Stelle zu den Qualitätssicherungsmaßnahmen, weil ohne ihn die richtige Pumpen- und Reglereinstellung nicht möglich ist. Dies gilt besonders für Gebäude mit räumlich ausgedehnten Netzen und Gebäude mit dynamischer Beheizung (Absenkung, Aufheizung).

Pumpen

Die Energieeinsparverordnung schreibt vor, dass Umwälzpumpen in Heizkreisen von Zentralheizungen (mit mehr als 25 Kilowatt Nennwärmeleistung) selbsttätig regeln müssen, soweit sicherheitstechnische Belange des Heizkessels dem nicht entgegenstehen. Dies gilt für neue Pumpen, auch in der Modernisierung.

Es ist auch bei einer Regelpumpe darauf zu achten, dass eine Überdimensionierung vermieden wird. Ist die Pumpe zu groß, muss sie schon unter Normalbedingungen im unteren Drehzahlbereich bei minimalen Wirkungsgraden arbeiten (Minimalleistung). Eine weitere Reduzierung der Leistung ist nicht mehr möglich. Die Maximalleistung wird dann nie benötigt. Die zu große Pumpe bringt dann keine Ersparnis von Energiekosten im Vergleich zu einer unregelten Pumpe.

Für Heizungsanlagen ist die Pumpenauslegung mit der Zielsetzung: maximal $1 W_{\text{elektrisch}}$ je $1 kW_{\text{thermisch}}$ elektrische Leistungsaufnahme der Pumpe bezogen auf die Heizlast des Gebäudes (1 %-Regel) bzw. $1 W_{\text{elektrisch}}$ je Heizkörper sinnvoll. Die Angaben des Schweizer Bundesamtes für Energie beziehen sich auf konventionelle Pumpen mit Wechselstrommotor. Grundsätzlich wird empfohlen, zukünftig nur noch Hocheffizienzpumpen der Effizienzklasse A (Europump-Norm) mit Permanentmagnetmotoren einzusetzen; je nach Einsatzfall und mittlerer Teillast sind bei diesen Aggregaten Hilfsenergieeinsparungen zwischen 40 und 90% gegenüber konventionellen Regelpumpen mit Asynchronmotoren möglich. Unabdingbare Voraussetzung ist auch hier die korrekte an das Rohrnetz angepasste Dimensionierung.

Die Entscheidung entweder die Konstantdruck- oder die Variabeldruckregelung der geregelten Pumpe zu nutzen, ist von der nachgeschalteten Anlage abhängig. Empfohlen wird:

Qualifikation zum/r Energieberater/in TGA

- der Einsatz der Konstantregelung: bei Anlagen mit anteilmäßig kleinen zentralen Festwiderständen (Naturumlaufkessel) und inhomogenen Verbrauchern je Strang (alle Räume eines Typs hängen an einem zentralen Strang)
- der Einsatz der Variabelregelung: bei Anlagen mit großen zentralen Festwiderständen (Wandthermen, Filter usw.) und Strängen mit homogener Verbraucherverteilung (Räume unterschiedlicher Nutzung hängen an einem zentralen Strang)

Externe Pumpen sind, da einstellbar, in den meisten Fällen der im Wärmeerzeuger integrierten Pumpe vorzuziehen.

Bei Temperaturabsenkungen sollte sich auch automatisch und einstellbar eine verminderte Pumpendrehzahlstufe einstellen.

Vorlauftemperatur und Vorlauftemperaturregelung

Die Heizkurve sollte so niedrig wie möglich eingestellt werden, aber so, dass es in allen Räumen ausreichend warm wird. Eine Überversorgung der Räume mit Wärme aufgrund einer überhöhten Vorlauftemperatur (zu hohe Heizkurve) ist zu vermeiden. In diesem Fall müssen die Thermostatventile ständig den Wärmefluss an den Raum bremsen und können ihrer eigentlichen Aufgabe (ausregeln von Sonneneinstrahlung und sonstiger Fremdwärme im Raum) nicht nachkommen.

Eine Übersicht möglicher Vor- und Rücklauftemperaturen für die Auslegung zeigt Tabelle 5.2.10.6-1. Die jeweils bedeutsameren Merkmale sind fett markiert.

