OPTIMUS
OPTIMAL ENERGIE NUTZEN

Kompaktkurs zur Optimierung

Gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt
DBU
Deutsche Bundesstiftung Umwelt

„Problem“ Anlagentechnik:

OPTIMUS
OPTIMAL ENERGIE NUTZEN

- Oft weicht die real ausgeführte Anlage von dem „theoretisch angenommenen Idealzustand“ ab. Es besteht ein:

“Verschwendungspotenzial der Anlagentechnik“

- Häufiger Grund: Leistungsüberangebot:
  - Heizflächen überdimensioniert
  - Pumpe überdimensioniert und/oder auf höchster Stufe („3“) in Betrieb
  - Thermostatventile nicht voreingestellt („N“) oder Rücklaufverschraubungen voll offen
  - zentrale Regler auf Werkseinstellung (75°C Vorlauftemperatur u. a.)
- weiterhin: fehlende Dämmung von Komponenten

Auswirkungen fehlender Qualität

Wenn eine Heizungsanlage nicht optimal ausgeführt und eingestellt ist, können folgende Probleme auftreten:

- ungleichmäßige Aufheizung von Räumen oder insgesamt Ungleichversorgung
- Geräusche in der Anlage

- verminderter Brennwertnutzen bei Brennwertkesselanlagen
- zu hohe Anschlusskosten für die Fernwärme bei Fernwärmeanlagen

- zu hoher Elektroenergieverbrauch
- zu hoher thermischer Energieverbrauch

Maßnahmen im Rahmen des Qualitätssicherungspaket „Heizung“

Zur Optimierung einer Heizungsanlage (Neubau und Bestand) gehören:

- Berechnung der Raumheizlast und der benötigten Vorlauftemperatur
- Berechnung der Druckverluste im Rohrnetz
- Auslegung der Umwälzpumpe
- Auswahl und Voreinstellung der Thermostatventile
- Anpassung der Heizungsregelung

Unmittelbar von der Optimierung betroffene Komponenten

Hydraulik

- Pumpe und/oder Differenzdruckregler (Förderhöhe bzw. eingestellter Differenzdruck)
- Thermostatventile
- Rücklaufverschraubungen der Heizkörper

evt. auch

- Strangregulierventile (eingestellter Volumenstrom)
- Überströmventile (eingestellter Ansprechdruck)

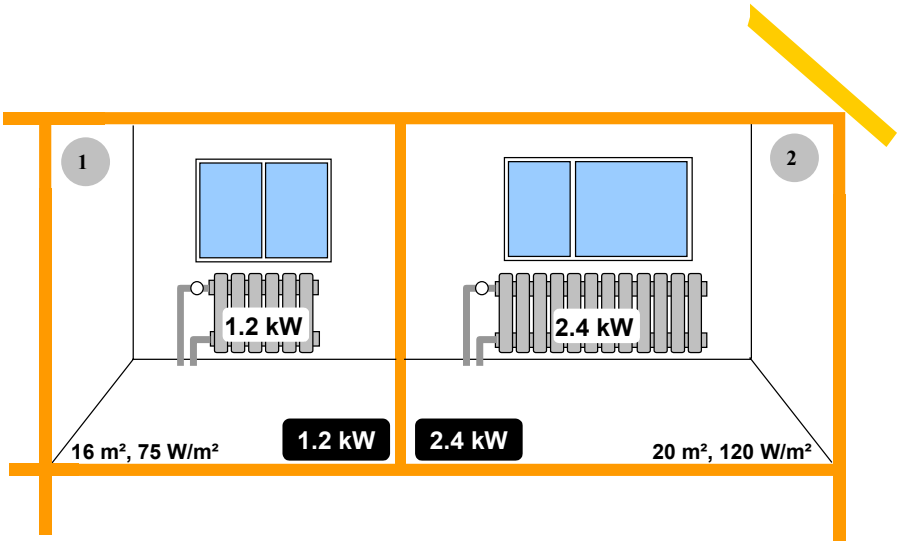
Regelung

- Heizkurve (Vorlauftemperaturen)

→ Volumenstrom und Temperaturdifferenz → Heizleistung

Warum optimieren?

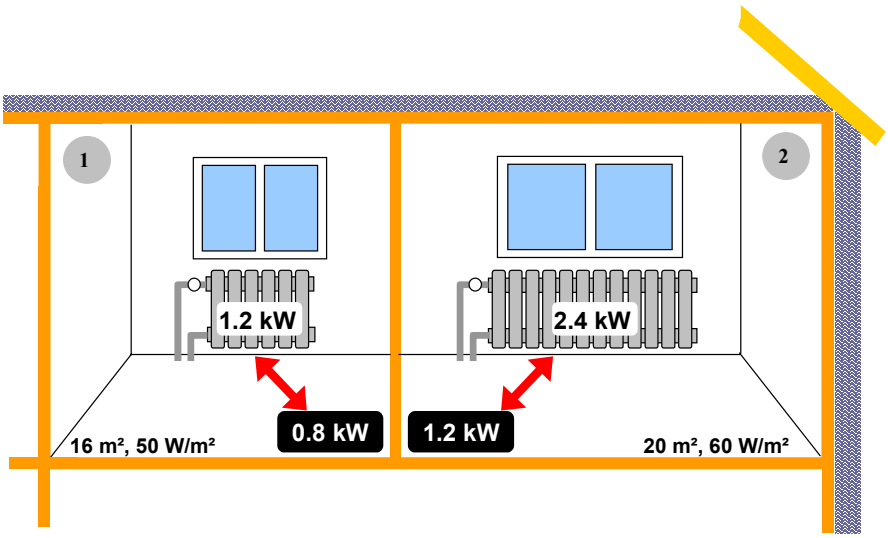
Zwei Räume im ursprünglichen Zustand …



Situation vorher:

- 2 Räume
- Temperaturniveau: 80/60°C
- Je ein Heizkörper, passend zur Heizlast und zum gewählten Temperaturniveau (Plandaten sind bekannt)

… und nach der Optimierung

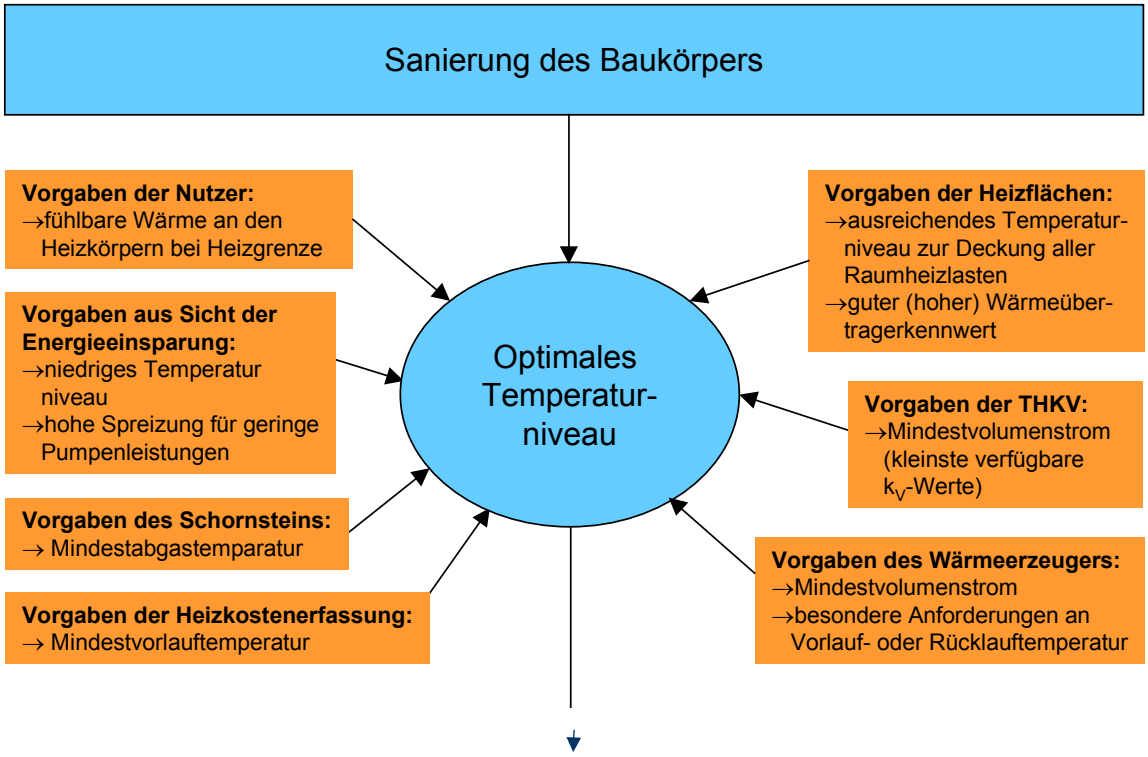


es besteht ein Verschwendungs-potential !

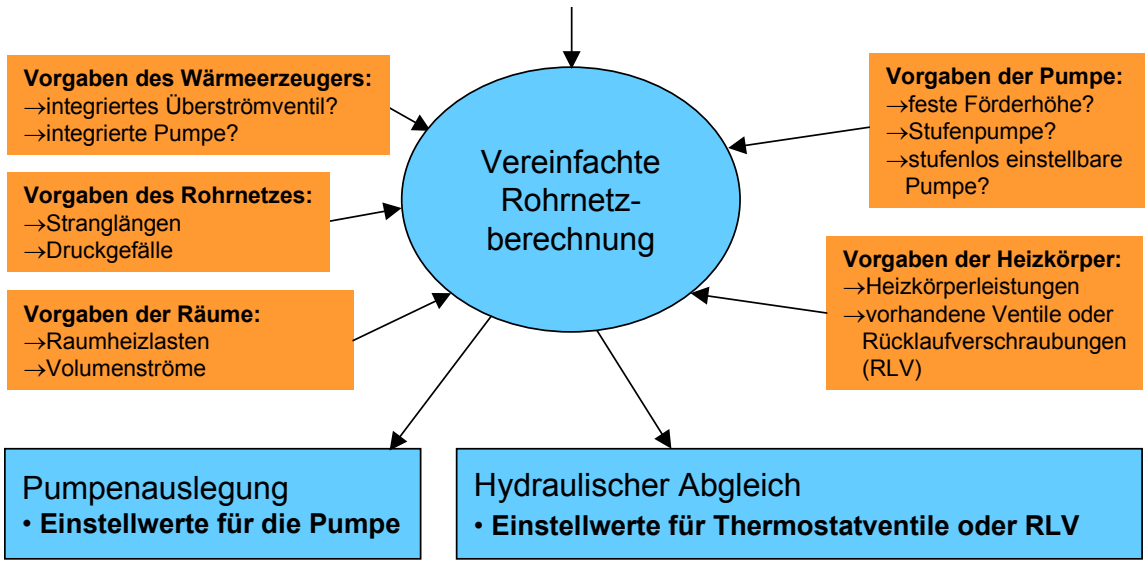
Situation nach der Sanierung:

- Für Raum 1 verringert sich die Heizlast auf **67 %** des alten Wertes.
- Für Raum 2 auf **50 %** des alten Wertes.
- (Die Leistungen der Heizkörper gelten für das alte Temperaturniveau 80/60°C)

Was zu beachten ist - Überblick



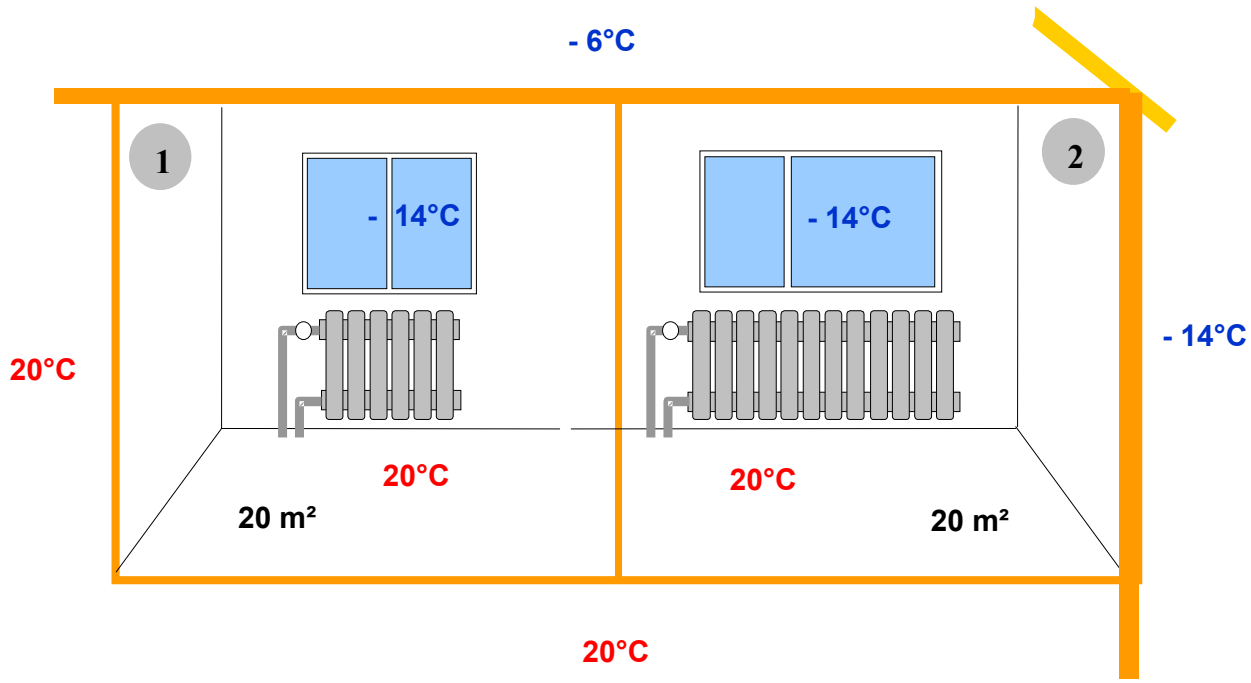
Was zu beachten ist - Überblick



Heizlastberechnung
nach der baulichen Veränderung

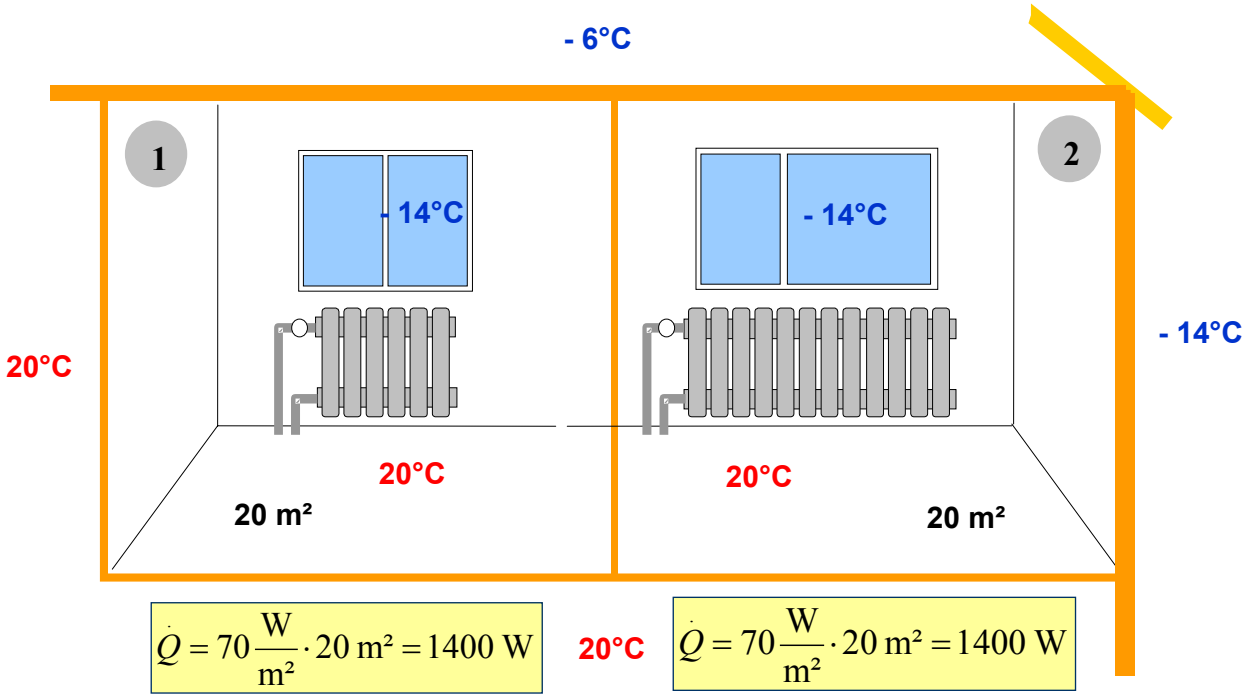
Vereinfachte Heizlastberechnung: Beispielraum 1 und 2

An folgenden zwei Räumen sollen zwei Arten der vereinfachten Heizlast-berechnung demonstriert werden. Die Berechnung nach „Grundfläche“ und die Berechnung nach „Außenflächen“.



