Hintergrundinformationen zur Optimierung



Abschnitt I	Einleitung	S. 03 – 07	
Abschnitt II	Technische Hinter- grundinformationen	S. 08 – 72	
Abschnitt III	Weiterführende Informationen	S. 73 – 96	

INHALT

Abschnitt	I: Einleitung	3
1	Wozu optimieren? Energieeinsparung im Bestand!	3
2	Überblick: Warum das Ganze?	5
3	Randbedingungen der Optimierung und betroffene Komponenten	
4	Quellen und Autoren	7
Abschnitt	II: Technische Hintergrundinformationen	8
1	Vereinfachte Heizlastberechnung	8
2	Heizkörperleistung	13
3	Warum muss die Anlage überhaupt angepasst werden?	16
4	Notwendige Übertemperatur der Heizkörper	18
5	Praxis: Übertemperatur bei fehlende Daten im Bestand	22
	Überblick: Randbedingungen für die Wahl des Temperaturniveaus	
	Einfluss des Nutzers: fühlbare Temperatur	
	Einschränkungen durch die Heizkostenerfassung	
	Ventilautorität von Thermostatventilen	
	Wärmeübertragerkennwert der Heizflächen	
	Regelung der Raumtemperatur	
	Kennwerte von Thermostatventilen	
	Maximale Spreizung	
15	Minimierung der Verteilverluste	
_	Minimierung der Hilfsenergien	
	Temperaturbegrenzungen bei Kesseln	
	Temperaturbegrenzungen bei Fernwärme und Wärmepumpen	
	Wahl eines Temperaturniveaus	
20	Einstellen des Temperaturniveaus	11
	Hydraulischer Abgleich: Definition und Nutzen	
	Hydraulischer Abgleich im Neubau	
	Abgleich im Bestand	
	Abschätzen der Leitungslängen	
	Bestimmung der R-Werte: Typgebäude als Hilfsmodell	
26	Erweiterung der Ansätze: Auslegungstypen	52
	Druckverluste in Einzelwiderständen und Sondereinbauten	
	Vorhandener Druck für das Netz	
29	Beginn der hydraulischen Optimierung: Auslegungstyp bestimmen	
30	Optimierte Einstellwerte 6	כנ
Abschnitt	III: Weiterführende Informationen	73
1	Softwarelösung	73
	Messung von Einsparungen	
	Konsequenzen der Optimierung	
	Wertanalyse 8	
Impressu	m	97

ABSCHNITT I: EINLEITUNG

1 Wozu optimieren? Energieeinsparung im Bestand!

Im Zusammenhang mit der Energieeinsparverordnung 2002 wird viel über neue Technologien in neuen Gebäuden philosophiert: vor allem zur Schonung der Primärenergiereserven und zur Verminderung des CO₂-Ausstoßes. Der Einsatz von Wärmepumpen, Holzpelletkesseln, transparenter Wärmedämmung usw. scheint dabei ein Weg zum Ziel.

Dennoch sollte man eines nicht aus den Augen verlieren: ein viel größeres Energieeinsparpotential liegt im Gebäude- und Anlagenbestand. 92 % aller Wohn- und Nutzflächen in Deutschland entfallen auf Gebäude, die noch vor dem Inkrafttreten der Wärmeschutzverordnung von 1995 errichtet worden sind. Diese Gebäude verbrauchen 97 % der Energiemenge, die für die Gebäudebeheizung aufgewendet wird – siehe Abbildung 1.

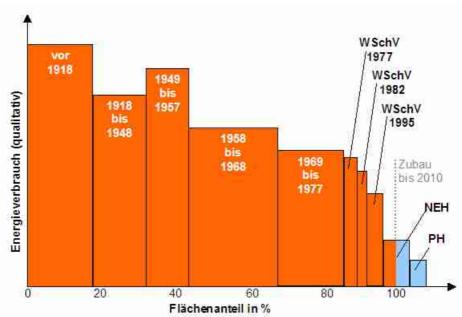


Abbildung 1 Energieverbrauch der Gebäude in Deutschland (B01)

Auf Grund zu erwartender Energieeinsparungen werden immer mehr Gebäude baulich saniert. Leider werden dabei oft die alten Heizungs- und Trinkwarmwasserbereitungsanlagen in ihrem Urzustand belassen und nicht an die veränderten Verhältnisse angepasst. Wenn die Energieeinsparung in der Praxis dann doch nicht so üppig ausfällt, wie erwartet, ist die Enttäuschung vor allem auf Seiten der Nutzer groß. In der Fachwelt wird die Abweichung des tatsächlichen Verbrauchs von der Prognose oft dem Nutzer oder den Witterungsverhältnissen zugeschoben.

Eines der wichtigsten Mittel zum Erreichen der geplanten Energieeinsparung ist jedoch die Anpassung der Anlagentechnik an die neuen baulichen Verhältnisse. Das Problem "Optimierung von Heizungsanlagen im Bestand" soll daher hier in vielen kleinen Etappen näher erklärt werden.

- Es werden die technischen Grundlagen der Optimierung erklärt, wobei die Anlagentechnik als Gesamtsystem betrachtet wird. Es sollen nämlich nicht nur einzelne Komponenten verbessert werden, sondern der Gesamtenergieverbrauch. Daher kommen nur Gesamtlösungen in Betracht.
- Ein vereinfachtes Rechenprogramm für die Standardheizungsanlage mit Heizkörper, Zweirohrnetz und Kessel bzw. Übergabestation wird am Beispiel vorgestellt. Es ermöglicht die zeit- und kostensparende Optimierung einer Anlage vor Ort.
- Zum Schluss wird ein Verfahren erläutert, das eine Entscheidungshilfe für komplexe Problemstellungen ist: die Wertanalyse. Sie hilft, wenn sehr viele unterschiedliche Faktoren bei der Optimierung beachtet werden müssen – siehe Abbildung 2.



Abbildung 2 Einflüsse auf die Optimierung (B34)

Vorweggenommen wird hier schon einmal folgende Erkenntnis: eine Anlagenoptimierung im (ggf. baulich modernisierten) Bestand wird von diversen Randbedingungen u.a. der Nutzung, Wirtschaftlichkeit, Regeln und Vorschriften, technischen Einflüssen bestimmt. Verglichen mit Neubauvorhaben erweisen sich fast alle Stufen der Planung und Ausführung als aufwendiger und kostenintensiver. Trotzdem bietet die Optimierung aber im Zusammenspiel mit dem Nutzer eine einmalige Chance, die im Neubau - einem Zubau und somit Zuwachs an Energie - nicht gegeben ist: die Möglichkeit der Energieeinsparung.

2 Überblick: Warum das Ganze?

Das hier beschriebene Verfahren zur nachträglichen Optimierung von Heizungsanlagen, d.h. der vereinfachte hydraulischer Abgleich und die Reglereinstellung, dient der Anpassung der bereitgestellten Wärmemenge an die tatsächlich benötigte. Damit wird sichergestellt, dass nicht versehentlich Wärme zum Fenster hinaus gelüftet wird. Positive Nebeneffekte sind i.d.R. eine Ersparnis an Pumpenergie, Geräuschminderung in der Anlage und ein gleichmäßigeres Aufheizverhalten der Räume.

Der vereinfachte Ablauf der Optimierung sieht wie folgt aus:

überschlägi- ge Berech- nung der Raumheiz- last anhand der Außen- flächen Aufnah- me der Heizkör- perleistun gen	Feststel- len der körpers der am Überdi- knappsten be- mensio- messen ist und nierung festlegen der der Heiz- köper tur	Bestim- mung der Volumen- ströme für jeden Heiz- körper	Bestim- mung der Voreinstel- lung der Thermos- tatventile	Berechnung der Förderhöhe der Pumpe oder ggf. eines Differenzdruck- reglers	Ein- stel- lung vor Ort
--	---	--	--	--	-------------------------------------

Abbildung 3 Ablauf der Optimierung (A06)

Warum ist das so ein aufwändiger Ablauf? Warum wird nicht einfach die Raumheizlast mit 40, 70 oder 100 W/m² bestimmt und eine einheitliche Temperaturspreizung von 10 oder 15 K für alle Heizkörper festgelegt? Dann könnten die Thermostatventile doch sehr einfach voreingestellt werden...

In der Praxis, vor allem nach einer Modernisierung hängt die Raumheizlast sehr stark von den Außenflächen eines Raumes ab, nicht von der Grundfläche. Die Wärmeverluste sind viel stärker in Eckräumen als in Innenräumen zu spüren. Weiterhin sind die Heizkörper überaus unterschiedlich bemessen. Dies liegt daran, dass früher oft keine Auslegung stattfand oder die Modernisierung der Außenflächen in den Räumen sehr unterschiedlich wirkt, so dass Heizkörper und Raum nicht (mehr) zueinander passen. Eine Dachdämmung bewirkt z.B. dass die obere Etage plötzlich zu große Heizkörper hat, während für die Untergeschosse alles beim alten bleibt. Diese beiden Effekte führen in realen Bestandsgebäuden dazu, dass es gleichzeitig Heizkörper ohne Überdimensionierung und Heizkörper mit bis zu 6-facher Überdimensionierung gibt!

Damit ist auch klar, dass sich bei gleicher Vorlauftemperatur in einer Anlage sehr unterschiedliche Rücklauftemperaturen an den Heizkörpern einstellen müssen. Die am Regler einzustellende Vorlauftemperatur richtet sich dabei nach dem am knappsten bemessenen Heizkörper, der ja auf jeden Fall den betreffenden Raum auch noch ausreichend erwärmen muss.

Die stark überdimensionierten Heizkörper können schon mit kleinen Mitteltemperaturen die benötigte Wärme abgeben. Eine kleine Mitteltemperatur (Übertemperatur) bedeutet aber, dass die Rücklauftemperaturen an diesen Heizkörpern niedrig sind und die Volumenströme entsprechend sehr klein. Genau umgekehrt ist es bei knapp bemessenen Heizkörpern. Hier sind die Rücklauftemperatur und der Volumenstrom hoch. Innerhalb einer Anlage können so Spreizungen von 5 bis über 40 K vorkommen.

Diese Randbedingungen führen dazu, dass die Volumenströme durch einen Heizkörper nur mit einem gewissen Aufwand ermittelt werden können. Die einzustellenden Voreinstellungen der Ventile hängen direkt mit diesem Volumenstrom zusammen. Der zusätzlich zu berücksichtigende Druckverlust über dem Ventil wird im Rahmen des Verfahrens nur überschlägig bestimmt. Es wird aber vorausgesetzt, dass in der Anlage insgesamt geringe Differenzdrücke anzutreffen sind. Ist dies nicht von vornherein möglich, müssen Differenzdruckregler nachgerüstet werden. Dies ist notwendig, damit die Voreinstellungen der Ventile nicht zu groß gewählt werden müssen (die Ventile fast zugedrosselt sind). Es ist dann nämlich ein schlechtes Regelverhalten und ggf. ein Verstopfen zu erwarten.

3 Randbedingungen der Optimierung und betroffene Komponenten

Wenn eine Heizungsanlage hydraulisch optimiert wird, sind verschiedene Komponenten betroffen, die nur eingestellt oder vorher ausgetauscht werden. Im einzelnen sind dies:

- Thermostatventile und/oder Rücklaufverschraubungen der Heizkörper: falls sie nicht einstellbar sind, werden sie entsprechend nachgerüstet und anschließend eingestellt
- Pumpe und/oder Differenzdruckregler: falls die Pumpe viel zu groß ist und nicht eingestellt werden kann, wird eine neue Pumpe oder ein Differenzdruckregler nachgerüstet und die Förderhöhe bzw. der Differenzdruck eingestellt
- ggf. Strangregulierventile: Einstellung des Volumenstroms
- ggf. Überströmventile: Einstellung des Ansprechdrucks, sofern das Überströmventil einstellbar ist und die Anlage eine Einstellung zulässt
- Regelung: die Vorlauftemperaturheizkurve (Steilheit und Parallelverschiebung) wird eingestellt und sofern vorhanden auch die Heizgrenztemperatur und Absenkphasen

Einen Überblick über die Zusammenhänge und Randbedingungen, die bei einer Optimierung zu beachten sind, zeigt Abbildung 4. Eine genauere Erläuterung folgt an anderer Stelle.

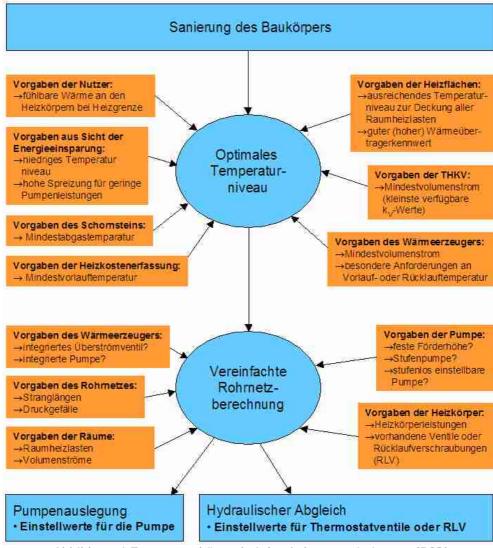


Abbildung 4 Zusammenhänge bei der Anlagenoptimierung (B02)

4 Quellen und Autoren

Für die Erstellung der Texte zur Optimierung wurden die nachfolgend genannten Quellen verwendet.

- [0] Jagnow, Kati / Halper, Christian / Timm, Tobias und Sobirey, Marco; Optimierung von Heizungsanlagen im Bestand; Teile 1 bis 5; TGA Fachplaner; Nr. 5, 8 und 11/2003, 01 und 03/2004; Gentner; Stuttgart; 2003 und 2004.
- [1] Tobias Timm; 2002: *Optimierung des Temperaturniveaus in bestehenden Heizungsanlagen*, Studienarbeit an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel
- [2] Tobias Timm; 2002: *Optimierung der Hydraulik in bestehenden Heizungsanlagen*, Diplomarbeit an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel
- [3] Schramek, Ernst-Rudolf (Hrg.); 2001: *Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik*, München (Oldenbourg Industrieverlag)
- [4] VDI 6030 Blatt 1; Juli 2002: Auslegung von freien Raumheizflächen Grundlagen Auslegung von Raumheizkörpern, Berlin (Beuth)
- [5] Dieter Wolff; Jochen Vorländer, Stephanie Hahn; 1998: *Bauen am Kronsberg Heiztechnisches Konzept*; Landeshauptstadt Hannover
- [6] Sobirey, Marco: Evaluierung und Weiterentwicklung eines Programms zur Optimierung der Hydraulik, Diplomarbeit an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel. 2003
- [7] F.W. Oventrop: Fachbuch Hydraulischer Abgleich. Olsberg. 2003
- [8] Wilo: Optimierung von Heizungsanlagen. Dortmund, 2002 und Wilo Brain: Heizungsanlagen optimieren! Christiani-Verlag.
- [9] Kermi: Planungsunterlage hydraulischer Abgleich. Plattling. 2002
- [10] Otto, J.: Pumpenheizung richtig geplant. Krammer Verlag. Düsseldorf. 1982
- [11] Burkhardt, W.; Kraus, R.: Projektierung von Warmwasserheizungen. Oldenbourg Industrieverlag. München. 2001
- [12] C. Ihle, C.: Die Pumpenwarmwasserheizung. Werner Verlag. Karlsruhe. 1979
- [13] Diplomarbeit von Marco Sobirey, Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel, 2003 (unveröffentlicht)
- [14] Handbuch zum Programm "Optimierung von Heizungsanlagen Hydraulischer Abgleich", TWW e. V. und proKlima GbR, 2003
- [15] Bach; Wertanalyse.
- [16] Eisenmann; Wertanalyse.

Die Autoren des im TGA Fachplaner erschienenen Originalmanuskriptes, welches für diese Internetseite noch ergänzt wurde, sind

- Dipl.-Ing. (FH) Kati Jagnow: ehemals Mitarbeiterin am TWW in Wolfenbüttel, nun selbständige Ingenieurin der TGA, Wernigerode.
- Dipl.-Ing. (FH) Christian Halper: ehemals Mitarbeiter am TWW in Wolfenbüttel, derzeit beschäftigt am IWO, Hamburg.
- Dipl.-Ing. (FH) Tobias Timm: erst freier, dann fester Mitarbeiter beim enercity-Klimaschutzfonds proKlima, Hannover.
- Dipl.-Ing. (FH) Marco Sobirey: beschäftigt mit der Bearbeitung der Thematik im Rahmen seiner Diplomarbeit an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel, nun Mitarbeiter bei AVACON, Helmstedt.

Die Überarbeitung der Inhalte nahmen für das Projekt "Optimus" Dipl.-Ing. (FH) Heike Wohlers und Dipl.-Ing. (FH) Kati Jagnow vor.

ABSCHNITT II: TECHNISCHE HINTERGRUNDINFORMATIONEN

1 Vereinfachte Heizlastberechnung

Vor der Optimierung eines Gebäudes müssen dessen Gesamtheizlast sowie die einzelnen Raumheizlasten bestimmt werden. Dies kann überschlägig erfolgen, wobei trotzdem die Transmissions- und Lüftungsheizlast (Transmissions- und Lüftungswärmebedarf) bestimmt werden.

Bei der überschlägigen Heizlastberechnung werden nicht alle Begrenzungsflächen eines Raumes berücksichtigt, so wie das Verfahren für Neuplanungen dies vorsieht. Es zählen hier zur Bestimmung der Transmissionsheizlast nur die Flächen, mit denen der Raum an deutlich andere Temperaturbereiche grenzt. Das sind: Außenflächen, erdreichberührte Flächen und Flächen zu unbeheizten Dachräumen und Kellern.

Die Flächen müssen am realen Objekt aufgenommen werden, z.B. mit Hilfe von Laserentfernungsmessgeräten, welche die Messung stark vereinfachen. Die Geräte ermöglichen sogar eine Flächenberechnung.

Für die vereinfachte Berechnung der Lüftungsheizlast kommt es vor allem auf zwei Dinge an: erstens wie dicht die Fenster sind und zweitens, ob eine Lüftungsanlage vorhanden ist. Sehr große Lüftungsverluste treten in von Rauchern benutzten Räumen und Zulufträumen (Wohnzimmer, Kinderzimmer, Schlafzimmer) bei Gebäuden mit Lüftungsanlagen auf. In normalen Gebäuden ohne Lüftungsanlagen sind die Lüftungsverluste größer in Räumen mit undichten Fenstern (Einscheibenfenster) und geringer bei dichten Fenstern (Zwei- und Dreischeibenverglasung). Ablufträume in Gebäuden mit Lüftungsanlagen (Küchen, Flure, innenliegende Bäder und WCs) haben die geringsten Lüftungswärmeverluste.

Die Heizlast lässt sich z.B. mit Hilfe der Werte in Tabelle 1 bis Tabelle 6 abschätzen. Tabelliert sind Heizlasten in Watt/Quadratmeter. Die Kennwerte sind mit der Größe der Fläche zu multiplizieren. Für die Transmissionsheizlast (Transmissionswärmebedarf) zählen die Bauteilflächen, für die Lüftungsheizlast (Lüftungswärmebedarf) zählt die Grundfläche. Die tabellierten Werte gelten für eine minimale Auslegungstemperatur von –14 °C.

U-Wert,	in [W/m²K]	2,5 1,7	1,69 1,2	1,19 0,7	0,69 0,3	unter 0,29
	Alter	• bis 1948	• 1949 bis 1977	• 1978 bis 1994	• ab 1995 bis heute	heute im Niedrigenergie- haus
Außen-	Art	Vollziegel bis 38 cm Fachwerk	Vollziegel 38 51 cm Gitterziegel 24 cm Bimshohlsteine	Bimsvollsteine Gitterziegel 36 cm	Konstruktionen mit Dämmschichten	Konstruktionen mit Dämmschichten
wände	Dämmung	Konstruktion ohne extra Wärmedämmung	Konstruktion mit max. 1 2 cm Dämmung	Konstruktion wie "sehr schlecht" und "schlecht" plus ca. 3 6 cm Dämmung	Konstruktion wie "sehr schlecht" und "schlecht" plus ca. 6 12 cm Dämmung Konstruktion wie "normal" plus ca. 3 6 cm Dämmung	Konstruktion wie "sehr schlecht" und "schlecht" plus ca. 12 30 cm Dämmung Konstruktion wie "normal" plus ca. 6 12 cm Dämmung
Trans-	an Außenluft	74 [W/m²]·A _{Bauteil} [m²]	51 [W / m²] · A _{Bauteil} [m²]	33 [W / m²] · A _{Bautell} [m²]	17 [W / m²] · A _{Bauteil} [m²]	5 [W/m²] · A _{Bauteil} [m²]
missions- heizlast [W]	an Erd- reich oder unbeheiz- ten Raum	44 [W/m²] · A _{Bauteil} [m²]	30 [W/m²]·A _{Bautei} [m²]	21 [W / m²] - A _{Bautei} [m²]	10 [W/m²]· A _{Bautell} [m²]	3 [W/m²]·A _{Bauteil} [m²]

Tabelle 1 Außenwände (S05)

U-Wert,	in [W/m²K]	2,5 1,7	1,69 1,2	1,19 0,7	0,69 0,3	unter 0,29
	Alter	• bis 1948	• 1949 bis 1958	• 1959 bis 1977	• 1978 bis 1983	• 1984 bis heute
Decken	Art	Stahlsteindecke Stahlbetondecke Steildach mit Ziegel und Putz	Stahlbetonflach- dach Steildach mit Putz und Bimsvoll- steinen zwischen Sparren	Holzbalkendecke Steildach verputzt mit Heraklithplatten	Stahlbeton mit Schaumglas und Kiesschüttung	Konstruktionen mit Dämmschichten
und Dächer	Dämmung	Konstruktion ohne extra Wärmedämmung	Konstruktion mit max. 1 2 cm Dämmung	Konstruktion wie "sehr schlecht" und "schlecht" plus ca. 3 6 cm Dämmung	Konstruktion wie "sehr schlecht" und "schlecht" plus ca. 6 12 cm Dämmung Konstruktion wie "normal" plus ca. 3 6 cm Dämmung	Konstruktion wie "sehr schlecht" und "schlecht" plus ca. 12 30 cm Dämmung Konstruktion wie "normal" plus ca. 6 12 cm Dämmung
Trans-	an Außenluft	74 [W/m²]· A _{Bauteil} [m²]	51 [W/m²]· A _{Bauteil} [m²]	33 [W / m²]· A _{Bauteil} [m²]	17 [W / m²] · A _{Bauteil} [m²]	5 [W/m²]-A _{Bauteil} [m²]
missions- heizlast [W]	an Erd- reich oder unbeheiz- ten Raum	44 [W/m²] · A _{Bauteil} [m²]	30 [W/m²]·A _{Bauteil} [m²]	21[W/m²]·A _{Bautell} [m²]	10 [W/m²] · A _{Bauteil} [m²]	3 [W/m²] · A _{Bauteil} [m²]

Tabelle 2 Decken und Dächer (S04)

U-Wert,	in [W/m²K]	2,5 1,7	1,69 1,2	1,19 0,7	0,69 0,3	unter 0,29
	Alter		• vor 1918	• 1919 bis 1977	• 1978 bis heute	heute im Niedrigenergiehaus
Böden und	Art	Feldsteine Stahlbeton Stahlstein mit Gussasphalt	• gemauertes Gewölbe mit Dielen	Holzbalkendecke Stahlbeton mit Schlacke- schüttung Stahlbeton mit Trittschall und Estrich	Konstruktionen mit Dämmschichten	Konstruktionen mit Dämmschichten
Keller- decken	Dämmung	Konstruktion ohne extra Wärmedämmung	Konstruktion mit max, 1 2 cm Dämmung	Konstruktion wie "sehr schlecht" und "schlecht" plus ca. 3 6 cm Dämmung	Konstruktion wie "sehr schlecht" und "schlecht" plus ca. 6 12 cm Dämmung Konstruktion wie "normal" plus ca. 3 6 cm Dämmung	Konstruktion wie "sehr schlecht" und "schlecht" plus ca. 12 30 cm Dämmung Konstruktion wie "normal" plus ca. 6 12 cm Dämmung
Trans-	an Außenluft	74 [W/m²]· A _{Bauteil} [m²]	51 [W / m²] · A _{Bauteil} [m²]	33 [W / m²]· A _{Bauteil} [m²]	17 [W / m²]· A _{Bauteil} [m²]	5 [W/m²]·A _{Bautell} [m²]
missions- heizlast [W]	an Erd- reich oder unbeheiz- ten Raum	44 [W/m²]·A _{Bautell} [m²]	30 [W/m²]·A _{Bauteil} [m²]	21[W/m²]-A _{Bautell} [m²]	10 [W/m²] · A _{Bauteil} [m²]	3 [W/m²]·A _{Bautei} [m²]

Tabelle 3 Böden und Kellerdecken (S03)

U-Wert,	in [W/m²K]	5,5 2,5	2,49 1,7	1,69 1,2	1,19 0,7
Fenster	Alter	• vor 1977	• vor 1984	• 1984 bis heute	heute im Niedrigenergie- und Passivhaus
und Türen	Art	Einfachverglasung	Doppelverglasung (Isolierverglasung)	doppeltes Wärmeschutzglas	dreifaches Wärmschutzglas
Trans- missions-	an Außenluft	140 [W/m²] · A Bauteil [m²]	74 [W/m²]-A _{Bautell} [m²]	51 [W / m²] · A _{Bauteil} [m²]	33 [W / m²] - A _{Bautett} [m²]
heizlast [W]	an unbeheiz- ten Raum	84 [W/m²]·A _{Bauteil} [m²]	44 [W/m²]·A _{Bauteii} [m²]	30 [W/m²]·A _{Bautell} [m²]	21[W/m²]·A _{Bauteil} [m²]

Tabelle 4 Fenster und Türen (S02)

Luftwechsel, in [h-1]	1,0 0,7	0,69 0,6	0,59 0,4	0,39 0,1
Raumart	Raucherräume Zulufträume bei Lüftungsanlagen WCs mit Außenfenstern	normale Raumnutzung undichte Fenster	normale Raumnutzung dichte Fenster	Ablufträume bei Lüftungsanalagen
Lüftungsheizlast [W]	32 [W/m²]·A _{Grund} [m²]	23 [W/m²] · A _{Grund} [m²]	17 [W / m²] · A _{Grund} [m²]	8 [W/m²] · A _{Grund} [m²]

Tabelle 5 Lüftungsheizlast (S12)

Die vereinfachte Berechnung der Heizlast wird an einem Beispielraum demonstriert. die Außenansicht und Grundrisse sind in Abbildung 5 schematisch dargestellt. Einen Einblick in das Schlafzimmer als Beispielraum gibt Abbildung 6.

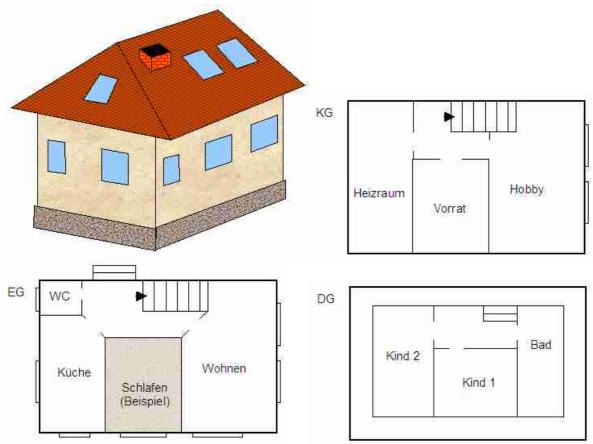


Abbildung 5 Gebäude und Grundrisse (A02 – A05)

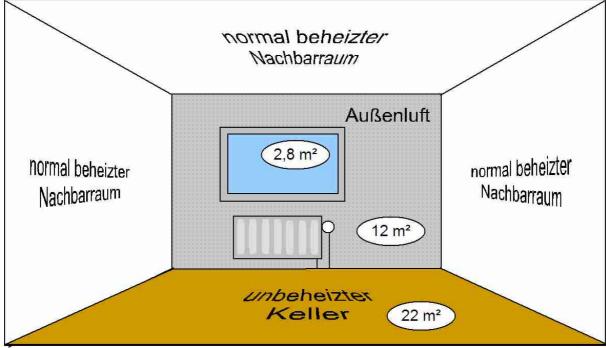


Abbildung 6 Beispielraum (A01)

Der Beispielraum hat 3 zu berücksichtigende Flächen: die Außenwand, das Außenfenster und den Fußboden zum unbeheizten Keller. Alle anderen Flächen grenzen an Räume mit gleicher oder ähnlicher Temperatur. Hier sind fast keine Wärmeflüsse zu erwarten, daher werden sie vernachlässigt.

Die Außenwand wird ist eine 24 cm dicke Vollziegelwand mit 6 cm nachträglicher Dämmung. Für die 12 m² große Außenwand ergibt sich nach Tabelle 1 ergibt sich eine Transmissionsheizlast von etwa 33 W/m² · 12 m² = 396 W. Die Fenster bestehen aus doppeltem Wärmeschutzglas. Es ergibt sich nach Tabelle 4 eine Transmissionsheizlast von etwa 51 W/m² · 2,8 m² = 143 W. Die Kellerdecke ist eine Holzbalkendecke, nachträglich mit 4 cm gedämmt. Für den 22 m² großen Fußboden zum unbeheizten Keller ergibt sich nach Tabelle 3 demnach eine Transmissionsheizlast von etwa 21 W/m² · 22 m² = 462 W.

Die Lüftungsheizlast des 22 m² großen Raumes beträgt unter Annahme normal dichter Fenster und ohne Lüftungsanlage nach Tabelle 5 17 W/m² \cdot 22 m² = 374 W. Zusammen ergibt sich eine Heizlast für diesen Raum von 1375 W unter der Annahme einer minimalen Außentemperatur von -14 °C.

∂ _{a,min} =	Orte	Umrechnung
- 18 °C	Fichtelberg, Garmisch-Partenkirchen, Mittelberg, Oberaudorf, Oberstdorf, Weihenstephan	1,11
- 16 °C	Bamberg, Bayreuth, Berchtesgaden, Brocken, Burghaslach, Chemnitz, Cottbus, Doberlug-Kirchhain, Donaueschingen, Erlangen, Frankfurt/Oder, Freudenstadt, Görlitz, Göttingen, Großer Inselberg, Gschwend, Heidenheim, Hof, Kaltennordheim, Kirchheim/Teck, Mittenwald, Mühldorf, München, Münsingen, Nördlingen, Nürnberg, Plauen, Regensburg, Rosenheim, Sonneberg, St. Blasien, Torgau, Trostberg, Tübingen, Villingen, Weiden, Wernigerode	1,06
- 14 °C	Angermünde, Artem, Augsburg, Bad Herrenalb, Bad Hersfeld, Bad Kissingen, Bad Kohlgrub, Bad Nauheim, Bad Salzuflen, Badenweiler, Berlin, Birkenfeld, Blankenrath, Braunlage, Braunschweig, Brilon, Buchen, Clausthal, Coburg, Dresden, Erfurt, Gardelegen, Gera, Gilserberg, Grünow, Gütersloh, Halle, Hannover, Herchenhain, Hüll, Isny, Jena, Leipzig, Lindenberg, Magdeburg, Marnitz, Müncheberg, Neuglobsow, Neuruppin, Neustrelitz, Nürburg, Öhringen, Passau, Pommelsbrunn, Potsdam, Ravensburg, Rothenburg, Salzwedel, Ulm, Wahnsdorf, Wittenberg, Wittenberge, Witzenhausen, Zehdenick	1,00
- 12 °C	Aachen, Alzey, Bad Ems, Bad Kreuznach, Baden-Baden, Bergzabern, Boizenburg, Bremen, Darmstadt, Dillenburg, Dortmund, Elsdorf, Frankfurt/Main, Freiburg, Friedrichshafen, Geisenheim, Gelnhausen, Gießen, Goldberg, Greifswald, Hamburg, Hameln, Herford, Hilgenroth, Iserlohn, Karlsruhe, Kassel, Lüdenscheid, Mannheim, Münster, Neumünster, Neuwied, Pforzheim, Pirmasens, Saarbrücken, Schwerin, Stuttgart, Teterow, Trochtelfingen, Ueckermünde, Waren, Weilburg, Wertheim, Wildbad-Sommerberg, Worms, Wuppertal, Würzburg	0,94
- 10 °C	Arkona, Aulendorf, Bensheim, Bernkastel, Boltenhagen, Bonn, Borkum, Bremerhaven, Cuxhaven, Duisburg, Düsseldorf, Emden, Essen, Heidelberg, Husum, Kiel, Kleve, Köln, Lingen, List auf Sylt, Lübeck, Neustadt, Norderney, Oldenburg, Putbus, Schleswig, St. Peter, Travemünde, Trier, Warnemünde, Wiesbaden	0,89

Tabelle 6 Mindestaußentemperaturen verschiedener Standorte (S01)

Befindet sich das Gebäude nicht an einem der Orte mit –14 °C als minimale Außentemperatur, sollte die Heizlast noch umgerechnet werden. Tabelle 6 gibt die Umrechnungsfaktoren für verschiedene Standorte an.

Das Beispielhaus steht in beispielsweise in der Nähe von Emden. Dort gilt -10° C als minimale Außentemperatur. Die unkorrigierte Raumheizlast von 1375 W wird korrigiert auf 1375 W \cdot 0,89 = 1224 W.

Vergleich mit der Heizlastberechnung nach Fläche

Die vereinfachte Berechnung der Heizlast nach Außenflächen erscheint zunächst sehr aufwändig. Einfacher wäre ohne Zweifel die Berechnung nach Grundfläche, z.B. mit 100, 70 oder 50 W/m². Es folgt ein beispielhafter Vergleich, der zeigt, dass die Berechnung nach Außenflächen seine Berechtigung hat.

Betrachtet werden zwei Räume (Außenwand mit 6 cm Dämmung, Decke mit 2 cm Dämmung, Doppelverglasung, normale Fensterdichtheit), nach Abbildung 7 bzw. Abbildung 8.