Wärmeerzeuger	Vorlauftemperatur, in [°C]	Rücklauftemperatur, in [°C]	Temperaturspreizung, in [K]
Niedertemperaturkessel	55 ... 75	40 ... 65	10 ... 20
Brennwertkessel (ohne Forderung an einen Mindestdurchfluss)	35 ... 75	25 ... 50	10 ... 30
Brennwerttherme (mit Forderung an Mindestdurchfluss)	35 ... 60	25 ... 50	5 ... 10
Wärmepumpe	35 ... 45	25 ... 40	5 ... 15
Nah- und Fernwärme	55 ... 80	30 ... 45	20 ... 30
Solare Heizungsunterstützung	50 ... 60	30 ... 40	20 ... 30
BHKW	35 ... 75	25 ... 50	10 ... 20

Tabelle 5.2.10.6-1 Mögliche Auslegungstemperaturniveaus für die Heizung

Für einen Niedertemperaturkessel sollte eine minimale Rücklauftemperatur eingehalten werden, für einen Brennwertkessel sollte diese nicht überschritten werden. Bei einer Brennwerttherme mit Anforderungen an einen Mindestwasservolumenstrom bestehen Anforderungen an eine geringe Rücklauftemperatur und eine geringe Temperaturspreizung. Wärmepumpen benötigen insgesamt ein niedriges Temperaturniveau für Vor- und Rücklauftemperaturen. Für nah- und fernwärmeversorgte Anlagen bestehen vor allem Anforderungen an eine hohe Temperaturspreizung bei möglichst niedriger Rücklauftemperatur.

Die Einstellung von Steilheit und Parallelverschiebung ermöglicht eine recht genaue Anpassung der Vorlauftemperatur an die Witterung und Nutzerprofile. Je nach Rückmeldung der Nutzer über die sich einstellenden Raumtemperaturen kann die Heizkurve angepasst werden.

- Immer zu gering: parallel nach oben
- Winter zu gering, Übergangszeiten ausreichend: Steigung höher
- Winter ausreichend, Übergangszeiten zu gering: Steigung geringer, parallel nach oben
- Immer ausreichend oder etwas zu hoch: probieren mit Steigung geringer und parallel nach unten

Einzelraumregelung

Die Energieeinsparverordnung schreibt vor, dass in Heizungsanlagen mit Wasser als Wärmeträger selbsttätig wirkenden Einrichtungen zur raumweisen Regelung der Raumtemperatur vorhanden sein sollen. Diese Forderung gilt nicht für Einzelheizgeräte (öl-, feststoffbefeuert). Hier besteht auch sofortige Nachrüstpflicht ohne Übergangsfristen!

In Nichtwohnbauten sind Gruppenregelungen von Räumen gleicher Art und Nutzung zulässig. Fußbodenheizungen im Bestand müssen nicht nachträglich ausgestattet werden, wenn sie mit anderen Einrichtungen zur raumweisen Anpassung der Wärmeleistung an die Heizlast ausgestattet sind (z.B. ein hydraulischer Abgleich vorliegt).

Für die Praxis sind Gruppenregelungen in Räumen mit gleicher Nutzung nicht empfehlenswert, die Einzelausstattung mit Thermostatventilen oder anderen Einzelraumreglern ist anzustreben. Dagegen sind mehrere Thermostatventile an nahe nebeneinander angeordneten Heizkörpern in einem Raum zu vermeiden (gegenseitige Beeinflussung). Dort ist besser eine Zonenregelung vorzusehen.

7. Praxisbeispiel zur Anlagenoptimierung

Das Verfahren einer Anlagenoptimierung, welches dem Projekt "Optimus" (vgl. Kapitel 5.2.14.1) zugrunde liegt, wird nachfolgend umrissen. Als Beispiel dient eine (fiktive) Etagenwohnung mit 4 Räumen, die stellvertretend für eine Heizungsanlage im Bestand herangezogen wird, um das Prinzip der Optimierung zu verdeutlichen. Im Praxisfall wird sicher eine Software zur Problemlösung (Finden einer Vorlauftemperatur, der Pumpenförderrhöhe und der Einstellwerte für den hydraulischen Abgleich) verwendet.

Ausgangsdaten für das Beispielgebäude

Die Etagenwohnung ist eine Eckwohnung im mittleren Geschoss eines Mehrfamilienhauses. Sie hat 60 m² Fläche, Grundriss und schematische Ansichten siehe Bild 5.2.14.2-1. Das Gebäude wurde kürzlich baulich saniert, die Anlage ist noch immer die alte.

