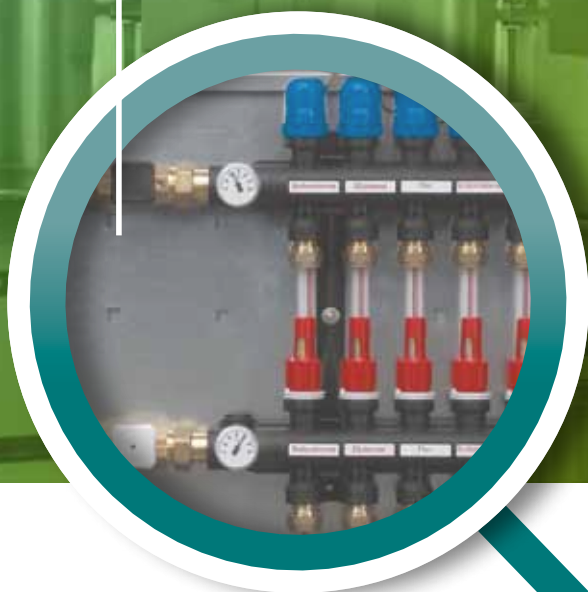


Hydraulischer Abgleich für Heizungssysteme



**MACH MIT.
BAU NACHHALTIG.**
Energieeffizientes Bauen in Sachsen

saena
Sächsische
Energieagentur GmbH



Inhaltsverzeichnis

5	1. THEORETISCHE GRUNDLAGEN
5	1.1 Allgemeines
5	1.1.1 Hydraulischer Abgleich – Warum?
5	1.1.2 Strömungseigenschaften von Fluiden
5	1.1.3 Reihen- und Parallelschaltung von Strömungssystemen
6	1.2 Heizlast nach DIN EN 12831
6	1.2.1 Das Wesen der Heizlast
6	1.2.2 Raumheizlast
7	1.2.3 Gebäudeheizlast
8	1.3 Wärmeübergabe
8	1.3.1 Unterteilung der Wärmeübergabesysteme
9	1.3.2 Auslegung der Wärmeübergabesysteme
10	1.3.3 Leistungsregelung der Wärmeübergabesysteme
10	1.4 Arten und Auslegung von Wärmeverteilsystemen
10	1.4.1 Typische Wärmeverteilsysteme
11	1.4.2 Rohrnetzberechnung
13	1.5 Hydraulischer Abgleich von Neuanlagen
13	1.5.1 Grundsätze der Konzeption und Planung
13	1.5.2 Durchführung des hydraulischen Abgleiches
14	2. PRAKTISCHE UMSETZUNG
14	2.1 Normative und rechtliche Grundlagen
14	2.1.1 DIN EN 15378 Inspektion von Kesseln und Heizungssystemen
14	2.1.2 DIN V 18599
14	2.1.3 Energieeinsparverordnung (EnEV)
14	2.1.4 Verlagerung von Planungsleistungen VOB Teil C und DIN 18380
14	2.1.5 Voraussetzung für Fördermaßnahmen
14	2.2 Hydraulischer Abgleich im Bestand
14	2.2.1 Positive Effekte
15	2.2.2 Wann ist ein hydraulischer Abgleich erforderlich?
16	2.3 Bausteine zum hydraulischen Abgleich
16	2.3.1 Heizungspumpen
18	2.3.2 Wärmeübergabe
19	2.3.3 Wärmeverteilung
20	2.3.4 Überströmventil
20	2.3.5 Luftgefäße
20	2.3.6 Wärmeerzeuger
21	2.4 Praktische Vorgehensweise bei unterschiedlichen Gebäudetypen
21	2.4.1 Grundlagen
21	2.4.2 Grundsätzliche Vorgehensweise
21	2.4.3 Vorstellung verschiedener Verfahren
22	2.4.4 Ein-/Zweifamilienhaus
24	2.4.5 Mehrfamilienhaus bis 6 Wohneinheiten
28	2.4.6 Komplexe Objekte
29	2.4.7 Sanierung mit erheblicher Reduktion der Heizlast (Passivhauskomponenten)
29	2.4.8 Typische Fehler
30	2.5 Grenzen des hydraulischen Abgleiches
30	2.5.1 Überdimensionierung des Wärmeerzeugers
30	2.5.2 Heizkörpergrößen
30	2.5.3 Ergänzende Hinweise zur weiteren Systemoptimierung
30	2.6 Zusammenfassung
31	2.7 Checkliste
31	2.7.1 Checkliste für den Nutzer
31	2.7.2 Checkliste für die Durchführung nach der Berechnung
32	ANHANG
35	IMPRESSUM