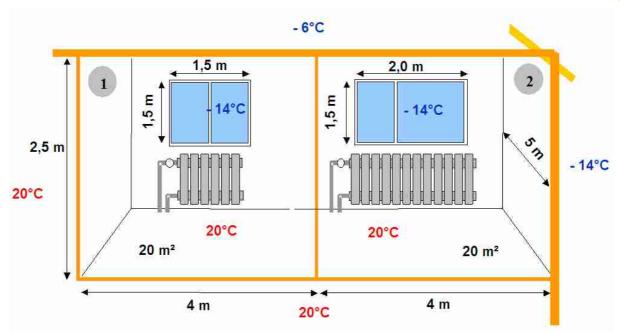


Abbildung 7 Beispielräume mit Flächenmaßen für außenflächenbezogene Berechnung (A30)

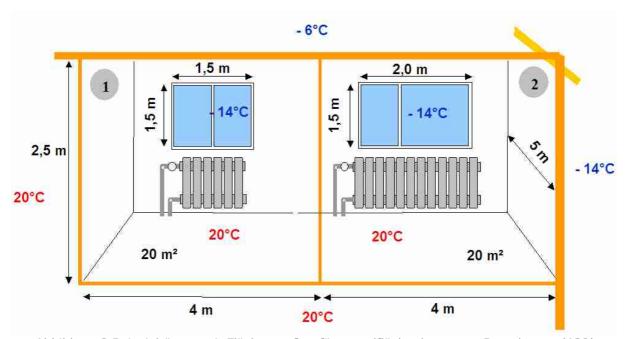


Abbildung 8 Beispielräume mit Flächenmaßen für grundflächenbezogene Berechnung (A29)

Die Räume sind gleich groß, deshalb ergibt sich für eine angenommene typische spezifische Heizlast von 70 W/m^2 nach Grundfläche (nach früherer Heizungsanlagenverordnung) die gleiche Heizlast von 1400 W:

$$\overset{.}{Q} = 70 \frac{W}{m^2} \cdot 20 \ m^2 = 1400 \ W$$

Wird nach Außenflächen gerechnet, hat der Innenraum 1 eine deutlich geringere Heizlast als der Außenraum 2:

$$\begin{split} \dot{Q}_{Innen} &= \dot{Q}_{T,Wand} + \dot{Q}_{T,Fenster} + \dot{Q}_{T,Decke} + \dot{Q}_{V} \\ &= 33 \, \frac{W}{m^2} \cdot 7,75 \, m^2 + 74 \, \frac{W}{m^2} \cdot 2,25 \, m^2 + 30 \, \frac{W}{m^2} \cdot 20 \, m^2 + 17 \, \frac{W}{m^2} \cdot 20 \, m^2 \\ &= 1362 \, W \end{split}$$

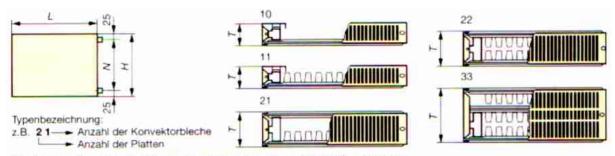
$$\begin{split} \dot{Q}_{Außen} &= \dot{Q}_{T,Wand} + \dot{Q}_{T,Fenster} + \dot{Q}_{T,Decke} + \dot{Q}_{V} \\ &= 33 \frac{W}{m^{2}} \cdot 19,5m^{2} + 74 \frac{W}{m^{2}} \cdot 3m^{2} + 30 \frac{W}{m^{2}} \cdot 20m^{2} + 17 \frac{W}{m^{2}} \cdot 20m^{2} \\ &= 1806W \end{split}$$

Im Mittel ergibt sich bei genauerer Rechnung eine Heizlast von 80 W/m². Beide Räume weisen jedoch eine unterschiedliche Heizlast auf (68 W/m² gegenüber 90 W/m²). Fazit: Die pauschale Heizlastberechnung nach Grundfläche ist zur raumweisen Bestimmung der Heizlast ungeeignet, sie kann aber zur Gebäudeheizlastabschätzung verwendet werden.

2 Heizkörperleistung

Als Vorbereitung für die Optimierung einer Heizungsanlage muss für jeden beheizten Raum auch die installierte Heizkörperleistung bekannt sein. Bei einer Aufnahme vor Ort müssen dafür der Heizkörpertyp und die wichtigsten Maße ermittelt werden. Die Leistungsbestimmung kann dann mit Hilfe der Werte in Tabelle 7 bis Tabelle 11 erfolgen.

Ein Überblick über die Bauformen und wichtige Baumaße von Heizkörpern zeigen Abbildung 9 bis Abbildung 11.



Baulängen: L = 400 - 3000 mm, Bautiefe T in mm und Bauhöhe H in mm
Abbildung 9 Plattenheizkörper (A16)

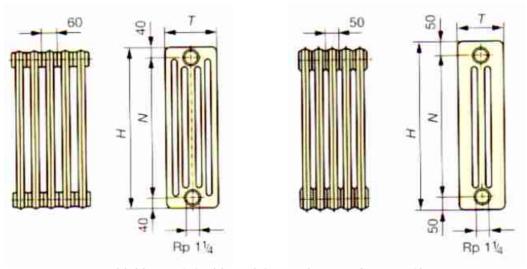


Abbildung 10 Stahl- und Gussradiatoren (A17, A18)

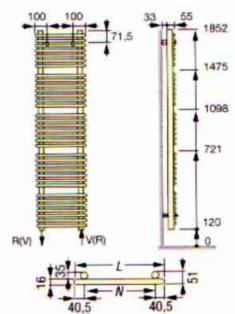


Abbildung 11 Handtuchradiatoren (A19)

				- H	Norm						rofilie 65/2			eizkö	rper					
Maße in					Bauhöhe 500 Typ				Bauhöhe 600 Typ					Bauhöhe 900 Typ						
Baulän ge	10	11	21	22	33	10	11	21	22	33	10	11	21	22	33	10	11	21	22	33
400	174	242	366	441	626	234	323	485	584	850	273	377	562	678	984	391	538	784	942	1326
500	218	303	458	551	783	293	404	606	731	1062	342	472	703	847	1231	489	673	981	1178	1658
600	262	363	549	661	940	352	485	727	877	1274	410	566	844	1016	1477	587	807	1177	1413	1989
700	305	424	641	771	1096	410	566	848	1023	1487	478	660	984	1186	1723	685	942	1373	1649	2321
800	349	484	732	882	1253	469	646	970	1169	1699	546	754	1125	1355	1969	782	1076	1569	1884	2652
900	392	545	824	992	1409	527	727	1091	1315	1912	615	849	1265	1525	2215	880	1211	1765	2120	2984
1000	436	605	915	1102	1566	586	808	1212	1461	2124	683	943	1406	1694	2461	978	1345	1961	2355	3315
1200	523	726	1098	1322	1879	703	970	1454	1753	2549	820	1132	1687	2033	2953	1174	1614	2353	2826	3978
1400	610	847	1281	1543	2192	820	1131	1697	2045	2974	956	1320	1968	2372	3445	1369	1883	2745	3297	4641
1600	698	968	1464	1763	2506	938	1293	1939	2338	3398	1093	1509	2250	2710	3938	1565	2152	3138	3768	5304
1800	785	1089	1647	1984	2819	1055	1454	2182	2630	3823	1229	1697	2531	3049	4430	1760	2421	3530	4239	5967
2000	872	1210	1830	2204	3132	1172	1616	2424	2922	4248	1366	1886	2812	3388	4922	1956	2690	3922	4710	6630
2300	1003	1392	2105	2535	3602	1348	1858	2788	3360	4885	1571	2169	3234	3896	5660	2249	3094	4510	5417	7625
2600	1134	1573	2379	2865	4072	1524	2101	3151	3799	5522	1776	2452	3656	4404	6399	2543	3497	5099	6123	8619
3000	1308	1815	2745	3306	4698	1758	2424	3636	4383	6372	2049	2829	4218	5082	7383	2934	4035	5883	7065	9945

Tabelle 7 Normleistung für senkrecht profilierte Flachheizkörper (S10)

					Nor								heizk	örper	1					
Maße in		Вац	ıhöhe 3	350		nach DIN EN 442 (75/ 6 Bauhöhe 500				Bauhöhe 600					Bauhöhe 900					
mm			Тур					Тур					Тур					Тур		
Baulänge	10	11	21	22	33	10	11	21	22	33	10	11	21	22	33	10	11	21	22	33
400	147	212	329	407	595	200	295	450	573	792	235	348	527	673	921	339	480	737	908	1293
500	184	266	412	509	744	250	369	562	716	991	294	435	659	842	1152	424	600	922	1135	1616
600	221	319	494	611	893	300	443	674	859	1189	353	521	791	1010	1382	508	719	1106	1361	1939
700	258	372	576	713	1042	350	517	787	1002	1387	412	608	923	1178	1612	593	839	1290	1588	2262
800	294	425	658	814	1190	400	590	899	1146	1585	470	695	1054	1346	1842	678	959	1474	1815	2586
900	331	478	741	916	1339	450	664	1012	1289	1783	529	782	1186	1515	2073	762	1079	1659	2042	2909
1000	368	531	823	1018	1488	500	738	1124	1432	1981	588	869	1318	1683	2303	847	1199	1843	2269	3232
1200	442	637	988	1222	1786	600	886	1349	1718	2377	706	1043	1582	2020	2764	1016	1439	2212	2723	3878
1400	515	743	1152	1425	2083	700	1033	1574	2005	2773	823	1217	1845	2356	3224	1186	1679	2580	3177	4525
1600	589	850	1317	1629	2381	800	1181	1798	2291	3170	941	1390	2109	2693	3685	1355	1918	2949	3630	5171
1800	662	956	1481	1832	2678	900	1328	2023	2578	3566	1058	1564	2372	3029	4145	1525	2158	3317	4084	5818
2000	736	1062	1646	2036	2976	1000	1476	2248	2864	3962	1176	1738	2636	3366	4606	1694	2398	3686	4538	6464
2300	846	1221	1893	2341	3422	1150	1697	2585	3294	4556	1352	1999	3031	3871	5297	1948	2758	4239	5219	7434
2600	957	1381	2140	2647	3869	1300	1919	2922	3723	5151	1529	2259	3427	4376	5988	2202	3117	4792	5899	8403
3000	1104	1593	2469	3054	4464	1500	2214	3372	4296	5943	1764	2607	3954	5049	6909	2541	3597	5529	6807	9696

Tabelle 8 Normleistung für glattwandige Flachheizkörper (S09)

		eistung Handtuchradia N 442 (75/ 65/ 20°C) i		
Maße in mm Breite	Bauhöhe 721	Bauhöhe 1098	Bauhöhe 1475	Bauhöhe 1852
516	406	588	764	934
616	482	698	906	1108
766	595	862	1119	1368
1016	781	1133	1470	1798

Tabelle 9 Normleistung für Handtuchradiatoren (S08)

Normwärmeleistung Stahlradiatoren											
			nach D	IN EN 442	(75/ 65/ 20	°C) in W					
Maßein	Bauhöhe 300	Bauhö	he 450		Bauhöhe 600			Bauhöhe 1000			
mm	Bautiefe	Bau	itiefe		Bautiefe		Bautiefe				
Anzahl Glieder	250	160	220	110	160	220	110	160	220		
7	58	56	75	55	75	96	92	118	154		
- 5	290	280	375	275	375	480	460	590	770		
6	348	336	450	330	450	576	552	708	924		
7	406	392	525	385	525	672	644	826	1078		
8	464	448	600	440	600	768	736	944	1232		
9	522	504	675	495	675	864	828	1062	1386		
10	580	560	750	550	750	960	920	1180	1540		
11	638	616	825	605	825	1056	1012	1298	1694		
12	696	672	900	660	900	1152	1104	1416	1848		
13	754	728	975	715	975	1248	1196	1534	2002		
14	812	784	1050	770	1050	1344	1288	1652	2156		
15	870	840	1125	825	1125	1440	1380	1770	2310		
16	928	896	1200	880	1200	1536	1472	1888	2464		
17	986	952	1275	935	1275	1632	1564	2006	2618		
18	1044	1008	1350	990	1350	1728	1656	2124	2772		
19	1102	1064	1425	1045	1425	1824	1748	2242	2926		
20	1160	1120	1500	1100	1500	1920	1840	2360	3080		
21	1218	1176	1575	1155	1575	2016	1932	2478	3234		
22	1276	1232	1650	1210	1650	2112	2024	2596	3388		
23	1334	1288	1725	1265	1725	2208	2116	2714	3542		
24	1392	1344	1800	1320	1800	2304	2208	2832	3696		
25	1450	1400	1875	1375	1875	2400	2300	2950	3850		
26	1508	1456	1950	1430	1950	2496	2392	3068	4004		
27	1566	1512	2025	1485	2025	2592	2484	3186	4158		
28	1624	1568	2100	1540	2100	2688	2576	3304	4312		
29	1682	1624	2175	1595	2175	2784	2668	3422	4466		
30	1740	1680	2250	1650	2250	2880	2760	3540	4620		
31	1798	1736	2325	1705	2325	2976	2852	3658	4774		
32	1856	1792	2400	1760	2400	3072	2944	3776	4928		
33	1914	1848	2475	1815	2475	3168	3036	3894	5082		
34	1972	1904	2550	1870	2550	3264	3128	4012	5236		
35	2030	1960	2625	1925	2625	3360	3220	4130	5390		
36	2088	2016	2700	1980	2700	3456	3312	4248	5544		
37	2146	2072	2775	2035	2775	3552	3404	4366	5698		
38	2204	2128	2850	2090	2850	3648	3496	4484	5852		
39	2262	2184	2925	2145	2925	3744	3588	4602	6006		
40	2320	2240	3000	2200	3000	3840	3680	4720	6160		
41	2378	2296	3075	2255	3075	3936	3772	4838	6314		
42	2436	2352	3150	2310	3150	4032	3864	4956	6468		
43	2494	2408	3225	2365	3225	4128	3956	5074	6622		
44	2552	2464	3300	2420	3300	4224	4048	5192	6776		
45	2610	2520	3375	2475	3375	4320	4140	5310	6930		

Tabelle 10 Normleistung für Stahlradiatoren (S07)

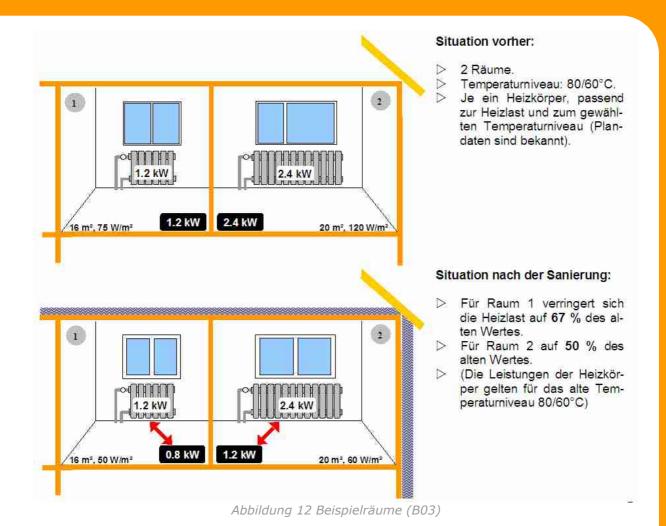
Normwärmeleistung Gussradiatoren													
nach DIN EN 442 (75/ 65/ 20°C) in W													
Maßein	Bauhöhe 280	Bauhöhe 430				Bauhöh	e 580		Bauhöhe 680	Bauhöhe 980		80	
mm	Bautiefe		Bau	tiefe		Bautiefe			Bautiefe	Bautiefe			
Anzahl Glieder	250	70	110	160	220	70	110	160	220	160	70	160	220
1	69	41	53	70	92	51	69	95	122	111	84	154	196
5	345	205	265	350	460	255	345	475	610	555	420	770	980
6	414	246	318	420	552	306	414	570	732	666	504	924	1176
7	483	287	371	490	644	357	483	665	854	777	588	1078	1372
8	552	328	424	560	736	408	552	760	976	888	672	1232	1568
9	621	369	477	630	828	459	621	855	1098	999	756	1386	1764
10	690	410	530	700	920	510	690	950	1220	1110	840	1540	1960
11	759	451	583	770	1012	561	759	1045	1342	1221	924	1694	2156
12	828	492	636	840	1104	612	828	1140	1464	1332	1008	1848	2352
13	897	533	689	910	1196	663	897	1235	1586	1443	1092	2002	2548
14	966	574	742	980	1288	714	966	1330	1708	1554	1176	2156	2744
15	1035	615	795	1050	1380	765	1035	1425	1830	1665	1260	2310	2940
16	1104	656	848	1120	1472	816	1104	1520	1952	1776	1344	2464	3136
17	1173	697	901	1190	1564	867	1173	1615	2074	1887	1428	2618	3332
18	1242	738	954	1260	1656	918	1242	1710	2196	1998	1512	2772	3528
19	1311	779	1007	1330	1748	969	1311	1805	2318	2109	1596	2926	3724
20	1380	820	1060	1400	1840	1020	1380	1900	2440	2220	1680	3080	3920
21	1449	861	1113	1470	1932	1071	1449	1995	2562	2331	1764	3234	4116
22	1518	902	1166	1540	2024	1122	1518	2090	2684	2442	1848	3388	4312
23	1587	943	1219	1610	2116	1173	1587	2185	2806	2553	1932	3542	4508
24	1656	984	1272	1680	2208	1224	1656	2280	2928	2664	2016	3696	4704
2.5	1725	1025	1325	1750	2300	1275	1725	2375	3050	2775	2100	3850	4900
26	1794	1066	1378	1820	2392	1326	1794	2470	3172	2886	2184	4004	5096
27	1863	1107	1431	1890	2484	1377	1863	2565	3294	2997	2268	4158	5292
28	1932	1148	1484	1960	2576	1428	1932	2660	3416	3108	2352	4312	5488
29	2001	1189	1537	2030	2668	1479	2001	2755	3538	3219	2436	4466	5684
30	2070	1230	1590	2100	2760	1530	2070	2850	3660	3330	2520	4620	5880
31	2139	1271	1643	2170	2852	1581	2139	2945	3782	3441	2604	4774	6076
32	2208	1312	1696	2240	2944	1632	2208	3040	3904	3552	2688	4928	6272
33	2277	1353	1749	2310	3036	1683	2277	3135	4026	3663	2772	5082	6468
34	2346	1394	1802	2380	3128	1734	2346	3230	4148	3774	2856	5236	6664
35	2415	1435	1855	2450	3220	1785	2415	3325	4270	3885	2940	5390	6860
36	2484	1476	1908	2520	3312	1836	2484	3420	4392	3996	3024	5544	7056
37	2553	1517	1961	2590	3404	1887	2553	3515	4514	4107	3108	5698	7252
38	2622	1558	2014	2660	3496	1938	2622	3610	4636	4218	3192	5852	7448
39	2691	1599	2067	2730	3588	1989	2691	3705	4758	4329	3276	6006	7644
40	2760	1640	2120	2800	3680	2040	2760	3800	4880	4440	3360	6160	7840
41	2829	1681	2173	2870	3772	2091	2829	3895	5002	4551	3444	6314	8036
42	2898	1722	2226	2940	3864	2142	2898	3990	5124	4662	3528	6468	8232
43	2967	1763	2279	3010	3956	2193	2967	4085	5246	4773	3612	6622	8428
44	3036	1804	2332	3080	4048	2244	3036	4180	5368	4884	3696	6776	8624
45	3105	1845	2385	3150	4140	2295	3105	4275	5490	4995	3780	6930	8820

Tabelle 11 Normleistung für Gussradiatoren (S06)

3 Warum muss die Anlage überhaupt angepasst werden?

Bei der Heizungsanlagenoptimierung muss das Vorlauftemperaturniveau am Regler angepasst und die Volumenströme an den Heizkörpern eingedrosselt werden. Warum ist das so?

Die Frage, wann und warum das alte Temperaturniveau der Anlagentechnik in einem Gebäude verändert werden sollte, soll an einem Beispiel erläutert werden. Das Beispielgebäude sei ein größeres Mehrfamilienhaus, aus dem zwei Räume in Abbildung 12 schematisch gezeigt sind. Der linke Raum (Raum 1) ist ein Innenraum, der rechte (Raum 2) ein Eckraum dieses Gebäudes.



Vor der Sanierung stimmen die realen Heizkörperleistungen (die reale Heizkörperleistung ergibt sich aus der Heizkörpergröße bzw. Normleistung und dem gewähltem Temperaturniveau) mit den Raumheizlasten überein. Durch die Sanierung (Fensteraustausch, Außenwanddämmung und Dachdämmung) sinken die Raumheizlasten.

Allerdings verringert sich die Raumheizlast im Außenraum (Raum 2) stärker als im Innenraum (Raum 1). Der Grund hierfür ist der höhere Anteil sanierter Flächen bezogen auf die gesamten Umschließungsflächen beim Außenraum. Die Sanierung macht sich umso mehr bemerkbar, je mehr Begrenzungsflächen eines Raumes von ihr betroffen sind. Im gegenteiligen Extremfall, einem Innenflur, der gar nicht von der Sanierung betroffen wäre, würde sich die Heizlast überhaupt nicht ändern.

Fest steht nach der Sanierung folgendes: beide Heizkörper besitzen aufgrund der gleich gebliebenen Systemtemperaturen und Volumenströme nach der Modernisierung eine zu große Leistung. Das Temperaturniveau kann daher angepasst – also abgesenkt – werden. Eine einheitliche Absenkung der Vorlauftemperatur allein reicht aber nicht zur Leistungsverminderung aus, da sich die Heizkörperleistungen auch nicht gleichmäßig verändert haben. Die korrekte Anpassung kann nur durch einen hydraulischen Abgleich (zusätzliche Anpassung des Volumenstroms durch den Heizkörper) erfolgen.

In der Regel stimmt daher auch der hydraulischen Abgleich nicht mehr, sofern die Heizungsanlage vorher überhaupt hydraulisch abgeglichen war.

Verschwendungspotential

Nun mag man sich die Frage stellen, warum das Temperaturniveau überhaupt geändert werden soll? Es sind doch allerorts Thermostatventile in den Anlagen eingebaut, die bei Bedarf einfach schließen und die Heizkörperleistung somit automatisch reduzieren. Der wichtigste Grund ist die Gefahr der unbemerkten Energieverschwendung durch den Nutzer - sofern die Anlage dies zulässt. Dieses Phänomen, das durch nicht ausreichende Qualitätssicherung auf Seiten der Anlagentechnik entsteht, wird auch als "Verschwendungspotential der Anlagentechnik" bezeichnet.

Für das Beispielgebäude bedeutet das: obwohl der Baukörper saniert ist und das Gebäude theoretisch nur noch die halbe Energiemenge im Vergleich zu vorher benötigen würde, kann die Anlage immer noch die alte Energiemenge liefern, weil die Heizflächen, die hydraulischen Einstellungen und die Vorlauftemperatur gleich geblieben sind. Der Außenraum weist 1,2 kW überflüssige Leistung auf, der Innenraum 0,4 kW. Insgesamt sind also 1,6 kW Wärmeleistung (das entspricht 80 %) mehr verfügbar, als überhaupt benötigt werden.

Dieses Mehrangebot an Leistung kann zu einer - vom Nutzer unbemerkten - Energieverschwendung führen. Wärme kann zum Beispiel durch ständig gekippte Fenster abgelüftet werden, ohne dass die betreffenden Räume wirklich auskühlen. Die Fenster bleiben also, da unbemerkt, unnötig lange offen. Das Verschwendungspotential besagt allerdings nicht, dass die volle Überkapazität in jedem Fall sinnlos verbraucht wird. Der Nutzer entscheidet wesentlich darüber. Klar ist jedoch auch: je weniger Überkapazität bereitgestellt wird, desto weniger kann verschwendet werden.

Ein Weg - und aus Sicht der Investitionskosten gesehen, ein sehr günstiger Weg - zur Anpassung der Anlagenleistung an die neuen Verhältnisse ist die Wahl eines neuen Temperaturniveaus und ein anschließender hydraulischer Abgleich der Anlage.

4 Notwendige Übertemperatur der Heizkörper

Nach einer baulichen Modernisierung weisen die Räume geringere Heizlasten auf. Es wurde aber bereits gezeigt, dass die Heizlasten in den einzelnen Räumen nicht gleichmäßig sinken.

Soll die Heizkörperleistung an die neuen Bedingungen im Raum angepasst werden, kann das Temperaturniveau im Allgemeinen abgesenkt werden. Es muss aber zunächst geprüft werden, wie weit sich das Temperaturniveau absenken lässt, ohne dass es zu Unterversorgungen kommt.

Bei der Wahl eines neuen Temperaturniveaus wird daher erst einmal festgestellt, welcher Heizkörper nach der Sanierung die geringste (thermische) Überdimensionierung seiner Heizkörperleistung gegenüber der Raumheizlast aufweist. Nach diesem Heizkörper richtet sich das neue Temperaturniveau.

Für die beiden Beispielräume ergeben sich bei den alten Temperaturen folgende Verhältnisse: Im Raum 1 ist eine Überdimensionierung des Heizkörpers von 150 %, im Raum zwei von 200 % festzustellen. Das bedeutet, dass der Heizkörper im Innenraum 1 – thermisch gesehen – der ungünstige ist. Nach ihm richtet sich die mögliche Absenkung des neuen Temperaturniveaus.

Für die Bestimmung des neuen Temperaturniveaus wird zunächst die alte logarithmische Übertemperatur $\Delta \theta_{ln}$ des Netzes benötigt. Sie beträgt bei den alten Auslegungsbedingungen 80/60/20 °C:

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

Dann wird mit Hilfe einer der drei grundlegenden Heizkörpergleichungen (Theorien hierzu sind in der Literatur zu finden, z. B. in [3]) die neue Übertemperatur bestimmt. Die Heizkörpergleichung lautet in ihrer Grundfassung:

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

Nach dieser Gleichung verhalten sich neue und alte Leistung eines Heizkörpers – bis auf den Einfluss des Heizkörperexponenten n – proportional zu den vorhandenen logarithmischen Übertemperaturen. Für den thermisch ungünstigsten Raum 1 ergibt sich die neue logarithmische Übertemperatur durch Umstellen der Gleichung wie folgt:

$$\Delta \vartheta_{\text{In,neu}} = \Delta \vartheta_{\text{In,alt}} \cdot \left(\frac{\dot{Q}_{\text{neu}}}{\dot{Q}_{\text{alt}}}\right)^{1/n} = 49.3 \text{K} \cdot \left(\frac{0.8 \text{kW}}{1.2 \text{kW}}\right)^{1/1.3} = 36.1 \text{K}$$

Dabei sind die beiden Leistungsdaten bekannt (es sind die Raumheizlasten vor und nach der Modernisierung), und der Heizkörperexponent wird mit n=1,3 (typisch für einen Gliederheizkörper) angesetzt. Gut nachzuvollziehen sind die Zusammenhänge im Auslegungsdiagramm für Heizkörper, das für den Heizkörper 1 in Abbildung 13 gezeigt wird.

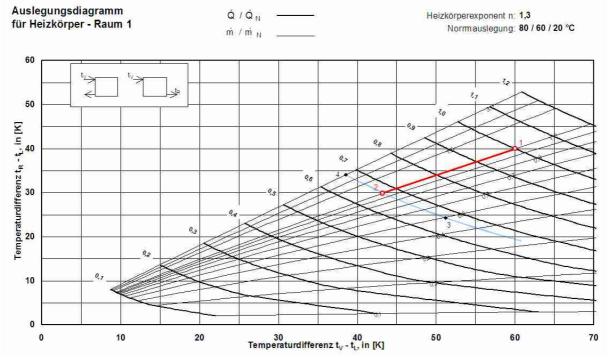


Abbildung 13 Heizkörperauslegungsdiagramm für Raum 1 (B04)

Punkt 1 im Bild ist der alte Auslegungspunkt. Er ist eingetragen bei 100 % Leistung ($\dot{Q}/\dot{Q}_n=1,0$ - Linien von oben links nach unten rechts) und bei 100 % Massenstrom ($\dot{m}/\dot{m}_n=1,0$ - Linien von unten links nach oben rechts). Dieser Zustand wird gerade erreicht bei einer Vorlauftemperatur von 80°C (60 K Temperaturdifferenz auf der x-Achse) und einer Rücklauftemperatur von 60 ° C (40 K Temperaturdifferenz auf der y-Achse).

Punkt 2 ist eingetragen bei der geringeren Leistung (2/3 der ursprünglichen Leistung $\dot{Q}/\dot{Q}_n=0,67$) nach der Sanierung, aber immer noch beim vollen alten Massenstrom ($\dot{m}/\dot{m}_n=1,0$). Alle Punkte, die auf der eingezeichneten blauen Linie liegen, sind Punkte mit der gleichen neuen Leistung, die mit der gleichen logarithmischen Übertemperatur von 36,1 K erreicht werden kann. Daher kommen alle Punkte auf dieser Linie als neue Betriebspunkte in Betracht – nicht nur der eingezeichnete Punkt 2.

Drei mögliche Paarungen von Vor- und Rücklauftemperatur für das neue Temperaturniveau am Heizkörper 1 könnten also sein:

- = 63/50°C (Punkt 2 mit altem Massenstrom $\dot{m}/\dot{m}_n = 1,0$),
- ⁹ 71/44°C (Punkt 3 mit 50 % des alten Massenstromes $\dot{m}/\dot{m}_n = 0.5$) oder
- = 58/54°C (Punkt 4 mit dreifachem Massenstrom $\dot{m}/\dot{m}_n = 3.0$).

Weitere Paarungen werden in Abbildung 14 wiedergegeben. Die im Bild gestrichelt eingetragene Linie symbolisiert die logarithmische Temperatur von 56,1 K. Sie ist die Summe aus Raumtemperatur (20°C) und logarithmischer Übertemperatur (36,1 K).

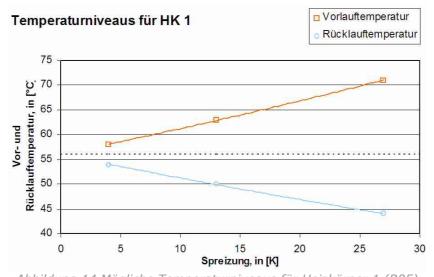


Abbildung 14 Mögliche Temperaturniveaus für Heizkörper 1 (B05)

Ebenso wie für Raum 1 kann auch für Raum 2 ein Heizkörperauslegungsdiagramm erstellt werden. Es ist in Abbildung 15 wiedergegeben.

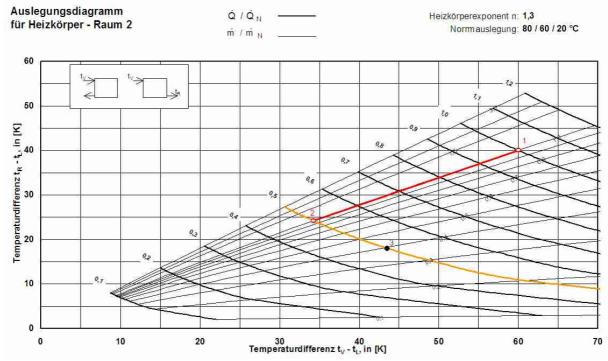


Abbildung 15 Heizkörperauslegungsdiagramm für Raum 2 (B06)

Für den zweiten Raum - mit der größeren Überdimensionierung - ist ebenfalls der alte Auslegungspunkt (1) bei $80/60^{\circ}$ C eingetragen. Hier beträgt die neue, aus den Leistungen bestimmte logarithmische Übertemperatur $\Delta \theta_{ln} = 28,9$ K. Auf der eingetragenen orangenen Linie liegen die möglichen Temperaturpaarungen, die diese Übertemperatur ermöglichen und mit denen die neue Leistung für Heizkörper 2 erreicht werden kann.

Punkt 2 symbolisiert wie oben einen der neuen Auslegungspunkte, hier denjenigen mit gleichem Massenstrom ($\dot{m}/\dot{m}_n=1,0$) wie vorher. Er wird bei Auslegungstemperaturen von 54/44°C erreicht. Die notwendige Vorlauftemperatur wird aber vom Heizkörper 1 bestimmt. Soll dort z.B. der alte Massenstrom beibehalten werden, dann muss das ganze Netz mit einer Auslegungsvorlauftemperatur von $t_{V,A}=63$ °C betrieben werden (siehe Abbildung 13). Für den Heizkörper 2 bedeutet das, dass der Massenstrom auf nur 40 % seines alten Wertes sinkt (Punkt 3).

Die neue Übertemperatur wird für jeden einzelnen Raum aus der Heizlast und der Heizkörperleistung bestimmt.

Anhand dieser Betrachtungen wird folgendes deutlich: selbst wenn das Netz vorher hydraulisch abgeglichen war, muss der Abgleich nach der Sanierung wiederholt werden, weil sich die thermischen und damit die hydraulischen Verhältnisse grundlegend ändern können! Es wird auch deutlich: die Wahl der neuen Vorlauftemperatur steht grundsätzlich offen. Die einzige Bedingung ist, dass alle Räume noch warm werden, d.h. für den thermisch ungünstigsten Raum die logarithmische Übertemperatur erreicht wird.

Mit unterschiedlich gewählten Vorlauftemperaturen stellen sich an jedem Heizkörper andere Rücklauftemperaturen ein. Dabei gibt es für jede Vorlauftemperatur im Netz immer genau eine sich (automatisch) einstellende Rücklauftemperatur an jedem Heizkörper und damit eine mittlere Rücklauftemperatur im Netz. In diesem Punkt ähnelt das Verhalten von Heizkörpern im Bestand dem Verfahren der Heizkörperauslegung für den Neubau nach der VDI 6030 [4].

5 Praxis: Übertemperatur bei fehlende Daten im Bestand

Eine Frage, die sich dem Praktiker sicherlich schon gestellt haben wird, soll an dieser Stelle beantwortet werden: Wie soll die Übertemperatur bei **fehlenden Daten** über das alte Gebäude und die alte Anlage vorgegangen werden?

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 vormals passend zur alten Heizlast dimensioniert waren und
- welche Heizlasten vor der Sanierung überhaupt vorlagen,

ist wie nachfolgend beschrieben zu verfahren. Für jeden Raum müssen die neue Heizlast und die installierte Heizkörpernormleistung bestimmt werden. Die neue notwendige Übertemperatur ergibt sich dann wie folgt:

$$\Delta \vartheta_{\text{In,neu}} = \Delta \vartheta_{\text{In,alt}} \cdot \left(\frac{\dot{Q}_{\text{neu}}}{\dot{Q}_{\text{alt}}}\right)^{1/n} = 49.8 \text{K} \cdot \left(\frac{\dot{Q}_{\text{Raum}}}{\dot{Q}_{\text{Heizk\"{o}rper}}}\right)^{1/1,3}$$

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" bei zu verwenden. Diese Normtemperaturen sind in der EN 442 mit 75/65/20°C festgelegt, wonach die Übertemperatur $\Delta \theta_{\text{In,alt}} = 49.8 \text{ K beträgt.}$

An Stelle der "alten" unbekannten Raumheizlast die Normheizleistung des Heizkörpers bei 75/65/20°C eingesetzt. Trotz der beschriebenen veränderten Vorgehensweise ergibt sich die gleiche neue logarithmische Übertemperatur.

6 Überblick: Randbedingungen für die Wahl des Temperaturniveaus

Aus der Gebäudeaufnahme und einer ggf. vereinfachten Heizlastberechnung müssen zur Optimierung des Temperaturniveaus bekannt sein:

- alle Raumheizlasten nach der Modernisierung,
- die Heizkörpernormleistungen der jeweils installierten Heizflächen (75/65/20 °C) bzw.
 die Heizkörperleistungen bei einem bestimmten anderen Temperaturniveau,
- die daraus bestimmten notwendigen logarithmischen Übertemperaturen für jeden Heizkörper und
- der thermisch ungünstigste Heizkörper (größte logarithmische Übertemperatur).

Die Wahl der Vorlauftemperatur ist praktisch frei möglich, solange sie so hoch ist, dass alle Heizkörper noch ausreichend warm werden. Je höher die Vorlauftemperatur gewählt wird, desto geringer ist die sich einstellende Rücklauftemperatur im Netz. Die mittlere Temperatur der Heizkörper ist immer gleich.

Die zunächst sehr groß erscheinende Anzahl der möglichen Temperaturniveaus wird aber durch die Randbedingungen der Nutzung, aber vor allem durch die vorhandenen Anlagenkomponenten und -systeme begrenzt. Diese sind in Abbildung 16 zusammengestellt und werden im Folgenden näher erläutert.