Vereinfachte Heizlastberechnung: pauschal nach Grundfläche

Folgende Werte der Heizlast ergeben sich, wenn man allein die Grundfläche beider Räume als Basis der Berechnung nimmt.



$$\dot{Q} = 70\,\frac{W}{m^2} \cdot 20\,m^2 = 1400\,W$$

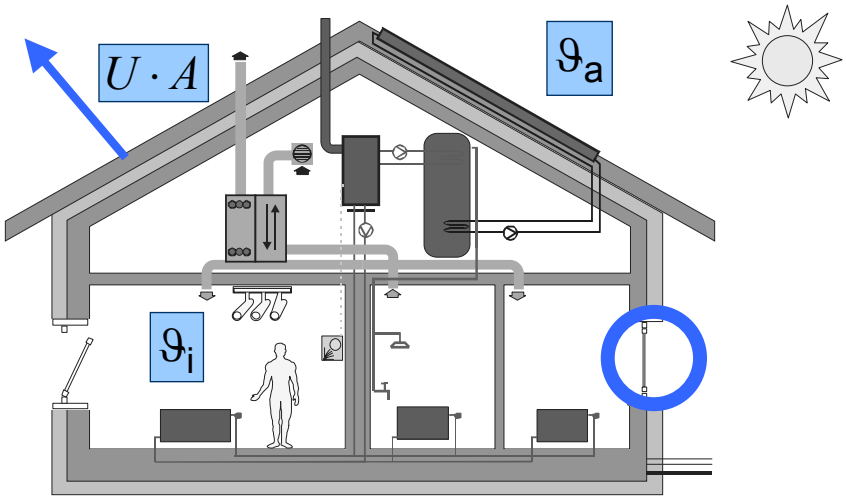
20°C

$$\dot{Q} = 70\,\frac{W}{m^2} \cdot 20\,m^2 = 1400\,W$$

Heizlast für Transmission

$$\dot{Q}_T = U \cdot A \cdot (\vartheta_i - \vartheta_a)$$

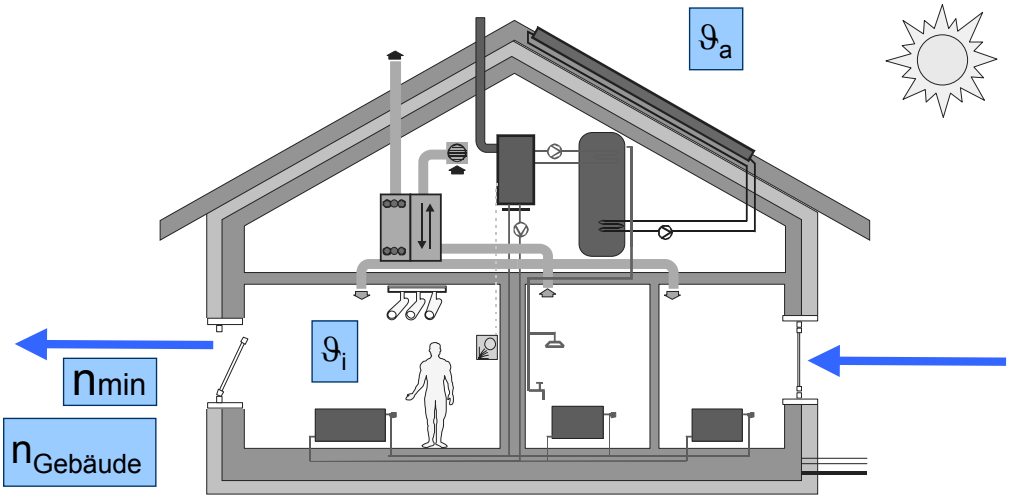
Formel zur Berechnung der Transmissionsheizlast (Wärmeverluste durch die Hülle eines Raums).



Heizlast für Lüftung

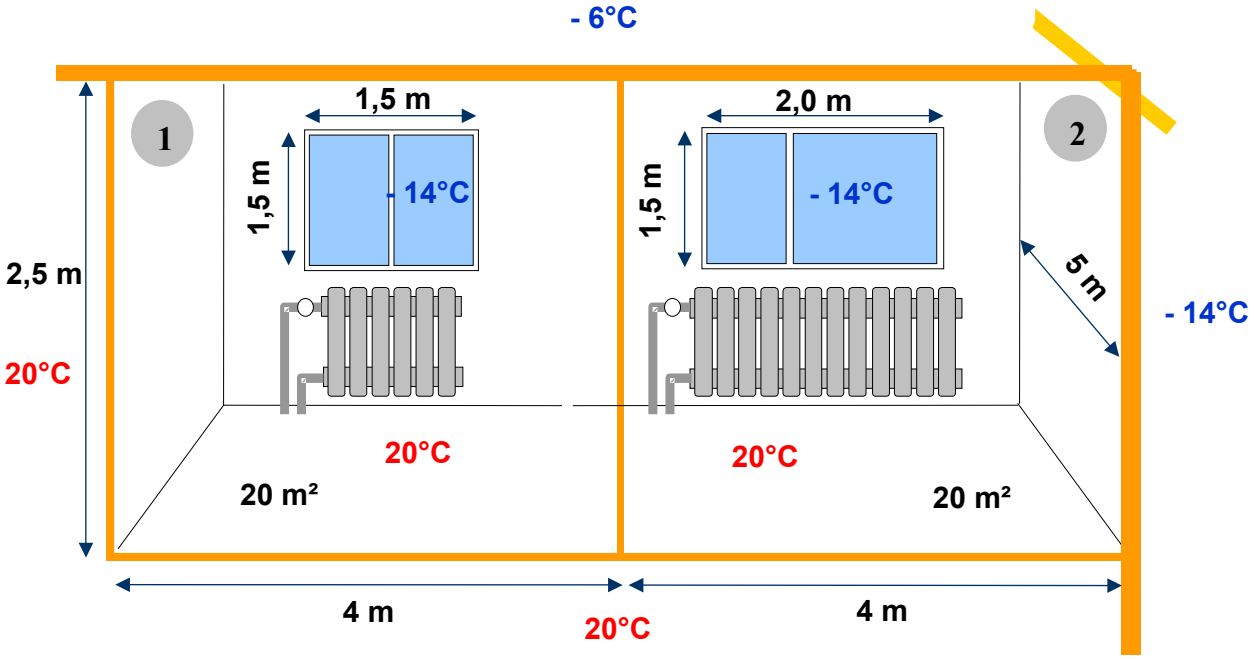
$$\dot{Q}_V = n \cdot \rho \cdot c_p \cdot V_L \cdot (\vartheta_i - \vartheta_a)$$

Formel zur Berechnung der Lüftungsheizlast (Wärmeverluste durch die Lüftung eines Raums).



Vereinfachte Heizlastberechnung: nach „Außen“-Flächen

Die Außenflächen werden ausgemessen. Es sind hierbei alle Flächen relevant, die direkt nach außen führen oder zu niedrig beheizten Räumen.



Vereinfachte Heizlastberechnung nach „Außen“-Flächen für Raum 1

Die Wärmeverluste durch die einzelnen Flächen sowie durch Lüftung werden berechnet.

$$\dot{Q}_T = U \cdot A \cdot (\vartheta_i - \vartheta_a)$$

$$\dot{Q}_{AF} = 2{,}5 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot 2{,}25\ m^2 \cdot (20°C - (-14°C)) = 191\ W$$

$$\dot{Q}_{AW} = 1{,}0 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot 7{,}75\ m^2 \cdot (20°C - (-14°C)) = 264\ W$$

$$\dot{Q}_D = 1{,}0 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot 20{,}0\ m^2 \cdot (20°C - (-6°C)) = 520\ W$$

$\dot{Q}_T$

$$\dot{Q}_V = n \cdot \rho \cdot c_p \cdot V_L \cdot (\vartheta_i - \vartheta_a) = 0{,}5 \frac{1}{h} \cdot 0{,}34 \frac{Wh}{m^3K} \cdot 50\ m^3 \cdot (20°C - (-14°C)) = 289\ W$$

$$\dot{Q} = \dot{Q}_T + \dot{Q}_V = 975\ W + 289\ W = 1264\ W$$

Vereinfachte Heizlastberechnung nach „Außen“-Flächen für Raum 2

$$\dot{Q}_{AF} = 2{,}5 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot 3{,}0\ m^2 \cdot (20°C - (-14°C)) = 255\ W$$

$$\dot{Q}_{AW1} = 1{,}0 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot 7{,}0\ m^2 \cdot (20°C - (-14°C)) = 238\ W$$

$$\dot{Q}_{AW2} = 1{,}0 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot 12{,}5\ m^2 \cdot (20°C - (-14°C)) = 425\ W$$

$$\dot{Q}_D = 1{,}0 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot 20{,}0\ m^2 \cdot (20°C - (-6°C)) = 520\ W$$

$\dot{Q}_T$

$$\dot{Q}_V = n \cdot \rho \cdot c_p \cdot V_L \cdot (\vartheta_i - \vartheta_a) = 0{,}5 \frac{1}{h} \cdot 0{,}34 \frac{Wh}{m^3K} \cdot 50\ m^3 \cdot (20°C - (-14°C)) = 289\ W$$

$$\dot{Q} = \dot{Q}_T + \dot{Q}_V = 1438\ W + 289\ W = 1727\ W$$

Vereinfachte Heizlastberechnung

Die Werte für die Heizlast sind für beide Räume sind verschieden.

Raum 1

~~$\dot{Q} = 70 \frac{W}{m^2} \cdot 20\ m^2 = 1400\ W$~~

$$\dot{Q} = \dot{Q}_T + \dot{Q}_V = 975\ W + 289\ W = 1264\ W$$

Fazit: Die pauschale Heizlastberechnung nach Grundfläche ist zur raumweisen Bestimmung der Heizlast ungeeignet.

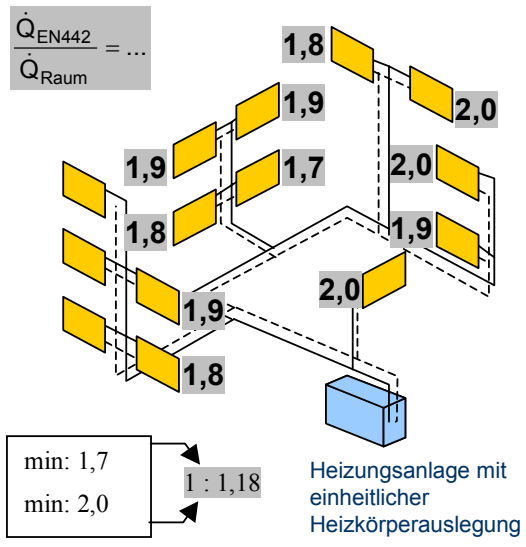
Raum 2

~~$\dot{Q} = 70 \frac{W}{m^2} \cdot 20\ m^2 = 1400\ W$~~

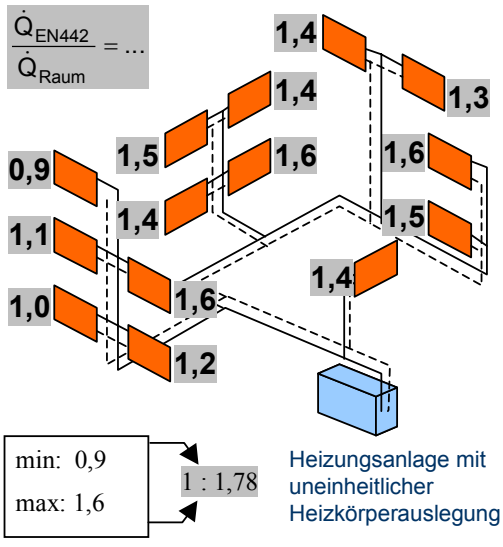
$$\dot{Q} = \dot{Q}_T + \dot{Q}_V = 1438\ W + 289\ W = 1727\ W$$

Auslegungstypen von Netzen

Es gibt Gebäude, bei denen sind die Heizflächen recht einheitlich überdimensioniert. In anderen ist die Überdimensionierung bezogen auf die benötigte Wärmeleistung der Räume jedoch stark unterschiedlich.



Heizungsanlage mit einheitlicher Heizkörperauslegung



Heizungsanlage mit uneinheitlicher Heizkörperauslegung

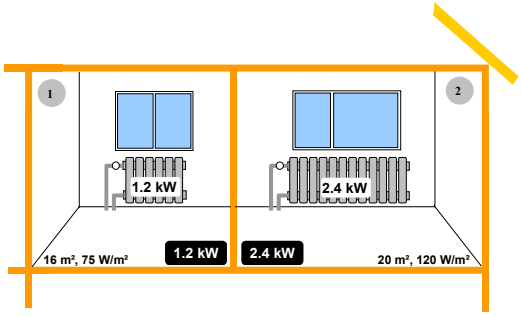
→ je nach Auslegungstyp ergibt sich eine andere Rohrnetzberechnung

Überdimensionierung und Übertemperatur von Heizkörpern

Bestimmung der notwendigen Übertemperatur nach der Sanierung

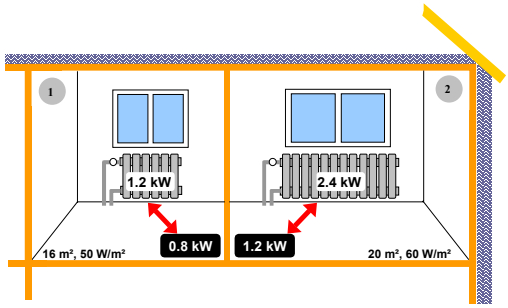
vorhandener Wert im alten Zustand

$$\Delta\vartheta_{ln,alt} = \frac{\vartheta_V - \vartheta_R}{\ln\frac{\vartheta_V - \vartheta_L}{\vartheta_R - \vartheta_L}} = \frac{80-60}{\ln\frac{80-20}{60-20}}\,K = 49{,}3K$$



Umrechnung

$$\frac{\dot{Q}_{neu}}{\dot{Q}_{alt}} = \left(\frac{\Delta\vartheta_{ln,neu}}{\Delta\vartheta_{ln,alt}}\right)^n$$

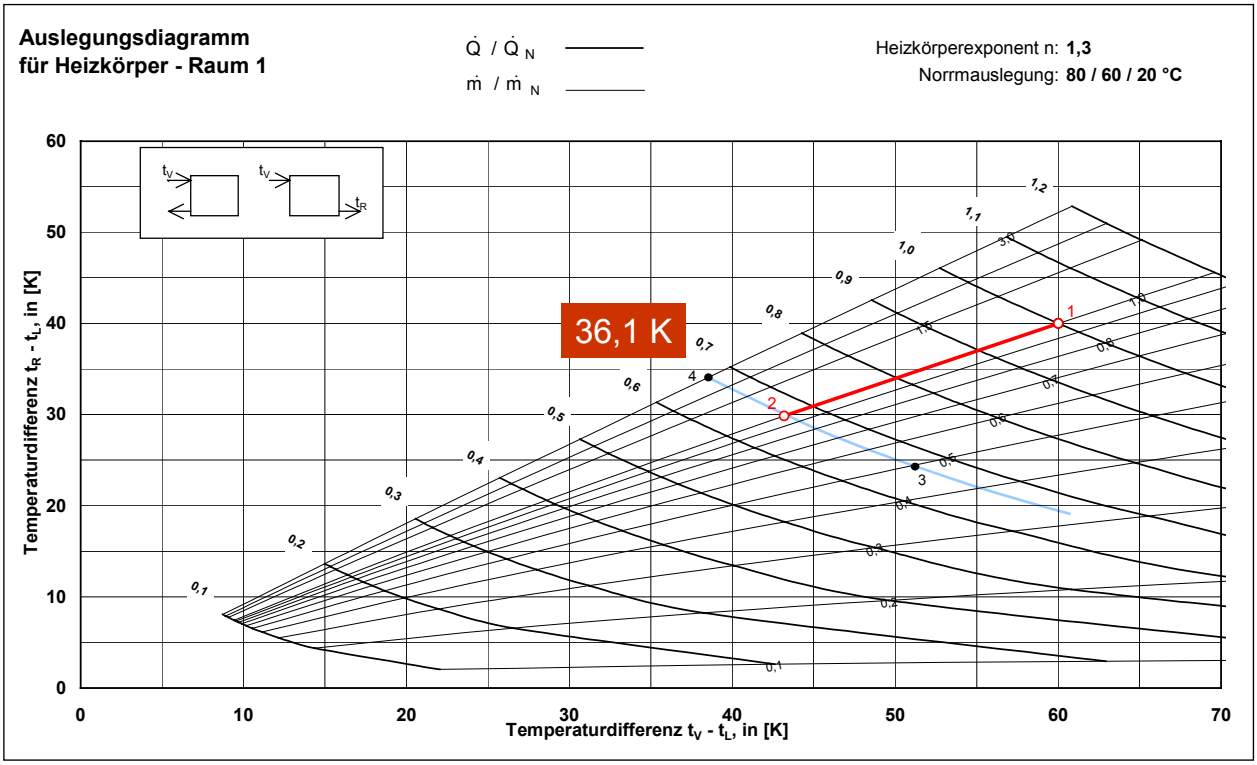


Wert im neuen Zustand

$$\Delta\vartheta_{ln,neu} = \Delta\vartheta_{ln,alt}\cdot\left(\frac{\dot{Q}_{neu}}{\dot{Q}_{alt}}\right)^{1/n} = 49{,}3K\cdot\left(\frac{0{,}8kW}{1{,}2kW}\right)^{1/1{,}3} = 36{,}1K$$

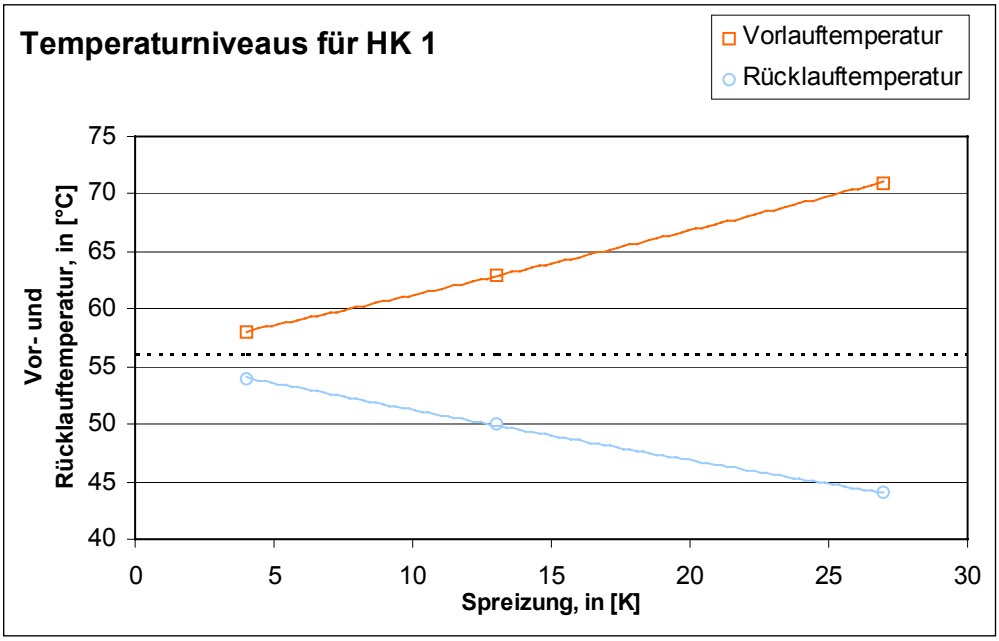
Nach der Sanierung ist eine geringere Übertemperatur ausreichend.