1. Theoretische Grundlagen

1.1 Allgemeines

1.1.1 Hydraulischer Abgleich – Warum?

Die umgangssprachliche Weisheit „Das Wasser sucht sich den Weg des geringsten Widerstandes“ ist Jedem geläufig und verbindet damit die Vorstellung, dass das Wasser (oder Fluid) sich den Strömungsweg sucht, der mit dem kleinsten (Energie-) Aufwand überwindbar ist. So verhält sich beispielsweise jedes natürliche Gewässer. Diese Weisheit relativiert sich aber immer dann, wenn das Fluid mehrere parallele Strömungswege zur Verfügung hat, wie in Abb. 1 erkennbar.



Abb. 1: Natürliches Gewässer mit Entlastungskanal (Flutrinne)

Soll die Aufteilung der parallelen Strömungswege nicht willkürlich (bzw. natürlich) erfolgen, müssen wir aktive Korrekturen vornehmen – den hydraulischen Abgleich!

1.1.2 Strömungseigenschaften von Fluiden

Als Fluid werden strömende flüssige und gasförmige Medien bezeichnet, wie die meist verwendeten Stoffe bzw. Stoffgemische Wasser, Sole, Dampf, Luft aber auch Öle und Technische Gase. Alle Fluide haben stoffspezifisch unterschiedliche, aber gemeinsame physikalische Eigenschaften. Für das Fließverhalten ist die Zähigkeit (auch Viskosität genannt) maßgeblich. Die Zähigkeit beschreibt die strömungsbedingten Reibungsverluste zwischen den Molekülen des Fluides sowie die Reibungsverluste zwischen Molekül und Rohrwand. Der Einfluss der Rohrwand ist vor allem materialabhängig (Rauheit) und geometrieabhängig (Rohrdurchmesser). Demnach besitzt jede Strömung eines Fluides in einem Rohr (oder Kanal) entlang des Strömungsweges einen Energieverlust, der üblicherweise als Druckverlust beschrieben wird. Neben dem Druckverlust im geraden Rohr (Kanal) treten durch Einbauten im Strömungsweg (Formstücke, Armaturen, Regelorgane, Apparate usw.) zusätzliche Druckverluste auf, die das strömende Fluid auch überwinden muss.

Wird der Druckverlust in einem Strömungsweg drastisch erhöht, z. B. durch Schließen der Absperrarmatur, wird die Strömung des Fluides maßgeblich behindert und schließlich unterbrochen.

In geschlossenen Strömungskreisläufen resultiert aus der Summe aller Druckverluste entlang eines Strömungsweges der Gesamtdruckverlust, der als Energieverlust entsprechend kompensiert werden muss. Das erfolgt über eine adäquate Energiezufuhr, die in der Regel eine Strömungsmaschine (Pumpe, Ventilator, Verdichter) übernimmt.

Nur bei offenen (nicht im Kreislauf arbeitenden) Strömungssystemen muss durch die Energiezufuhr zusätzlich die Höhendifferenz zwischen Anfangs- und Endpunkt des Fluides überwunden werden, wie etwa in Trinkwasserinstallationen.