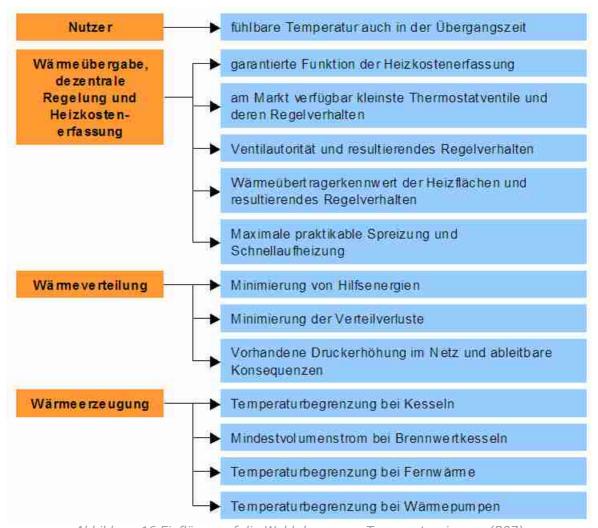


Abbildung 16 Einflüsse auf die Wahl des neuen Temperaturniveaus (B07)

7 Einfluss des Nutzers: fühlbare Temperatur

Die Wahl einer bestimmten Vorlauftemperatur wird vor allem im Mehrfamilienhaus durch das Nutzerempfinden beeinflusst. Um Beschwerden der Bewohner vorzubeugen, sollte auch bei höheren Außentemperaturen in der Übergangszeit für den Nutzer "fühlbar" sein, dass die Heizung in Betrieb ist. Dazu müssen gewisse Mindestvorlauftemperaturen vorhanden sein. Setzt man für etwa 12 °C Außentemperatur in der Übergangszeit voraus, dass die Vorlauftemperatur wenigstens 30 °C erreichen sollte, damit beim Nutzer ein "Wärmeeindruck" entsteht, dann muss die Auslegungsvorlauftemperatur 65°C und mehr betragen.

Dieses Kriterium findet im Einfamilienhausbereich weniger Anwendung, da die Nutzer in der Regel besser über ihre Heizungsanlage informiert sind.

Fazit: um Nutzerbeschwerden vorzubeugen sollte die Vorlauftemperatur im MFH möglichst hoch gewählt werden.

8 Einschränkungen durch die Heizkostenerfassung

Die im Mehrfamilienhaus typischen installierten Heizkostenerfassungsgeräte können ebenfalls Anforderungen an das Temperaturniveau stellen. So sollte bei Einsatz von konventionellen Verdunstern die mittlere Heizkörpertemperatur (vereinfacht: Mittelwert zwischen Vor- und Rücklauftemperatur) bei der Auslegung über 55...60 °C liegen. Für neuere elektronische Ein- und Zweifühlergeräte ist ein Einsatz ab ca. 30...35 °C mittlerer Heizkörpertemperatur bei Auslegungsbedingungen möglich.

Die mittlere Heizkörpertemperatur hängt im Bestand aber gar nicht von der Wahl der Vorlauftemperatur ab, sondern nur von der Überdimensionierung der Heizkörper nach der Modernisierung. Ein Beispiel:

War die Heizung früher auf 70/50 °C ausgelegt, betrug die mittlere Heizkörpertemperatur bei der Auslegung in erster Näherung 60 °C. Die Übertemperatur des Heizkörpers von 40 K über Raumtemperatur ließ einen Einsatz von Verdunstern zu. Wenn die Raumheizlasten nach der Modernisierung aber auf etwa die Hälfte sinken, dann sind auch nur noch halb so hohe Übertemperaturen (20 K) notwendig. Es sind mittlere Heizkörpertemperaturen von etwa 40 °C im Auslegungsfall zu erwarten. Dieser Wert stellt sich auch unabhängig von der Wahl der Vor- und Rücklauftemperatur ein, denn es handelt sich um den Mittelwert aus beiden (siehe Bild B05).

Fazit: die Wahl des Temperaturniveaus im Bestand hat keinen Einfluss auf die Heizkostenerfassung. Aber es muss ggf. im Einzelfall über eine andere Abrechnungsart nachgedacht werden, z.B. die Umrüstung auf elektronische Ein- oder Zweifühlergeräte, Wärmemengenzähler. Eine Lösung ist auch der Austausch von einzelnen Heizflächen.

9 Ventilautorität von Thermostatventilen

Bei der Wahl der neuen Vorlauftemperatur, sollte die Regelbarkeit der Raumtemperatur beachtet werden. Hierunter versteht man, wie genau und wie flexibel die Raumtemperatur auf ihrem Sollwert gehalten werden kann. Die Regelbarkeit wird unter anderem durch die Ventilautorität bestimmt. Die weiteren Merkmale: Wärmeübertragerkennwert, und P-Bereich werden an anderer Stelle erläutert.

Die Ventilautorität a_V eines Thermostatventils ist ein Maß für das Regelverhalten des Ventils im Zusammenspiel mit dem hydraulischen Netz. In nachfolgender Gleichung ist die Definition der Ventilautorität wiedergegeben.

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

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

Der maximal verfügbare Druck wird durch die Pumpe vorgegeben, ggf. auch durch einen eingesetzten Differenzdruckregler oder ein Überströmventil. Der Druckabfall im Netz wird dagegen bestimmt durch die Rohrleitungen, Einzelwiderstände (Bögen, T-Stücke, ...) und sonstige Einbauteile (Kessel, Wärmemengenzähler, ...) im Strömungsweg zwischen Pumpe und Ventil.

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

Je kleiner die Ventilautorität a_V wird, desto mehr weicht das Betriebsverhalten des Ventils von der Linearität ab. Deutlich zu erkennen sind die Zusammenhänge in Abbildung 18, dort im I. Quadranten (rechts oben). Bei einem zu 50 % geschlossenen Ventil fließen bei der gezeichneten Ventilautorität immer noch 75 % des maximalen Volumenstroms. Die merkliche Verminderung des Volumenstromes wird in den unteren Hubbereich verschoben.

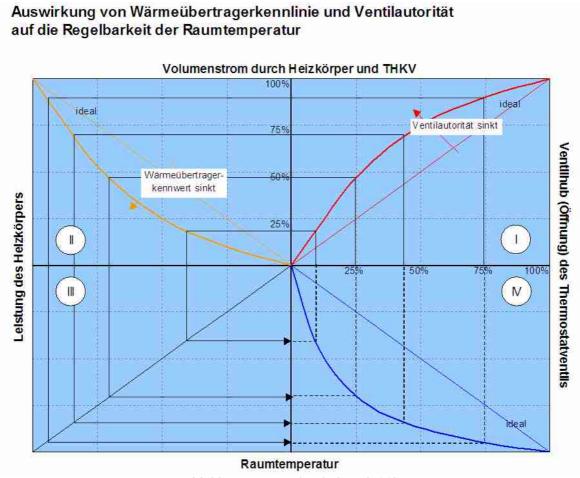


Abbildung 17 Regelverhalten (B08)

Das bedeutet für die Praxis: je geringer die Ventilautorität ist, desto schwieriger wird eine genaue Regelung. Gerade im unteren Lastbereich, wenn Fremdwärme (solare Einstrahlung, Personenabwärme, ...) ausgeregelt werden muss, kann die genaue Wassermenge durch den Heizkörper nur schwer dosiert werden. Bereits eine geringe Veränderung des Ventilhubs bewirkt bei einer schlechten Ventilautorität eine große Volumenstromänderung.

Die Ventilautorität und die Wahl des Temperaturniveaus hängen folgendermaßen zusammen: wird die Vorlauftemperatur hoch gewählt, werden bei den gegebenen Heizkörpern die Rücklauftemperaturen niedrig. Es stellen sich insgesamt hohe Spreizungen und damit kleine Volumenströme im Netz ein. Da bedeutet, dass die Druckverluste im Netz sehr gering werden und praktisch der gesamte verfügbare Druck im Ventil abgebaut werden muss. Die Ventilautorität wird dann sehr hoch. Das spricht für die Wahl höherer Vorlauftemperaturen.

In der Praxis hat sich bewährt, die Ventilautorität für den im Netz am hydraulisch ungünstigst gelegenen Heizkörper nicht kleiner als $a_{\rm V}=0.30$ zu wählen. Hydraulisch ungünstig heißt: der Druckverlust in den Vor- und Rückleitungen auf dem gesamten Strömungsweg von der Pumpe zum Ventil und zurück ist für diesen Heizkörper am größten verglichen mit allen anderen Heizkörpern. Meist ergibt sich der höchste Druckverlust bei dem Heizkörper, der am weitesten von der Pumpe entfernt ist, d. h. der die längste Leistungslänge aufweist.

Alle anderen, hydraulisch günstiger gelegenen Heizkörper weisen dann größere Ventilautoritäten auf, weil die Netzdruckverluste kleiner sind, die Pumpendruckerhöhung aber gleich bleibt. Das Regelverhalten ist in den hydraulisch günstiger gelegenen Heizkörpern daher besser.

10 Wärmeübertragerkennwert der Heizflächen

Auch der sogenannte Wärmeübertragerkennwert der Heizflächen beeinflusst die Genauigkeit und Flexibilität der Raumtemperaturregelung. Dieser Kennwert wird mit dem Buchstaben "a" gekennzeichnet und ist in nachfolgender Gleichung definiert.

$$a = \frac{9VA - 9RA}{9VA - 9L}$$

Der Wärmeübertragerkennwert ist das Verhältnis der Spreizung zwischen Auslegungsvorund -rücklauftemperatur $\vartheta_{V,A}$ - $\vartheta_{R,A}$ zur Vorlaufübertemperatur $\vartheta_{V,A}$ - ϑ_L . Die Raumtemperatur erhält das Kürzel ϑ_L .

Das Regelverhalten der Heizfläche ist umso besser, je höher der Wärmeübertragerkennwert 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. Das bedeutet, bei 50 % des fließenden Volumenstroms wird nur noch 50 % der maximalen Leistung abgegeben.

Je kleiner der Wärmeübertragerkennwert a wird, desto mehr weicht das Betriebsverhalten des Heizkörpers vom linearen Zusammenhang ab. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 18 dargestellt, dort im II. Quadranten (links oben). Bei einer Reduzierung des Volumenstroms auf 25 % des Auslegungswertes wird immer noch 50 % der maximalen Leistung abgegeben. Eine Verminderung der Leistungsabgabe erfolgt erst bei sehr kleinen Volumenströmen.

Hohe Wärmeübertragerkennwerte können erreicht werden, wenn die Spreizung zwischen Vor- und Rücklauftemperatur hoch ist und die Vorlauftemperatur gleichzeitig sehr niedrig ist. Ein gutes Beispiel ist die Auslegung mit 60/30 °C (a = 0,6). Ein schlechtes Beispiel ist die Auslegung mit 75/65 °C (a = 0,18).

Im Bestand hat man nicht mehr die freie Wahl von Vor- und Rücklauftemperatur, denn die mittlere Übertemperatur liegt ja fest. Dort wird der Wärmeübertragerkennwert groß, wenn die Spreizung zwischen Vor- und Rücklauftemperatur groß ist, also eine insgesamt eher höhere Vorlauftemperatur gewählt wird.

Auswirkung von Wärmeübertragerkennlinie und Ventilautorität auf die Regelbarkeit der Raumtemperatur

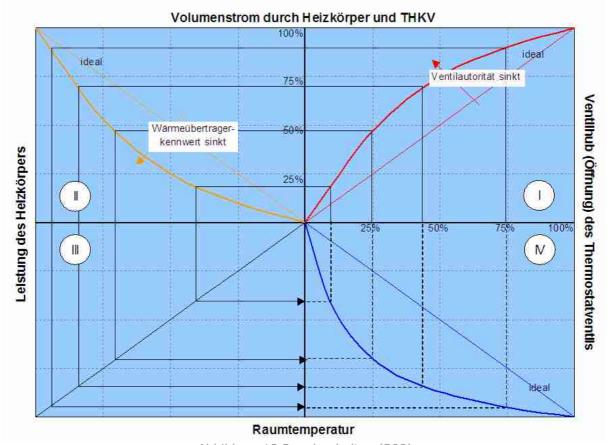


Abbildung 18 Regelverhalten (B08)

Das bedeutet für die Praxis: je geringer der Wärmeübertragerkennwert ist, desto schwieriger wird eine genaue Dosierung der Wärmezufuhr an den Raum. Gerade im unteren Lastbereich mit kleinen Volumenströmen bedeuten kleine Volumenstromschwankungen sehr hohe Leistungsschwankungen. Bereits eine geringe Veränderung des Volumenstroms bewirkt bei einem schlechten Wärmeübertragerkennwert eine große Leistungsänderung.

Um eine einigermaßen gute Regelbarkeit zu gewährleisten, sollte der Wärmeübertragerkennwert für den thermisch ungünstigsten Heizkörper so groß wie möglich sein, jedoch nicht kleiner als 0,2. Thermisch ungünstig heißt, wie bereits an anderer Stelle erläutert: dieser Heizkörper benötigt die höchste Übertemperatur zur Deckung der Raumheizlast, weil er am wenigsten überdimensioniert ist. An diesem Heizkörper ergibt sich eine ausreichend hohe Übertemperatur bei einer vorgegebenen Vorlauftemperatur nur zusammen mit einer ebenfalls recht hohen Rücklauftemperatur. Die Spreizung zwischen beiden Werten ist gering und führt damit zu einem kleinen Wärmeübertragerkennwert.

Alle anderen, thermisch günstigeren Heizkörper weisen eine größere Überdimensionierung auf. Hier werden geringere Übertemperaturen benötigt, es stellen sich mit der gleichen gegebenen Vorlauftemperatur niedrigere Rücklauftemperaturen ein. Die Wärme- übertragerkennwerte sind größer und damit besser als am thermisch ungünstigsten Heizkörper.

11 Regelung der Raumtemperatur

Abbildung 19 zeigt den Zusammenhang zwischen Wärmeübertragerkennwert, Ventilautorität und der Regelgüte.

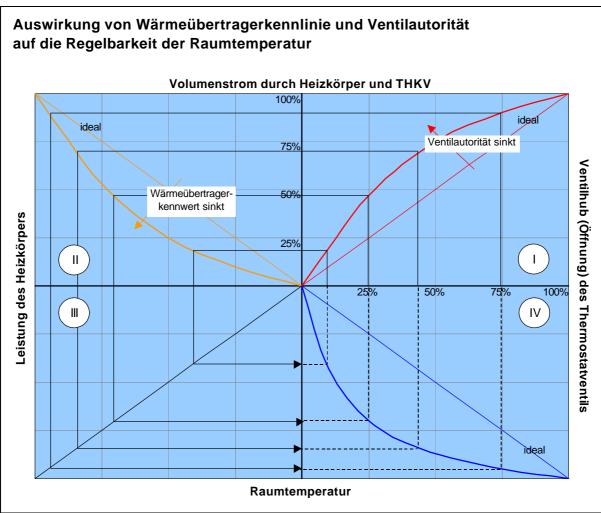


Abbildung 19 Auswirkungen unterschiedlicher Ventilautoritäten und unterschiedlicher Wärmeübertragerkennwerte auf die Regelbarkeit (B08)

Das Bild zeigt in seinem IV. Quadranten (rechts unten) den Gesamtzusammenhang zwischen dem Ventilhub und der sich einstellenden Raumtemperatur. Man sieht deutlich: weil im realen Betrieb weder für die Ventilautorität noch für den Wärmeübertragerkennwert die ideal linearen Kennlinien erreicht werden können, ergibt sich eine sehr stark durchgebogene (entartete) Kurve.

Ein Schließen des Thermostatventils bewirkt zunächst fast keine Minderung der abgegebenen Heizleistung. Die Raumtemperatur ändert sich nicht wesentlich. Erst im unteren Viertel des Hubbereiches beginnt die eigentliche Regelung.

Das bedeutet für die Praxis: je geringer die Ventilautorität und der Wärmeübertragerkennwert sind, desto schwieriger wird eine genaue Regelung der Raumtemperatur. Besonders im unteren Lastbereich, wenn Fremdwärme (solare Einstrahlung, Personenabwärme, ...) ausgeregelt werden muss, kann die Raumtemperatur nur schwerlich konstant gehalten werden. Die Effekte der geringen Ventilautoritäten und geringen Wärmeübertragerkennwerte können sich gegenseitig derart verstärken, dass praktisch nur noch eine Zweipunktregelung möglich ist. Fazit aus Sicht der Güte der Raumtemperaturregelung ist: die Vorlauftemperaturen sollten eher hoch gewählt werden, damit sich große Ventilautoritäten und Wärmeübertragerkennwerte ergeben und eine stetige Regelung möglich ist.

12 Kennwerte von Thermostatventilen

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 in etwa konstant.

Neben den Einflüssen des Temperaturniveaus auf die Regelgüte der Raumtemperaturregelung (mit Ventilautorität und Wärmeübertragerkennwert) sollte auch die Verfügbarkeit von Thermostatventilen beachtet werden. Dazu vorab eine Erläuterung weiterer Kennwerte von Ventilen.

Der hydraulische Abgleich, der zur Optimierung des Heizsystems unbedingt durchgeführt werden muss, bedingt den Einbau von zusätzlichen Festwiderständen im Netz. Dazu werden an den Heizkörpern meist Thermostatventile mit Voreinstellung (= zusätzlicher fester Widerstand) eingesetzt. Darüber hinaus können alternativ zu den Voreinstellungen auch einstellbare Rücklaufverschraubungen vorgesehen werden. Hier soll nur auf die heute gebräuchlichste Lösung in Form von voreinstellbaren Thermostatventile (THKV) eingegangen werden und deren heutige Verfügbarkeit und Einsatzgrenzen näher erläutert werden.

Thermostatventile mit Voreinstellung sind in bestimmten Größen (DN) und Durchlasswerten, den k_v -Werten, verfügbar. Der k_v -Wert ist nach untenstehender Gleichung definiert und eine Ventileigenschaft.

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

Der k_v -Wert wird mit dem Volumenstrom durch das Ventil und dem Druckabfall über dem Ventil berechnet. Beide Werte hängen von der Dimensionierung des Netzes ab. Im Auslegungsfall sind jeweils alle Auslegungswerte einzusetzen.

Andersherum: ein Ventil mit einem bestimmten k_{v} -Wert aufgrund seiner Bauform, welches vom einem definierten Volumenstrom (z.B. dem Auslegungsvolumenstrom) durchflossen wird, hat genau einen bestimmten Druckverlust (hier: den Auslegungsdruckverlust).

$$\Delta p_{THKV} = 1bar \cdot \left(\frac{\dot{V}_{THKV}}{k_{V}}\right)^{2}$$

Der Volumenstrom durch das Ventil im Auslegungsfall wird durch die Leistungsabgabe des Heizkörpers $\dot{Q}_{HK,A}$ (entspricht der vorhandenen Raumheizlast) festgelegt. Je nach Wahl der Vorlauftemperatur $\vartheta_{V,A}$ ergibt sich eine bestimmte Rücklauftemperatur $\vartheta_{R,A}$ und damit nach untenstehender Gleichung der Volumenstrom \dot{V}_{THKV} durch das Thermostatventil.

$$\dot{V}_{THKV} = \frac{\dot{Q}_{HK,A}}{1,17kWh/(m^3K) \cdot (9_{V,A} - 9_{R,A})}$$

Der Druckabfall über dem Thermostatventil Δp_{THKV} wird durch das vorgeschaltete Netz und die Druckerhöhung der Pumpe bestimmt. Der Druck, den die Pumpe aufbaut, wird teilweise in den Vor- und Rücklaufleitungen (und allen vorhandenen Einbauten) bis zum Ventil aufgebraucht. Der verbleibende Rest muss durch das Ventil abgebaut werden. Wie hoch dieser Druckverlust ist, wird in einer Rohrnetzberechnung ermittelt.

Ziel der Wahl eines Thermostatventils ist es, den k_v -Wert genau so zu wählen, dass bei dem notwendigen Auslegungsvolumenstrom genau der Druckverlust im Ventil auftritt, der auch in der Rohrnetzberechnung ermittelt wurde. Zur Auswahl werden Herstellerunterlagen - in Form von Tabellen oder Diagrammen - herangezogen. Siehe nachfolgende Abbildungen.

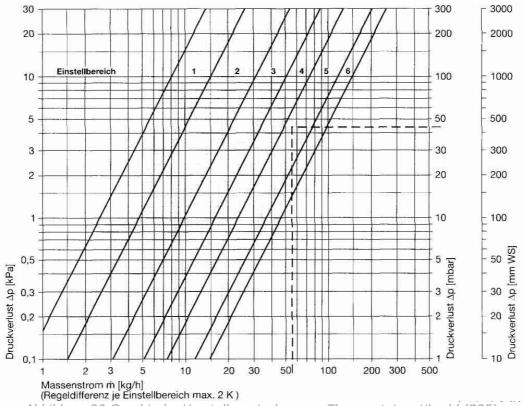


Abbildung 20 Graphische Herstellerunterlage zur Thermostatventilwahl (B35)

Thermostat-Kopf mit Ventilunterteil		Voreinstellung						Zulässige Betriebs- temperatur TB ²⁾ [°C]	Zulässiger Betriebs- überdruck PB [bar]	bei der	siger Different das Venti schlossen v \(\Delta p \) [bai \(\text{EMO T/NC} \) EMO 1/3	il noch ge wird r]
		1			-		"	1.91	19-9-1	0.2281	EMO EIB	
DN 10/15 (3/8"/1/2") ET, DT, AT, WET	min. k _v -Wert max 1)	0,025	>0,047 0,098	>0,098 0,161	>0,161 0,234	>0,234 0,364	>0,364 0,468					
DN 20 (¾4") ET, DT	k _{vs} -Wert [m/h]	0,054	0,104	0,174	0,247	0,459	0,730	120	10	4,0	3,5	3,5
	Durchfluß- toleranz 1) ± [%]	20	15	10	8	7	6					

1) nach DIN EN 215 bei 2 K Regeldifferenz 2) mit Stellantrieb 100°C

Abbildung 21 Tabellarische Herstellerunterlage zur Thermostatventilwahl (B36)

Wie aus den Herstellerunterlagen zu erkennen ist, ist jeder Voreinstellung (hier 1 bis 6) ein anderer k_v -Wert, das heißt ein anderer Durchfluss zugeordnet. Die Auswahl wird an anderer Stelle noch genauer besprochen.

Zur Auswahl eines Ventils wird noch eine andere Kenngröße benötigt: der P-Bereich bzw. Proportionalbereich. Dieser gibt an, wieviel Grad Celsius (oder Kelvin) Raumtemperaturerhöhung dazu führen, dass das Ventil vom Auslegungszustand (z.B. 20 °C Raumtemperatur) ausgehend vollständig schließt. Ein P-Bereich von 2 K bedeutet, dass das Ventil bei 22 °C Raumtemperatur voll geschlossen ist.

Ein großer P-Bereich bedeutet für ein Ventil, dass es nicht so empfindlich auf Raumtemperaturerhöhungen reagiert und daher einer geringeren Neigung zum Schwingen und zum Zweipunktverhalten regelbar ist. Andererseits bedeutet ein hoher P-Bereich auch, dass im Raum bei Fremdwärmeanfall (Sonneneinstrahlung usw.) eine größere Abweichung vom Sollwert (20 °C) vorhanden ist. Wie oben beschriebt: das Ventil mit einem P-Bereich von 2 K würde erst bei 22 °C im Raum voll geschlossen sein. Diese erhöhte Raumtemperatur ist aus energetischer Sicht ungünstig. Das Gebäue weist höhere Wärmeverluste durch Lüftung und Transmission auf, die nicht nötig wären.

Für die Auslegung von Thermostatventilen werden - je nach Quelle - daher verschiedene Empfehlungen für die Wahl eines P-Bereiches gegeben: es hat sich als Kompromiss zwischen Energieeinsparung auf der einen und aus Gründen der Regelbarkeit auf der anderen Seite als praktikabel erwiesen, den P-Bereich im Bereich von 0,7 bis 2,0 K zu wählen.

In den Herstellerdiagrammen wird diese Empfehlung aufgegriffen. In Abbildung 20 steht beispielsweise die Voreinstellung "5" nicht direkt an einer Linie, sondern zwischen zwei Linien. Wird das Ventil auf der rechten Begrenzungslinie ausgewählt, ergeben sich gerade 2 K. Die linke Begrenzungslinie ist nicht explizit angegeben. Man kann nur vermuten, dass der P-Bereich hier bei etwa 0,7 ... 1,0 K liegen wird. Die Werte finden sich auch in der Tabelle nach Abbildung 21 wieder. Hier heißen sie "min" und "max" k_V-Wert.

Eine andere Art der Darstellung eines Thermostatventildiagramms zeigt Abbildung 22. Hier ist gut zu erkennen, dass P-Bereich, Voreinstellung und k_V -Wert eines Ventils zusammenhängen.

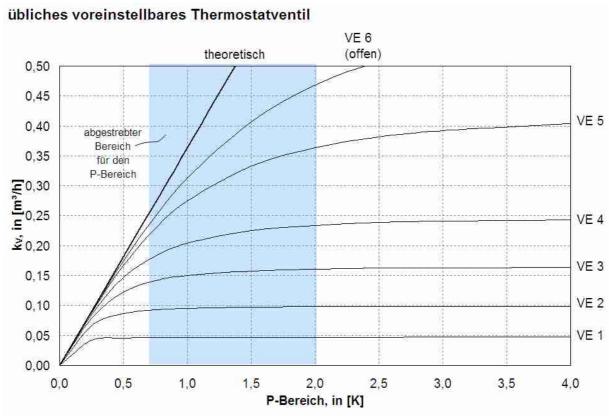


Abbildung 22 Zusammenhang zwischen k_V -Wert und P-Bereich (B37)

13 Verfügbarkeit von Thermostatventilen

Vor der Erläuterung, welche Möglichkeiten die am Markt angebotenen Thermostatventile überhaupt bieten, die gewünschten Durchlasswerte zu wählen und die Regelgüte im Raum zu erreichen, werden hier kurz die verfügbaren Bauarten vorgestellt:

- nicht voreinstellbare THKV,
- voreinstellbare THKV,
- THKV mit angepassten Kegeleinsätzen und
- THKV mit eingebautem Differenzdruckregler.

Nicht voreinstellbare Thermostatventile finden sich in vielen Bestandsanlagen. Sie müssen im Rahmen der Optimierung gegen eine der anderen drei Arten ersetzt werden. Im einfachsten Fall erfordert dies nur einen Austausch den Ventileinsatzes, während das Ventilunterteil in der Anlage verbleibt.

Voreinstellbare Ventile sind zum Einregulieren des Netzes geeignet. Sie besitzen eine Voreinstelldrossel, mit deren Hilfe der gewünschte Durchlasswert eingestellt wird. Thermostatventile mit angepassten Kegeleinsätzen sind heute kaum noch zu finden. Hier wird ein bestimmter Durchlasswert erreicht, indem unterschiedliche Kegel in das Ventil eingesetzt werden.

Thermostatventile mit eingebautem Differenzdruckregler sind sehr gut regelbar. Der gewünschte Volumenstrom wird bei geöffnetem Ventil unter allen Betriebsbedingungen konstant gehalten, Druckschwankungen im restlichen Netz, die durch andere THKV hervorgerufen werden, haben keinen Einfluss auf das Regelverhalten des Ventils, es gibt keine Geräuschprobleme, selbst bei sehr hohen Differenzdrücken über dem Ventil. Nachteilig ist, dass es bisher nur Ventilgrößen gibt, die auf relativ hohe Volumenströme ausgelegt sind (> 35 l/h). Außerdem ist mit einem etwa doppelt so hohen Preis wie für normale Ventile zu rechnen.

Die Verfügbarkeit von Ventilen soll anhand von Beispielräumen gezeigt werden. Drei Räume sollen gegenübergestellt und jeweils ein Thermostatventil bzw. eine Voreinstellung gewählt werden.

Die Randdaten der drei Räume sind so gewählt, dass sich für den notwendigen k_v -Wert der Thermostatventile zwei Extrema und ein mittlerer Wert ergeben. Raum 1 könnte ein kleineres Kinderzimmer in einem Niedrigenergiegebäude (30 W/m²) mit nicht einstellbarer Pumpe (hoher Druckabfall über dem Ventil) sein. Bei Raum 3 kann es sich um ein kleineres Wohnzimmer in einem älteren Mehrfamilienhaus (100 W/m²) handeln.

Raum	1	2	3
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 [m ² /h]	0.02	0,11	0.41

Abbildung 23 Beispielräume (T01)

Die drei Ventile (bzw. deren Voreinstellung), die gewählt werden, sollen jeweils P-Bereiche von 0,7...2,0 K aufweisen. Abbildung 24 zeigt ein Auslegungsdiagramm für ein herkömmliches voreinstellbares Thermostatventil.

übliches voreinstellbares Thermostatventil

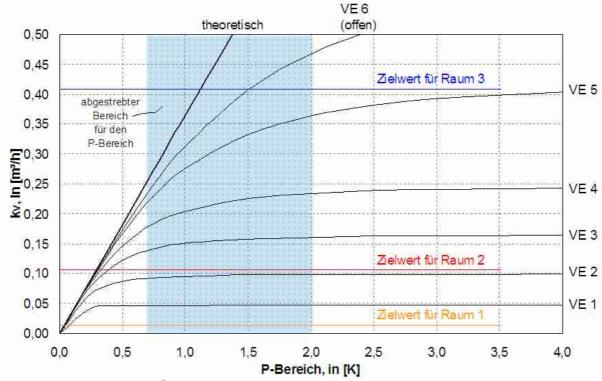


Abbildung 24 Übliches Ventil mit verschiedenen Voreinstellungen VE (B09)

Im Bild sind die "Zielwerte" für den k_v -Wert der einzelnen Räume als farbige waagerechte Linien eingetragen. Weiterhin ist der anzustrebende Bereich für den P-Bereich gekennzeichnet. Die gewählte Voreinstellung für das Ventil sollte sich sowohl auf der Zielwertlinie für k_v , als auch im anzustrebenden P-Bereich befinden. Für Raum 3 mit einem berechneten k_v -Wert von 0,41 m³/h kann das THKV ohne Voreinstellung (VE 6) eingebaut werden. Es hat dann einen P-Bereich von 1,5 K.

Für Raum 2 müsste eine sehr hohe Voreinstellung (etwa VE 2,2) des THKV vorgenommen werden. Die Regelbarkeit ist in diesem Fall bereits sehr schlecht, weil der stetige Regelbereich nur sehr klein ist. Verfolgt man die Kurve VE 2 beginnend vom Nullpunkt, dann steigt die Kurve bis etwa zum P-Bereich von 0,2 K fast proportional (linear) an. Bis etwa 0,5 K flacht sie im weiteren Verlauf stark ab, danach ist sie im Prinzip eine Waagerechte. Das bedeutet aber, dass das Ventil bereits bei einer Raumtemperaturerhöhung von 0,5 K im Raum voll geschlossen ist. Es gibt praktisch nur ein Zweipunktverhalten.

Für Raum 1 kann praktisch kein Ventil gewählt werden, weil die kleinste Voreinstellung des Ventils (VE 1) noch unterschritten werden müsste. Für die Anwendungsfälle 1 und 2, also Thermostatventile mit kleinen benötigten k_v -Werten sollten besser voreinstellbare Feinstregulierventile verwendet werden. Ein typisches aus Herstellerangaben abgeleitetes Diagramm zeigt Abbildung 25.

feinsteinstellbares Thermostatventil

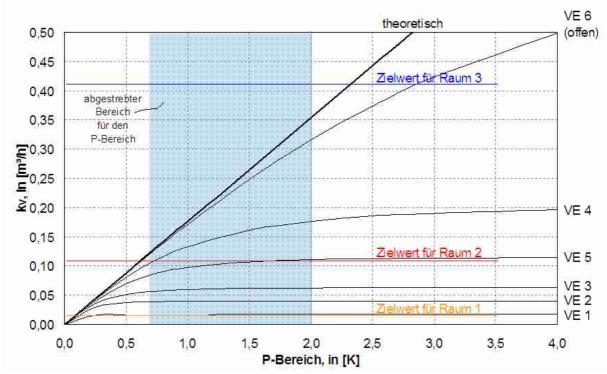


Abbildung 25 Feinsteinstellbares Thermostatventil mit verschiedenen Voreinstellungen VE (B10)

Für den Raum 3 mit der großen Heizlast und dem nötigen hohen k_v -Wert von 0,41 m³/h kann das feinsteinstellbare Ventil nicht eingesetzt werden, es ist zu klein für diesen Anwendungsfall. Der "Zielwert" von k_v wird erst bei voll offenem Ventil erst bei einem P-Bereich von 2,7 K erreicht. Dieser Wert liegt außerhalb des anzustrebenden P-Bereichs. Für Raum 2 mit mittleren Auslegungsdaten wäre das feinsteinstellbare Ventil einsetzbar. Die Voreinstellungen 4 oder 5 könnten gewählt werden. Es würden sich zugehörige P-Bereiche von etwa 0,75 K bzw. 1,7 K ergeben.

Für Raum 1 müsste die größte Voreinstellung (VE 1) gewählt werden, um den sehr kleinen nötigen k_V -Wert zu erreichen. Der zugehörige P-Bereich kann nicht angegeben werden. Das Ventil ist praktisch entweder voll auf (unterhalb ca. 20°C) oder ganz geschlossen (oberhalb ca. 20,3°C). Eine stetige (proportionale) Regelung erfolgt also nur im P-Bereich von 0 bis 0,3 K. Das Regelverhalten ähnelt auch hier dem einer Zweipunktregelung.

Die Einsatzgrenze der heute verfügbaren voreinstellbaren Ventile liegt also bei einem minimalen k_V -Wert von 0,02 m^3/h . Noch kleinere Ventile sind nicht verfügbar bzw. noch kleinere k_V -Werte sind nicht einstellbar. Das Regelverhalten ist aber nur bei k_V -Werten oberhalb von 0,15 m^3/h und bei Einsatz von feinsteinstellbaren Ventilen einigermaßen proportional.

Fazit für die Wahl des Temperaturniveaus: Die begrenzte Verfügbarkeit von voreinstellbaren THKV mit ausreichend kleinen k_V -Werten limitiert die Auswahl beliebig großer Spreizungen. Die Wahl der Vorlauftemperatur richtet sich also auch nach dem k_V -Wert. Im Netz sollten aus Sicht heute verfügbarer Thermostatventile möglichst nicht zu kleine Volumenströme fließen, und der Druckabfall über dem Ventil sollte nicht zu hoch sein

Schaut man sich die Randbedingungen für Raum 1 und 2 an, ist klar: hier handelt es sich um typische Räume im Niedrigenergiegebäude oder gut sanierten Bestand. Die Probleme der hohen Voreinstellungen und der dadurch bedingten recht schlechten Regelbarkeit sind also kein Einzelfall. Thermostatventile mit niedrigeren Einsatzgrenzen sind gefragt!

An dieser Stelle sei daraufhingewiesen, dass es solche Thermostatventile schon am Markt gibt. Es handelt sich hierbei nicht um voreinstellbare Thermostatventile, sondern um die bereits oben angesprochenen Thermostatventile mit austauschbaren Ventilkegeln (k_v -Kegeln). Jeder Kegel hat einen anderen Durchflusswert; der passende Kegel kann je nach Bedarf in das Ventil eingesetzt werden. Ein nach Herstellerangaben erstelltes Diagramm zeigt Abbildung 26.