Graphische Darstellung des Ergebnisses für Raum 1

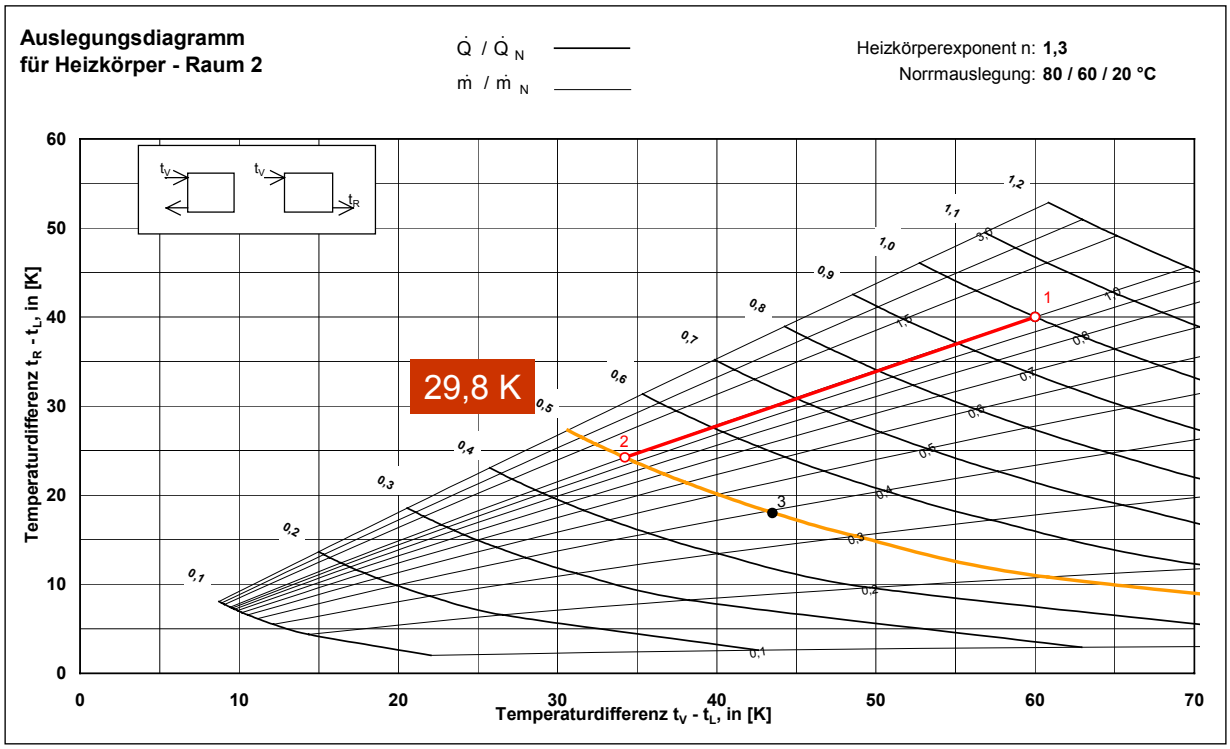


Mögliche Temperaturpaarungen für Raum 1

Viele verschiedene Temperaturpaarungen aus Vor- und Rücklauftemperatur führen zur selben Übertemperatur für den Raum 1.



Graphische Darstellung des Ergebnisses für Raum 2



Praktisches Vorgehen bei unbekannten Randdaten

Wenn nicht bekannt ist:

- welches Temperaturniveau in der Altanlage gefahren wird (die Vorlauftemperatur kann über die Reglereinstellungen ermittelt werden, die sich einstellende Rücklauftemperatur ist aber in der Regel unbekannt),
- ob die vorhandenen Heizkörper passend zur alten Heizlast dimensioniert waren und welche Heizlasten vor der Sanierung überhaupt vorlagen,

ist wie nachfolgend beschrieben zu verfahren:

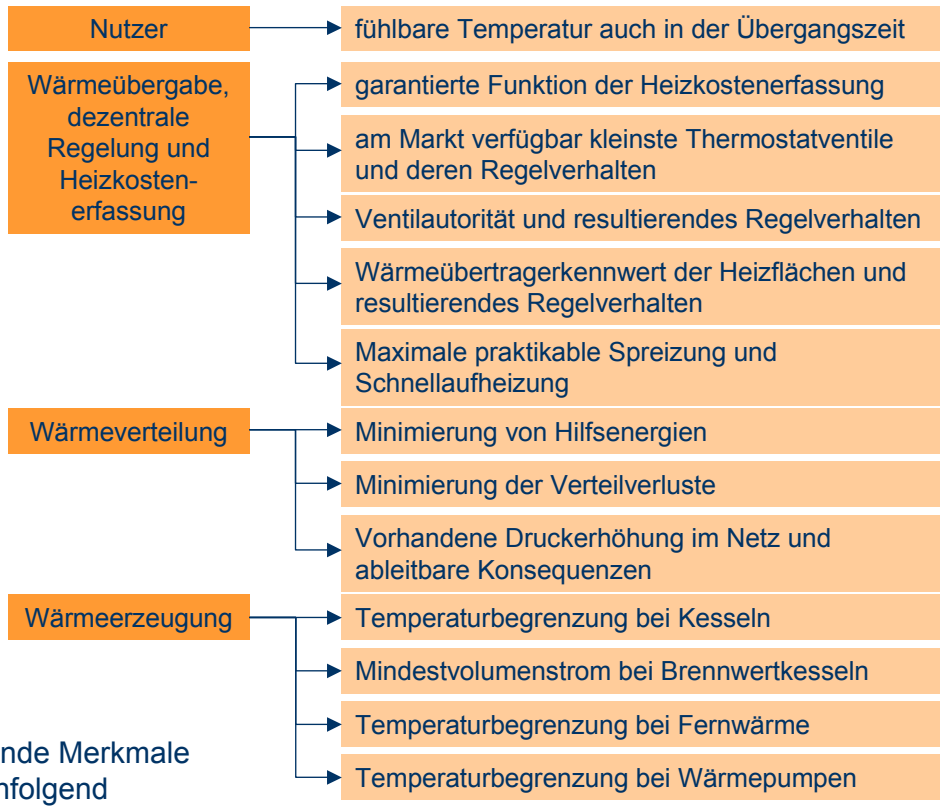
Anstelle des "alten" Zustandes vor der Sanierung, für den die Daten fehlen, ist der "Normzustand des Heizkörpers" einzusetzen.

Das bedeutet: statt der "alten" logarithmischen Übertemperatur ist die "Übertemperatur bei Normtemperaturen" zu verwenden. Diese Normtemperaturen sind in der EN 442 mit 75/65/20°C festgelegt.

$$\Delta\vartheta_{ln,neu} = \cancel{\Delta\vartheta_{ln,alt}} \cdot \left(\frac{\dot{Q}_{neu}}{\cancel{\dot{Q}_{alt}}} \right)^{1/n} \quad \Rightarrow \quad \Delta\vartheta_{ln,75/65/20} \cdot \left(\frac{\dot{Q}_{neu}}{\dot{Q}_{HK,75/65/20}} \right)^{1/n}$$

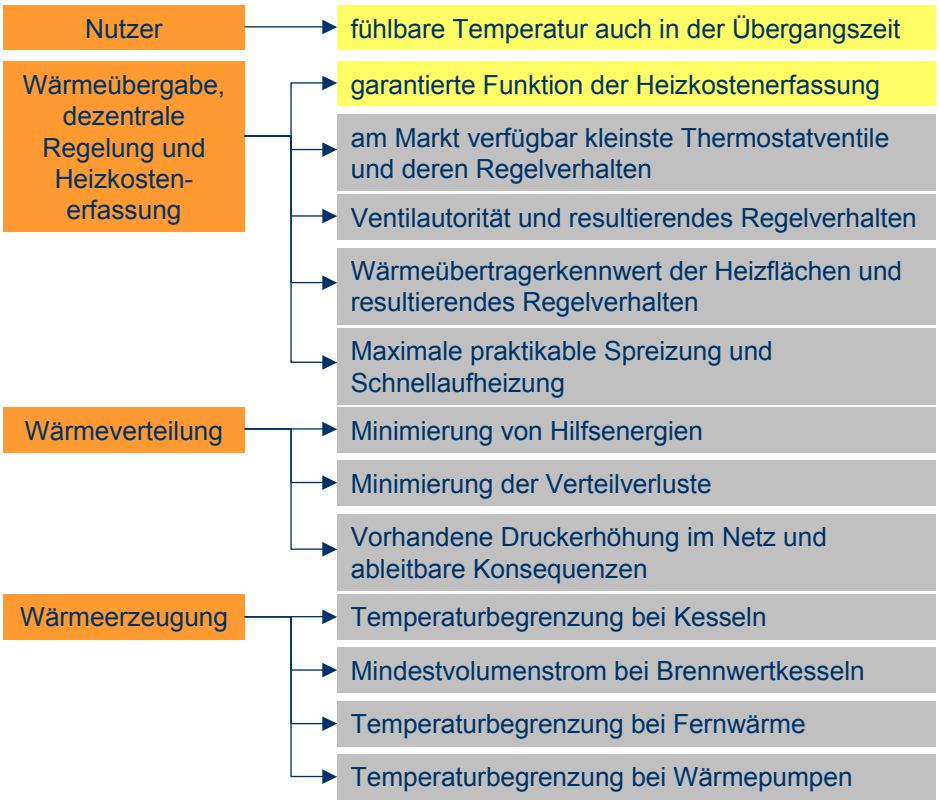
Einflüsse auf das Temperaturniveau einer Heizungsanlage

Überblick: Temperaturniveau



Nebenstehende Merkmale werden nachfolgend detailliert besprochen.

Temperaturniveau: Einzelbetrachtung



Fühlbare Temperatur, Heizkostenerfassung

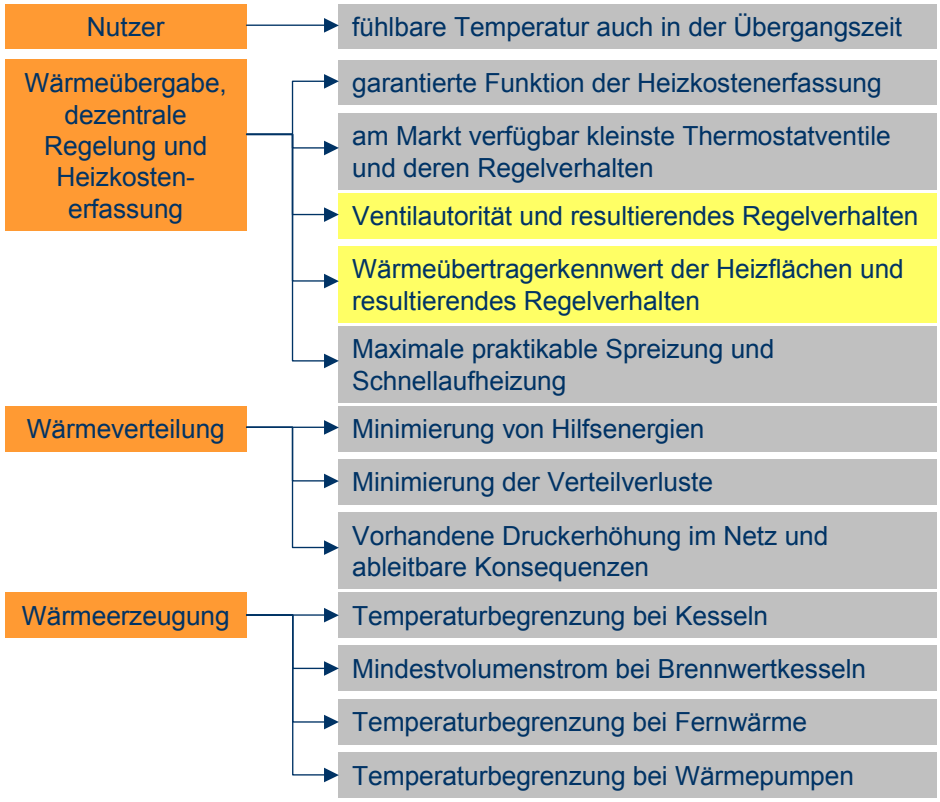
Fühlbare Temperatur

- MFH: Setzt man bei etwa 12 °C Außentemperatur voraus, dass die Vorlauftemperatur wenigstens 30 °C erreicht, damit ein "Wärmeeindruck„ entsteht, dann muss die **Auslegungsvorlauftemperatur 65°C** und mehr betragen
- EFH: meist nicht relevant

Heizkostenerfassung

- konventionelle Verdunster: **mittlere Heizkörpertemperatur bei der Auslegung über 55...60 °C**
- elektronische Ein- und Zweifühlergeräte ist ein Einsatz ab ca. **30...35 °C**
- die mittlere Heizkörpertemperatur stellt sich unabhängig von der Wahl der Vor- und Rücklauftemperatur ein, denn es handelt sich um den Mittelwert aus beiden (wird nur von der Überdimensionierung des Heizkörpers bestimmt)

Temperaturniveau: Einzelbetrachtung



Welche Funktion sollen die Thermostatheizkörperventile erfüllen?

Die eigentliche Funktion der Thermostatventile besteht darin, vorhandene innere und solare Gewinne nutzbar zu machen.

⇒ Wenn sich die Raumtemperatur aufgrund von Wärmegewinnen erhöht, drosselt das Thermostatventil den Volumenstrom, der durch den Heizkörper fließt und vermindert so dessen Leistung. Die Raumtemperatur bleibt konstant.

Voraussetzung ist die richtige Einstellung der Heizkurve (Vorlauftemperatur)

⇒ Wenn die Heizkurve zu hoch eingestellt ist, müssen die THKVs zusätzlich zu den anfallenden Gewinnen auch das Überangebot an Leistung kompensieren, das aus der erhöhten Vorlauftemperatur resultiert. Infolgedessen verschlechtert sich das Regelverhalten.

Ventilautorität

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

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 der Praxis hat sich bewährt, die Ventilautorität für den im Netz am hydraulisch ungünstigst 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.

Alle anderen, hydraulisch günstiger gelegenen Heizkörper weisen dann bessere (größere) Ventilautoritäten auf, weil die Netzdruckverluste kleiner sind, die Pumpendruckerhöhung aber gleich bleibt.

Wärmeübertragerkennwert der Heizflächen

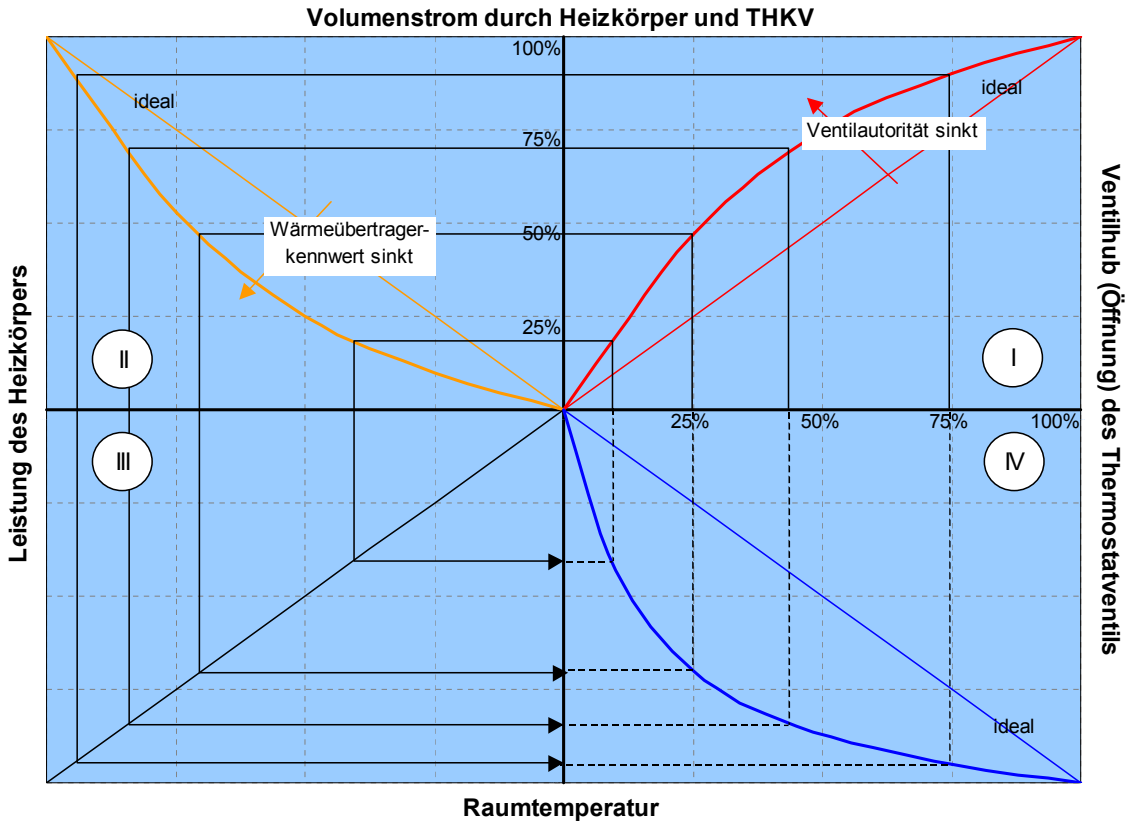
$$a = \frac{\vartheta_{V,A} - \vartheta_{R,A}}{\vartheta_{V,A} - \vartheta_L}$$

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.

Um eine einigermaßen gute Regelbarkeit zu gewährleisten, sollte der Wärmeübertragerkennwert a für den thermisch ungünstigsten Heizkörper so groß wie möglich sein, jedoch nicht kleiner als 0,2.

Alle thermisch günstigeren Heizkörper weisen eine größere Überdimensionierung auf. Hier werden geringere Übertemperaturen benötigt, es stellen sich niedrigere Rücklauftemperaturen ein. Die Wärmeübertragerkennwerte sind größer und damit besser als am thermisch ungünstigsten Heizkörper.

Zusammenspiel von Ventilautorität und Wärmeübertragerkennwert



Temperaturniveau: Einzelbetrachtung

Nutzer	fühlbare Temperatur auch in der Übergangszeit
Wärmeübergabe, dezentrale Regelung und Heizkosten-erfassung	garantierte Funktion der Heizkostenerfassung
	am Markt verfügbar kleinste Thermostatventile und deren Regelverhalten
	Ventilautorität und resultierendes Regelverhalten
	Wärmeübertragerkennwert der Heizflächen und resultierendes Regelverhalten
	Maximale praktikable Spreizung und Schnellaufheizung
Wärmeverteilung	Minimierung von Hilfsenergien
	Minimierung der Verteilverluste
	Vorhandene Druckerhöhung im Netz und ableitbare Konsequenzen
Wärmeerzeugung	Temperaturbegrenzung bei Kesseln
	Mindestvolumenstrom bei Brennwertkesseln
	Temperaturbegrenzung bei Fernwärme
	Temperaturbegrenzung bei Wärmepumpen

k_V-Wert und P-Bereich von Ventile

$$k_V = \dot{V}_{THKV} \cdot \sqrt{\frac{1\,bar}{\Delta p_{THKV}}}$$

Auf den **k_V-Wert**, den die Bedingungen für den Auslegungsfall vorgeben, muss das Ventil ausgelegt werden. Dazu werden Herstellerunterlagen - in Form von Tabellen oder Diagrammen - herangezogen.