1.1.3 Reihen- und Parallelschaltung von Strömungssystemen

Die Reihenschaltung charakterisiert die aneinander gereihten Druckverluste entlang eines Strömungsweges, wie z. B. Rohr – Kugelhahn – Rohr – Filter – Rohr – Wärmemengenzähler – Rohr – T-Stück (Durchgang) – Rohr – Bogen – Rohr – Kugelhahn – Rohr (siehe Abb. 2).

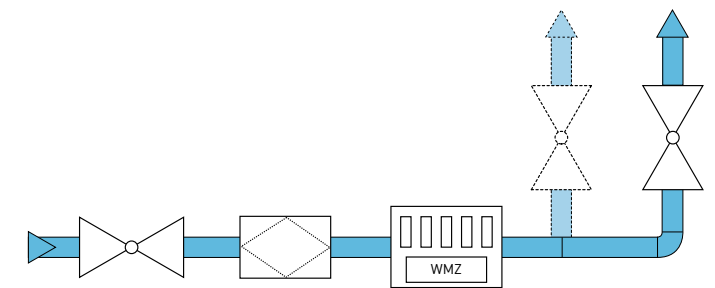


Abb. 2: Reihenschaltung von Druckverlusten

Bei der Parallelschaltung teilt sich die Durchflussmenge auf die nebeneinander angeordneten (parallelen) Strömungswege nach zwei Bedingungen auf:

- Die Gesamtdurchflussmenge entspricht der Summe der Teildurchflüsse
- Die Aufteilung der Teildurchflüsse auf die parallelen Strömungswege erfolgt derart, dass die Druck- bzw. Energieverluste gleich sind

Die Übertragung (Analogie) dieses Naturphänomens auf technische Strömungsanlagen führt zu folgender allgemeingültiger Darstellung (Abb. 3 a und 3 b):



Abb. 3: Legende für die nachfolgenden Abbildungen

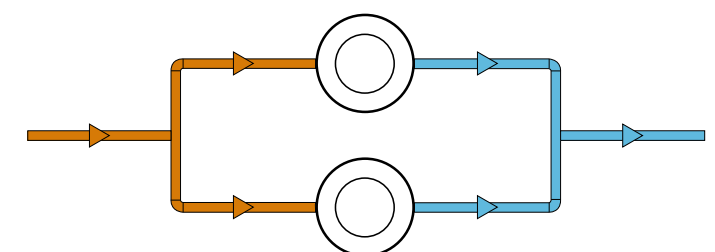


Abb. 3a: Parallele Strömungswege in technischen Strömungsanlagen (einfache Anordnung)

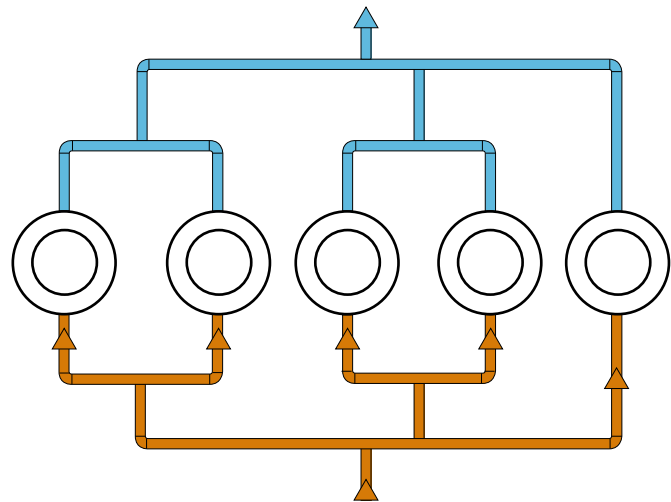


Abb. 3b: Parallele Strömungswege in technischen Strömungsanlagen (verschachtelte Anordnung)

Auf die typische Struktur von Heizungsanlagen übertragen, stellt sich die verschachtelte Anordnung gemäß Abb. 4 dar.