Es befinden sich in der Anlage: 4 Plattenheizkörper und die alte Brennwerttherme (mit Überströmventil). Für die Anlagenoptimierung soll – falls nötig – die Vorlauftemperatur herabgestellt werden (momentan: 75 °C) und es werden voreinstellbare Ventile eingebaut (Stufen 1 – 6), damit der hydraulische Abgleich durchgeführt werden kann. Die Pumpe kann, weil im Kessel integriert, nicht eingestellt werden. Es wird bei Bedarf eine zentrale Druckminderung vorgesehen (Differenzdruckregler).

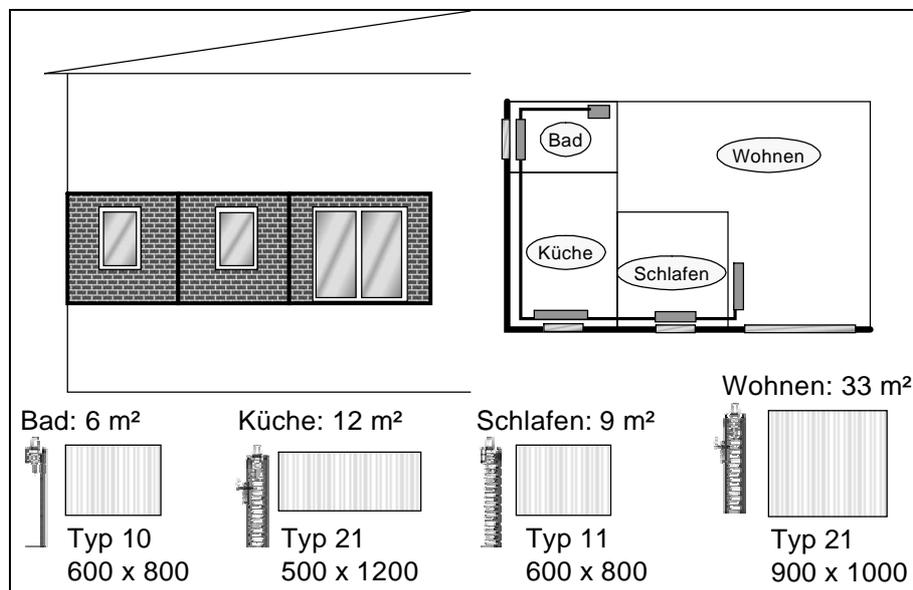


Bild 5.2.14.2-1 Randdaten der Beispielwohnung

Die Begehung des Istzustandes umfasst ein Aufmaß der Heizkörper, sowie die Leistungsbestimmung der Heizkörper (mit Tabellenbuch, Herstellerunterlagen oder Software). Die vorgefundenen Leistungsdaten finden sich in Tabelle 5.2.14.2-1.

Die Anlagenoptimierung setzt weiterhin voraus, dass für den aktuellen Zustand des Gebäudes eine Heizlast gerechnet oder geschätzt wird. Für den Zustand nach der Modernisierung sei dies im Beispiel mit einer einfachen Software erfolgt, Ergebnisse ebenfalls siehe Tabelle 5.2.14.2-1.

Die Heizlasten vor der Modernisierung sind nur informativ angegeben, damit sich der Leser ein Bild von der Anlage machen kann! Sie müssten im konkreten Optimierungsfall nicht berechnet werden.

Randdaten		Heizkörpernormleistung (nach EN 442 bei 75/65/20 °C)	Zustand vor der Modernisierung Wände 1,5 W/(m²K) Fenster 2,8 W/(m²K)		Zustand nach der Modernisierung Wände 0,3 W/(m²K) Fenster 1,3 W/(m²K)		
Raum	Grundfläche		Heizlast, in [W]	bezogene Heizlast, in [W/m²]	Heizlast, in [W]	bezogene Heizlast, in [W/m²]	Verhältnis Heizlast zu Heizkörpernormleistung
Bad	6 m²	550	450	75	200	33	36 %
Küche	12 m²	1450	1400	117	490	41	34 %
Schlafen	9 m²	750	700	78	310	34	41 %
Wohnen	33 m²	1650	1400	42	850	26	52 %
Gesamt	60 m²	4400	3950	66	1850	31	42 %

Tabelle 5.2.14.2-1 Randdaten der Beispielwohnung

Tabelle 5.2.14.2-1 zeigt: die Heizkörper passten vor der Modernisierung recht gut den Heizlasten der Räume. Von den vier Räumen hat die Küche vor und nach der Modernisierung die größte flächenbezogene Heizlast, weil sie der Eckraum ist. Es ist auch zu sehen, dass der Heizkörper in der Küche nach der Modernisierung am stärksten und im Wohnzimmer am wenigsten überdimensioniert ist. Die Küche profitiert relativ am meisten von der Wärmedämmung.