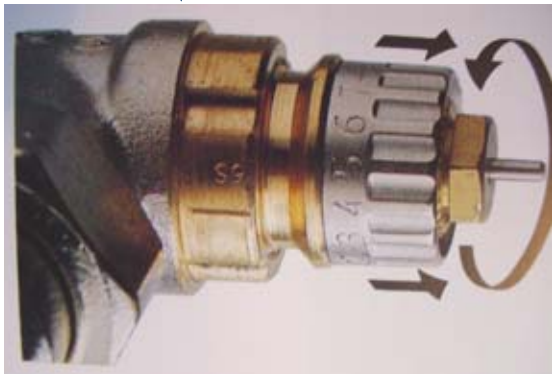
Der **P-Bereich** gibt an, wie viel Grad Celsius (oder Kelvin) Raumtemperaturerhöhung dazu führen, dass das Ventil vom Auslegungszustand (z.B. 20°C Raumtemperatur) ausgehend schließt. Ein P-Bereich von 2 K bedeutet, dass bei 22°C Raumtemperatur das Ventil voll geschlossen ist.

Es hat sich sowohl aus Gründen der Energieeinsparung als auch aus Gründen der Regelbarkeit als praktikabel erwiesen, den P-Bereich im Bereich von 0,7 bis 2,0 K zu wählen.

Bauarten von Thermostatventilen

In einer Anlage können folgende Arten von Thermostatventilen eingebaut sein:

- Nicht voreinstellbare THKVs
- Voreinstellbare THKVs
- THKVs mit angepassten k_V-Kegeln
- THKVs mit eingebautem Differenzdruckregler



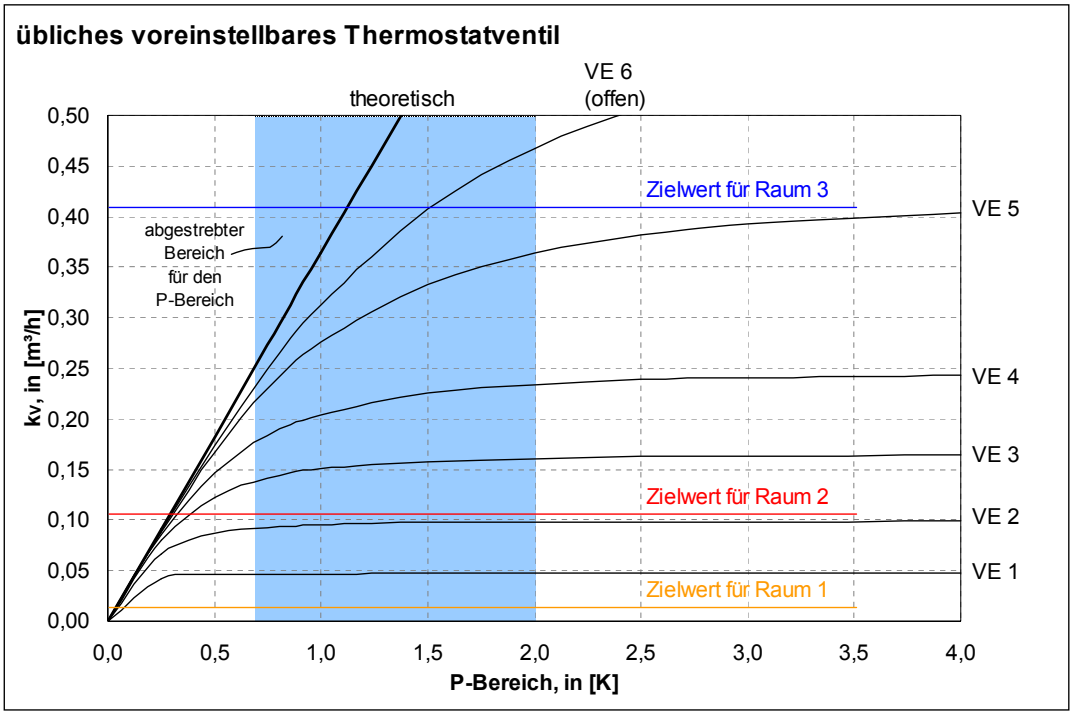
Auslegungsbeispiel für den k_V-Wert

Für drei Beispielräume sollen jeweils Thermostatventile gewählt und eine Voreinstellung festgelegt werden.

Raum	1	2	3
	kleineres Kinderzimmer in einem Niedrigenergie gebäude		kleineres Wohnzimmer in einem älteren Mehrfamilienhaus
bezogene Heizlast, in [W/m²]	30	60	100
Raumfläche, in [m²]	8	12	16
Heizlast, in [W]	240	720	1600
Temperaturspreizung, in [K]	20	15	10
Volumenstrom, [m³/h]	0,010	0,041	0,092
Druckabfall über dem Ventil, in [mbar]	250	150	50
k_V, in [m²/h]	0,02	0,11	0,41

Die drei Ventile (bzw. deren Voreinstellung), die gewählt werden, sollen jeweils P-Bereiche von 0,7...2,0 K aufweisen.

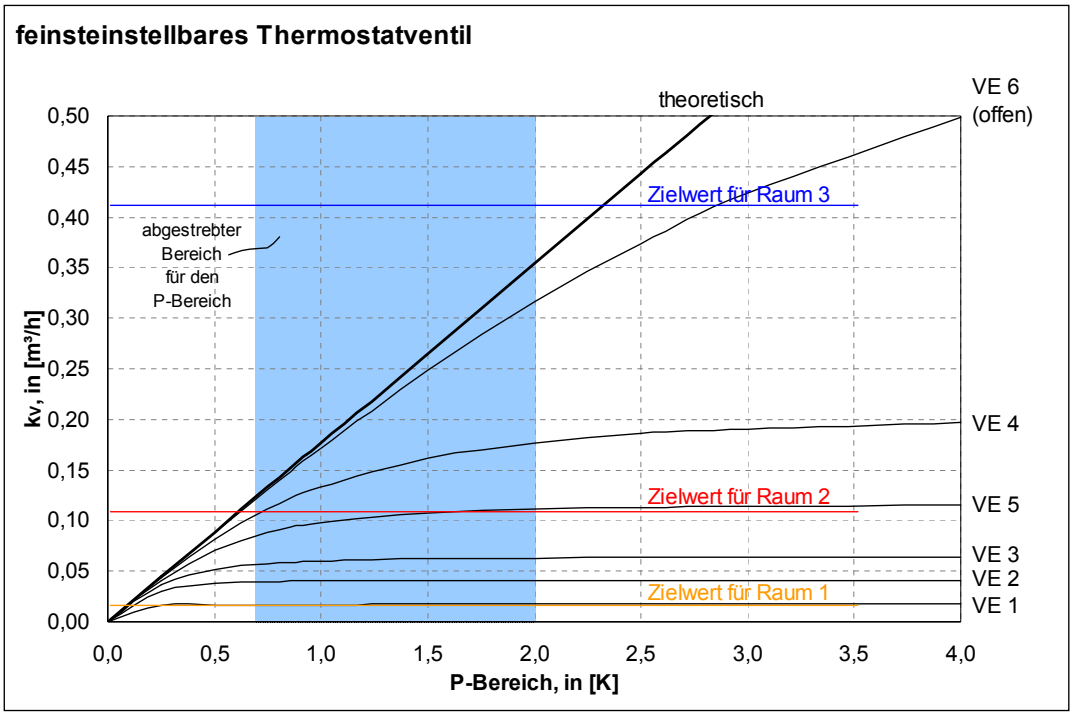
Auslegungsbeispiel: Übliches THKV



Bei einem voreinstellbaren Thermostatventil der am meisten verkauften Größe ergibt sich:

1. im Raum 3 keine Voreinstellung (sehr gute Regelbarkeit),
2. im Raum 2 etwa Voreinstellung 2 (geringe Regelbarkeit),
3. keine Einsatzmöglichkeit für den Raum 1.

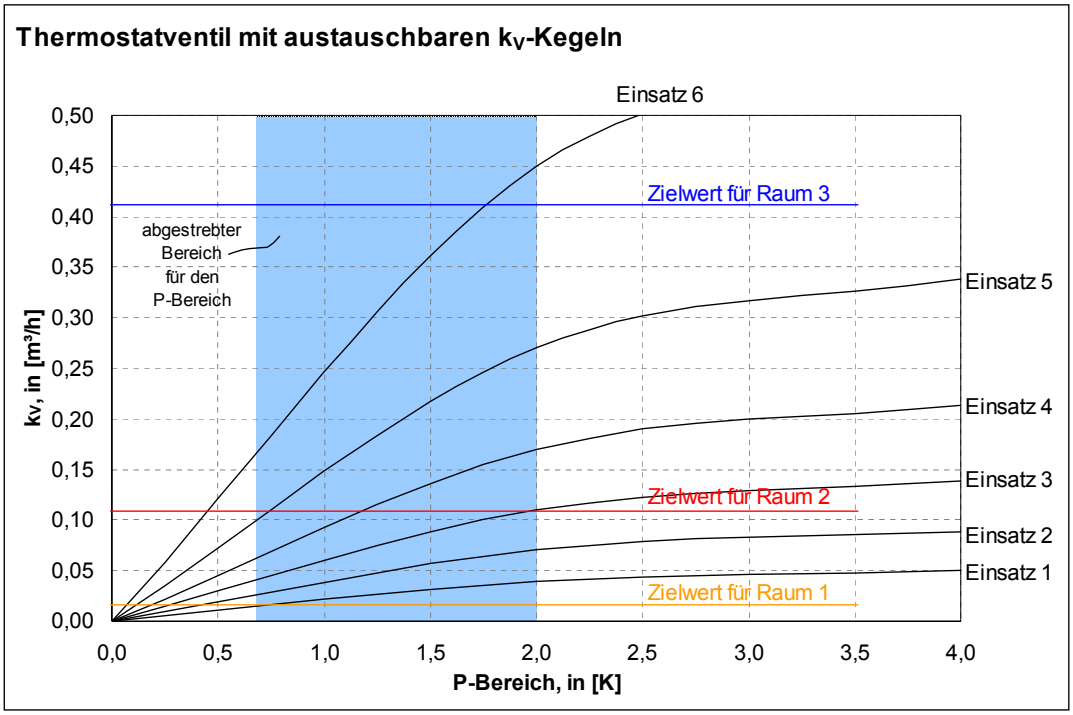
Auslegungsbeispiel: Feinstregulierbares THKV



Bei einem feinregulierbaren voreinstellbaren Thermostatventil ergibt sich:

1. keine Einsatzmöglichkeit im Raum 3,
2. im Raum 2 etwa Voreinstellung 5 (gute Regelbarkeit),
3. im Raum 1 etwa Voreinstellung 1 (sehr schlechtes Regelverhalten).

Auslegungsbeispiel: THKV mit austauschbaren Kegeln



Bei dem selten verwendeten Thermostatventil mit austauschbaren Kegeln ergibt sich:

1. Einsatz 6 im Raum 3 (sehr gute Regelbarkeit),
2. Einsatz 3, 4 oder 5 im Raum 2 (sehr gute Regelbarkeit),
3. Einsatz 1 im Raum 1 (gut Regelbarkeit, aber Gefahr der Verstopfung).

THKVs mit eingebautem Differenzdruckregler

Vorteil:

- Sehr gute Regelbarkeit
- Eingestellter Volumenstrom wird bei geöffnetem Ventil unter allen Betriebsbedingungen absolut konstant gehalten, Druckschwankungen im restlichen Netz, die durch andere THKVs hervorgerufen werden, haben keinen Einfluss auf das Regelverhalten des Ventils
- Keine Geräuschprobleme, selbst bei sehr hohen Differenzdrücken über dem Ventil

Nachteil:

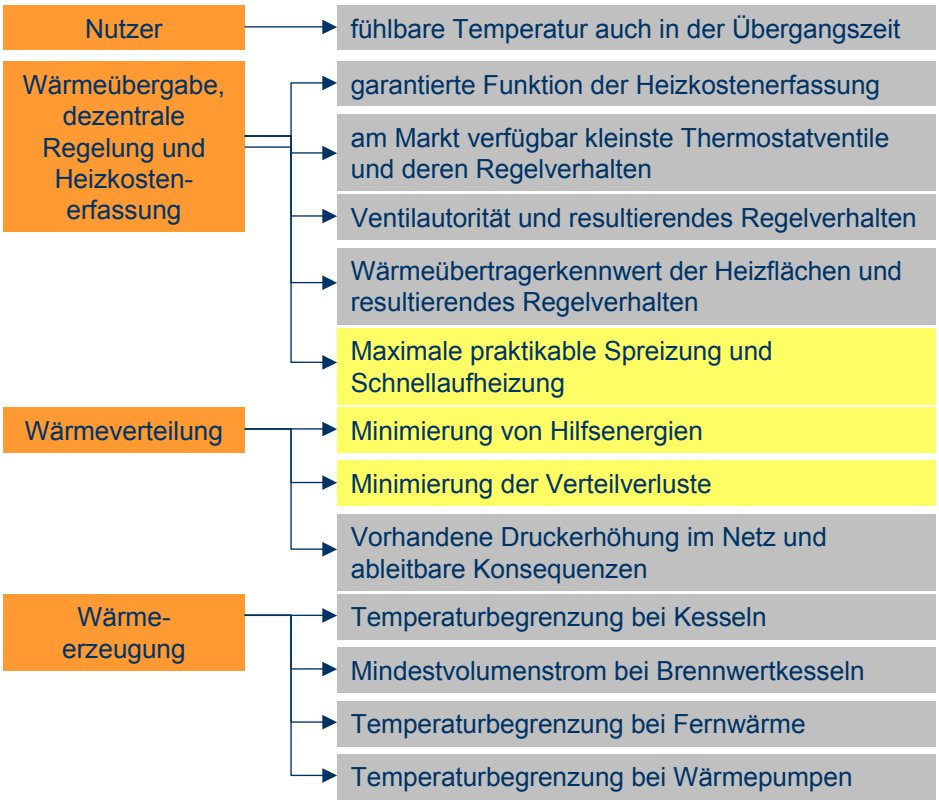
- Bisher gibt es nur Ventilgrößen, die auf relativ hohe Volumenströme ausgelegt sind (> 35 l/h)
- Etwa doppelt so hoher Preis wie normale THKVs

Einsatzgrenzen heute verfügbarer THKV

Die **Einsatzgrenze** der heute verfügbaren **voreinstellbaren Ventile** liegt bei einem minimalen **k_V-Wert von 0,02 m³/h**.

Die Einschränkung der minimalen **Einsatzgrenze** auf einen **k_V-Wert von 0,02 m³/h** kann auch für Thermostatventile mit austauschbaren Ventilkegeln aufrecht erhalten werden. Unterhalb dieses Wertes lassen sich keine einsetzbaren Kegel mehr finden.

Temperaturniveau: Einzelbetrachtung



Maximale Systemspreizung, Minimierung der Verteilverluste und Hilfsenergien

Spreizung am Wärmeerzeuger

Bei der Wahl des Auslegungstemperaturniveaus sollte darauf geachtet werden, dass die Spreizung zwischen Vorlauf- und Gesamtrücklauftemperatur im Netz nicht mehr als 25 Kelvin beträgt.

Die Spreizung an den thermisch ungünstigen Heizkörpern im Netz ist dabei kleiner als 25 K, an thermisch günstigen Heizkörpern stellt sich eine höhere Spreizung ein.

Es werden dadurch nicht allzu "exotische" Temperaturniveaus nach der Optimierung zustande kommen. Die Begrenzung stellt außerdem sicher, dass die Totzeiten im Netz - wegen sehr geringer Volumenströme - nicht zu hoch werden und die Temperaturschichtung in den Heizkörpern für den Nutzer akzeptabel ist. Die Kessel/Pumpenregelung einzelner Kessel lässt mehr nicht zu.

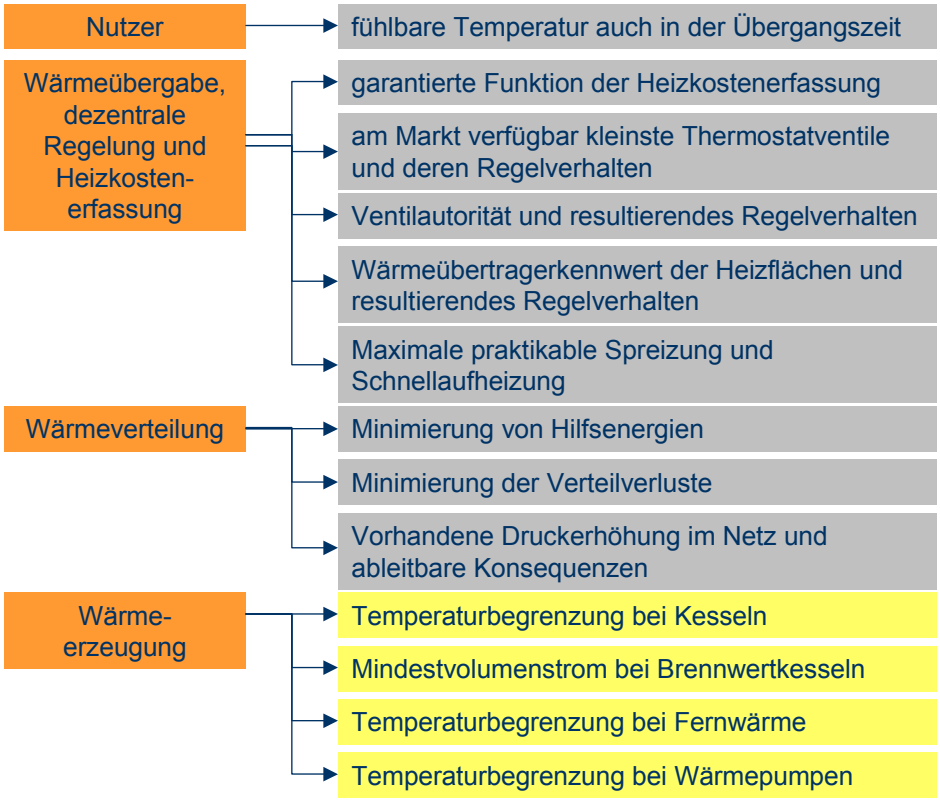
Verteilverluste

Verteilverluste werden praktisch von der Wahl des Temperaturniveaus nicht berührt, weil die mittlere Temperatur fest ist.