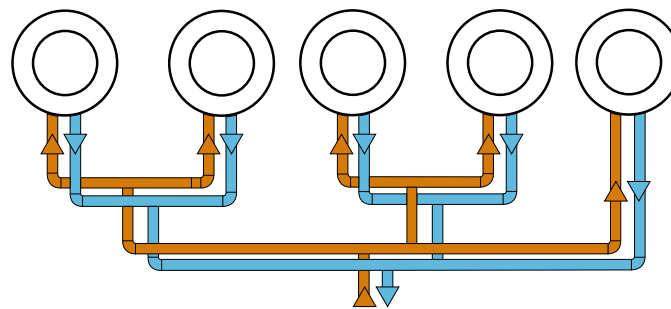


Abb. 4: Typische Struktur von Heizungsanlagen (Prinzipdarstellung)

Aus den zuvor dargestellten Zusammenhängen ist ersichtlich, dass sich Fluide in technischen Anlagen durchaus nicht so verteilen, wie wir das erwarten, denn sie folgen unter gegebenen Randbedingungen in erster Linie ihren eigenen physikalischen Gesetzen (siehe Absatz 1.1.3). Abgesehen von einem begrenzten „Selbstheilungsvermögen“, sind demnach die parallelen Strömungswege in technischen Anlagen regelmäßig auf die technisch erforderlichen Durchflussmengen einzuregulieren und nachteilige Auswirkungen (siehe Absatz 2.2) auszuschließen.

1.2 Heizlast nach DIN EN 12831

1.2.1 Das Wesen der Heizlast

Die Beheizung von Gebäuden ist witterungsabhängig notwendig, um den Nutzern thermische Behaglichkeit zu gewährleisten. Die Aufrechterhaltung entsprechender Innentemperaturen wird nur bei Einhaltung eines Gleichgewichtes zwischen den Wärmeverlusten des Gebäudes/Raumes (siehe Abb. 5) und der Wärmezufuhr durch Wärmequellen möglich sein. Da sich der Wärmestrom im Allgemeinen proportional zur Temperaturdifferenz verhält, wird dieses angestrebte Gleichgewicht dauernden Schwankungen unterliegen, die einerseits zufällig und andererseits nutzerabhängig sind. Um unter repräsentativen Extrembedingungen (Auslegungsfall) die hinreichende Beheizbarkeit eines Gebäudes zu gewährleisten, muss die Summe

aller gleichzeitig auftretenden Wärmeverluste unter diesen Bedingungen berechnet werden. Die Wärmeverlustleistung jedes Raumes (Raumheizlast) ist Grundlage für die Heizkörper-/Heizflächenauslegung, während die Wärmeverlustleistung des gesamten Gebäudes (Gebäudeheizlast) für die Dimensionierung der Wärmeerzeuger heranzuziehen ist.