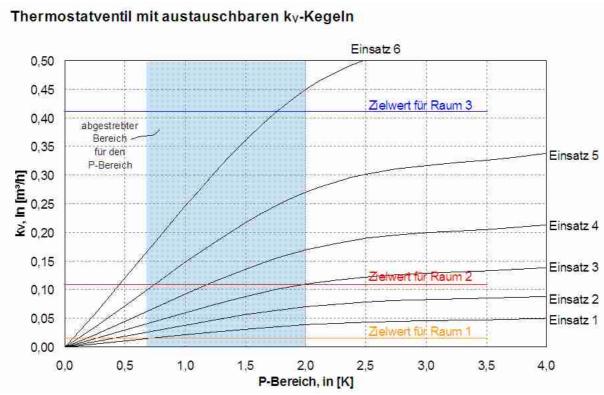


Abbildung 26 Thermostatventil mit austauschbaren k_V -Kegeln (B11)

Ein deutlich erkennbarer Unterschied zu den voreinstellbaren Ventilen ist der sehr proportionale Verlauf aller sechs Kennlinien (jede für einen der 6 verschiedenen Einsätze) im kompletten Bereich bis zur üblichen Einsatzgrenze eines P-Bereiches von 2 K.

Im Beispiel könnte dieses (kleinste verfügbare) Thermostatventil für den Raum 3 mit dem Ventilkegel 6 eingesetzt werden. Ein P-Bereich von etwa 1,8 K ergäbe sich. Für Raum 2 könnten die Einsätze 3, 4 oder 5 gewählt werden. Jeder würde zu einem anderen P-Bereich führen. Sinnvoll wäre sicher der mittlere Einsatz Nr. 4 mit einem P-Bereich von etwa 1,2 K. Auch für Raum 1 mit der geringen Heizlast ließe sich ein Kegel finden: Einsatz Nr. 1 führt immerhin noch zu einem P-Bereich von 0,7 K.

Die gute Regelbarkeit sei hier am Beispiel des Raumes 2 noch erläutert. Der P-Bereich beträgt bei Auslegung (Einsatz 4) 1,2 K. Das bedeutet: wenn die Temperatur im Raum 20°C beträgt, ist das Ventil ganz geschlossen. Steigt sie auf 20,6 °C ist es halb und bei 21,2 °C voll geschlossen. Der Schließverlauf hängt also recht linear von der Raumtemperatur ab.

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.

Fazit: Die heute in bestehenden Heizungsanlagen eingebauten Thermostatventile, aber auch die am Markt verfügbaren THKV sind für den üblichen Anwendungsfall zu groß dimensioniert. Die vom Produkt her vorhandenen großen Durchlasswerte (k_V) weisen selbst nur wenig Widerstand auf. Erst mit Hilfe der sehr hohen Voreinstellung kann bei einem nachträglichen hydraulischen Abgleich der Druckverlust erhöht werden. Aber dies ist – ehrlich betrachtet – eigentlich kein echter Druckverlust über dem Ventil, der die Ventilautorität erhöhen würde. Letztlich ist die voreinstellbare Drossel auch nur ein fester Wiederstand.

Damit die Ventile nicht nur im untersten Hubbereich zwischen 10 % offen und voll geschlossen arbeiten, sollte darauf geachtet werden, dass der Druckverlust über dem Ventil nicht zu hoch und der Volumenstrom nicht zu klein werden. Dann ist ein Zweipunktverhalten unwahrscheinlicher. Das spricht – aus der Sicht der Wahl einer Vorlauftemperatur dafür, eher geringe Vorlauftemperaturen zu wählen. Zumindest sollten die Vorlauftemperaturen so gewählt werden, dass an jedem Heizkörper ein k_V -Wert von 0,02 m^3/h oder mehr erreicht wird.

14 Maximale Spreizung

Bei der Wahl des Auslegungstemperaturniveaus sollte darauf geachtet werden, dass die Auslegungsspreizung zwischen Vorlauflauftemperatur und Gesamtrücklauftemperatur im Netz (an der Pumpe bzw. am Kessel) nicht mehr als 25 Kelvin beträgt.

Da die Rücklauftemperatur an jedem Heizkörper unterschiedlich ist, stellt sich an den thermisch ungünstigen Heizkörpern im Netz (knapper dimensioniert) eine kleinere Spreizung als 25 Kelvin, an thermisch günstigen Heizkörpern eine höhere Spreizung als 25 Kelvin ein. Im Mittel der Rücklaufvolumenströme ergeben sich gerade 25 Kelvin.

Diese Werte gelten für den Auslegungsfall bei den kältesten Auslegungstemperaturen. Eine funktionierende witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung führt dazu, dass die Spreizung bei höheren Außentemperaturen abnimmt.

Wird dies beachtet, ergeben sich keine allzu "exotischen" Temperaturniveaus nach der Optimierung. Die Begrenzung stellt sicher, dass die Totzeiten im Netz nicht zu hoch werden. Wegen der sehr geringen Fließgeschwindigkeiten bei großen Spreizungen und kleinen Volumenströmen besteht sonst die Gefahr der Nutzerbeschwerden, dass die Heizung nicht ausreichend schnell warm wird. Auch eine starke Temperaturschichtung in den Heizkörpern, die ebenfalls Anlass zu Beschwerden geben kann, wird so vermindert.

Nicht zuletzt lassen einzelne Kesselregelungen zu große Spreizungen gar nicht zu. Die Regelung ist so konzipiert, dass die Brennerleistung reduziert wird, wenn die Spreizung über beispielsweise 25 Kelvin (herstellerspezifisch) liegt. Zusammen mit diesen Geräten führt eine Netzauslegung auf größere Spreizungen dazu, dass die benötigte Leistung nicht erreicht werden kann.

Fazit: die Vorlauftemperatur sollte nicht so hoch gewählt werden, dass sich im Netz eine Gesamtspreizung über 25 K einstellt. Oft kann die Vorlauftemperatur sowieso nicht so hoch gewählt werden, weil für die sich ergebenden kleinen Volumenströme

Der Extremfall, dass eine Spreizung von 25 Kelvin und mehr in einem Netz überhaupt gewählt werden kann, tritt nur sehr selten ein. Oft müssen hohe Spreizungen ausgeschlossen werden, weil für die resultierenden sehr kleinen Volumenströme (und der daraus resultierenden kleinen k_V -Werte) keine Thermostatventile mehr gefunden werden können.

15 Minimierung der Verteilverluste

Eine Forderung bei der Wahl des Temperaturniveaus (Übertemperatur) könnte zusätzlich sein, die Verteilverluste (Wärmeabgabe der Rohrleitungen) des Heizungsnetzes gering zu halten. Hierzu müsste neben einer Dämmung der Leitungen das Temperaturniveau insgesamt herabgesenkt werden.

Dieser Ansatz stimmt im Neubau, ist bei der nachträglichen Optimierung einer bestehenden Anlage aber nicht zielführend.

Weil die Heizkörpergrößen festliegen, ist auch die notwendige Übertemperatur für jeden Heizkörper bestimmt. Zu jeder Übertemperatur gehören Paare von Vor- und Rücklauftemperatur, deren Mittelwert etwa immer gleich ist. Diese Tatsachen wurde bereits erläutert. Wählt man also geringere Vorlauftemperaturen, um die Wärmeverluste der Vorlaufleitungen zu vermindern, dann stellen sich wärmere Rücklauftemperaturen ein und die Wärmeverluste der Rücklaufleitungen steigen. Niedrigere Übertemperaturen und damit niedrigere Rohrleitungswärmeverluste lassen sich in ein und demselben Gebäude nur mit größeren Heizflächen erreichen.

Hier kann nicht - jedenfalls nicht durch geschickte Wahl eines Temperaturniveaus - optimiert werden.

16 Minimierung der Hilfsenergien

Auch die Aufwendungen für Hilfsenergien sollten bei der Wahl der Vorlauftemperatur beachtet werden. Zur Verminderung der Antriebsenergie der Umwälzpumpe sollten möglichst kleine Volumenströme im Netz umgewälzt werden. Diese sind an hohe Temperaturspreizungen geknüpft.

Fazit: Aus Sicht der Minimierung des Stromverbrauchs für die Umwälzpumpe sollte die Vorlauftemperatur hoch gewählt werden.

17 Temperaturbegrenzungen bei Kesseln

Kessel stellen je nach Typ und Bauart verschiedene Anforderungen an die Vor- und Rücklauftemperaturen des Netzes, die bei der Optimierung beachtet werden müssen.

- Eine minimale, nicht zu unterschreitende Rücklauftemperatur muss z. B. bei Standardkesseln eingehalten werden, damit es nicht zur Kondensation im Kessel kommt.
- Eine niedrige mittlere Heizwassertemperatur vermindert die Kesselverluste (erhöht den Nutzungsgrad) bei Niedertemperaturkessel und steigert den Brennwerteffekt für zwangsdurchströmte Brennwertthermen.
- Für (bodenstehende) Brennwertkessel sollten geringe Rücklauftemperaturen zur Erhöhung der Brennwertnutzung erreicht werden.

Mindestvolumenstrom bei Kesseln

Für zwangsdurchströmte Brennwertthermen mit kleinen Wasserinhalten muss in der Regel ein Kesselmindestvolumenstrom während der Brennerlaufzeiten eingehalten werden, damit es nicht zur Überhitzung der Geräte kommt.

Die Kesselhersteller lösen dieses Problem, indem sie eine Einrichtung zur Sicherstellung des Volumenstroms werksseitig vorsehen. Dies kann ein bereits eingebautes internes Überströmventil sein, oder die dringende Empfehlung, ein externes Überströmventil, eine hydraulische Weiche oder ein Dreiwege-Thermostatventil vorzusehen. Einige Hersteller umgehen das Überströmen, indem sie regelungstechnische Maßnahmen ergreifen und den Kessel entsprechend oft und lange abschalten.

In der Regel geben die Hersteller diesen Mindestvolumenstrom nicht explizit in den Produktunterlagen an. Er hängt von der Wassereintrittstemperatur in den Kessel, der maximal erlaubten Temperatur im Kessel, der eingestellten Kesselleistung und dem im Kessel gespeicherten Wasservolumen ab. Der Wert ist i. d. R. unbekannt. Sofern er doch bekannt ist, ist er für einen bestimmten Betriebsfall angegeben und kann nicht problemlos auf jede andere Betriebsbedingung umgerechnet werden.

Die sich ergebenden negativen Konsequenzen, z. B. verminderter Brennwertnutzen durch zu hohe Rücklauftemperaturen (hier sind nicht die Rücklauftemperaturen der Heizkörper gemeint, sondern die erhöhten Rücklauftemperaturen durch ein Überströmen von Vorlaufwasser in den Rücklauf), lassen sich nur schwerlich durch die korrekte Wahl eines Temperaturniveaus beseitigen.

Das Überströmen im Kessel kann und sollte im Rahmen der Anlagenoptimierung auch nicht nachträglich z.B. durch einfachen Ausbau von Überströmeinrichtungen abgestellt werden, denn es stellt den Anlagenbetrieb sicher!

Wandgeräte weisen bauartbedingt (kompakte Bauform auf kleinstem Raum) meist hohe interne Druckverluste auf und benötigen deshalb höhere Pumpenleistungen. Sie werden in der Regel standardmäßig mit einer integrierten Pumpe ausgestattet, die einen sehr großen Leistungsbereich abdecken muss und daher fast immer überdimensioniert ist. Die Restförderhöhe kann nur bei sehr wenigen Geräten vorgegeben werden, häufig wird die Pumpendrehzahl einfach parallel zur Brennerleistung gesteuert.

Im Fall der zwangsdurchströmten Kessel mit integrierter Pumpe kann deshalb ggf. das nachgeschaltete Netz hydraulisch durch einen Differenzdruckregler vom Kessel und der integrierten Pumpe getrennt werden. Dies bietet den Vorteil, dass die vorhandenen hohen Förderhöhen der integrierten Pumpen nicht erst in den Thermostatventilen abgebaut werden müssen. Die Gefahr der Geräuschentwicklung sinkt und die Regelbarkeit der Thermostatventile steigt, weil sie nicht so stark voreingestellt werden müssen..

Fazit: Bei der Wahl der Vorlauftemperatur wird keine besondere Rücksicht auf das Einhalten eines Mindestvolumenstroms genommen, weil dies bereits herstellerseitig erfolgt ist.

Bei einem Kesselaustausch, z.B. im Rahmen der Anlagenoptimierung, sollte aber darauf geachtet werden, dass möglichst Geräte ohne Anforderungen an einen Kesselmindestvolumenstrom gewählt werden. Dies sind (meist bodenstehende) Kessel mit ausreichend viel Wasserinhalt, d.h. mit Kesselwasserinhalten bezogen auf die Kesselleistung von 1 ... 1,5 Liter/kW.

18 Temperaturbegrenzungen bei Fernwärme und Wärmepumpen

Bei Gebäuden, die an Fernwärmenetze angeschlossen sind, stellen die primärseitig im Versorgungsgebiet vorhandenen Temperaturen Anforderungen an die Wahl der sekundärseitigen Vorlauftemperatur bzw. die sich ergebende Rücklauftemperatur.

Die Auslegungsvorlauftemperatur für das sekundäre, zu optimierende Heiznetz muss unterhalb der primär vorhandenen Temperatur liegen - incl. eines Abschlages für den ggf. zwischengeschalteten Wärmeübertrager. Für direkt fernwärmeversorgte Netze ohne Möglichkeit der Vorlauftemperaturregelung im Gebäude ist die vorhandene Vorlauftemperatur als gegeben hinzunehmen. Die Empfehlung lautet hier aber unbedingt: es sollte eine Möglichkeit der Regelung vorgesehen werden.

Anforderungen an das neue Temperaturniveau der Heizungsanlage im Gebäude sind auch durch maximale Rücklauftemperatur vorhanden. Diese ist vom Fernwärmeversorger in der Regel vorgeschrieben und soll nicht überschritten werden. Für das sekundäre Netz bedeutet dies: die Rücklauftemperatur muss unterhalb des vom Versorger vorgeschriebenen Wertes liegen.

In Systemen mit Wärmepumpen sollten die Vorlauftemperaturen bzw. auch die mittleren Heizwassertemperaturen niedrig sein, um gute Arbeitszahlen zu gewährleisten.

19 Wahl eines Temperaturniveaus

Unter Berücksichtigung aller Randbedingungen:

- Nutzer
- Heizkostenerfassung
- Ventilautorität und Wärmeübertragerkennwert (Regelung im Raum)
- Verfügbarkeit von Thermostatventilen (Durchlasswert und Voreinstellung)
- Maximale Spreizung an den Heizkörpern und im Netz
- Verteilverluste
- Hilfsenergien
- Anforderungen von Erzeugern (Kessel, Fern- und Nahwärme, Wärmepumpen)

kann für ein gegebenes Gebäude der Bereich eingegrenzt werden, in dem das optimale Temperaturniveau liegt. Verdeutlicht werden soll dies an zwei Beispielen.

Beispiel 1

Das erste Beispiel sei ein Mehrfamilienhaus mit Kessel (maximale Vorlauftemperatur vorgegeben) und Heizkostenverteilern (Verdunster vorhanden).

Die Raumheizlasten werden vereinfacht berechnet und die installierten Heizkörperleistungen aufgenommen. Auf Basis der vorhandenen Raumheizlasten und Heizkörperleistungen werden die Heizkörperübertemperaturen jedes Heizkörpers bestimmt. Nun können für jeden Heizkörper Paare von möglichen Vor- und Rücklauftemperaturen für den Auslegungsfall bestimmt werden, mit denen die Raumheizlast gedeckt wird.

Sämtliche vorher genannten Randbedingungen für das Temperaturniveau werden für alle Heizkörper im Netz nach einem einheitlichen Schema geprüft. Die optimale Temperaturpaarung ist schließlich die, bei der für alle Heizkörper die genannten Bedingungen erfüllt sind.

Der Übersicht halber ist die Vorgehensweise nur für einen konkreten Heizkörper des MFH - nicht das ganze Gebäude - in Abbildung 27 erläutert.

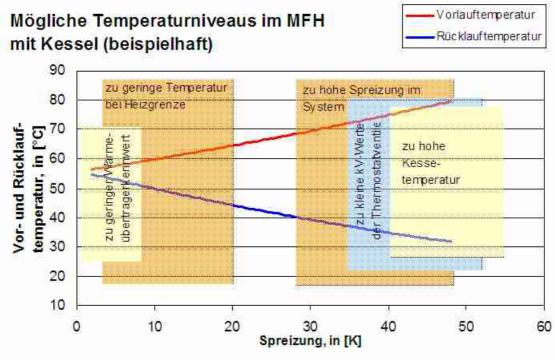


Abbildung 27 MFH mit Kessel (B12)

Der weiße Bereich in der Mitte zeigt die Temperaturpaare, auf die das Netz auslegt werden kann, so dass alle Randbedingungen erfüllt werden. Die farbig markierten Bereiche sollten möglichst vermieden werden, weil ein oder mehrere Kriterien nicht erfüllt werden können. Erläuterungen zu den Temperaturbereichen, die nicht in Frage kommen:

- Zu hohe Kesseltemperatur: aus den möglichen Paaren für Vor- und Rücklauftemperatur mit denen der untersuchte Heizkörper die Raumheizlast decken könnte, fallen all jene heraus, bei denen die Vorlauftemperatur über 75 °C liegt. Der Kessel kann so hohe Vorlauftemperatur nicht erreichen.
- Verfügbarkeit von Thermostatventilen: Es erweisen sich weiterhin alle Vorlauftemperaturen oberhalb von 72°C als ungünstig. Es ergeben sich hiermit sehr hohe Spreizungen an den einzelnen Heizkörpern und damit sehr geringe Volumenströme. Erst unterhalb von 72°C Vorlauftemperatur wird ein vernünftiger k_v -Wert für das Thermostatventil erreicht. Nur diese Vorlauftemperaturen kommen daher für das Netz in Betracht.
- Systemspreizung: Vorlauftemperaturen oberhalb 69 °C führen zu einer mittleren Systemspreizung im Netz die größer als 30 K ist (für den Heizkörper aus Abbildung 27 ergibt sich eine Spreizung von 28 K). Um die Totzeiten im Netz und die Temperaturschichtung in den Heizkörpern nicht zu hoch werden zu lassen, werden diese Vorlauftemperaturen möglichst nicht gewählt.
- Wärmeübertragerkennwerte: bei Auslegungen unterhalb einer Vorlauftemperatur von 58 °C ergeben sich zu kleine Wärmeübertragerkennwerte für die Heizfläche. Der Bereich von Vorlauftemperaturen sollte nicht gewählt werden.
- Nutzeranforderungen: Der Nutzer limitiert in diesem MFH die Wahl ebenfalls. Vorlauftemperaturen unter 65 °C werden hier nicht gewählt, damit sich in den Übergangsjahreszeiten noch fühlbar warme Heizkörper ergeben.
- Die Heizkostenverteiler können an allen Heizkörpern weiterverwendet werden, denn die mittlere Heizkörpertemperatur liegt für alle Heizkörper oberhalb von etwa bei 55
 °C – unabhängig von der gewählten Spreizung.

Damit ergibt sich für das Netz ein möglicher Auslegungsbereich der Temperaturen zwischen 65/45 °C und 69/40°C.

Beispiel 2

Für ein Einfamilienhaus mit Wärmepumpe sind die geschilderten Zusammenhänge in Abbildung 28 wiedergegeben.

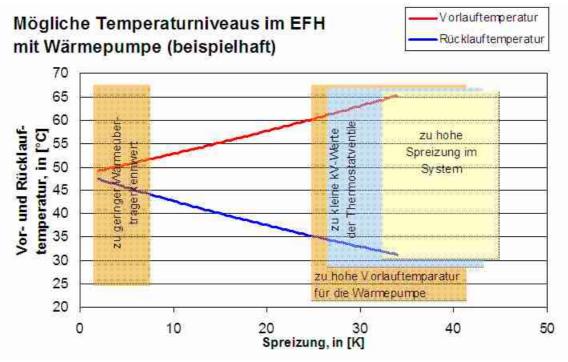


Abbildung 28 Beispiel EFH mit Wärmepumpe (B13)

Damit sich gut regelbare Thermostatventile und Heizflächen ergeben, die Leistungsziffer der Wärmepumpe nicht zu schlecht wird und auch keine zu hohen Spreizungen im Netz auftreten, wird der optimale Bereich in diesem Fall auf ca. 51...60 °C Auslegungsvorlauftemperatur bei ca. 45...35 °C korrespondierender Rücklauftemperatur eingeschränkt.

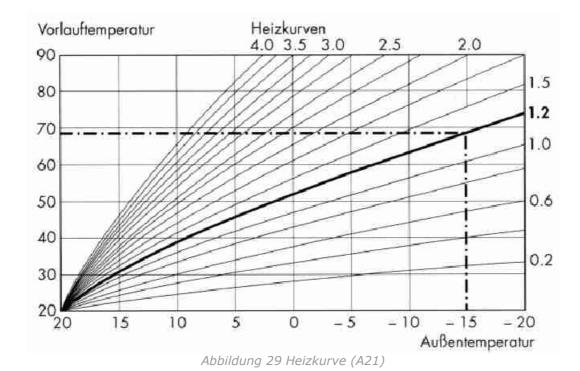
Fazit: Das Vorgehen ist also immer gleich: zunächst werden für alle Heizkörper die jeweils notwendigen Übertemperaturen ermittelt. Dann werden die Paare von Vor- und Rücklauftemperaturen an jedem Heizkörper berechnet, mit denen die notwendige Raumheizlast gedeckt wird.

Zum Schluss werden alle Paare von Vor- und Rücklauftemperatur aussortiert, die zu einem negativen Ergebnis hinsichtlich der Optimierung (Nutzeranforderung, Heizkostenerfassung, Regelgüte im Raum, Verfügbarkeit von Thermostatventilen, maximale Spreizung, Verteilverluste, Hilfsenergien, Anforderungen von Erzeugern) kommt. Aus den verbleibenden Vorlauftemperaturen wird eine als optimal gewählt.

Es wird schon ersichtlich, dass das Vorgehen nicht manuell zu bewältigen ist. Hier ist Hilfe eines Rechenprogramms erforderlich. Dies wird an späterer Stelle beschrieben.

20 Einstellen des Temperaturniveaus

Ist das Temperaturniveau einmal ausgewählt, muss es vor Ort an der Regelung einstellt werden. Die Einstellung der Regelung ist von Hersteller zu Hersteller unterschiedlich. Gemeinsam ist allen die Heizkurve nach Abbildung 29. Die Heizkurven sind mit einer Steilheit beschriftet, im Bild sind Heizkurven mit einer Steilheit von 0,2 (rechts unten) bis 4,0 (Mitte oben) eingetragen.



In der Regel müssen an der Regelung zwei Werte eingestellt werden: die Steilheit und die Parallelverschiebung. Manchmal sind es auch Minimal- und Maximalvorlauftemperatur o.ä.

Einstellung der Steilheit: Die mit der Optimierung ermittelte Vorlauftemperatur ϑ_v wird folgendermaßen in eine Steilheit umgerechnet:

Steilheit = $(9_V - 20^{\circ}C)/35K$.

Wurde beispielsweise eine Vorlauftemperatur von 75 °C ermittelt, dann ergibt sich eine Steilheit von $55/35 \approx 1.6$.

Einstellung der Parallelverschiebung: Die Parallelverschiebung entspricht der Anhebung der Raumtemperatur. Eine Parallelverschiebung von +1 K entspricht einer gewünschten Raumtemperatur von 21 °C anstelle des Standardwertes 20 °C. Nach der Optimierung sollte die am Regler eingestellte Parallelverschiebung möglichst nicht mehr als +2 K betragen.

Einstellung der minimalen und maximalen Vorlauftemperatur: Falls die Regelung diese beiden Werte abfragt, geben Sie folgendes ein. Die minimale Vorlauftemperatur ist die gewünschte Raumtemperatur, z.B. 22 °C. Die maximale Vorlauftemperatur ist der Wert, der aus der Optimierungsrechnung ermittelt wird. Im Beispiel oben 75°C. Hier kann ggf. noch ein Zuschlag von 1 oder 2 K gemacht werden (entspricht der Parallelverschiebung).

Wenn die Regelung es zulässt, dann sollte nach der Optimierung eine Heizgrenztemperatur eingestellt werden. Dies ist die Außentemperatur, bei der die Anlage selbsttätig vom Sommer- in den Winterbetrieb und umgekehrt umschaltet. Sinnvoll ist eine Heizgrenze von 15 °C. In alten baulich unsanierten Gebäuden auch 17 °C, bei sehr guten Gebäuden auch 12 °C.

21 Hydraulischer Abgleich: Definition und Nutzen

Nachdem für die zu optimierende Anlage ein optimales Temperaturniveau gefunden wurde, sind die folgenden Ausführungen dem hydraulischen Abgleich der Verbraucher untereinander gewidmet.

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 angeordnet werden. Ein Verbraucher ist beispielsweise eine Heizfläche mit eigener Einrichtung zur Einzelraumregelung (z. B. THKV).

Der zusätzliche Widerstand kann die Voreinstellung eines Thermostatventils, die einstellbare Rücklaufverschraubung oder eine sonstige Einstelldrossel sein. Zentrale Festwiderstände, die den Volumenstrom für mehrere angeschlossene Verbraucher begrenzen (z. B. Strangregulierventile), bewirken keinen Abgleich dieser Verbraucher untereinander.

Der Einstellwert oder besser der notwendige Druckverlust muss für jeden der Festwiderstände aus einer Rohrnetzberechnung ermittelt werden. Hier unterscheidet sich das Vorgehen im Neubau von dem im Bestand, bei dem oft kein Rohrnetz aufgenommen wird. Details werden weiter unten beschrieben.

Wird kein hydraulischer Abgleich vorgenommen, verschieben sich die hydraulischen - und damit auch die thermischen - Verhältnisse in der Anlage. Für das umgewälzte Heizungswasser wirken nahe der Pumpe gelegene Heizkörper ohne definierten Festwiderstand wie Kurzschlüsse. Die pumpennahen Heizkörper werden überversorgt, entfernt liegende unterversorgt oder gerade ausreichend versorgt (Abbildung 30).

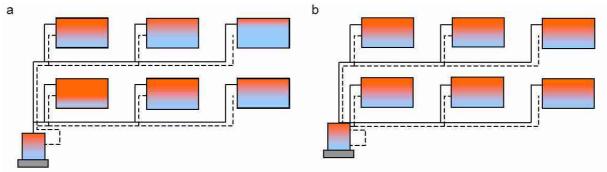


Abbildung 30 Heizungsanlage ohne (a) und mit (b) hydraulischem Abgleich (B14)

Folgen eines nicht durchgeführten hydraulischen Abgleichs sind unter anderem:

- Eine erhöhte elektrische Leistungsaufnahme der Pumpe.
- Geräuschprobleme, wenn die notwendige Pumpenförderhöhe sehr groß wird, um auch die entferntesten Verbraucher zu versorgen. Die Thermostatventile an den pumpennahen Heizkörper müssen dann sehr stark drosseln, um nur einen geringen Teil des angebotenen Volumenstroms durch den Heizkörper fließen zu lassen. Es kommt zu Geräuschen, die sich über das Wasser weitläufig im Netz verbreiten.
- Durch die starke Überversorgung einzelner Heizkörper ist deren Regelfähigkeit eingeschränkt. Da die Thermostatventile schon im Auslegungszustand fast geschlossen sind, können sie auf anfallende Fremdwärme (Sonneneinstrahlung usw.) kaum reagieren. Es kommt zu einem ständigen Öffnen und Schließen im unteren Hubbereich des Ventils, dem Zweipunktregelverhalten.

Öffnen die Thermostatventile z. B. nach einer Absenkphase, so ist der Durchfluss durch die pumpennahen Heizkörper praktisch kaum begrenzt. Sie bilden einen Kurzschluss bis die entsprechenden pumpennahen Räume aufgeheizt sind. An den pumpenfernen Heizkörpern wird gleichzeitig der Durchfluss gemindert. Erst wenn die pumpennahen Räume warm genug sind und die dort befindlichen Thermostatventile schließen, gelangt das Heizwasser auch in die pumpenfernen Räume. Die Wiederaufheizung erfolgt stark ungleichmäßig.

Häufig durchgeführte "Behelfslösungen" anstelle des hydraulischen Abgleichs sind die Erhöhung der Pumpenleistung (Pumpe wird auf die höchstmögliche Drehzahl eingestellt) oder 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.

Die Auswirkungen der Gegenmaßnahmen sind höhere Vorlauftemperaturen, die das Regelverhalten der Thermostatventile einschränken. Insbesondere in den Aufheizzeiten stellen sich an den nicht abgeglichenen Heizkörpern hohe Volumenströme ein. Die Folge sind hohe Rücklauftemperaturen. Das Heizungswasser strömt praktisch in großer Menge durch die betreffenden Heizkörper, verliert aber nur wenig Wärme. Dies führt direkt zu einer erhöhten Rücklauftemperatur und einem verminderten Brennwertnutzen bei Brennwertkesseln. Bei Nah- und Fernwärmenetzen wird die erlaubten Rücklauftemperatur über schritten.

Durch die hohe Pumpenleistung werden pumpennahe Heizkörper mit Wärme überversorgt, an den Heizkörpern steht ein Verschwendungspotential zur Verfügung, das zu einem Mehrverbrauch an Energie führen kann. Außerdem treten durch die erhöhte Pumpenleistung insbesondere in den hydraulisch günstigen Rohrleitungsabschnitten mit kleinen Durchmessern und in den Thermostatventilen lästige Strömungs- und Pfeifgeräusche auf. Die Aufheizzeiten der einzelnen Räume nach Absenkphasen weichen in hydraulisch nicht abgeglichenen Netzen stark voneinander ab.

Letztlich bedeutet eine unnötig hohe Pumpenleistung auch erhöhte Energiekosten für elektrische Energie. 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. Auch der Umweltgesichtspunkt soll nicht außer acht gelassen werden: der Primärenergieverbrauch (Kohle, Öl, Gas, ...) ist noch drei mal höher als der effektive Stromverbrauch, den der Nutzer zahlt.

Was sagt die VOB zur Qualitätssicherung?

Für öffentliche Auftraggeber gilt bei der Anlagenerstellung oder -änderung die VOB in allen drei Teilen A, B und C. Für private Auftragnehmer gilt demgegenüber ein Werkvertrag nach BGB. Der VOB-Vertrag ist hier nur nach Vereinbarung möglich. Häufig wird in diesem Fall nur VOB/B vereinbart, obwohl auch die VOB/C in einen BGB Werkvertrag einbezogen werden kann.

Teil C der VOB fasst die Allgemeinen Technischen Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) zusammen. Maßgeblich für die Qualitätssicherung und Optimierung der Anlagentechnik ist die DIN 18380 für Heizungsanlagen und zentrale Wassererwärmungsanlagen. Sie definiert unter anderem, welche Leistungen bei der Anlagenplanung und -erstellung zu den Haupt- und den Nebenleistungen zählen.

Tätigkeiten, die als Nebenleistungen genannt sind, müssen nicht gesondert honoriert werden. Sie gehören auch ohne Erwähnung im Vertrag zur Leistung. Hierzu zählt unter anderem auch die Prüfung der vom Auftraggeber gelieferten Planungsunterlagen, z.B. die Wärmebedarfsberechnung mit zugehöriger Rohrnetz- und Pumpenauslegung, Leistungsdaten für Wärmeerzeuger und der Energiebedarfsausweis. Das bedeutet, nach VOB wird die Planungs- oder im Bestand die Optimierungsleistung nicht gesondert honoriert. Es sei denn, Auftraggeber und -nehmer schließen einen Vertrag über die Vergütung ab.

Die VOB/C DIN 18380 bemerkt zur Qualitätssicherung der Heizungstechnik konkret:

- "Die Wärmeleistung der Raumheizflächen ist auf den ... Wärmebedarf auszulegen." (Abschnitt 3.2.10.1) und "... bei Warmwasserheizungen müssen an jeder Raumheizfläche Möglichkeiten zur Begrenzung der Durchflussmenge zum hydraulischen Abgleich vorhanden sein ... " (Abschnitt 3.2.8)
- "Die Bauteile von Heizungsanlagen ... sind so aufeinander abzustimmen, dass die geforderte Leistung erbracht ... und ein sparsamer und wirtschaftlicher Betrieb möglich ist ... Umwälzpumpen, Armaturen und Rohrleitungen sind durch Berechnung so aufeinander abzustimmen, dass auch bei den zu erwartenden wechselnden Betriebsbedingungen eine ausreichende Wassermengenverteilung sichergestellt ist ... Bei Regelventilen, z.B. thermostatischen Heizkörperventilen ... ist Voraussetzung für den hydraulischen Abgleich, dass die Ventile im Verhältnis zum maximal möglichen Differenzdruck ... einen entsprechend hohen Widerstand aufweisen". (Abschnitt 3.1.1)
- "Der hydraulische Abgleich ist mit den rechnerisch ermittelten Einstellwerten so vorzunehmen, dass bei bestimmungsgemäßem Betrieb, also z.B. auch nach Raumtemperaturabsenkung oder Betriebspausen der Heizanlage, alle Wärmeverbraucher entsprechend ihrem Wärmebedarf mit Heizwasser versorgt werden." (Abschnitt 3.5.1)

22 Hydraulischer Abgleich im Neubau

Das Vorgehen eines hydraulischen Abgleichs für den Neubau ist hinreichend aus der Fachliteratur bekannt. Es soll hier nur kurz wiedergegeben werden:

Das geplante Netz wird gedanklich in Teilrohrstrecken zerlegt. Für alle Teilrohrstrecken werden aus dem fließenden Volumenstrom (muss bekannt sein), der gewählten Rohrdimension und den sonstigen Widerständen ohne Thermostatventil die resultierenden Druckverluste bestimmt. Der Volumenstrom wird aus der angeschlossenen Wärmeleistung und der Spreizung zwischen Vor- und Rücklauf bestimmt. Im zu empfehlenden Regelfall wird von einer einheitlichen Spreizung ausgegangen, nach VDI 6030 "Auslegung von freien Raumheizflächen" je nach Anforderungsstufe aber auch mit individuellen Rücklauftemperaturen gerechnet.

Es ergibt sich im Auslegungsfall ein hydraulisch ungünstigster Heizkörper. Für diesen ist der berechnete Druckverlust aller angeschlossenen Teilrohrstrecken auf dem Weg vom Heizkörper über die Pumpe und wieder zum Heizkörper am größten. Das Thermostatventil dieses Heizkörpers wird mit einer gewünschten Ventilautorität ausgewählt, z.B. mit einer Ventilautorität von 0,3 (siehe Ausführungen zur Ventilautorität). Das bedeutet, dass über dem Ventil 30 % der Druckerhöhung der Pumpe abgebaut werden, über dem Netz die restlichen 70 %. Damit liegt die nötige Förderhöhe der Pumpe fest. Sie ist maßgeblich für die Auslegung aller anderen Ventile. Für alle anderen Heizkörper ergibt sich der Druckverlust über dem dazugehörigen Thermostatventil aus der festgesetzten Pumpendruckerhöhung und den schon berechneten Druckverlusten im Netz.

Beim Einsatz von Wärmeerzeugern mit integrierter Pumpe, deren Restförderhöhe sich nicht stufenlos oder gar nicht einstellen lässt, ist ein Sonderfall gegeben: Da die Druckförderhöhe bereits vor dem hydraulischen Abgleich unveränderbar festliegt, ist mit dieser Förderhöhe zu rechnen. Dieser Fall wird in der Fachliteratur leider nur selten behandelt, obwohl er bei Wandkesseln - bis auf wenige Ausnahmen - Standard ist.

Hier muss die gegebene Förderhöhe der Pumpe bei der Auslegung aller Thermostatventile im Netz berücksichtigt werden. Die Frage, welcher der hydraulisch ungünstigste Heizkörper ist, ist dann nicht mehr von Interesse. Für alle Heizkörper liegen sowohl der zur Verfügung stehende Pumpendruck als auch der Druckverlust in den angeschlossenen Teilrohrstrecken (incl. sonstiger Widerstände) fest. Das Ventil muss die Druckdifferenz wegdrosseln und ist entsprechend zu bemessen.