Hilfsenergien

Für geringe Hilfsenergien ist ein große Spreizung zu wählen.

Temperaturniveau: Einzelbetrachtung



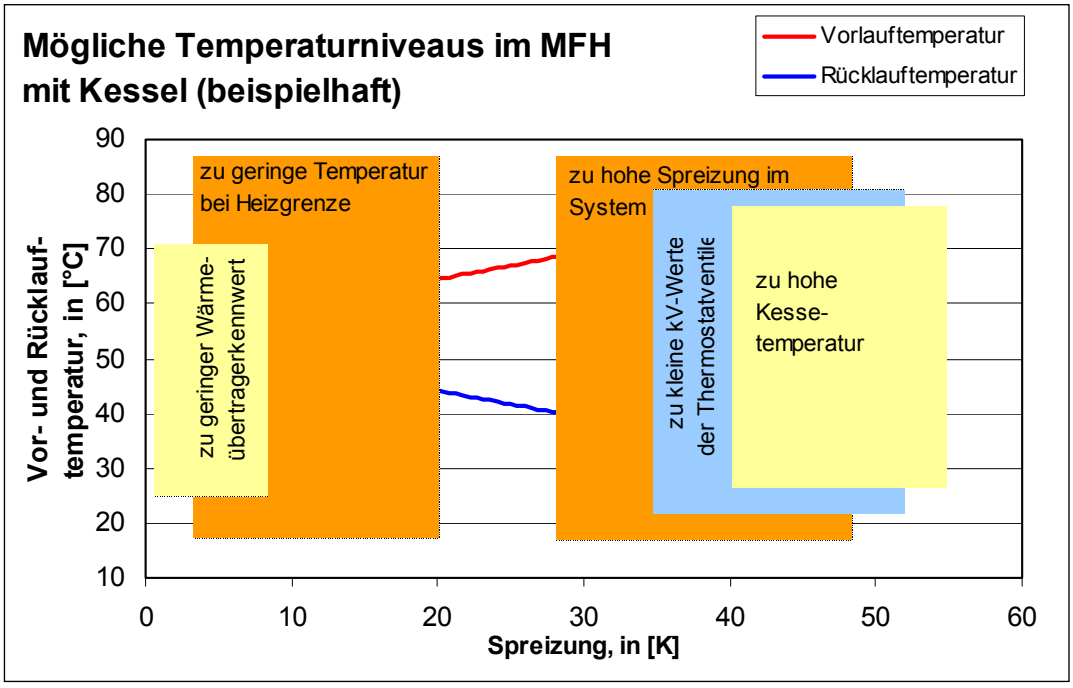
Vorgaben des Wärmeerzeugers

Anforderungen verschiedener Erzeuger an das Temperaturniveau

- geringe Rücklauf-Temperaturen bei Brennwertkesseln
- hohe Spreizungen und geringe Rücklauftemperaturen bei Fernwärme
- Mindestvolumenstrom bei Thermen
- Anforderungen von Konstanttemperaturkesseln
- geringe mittlere Temperaturen und Vorlauftemperaturen von Wärmepumpen

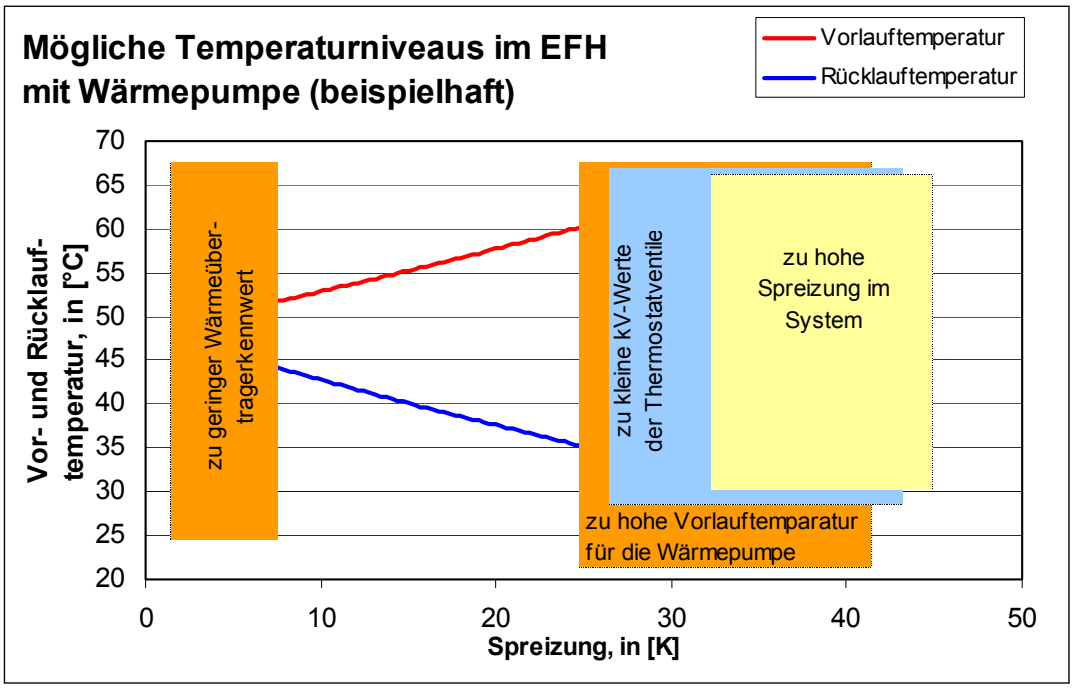
Wahl des optimalen Temperaturniveaus

Temperaturniveau in einem MFH mit Kessel



Alle Randbedingungen des Systems werden beachtet.
Bereiche, in denen die Systemtemperatur nicht liegen sollte, sind farbig markiert.
Vorlauftemperaturen zwischen 65 und 69 °C sind hier sinnvoll.

Temperaturniveau in einem EFH mit Wärmepumpe

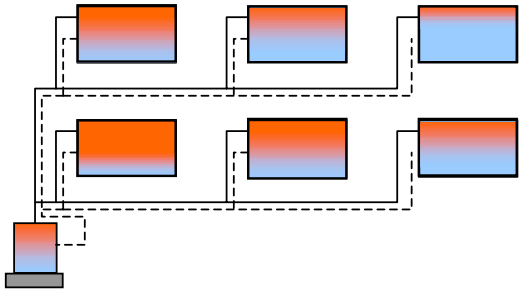


Alle Randbedingungen des Systems werden beachtet.
Bereiche, in denen die Systemtemperatur nicht liegen sollte, sind farbig markiert.
Vorlauftemperaturen zwischen 52 und 60 °C sind hier sinnvoll.

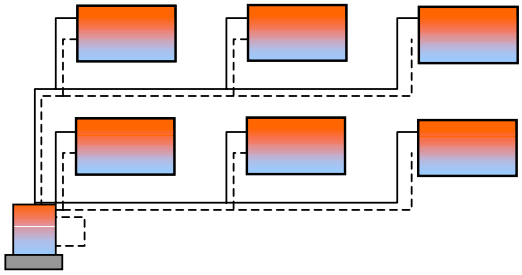
Hydraulischer Abgleich

Hydraulischer Abgleich: Definition und Nutzen

nicht vorhanden



vorhanden



Unter Hydraulischem Abgleich von Heizungsanlagen versteht man das Einbringen definierter Festwiderstände in das Rohrnetz mit dem Ziel, jeden Verbraucher mit dem geplanten Volumenstrom zu versorgen.

Die Festwiderstände müssen dazu dezentral in der Anbindeleitung (Vor- oder Rücklauf) eines Verbrauchers mit eigener Einrichtung zur Einzelraumregelung (z. B. THKV) angeordnet werden.

Es kann sich um die Voreinstellung von Thermostatventilen, einstellbare Rücklaufverschraubungen oder sonstige Einstelldrosseln handeln.

Was passiert, wenn der hydraulisch Abgleich nicht durchgeführt wird?

Einzelne Räume werden nicht ausreichend beheizt.

Häufig durchgeführte „Behelfslösungen“:

- Erhöhung der Pumpenleistung (Pumpe wird auf höchstmögliche Drehzahl einstellt)
- Falls die Erhöhung der Pumpenleistung nicht ausreicht oder die Pumpe bereits auf der höchsten Stufe läuft, wird im nächsten Schritt oft die Heizkurve angehoben bzw. steiler eingestellt (höhere Vorlauftemperaturen)

Behelfslösung und die Folgen

- Ungleichmäßige Wärmeabgabe

  Pumpennahe Heizkörper werden überversorgt. An den entsprechenden Heizkörpern wird ein Verschwendungs-potenzial zur Verfügung gestellt.

- Geräusche in der Anlage

  Durch die erhöhte Pumpenleistung treten insbesondere in den hydraulisch günstigen Rohrleitungsabschnitten mit kleinen Durchmessern und in den Thermostatventilen lästige Strömungs- und Pfeifgeräusche auf.

- Ungleichmäßige Aufheizzeiten

  Die Aufheizzeiten der einzelnen Räume nach Absenkphasen weichen in hydraulisch nicht abgeglichenen Netzen stark voneinander ab.

Behelfslösung und die Folgen

- Hohe Rücklauftemperaturen

  Insbesondere in den Aufheizzeiten stellen sich an den nicht abgeglichenen Heizkörpern hohe Volumenströme ein. Die Folge sind hohe Rücklauftemperaturen. Dies führt direkt zu einem verminderten Brennwertnutzen und zur Nichteinhaltung der erlaubten Rücklauftemperatur bei Nah- und Fernwärmenetzen.

- Unnötig hohe Pumpenleistung

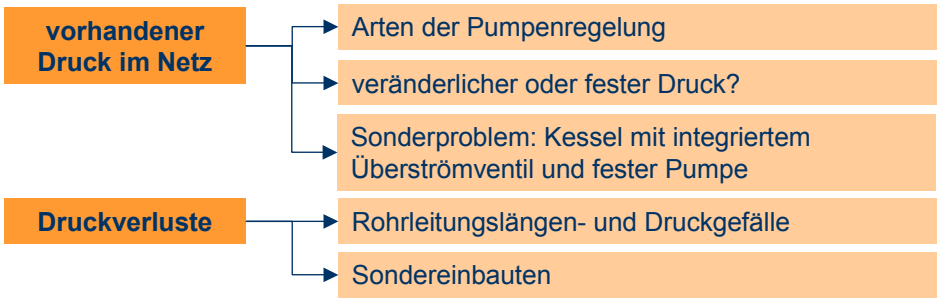
  Um trotz nicht abgeglichener Anlage alle Heizflächen ausreichend mit Wärme versorgen zu können, muss die Pumpe mit einer höheren Leistung betrieben werden und verbraucht daher mehr elektrische Energie als in einem abgeglichenen System (Achtung: Primärenergiefaktor f_P = 3,0!)

- Anlage entspricht nicht den „Allgemein anerkannten Regeln der Technik“

  Laut VOB (Teil C) im Zusammenspiel mit DIN 18380 wird der hydraulische Abgleich explizit gefordert.

Überschlägige Rohrnetzberechnung

Überblick: überschlägige Rohrnetzberechnung



Die genannten Merkmale werden nachfolgend detailliert besprochen.

Überschlägige Rohrnetzberechnung: Details

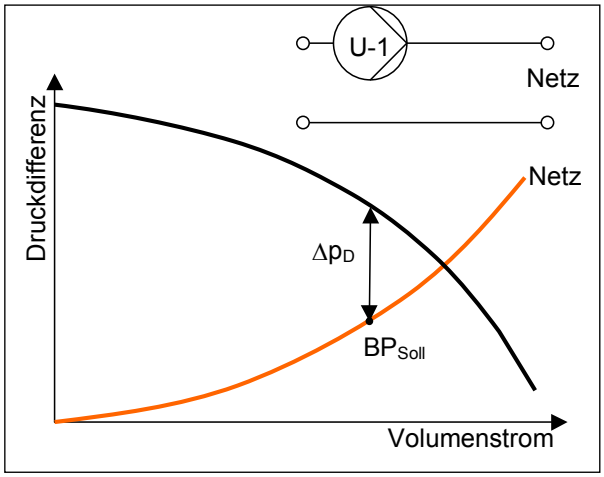
vorhandener Druck im Netz
- Arten der Pumpenregelung
- veränderlicher oder fester Druck?
- Sonderproblem: Kessel mit integriertem Überströmventil und fester Pumpe

Druckverluste
- Rohrleitungslängen- und Druckgefälle
- Sondereinbauten

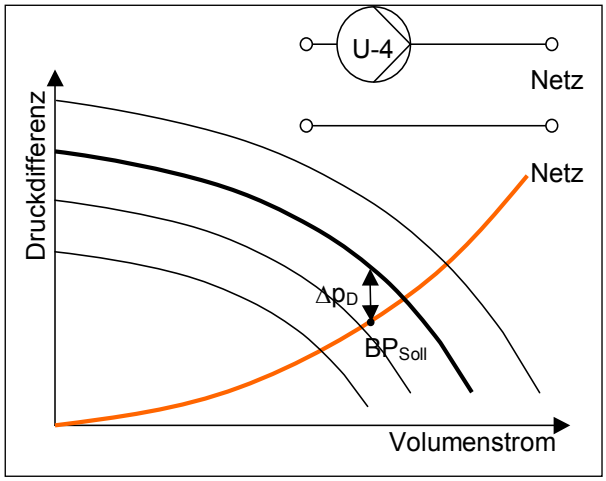
Arten der Pumpenregelung

Für das Netz kann der Differenzdruck beispielsweise von einer ungeregelten Pumpe (ein- oder mehrstufig) bestimmt sein. Der gegebene Druck ist meist größer als der benötigte:

ungeregelte Pumpe, einstufig



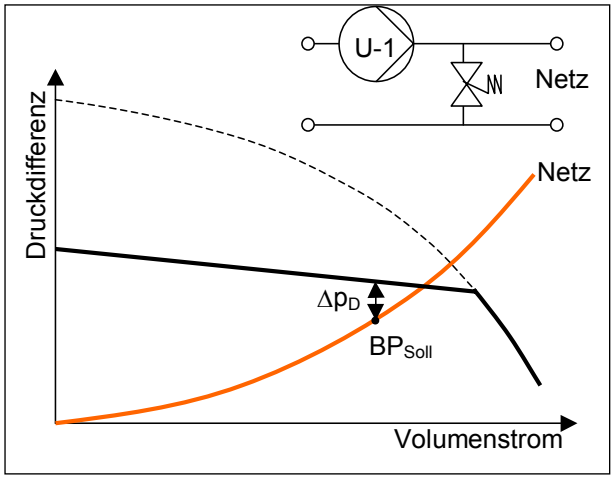
ungeregelte Pumpe, vierstufig



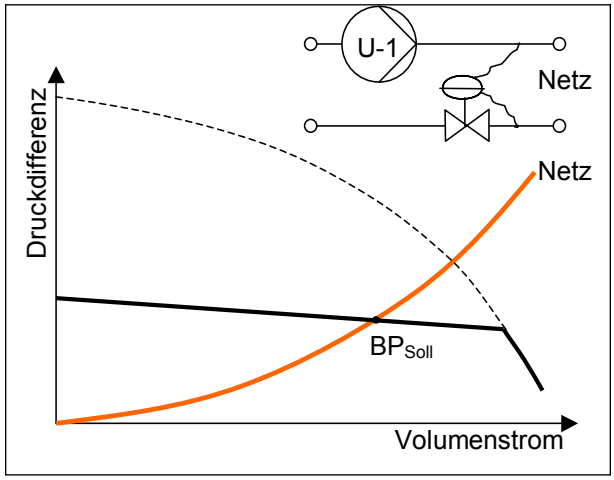
Arten der Pumpenregelung

Der für das Netz maßgebliche Differenzdruck kann auch aus einer Kombination aus ungeregelter Pumpe und Überströmventil oder Differenzdruckregler resultieren. Der Solldruck kann in beiden Fällen genau eingestellt werden, er kann aber auch überschritten werden (bauartbedingt).

ungeregelte Pumpe und Überströmventil



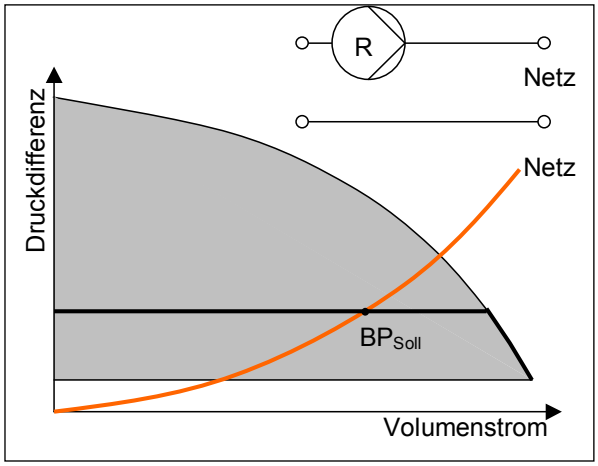
ungeregelte Pumpe und Differenzdruckregler



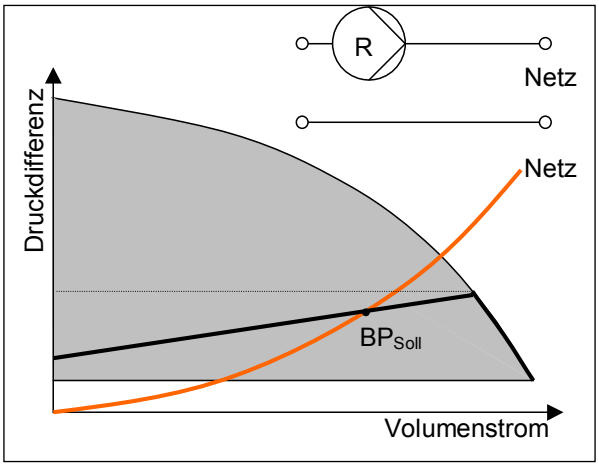
Arten der Pumpenregelung

Kommt eine Regelpumpe zum Einsatz, kann der Druck konstant oder variabel geregelt werden. In beiden Fällen ist eine genaue Einstellung des benötigten Drucks möglich.