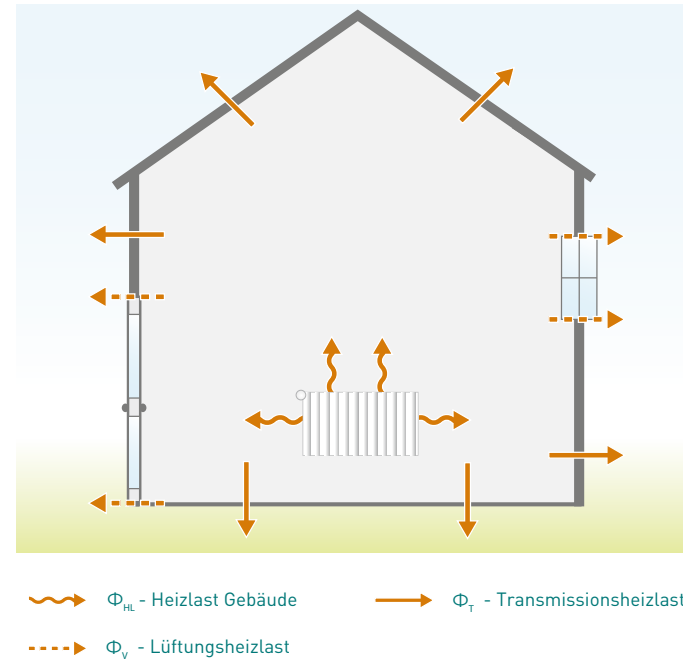


Abb. 5: Bei der Heizlast berücksichtigte Wärmeverluste

Als gültige Berechnungsvorschrift für die Berechnung der Heizlast steht die DIN EN 12831 (08/2003) zur Verfügung, ergänzt durch den Nationalen Anhang (Beiblatt 1 – 07/2008), welcher landesspezifische Kenngrößen, wie die Norm-Außentemperatur von Städten mit mehr als 200.000 Einwohnern, enthält. Das von der Bauwerksmasse abhängige Wärmespeichervermögen wird durch eine Außentemperaturkorrektur angepasst. Mit dem Beiblatt 2 (05/2010) steht seit Kurzem ein „Vereinfachtes Berechnungsverfahren“ auf Basis von vorliegenden Verbrauchsdaten zur Verfügung, welches aber nur für überschlägige Berechnungen und die Energieberatung zweckmäßig erscheint.

1.2.2 Raumheizlast

Die Berechnung der Raumheizlast eines jeden Raumes ist nach dem ausführlichen Berechnungsverfahren durchzuführen und umfasst die Ermittlung der Transmissionsheizlast und der Lüftungsheizlast. Im Bedarfsfall ist die Wiederaufheizleistung Φ_{RH} zusätzlich in die Berechnung der Raumheizlast einzubeziehen. Das trifft in Einzelfällen bei unterbrochenem Heizbetrieb zu, wenn die Wiederaufheizung infolge des Wärmespeichervermögens der Bauwerksmasse nicht innerhalb der Aufheizzeit gelingt und an extremen Wintertagen kein durchgängiger Betrieb der Heizungsanlage vorgesehen oder möglich ist.

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{RH,i} \quad [1]$$

$\Phi_{HL,i}$ Raumheizlast des Raumes i [W]

$\Phi_{T,i}$ Transmissionsheizlast des Raumes i [W]

$\Phi_{V,i}$ Lüftungsheizlast des Raumes i [W]

$\Phi_{RH,i}$ Wiederaufheizleistung des Raumes i [W]

Die Transmissionsheizlast bildet die Wärmeverluste infolge Wärmedurchgang durch die Raumumschließungsflächen (Wände, Decke, Dach, Fußboden, Fenster, Türen) ab, während die Lüftungsheizlast die Wärmeverluste des Raumes infolge eines definierten Lüftungserfordernisses beinhaltet.

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ij} + H_{T,ig}) \times (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad [2]$$

$H_{T,ie}$ Transmissions-Wärmeverlustkoeffizient durch Außenbauteile des Raumes i [W/K]

$H_{T,iue}$ Transmissions-Wärmeverlustkoeffizient durch Innenbauteile an unbeheizte Räume [W/K]

$H_{T,ij}$ Transmissions-Wärmeverlustkoeffizient durch Innenbauteile an beheizte Räume [W/K]

$H_{T,ig}$ Transmissions-Wärmeverlustkoeffizient durch Erdreich berührende Bauteile [W/K]

$\theta_{int,i}$ Raumtemperatur des Raumes i [°C]

θ_e Norm-Außentemperatur [°C]

Die aus Lüftungswärmeverlusten resultierende Lüftungsheizlast ist je nach Gebäudenutzung und -ausstattung von mehreren Faktoren abhängig, die in der Heizlastberechnung korrekt abgebildet werden müssen. In jedem Fall muss das minimale Lüftungserfordernis – der hygienisch notwendige Mindestluftwechsel – Berücksichtigung finden, da dieses die Funktionalität des Raumes überhaupt sichert.