Alternativ kann in diesem Fall dafür gesorgt werden, dass der zu hohe Förderdruck bereits zentral abgebaut wird. Dazu wird ein Differenzdruckregler (energetisch ungünstig auch ein Überströmventil) vorgesehen. Der Einstellwert (Differenzdruck) des vorgeschalteten Differenzdruckreglers kann dann wiederum so gewählt werden, wie eine frei einstellbare Pumpe: nach der normalen Rohrnetzberechnung mit Hilfe des hydraulisch ungünstigsten Heizkörpers – wie oben beschrieben.

23 Abgleich im Bestand

Vorhandene Ansätze

Festzustellen ist: prinzipiell funktioniert der hydraulische Abgleich im Bestand wie bei einem Neubau. Sofern Pumpen vorhanden sind, liegt die Druckhöhe fest, sie kann oder muss aber ggf. angepasst werden. Auch die Druckverluste im Rohrnetz liegen fest, so dass THKV gewählt und eingestellt werden können. Die Ungewissheit liegt in der Frage, welche Volumenströme im Netz fließen und welche Druckverluste sich daher im (meist unbekannten) Rohrnetz einstellen.

Die Fachliteratur über den Hydraulischen Abgleich in bestehenden Anlagen ist "sehr übersichtlich". In einschlägigen Fachbüchern der Heizungstechnik fehlen vielfach weitergehende Arbeitshilfen zu diesem Thema. In Fachbüchern der Heizungstechnik (z.B. [11], [12]) wird das Thema sinngemäß mit dem Satz besprochen: "eine Rohrnetzberechnung im Gebäudebestand ist nicht möglich". Andere Standardwerke behandeln das Thema gar nicht.

Es gibt sehr positive Ausnahmen. Ein Auszug einzelner Ansätze soll nachfolgend kurz wiedergegeben werden. Ein Großteil heute vorliegender Ansätze zur Rohrnetzoptimierung stammen derzeit von Herstellern von Heizungskomponenten.

In der Veröffentlichung von Otto [10] erfolgt ein hydraulischer Abgleich anhand der installierten Heizkörperleistungen und resultierender Volumenströme. Es wird allerdings vorausgesetzt, dass die Heizkörper passend zur Heizlast gewählt sind. Weiter ist eine vereinfachte Vorgehensweise zur Bestimmung der Pumpförderhöhe und des Druckabfalls über den THKV beschrieben.

Firma Oventrop [7] gibt verschiedene, darunter auch vereinfachte Verfahren zur Bestimmung der Raumheizlast an. Mit den Heizlasten werden die vorhandenen Heizflächen (Leistungen müssen bekannt sein) kontrolliert. Die sich einstellenden Temperaturspreizungen an jedem Heizkörper können fest angenommen oder mit Hilfe von EDV oder dem Heizkörperauslegungsdiagramm nachgerechnet werden. Die resultierenden Volumenströme werden bestimmt, der hydraulische Abgleich erfolgt per Messcomputer, damit entfällt die eigentliche Rohrnetzberechnung.

Die Weiterbildungsoffensive Wilo-Brain [8] gibt Hinweise zur vereinfachten Pumpenauslegung und zum hydraulischen Abgleich. Die Heizlast der Räume und des Gebäudes wird anhand von flächenbezogenen Leistungen (z. B. 40, 70 und 100 W/m²) und der Grundfläche abgeschätzt. Der Pumpenvolumenstrom wird mit einer angenommenen Gesamtspreizung bestimmt. Der Druckabfall im Netz wird aus der Länge des längsten Stranges, fest vorgegebenen R-Werten (50 ... 100 Pa/m) und Zuschlägen für Einbauten bestimmt. Alle THKV werden dann mit einer Ventilautorität von 0,3 ... 0,7 ausgelegt.

Firma Kermi [9] setzt die Leistung, die der Heizkörper abgeben muss, sowie die sich einstellende Spreizung als bekannt voraus. Der Druckabfall über dem THKV wird bei kleinen Anlagen mit 100 mbar vorgegeben. Bei großen Anlagen soll eine Staffelung zwischen 50 mbar (pumpenfern), 100 mbar (mittlere Entfernung) und 150 mbar (pumpennah) vorgenommen werden. Die Staffelung in die drei Zonen erfolgt durch den Fachunternehmer, der die Berechnung durchführt. Sie ist damit subjektiv. Die notwendigen Voreinstellwerte für unterschiedliche Ventile sind tabelliert.

Die vier kurz umrissenen bekannten Berechnungsverfahren sowie weitere andere Vorgehensweisen aus der Literatur bieten gute Ansätze, sich dem Problems "Hydraulischer Abgleich im Bestand" zu nähern. In den nachfolgenden Abschnitten wird gezeigt, wie die bekannten Verfahren zu einem neuen, praktikablen Ansatz weiterbearbeitet werden.

Das Ziel des hydraulischen Abgleichs im Bestand soll hier noch einmal kurz wiederholt werden, damit klar wird, warum die nachfolgenden Ausführungen so wichtig sind. Es ist das Ziel, die Verbraucher in einer bestehenden Anlage untereinander so abzugleichen, dass jeder den vorgesehenen Volumenstrom erhält. Dieser ist bereits aus der Optimierung des Temperaturniveaus bekannt. Es fehlt noch die Abschätzung der Druckverluste im Netz, möglichst ohne die Anlage (Leistungslängen und Rohrdurchmessern) aufnehmen zu müssen.

Neue Ansätze

Zentrales Problem der Rohrnetzberechnung im Bestand ist die Bestimmung der Druckverluste im Netz ohne eine konventionelle Rohrnetzberechnung durchführen zu müssen. Folgende Größen müssen normalerweise bekannt sein bzw. sind bereits aus der Optimierung des Temperaturniveaus bekannt:

- die Raumheizlast: ist überschlägig bekannt,
- die sich einstellende Spreizung zwischen Vor- und Rücklauftemperatur je nach Überdimensionierung des Heizkörpers: kann nach der Optimierung des Temperaturniveaus bestimmt werden,
- die resultierenden Volumenströme für alle Heizkörper und das Gesamtnetz: können aus der Raumheizlast und der Spreizung berechnet werden,
- Rohrdurchmesser oder R-Werte und maßgebliche Rohrlänge für die Druckverlustberechnung: diese Werte fehlen bislang.
- der Druckverlust der Einzelwiderstände und der Sondereinbauten: fehlen bislang,
- evtl. die vorgegebene Restförderhöhe des Kessels mit integrierter Pumpe: fehlt bislang.

Ziel einer vereinfachten Rohrnetzberechnung ist es also R-Werte, Rohrlängen und sonstige Druckverluste im Netz gut zu schätzen, ohne das Netz konkret aufnehmen zu müssen. Die Druckverluste von Sondereinbauten (meist im Heizungskeller zugänglich und sichtbar) sowie die Restförderhöhe von Kesseln lassen sich dagegen ohne viel Mühe mit Hilfe von Herstellerunterlagen bestimmen.

Da die Rohrdurchmesser und Längen aller einzelnen Teilstrecken nicht aufgenommen werden sollen bzw. können, wird der Druckverlust mit Hilfe der maximalen Leitungslänge für das Gebäude und einem mittlerer R-Wert bestimmt. Die Druckverluste von Einzelwiderständen werden mit Hilfe pauschaler Zuschläge auf den Druckabfall in den geraden

Rohrstrecken abgeschätzt.

Wie die drei Größen: maßgebliche Leitungslängen, mittlerer R-Wert und Druckverluste von Sondereinbauten abgeschätzt werden, folgt in den nächsten Abschnitten.

24 Abschätzen der Leitungslängen

Zunächst besteht die Aufgabe in der Abschätzung von Leitungslängen ohne das Netz konkret aufzunehmen.

Die Ermittlung von Leitungslängen setzt voraus, dass die Entfernung zwischen Pumpe und dem am weitesten entfernten Heizkörper bekannt ist. Aus den in der Literatur vorhandenen Ansätzen für den hydraulischen Abgleich wird nun die Idee übernommen, das Netz einfach gestaffelt in drei Zonen einzuteilen.

Die Staffelung erfolgt in den Zonen "nah - mittel – weit" je nach Entfernung zur Pumpe. Jeder Heizkörper wird bei der Gebäudeaufnahme einer der drei Zonen zugeordnet. Die Zuordnung erfolgt "subjektiv" durch den Anlagentechniker, der die überschlägige Berechnung durchführt, anhand des vorhandenen Netztyps (Abbildung 31).

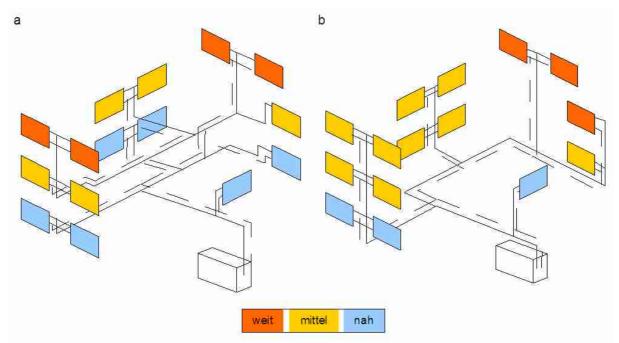


Abbildung 31 Heizungsanlage mit Stockwerksverteilung (a) und mit zentraler Kellerverteilung (b) (B15)

Bei der Anlagenbegehung wird die (doppelte) Länge des "längsten Stranges" (Vor- und Rücklauflänge zu dem am weitesten von der Pumpe entfernten Heizkörper) ermittelt bzw. abgeschätzt. Diese Länge wird stellvertretend für alle Heizkörper in der Zone "weit" eingesetzt. Die Zone "mittel" wird rechnerisch mit 2/3, die Zone "nah" mit 1/3 der maximalen Leitungslänge berücksichtigt.

Sofern Rohrnetze nach dem Tichelmannsystem ausgeführt sind, ist der Druckverlust über allen THKV als annähernd gleich anzusetzen. Für Fußboden- und Einrohrheizungen werden die Ansätze noch geprüft.

Fazit: Bei der Aufnahme der Heizkörper und Räume sollte sofort abgeschätzt werden, ob der Heizkörper sich nah, mittelweit oder weit entfernt von der Pumpe befindet.

25 Bestimmung der R-Werte: Typgebäude als Hilfsmodell

Das zweite und auch größte Problem bei der überschlägigen Rohrnetzberechnung ist die Abschätzung der Druckverluste bzw. der R-Werte (Druckverlust je Meter Rohr) im Netz. Da die Leitungen eines bestehenden Netzes praktisch nie in ihren Längen und Dimensionen erfassbar sind, muss hier ebenfalls ein vereinfachter Ansatz getroffen werden.

Eine Hilfe bietet hier die Abschätzung des hydraulischen Widerstandes bzw. der Rohrnetzkonstante C im Rohrsystem. Der Widerstand eines konkreten Netzes ist konstant und unabhängig vom fließenden Volumenstrom.

Das Problem der R-Wert-Bestimmung soll schrittweise gelöst werden. Grundlegende Zusammenhänge und Randbedingungen, die dabei helfen, sind:

- Netze wurden früher meist mit einer bestimmten Spreizung (in der Regel 20 K) und einem bestimmten, maximalen R-Wert (oft 100 Pa/m) ausgelegt.
- In der Regel ist über das Heizsystem aber nicht bekannt, mit welcher Spreizung und mit welchem mittleren R-Wert das Netz ursprünglich ausgelegt wurde. Oft wurden die Rohrnetze nach dem Aufkommen der Thermostatventile auch gar nicht mehr ausgelegt.
- Es kann jedoch davon ausgegangen werden belegt durch Literaturrecherchen und Befragungen in der Praxis dass sich typische Rohrsysteme in ihren Leitungslängen und Durchmessern im Laufe der letzten 40 Jahre nicht oder nur wenig geändert haben. Die Rohrnetzkonstante C für Gesamtnetze (mit ähnlicher Ausdehnung) ist etwa gleich geblieben.
- Wird ein Gebäude baulich modernisiert (Fenster, Wanddämmung), sinkt seine Heizlast. Bei gleicher Spreizung zwischen Vor- und Rücklauf würde der Volumenstrom des Heizwassers im selben Verhältnis sinken. Da Druckverlust im Netz und der Volumenstrom quadratisch zusammenhängen, würden sich entsprechend sehr viel kleinere R-Werte im selben Netz ergeben.
- Der Volumenstrom hängt aber auch von der alten und neuen Spreizung ab. Kommt es nach der baulichen Sanierung zu kleineren Systemspreizungen, führt dies zu größeren Volumenströmen und entsprechend quadratisch größeren Druckverlusten.
- Die neue Heizlast für das Gebäude ist anhand einer überschlägigen (oder genauen) Heizlastberechnung bekannt. Die neue Systemspreizung in der Heizzentrale (Gesamtspreizung zwischen Vor- und Rücklauf) sowie die Spreizungen für die einzelnen Heizkörper sind ebenfalls bekannt. Für alle anderen Teilstrecken des Rücklaufs sind sie unbekannt, weil die Mischpunkte nicht einzeln berechnet werden.
- Auf jeden Fall stehen die Volumenströme für das Gesamtsystem (Anschlussleitung der Pumpe) und für die Anbindeleitungen der Heizkörper aus der Berechnung der optimalen Temperatur zur Verfügung. Für alle Rohrstrecken dazwischen können Volumenströme ohne Aufnahme des Rohrnetzes aber nicht bestimmt werden.

Was helfen nun diese Erkenntnisse? Sie bieten den folgenden Ansatz für die Optimierung der Hydraulik:

- 1. Das Rohrnetz wird vereinfacht als Gesamtheit angesehen. Es wird kein R-Wert für einzelne Strecken im Vor- und Rücklauf bestimmt, sondern nur ein repräsentativer Mittelwert für das gesamte Netz.
- 2. Die Rohrnetzkonstante C für ein gleich groß ausgedehntes Netz ist unabhängig vom Alter des Netzes etwa gleich. Deshalb gelten folgende Zusammenhänge:

$$\frac{\mathsf{R}_{\mathsf{neu}}}{\mathsf{R}_{\mathsf{alt}}} \sim \frac{\Delta \mathsf{p}_{\mathsf{neu}}}{\Delta \mathsf{p}_{\mathsf{alt}}} \sim \left(\frac{\dot{\mathsf{V}}_{\mathsf{neu}}}{\dot{\mathsf{V}}_{\mathsf{alt}}}\right)^2 \sim \left(\frac{\dot{\mathsf{Q}}_{\mathsf{neu}} \, / \, \Delta \vartheta_{\mathsf{neu}}}{\dot{\mathsf{Q}}_{\mathsf{alt}} \, / \, \Delta \vartheta_{\mathsf{alt}}}\right)^2 \sim \left(\frac{\dot{\mathsf{q}}_{\mathsf{neu}} \, / \, \Delta \vartheta_{\mathsf{neu}}}{\dot{\mathsf{q}}_{\mathsf{alt}} \, / \, \Delta \vartheta_{\mathsf{alt}}}\right)^2$$

Der neue R-Wert kann mit Hilfe der neuen und alten Heizlast sowie mit der alten und neuen Temperaturspreizung im Netz aus dem alten R-Wert berechnet werden. Es wird dabei natürlich vorausgesetzt, dass die beheizten Flächen des alten und neuen Hauses gleich groß sind und die Länge des Leitungsnetzes auch gleich lang ist.

3. Die alten Auslegungsdaten R_{alt} , $\Delta \vartheta_{alt}$ und die alte Heizlast \dot{q}_{alt} , die zur Berechnung gebraucht werden, sind aber zunächst unbekannt. Diese Werte werden deshalb vereinfachend mit typischen Auslegungsdaten früherer Gebäude und Anlagen aufgefüllt. Da die Leitungsnetze sich in Länge und Dimensionen seit dem Aufkommen der Pumpenwarmwasserheizung in den 1960er Jahren nicht wesentlich geändert haben, ist dies ein guter Kompromiss. Als Referenz für die Berechnung des neuen R-Wertes werden zwei Typgebäude "EFH" und "MFH" definiert (Abbildung 32).

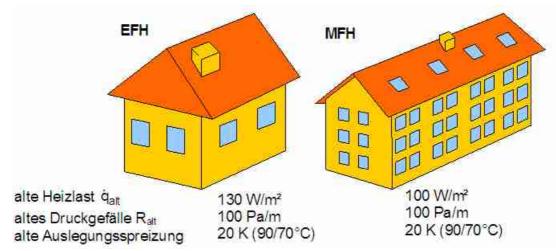


Abbildung 32 Definition von Typgebäuden für die Hydraulikberechnung (B16)

4. Die Abschätzung des R-Wertes erfolgt - unabhängig vom Baujahr des zu untersuchenden Gebäudes - nach dem in Abbildung 33 beschriebenen Rechenschema. Die neue Spreizung und die neue Heizlast werden aus der sowieso vorher durchgeführten vereinfachten Heizlastberechnung und der Optimierung des Temperaturniveaus übernommen.

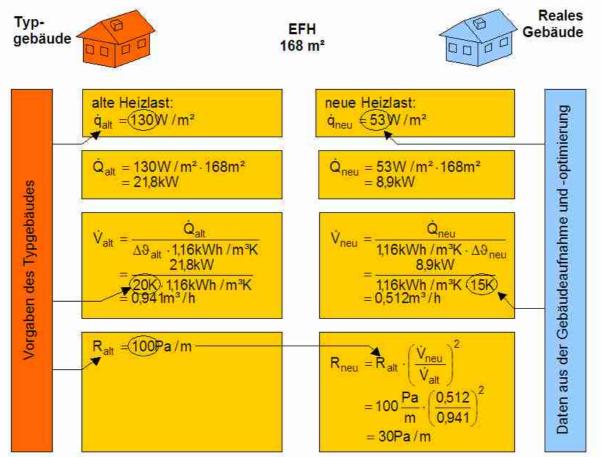


Abbildung 33 Bestimmung des R-Wertes für das vorhandene Gebäude (B17)

Bei der Berechnung des neuen R-Wertes sollte ggf. geprüft werden, ab wann keine turbulente Rohrströmung mehr zu erwarten ist. Erste Näherungen lassen dies unterhalb etwa 15 ... 20 Pa/m erwarten. Hier herrscht zwischen Druckverlust und Volumenstrom keine quadratische Abhängigkeit ($\Delta p \sim \dot{V}^2$) mehr, sondern eine lineare ($\Delta p \sim \dot{V}$). Es erscheint daher sinnvoll als Ergebnisse dieser Rechnung unabhängig vom wirklichen Rechenergebnis keine kleineren R-Werte als 15 Pa/m zuzulassen.

Fazit: Auf Basis der früher einmal sehr gut dokumentierte Rohrnetzberechnungen werden Typgebäude definiert, für die Heizlast, Spreizung und R-Wert bekannt sind. Weil die Rohrnetze als solches seit dem praktisch unverändert gebaut werden, ermöglichen die Typgebäude eine Berechnung des neuen R-Wertes für ein Netz allein aus zwei Größen: die neue Heizlast und die neue Spreizung zwischen Vor- und Rücklauf.

26 Erweiterung der Ansätze: Auslegungstypen

Die beschriebene Vorgehensweise zur Bestimmung des R-Wertes setzt voraus, dass sich die Heizlasten nach einer Modernisierung im gesamten Gebäude etwa gleichmäßig ändern. Damit ändern sich auch die Volumenströme und die Druckverluste in den einzelnen Rohrstrecken gleichmäßig. Leider ist diese Voraussetzung in der Praxis selten gegeben.

Die Größe der Überdimensionierung der Heizkörper kann nach der Modernisierung - aber auch wegen fehlender Planung - von Raum zu Raum sehr verschieden sein. Daraus resultieren sehr unterschiedliche Rücklauftemperaturen und Spreizungen für die einzelnen Heizkörper.

Volumenströme und Druckverluste verändern sich also innerhalb der Leitungsteile eines Netzes nicht im gleichen Verhältnis. Diese Abweichung ergibt sich beispielsweise auch dann, wenn gar keine Rohrnetzauslegung nach einem R-Wert stattgefunden hat und die Rohrdimension "nach Gutdünken" gewählt wurde oder allein auf Grund der Tatsache, dass Rohre nur in abgestuften Dimensionen und nicht beliebig klein verfügbar sind. Aus diesen Betrachtungen wird eine Erweiterung des Ansatzes notwendig.

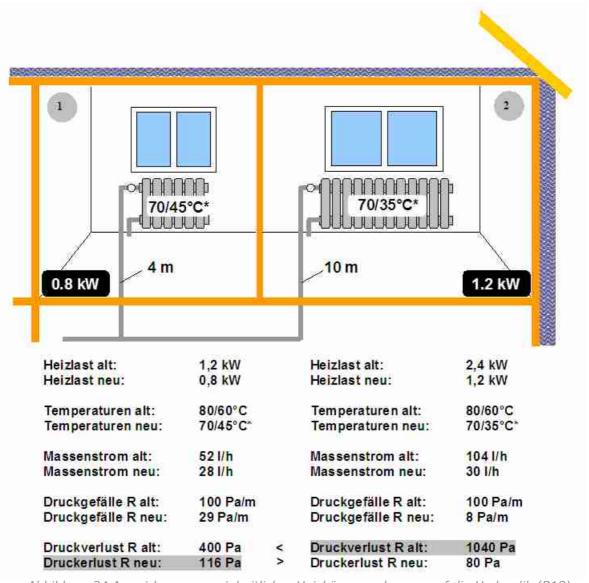


Abbildung 34 Auswirkungen uneinheitlicher Heizkörperauslegung auf die Hydraulik (B18)

Abbildung 34 zeigt beispielhaft die Begründung. Die beiden Heizkörper stellen den Ausschnitt eines größeren Netzes dar. Das Beispiel zeigt: Der längste Strang mit dem größeren Heizkörper (Raum 2) ist nach der Modernisierung nicht mehr der hydraulisch ungünstigste. Die Ursache liegt in der geringeren Überdimensionierung des Heizkörpers in Raum 1. Hier sinken Massenstrom und R-Wert weniger ab.

Das bedeutet: Je ungleichmäßiger die Heizkörper bezüglich der Raumheizlast in einem Gebäude dimensioniert sind, desto eher ist der Fall zu erwarten, dass der ungünstigste Heizkörper nicht mehr ohne weiteres identifiziert werden kann. Er muss sich weder am längsten Strang befinden, noch der Heizkörper mit der größten Leistung sein. Ohne Aufnahme des Rohrnetzes und entsprechender ausführlicher Berechnung kann er nicht bestimmen werden.

Es muss also bei der überschlägigen Berechnung der neuen Einstellwerte der Pumpe eine gewisse Sicherheit eingebaut werden. Dann ist sichergestellt, dass der zur Verfügung stehende Druck auch ausreicht, die Druckverluste in sehr stark durchströmten Leitungsteilen zu überwinden. Wie dies im Rahmen der Optimierung praktisch erfolgt, wird an späterer Stelle erläutert.

27 Druckverluste in Einzelwiderständen und Sondereinbauten

Nachdem für das bestehende Netz die maßgeblichen Leitungslängen überschlägig bestimmt sind und auch ein mittlerer typischer R-Wert für die Rohrstrecken abgeschätzt ist, fehlt für die Rohrnetzberechnung im Bestand noch der Druckverlust in Einzelwiderständen und Sondereinbauten.

Die Druckverluste für Einzelwiderstände (Bögen, T-Stücke, Reduzierungen, ...) werden vereinfacht mit 50 % des Druckabfalls über die gerade Rohrstrecke angenommen. Das entspricht dem in der Literatur recherchierten Mittelwert verschiedener Quellen mit Angaben von 30 bis 67 %.

Sondereinbauten, wie zentral angeordnete Wärmemengenzähler, Filter, Mischer oder Schwerkraftbremsen bzw. Rückschlagventile/-klappen sowie Kessel müssen bei der Aufnahme der Anlagentechnik und vereinfachten Rohrnetzberechnung gesondert berücksichtigt werden, da ihr Druckverlust stark vom Volumenstrom und vom jeweiligen Gerätetyp abhängt.

Folgende Vorgehensweise empfiehlt sich: die zentral in einer Anlage verbauten Gerätetypen werden protokolliert und sofern verfügbar werden Herstellerunterlagen mit Druckverlustdiagrammen zusammengestellt. Für den neuen Volumenstrom durch das Bauteil, der nach der Optimierung des Temperaturniveaus bekannt ist, wird der Druckverlust aus dem Herstellerdiagramm abgelesen.

Sind keine Diagramme verfügbar, helfen nachfolgende Zusammenstellungen für die Praxis.

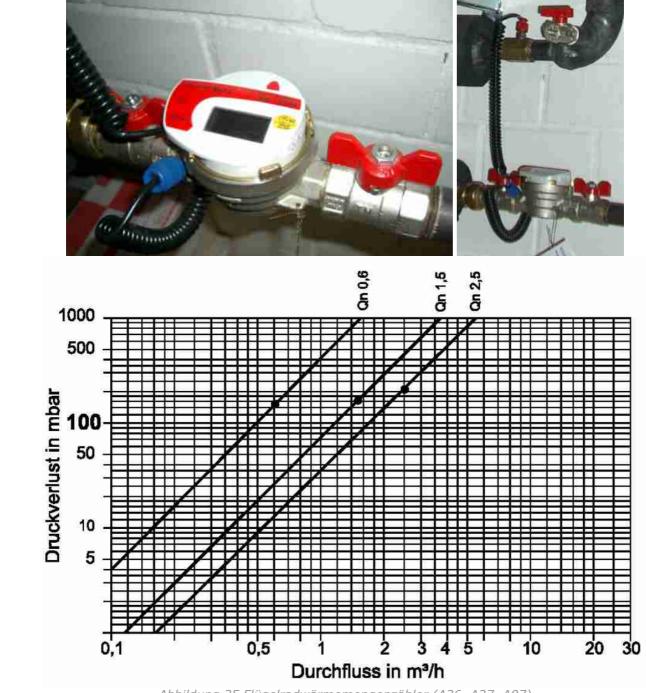


Abbildung 35 Flügelradwärmemengenzähler (A26, A27, A07)



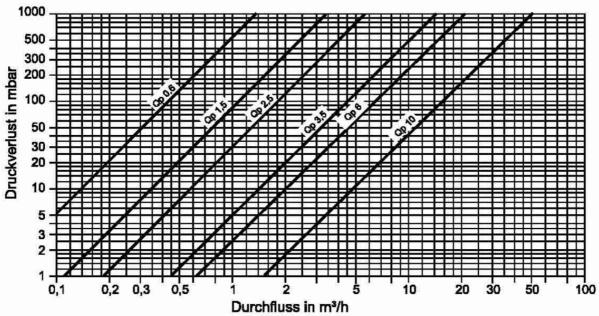


Abbildung 36 Ultraschallwärmemengenzähler (A25, A08)



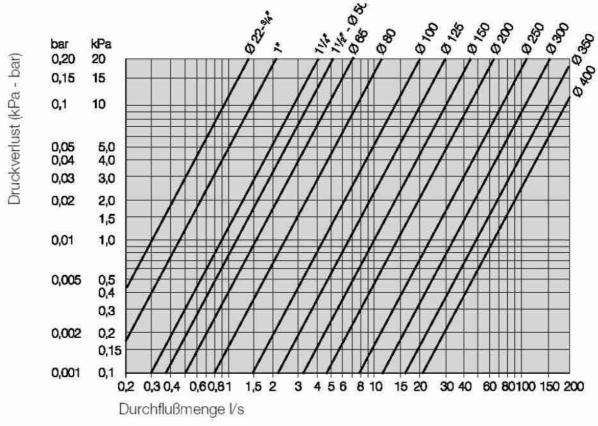


Abbildung 37 Luftabscheider (A23, A10)

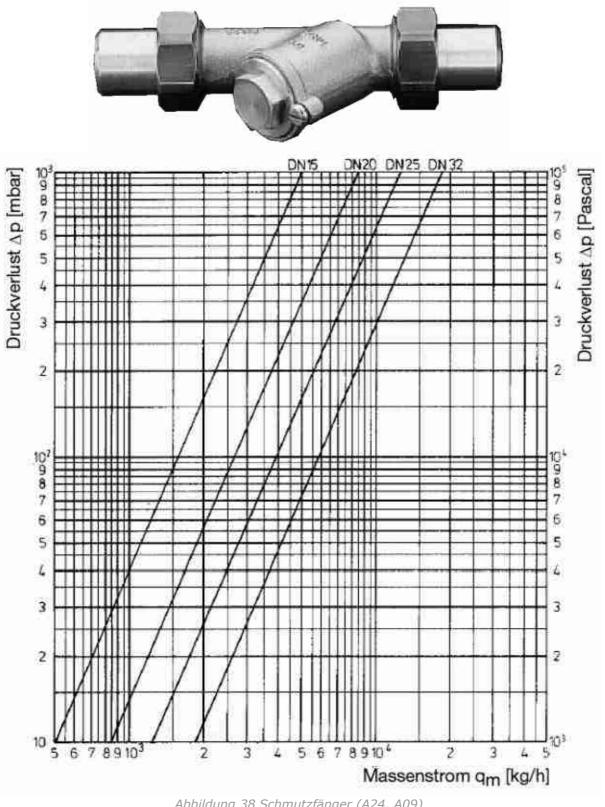
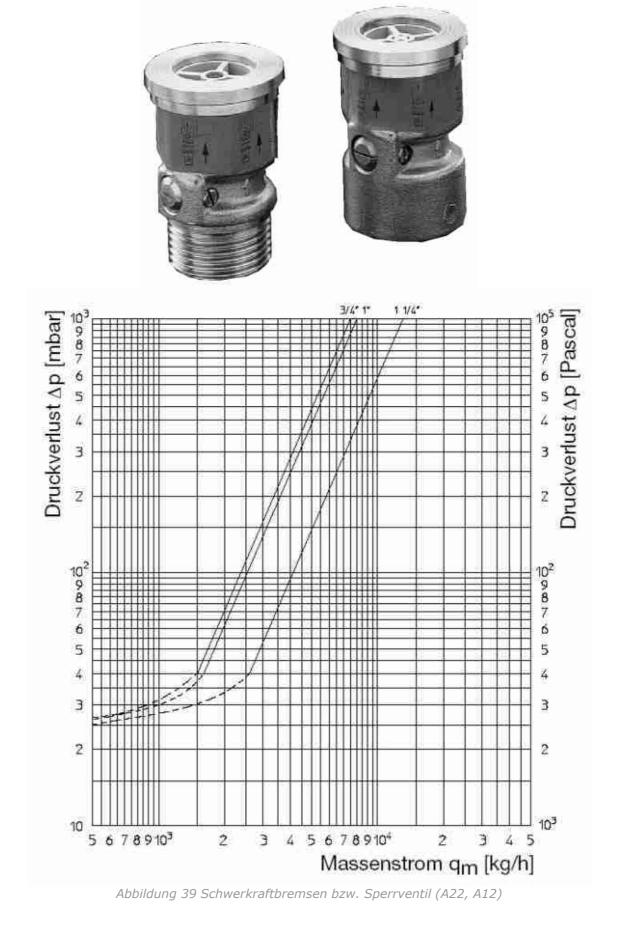


Abbildung 38 Schmutzfänger (A24, A09)



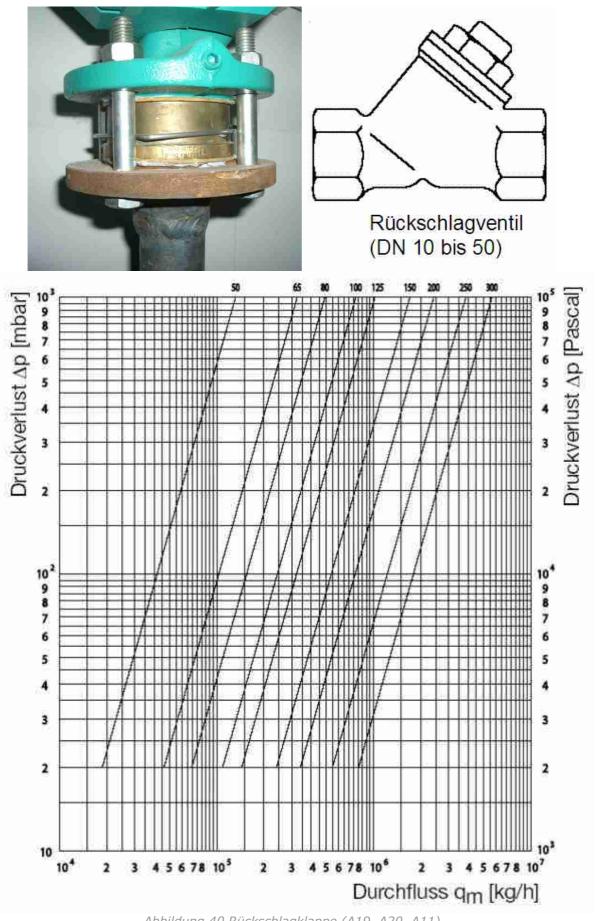


Abbildung 40 Rückschlagklappe (A19, A20, A11)



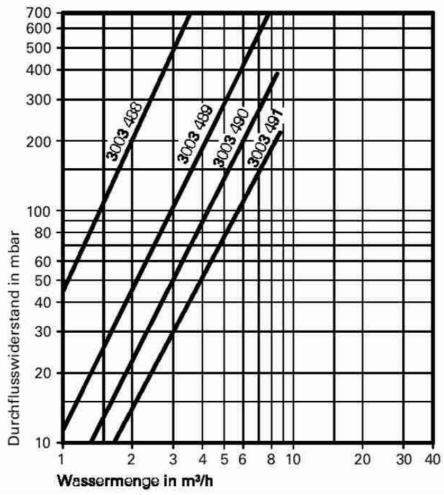


Abbildung 41 Beispiel für einen Plattenwärmeübertrager (A18, A13)

Weitere Hinweise:

- Für die Abschätzung des Druckverlustes eines Plattenwärmeübertragers sollte unbedingt die echte Herstellerkennlinie verwendet werden. Das gegebene Beispieldiagramm gilt nur für einen Bautyp!
- 2. Ist in einer Anlage ein Differenzdruckregler DDR oder ein Überströmventil ÜV vorhanden, die den Druck für die Verbraucher konstant halten, dann interessieren für die Berechnung des Einstellwertes des DDR oder des ÜV nur die Sondereinbauteile, die sich auf der "geregelten" Seite (zwischen dem ÜV/DDR und den Heizkörpern) im Verbraucherkreis befinden.
- 3. Soll in dieser Netzform mit ÜV/DDR zusätzlich eine optimale Pumpenförderhöhe bestimmt werden, dann ist zum eingestellten Differenzdruck des ÜV/DDR auch der Druckverlust der zwischen Pumpe und ÜV/DDR im Erzeugerkreis befindlichen Sondereinbauteile zu berechnen. Für die Anlagenbegehung ist zu empfehlen, eine kleine Skizze der Zentrale zu machen und vorsorglich alle Sondereinbauten zu erfassen!

Fazit: Mit Hilfe von Herstellerdiagrammen werden die stark volumenstromabhängigen Druckverluste von Sondereinbauten in der Anlage bestimmt. Die Sondereinbauten sind bei einer Anlagenbegehung zu erfassen und ihre Lage möglichst in einer Skizze zu vermerken. Die Druckverluste auf normale Einbauteile (Formteile) in Rohrnetzen werden als pauschaler Zuschlag auf den bekannten Druckverlust der geraden Rohre gewährt.