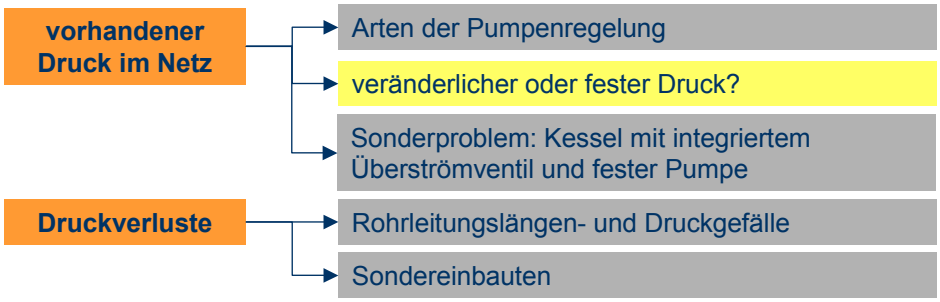
regelbare Pumpe, Δp-Konstant-Regelung



regelbare Pumpe, Δp-Variabel-Regelung



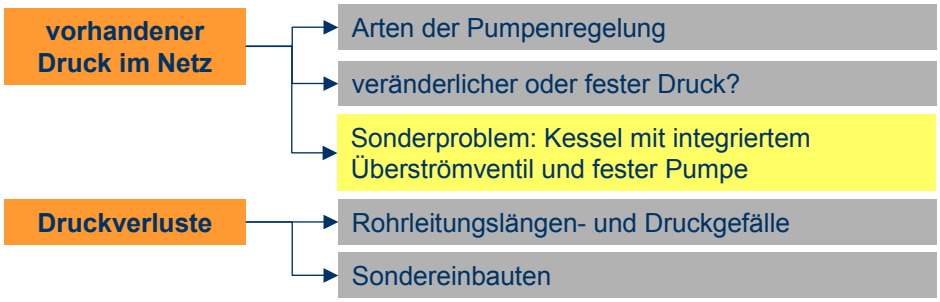
Überschlägige Rohrnetzberechnung: Details



Veränderbarkeit des Druckes?

Vor der Optimierung ist festzustellen, ob der für das Netz maßgebliche Druck einstellbar ist oder nicht. Daraus leitet sich ab, wie optimiert wird.

Überschlägige Rohrnetzberechnung: Details

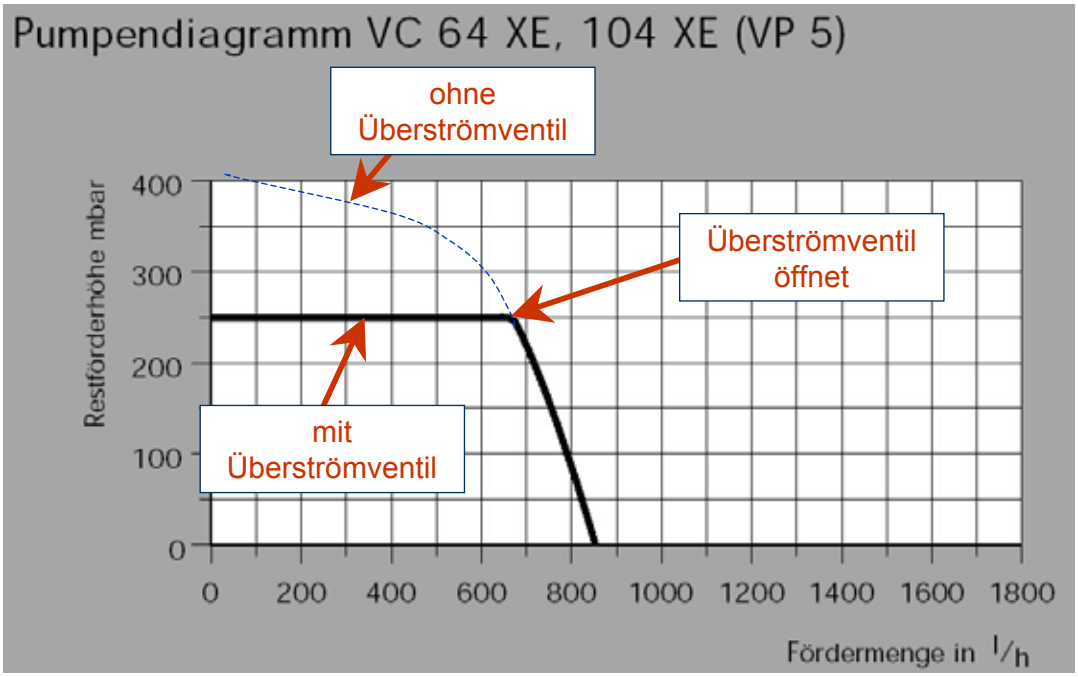


Wandgeräte

- Weisen bauartbedingt meist hohe Druckverluste auf und benötigen deshalb höhere Pumpenleistungen.
- Werden in der Regel standardmäßig mit einer integrierten Pumpe ausgestattet, die einen sehr großen Leistungsbereich abdecken muss und daher fast immer überdimensioniert ist.
- Restförderhöhe kann nur bei sehr wenigen Geräten vorgegeben werden, häufig wird die Pumpendrehzahl einfach parallel zur Brennerleistung gesteuert.
- Häufig benötigen die Wandgeräte einen bestimmten Mindestvolumenstrom, der sie vor Überhitzung schützt → Mindestvolumenstrom wird über Überströmventil sichergestellt → Überströmventil verhindert Brennwertnutzen!

Restförderhöhen-Diagramm des Wandgeräts

Das Überströmventil bewirkt, dass
a) keine zu großen Differenzdrücke im Netz zur Verfügung stehen und
b) im Teillastbetrieb immer ein Mindestvolumenstrom durch den Kessel strömt.



Beispiel: Problem Überströmventil

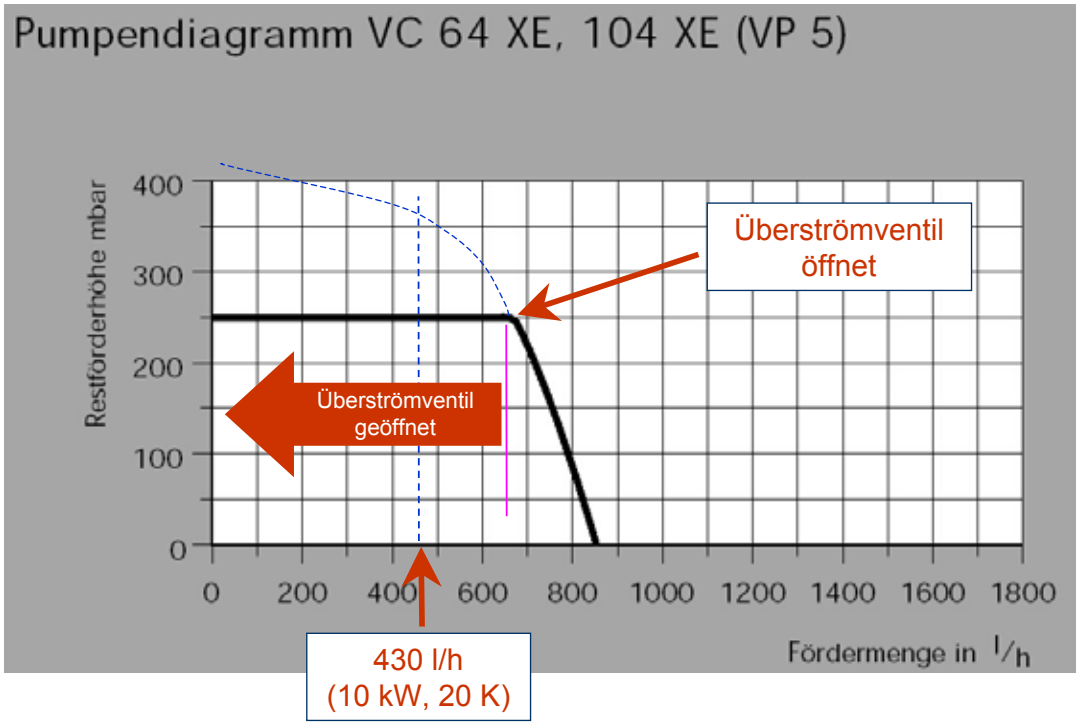
- Ein beispielhaft ausgewähltes Wandgerät besitzt eine maximale Leistung von 10 kW.
- Die Auslegungs-Systemspreizung soll 20 K betragen

Kennwert für benötigten Volumenstrom: 43 l/h je 1 kW bei 20 K Spreizung

- Für das gewählte Gerät ergibt sich bei der gewählten Spreizung ein maximaler Volumenstrom von

→ 43 l/h * 10 kW = 430 l/h

Restförderhöhen-Diagramm des Wandgeräts



Beispiel: Fazit

- Bereits im Auslegungsfall (kältester Tag) ist bei dem gezeigten Wandgerät das Überströmventil geöffnet → keine oder kaum noch Brennwertnutzung.
- Bei der Geräteauswahl sollte daher darauf geachtet werden, dass ein Gerät ohne Anforderungen an einen Kesselmindestvolumenstrom gewählt wird, welches weder auf integrierte noch auf externe Überströmventile zurückgreifen muss.
- In der Regel weisen Geräte mit einem großen Kesselwasserinhalt nicht die genannten Probleme auf.

Definition „großer Kesselwasserinhalt“: 1 bis 1,5 Liter pro 1 kW

Beispiel: Ein Gerät mit 25 kW sollte mindestens einen Kesselwasserinhalt von 25 l aufweisen.

Problemlösung:
Wandgerät mit großer Restförderhöhe

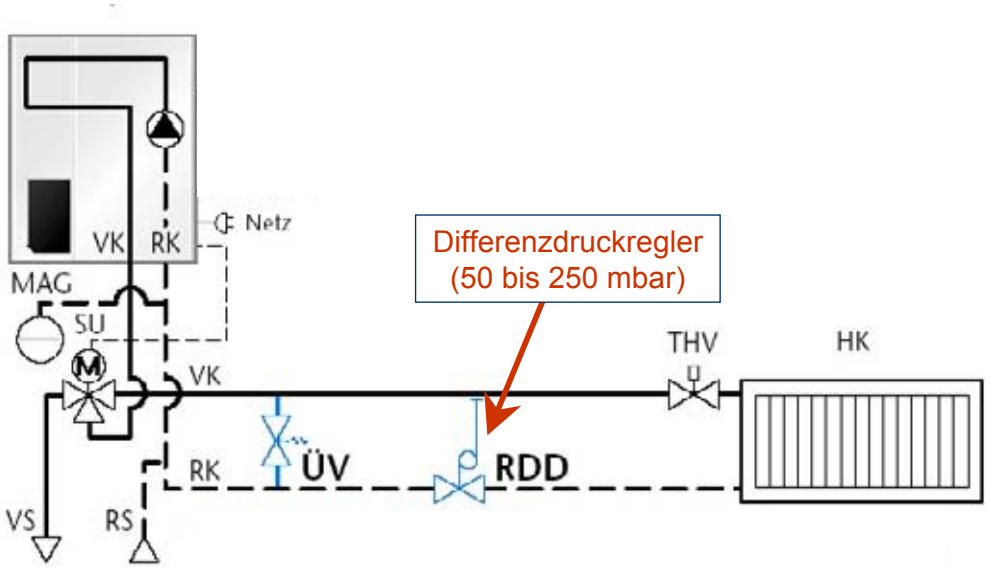
Ausgangslage: Das bereits angesprochene Wandgerät hat aufgrund der sehr großen Pumpe und des integrierten Überströmventils eine nahezu konstante, sehr große Förderhöhe von 250 mbar.

Problem: Durch die hohe Förderhöhe können zum einen Geräuschprobleme an den THKVs auftreten, zum anderen führt diese Förderhöhe zu THKVs mit sehr kleinen k_V-Werten und damit zu sehr starken Voreinstellungen (VE 1, 2) .

Die Nachteile von starken Voreinstellungen sind bereits bekannt: schlechtes Regelverhalten und erhöhte Verschmutzungsgefahr

Problemlösung:
Wandgerät mit großer Restförderhöhe

Lösung: Da die Pumpe nicht verändert werden kann, bleibt nur eine Lösung: Es muss ein Differenzdruckregler in Reihe zu Pumpe eingebaut werden.



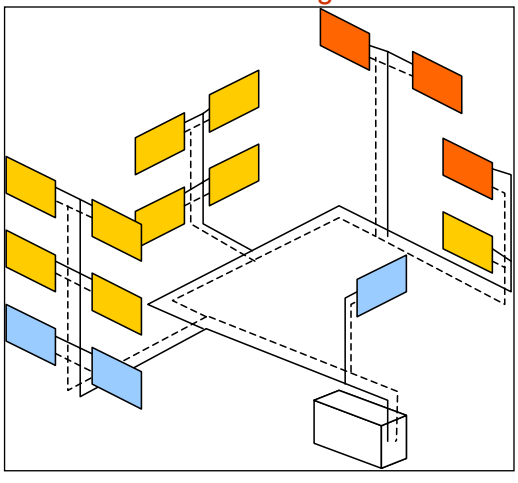
Überschlägige Rohrnetzberechnung: Details

- **vorhandener Druck im Netz**
  - Arten der Pumpenregelung
  - veränderlicher oder fester Druck?
  - Sonderproblem: Kessel mit integriertem Überströmventil und fester Pumpe
- **Druckverluste**
  - Rohrleitungslängen- und Druckgefälle
  - Sondereinbauten

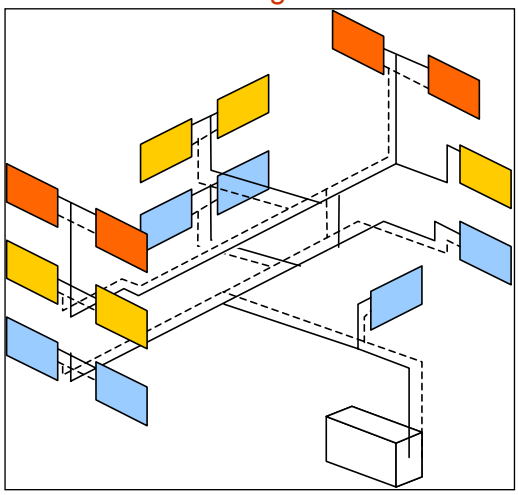
Abschätzen der Leitungslängen

Zu einer überschlägigen Rohrnetzberechnung gehört die Bestimmung der Druckverluste in den Rohrleitungen. Hierzu muss deren Länge und der R-Wert bekannt sein.

Heizungsanlage mit zentraler Kellerverteilung



Heizungsanlage mit Stockwerksverteilung



In der Praxis: Abschätzung der Lage des Heizkörpers nach „bestem Wissen“ innerhalb einer der drei Zonen weit mittel nah .

Dann Leitungslänge in jeder Zone aus der Länge des längsten Strangs bestimmen.

Problem: Abschätzung der Druckverluste

Das größte Problem bei der Abschätzung der Druckverluste im Netz bereitet die Abschätzung der R-Werte (Druckverlust je Meter Rohr) bzw. des hydraulischen Widerstandes im Rohrsystem.

- Netze wurden früher meist mit einer bestimmten Spreizung (20 K) und einem bestimmten maximalen R-Wert (100 Pa/m) ausgelegt.
- Wird das Gebäude baulich modernisiert, sinkt seine Heizlast. Bei gleicher Spreizung würde der Volumenstrom im selben Verhältnis sinken. Damit sinken Druckverluste und R-Werte quadratisch.

Problem: Abschätzung der Druckverluste

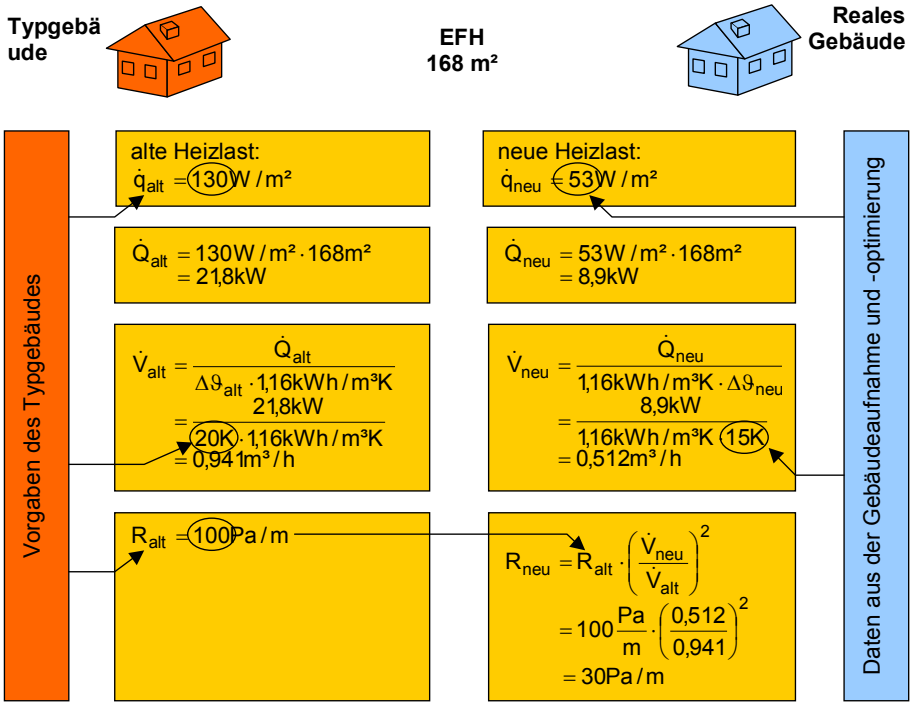
Das größte Problem bei der Abschätzung der Druckverluste im Netz bereitet die Abschätzung der R-Werte (Druckverlust je Meter Rohr) bzw. des hydraulischen Widerstandes im Rohrsystem.

- Die neue Heizlast für das Gebäude ist anhand einer überschlägigen (oder genauen) Heizlastberechnung bekannt.
- Der Volumenstrom hängt aber auch von der alten und neuen Spreizung ab. Kleinere Systemspreizungen als vorher führen nach der Optimierung zu größeren Volumenströmen und Druckverlusten.
- In der Regel ist über das Heizsystem nicht bekannt, mit welcher Spreizung und mit welchem mittleren R-Wert das Netz ursprünglich ausgelegt wurde. Oft wurden die Rohrnetze gar nicht ausgelegt.

Lösung: Abschätzung der Druckverluste

Typische Rohrsysteme in ihren Leitungslängen und Durchmessern haben sich im Laufe der letzten 40 Jahre nicht oder nur wenig geändert haben.

Die Rohrnetz-konstante C für Gesamtnetze (mit ähnlicher Ausdehnung) ist etwa gleich geblieben.