Optimierung des Temperaturniveaus

Die bauliche Modernisierung lässt es zu, dass das Temperaturniveau in der Anlage abgesenkt wird. Bis zu welchen Werten bestimmt vor allem das Wohnzimmer. Es ist der thermisch ungünstigste Raum – der Raum in dem die Heizkörperleistung bezogen auf die Raumheizlast am kleinsten ist.

Das optimale Temperaturniveau kann mit dem Heizkörperdiagramm (oder einer Software, in dem dieses programmiert ist) gefunden werden. Zur Erläuterung des Bildes 5.2.14.2-2: X- und Y-Achse zeigen Vor- und Rücklauftemperaturen für einen Heizkörper an. Die Diagonalen geben an, wie viel Leistung der Heizkörper (in % der Normleistung) abgibt und wie viel Heizwasser (in % des Normmassenstroms) benötigt werden.

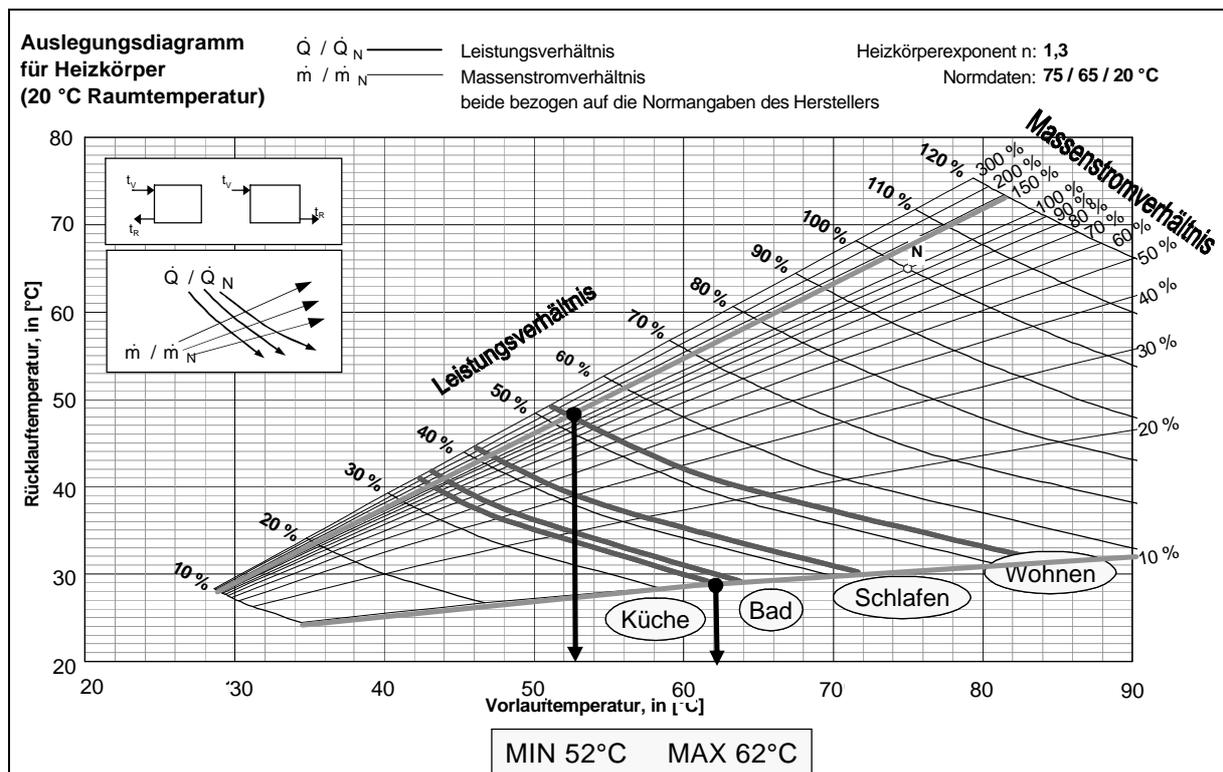


Bild 5.2.14.2-2 Anwendung des Heizkörperdiagramms

Die aus dem Gebäude bekannten Daten werden eingetragen: es sind nur die Leistungsverhältnisse bekannt. Das Wohnzimmer benötigt beispielsweise 52 % der Leistung, die der Hersteller als Normleistung angegeben hat. Entsprechend werden vier Linien für die vier Leistungsverhältnisse eingetragen.