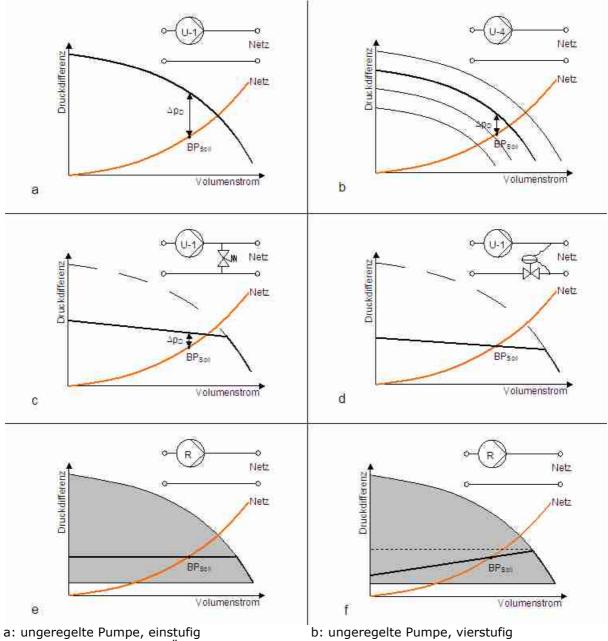
28 Vorhandener Druck für das Netz

Die Druckverluste des Netzes, d.h. die Leitungslängen, R-Werte, Bewertung von Einzelwiderständen und Sondereinbauten sind erfolgt. Nun spielt natürlich auch die vorhandene Druckerhöhung eines bestehenden Netzes eine Rolle bei der Optimierung. Es muss vor allem festgestellt werden, ob und wie sie verändert werden kann.

Der Druck für ein nachgeschaltetes Netz kann auf verschiedene Weise bereitgestellt werden. Einen Überblick gibt Abbildung 42.

Die einfachste Möglichkeit der Druckbereitstellung ist der Einsatz einer ungeregelten Pumpe (Abbildung 42a). Der Differenzdruck, den die Pumpe bereitstellt, steigt mit sinkendem Volumenstrom an. Der gewünschte Betriebspunkt für das Netz wird in der Regel nicht direkt auf der Pumpenkennlinie liegen. Oft stellt sich bei Heizgeräten mit integrierter ungeregelter Pumpe das Problem zu großer Förderhöhen, die dann über den Thermostatventilen abgedrosselt werden müssen (Δp_D). Dies wirkt sich bei Anlagen mit vorhandenen Thermostatventilen identisch mit einer Verringerung des Auslegungs-Proportionalbereichs (Neigung zum Auf-Zu-Verhalten) aus.

Ähnliche Verhältnisse wie bei einstufigen Pumpen stellen sich auch bei mehrstufig einstellbaren, aber ungeregelten Pumpen (Abbildung 42b) ein. Hier kann der überschüssige Druck, durch geeignete Wahl der Drehzahlstufe aber verringert werden. Wird gegenüber der berechneten notwendigen Auslegungsdruckhöhe im Betriebspunkt eine zu niedrige Pumpendruckstufe gewählt (nicht im Bild dargestellt), tritt sogar ein scheinbarer Differenzdruckmangel auf. Dem wirkt in der Praxis das THKV mit einer weiteren Öffnung im Auslegungsfall und mit einer Erhöhung des Durchlasswertes (k_V -Wertes) und des P-Bereiches entgegen. Solange der P-Bereich Werte von 1 ... 2 K nicht überschreitet, ist eine etwas niedrigere Pumpförderhöhe aus Gründen der Einsparung von Pumphilfsenergie immer einer zu hohen vorzuziehen.



c: ungeregelte Pumpe und Überströmventil

e: regelbare Pumpe, \(\Delta p\)-Konstant-Regelung

d: ungeregelte Pumpe und Differenzdruckregler

f: regelbare Pumpe, \(\Delta p\)-Variabel-Regelung Abbildung 42 Möglichkeiten für Differenzdrücke im Netz (B19)

Eine ungeregelte Pumpe kann zusätzlich mit einem im Kurzschluss verschalteten Überströmventil betrieben werden (Abbildung 42c). Der für das Netz zur Verfügung gestellte Differenzdruck kann in weiten Bereichen annähernd konstant gehalten werden. Eine waagerechte Kennlinie ergibt sich jedoch nicht, weil ein selbsttätig arbeitendes, differenzdruckgeregeltes Überströmventil durch seinen bei typisch 50 mbar liegenden Arbeits-P-Bereich funktionsbedingt eine Regelabweichung aufweist. Der Einstellsollwert (Ansprechdruckdifferenz typisch 200 mbar) des Überströmventils richtet sich meist nach den Anforderungen des Wärmeerzeugers, nicht nach denen des nachgeschalteten Netzes, wenn durch den Wärmeerzeuger ein Mindestdurchfluss realisiert werden soll.

Es ergibt sich für das nachgeschaltete Netz deshalb meist ein höherer als der eigentlich nötige Differenzdruck. Überschüssiger Differenzdruck (Δp_D) muss über die Thermostatventile abgedrosselt werden. Wegen des hohen zusätzlichen Hilfsenergieaufwands der Pumpen (es fließt immer Wasser!) ist diese Schaltung jedoch möglichst zu vermeiden und Wärmeerzeuger einzusetzen, die aufgrund eines ausreichenden Kesselwasserinhaltes und daraus resultierenden geringen hydraulischen Widerstandes keine Anforderungen an einen Mindestkesselwasserdurchfluss stellen.

Wird eine ungeregelte Pumpe mit einem Differenzdruckregler (DDR) in Reihe geschaltet (Abbildung 42d), ergibt die daraus resultierende Ersatz-"Pumpen-Kennlinie" für das nachgeschaltete Netz eine ähnliche Form wie beim Überströmventil. Im unteren Volumenstrombereich nimmt die Kennlinie einen nahezu waagerechten Verlauf (auch hier wieder funktionsbedingte Regelabweichung), im oberen Bereich die abgeknickte Form an. Im Gegensatz zum fest an die Anforderungen des Wärmeerzeugers angepassten Überströmventil sollte der in Reihe zum Wärmeerzeuger und zum Sekundärnetz geschaltete Differenzdruckregler auf die minimal erforderliche Druckerfordernis des Netzes (errechneter Betriebspunkt) abgestimmt werden. Ein Mindestdurchfluss durch den Wärmeerzeuger kann mit dem DDR nicht eingehalten werden.

Mit einer geregelten Pumpe kann ein großer Bereich möglicher Betriebspunkte abgedeckt werden. In Wärmeerzeugern integrierte Regelpumpen sind bei den meisten Fabrikaten nicht einstellbar. Demgegenüber ist der Verlauf der Pumpenkennlinie bei den autarken heizkreisseitigen Regelpumpen programmierbar. Üblich sind konstant- oder variabelgeregelte Kennlinien. In Abbildung 42e ist eine konstant-geregelte Kennlinie gezeigt. Bei der variablen Regelung in Abbildung 42f steigt der Differenzdruck mit steigendem Volumenstrom. Die Nullförderhöhe liegt typisch bei 50 % der eingestellten Sollwert-Förderhöhe. Ein Mindestdurchfluss durch den Wärmeerzeuger kann auch hier nicht eingehalten werden. Für regelbare Pumpen ergeben sich unterschiedliche Regelstrategien:

- frei wählbare Regelstrategie (konstante oder variable Druckdifferenz ist einstellbar).
- an die Kesselregelung angebundene und nicht beeinflussbare Regelstrategie (die Pumpe wird beispielsweise nach der Modulation des Brenners geregelt).

Fazit: vor der Optimierung muss festgestellt werde, welche Art der Druckbereitstellung vorliegt, wie sie eingestellt ist und innerhalb welcher Grenzen eine Veränderung möglich ist.

29 Beginn der hydraulischen Optimierung: Auslegungstyp bestimmen

Nachdem alle Randdaten der Anlage erfasst sind, d.h. beispielsweise die längste Leitungslänge im Netz geschätzt wurde, der R-Wert überschlägig bestimmt wurde und auch die Art der vorhandenen Druckbereitstellung erfasst wurde, kann die eigentliche hydraulische Optimierung beginnen.

Die vorangegangenen Ausführungen zum Thema R-Wert hatten das Phänomen beschrieben, dass es Netze gibt, in denen sich der Volumenstrom nicht gleichmäßig ändert und die bei der Bestimmung der Druckverluste und der neuen Pumpenförderhöhe einige Sicherheiten benötigen.

Es muss also vor der Berechnung der neuen Einstellparameter festgestellt werden, ob das Netz "einheitlich" oder "uneinheitlich" ausgelegt ist. Dazu werden die bereits seit der Optimierung des Temperaturniveaus bekannten Verhältnisse der Raumheizlasten zur Normheizleistung der Heizkörper ausgewertet (Abbildung 43).

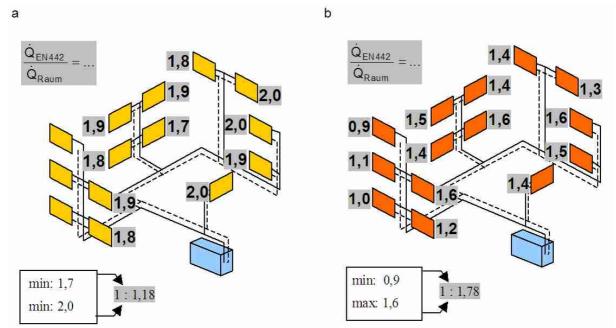


Abbildung 43 Heizungsanlage mit einheitlicher (a) und uneinheitlicher Heizkörperauslegung (b) (B21)

Die Größenordung der Zahlenwerte für die Heizwassertemperaturen in Abbildung 43 spielt in der Betrachtung zunächst nur eine untergeordnete Rolle. Der Wert "2,0" besagt lediglich, dass ein mit 75/65 °C betriebener Heizkörper das Doppelte der Raumheizlast zur Verfügung stellen könnte, wenn er tatsächlich mit der Normspreizung nach DIN EN 442 betrieben würde. Der Wert "0,9" deutet darauf hin, dass die mittlere Heizkörperleistung von etwa 70 °C nicht einmal ausreicht, den Raum zu beheizen. Hier werden höhere Temperaturen benötigt.

Unterscheiden sich die Verhältnisse Raumheizlast zu Normheizkörperleistung untereinander um weniger als 20 %, kann das Gebäude als einheitlich dimensioniert angesehen werden (Abbildung 43a). Hier ist davon auszugehen, dass sich die Volumenströme im Netz recht gleichmäßig ändern und keine weiteren Sicherheiten in die Berechnung eingebaut werden müssen.

Treten dagegen sehr unterschiedliche Überdimensionierungen und damit unterschiedliche Temperaturspreizungen an den Heizkörpern auf, ist die Auslegung uneinheitlich (Abbildung 43b). Die Grenze von 20 % ist nach Auswertung von Praxisprojekten an konkreten Gebäuden ermittelt worden, sie kann aber durchaus künftig auch anders definiert werden.

Bei einer uneinheitlichen Heizkörperauslegung kann der ungünstigste Heizkörper und damit die notwendige Druckerhöhung der Pumpe nicht mehr in jedem Fall anhand des längsten Stranges identifiziert werden. Hier ist nicht genau bekannt, ob nicht in einzelnen Teilen des Rohrnetzes immer noch sehr hohe Druckverluste auftreten, weil punktuell immer noch hohe Volumenströme fließen. Die Förderhöhe sollte dennoch so gering wie möglich gewählt werden. Zur Sicherheit wird hier bei der Optimierung die Pumpenförderhöhe etwas höher gewählt.

Der z. Z. dafür gewählte Ansatz besteht in der Festlegung einer höheren Ventilautorität bei der Thermostatventilauslegung. Bei der uneinheitlichen Heizkörperauslegung wird die Ventilautorität des Heizkörpers am längsten Strang mit $a_V=0.5$ festgelegt, um eine Pumpe auszulegen. Das bedeutet, dass die Pumpe so gewählt bzw. neu eingestellt wird, dass zum abgeschätzten Druckverlust der weit entfernten Heizkörper im Rohrnetz (50%) noch einmal der gleiche Druck (50%) addiert wird und als Pumpenförderhöhe eingestellt wird. Die Thermostatventile der am weitesten entfernten Heizkörper müssen also im Normalfall die Hälfte des Pumpendrucks abbauen. Sollten aber in den Zuleitungen eines dieser Heizkörper unerwartet höhere Druckverluste auftreten, ist noch genügend Druckreserve vorhanden.

Bei der einheitlichen Auslegung wird diese Druckreserve der weit von der Pumpe entfernten Thermostatventile auf 30 % der Pumpenförderhöhe begrenzt. Es gilt hier eine Ventilautorität der entfernt liegenden Heizkörper von $a_V = 0,3$. Für die sonstigen Druckverluste im Netz werden entsprechend insgesamt 70% des verfügbaren Drucks angesetzt. Die Pumpe kann kleiner auslegt bzw. eingestellt werden.

30 Optimierte Einstellwerte

Pumpe

Im ersten Schritt ist der für das Netz verfügbare Druck zu bestimmen. Es muss festgestellt werden, ob der Druck beliebig einstellbar oder fest vorgegeben ist. Einen Überblick gibt Abbildung 44. Ist die Förderhöhe nicht frei wählbar, muss die Rohrnetzberechnung auf den vorhandenen Wert des Differenzdrucks angepasst werden.

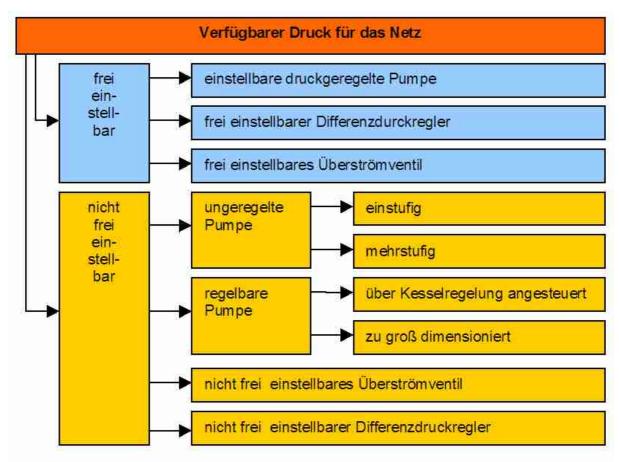


Abbildung 44 Verfügbarer Druck im Netz (B22)

Die optimierten Einstellwerte für die Pumpe bzw. den Differenzdruckregler oder das Überströmventil können nun bestimmt werden. Das Vorgehen sieht wie folgt aus:

- 1. Der Druckverlust von Rohrleitungen und Einzelwiderständen über den ungünstigsten Strang wird anhand der Länge des längsten Strangs und des überschlägig bekannten neuen R-Wertes bestimmt. Der Aufschlag für die Einzelwiderstände vom 50 % wird gleich mit einberechnet: $\Delta p_{\text{Netz}} = 1,5 \cdot \text{R} \cdot \text{I}$
- 2. Der Druckverlust der Sondereinbauten (Filter...) wird bestimmt, wobei der Volumenstromstrom durch diese Bauteile beachtet wird: Δp_{Sonder} . Es werden zunächst nur die Sondereinbauten beachtet, die sich direkt im Verbraucherkreis befinden (bei Überströmventilen und Differenzdruckreglern sind dies nur die Bauteile, die sich zwischen ÜV/DDR und den Heizkörpern befinden.
- 3. Die Ventilautorität für die weit von der Pumpe entfernten Heizkörper wird entweder für einheitliche oder nicht einheitliche Heizkörperauslegung festgelegt: $a_V = 0.3 \dots 0.5$.
- 4. Die mindestens benötigte, optimale Druckerhöhung der Pumpe wird berechnet:

$$\Delta p_{\text{Pumpe,min}} = \frac{1}{1-a_{\text{V}}} \cdot (\Delta p_{\text{Netz}} + \Delta p_{\text{Sonder}})$$

Die in der Anlage eingestellte oder bei einstellbaren Pumpen, Differenzdruckreglern und Überströmventilen ggf. nachträglich einstellbare Druckförderhöhe wird überprüft. Der berechnete Mindestwert für die Förderhöhe nach der Optimierung muss mit der vorhandenen Technik mindestens erreicht werden. Ist dies nicht der Fall, dann muss eine größere Pumpe eingesetzt werden, wobei dieser Fall in der Praxis praktisch nicht auftritt.

Oft tritt folgender Fall auf: berechnet wird eine sehr geringe notwendige Druckerhöhung nach der Optimierung, z.B. 80 mbar. In der Anlage ist aber eine nicht einstellbare Pumpe vorhanden, die eine Druckerhöhung von 220 mbar liefert. Diese Pumpe kann selbstverständlich auch nach der Optimierung in der Anlage verbleiben, sie verbraucht aber mehr Energie als nötig. Gleiches gilt für Netze mit Überströmventilen: für das Netz wird ein ausreichender Wert von 80 mbar berechnet, wegen des Kessel mit Mindestdurchströmung darf das vorhandene einstellbare Überströmventil aber nicht verstellt werden. Es wird mit 200 mbar betrieben.

Sollte die vorhandene Förderhöhe also sehr viel größer sein als die minimal benötigte und kann nicht nach unten korrigiert werden, so ist ggf. der Einbau eines Differenzdruckreglers zu empfehlen. Dieser bewirkt, dass der überflüssige Druck gleich zentral in der Anlage abgebaut wird und nicht erst an den Thermostatventilen weggedrosselt wird. Dies spart zwar keine Energie, erhöht aber die Regelbarkeit der Ventile, weil sie nicht schon von vornherein fast geschlossen sind. Außerdem ist das Risiko für Geräusche im Netz geringer.

Handlungsbedarf (Nachrüstung eines DDR oder sofort Pumpenaustausch) ist gegeben, wenn die im Netz benötigte Förderhöhe nur halb so groß wie die verfügbare Förderhöhe ist und gleichzeitig die Thermostatventile im Mittel einen k_v -Wert unter 0,15 m^3 /h aufweisen (dieser Wert entspricht einer geringen bis mittleren Voreinstellung bei den kleinsten heute verfügbaren THKV).

Fazit: die notwendige Druckerhöhung wird berechnet. Es wird überprüft, ob dieser Wert mit den vorhandenen Komponenten erreicht werden kann.

- Sind die Pumpe oder der DDR/das ÜV variabel einstellbar, werden sie auf den berechneten Wert eingestellt.
- Sind sie stufig einstellbar, dann auf eine in der N\u00e4he liegende Stufe. Am besten leicht darunter.
- Sind sie nicht einstellbar, der benötigte Wert wird aber überschritten, dann gilt der vorhandene feste Wert der Druckförderhöhe auch nach der Optimierung. Oder es wird ggf. ein einstellbarer Differenzdruckregler oder eine kleinere Pumpe nachgerüstet.
- Sind Pumpe, DDR oder ÜV zu klein, müssen sie ersetzt werden.

Nach diesem Schritt liegt die echte Druckerhöhung für das Netz $\Delta p_{\text{verfügbar}}$ fest und die vorhandenen Thermostatventile können optimiert werden.

Optimierte Einstellwerte für die Thermostatventile

Die Einstellung der Thermostatventile nach der Optimierung beruht auf zwei Werten: dem Volumenstrom durch das Ventil und dem über dem Ventil abzubauenden Differenzdruck.

Für jeden Heizkörper liegt der Volumenstrom nach der Optimierung des Temperaturniveaus fest. Die vorhandene Förderhöhe für das Netz $\Delta p_{\text{verfügbar}}$ ist ebenso bekannt, ebenso die Druckverluste zentraler Sondereinbauten (Δp_{Sonder}). Der Druckabfall über Rohrleitungen und Einzelwiderstände wird je nach Lage des Heizkörpers in einer der drei Zonen (nah, mittel, weit) mit I als Rohrlänge des längsten Stranges bestimmt:

□ Zone weit: $\Delta p_{Net_7} = R \cdot I$

■ Zone mittel: $\Delta p_{Netz} = \frac{2}{3} \cdot R \cdot I$

Zone nah: $\Delta p_{Netz} = \frac{1}{3} \cdot R \cdot I$

Die Differenz zwischen dem verfügbaren Druck und den Druckabfällen im Netz und in den Sondereinbauten drosseln jeweils die Thermostatventile ab. Aus den beiden Kennwerte: Volumenstrom durch das Ventil und Druckabfall über dem Ventil kann der benötigte Durchlasswert k_{ν} des Ventils bestimmt werden.

$$k_V - Wert [m^3/h] = 0,001 \cdot Volumenstrom [I/h] \cdot \left(\frac{1000[mbar]}{Ventildruckverlust[mbar]}\right)^{0,5}$$

Ist der k_v -Wert des Ventils berechnet, kann aus Herstellerunterlagen die notwendige optimale Voreinstellung abgelesen werden. Eine Hilfe für die Voreinstellung ist auch die Zusammenstellung üblicher Ventile nach Abbildung 45.

				k _v -Wert in m³/h in Abhängigkeit von der Voreinstellung (nach DIN EN 215 bei 2 K Regeldifferenz)								
Hersteller	Тур	DN	Kopf	1	2	3	4	5	6	7	8	N
Oventrop (Ventileinsatze)	GHF	G 1/2"	(4)	0.017	0.047	0.095	0,152	0,228	0.32			¥
	GH	G 1/2*	(4)	0.047	0.126	0.269	0.417	0,6	0.7	-	=	*
Danfoss	RA-UN	10	RA 2000	0.02	0.06	0,11	0,17	0.23	0.30	0.35	-	0,48
	RA-UR	10	RA 2000	0.03	0.03	0.06	0,11	0,18	0.24	0.31	-	0,47
	RA-N	10	RA 2000	0.04	0.09	0,16	0.25	0.32	0.38	0,42	=	0,56
Heimeier	F-exakt	10	ET, DT, AT	0.017	0.041	0.063	0.111	0.177	0.316	1 14	1 =	-
	V-exakt	10	ET, DT, AT, WET	0,047	0,098	0,161	0,234	0,364	0,468	:5	-	=
Honeywell / MNG	FV	10	:41	0.02	0.04	0,11	0,19	0.25	0.29	0.32	0.35	÷
	V	10	, 4 °	0.04	0.08	0.20	0.29	0.33	0.35	0.38	0,41	-
Oventrop	F	10	:="	0.025	0.051	0.095	0.152	0.228	0.323	* =	· ·	=
	AV 6, RFV 6, ADV 6	10	ie.	0.055	0.170	0.313	0.446	0,56	0,65			
Danfoss	RA-UN	15	RA 2000	0.02	0.06	0.11	0,17	0.23	0.30	0.35	5	0.48
	RA-UR	15	RA 2000	0,03	0,03	0,06	0.11	0.18	0.24	0,31	8	0.47
	RA-N	15	RA 2000	0,04	0,09	0.16	0.25	0,36	0.43	0,52	2	0,73
Heimeler	F-exakt	15	ET, DT, AT	0.017	0,041	0,063	0,111	0.177	0,316	12	2	8
	V-exakt	15	ET, DT, AT, WET	0.047	0.098	0,161	0.234	0,364	0.468	+	*	+
Honeywell / MNG	FV	15	(B)	0.02	0.04	0,11	0,19	0.25	0.29	0.32	0.35	3
	V	15	120	0,04	0,08	0.20	0.29	0,33	0,35	0,38	0.41	2
Oventrop	F	15	120	0,025	0,051	0,095	0.152	0,228	0,323	22	````````	8
	AV 6, RFV 6, ADV 6	15	(4)	0,055	0,170	0,313	0,446	0.56	0.65		¥	¥
Danfoss	RA-UN	20	RA 2000	0.02	0.06	0,11	0,17	0.23	0,30	0,35		0.48
	RA-N	20	RA 2000	0,10	0,16	0.24	0.33	0.44	0.56	0.73		1.04
	RA-N	20 UK	RA 2000	0,17	0.25	0.29	0,40	0.52	0,60	0,73		0.80
Heimeier	V-exakt	20	ET, DT	0,047	0,098	0,161	0,234	0,364	0,468			
Honeywell / MNG	FV	20	191	0,02	0,04	0.11	0,19	0.25	0.29	0,32	0.35	
	V	20	(9)	0,04	0,08	0.20	0.29	0,33	0,35	0,38	0.41	-
Oventrop	F	20	(2)	0,025	0,051	0,095	0,152	0,228	0,323	15		8
	AV 6, RFV 6, ADV 6	20	; <u>4</u> 0	0.055	0.170	0.313	0.446	0,56	0.65	ş	2	2
Danfoss	RA-N	25	RA 2000	0.10	0.16	0.24	0,33	0.44	0.56	0,73		1.04

Abbildung 45 k_V -Werte heute üblicher voreinstellbarer Ventile (T09)

Sind keine voreinstellbaren Ventile in der Anlage vorhanden, müssen entsprechende Ventile oder auch nur Ventileinsätze (nicht bei allen Fabrikaten möglich) nachgerüstet werden.

Teilweise können die in Anlagen vorhandenen voreinstellbare Thermostatventile verbleiben und müssen nur nachträglich eingestellt werden. Die nachfolgenden Bilder helfen, vorhandene voreinstellbare Ventile bekannter Hersteller zu identifizieren.

Ventilunterteile

F-exakt:



Ventileinsätze und Oberteile

Thermostat-Oberteil F-exakt:

F-exakt besitzt ein Thermostat-Oberteil in Silberfarbe. Gegebenenfalls rote Farbmarkierung auf dem F-exakt Ventil.



V-exakt:



Thermostat-Oberteil für V-exakt: V-exakt besitzt ein Thermostat-Oberteil in Goldfarbe. Gegebenenfalls weiße Farbmarkierung auf dem V-exakt Ventil.



Firmenlogo:



Abbildung 46 Ventile von Heimeier (A51-A55)

Ventilunterteile Typ RA-UN:



Ventileinsätze und Oberteile Thermostat-Oberteil RA-UN:



Typ RA-N:



Thermostat-Oberteil für RA-N: RA-N besitzt einen gelben Einstellring



Buchstabe "D"



RA-N besitzt bei älteren Baureihen einen silbernen Einstellring:



Abbildung 47 Ventile von Danfoss (A43-A48, A50)



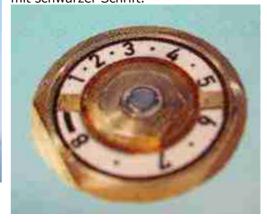
Ventileinsätze und Oberteile Typ FV: Typ FV besitzt einen Rotguss-Einstellring mit weißer Schrift.



Typ V:



Typ V: Typ V besitzt einen weißen Einstellring mit schwarzer Schrift.



Firmenlogo:



Abbildung 48 Ventile von Honeywell/MNG (A39-A42, A49)

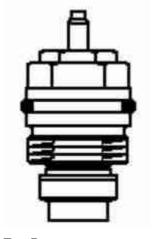
Ventilunterteile

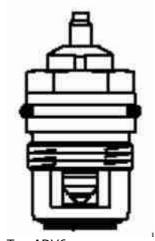
Baureihe A: Schutzkappe schwarz Baureihe RF: Schutzkappe blau Baureihe AV6: Schutzkappe weiß Baureihe F: Schutzkappe rot Baureihe ADV6: Schutzkappe grau

Ventileinsätze und Oberteile

Тур А (Für Baureihe A und ŘF):

Typ AV6 (für Baureihe AV6 und RFV6):

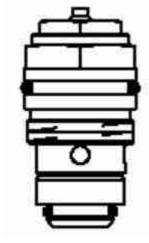




Buchstaben "OV":



(für Baureihe F):



Typ ADV6 (für Baureihe ADV6):

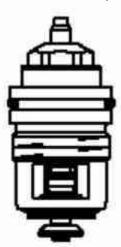


Abbildung 49 Ventile von Oventrop (A34-A38)

ABSCHNITT III: WEITERFÜHRENDE INFORMATIONEN

1 Softwarelösung

Allgemeines

Die bisherigen Ausführungen haben gezeigt, wie komplex die Zusammenhänge in einer bestehenden Heizungsanlage sind, und dass eine optimale Abstimmung der Anlage nur unter Berücksichtigung zahlreicher Randdaten möglich ist. Um die aufgezeigte Herangehensweise an eine Optimierung dennoch in der täglichen Praxis anwenden zu können, wurde an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel im Auftrag des enercity-Klimaschutzfonds proKlima aus Hannover an einer benutzerfreundlichen Softwarelösung gearbeitet.

Mit dem Programm "Optimierung von Heizungsanlagen - Hydraulischer Abgleich" steht eine Arbeitshilfe zur Verfügung, mit deren Hilfe die Berechnung des hydraulischen Abgleichs auch in Bestandsgebäuden nicht mehr abschreckend wirkt, sondern möglichst einfach in den Arbeitsprozess eingefügt werden kann.

Nach Eingabe weniger notwendiger Daten von Gebäude und Heizungsanlage führt das Programm eine vereinfachte, an die DIN 4701 angelehnte Heizlastberechnung durch. Anschließend wird die notwendige Übertemperatur der einzelnen Heizkörper sowie die optimale Temperaturspreizung der gesamten Heizungsanlage berechnet. Für den resultierenden Volumenstrom berechnet das Programm schließlich die erforderliche Förderhöhe der Umwälzpumpe sowie die für die Voreinstellung der einzelnen Thermostatventile benötigten k_{ν} -Werte.

Mit der Zielrichtung, eine Anlage in möglichst wenigen, überschaubaren Arbeitsschritten zu optimieren, soll die Software folgendes ermöglichen:

- Einfache, aber zugleich ausreichend genaue Ermittlung der Auslegungsheizlasten der einzelnen Räume,
- Bestimmung der Normheizleistungen der installierten Heizkörper für die üblichen Typen anhand einer hinterlegten Datenbank,
- Bestimmung des thermisch ungünstigsten Heizkörpers (geringste Überdimensionierung) durch Vergleich der Auslegungsraumheizlasten und der Normheizleistung der installierten Heizflächen,
- Berechnung der benötigten Übertemperaturen für alle Heizkörper,
- Auswahl einer geeigneten Auslegungsvorlauftemperatur unter Berücksichtigung diverser Randbedingungen, u.a. des Wärmeübertragerkennwerts und der sich ergebenen k_v-Werte der Thermostatventile,
- Ermittlung der Auslegungsvolumenströme der einzelnen Heizflächen für die gewählte Vorlauftemperatur,
- Berechnung einer optimal einzustellenden Restförderhöhe in Systemen, die einstellbar sind.
- Berücksichtigung der real einstellbaren oder vorhandenen Restförderhöhe der Pumpe oder des Differenzdruckreglers (Mindesteinstellwerte, feste Pumpen, stufige Pumpen usw.),
- Berechnung des Druckverlustes im Rohrnetz (incl. n\u00e4herungsweise Bestimmung des neuen R-Wertes) und damit des Differenzdrucks, der an den einzelnen Thermostatventilen zur Verf\u00fcgung steht,
- Bestimmung des benötigten k_v-Werts der einzelnen Thermostatventile

Falls erforderlich, schlägt das Programm den Einsatz eines Differenzdruckreglers vor, z.B. bei Wandgeräten mit sehr hoher festvorgegebener Restförderhöhe. Weiterhin werden Hinweise gegeben, wenn die Wahl des optimalen Temperaturniveaus nicht oder nur mit Abstrichen möglich ist.

Praxistest - Anwendung des Programms in der Praxis

Der im Versorgungsgebiet der Stadtwerke Hannover AG angesiedelte enercity-Fonds *proKlima* fördert im Rahmen seines Breitenförderprogramms "Energetische Modernisierung von Wohngebäuden" den hydraulischen Abgleich von Heizungsanlagen. Ab 2004 wird der Nachweis einer durchgeführten Qualitätssicherung Bedingung für alle Fördermaßnahmen bei der Modernisierung der Heizungstechnik sein.

Das hier Programm wird seit Juli 2003 von proKlima in Hannover kostenlos an Handwerksbetriebe ausgegeben. Es sind mittlerweile mehrere 100 Programmnutzer registriert.

Das von der DBU geförderte Projekt "Optimus" hat die Software in enger Zusammenarbeit mit proKlima weiterentwickelt. Die meisten der fast 100 untersuchten Häuser wurden mit dem Programm durchgerechnet, um die optimalen Parameter zu bestimmen. Die eigentliche Optimierung fand bisher erst in etwa 30 Ein- und Mehrfamilienhäusern unterschiedlicher Baualtersklassen statt. Die restlichen Gebäude dienen der Vergleichsmessung und können auf Basis der Rechenergebnisse ggf. nach Projektende optimiert werden.

Benötigte Ausgangsdaten - Aufnahmeformulare

Die zur Optimierung notwendigen Daten des Gebäudes, die in das Softwareprogramm eingegeben werden, können mit Hilfe von drei Aufnahmeformularen vor Ort aufgenommen werden.

Auf dem Aufnahmeformular I werden allgemeine Daten, wie die Adressen von Gebäude und Ansprechpartner erfasst. Des Weiteren werden allgemeingültige Angaben für die vom Programm durchzuführende Heizlastberechnung abgefragt, beispielsweise die Lage des Gebäudes, das Gebäudebaujahr und der überwiegend verwendete Fenstertyp. Diese Daten werden im Programm dazu verwendet, um zum Beispiel typische U-Werte (früher k-Werte) für Wände und Fenster abzuschätzen.

Das Aufnahmeformular II fragt die Daten zum Heizkreis ab und muss für jeden im Gebäude vorhandenen Heizkreis, der eine eigene Pumpe bzw. einen eigenem Strangdifferenzdruckregler besitzt, separat ausgefüllt werden. Abgefragte Daten sind im Einzelnen:

- Art der Wärmeerzeugung: Gas-/Ölkessel oder Fernwärme,
- Angabe der maximal möglichen Kesselvorlauftemperatur bzw. bei Fernwärmesystemen der einzuhaltenden Vor- und Rücklauftemperaturen,
- eingesetzte Umwälzpumpe: Hersteller, Typ und Angaben über die Förderhöhe und Einstellmöglichkeit (stufenlos oder stufig),
- am evtl. vorhandenen Differenzdruckregler eingestellter Differenzdruck,
- am evtl. vorhandenen Überströmventil (im Kessel integriert oder extern) eingestellter Ansprechdruck,
- Aufnahme von vorhandenen Sonderbauteilen wie Schwerkraftbremsen, Wärmemengenzähler usw.,
- Länge des längsten Strangs (Summe aus Vor- und Rücklauf) im Heizkreis

Die Aufnahmeformulare nach Abbildung 50 können von der Optimus-Homepage geladen werden.