Überschlägige Rohrnetzberechnung: Details

vorhandener Druck im Netz
- Arten der Pumpenregelung
- veränderlicher oder fester Druck?
- Sonderproblem: Kessel mit integriertem Überströmventil und fester Pumpe

Druckverluste
- Rohleitungslängen- und Druckgefälle
- Sondereinbauten

Welche Sondereinbauten gibt es?

Zu einer überschlägigen Rohrnetzberechnung gehört die Bestimmung der Druckverluste in den Sondereinbauten der Zentrale.

1) Wärmemengenzähler
   - Flügelrad
   - Ultraschall

Welche Sondereinbauten gibt es?

2) Schmutzfänger

Rotguss-Schmutzfänger mit Schweißtüllen DN 15 bis 32

3) Luftabscheider/-sammler

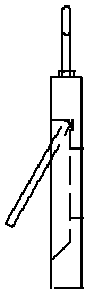
Flamcovent Absorptions-Luftabscheider

4) Schwerkraftbremsen

Sperrventil „Flowstop“ DN 25, 32

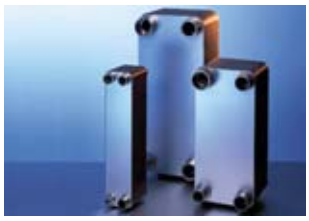
Welche Sondereinbauten gibt es?

5) Rückschlagklappen und -ventile



Disco-Rückschlagklappe direkt an Pumpenstutzen

6) Platten-Wärmeübertrager



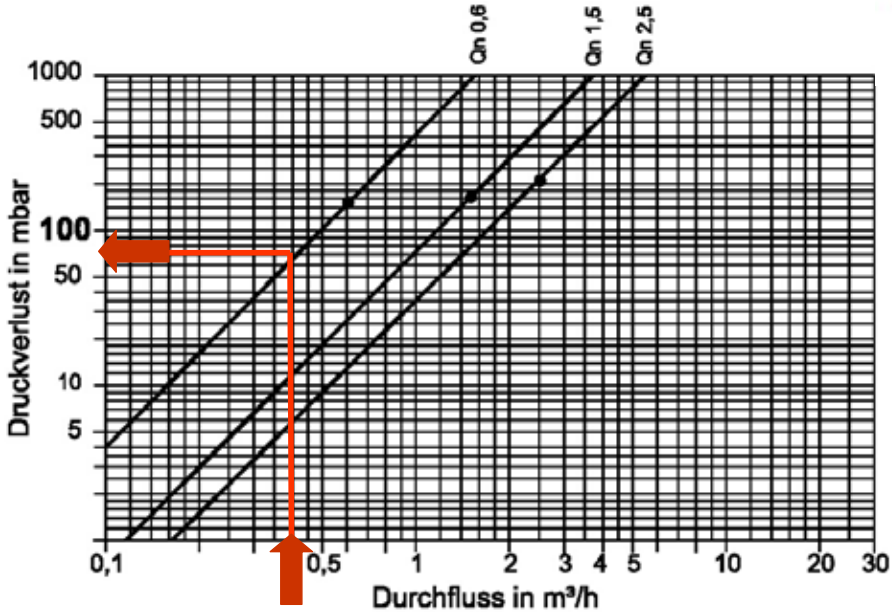
Berücksichtigung von Sondereinbauten

Warum müssen die Sondereinbauten bei der Durchführung des vereinfachten hydraulischen Abgleichs berücksichtigt werden?

- Sondereinbauten, die sich im zu betrachtenden System befinden, weisen einen zum Teil erheblichen Druckverlust auf
- Der von den Sondereinbauten verursachte Druckverlust hängt vom Volumenstrom im System ab
- Um die benötigte Förderhöhe bzw. Restförderhöhe korrekt bestimmen zu können, muss der Druckverlust dieser Bauteile in Abhängigkeit vom Volumenstrom aus Diagrammen abgelesen werden
- Druckverlust der Sondereinbauten muss von der Pumpe zusätzlich zu den üblichen Druckverlusten aufgebracht werden!

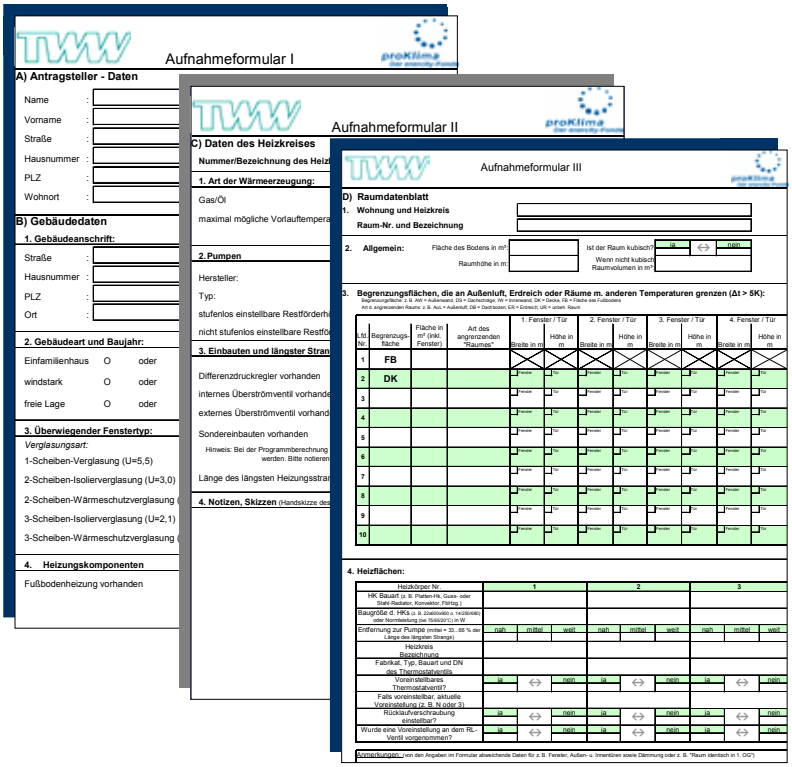
Abhängigkeit von Volumenstrom und Druckverlust

Beispiel für das Ablesen des Druckverlustes für einen Wärmemengenzähler (aus Herstellerunterlagen)



Software-Programme und deren Aufnahmeformulare

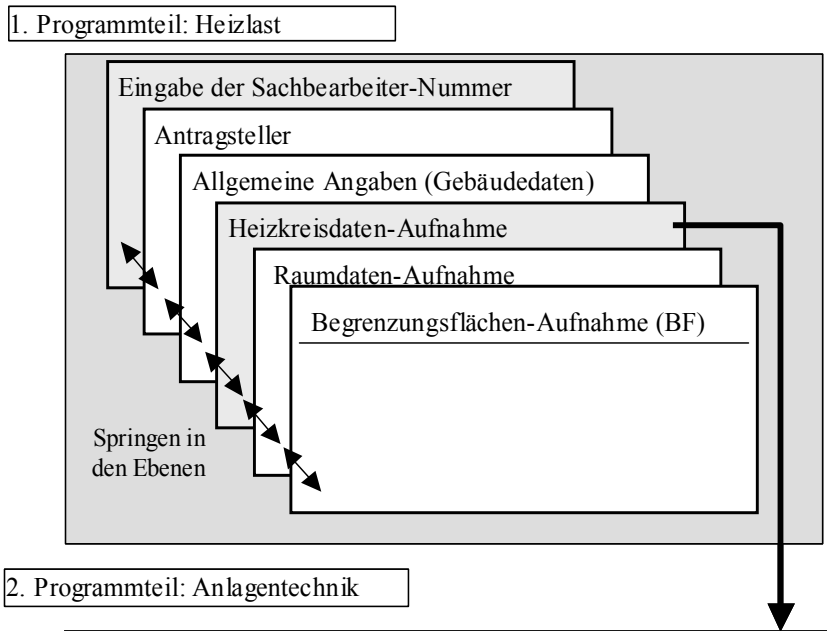
Aufnahmeformulare einer Software



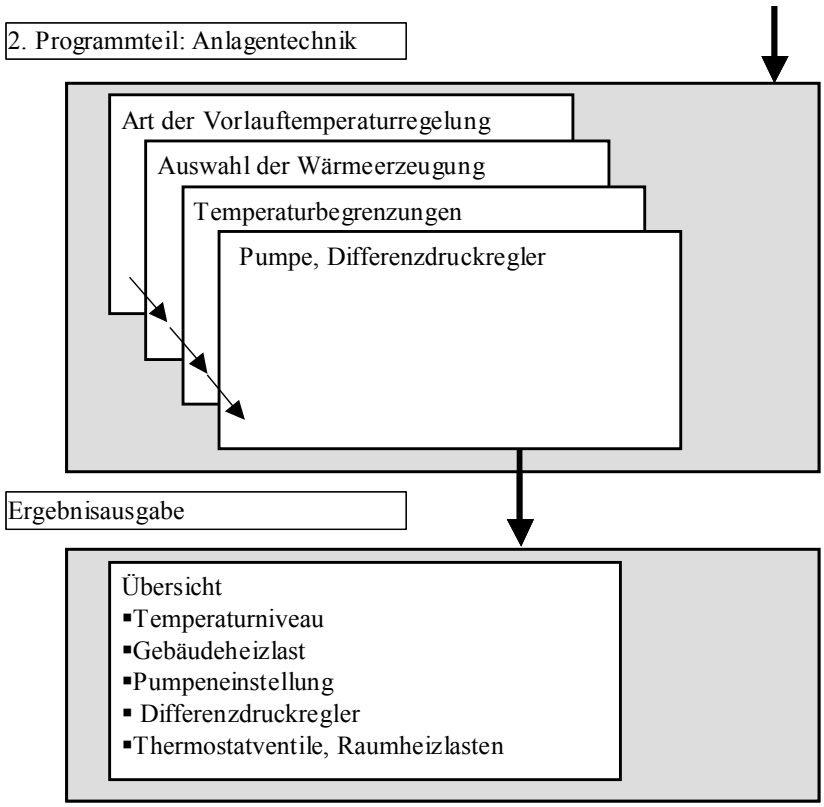
Die zur Berechnung mit einem Programm benötigten Ausgangsdaten können mit Hilfe von Aufnahmeformularen vor Ort aufgenommen werden.

Programmablauf: Beispiel Programm von proKlima

Der Aufbau der Programme ist prinzipiell immer gleich. Die vorhandenen Werte werden eingegeben. Berechnet wird dann zunächst die Heizlast, dann das neue Temperaturniveau, dann der hydraulische Abgleich. Zum Schluss wird eine Übersicht der neuen Einstellparameter ausgegeben



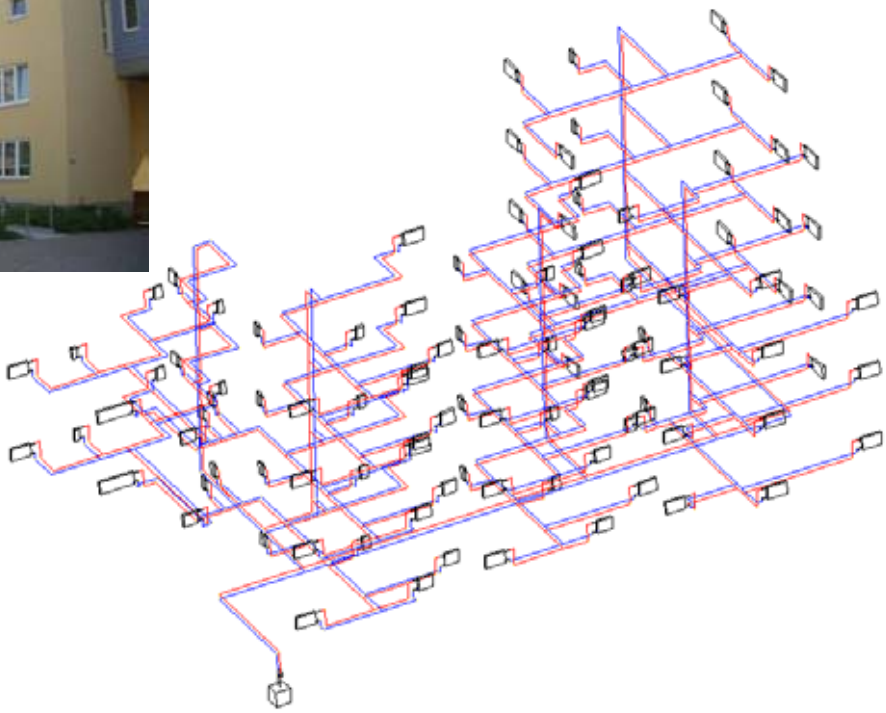
Programmablauf:
Beispiel Programm von proKlima



Beispielgebäude:
Genauigkeit des vereinfachten Verfahrens

An einem Beispielgebäude wurde untersucht, wie weit sich die vereinfachte und die genaue Berechnung des hydraulischen Abgleichs unterscheiden.

Untersuchtes Mehrfamilienhaus



Beispiel: Programmausdruck

Ergebnisausdruck (allgemeine Daten) des Programms für das MFH.

Ergebnis der optimierten Hydraulik

Programm-Version 3.4

Sachbearbeiter

Nummer	2
Name	Mustermann, Max
Straße	Musterstr. 1
PLZ, Ort	38302 Musterstadt
Telefon	0800 2266
Telefax	0800 2267

Antragsteller

Name	Wohnungsbaugesellschaft XYZ

Gebäude

Straße	Beispielstr. 33
PLZ, Ort	30000 Beispielstadt
Strang	Heizkreis gesamtes Gebäude

1.) Berechnete Gebäudeheizlast

Gebäudekenndaten:

Baualtersklasse	:	8) 01/1995 bis heute
Grundfläche	:	1212 m²
Heizlast	:	49 kW
spez. Heizlast	:	41 W/m²

2.) Optimiertes Temperaturniveau des Gesamtsystems

Temperaturen für den Auslegungsfall:

Vorlauftemperatur	:	69 °C
Rücklauftemperatur	:	41 °C

--> Am Regler eingestellte Heizkurve:
Steilheit:
Parallelverschiebung:

3.) Optimierte Pumpeneinstellung

Pumpendaten:

Pumpentyp	:	Stufenlos einstellbare Restförderhöhe
Pumpenstufe	:	-
Restförderhöhe	:	80 mbar (entspricht 0,80 m)
Volumenstrom	:	1491 l/h

4.) Differenzdruckregler

Hinweis / einzustellende Reglerwerte:

Der Einsatz eines Strang-Differenzdruckreglers ist nicht erforderlich.

5.) Sonstiges

Δp(sonder): 0 mbar Ansprechwert ext. Ü-Ventil: 0 mbar Längster Strang: 120,0 m Kennw. HK-Dim.: 19% 2,4

Beispiel: Programmausdruck

Ergebnisausdruck (Raumdaten und Ventile) des Programms für das MFH.

6.) Einstellwerte der Thermostatventile

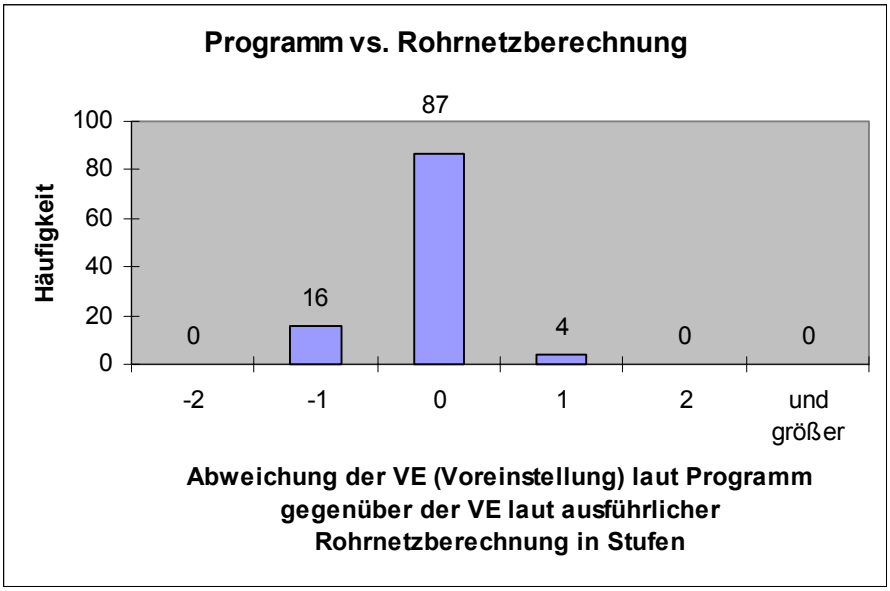
Raumdaten				Heizkörperdaten				THKVs - Ermittlung der Voreinstellwerte				
lfd. Nr.	Raumbezeichnung	beheizte Fläche m²	Raum-Heizlast W	Heizkörpertyp	t_R °C	Norm-Leistung 75/65°C	Verhältnis $\dot{Q}_{HK}/\dot{Q}_R$	k_V-Wert m³/h	Δp mbar	Durchfluss l/h	Gewähltes Ventil: Hersteller, Typ, DN	Gewählte Voreinstellung, Bemerkungen
1	Kind W1 EG	15,7	800	Profil-Flach-HK 11/500/1200	57	970	1,2	0,27	48	58		
2	Wohnzimmer W1 EG	20,1	841	Profil-Flach-HK 22/500/1200	34	1753	2,1	0,09	48	21		Spreizung > 30 K!
3	Bad W1 EG	5,5	244	Profil-Flach-HK 22/900/500	27	1178	4,3	0,02	48	5		Spreizung > 30 K!
4	Küche W1 EG	12,2	378	Profil-Flach-HK 11/500/1200	29	970	2,6	0,04	48	8		Spreizung > 30 K!
5	Schlafen W1 EG	14,0	740	Profil-Flach-HK 11/500/1200	53	970	1,3	0,18	48	39		
6	Flur W2 EG	6,7	170	Profil-Flach-HK 11/500/400	30	323	2,2	0,02	48	4		kv-Wert zu klein! Spreizung > 30 K!
7	Wohnen W2 EG	23,0	638	Profil-Flach-HK 11/500/1200	45	970	1,5	0,11	48	23		
8	Wohnen W2 EG	23,0	638	Profil-Flach-HK 11/500/1200	45	970	1,5	0,11	48	23		
9	Schlafen (Kind) W2 EG	14,0	552	Profil-Flach-HK 11/500/1200	39	970	1,8	0,07	48	16		
10	Schlafzimmer W2 EG	16,0	522	Profil-Flach-HK 11/500/1200	38	970	1,9	0,06	48	14		Spreizung > 30 K!
11	Bad W2 EG	8,1	435	Profil-Flach-HK 11/900/700	39	942	1,9	0,06	48	13		
12	Schlafen W3 EG	14,5	511	Profil-Flach-HK 11/500/1200	37	970	1,9	0,06	48	14		Spreizung > 30 K!
13	Kind W3 EG	12,5	450	Profil-Flach-HK 11/500/1000	39	808	1,8	0,06	48	13		Spreizung > 30 K!
14	Wohnen W3 EG	23,3	467	Profil-Flach-HK 11/500/1200	34	970	2,1	0,05	48	11		Spreizung > 30 K!
15	Wohnen W3 EG	23,3	467	Profil-Flach-HK 11/500/1200	34	970	2,1	0,05	48	11		Spreizung > 30 K!