Die Wahl der Vorlauftemperatur steht dem Anwender nun frei – mit gewissen Einschränkungen. Es sollten mindestens 52 °C gewählt werden, damit es im Wohnzimmer überhaupt warm wird. Noch kleinere Vorlauftemperaturen würden zu riesigen Wassermengen führen (Limit bei der Ablesung im Bild ist ein Massenstrom von 150 % des Herstellerwertes). Konsequenzen wären: große notwendige Pumpe.

Die nicht zu überschreitende Temperatur wird etwa bei 62 °C liegen, damit in der Küche die Volumenströme nicht zu klein werden. Noch größere Vorlauftemperaturen würden zu winzigen Wassermengen führen (Limit bei der Ablesung im Bild ist ein Massenstrom von ca. 10 % des Herstellerwertes). Konsequenzen hier: es können keine Thermostatventile gefunden werden und die Durchlaufzeiten (Totzeiten) in der Anlage steigt.

Im Bereich dazwischen kann eine Vorlauftemperatur frei gewählt werden. Fällt die Wahl auf die Temperatur 55 °C, ergeben sich die in Tabelle 5.2.14.2-2 zusammengestellten Rücklauftemperaturen und Massenstromverhältnisse. Die Werte wurden aus dem Heizkörperdiagramm Bild 5.2.14.2-2 abgelesen und sind daher ungenau. In einem Rechenprogramm werden sie automatisiert ermittelt.

Raum	Ablesedaten aus Bild 5.2.14.2-2		Normvolumenstrom (nach EN 442 bei 75/65/20 °C), in [m³/h]	Volumenstrom im Betrieb, in [m³/h]	Voreinstellung	
	Rücklauftemperatur, in [°C]	Massenstromverhältnis, in [%]			mit DDR auf ca. 60 mbar	ohne DDR bei 250 mbar
Bad	ca. 34	ca. 18	47	8	2	1
Küche	ca. 33	ca. 17	125	21	4	3
Schlafen	ca. 38	ca. 25	65	16	4	2
Wohnen	ca. 46	ca. 55	142	78	6	5
Gesamt	ca. 42 (berechnet)	---	---	123	---	---

Tabelle 5.2.14.2-2 Rücklauftemperaturen, Volumenströme, Voreinstellungen

Es ergeben sich die ebenfalls in Tabelle 5.2.14.2-2 dokumentierten Volumenströme von 8 ... 78 l/h an den vier Heizkörpern. Hätte man die Vorlauftemperatur etwas geringer gewählt, wären die Werte höher, bei höheren Vorlauftemperaturen noch kleiner.

Voreinstellung der Ventile

Zunächst muss der erforderliche Pumpendruck bestimmt werden. Für die neu zu installierenden Thermostatventile wird das Herstellerdiagramm herangezogen. Falls an allen vier Heizkörpern dasselbe Modell eingesetzt wird, bestimmt das Wohnzimmer den notwendigen Druck im Netz.

In der Herstellerunterlage nach Bild 5.2.14.2-3 sind alle vier Räume mit ihren Volumenströmen eingetragen. Da es Ziel sein sollte, wenigstens einen Heizkörper ohne Voreinstellung zu belassen (das Wohnzimmer) ergibt das Bild, dass eine Druckdifferenz von 60 mbar ausreichend ist. Bei dieser Druckdifferenz strömen die benötigten 78 Liter je Stunde durch das Ventil. Alle vier anderen Ventile müssen gedrosselt werden. Die Stufen der Voreinstellung sind in Tabelle 5.2.14.2-2 vermerkt.