77	asteller.	0	7		ufnah	mefo	ımu	lari			pro	KIIma enercity-l	onds		
A) Antra	detallar	11.12	BEΩ												
Name Vornam	N	2	1		A	ıfnah	mefo	ormula	ır II			ProK	lima narcity Fo	nds	
Staße	C) Daten (des	He	eizkreise	S										
Hausnu ₽LZ	Nummer/ 1. Art der	1	N	XXX	y	2	Aufna	hmefor	mular I	U.			2	pro	Klima monthe foods
Wehner B) Gebä	Gas-OI maximal n	1.	Wo	umdateni hnung und im-Nr. und	Heizkreis]
1. Gebo	2 Pumper	2	Al	Igemein:	Flach	e des Bode Raumb	ena in m² She in m	-	-	Wen	tarim kudisi notim kudi volumen in	500	0	*#	
Hausnu PLZ Ort	Typ: stufenios	2.	Beg	re nžungsf krospisova s k urganaran Pa	lächen, di	e an Auf na 04 + Sana uA enut 34 +	Senjuft,	Premis Di	oder Ra	dare da Tolia e	nderen T		uren gren. eter: Tor	- SMEXICA-SE-S	5K):
2. Geba	nicht stufe 3. Einbau		12	Segenzige- Name	Flache In Inf Inst Facetaid	Arti angreni 'Reur	Sincen.	Breite in m	Hone in	Stets bin	Haze #	Brede in n	Honem	Srede in m	Hone in
Einfami	Differented		1	FB				\times	><	><	><	><	$\supset <$	><	$\supset <$
vandsta	internes U		2	DK				Tree	37	1311		1			
tele La			1					Teres	-	Fear			7.	Farias	T,
see La	externes L		4	1				Fear	J*	2040	J-	79,69	H*	79.00	P
3. Über	Sonderein		5	- 1	- 3		-	Testa	₽ :	Ferr		Ferre	120	Ferrer]=
Verglas	Hinses B	î	8	-				F###//	□ 8	Fear	J.	79'22	179	- P#	12
1-Schel	Lange des	1	.7				_	Teres	J9	Fere	J-	J. Fees	J-	J*raw	J.
2-Schel	4. Notizer		1					_ Ferma		Fear	_ to	James	10	Taran	Jb .
2-Schel	4. NOULE		=1		-			Feate	14	Feet	-	74:00	1.2	Terior.	
3-Sone			9					Tele		Ferr		Ferre		Total .	
3-Schei		Į.	16	y	- 1			e)	20			G.	Ţ.	<u> </u>	g l
4. He	4	_													-
Fullbod		4.	Hei	diachen:	Name Allia			- 1		10101	,				
7 010000		ı	-	K Baust nie	körger für Recience, G Necience Fa	on the		- 1			- 4		1		
			5au	DOSE O PKS	- A 1044004400	6 14/000640				1					
-			Ent	emudazur Pu	mpe imile • Angelen Shang	22 22 S.c.	190	nte	RES	10.00	mitte	1 123	19	TO SE	West
				H 563	e Existe Biotinun b										
				Patrikat Ty	t. 5auart um midata bilenti	t DN G					,,	100		110	
				Thent	nete Stalie is Ostati en SIT			0	76/1		Θ	755	1	0	00 D
		٠,		No reinstellun	stelbar aktı idiz B. Noc	Set3			100		-23		S 8	27	
			MI-	Fluckeyt ein rde eine Vore	erschreutu ere foarf		3	€)	nen nen	1	\leftrightarrow	1000	3	· (-)	W- W-
				Ventilyo	ros rom men	30	_ *	0	- 348		0		1 *	0	Self

Abbildung 50 Aufnahmeformular I bis III (B23)

Das Aufnahmeformular III muss für jeden zu beheizenden Raum ausgefüllt werden. In einem Einfamilienhaus also beispielsweise 8 bis 12 mal. In Mehrfamilienhäusern bzw. Gebäuden mit mehreren Heizkreisen sind die Räume den einzelnen Heizkreisen zuzuordnen.

Neben allgemeinen Angaben zum Raum, wie z.B. der Raumgrundfläche, müssen für die spätere Heizlastberechnung alle Begrenzungsflächen des Raumes aufgenommen werden, die an Außenluft, Erdreich oder Räume mit deutlich abweichenden Temperaturen grenzen. Zum Schluss werden Angaben zu den vorhandenen Heizflächen abgefragt.

Um die in Aufnahmeformular III geforderten Grund- und Außenwandflächen möglichst einfach und schnell erfassen zu können, empfiehlt sich beispielweise der Einsatz eines Laser-Entfernungsmessgeräts. Diese sehr handlichen Messgeräte stellen nicht nur die schnellste und einfachste Art zur Ermittlung von Längen dar, sondern berechnen automatisch Flächen und Volumen ohne umständlich mit Zollstock oder Maßband und Taschenrechner hantieren zu müssen.

Programm-Ablauf

Der Benutzer wird anhand von einzelnen Masken durch das Programm geführt. Dabei werden alle zur Optimierungsberechnung notwendigen Daten vom Programm nacheinander entsprechend der Reihenfolge in den ausgefüllten Aufnahmeformularen abgefragt. Im Programm wird zwischen der Eingabe von Gebäudedaten (1. Programmteil: Heizlast) und Anlagentechnik (2. Programmteil: Anlagentechnik) unterschieden, siehe Abbildung 51.

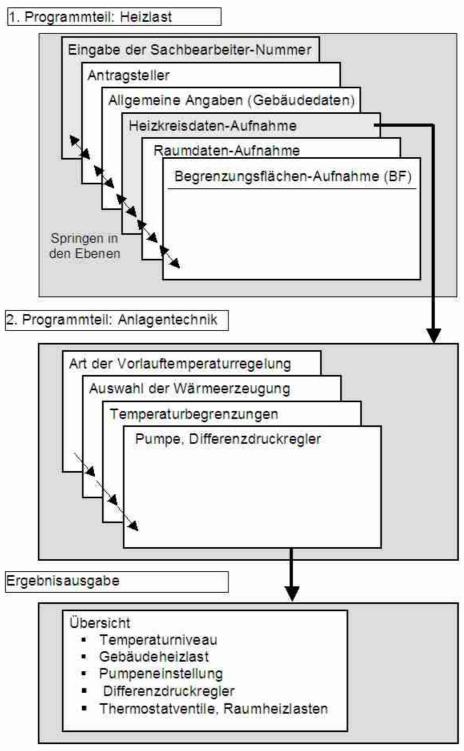


Abbildung 51 Gliederung des Programms in verschiedene Ebenen (B24)

Für die Heizlastberechnung sind Angaben über Wandaufbauten und daraus resultierende U-Werte (früher k-Werte) zu machen. Im Gebäudebestand ist dies in der Regel nicht möglich, deshalb sind im Programm in Abhängigkeit von der Baualtersklasse des Gebäudes Standard-U-Werte hinterlegt. Dennoch bleibt jederzeit die Möglichkeit offen, genaue Angaben zum Wärmedurchgang der Wand zu machen.

Ein Vergleich der vereinfachten Raumheizlastberechnung des Programms mit einer ausführlichen Heizlastberechnung nach der früher gültigen DIN 4701 Teil 1 wurde in Untersuchungen an der FH Braunschweig/Wolfenbüttel durchgeführt [13]. Es zeigte eine ausreichend gute Übereinstimmung beider Ergebnisse.

Berechnungsstrategie des Programms

Die nachfolgenden Ausführungen richten sich an interessierte Leser, die an der Arbeitsweise der Software interessiert sind. Es wird gezeigt, wie die beschriebenen Systemzusammenhänge bei der Optimierung im Programm berücksichtigt und umgesetzt werden. Zur Orientierung dienen zwei Bilder, die den Programmablauf beschreiben.

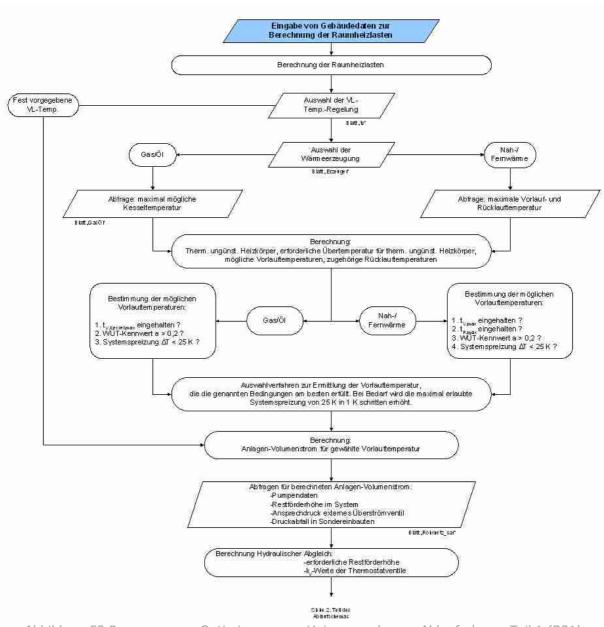


Abbildung 52 Programm zur Optimierung von Heizungsanlagen: Ablaufschema Teil 1 (B31)

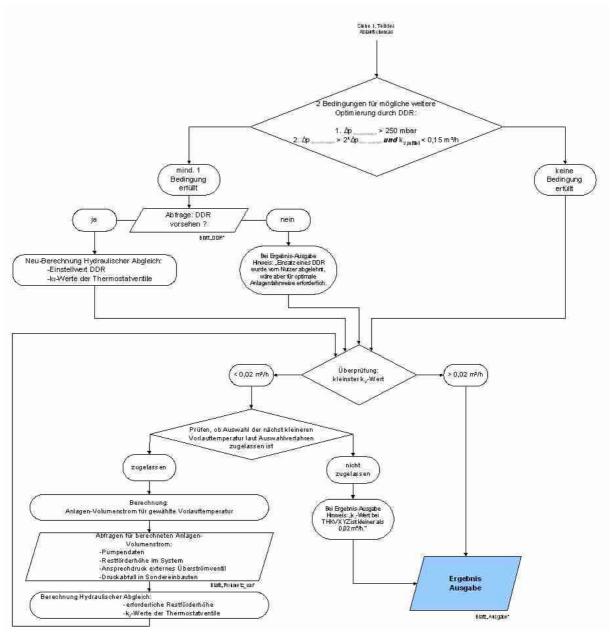


Abbildung 53 Programm zur Optimierung von Heizungsanlagen: Ablaufschema Teil 2 (B32)

Zunächst werden die Heizkörper-Normleistungen $\dot{Q}_{HK,76/65/20}$ und Auslegungs-Raumheizlasten $\dot{Q}_{Raum,A}$ für die einzelnen Räume ermittelt. Die Auslegungs-Raumheizlast wird mit Hilfe einer vereinfachten Heizlastberechnung ermittelt, die sich im Wesentlichen auf die Außenflächen bezieht und **nicht** mit einem auf die Grundfläche bezogenem Kennwert.

Anhand des Verhältnisses aus benötigter Raumheizlast und der auf die gewünschte Raumtemperatur umgerechneten Heizkörperleistung $\dot{Q}_{HK,76/65/tRaum}$ wird der thermisch ungünstigste Heizkörper bestimmt. Für diesen Heizkörper wird die Übertemperatur Δt_{ln} berechnet, die es dem Heizkörper (HK) ermöglicht, die Raumheizlast genau zu decken.

$$\Delta t_{\text{In,ben\"{o}tigt}} = \left(\frac{\dot{Q}_{\text{Raum,A}}}{\dot{Q}_{\text{HK,75/65/20}}}\right)^{\frac{1}{n}} \cdot \Delta t_{\text{In,HK,75/65/20}} = e^{\frac{In\left(\frac{\dot{Q}_{\text{Raum,A}}}{\dot{Q}_{\text{HK,75/65/20}}}\right)}{n}} \cdot \Delta t_{\text{In,HK,75/65/20}}$$

Für den Bereich von Vorlauftemperaturen $t_{v,A}=50$ bis 90 °C werden zunächst alle Spreizungen berechnet, die zu der am thermisch ungünstigsten Heizkörper benötigten Übertemperatur Δt_{ln} führen. Falls der Wärmeerzeuger z.B. nur 75 °C liefern kann, wird der Bereich auf maximal 75 °C statt 90 °C begrenzt. Wird die Auslegungsvorlauftemperatur fest vorgegeben (notwendig beispielsweise bei direkter Fernwärme), kann mit bis zu 110 °C gerechnet werden.

Anschließend werden aus den möglichen Spreizungen alle Paare gestrichen, die für den thermisch ungünstigsten Heizkörper zu einem Wärmeübertragerkennwert unter 0,2 führen, damit die resultierende Regelgüte akzeptabel bleibt. Dies sind jeweils die kleinsten Spreizungen, die zudem den Volumenstrom und damit die Druckverluste in den Heizkörperanbindeleitungen erhöhen würden.

Ebenso werden alle Wertepaare gestrichen, die Systemspreizungen größer 25 K zur Folge hätten (Systemspreizungen sind die Gesamtspreizungen am Kessel, nicht die Spreizungen einzelner Heizkörper). Damit werden starke Temperaturschichtungen im Heizkörper vermieden, die von den Nutzern als negativ empfunden werden könnten. Zudem sind die heute am Markt befindlichen Wandkessel aufgrund ihres geringen Wasserinhaltes in der Regel nicht in der Lage, ihre volle Leistung bei einer Spreizung von mehr als 25 K abzugeben.

Sollten nun gar keine Wertepaare mehr übrig sein, wird eine Systemspreizung über der 25 K-Grenze zugelassen. Es obliegt den Programmnutzer, zu prüfen, ob der Wärmeerzeuger in der Lage ist, eine Systemspreizung von mehr als 25 K zu fahren. Falls nicht müssen evtl. betroffene, zu kleine Heizkörper durch größere ersetzt werden.

Aus den verbleibenden Temperaturpaaren werden anschließend alle Wertepaare gestrichen, die zu Thermostatventilen mit k_v -Werten kleiner als 0,02 m³/h führen . Dies sind Wertepaare mit großen Spreizungen. Dieser k_v -Wert kann mit den auf dem Markt verfügbaren feinstvoreinstellbaren THKV bei der kleinsten Voreinstellung gerade noch erreicht werden.

Bei der Berechnung von realen Anlagen stellte sich heraus, dass Räume mit extrem kleinen Heizlasten fast immer zu Problemen mit der Einhaltung des geforderten k_V -Wertes führen. Bei näherer Betrachtung des Problems wird deutlich, dass bei den gegebenen Randbedingungen der minimal mögliche k_V -Wert verfügbarer Thermostatventile bei Raumheizlasten unter 230 W nicht mehr eingehalten werden kann. Im Programm wird daher bei denjenigen Heizkörpern, die eine Raumheizlast von weniger als 230 W abdecken müssen, keine Überprüfung des k_V -Wertes durchgeführt.

Aus den nun noch vorhandenen, möglichen Wertepaaren von Vor- und Rücklauftemperatur wird dasjenige ausgewählt, das den größten Wärmeübertragerkennwert ermöglicht.

Bei einer einheitlichen Heizkörperauslegung ist derjenige Heizkörper der hydraulisch ungünstigste, der am Ende des längsten Strangs angeordnet ist. Aus dem Druckverlust dieses Stranges und der Vorgabe einer Ventilautorität von $a_V=0,3$ lässt sich die benötigte Mindest-Restförderhöhe nach folgender Gleichung berechnen:

$$\Delta p_{erf,min} = 1.43 \cdot (\Delta p_{Netz} + \Delta p_{Sonder}) = 1.43 \cdot (R \cdot I \cdot ZF + \Delta p_{Sonder})$$

Bei einer nicht einheitlichen Auslegung kann aufgrund fehlender Informationen über das Rohrnetz der hydraulisch ungünstigste Heizkörper praktisch nicht bestimmt werden. In diesem Fall wählt man den Druckverlust über den Thermostatventilen so hoch, dass dem Druckverlust im Rohrnetz keine Bedeutung mehr zukommt. Die Ventile werden mit einer hohen Ventilautorität von $a_V=0.5$ ausgelegt. Der Nachteil einer erhöhten Pumpförderleistung und Stromaufnahme muss in Kauf genommen werden.

$$\Delta p_{erf,min} = 2 \cdot (\Delta p_{Netz} + \Delta p_{Sonder}) = 2 \cdot (R \cdot I \cdot ZF + \Delta p_{Sonder})$$

Liegt die berechnete erforderliche Restförderhöhe $\Delta p_{erf,min}$ im einstellbaren Bereich der Pumpe bzw. des Differenzdruckreglers, wird der berechnete erforderliche Wert als tatsächliche Druckerhöhung Δp_{tats} verwendet. Für den Differenzdruckregler beträgt der minimale Einstellwert jedoch 50 mbar, kleinere Werte können an marktüblichen Geräten nicht eingestellt werden.

Ist die Restförderhöhe z. B. aufgrund einer bereits vorhandenen bzw. werksseitig im Kessel integrierten Pumpe fest vorgegeben, wird zunächst überprüft, ob die vorhandene Pumpenrestförderhöhe größer als die benötigte Restförderhöhe ist. Ist dies nicht der Fall, muss die Pumpe gegen eine größere getauscht werden - in der Praxis tritt dieser Fall praktisch nie ein. In anderen Fällen ist die vorhandene Druckerhöhung maßgeblich für das Netz, da sie ja nicht geändert werden kann. Wenn die feste Druckerhöhung aber sehr groß ist, wird ggf. ein zusätzlicher zentraler Differenzdruckregler vorgeschlagen, um die Thermostatventile zu entlasten.

Ist ein Überströmventil vorhanden, dessen Ansprechdruck unter der Pumpenförderhöhe liegt, gilt der am Überströmventil eingestellte Ansprechdruck als maßgeblich für das nachgeschaltete Netz.

Der Differenzdruck an den Thermostatventilen wird in Abhängigkeit von der zonalen Einteilung (nah, mittel, weit) berechnet. Zusammen mit dem benötigten Volumenstrom am jeweiligen Heizkörper lässt sich anschließend der k_v -Wert bestimmen.

Die Summe aller Einzelvolumenströme durch die Heizkörper ergibt den Systemvolumenstrom. Zusammen mit der benötigten Restförderhöhe kann mit Hilfe eines Pumpendiagramms eine geeignete Pumpe ausgewählt bzw. eingestellt werden.

Hinweis: Bei regelbaren Pumpen sollte der benötigte Betriebspunkt im Auslegungsfall im oberen Drehzahlbereich der Pumpe liegen (d. h. im rechten Drittel des Pumpendiagramms), damit die Pumpe im Teillastfall überhaupt die Möglichkeit hat, die Drehzahl und damit den Stromverbrauch zu reduzieren. Nicht regelbare Pumpen sind so auszulegen, dass der maximale Wirkungsgrad erst bei leicht verringertem Volumenstrom (bezogen auf den Auslegungsvolumenstrom) erreicht wird.

Optimierungsberechnung für ein reales Beispielgebäude

Das Softwareprogramm wurde an diversen Gebäuden getestet. Eines der Wohnhäuser soll hier als Beispielgebäude dienen.

Das zu untersuchende Mehrfamilienhaus wurde 1998 erbaut und hat 4 Etagen mit insgesamt 18 Wohneinheiten. Die Versorgung erfolgt über Fernwärme, der sekundäre Heizkreis ist durch einen Platten-Wärmeübertrager vom Fernwärmenetz entkoppelt und besitzt eine differenzdruckgeregelte Pumpe. Die sekundärseitige Vorlauftemperatur wird in Abhängigkeit von der Außentemperatur geregelt.

Die bei der Bestandsaufnahme vor Ort erfassten Daten wurden in das Programm übertragen und zum Teil mit Herstellerdaten ergänzt (Pumpenkennlinie, Vorgaben des Fernwärmeversorgers, ...). Abbildung 55 und Abbildung 56 zeigen die Ergebnisse der Programmberechnung.



Abbildung 54 Untersuchtes Mehrfamilienhaus (B25)

Sachbearbeiter		Antragsteller
Nummer : 2	*	Name : Wohnungsbaugesellschaft XYZ
Name : Muster	mann, Max	
Straße : Muster	str. 1	Gebäude
PLZ, Ort : 38302	Musterstadt	Straße : Beispielstr. 33
Telefon : 0800 2	266	PLZ, Ort : 30000 Beispielstadt
Telefax : 0800 2	267	Strang : Heizkreis gesamtes Gebäude
1.) Berechnete	Gebäude heizlast	2.) Optimiertes Temperaturniveau des Gesamtsystems
Gebäudekenndate	n:	Temperaturen für den Auslegungsfall:
Baualtersklasse	; 8) 01/1995 bis heute	
Grundfläche	: 1212 m²	Vorlauftemperatur : 69 °C> Am Regler eingestellte Heizkurve:
Heizlast	: 49 kW	Rücklauftem peratur : 41 °C Steilheit
spez. Heizlast	: 41 W/m²	Parallelverschiebung:
3.) Optimierte F	Pumpeneinstellung	4.) Differenzdruckregler
Pumpendaten:		Hinweis / einzustellende Reglerwerte:
Pumpentyp	: Stufenlos einstellbare Restförderhöhe	
Pumpenstufe	8′ ≈	Der Einsatz eines Strang-Differenzdruckreglers ist nicht erforderlich.
Restförderhöhe	: 80 mbar (entspricht 0,80 m)	
	: 1491 l/h	
Volumenstrom	1491 l/h	

Abbildung 55 Übersicht der Berechnungsergebnisse (B26)

Die erste Seite der Berechnungsergebnisse (Abbildung 55) enthält in Form einer Übersicht die Heizlast des Gebäudes, die einzustellende Auslegungs-Vorlauftemperatur und die daraus resultierende Auslegungs-Rücklauftemperatur sowie die vorzunehmenden Pumpen- bzw. Differenzdruckregler-Einstellungen. Weiterhin wird das für das gesamte Gebäude gemittelte Verhältnis von Norm-Heizkörperleistung (bei 75°C/65°C/ t_{Raum}) zur Auslegungs-Raumheizlast angegeben.

Die folgenden Seiten der Berechnungsergebnisse (Abbildung 56) enthalten Informationen zu den einzelnen Heizflächen. Wichtigster Kennwert hier ist neben der berechneten Raumheizlast (4. Spalte) der am Thermostatventil einzustellende k_v -Wert bzw. Druck und Volumenstrom am einzelnen Ventil. Weitere Informationen sind die sich einstellende Auslegungs-Rücklauftemperatur und das Verhältnis aus Norm-Heizkörperleistung bei 75°C/65°C/t_{Raum} zu Auslegungs-Raumheizlast. In Spalte 7 wird die Heizkörper-Normleistung nach DIN EN 442 (bei 75/65/20°C) wiedergegeben, die auch aus Herstellerkatalogen entnommen werden kann.

Raumdaten Heizkörperdaten							THKVs - Ermittlung der Voreinstellwerte					
lfd. Nr.	Raumbezeichnung	beheizte Fläche m²	Raum- Heizlast W	Heizkörpertyp	t _s	Norm- Leistung 75/65°C	Ver- hattnis O _{-ki} O _n	k _v - Wert m³/h	∆p mbar	Durch- fluss I/h	Gewähltes Ventil: Hersteller, Typ, DN	Gewählte Voreinstellung, Bernerkunger
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 Kt
3	Bad W1 EG	5,5	244	Profil-Flach-HK 22/900/500	27	1178	4,3	0.02	48	5		Spreizung > 30 KI
4	Küche W1 EG	12,2	378	Profil-Flach-HK 11/500/1200	29	970	2,6	0,04	48	8		Spreizung > 30 Kt
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	562	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 KI
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 Kt
15	Wohnen W3 EG	23,3	467	Profil-Flach-HK 11/500/1200	34	970	2,1	0,05	48	11		Spreizung > 30 KI

Abbildung 56 Ergebnisse der Berechnung für die ersten 15 Heizkörper (B27)

Angaben zu Hersteller, Typ und DN des vor Ort vorhandenen bzw. des zu installierenden Thermostatventils werden per Hand in den Ausdruck der Ergebnisse eingetragen (siehe Abbildung 56). Anhand der Herstellerunterlagen zum Ventil wird eine Voreinstellung gewählt, so dass der berechnete k_v -Wert erreicht wird (Im Handbuch zum Programm gibt es eine Zusammenstellung der Daten der üblichsten voreinstellbaren Thermostatventile). Vor Ort kann dann anhand der ausgefüllten Liste (Programmausdruck) Heizkörper für Heizkörper einreguliert werden. Der Ausdruck selbst dient nach der Einregulierung der Anlage zur Dokumentation der ausgeführten Arbeiten und ist wichtiger Bestandteil eines Qualitätssicherungskonzepts.

Vergleich der Software mit ausführlicher Rohrnetzberechnung

Im Folgenden soll der Frage nachgegangen werden, ob die Ergebnisse der Rohrnetzberechnung mit dem Softwareprogramm trotz der gemachten Vereinfachungen ausreichend genau sind.

Durch die im diesem Beispielgebäude idealerweise vorhandenen Grundrisspläne mit dem dazugehörigem Strangschema und den Rohrdimensionen der Heizungsleitungen ist eine ausführliche Rohnetzberechnung möglich. Die Versorgung der Heizkörper erfolgt durch eine im Keller installierte untere Rohrverteilung (siehe Abbildung 57).

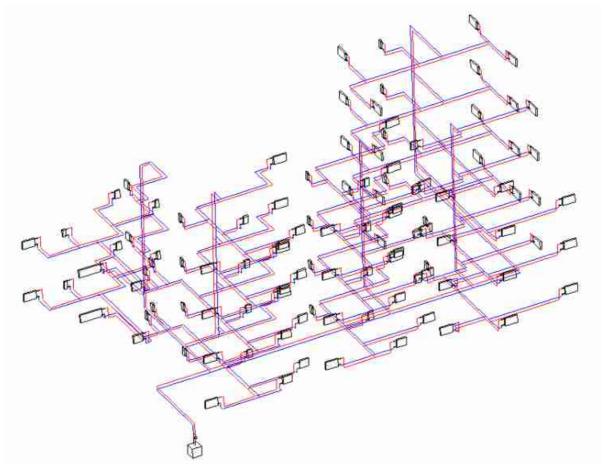
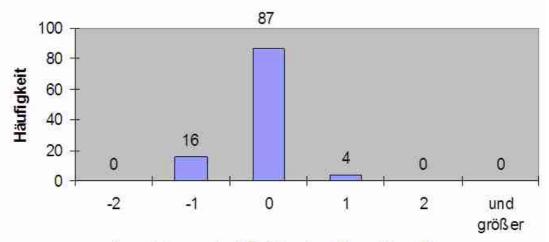


Abbildung 57 Rohrnetz des untersuchten Gebäudes (B28)

Für die ausführliche Rohrnetzberechnung – wie sie dem Leser für eine Neudimensionierung von Netzen bekannt sein wird – und die vereinfachte Softwareberechnung mit dem Programm "Optimierung von Heizungsanlagen" werden jeweils dieselben Werte für die Restförderhöhe der Pumpe, die Raumheizlasten und die Heizkörpernormleistungen verwendet.

Programm vs. Rohrnetzberechnung



Abweichung der VE (Voreinstellung) laut Programm gegenüber der VE laut ausführlicher Rohrnetzberechnung in Stufen

Abbildung 58 Vergleich der Programmberechnung mit den Ergebnissen der ausführlichen Rohrnetzberechnung – Größenordnung und Häufigkeit der einzelnen Abweichungen (B29) Als Ergebnis liefern beide Berechnungsverfahren die für die Thermostatventile benötigten k_V -Werte und die daraus resultierenden Voreinstellungen. Abbildung 58 zeigt, wie stark und wie häufig die Voreinstellungen der vereinfachten Softwareprogrammberechnung von denen aus der ausführlichen Rohrnetzberechnung abweichen.

Das Softwareprogramm zur Optimierung von Heizungsanlagen führt in 87 von 107 Fällen (entspricht 81 %) zu exakt denselben Voreinstellungen wie die ausführliche Rohrnetzberechnung. In 16 Fällen (entspricht 15 %) führt die vereinfachte Softwareberechnung mit dem Programm zu einer um eine Stufe zu kleinen Voreinstellung (zu kleiner k_v -Wert), in vier Fällen zu einer um eine Stufe zu großen Voreinstellung (zu großer k_v -Wert).

Eine zu kleine Voreinstellung bedeutet theoretisch, dass es in den betreffenden Räumen nicht mehr ausreichend warm wird. Wegen der an mehreren Stellen in der Berechnung vorhandenen Sicherheiten (z.B. U-Werte) wird es in der Praxis wahrscheinlich auch bei einer geringfügig zu kleinen Voreinstellung nicht zu einer Unterversorgung kommen.

Der durchgeführte Vergleich der ausführlichen Rohrnetzberechnung mit der vereinfachten Rohrnetzberechnung (Programm zur Optimierung von Heizungsanlagen) an zwei realen Mehrfamilienhäusern in Braunschweig zeigt, dass die vereinfachten Annahmen ausreichend genau sind. Auf die genaue Rohrnetzaufnahme, die bei Bestandsgebäuden - wenn überhaupt - nur mit größtem Aufwand möglich ist, kann also ohne große Einbußen in der Berechnungsqualität verzichtet werden.

Die Einordnung der Heizkörper in drei Entfernungszonen (nah, mittel, weit) führt in Verbindung mit den verhältnismäßig exakt bestimmten Volumenströmen der einzelnen Heizkörper zu ausreichend genauen k_v -Werten und Voreinstellungen.

Vergleich eines überschlägigen Verfahrens mit der ausführlichen Rohrnetzberechnung

Die Optimierungsberechnung für das Gebäude erfolgt zusätzlich mit Hilfe eines überschlägigen Verfahrens [8]. Es soll verglichen werden, wie weit die Ergebnisse des Softwareprogramms "Optimierung von Heizungsanlagen" und die überschlägige Berechnung differieren.

Das überschlägige Verfahren kann aufgrund seiner Einfachheit auch ohne Rechnerunterstützung angewendet werden. Die Heizlastberechnung erfolgt für alle Räume anhand einer fest vorgegebenen, grundflächenbezogenen Heizlast von 40 W/m² (Gebäude mit mehr als 2 Wohnungen, Baujahr 1998, NEH).

Der Auslegungsvolumenstrom der einzelnen Räume wird mit einer gewählten Spreizung von 20 K bestimmt. Eine detaillierte Rohrnetzberechnung erfolgt nicht, stattdessen gibt das Verfahren einen einheitlichen Druckabfall von 100 mbar über den Thermostatventilen vor. Unter diesen Randbedingungen wurden die k_v -Werte und Voreinstellungen für die Thermostatventile bestimmt. Abbildung 59 zeigt, zu welchen Abweichungen diese Vorgehensweise gegenüber der exakten, ausführlichen Rohrnetzberechnung führt.

Es zeigt sich, dass bei Verwendung des überschlägigen Verfahrens die Anzahl der von der ausführlichen Rohrnetzberechnung abweichenden Voreinstellungen erheblich ist, und dass die Abweichungen zum Teil zwei Stufen betragen. Nur 39 % aller Voreinstellungen stimmen mit der ausführlichen Rohrnetzberechnung überein, bei knapp der Hälfte aller Ventile weichen die Voreinstellungen um eine Stufe, in 15 % aller Fälle um zwei oder mehr Stufen vom Referenzwert ab. Die um zwei Stufen zu kleinen Voreinstellungen können in der Praxis zu Nutzerbeschwerden führen, denen eine Erhöhung der Pumpenleistung oder der Vorlauftemperatur folgt. An den eigentlich ausreichend versorgten Heizkörpern steht dann ein erhöhtes Verschwendungspotential zur Verfügung.

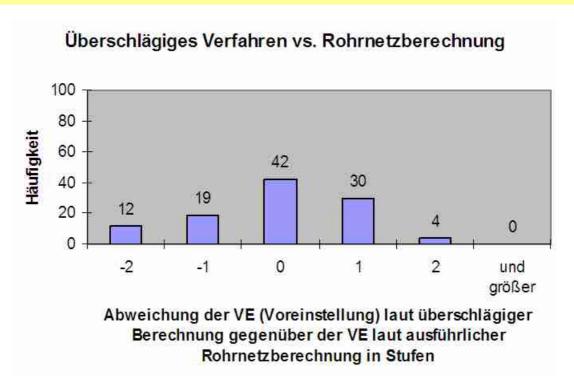


Abbildung 59 Vergleich des überschlägigen Verfahrens mit den Ergebnissen der Rohrnetzberechnung – Größenordnung und Häufigkeit der einzelnen Abweichungen (B30)

Dem Vorteil eines verringerten Aufwandes zur Bestimmung der Voreinstellungen steht der Nachteil größerer Ungenauigkeit gegenüber (diese Steigt mit der Ausdehnung des Rohrnetzes und minimiert sich im Einfamilienhaus).

Bei der Beispielrechnung mit dem überschlägigen Verfahren haben die Autoren die wählbaren Parameter jeweils günstig angenommen. Dies ist in der Praxis nicht zu erwarten. Der Anwender des Verfahrens hätte beispielsweise auch mit einer flächenbezogenen Heizlast von 70 W/m² rechnen können, da es sich hier nicht um ein spezielles Niedrigenergiehaus, sondern um ein "normales" Mehrfamilienhaus neueren Baujahrs handelt. In der Praxis wäre für das Gebäude von 1998 ggf. auch eine geringere Spreizung als 20 K gewählt worden, da 5, 10, 15 und 20 K zur Auswahl stehen.

Legt man 70 W/m² und 10 K zu Grunde, wären die Abweichungen des überschlägigen Verfahrens noch weit größer. Die überwiegend zu großen Voreinstellungen ermöglichten ein Verschwendungspotential und können zu erhöhten Verbräuchen führen.

Das geschilderte Problem der Fehleinschätzung der Volumenströme und damit die Wahl unpassender Thermostatventile ist nach Einschätzung der Autoren generell bei allen vereinfachten Berechnungen eines hydraulischen Abgleichs anzutreffen. Eine Heizlastberechnung nach Grundfläche mit konstanter flächenbezogener Last bildet die realen Verhältnisse ebenso wenig ab wie die Annahmen, dass Heizkörper in der Praxis passend zur Raumheizlast dimensioniert wären. Nur dann würden sich konstant im gesamten Gebäude ähnliche Spreizungen einstellen. In der Realität schwanken die Heizlasten und Überdimensionierungen so stark, dass sich innerhalb eines MFH Spreizungen von knapp unter 10 bis über 45 K ergeben.

Fazit: Aus oben geschilderten Problemen und Erkenntnissen leitete sich für die Gebäudeoptimierungen innerhalb des Optimus-Projektes ab, auf die grundflächenbezogene Heizlastberechnung zu verzichten. Es wurde stattdessen die außenflächenbezogene Heizlastberechnung mit der selbstentwickelten Optimierungs-Software durchgeführt, die hier bereits vorgestellt wurde.

Da alle Projektbeteiligten jedoch neben der Entwicklung von Software auch einen großen

Bedarf für die Weiterentwicklung vereinfachter Handrechenverfahren sahen und sehen, wurde ein zusätzliches Handrechenverfahren entwickelt. Es ermöglicht die außenflächenbezogene Heizlastberechnung und kann trotzdem ohne Verwendung des Computers für Ein- und Zweifamilienhäuser verwendet werden. Es vereint damit die Vorzüge des getesteten überschlägigen Verfahrens [8] mit der recht guten Genauigkeit der Software "Optimierung von Heizungsanlagen".

2 Messung von Einsparungen

Wollen Sie in einem Gebäude den Energieverbrauch bzw. die Einsparung einer Optimierung messen, empfiehlt sich der Einbau von Wärmemengenzählern - Abbildung 60.

Die getrennte Erfassung von Wärme für die Heizung und Trinkwarmwasserbereitung erleichtert die spätere Datenauswertung. Die Messwerte sollten im besten Fall monatlich aufgenommen werden. Dies kann der Eigentümer oder der Hausmeister erledigen oder es werden Zähler mit Speicherzähler installiert.