Vergleich Programm mit ausführlicher Rohrnetzberechnung

Mit der Angabe der k_V-Werte für die Thermostatventile aus der vereinfachten Berechnung wurden die notwendigen Voreinstellungen laut Ventilhersteller ermittelt.

Dann wurde die gesamte Berechnung mit einem professionellen Programm durchgeführt und wieder die Voreinstellungen ermittelt.

Das Bild zeigt die Abweichungen der Voreinstellung zwischen vereinfachter und ausführlicher Berechnung.



Umsetzung der Optimierung in der Praxis

Dokumentation der durchgeführten Arbeiten

Kurze Beschreibung der durchgeführten Tätigkeiten

Dokumentation von Ein- und Ausbau von Komponenten
- Grund für Ein- bzw. Ausbau
- Hersteller, Typ, Größe

Einstellparameter alt/neu für:
- Heizkurve (Steilheit, Parallelverschiebung)
- Pumpe
  - Eingestellte Stufe bzw. Förderhöhe
  - Regelungsart (dp-const/dp-var,dp-const/var)
- Thermostatventile
  - Vorgenommene Voreinstellung bzw. gewählter k_V-Kegel
  - Einstellung der Rücklaufverschraubung des HK
- Einstellung evt. vorhandener Differenzdruckregler, Strangregulierventile, Überströmventile

Einstellung vor Ort laut Optimierungs-Programm

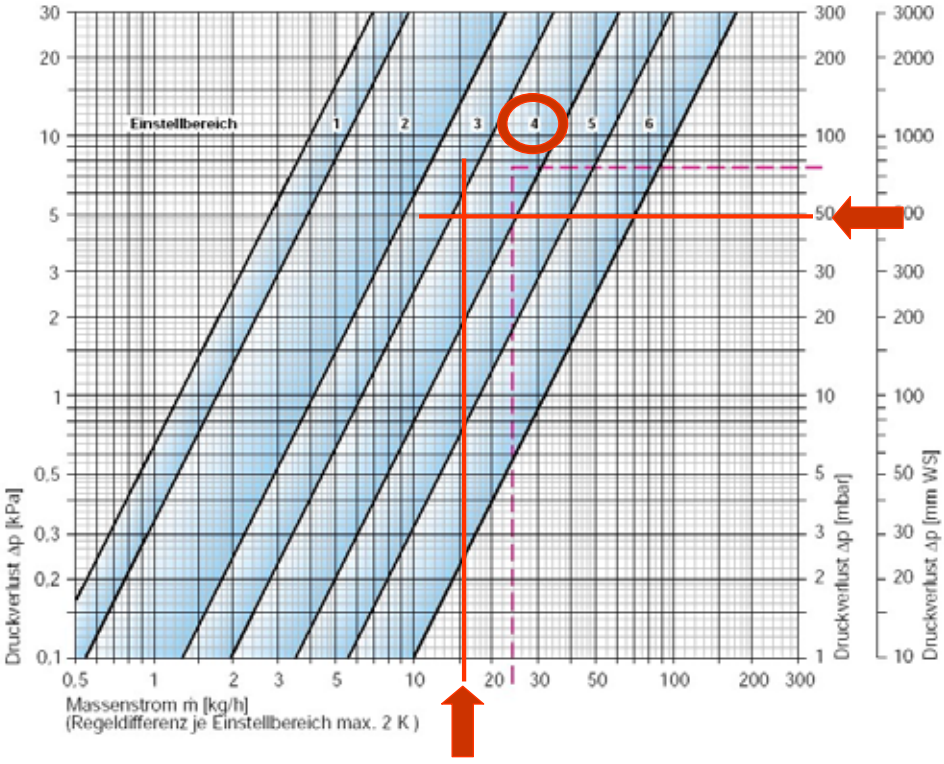
Wahl von Thermostatventilen

Wie wählt man eine Voreinstellung bei bekanntem Volumenstrom und Differenzdruck?

6.) Einstellwerte der Thermostatventile

Raumdaten				*Heizkörperdaten*							
lfd. Nr.	Raumbezeichnung	beheizte Fläche m²	Raum-Heizlast W	Heizkörpertyp	t_R °C	Norm-Leistung 75/65°C	Ver-hältnis $\dot{Q}_{HK}/\dot{Q}_R$	k_V-Wert m³/h	Δp mbar	Durch-fluss l/h	
1	Kind W1 EG	15,7	800	Profil-Flach-HK 11/500/1200	57	970	1,2	0,27	48	58	
2	Wohnzimmer W1 EG	20,1	841	Profil-Flach-HK 22/500/1200	34	1753	2,1	0,09	48	21	
3	Bad W1 EG	5,5	244	Profil-Flach-HK 22/900/500	27	1178	4,3	0,02	48	5	
4	Küche W1 EG	12,2	378	Profil-Flach-HK 11/500/1200	29	970	2,6	0,04	48	8	
5	Schlafen W1 EG	14,0	740	Profil-Flach-HK 11/500/1200	53	970	1,3	0,18	48	39	
6	Flur W2 EG	6,7	170	Profil-Flach-HK 11/500/400	30	323	2,2	0,02	48	4	
7	Wohnen W2 EG	23,0	638	Profil-Flach-HK 11/500/1200	45	970	1,5	0,11	48	23	
8	Wohnen W2 EG	23,0	638	Profil-Flach-HK 11/500/1200	45	970	1,5	0,11	48	23	
9	Schlafen (Kind) W2 EG	14,0	552	Profil-Flach-HK 11/500/1200	39	970	1,8	0,07	48	16	

Wahl von Thermostatventilen gemäß Programmausdruck



Wahl von Thermostatventilen

Wie wählt man eine Voreinstellung bei bekanntem k_V-Wert?

6.) Einstellwerte der Thermostatventile

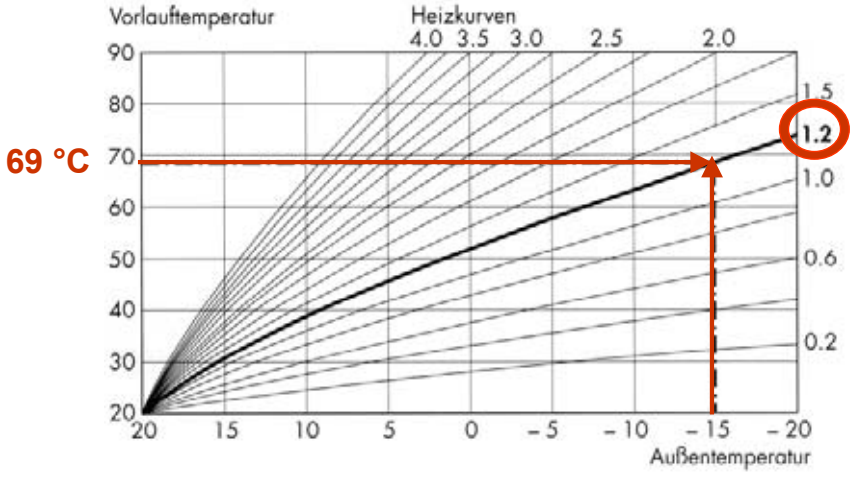
Raumdaten				Heizkörperdaten							
lfd. Nr.	Raumbezeichnung	beheizte Fläche m²	Raum-Heizlast W	Heizkörpertyp	t_R °C	Norm-Leistung 75/65°C	Ver-hältnis $\dot{Q}_{HK}/\dot{Q}_R$	k_V-Wert m³/h	Δp mbar	Durch-fluss l/h	
1	Kind W1 EG	15,7	800	Profil-Flach-HK 11/500/1200	57	970	1,2	0,27	48	58	
2	Wohnzimmer W1 EG	20,1	841	Profil-Flach-HK 22/500/1200	34	1753	2,1	0,09	48	21	
3	Bad W1 EG	5,5	244	Profil-Flach-HK 22/900/500	27	1178	4,3	0,02	48	5	
4	Küche W1 EG	12,2	378	Profil-Flach-HK 11/500/1200	29	970	2,6	0,04	48	8	
5	Schlafen W1 EG	14,0	740	Profil-Flach-HK 11/500/1200	53	970	1,3	0,18	48	39	
6	Flur W2 EG	6,7	170	Profil-Flach-HK 11/500/400	30	323	2,2	0,02	48	4	
7	Wohnen W2 EG	23,0	638	Profil-Flach-HK 11/500/1200	45	970	1,5	0,11	48	23	
8	Wohnen W2 EG	23,0	638	Profil-Flach-HK 11/500/1200	45	970	1,5	0,11	48	23	
9	Schlafen (Kind) W2 EG	14,0	552	Profil-Flach-HK 11/500/1200	39	970	1,8	0,07	48	16	

Wahl von Thermostatventilen anhand einer Liste

Hersteller	Typ	DN	Kopf	k_V-Wert in m³/h in Abhängigkeit von der Voreinstellung (nach DIN EN 215 bei 2 K Regeldifferenz)								
				1	2	3	4	5	6	7	8	N
Oventrop (Ventileinsätze)	GHF	G ½"	-	0,017	0,047	0,095	0,152	0,228	0,32	-	-	-
Oventrop (Ventileinsätze)	GH	G ½"	-	0,047	0,126	0,269	0,417	0,6	0,7	-	-	-
Heimeier	F-exakt	10	ET, DT, AT	0,017	0,041	0,063	0,111	0,177	0,316	-	-	-
Danfoss	RA-UN	10	RA 2000	0,02	0,06	0,11	0,17	0,23	0,30	0,35	-	0,48
Honeywell / MNG	FV	10	-	0,02	0,04	0,11	0,19	0,25	0,29	0,32	0,35	-
Oventrop	F	10	-	0,025	0,051	0,095	0,152	0,228	0,323	-	-	-
Danfoss	RA-UR	10	RA 2000	0,03	0,03	0,06	0,11	0,18	0,24	0,31	-	0,47
Danfoss	RA-N	10	RA 2000	0,04	0,09	0,16	0,25	0,32	0,38	0,42	-	0,56
Honeywell / MNG	V	10	-	0,04	0,08	0,20	0,29	0,33	0,35	0,38	0,41	-
Heimeier	V-exakt	10	ET, DT, AT, WET	0,047	0,098	0,161	0,234	0,364	0,468	-	-	-
Oventrop	AV 6, RFV 6, ADV 6	10	-	0,055	0,170	0,313	0,446	0,56	0,65	-	-	-
Heimeier	F-exakt	15	ET, DT, AT	0,017	0,041	0,063	0,111	0,177	0,316	-	-	-

Heizkurve – Steilheit und Parallelverschiebung

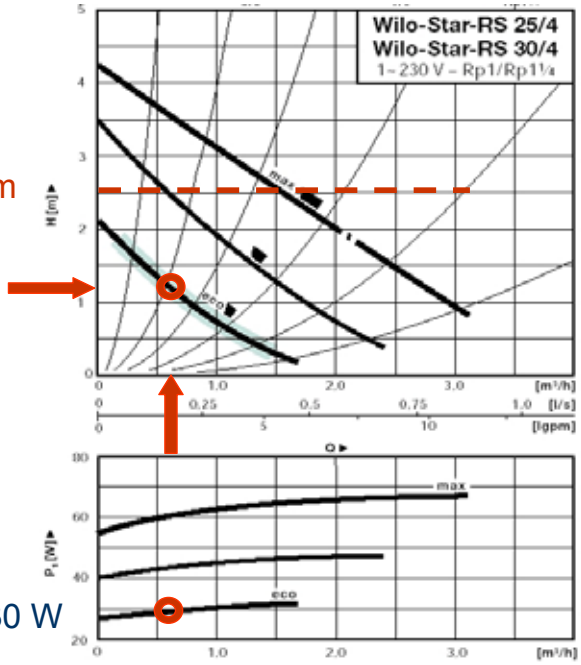
Wie stellt man die Vorlauftemperatur ein?



Einstellung oder Neuwahl der Pumpe (ungeregelt)

Wie stellt man die Pumpe ein?

Ziel: H_{max} < 2,5m



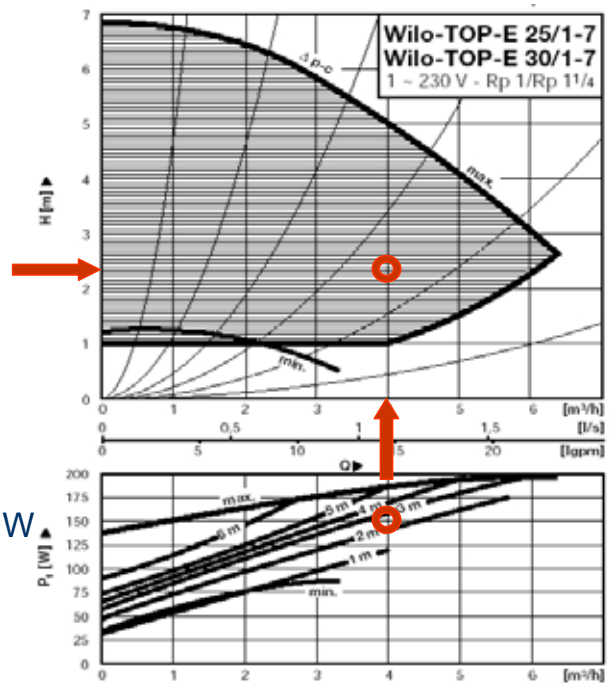
P = 30 W

Beispiel:

EFH
Q = 0,6 m³/h
H = 1,2 m

Einstellung oder Neuwahl der Pumpe (geregelt)

Wie stellt man die Pumpe ein?



P = 148 W

Beispiel:

MFH
Q = 4,0 m³/h
H = 2,2 m

Wahl von Pumpen anhand einer Empfehlung

Umwälzpumpenempfehlung in Abhängigkeit des Volumenstromes und der Förderhöhe (Wilo-Pumpen)

Einfamilienhäuser

Volumenstrom	Einzustellende Förderhöhe	Typ	eingestellte Stufe	Leistungsaufnahme im Mittel	Preis (UVP)*
0,20 m³/h	0,50 m	Star-RS 25/2	1	17 W	106 €
	0,65 m	Star-RS 25/2	1	17 W	106 €
	0,80 m	Star-RS 25/2	1	17 W	106 €
	0,95 m	Star-RS 25/2	1	17 W	106 €
0,40 m³/h	0,70 m	Star-RS 25/2	1	19 W	106 €
	0,85 m	Star-RS 25/4	1	27 W	108 €
	1,00 m	Star-RS 25/4	1	27 W	108 €
	1,15 m	Star-R			
0,60 m³/h	1,20 m	Star-R			
	1,35 m	Star-E			
	1,50 m	Star-E			
	1,65 m	Star-E			
0,80 m³/h	1,50 m	Star-E			
	1,65 m	Star-E			
	1,80 m	Star-E			
	1,95 m	Star-E			
1,00 m³/h	1,90 m	Star-E			
	2,05 m	Star-E			
	2,20 m	Star-E			
	2,35 m	Star-E			

Mehrfamilienhäuser

Volumenstrom	Einzustellende Förderhöhe	Typ	eingestellte Stufe	Leistungsaufnahme im Mittel	Preis (UVP)*
1,00 m³/h	0,70 m	Star-E 25/1-3	-	33,8 W	149 €
	1,00 m	Star-E 25/1-3	-	35,8 W	149 €
	1,30 m	Star-E 25/1-3	-	37,8 W	149 €
	1,60 m	Star-E 25/1-3	-	40,8 W	149 €
2,00 m³/h	1,80 m	Star-E 25/1-5	-	51,3 W	171 €
	2,00 m	Star-E 25/1-5	-	53,3 W	171 €
	2,20 m	Star-E 25/1-5	-	54,3 W	171 €
	2,40 m	Star-E 25/1-5	-	56,3 W	171 €
3,00 m³/h	1,80 m	Star-E 25/1-5	-	65,8 W	171 €
	2,00 m	Star-E 25/1-5	-	71,2 W	171 €
	2,20 m	Star-E 25/1-5	-	72,4 W	171 €
	2,40 m	Top-E 25/1-7	-	61,4 W	528 €
4,00 m³/h	1,80 m	Top-E 25/1-7	-	63,0 W	528 €
	2,00 m	Top-E 25/1-7	-	65,5 W	528 €
	2,20 m	Top-E 25/1-7	-	69,5 W	528 €
	2,40 m	Top-E 25/1-7	-	73,0 W	528 €

* Keine Gewähr auf die unverbindliche Preisempfehlung Stand März 2003

FAZIT

Optimierung: ein Muss!

Die nachträgliche Optimierung von Bestandsgebäuden umfasst:

- die Anpassung der Temperatur im Heiznetz an die Vorgaben des Gebäudes und der Anlage
- den vereinfachten hydraulischen Abgleich mit Voreinstellung von Thermostatventilen und Einstellung des benötigten Druckniveaus

und ist mit vereinfachter Software problemlos und kostengünstig umsetzbar.

IMPRESSUM

Dieser Foliensatz wurde im Rahmen des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt DBU geförderten Projektes "OPTIMUS„ (OPTimierung von Heizungssystemen durch InforMation und Qualifikation zur nachhaltigen NutzUng von EnergieeinSparpotenzialen) entwickelt.

Der Foliensatz kann kostenlos als unverändertes Gesamtwerk (nicht in Auszügen) weitergegeben werden, wenn die "OPTIMUS"-Gruppe als Ersteller und Bezugsquelle benannt wird.

Für die Schulung können einzelne Folien ausgeblendet werden.

Kommerzieller Vertrieb ist nicht gestattet.

Projektpartner / OPTIMUS-Gruppe:

Innung Sanitär- und Heizungstechnik
Wilhelmshaven

Berufsbildende Schulen II
Aurich

Forschungsgruppe Praxisnahe Berufsbildung
Bremen

Trainings- & Weiterbildungszentrum Wolfenbüttel e.V.
Wolfenbüttel

Firma WILO GmbH
Dortmund