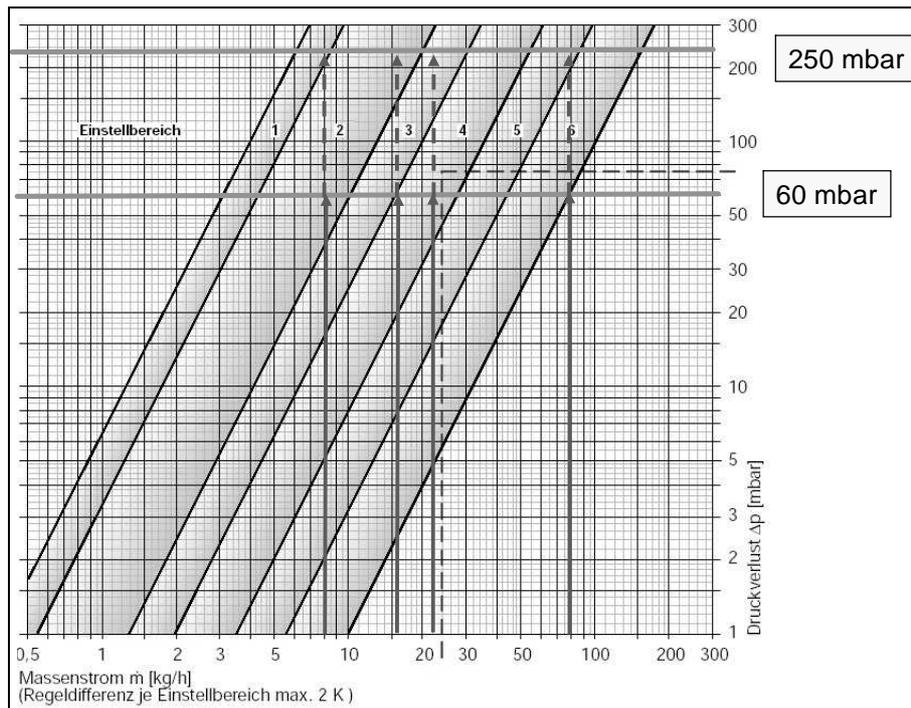


Bild 5.2.14.2-3 Wahl von Voreinstellungen der Ventile

Bei dieser Betrachtung wurde natürlich eine Vereinfachung gemacht: der Druckabfall zwischen Kessel und Heizkörpern wurde vernachlässigt. Da von sehr kleinen Volumenströmen ausgegangen wird, ist diese Vereinfachung hier zulässig: es gibt praktisch keine Rohrreibung in der vorgestellten Etagenwohnung.

In entsprechender Software wird eine überschlägige Druckverlustberechnung (für Rohrleitungen und die Komponenten der Zentrale) selbstverständlich durchgeführt.

Fazit ist: eine Druckdifferenz von etwas über 60 mbar ist ab Wärmeerzeuger zu Verfügung zu stellen. Da dies beim eingesetzten Gerät nicht eingestellt werden kann, muss ein Differenzdruckregler (DDR) nachträglich vorgesehen werden, vgl. Bild 5.2.14.2-4. Dieser hat nur die Aufgabe, die zu Verfügung stehenden 250 mbar schon zentral abzudrosseln (Energievernichtung!), damit es nicht zu Geräuschen an den Thermostatventilen kommt und diese besser regeln können.

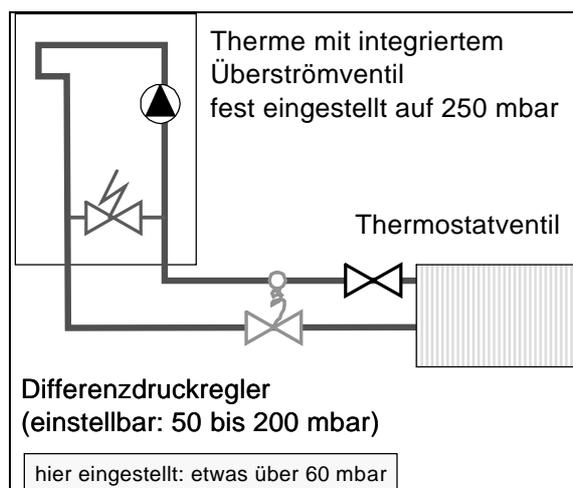


Bild 5.2.14.2-4 Zusätzlicher Differenzdruckregler

Wird der Differenzdruckregler aus Kostengründen nicht eingesetzt, müssen die Voreinstellungen stärker ausfallen – siehe Tabelle 5.2.14.2-2. Auch das Wohnzimmer muss nun schon eingedrosselt werden. Eine Software schlägt an dieser Stelle den Differenzdruckregler vor, aber es bleibt Anwenderscheidung ihn mit in die Optimierung einzubeziehen.

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