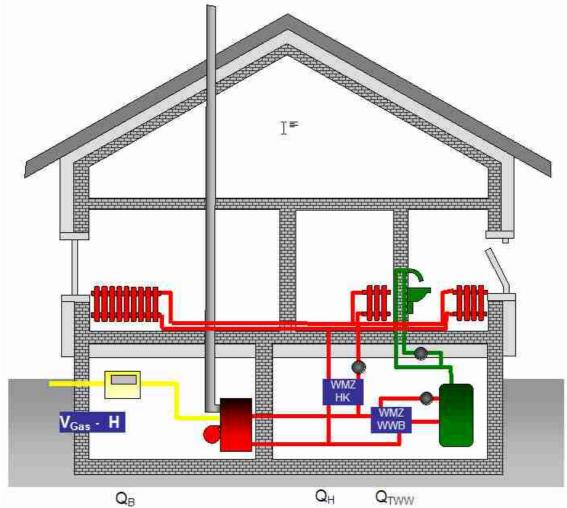


Abbildung 60 Anordnung von Wärmemengenzählern (A69)

Die Messwerte für den Heizwärmeverbrauch von zwei Jahren müssen witterungsbereinigt werden, um die Verbrauchswerte vergleichbar zu machen.

Da Einsparungen in der Größenordnung von etwa 10 % des Heizwärmeverbrauchs bzw. maximal 10 kWh/(m²·a) realistisch sind, sollte die Messwerterfassung sowie die Witterungsbereinigung sehr sorgfältig erfolgen.

3 Konsequenzen der Optimierung

An dieser Stelle folgen einige Randinformationen, die für den Fachhandwerker bei der Kundenberatung nützlich sein können. Zur Mieterinformation über die Konsequenzen einer Optimierung können Sie folgende Hinweise verwenden:

Vorteile der Optimierung:

- die Räume werden nach der Optimierung alle gleichmäßig schnell warm
- vorhandene Pfeifgeräusche werden beseitigt und Strömungsgeräusche zumindest stark vermindert
- die Kosten für den Betrieb der Pumpe können vermindert werden, sofern die Pumpen einstellbar sind und heruntergestellt werden
- die Gefahr einer Energieverschwendung bei versehentlich offen gelassenen Fenstern wird vermindert

Mögliche Probleme nach der Optimierung und Abhilfen:

- alle Räume werden nicht mehr ausreichend warm: Abhilfe kann durch eine leichte Erhöhung der Vorlauftemperatur (max. 5 °C) geschaffen werden. Dazu ist die Steilheit an der Regelung anzuheben.
- einzelne Räume werden nicht ausreichend warm: Verbesserung bringt ein leichtes Aufdrehen (z.B. von 3 auf 4) der Voreinstellung am betreffenden Thermostatventil, aber nur um max. 2 Stufen.
- es dauert sehr lange, bis alle Räume warm sind: hier kann kaum verbessert werden. In extremen Situationen kann die Erhöhung der Förderhöhe der Pumpe (oder der Einstellwert des Differenzdruckreglers) um max. 25 mbar Abhilfe schaffen.

4 Wertanalyse

Gelöste und ungelöste Fragestellungen

In den technischen Ausführungen wurde die Notwendigkeit der Optimierung von Heizungsanlagen vor allem im bereits baulich verbesserten Gebäudebestand verdeutlicht. Die beschriebenen Grundlagen zur Anpassung des Temperaturniveaus einer vorhandenen Heizungsanlage an die notwendige Heizlast sowie verschiedene Vorüberlegungen zur Verbesserung der Hydraulik (v. a. hydraulischer Abgleich) wurden in einem Softwareprogramm umgesetzt.

Darüber hinaus gibt es noch diverse weitere, komplexe Fragestellungen in der Bestandsverbesserung. Eine Lösungsstrategie für diese Fragen kann die nachfolgend vorgestellte Wertanalyse sein.

Werden die bisherigen Ausführungen zur Optimierung von Heizungsanlagen, einschließlich der Umsetzung in ein Softwareprogramm rückwirkend betrachtet, so kann folgender Schluss gezogen werden:

Die Optimierungsansätze und -strategien richten sich an Heizungsanlagen im Bestand, die im Zweirohrsystem mit Heizkörpern ausgestattet sind. Konventionelle Wärmeerzeuger (Kessel sowie Nah- und Fernwärmeanschlüsse) können optimiert werden. Die überschlägige Heizlastberechnung gilt nur für Gebäude ohne mechanische Lüftungstechnik bzw. unter deren Vernachlässigung.

Dieser Grobbeschreibung entspricht ein Großteil des Anlagenbestands in Deutschland, dennoch gibt es diverse Problemstellungen in der Praxis, die nicht mit einem Standardrechenprogramm bzw. -ansatz bearbeitet werden können. Zwei seien im Folgenden benannt und kurz erläutert.

- Gebäude mit zusätzlicher mechanischer Lüftungstechnik (z.B. nachträglich installierte kontrollierte Wohnungslüftung): Problem des nicht bekannten Einflusses der Lüftungsanlage auf die Raumheizlast. Die Optimierung kann dem in den vorhergehenden Teilen der Serie beschriebenen Schema folgen, jedoch muss die Raumheizlast unter Berücksichtigung der Luftführung im Gebäude bestimmt werden. Es ergeben sich höhere Heizlasten in Zulufträumen und geringere Heizlasten in Überströmzonen und Ablufträumen. Hier ist eine genauere Heizlastberechnung nach bzw. in Anlehnung an EN 12831 (neue Heizlastberechnung) notwendig.
- Gebäude mit Fußbodenheizung: Problem der unbekannten Heizleistung. Eine Optimierung des Temperaturniveaus sowie der hydraulische Abgleich kann nachträglich nur durchgeführt werden, wenn die installierte Heizflächenleistung bekannt ist. Hierzu reicht eine Gebäudebegehung nicht aus, vorhandene alte Plandaten sind unbedingt notwendig.

Darüber hinaus gibt es Fragestellungen, die einer genaueren Erörterung von Vor- und Nachteilen – auch aus unterschiedlichen Blickwinkeln – bedürfen:

- Austausch von Heizflächen aus Gründen der Heizkostenabrechnung: Für eine korrekte Heizkostenabrechnung bzw. -verteilung mit Hilfe von Verdunstungsmessgeräten oder elektronischen Ein- bzw. Zweifühlergeräten ist eine geräteabhängige, minimale Übertemperatur der Heizfläche notwendig. Ist diese Übertemperatur nicht gegeben, muss die gerechte Abrechnung in Frage gestellt werden. Die benötigte Übertemperatur einer Heizfläche im Bestand hängt nur von der echten Raumheizlast und der installierten Heizkörpernormleistung (Heizkörpergröße und -typ) ab, jedoch nicht von der gewählten Vorlauftemperatur. Daher muss unter Umständen erwogen werden, besonders stark überdimensionierte Heizkörper nach einer baulichen Modernisierung auszutauschen oder falls ausreichend, die vorhandenen Verdunster mit relativ hoher benötigter Übertemperatur durch Geräte mit entsprechend geringerer benötigter Heizkörperübertemperatur auszutauschen.
- Austausch von Heizflächen aus Gründen der Temperaturoptimierung: Ein ähnlich gelagertes Problem ist der Austausch von stark unterdimensionierten Heizflächen. Das Temperaturniveau einer Anlage und damit auch die notwendige Vorlauftemperatur in einer Bestandsanlage richten sich nach dem thermisch ungünstigsten Heizkörper (Heizkörper mit der geringsten Überdimensionierung gegenüber seiner zu deckenden Raumheizlast). Um sehr hohe Vorlauftemperaturen z.B. in Anlagen mit Wärmepumpen zu vermeiden, kann der Austausch der am stärksten unterdimensionierten Heizflächen zwingend erforderlich sein. Die Maßnahme führt zu besseren Arbeitszahlen der Wärmepumpen. Auch für konventionelle Wärmeerzeuger (z.B. Kessel) kann der Austausch von Heizflächen sinnvoll sein. Sind in einer Anlage einzelne Heizflächen verhältnismäßig klein dimensioniert, die überwiegende Zahl der Heizflächen jedoch normal oder sogar besonders groß dimensioniert, ergibt sich zwangsläufig eine sehr große Systemspreizung. Dies kann bei vielen Wandkesseln zu einer nicht optimalen Betriebsweise führen, da häufig Spreizungen von über 25 K nicht erlaubt sind bzw. die Kesselregelung dann reagiert, z. B. mit dem Reduzieren der Brennerleistung oder gar mit einer Sicherheitsabschaltung. Zudem muss eine übermäßig hohe Vorlauftemperatur gefahren werden, damit auch der thermisch ungünstigste Heizkörper die benötigte Heizleistung abgibt.
- Optimierung von Einrohrheizungen: Eine besondere Fragestellung ist die Optimierung von Einrohrheizungen. Hier ist v. a. im nachträglich baulich modernisieren Gebäude mit hohen Anteilen von Wärmeabgabe über die Rohrleitungen zu rechnen. Der Rohrwärmeanteil kann bis zu 90 % betragen. Eine gerechte Heizkostenabrechnung ist in diesem Fall in Frage zu stellen. Weiterhin gestaltet sich die Nachrechnung von Einrohrheizungen als sehr aufwendig schon im Neubau ist der Planungsaufwand beachtlich. Über einen Umbau der Einrohrheizung in Richtung auf eine Zweirohrheizung oder eine Komplettänderung des Systems muss in der Praxis nachgedacht werden.

- Einbau von Differenzdruckreglern: Wegen der besseren Regelbarkeit und zur Geräuschverminderung werden in Bestandsanlagen nachträglich Differenzdruckregler installiert. Die Kosten für eine Nachrüstung können oftmals nicht allein aus Gründen der Energieeinsparung bzw. betriebswirtschaftlichen Gründen argumentiert werden. Hier sind weit tiefgründigere Entscheidungskriterien wirksam.
- Nachrüstung von Lüftungsanlagen: Ob und in welchem Umfang (zentrale oder dezentrale Abluftanlagen, zentrale oder dezentrale Zu- und Abluftanlagen mit und ohne Wärmerückgewinnung) in bestehende Gebäude nachträglich installiert werden, ist ein vieldiskutiertes Thema. Hier treffen Argumente des Feuchteschutzes (dichte Fenster), der Energieeinsparung, der Wirtschaftlichkeit, des Komforts u. v. m. aufeinander. Gerade in Gebäuden mit modernisierten dichten Fenstern und gleichzeitig raumluftabhängig betriebenen Etagenheizkesseln besteht Handlungsbedarf. Eine Standardlösung kann auch hier noch nicht angegeben werden.

Diese und viele andere Problemstellungen erfordern eine umfassende Betrachtung aus verschiedenen Blickwinkeln, bevor eine Lösung vorgeschlagen werden kann. Die reine Betrachtung der Energieeinsparung oder Wirtschaftlichkeit genügt hier nicht. Ein Verfahren, dass in diesem Fall als Hilfsmittel zur Entscheidungsfindung verwendet werden kann, ist eine Wertanalyse. In vereinfachter Form wird sie dem Leser durch die ähnlich durchgeführte Produktbewertung der Stiftung Warentest ggf. bekannt sein.

Das Wertanalyseverfahren wird im Folgenden in seinen Grundzügen erläutert und anhand eines Beispiels vertieft vorgestellt. Es soll die Entscheidung getroffen werden, ob für ein Mehrfamilienhaus die vorhandenen 25 Jahre alten Etagenheizungen sukzessiv ersetzt werden oder ob eine zentrale Anlage zur Heizung und Trinkwarmwasserbereitung installiert wird.

Begriffe der Wertanalyse

Das Verfahren der Wertanalyse ist in DIN 69910 beschreiben. Einen Überblick über die Vorgehensweise und wichtige Begriffe zeigt Abbildung 61.

Zunächst werden die Problemstellung und mehrere Lösungsalternativen definiert. Die Entscheidung, welche der Lösungen optimal ist, ist das Ergebnis der Wertanalyse.

Um die Vor- und Nachteile einzelner Lösungsalternativen beurteilen zu können, beginnt das Wertanalysevorhaben mit einem Brainstorming bzw. einer Informationssammlung. Alle an der Diskussion Beteiligten stellen Fakten, Ideen, Vor- und Nachteile, die sich mit dem Problem und den Lösungsalternativen verbinden, zusammen. Dabei wird das Problem aus allen Blickwinkeln betrachtet.

Es ist also erforderlich, dass die beteiligten Akteure gleichberechtigte Diskussionspartner sind, aus verschiedenen Tätigkeitsfeldern kommen (z.B. Nutzer, Marketing, Handwerk, Energieberatung, Architektur, TGA-Fachplaner, ...) und unbedingt offen ihre Ideen und Meinung äußern können.

Nach dem erfolgten Einstieg in die Diskussion und Problematik wird eine Liste mit Funktionsmerkmalen (Anforderungen) erstellt, die alle Lösungsalternativen erfüllen sollen. Es sollen Geltungs- und Gebrauchsfunktionen, Soll- und Wunschfunktionen berücksichtigt werden.

- Gebrauchsfunktionen beschreiben die sachliche Nutzung (technischer und/oder organisatorischer Art) der betrachteten Beziehung. Sie sind in der Regel aufgrund physikalischer und/oder wirtschaftlicher Daten bzw. Qualitäts- und Verhaltensstandards quantifizierbar.
- Geltungsfunktionen sind ausschließlich subjektiv wahrnehmbare, personenbezogene Wirkungen (Aussehen, Komfort, Sozialmaßnahmen, Prestige) und allenfalls mit Methoden der Meinungsforschung bewertbar.

- Sollfunktionen müssen erfüllt werden,
- Wunschfunktionen können erfüllt werden.



Abbildung 61 Vorgehensweise bei der Wertanalyse ()

Bei der Bearbeitung technischer Probleme sollen auf jedem Fall Energieverbrauch und Kosten (Kapital-, Energie-, Wartungs- und Unterhaltskosten) angemessen berücksichtigt werden.

Liegt die Liste der Soll- und Wunschfunktionen vor, werden daraus Bewertungskriterien abgeleitet. Sie dienen dem Vergleich der Lösungsalternativen untereinander. Nicht jedes Bewertungskriterium wird aber gleich stark zur Entscheidungsfindung beitragen. Die Gewichtung hängt von der Sichtweise jedes einzelnen Beteiligten ab. Sie kann anhand einer Bewertungstabelle (siehe später folgendes Beispiel) mathematisch ermittelt werden. Für die Bewertung der Lösungsalternativen sollten sich alle Beteiligten auf eine einheitliche Gewichtung verständigen. Dies kann in einer offenen Diskussion erfolgen oder durch eine mathematische Mittelwertbildung der Gewichtungen jedes einzelnen.

Für die verschiedenen Lösungsalternativen müssen anschließend die Erfüllungsgrade der einzelnen Bewertungskriterien bestimmt werden. Die Frage, die sich hierbei jeder der Beteiligten stellt, lautet: wie gut erfüllt die Alternative x das Kriterium y. Die Bewertungen werden tabellarisch festgehalten. Anschließend erfolgt ein Abgleich der Ergebnisse der Beteiligten in Form einer Diskussion oder mathematisch.

Das Ergebnis ist die Entscheidung für eine Alternative. Diese Art der Entscheidungsfindung ist immer eine Kompromisslösung und unter Beachtung aller Randumstände die Lösung, die den Vorstellungen der Beteiligten an ehesten gerecht wird. Eine optimale Lösung, die allen Wunschvorstellungen entspricht, wird mit diesem Verfahren i. d. R. nicht gefunden. Gäbe es diese Lösung, hätte das Wertanalyseverfahren nicht durchgeführt werden müssen.

Beispiel Wertanalyse: Etagen- oder Zentralheizung

Das Verfahren der Wertanalyse soll anhand eines praktischen Problems bei der Optimierung von Heizungsanlagen demonstriert werden.

Ziel ist die Beantwortung der Frage, ob in einem Mehrfamilienhaus mit 6 Wohneinheiten und mit sanierungsbedürftigen Etagenheizungen im Rahmen der Instandsetzung nach und nach wieder Etagenheizkessel eingesetzt werden oder ob eine zentrale Heizung und Trinkwarmwasserbereitung installiert wird. Eine detaillierte Problembeschreibung sowie die Erläuterung der Lösungsalternativen sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Als Interessensgruppen bei der Diskussion und Argumentation kommen in Frage: die Mietervertretung, die Wohnbaugesellschaft als Investor, ein unabhängiger Energieberater, Vertreter des Fachhandwerks (bzw. Fachplaner TGA oder Architekten). Ferner könnten auch Hersteller von Kesseln oder das Versorgungsunternehmen in die Entscheidung mit einbezogen werden, die hier aus Gründen der Vereinfachung nicht mit berücksichtigt werden.

Problem:	rohrsystem un Speicher und Zi	Ein Mehrfamilienwohnhaus (6 Wohneinheiten) mit Gasetagenheizung im Zwei- rohrsystem und mit wohnungszentraler Trinkwarmwasserbereitung ohne Speicher und Zirkulation wurde bereits baulich saniert. Es soll nach 25 Jahren die alte Anlagentechnik ersetzt werden.						
Alternative 1:	Zentralisierung	Es wird eine zentrale Anlage zur Heizung und Trinkwarmwasser- bereitung mit Gasbrennwertkessel installiert. Anstelle der Gaszu- leitung in die Wohnungen werden eine zentrale Heizungsvertei- lung sowie eine zentrale Trinkwarmwasserverteilung mit Zirkula- tion verlegt. Im Keller wird ein Trinkwarmwasserspeicher vorge- sehen.						
Alternative 2:	Stufenweise Instandsetzung	Bei Bedarf werden im Verlauf der nächsten maximal 5 Jahre die 6 Etagenheizkessel durch etagenweise Gasbrennwertthermen ersetzt. Die Trinkwarmwasserbereitung im Durchlaufsystem ohne Zirkulation bleibt erhalten.						

Tabelle 1 Problemstellung und zwei mögliche Alternativen zu Lösung (T02)

Informationssammlung und Festlegung der Kriterien

Die Informationssammlung umfasst Überlegungen:

- zum Energieverbrauch,
- den verschiedenen Kostengruppen,
- der zeitlichen Abwicklung der Instandsetzung,
- zur Umweltwirksamkeit,
- dem Wohn- und Bedienkomfort der Nutzer,
- der Umsetzung durch Fachplaner,
- der späteren Folgekosten durch Wartung u. v. m.

Aus den Vorüberlegungen werden Funktionsmerkmale abgeleitet, die beide Lösungsalternativen erfüllen sollen (Sollfunktionen) bzw. können (Wunschfunktionen).

Funktion	Gebrauchs- funktion (1) oder Geltungs- funktion (2)	Sollfunkti- on (1) oder Wunsch- funktion (2)
Gewährleistung einer gerechten und einfachen Heizkostenabrechnung	1	1 2
Komfort bei Raumheizung und Trinkwarmwasserbereitung	2	2
Sparsames Heizen ermöglichen	1 2	1 2
Sicheren Betrieb ermöglichen (keine Gefährdung von Personen)	1	1
Flexible Regelung bzw. dynamische Leistungsanpassung	- 1	2
Geringer Wartungsaufwand	1	2
Geringes Verschwendungspotential für Energie bieten	- 1	2
Umweltfreundlichen Betrieb ermöglichen, d.h. positive Primär- und CO ₂ -Bilanz	1 2	2
Leichte und übersichtliche Bedienung	1	2
Einbindung von regenerativen Energien ermöglichen	1 2	1 2
Flexibilität hinsichtlich der Austauschbarkeit des Energieträgers	1	2
Geringer Raumbedarf	1 2	2
Geringe Investitionskosten	1	1 2
Ermöglichung einer einfachen Planung und Umsetzung	1	1 2
Flexibilität bei der Instandsetzung bzw. Umsetzung der Maßnahme (zeitlich und hinsichtlich des Kapitalaufwandes)	1	2

Tabelle 2 Funktionen, die alle Lösungen erfüllen sollen (T03)

Die in Tabelle 2 zusammengestellten Funktionen werden anschließend so aufgearbeitet, dass sich eindeutige Bewertungskriterien ergeben. Einzelne Anforderungen können und sollten zusammengefasst werden, damit die Anzahl der Kriterien überschaubar bleibt.

Im vorliegenden Beispielfall ergeben sich 8 Kriterien (Tabelle 3). Die detaillierte Beschreibung der Kriterien sollte dabei ein Substantiv und ein Verb umfassen, z. B. "Investitionskosten minimieren". Dies beugt Missverständnissen im weiteren Verlauf der Bewertung vor.

Kriterium (Kürzel)	Detaillierte Beschreibung
1: Investitionskosten	Investitionskosten minimieren
2: Energiekosten	Energieverbrauch und damit -kosten minimieren
3: Wartungskosten	Wartungsaufwand und somit Wartungskosten minimieren
4: Flexibilität der Umrüstung	Zeitliche Flexibilität der Umrüstung maximieren (Nutzerbelästi- gung gering halten); Anfall von Investitionskosten zeitlich vertei- len
5: Heizkostenverteilung	Gerechte und einfache Heizkostenverteilung sicherstellen
6: Energieeffizienz	Energieeffizienz der Anlage maximieren; nachträgliche Ände- rung des Energieträgers und ggf. Einbindung regenerativer Energien ermöglichen
7: Komfort	Komfort für den Nutzer maximieren; gleichzeitig sicheren Anla- genbetrieb ermöglichen
8: Bedarfsanpassung	Bedarfsanpassung des Nutzers durch Eingriff in die Technik ermöglichen

Tabelle 3 Zusammenstellung der Kriterien für die Bewertung (T04)

Gewichtung der Kriterien aus verschiedenen Sichtweisen

Nicht alle Bewertungskriterien werden als gleich wichtig angesehen. Die beteiligten Personenkreise entscheiden daher entweder einzeln oder in einer gemeinsamen Diskussion, welches der acht Bewertungskriterien bei der Bestimmung des Endergebnisses wie stark ins Gewicht fällt.

Dies erfolgt mit einer Matrix analog Tabelle 4. Es wird im Beispiel zunächst davon ausgegangen, dass jeder der Beteiligten zunächst eine eigene Gewichtung (= eigene Tabelle) erarbeitet. Die Tabelle zeigt die Bewertung aus Sicht des Nutzers.

Kriterium	1: Investitionskosten	2: Energiekosten	3: Wartungskosten	4: Flexibilität der Umrüstung	5: Heizkostenverteilung	6: Energieeffizienz	7: Komfort	8: Bedarfsanpassung	Summe	Gewichtung g in [%]
1: Investitionskosten		0	0	1	2	1	0	0	3	6
2: Energiekosten	2		2	2	1	1	1	1	10	18
3: Wartungskosten	2	0		1	1	2	0	1	7	13
4: Flexibilität der Umrüstung	1	0	1		0	1	0	1	4	7
5: Heizkostenverteilung	0	1	1	2		2	1	2	9	16
6: Energieeffizienz	1	1	0	1	0		0	0	3	6
7: Komfort	2	1	2	2	1	2		2	12	21
8: Bedarfsanpassung	2	1	1	1	0	2	0		7	13
		ii.		11:				10	55	100

Tabelle 4 Bestimmung der Gewichtung der Merkmale aus der Sicht des Nutzers (T05)

Zum Ausfüllen der Tabelle: die Kriterien in den Zeilen werden mit den Kriterien in den Spalten verglichen. Dabei wird eine "2" als Ergebnis in die entsprechende Zelle eingetragen, wenn das Kriterium in der Zeile als höherwertig angesehen wird als das Kriterium in der Spalte. Im umgekehrten Fall wird eine "0" eingetragen. Der Wert ist "1", wenn beide Kriterien als gleichwertig angesehen werden.

Es ist zu beachten, dass die Zahlen im oberen und im unteren Dreieck, die durch die nicht auszufüllenden Zellen voneinander getrennt sind, jeweils komplementär sind (sie ergeben zusammen immer "2"!).

Ein Beispiel: da der Nutzer die Gerechtigkeit der Heizkostenverteilung (Zeile 5) als wichtiger empfindet als die Energieeffizienz (Spalte 6), trägt er in der gemeinsamen Zelle eine "2" ein. In der komplementären Zelle (Zeile 6, Spalte 5) steht entsprechend eine "0".

Sind alle Zellen ausgefüllt, wird zeilenweise summiert. Anschließend ist die prozentuale Gewichtung der Bewertungskriterien bezogen auf die Gesamtsumme untereinander daraus zu bestimmen.

Tabelle 5 gibt die Endergebnisse der Gewichtungen auch für die anderen Beteiligten wieder. Es ist deutlich sichtbar, dass jeder Interessensvertreter andere Schwerpunkte setzt. Während der Nutzer den geringen Energiekosten, der gerechten Heizkostenverteilung und dem Komfort eine große Bedeutung zumisst, sieht der Investor vor allem geringe Investitionskosten, geringen Wartungsaufwand und die flexible Umrüstung als wichtig an. Der Investor misst Energiekosten und -effizienz praktisch keine Bedeutung zu, weil er von den Folgekosten zunächst kaum betroffen ist.

		Gewichtung, in [%]									
Kriterium	Nutzer	Investor	Energiebe- rater	Handwerk	Mittelwert						
1: Investitionskosten	6	16	9	7	10						
2: Energiekosten	18	2	20	9	12						
3: Wartungskosten	13	18	4	11	12						
4: Flexibilität der Umrüstung	7	23	9	19	15						
5: Heizkostenverteilung	16	20	14	11	15						
6: Energieeffizienz	6	3	21	16	12						
7: Komfort	21	9	16	11	14						
8: Bedarfsanpassung	13	9	5	16	10						

Tabelle 5 Festlegung der Gewichtung als Mittelwert verschiedener Interessensgruppen (T06)

Für den Energieberater sind Komfort, Energieeffizienz und geringer Energieverbrauch bedeutsam. Er macht dafür entsprechende Abstriche bei der Flexibilität der Umsetzung der Maßnahme im laufenden Wohnbetrieb. Das Handwerk misst beispielsweise der Bedarfsanpassung durch den Nutzer große Bedeutung zu. Auf geringe Investitions- und Wartungskosten besteht er nicht, weil hier seine Haupteinnahmequellen liegen.

Für die weitere Wertanalyse müssen die Gewichtungen aller Beteiligten gemittelt werden. Im Beispiel wird einfach das arithmetische Mittel gebildet. Es käme aber auch eine Diskussion mit Annäherung der unterschiedlichen Gruppen in Frage.

Am Ende steht die Gewichtung fest: die Flexibilität der Umrüstung und die Heizkostenverteilung erhalten je 15 % Gewicht, die Höhe der Investitionskosten und die Bedarfsanpassung ja 10 %. Die anderen Kriterien liegen dazwischen.

Bestimmung der Erfüllungsgrade für die beiden Lösungsalternativen

Nach der Gewichtung der Bewertungskriterien entscheidet nun wiederum jeder der Beteiligten anhand der objektiven Fakten, aber auch zu einem gewissen Teil subjektiv, wie gut die beiden Alternativen den gewählten Anforderungen gerecht werden.

Es werden dazu "Erfüllungsgrade" vergeben. Die Erfüllungsgrade (Werte w) liegen zwischen "0" (nicht erfüllt) und "1" (voll erfüllt).

Die Produkte " $w \cdot g$ " werden gebildet und für jede Alternative spaltenweise addiert. Es ergibt sich beispielsweise nach Tabelle 6, die aus Sicht des Nutzers ausgefüllt ist, eine Gesamterfüllung von "0,85" für die Alternative 1 "Zentralisierung" und "0,80" für die "stufenweise Instandsetzung". Damit würde nach Nutzersicht, wenn auch nur mit geringer Präferenz, die erste Alternative realisiert.

Kriterium	Gewich- tung	Altern: Zentrali		Alternative 2 Stufenweise Instand- setzung		
	g, in [-]	Wert w, in [-]	w·g	Wert w, in [-]	w·g	
1: Investitionskosten	0,10	1,0	0,100	0,6	0,060	
2: Energiekosten	0,12	1,0	0,120	0,7	0,084	
3: Wartungskosten	0,12	1,0	0,120	0,7	0,084	
4: Flexibilität der Umrüstung	0,15	0,5	0,075	1,0	0,150	
5: Heizkostenverteilung	0,15	0,7	0,105	1,0	0,150	
6: Energieeffizienz	0,12	1,0	0,120	0,5	0,060	
7: Komfort	0,14	1,0	0,140	0,8	0,112	
8: Bedarfsanpassung	0,10	0,7	0,070	1,0	0,100	
Summe	1,00		0,85		0,80	

Tabelle 6 Bestimmung der Erfüllungsgrade (Werte) der Alternativen aus der Sicht des Nutzers (T07)

Auch die Bewertung der Alternativen mit den Erfüllungsgraden nimmt jede der beteiligten Personengruppen entweder individuell vor oder es wird eine gemeinsame Bewertung durch eine Diskussion erarbeitet. Im ersten Fall ist eine Mittelwertbildung aller Endergebnisse sinnvoll.

Im Beispiel wird davon ausgegangen, dass jeder der 5 Beteiligten die Bewertung zunächst allein vornimmt und anschließend ein Mittelwert gebildet wird (Tabelle 7).

Insgesamt ist festzustellen, dass sich die Einzelbewertungen der Kriterien nicht wesentlich unterscheiden, da die Merkmale zu einem großen Teil Gebrauchsfunktionen sind und verhältnismäßig objektiv bewertet werden können. Es ergibt sich bei dieser beispielhaften Wertanalyse die Alternative 1 "Zentralisierung" als geeignete Problemlösung. Die Entscheidung ist, wie zu erwarten war, sehr knapp ausgefallen. Ein eindeutiges Ergebnis kann allerdings bei den sehr unterschiedlichen Interessensvertretern auch nicht erwartet werden. An vielen Stellen ergibt sich eine Mittelwertbildung der Einzelbewertungen.

		w · g								
Alternative	Nutzer	Investor	Energiebe- rater	Handwerk	Mittelwert					
1: Zentralisierung	0,85	0,79	0,90	0,82	0,84					
2: Stufenweise Instandsetzung	0,80	0,86	0,76	0,86	0,82					

Tabelle 7 Erfüllung als Mittelwert verschiedener Interessensgruppen (T08)

Folgende Hintergründe liegen den einzelnen Entscheidungen zugrunde.

- Geringe Investitionskosten: Die zentrale Anlage führt trotz der Installation einer zentralen Zirkulation (bis zur früheren Anbindung der Etagenkessel) und eines Trinkwarmwasserspeichers zu geringeren Investitionskosten, da nur ein Kessel (z. B. Nennleistung 32 kW) anstelle von 5 Thermen (je 18 kW wegen der Trinkwarmwasserbereitung) benötigt wird.
- Geringer Energieverbrauch und geringe Energiekosten: Die zentrale Anlage weist höhere Wärmeverluste der Verteilung und Speicherung auf. Dafür ist die Effizienz der Wärmeerzeugung besser, weil sich der zentrale Kessel deutlich weniger Zeit in Bereitschaft befindet. Die Etagenheizung ist mit einem deutlich höheren Hilfsenergieaufwand (6 Heizungsumwälzpumpen anstelle einer Umwälzpumpe + Zirkulationspumpe + Speicherladepumpe) verbunden, weil die Umwälzpumpen einen großen Teil der Heizzeit durchlaufen. Außerdem entfallen die Leistungspreise für die 6 Einzelgasanschlüsse zugunsten des weit preiswerteren Sammelanschlusses. Daher ergibt sich insgesamt eine positive Bewertung für die zentrale Anlage.
- Geringer Wartungsaufwand und geringe Wartungskosten: Da alle 6 Wärmeerzeuger in der zentralen Anlage der Überwachung und somit der Kosten des Schornsteinfegers unterliegen, schneidet die zentrale Lösung hier besser ab. Zudem ist ein Betreten der Wohnung zur Wartung nicht notwendig.
- Hohe Flexibilität bei der Umrüstung bzw. Instandsetzung: Da die Kosten für die Sanierung hier nicht gebündelt, sondern gestaffelt anfallen, liegt die dezentrale Instandsetzung der Thermen deutlich vorn. Auch die Vereinbarkeit der Instandsetzung mit einer gleichzeitigen Bewohnung des Gebäudes kann elegant gelöst werden, indem hier notwendige Arbeiten entweder erfolgen, wenn ein Mieterwechsel ansteht oder separate Termine mit den Mietern vereinbart werden. Die zentrale Lösung erfordert auf jeden Fall größere Umbauten. Auf einen Aspekt soll hier jedoch noch ausdrücklich hingewiesen werden: eine Komplettsanierung von Gebäude und Anlage kann ggf. als aktivierungspflichtige Herstellkosten auf die Mieter umgelegt werden (Mietpreissteigerung bis 11 %/a), weil sich damit der Wert der Immobilie steigert. Darunter würde die Alternative mit Zentralisierung der Heizung zählen. Dagegen würde die Instandsetzung der 6 Einzelthermen als normaler Instandhaltungsaufwand zählen und könnte nur im Rahmen der üblichen Mietpreissteigerungen umgelegt werden. Da in diesem Gebäude davon ausgegangen wird, dass das Gebäude bereits vor einiger Zeit baulich saniert wurde, trifft der beschriebene Aspekt hier nicht zu.

- Gerechte und einfache Heizkostenabrechnung: Wegen der Einzelabrechnung jedes einzelnen Mieters mit dem Versorger ist die Abrechnung in der Lösung mit der Etagenheizung überschaubarer. Die zentrale Variante weist anstelle der oben eingesparten Kosten für den Gasanschluss hier die Kosten für den Abrechnungsdienst auf. Ingesamt spricht dies für die Etagenheizung.
- Hohe Energieeffizienz, gute Nachrüstbarkeit von alternativen (auch regenerativen) Energieträgern: Die Einbindung von regenerativen Energien, wie Solarenergie, ist praktisch nur bei der zentralen Alternative machbar. Wegen der oben bereits genannten verminderten Bereitschaftsverluste eines zentralen Kessels ergibt sich eine verbesserte Energieeffizienz. Auch der Verzicht auf Thermen mit Überströmventil führt zu einer positiven Bewertung der zentralen Lösung.
- Hoher Komfort und hohe Sicherheit der Anlage: Sowohl der Komfort in den Bereichen Heizung und Trinkwarmwasserbereitung als auch die (subjektiv) höhere Sicherheit (nur ein Gasanschluss im Keller) sprechen für die zentrale Alternative.
- Möglicher Nutzereingriff zur Bedarfsanpassung der Anlage: Die zentrale Anlage kann vom Nutzer praktisch nur über eine Veränderung der THKV beeinflusst werden. Alle weiteren Regelfunktionen: Sommer-/Winterumschaltung, Vorlauftemperatur, Trinkwarmwassertemperatur sind nicht beeinflussbar. Es muss von einer verlängerten Heizzeit ausgegangen werden, da sich die Anlagenabschaltung nach dem Wärmeempfinden des sensibelsten Nutzers richtet. Auch hier erweist sich die Etagenheizung als flexibler.

Fazit: Das gezeigte Wertanalyseverfahren wurde hier als ein Mittel vorgestellt, ein vielschichtiges Problem zu lösen, auf das es beim ersten Betrachten keine für alle gerechte Lösung gibt. Es erscheint zunächst sehr bürokratisch und mathematisch, ist jedoch nach etwas Übung leicht umzusetzen.

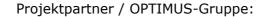
IMPRESSUM



Dieses Handbuch 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.



Das Handbuch kann kostenlos als unverändertes Gesamtwerk (nicht in Auszügen) weitergegeben werden, wenn die "OPTIMUS"-Gruppe als Ersteller und Bezugsquelle benannt wird. Kommerzieller Vertrieb ist nicht gestattet.





Innung Sanitär- und Heizungstechnik Wilhelmshaven



Berufsbildende Schulen II Aurich



Forschungsgruppe Praxisnahe Berufsbildung Bremen



Trainings- & Weiterbildungszentrum Wolfenbüttel e.V. Wolfenbüttel



Firma WILO GmbH Dortmund