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \times (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad [3]$$

$H_{V,i}$ Lüftungswärmeverlustkoeffizient des Raumes i [W/K]

Der Mindestluftwechsel ist in einem bestimmten Maß notwendig, um Feuchtigkeit und Kohlendioxid sowie ggf. weitere Schadstoffe aus den Räumen abzutransportieren. Gleichzeitig wirkt ein natürlicher Luftwechsel, da Winddruck- und Auftriebskräfte permanent wirken. Allerdings sind neue und sanierte Gebäude meist so luftdicht hergestellt worden, dass die natürliche Lüftung und damit unkontrollierte Wärmeverluste, deutlich reduziert werden. Dann sind in vielen Fällen geeignete Ersatzlüftungsmaßnahmen vorzusehen, so für die Lüftung von Wohnungen und wohnungsähnlichen Objekten (siehe DIN 1946-6, 05/2009) bzw. für Nichtwohngebäude (DIN EN 13779, 09/2007) und in der Heizlastberechnung entsprechend einzuarbeiten.

Beachtenswert ist die Aufteilung der Lüftungsheizlastanteile bei der Lufterwärmung durch raumlüftungstechnische Anlagen. Nach der Betrachtung sämtlicher zutreffender Lüftungsheizlastbestandteile eines jeden Raumes sind diejenigen bei der Raumlüftungsheizlast zu beachten, die maximal und gleichzeitig auftreten können.

Die schließlich berechnete Raumheizlast muss durch Heizkörper oder Flächenheizung kompensiert werden, weshalb sie Grundlage für deren Bemessung ist. Schwankungen der Wärmezufuhr durch zufällige und/oder nutzerbedingte Ereignisse sind durch die Regelung der Wärmezufuhr gemäß Energieeinsparverordnung (EnEV 2009) auszugleichen. Dazu stehen regelmäßig Thermostatventile oder Einzelraumregelungen mit Stellventilen, alternativ auch eine Heizkörper-Pumpen-Systemlösung zur Verfügung, die sowohl selbsttätig als auch durch Handeingriff die Wärmezufuhr beeinflussen (siehe auch Absatz 2.3.1.2 ff).

1.2.3 Gebäudeheizlast

Die Gebäudeheizlast als Grundlage für die Wärmeerzeugerdimensionierung stellt prinzipiell die Summe aller Raumheizlasten dar, wobei die DIN EN 12831, Beiblatt 1 – Nationaler Anhang (07/2008) Minderungen einbezieht, wie die Ungleichzeitigkeit der natürlichen Lüftung, da der Wind bestenfalls auf zwei angrenzende Gebäudeseiten gleichzeitig wirkt. Auch Wärmeverluste an Innenbauteilen zu angrenzenden Räumen finden bei der Gebäudeheizlast keine Beachtung, da es sich nur um Wärmeströme innerhalb des Gebäudes handelt.

$$\Phi_{HL, Geb} = \Sigma \Phi_{T,i} + \Sigma \{ \text{MAX}[\zeta \times \Phi_{V,i} ; 0,5 \times \Phi_{V,min,i}] \} + \Sigma \Phi_{RH,i} \quad [4]$$

$\Phi_{HL, Geb}$ Gebäude-(Auslegungs-) Heizlast [W]

$\Sigma \Phi_{T,i}$ Summe zu der Transmissionswärmeverluste [W]

$\Sigma \{ \text{MAX}[\zeta \times \Phi_{V,i} ; 0,5 \times \Phi_{V,min,i}] \}$
Maximum der Summe der zu berücksichtigenden Lüftungswärmeverluste [W]

$\Sigma \Phi_{RH,i}$ Summe der zu berücksichtigenden Wiederaufheizleistungen [W]

Betriebsweise einer Heizungsanlage

Die Gebäudeheizlast stellt demnach die Wärmeverlustleistung eines Gebäudes dar, die bei korrekter Berechnung nur unter extremen Auslegungsbedingungen auftritt. Die meisten Betriebsfälle einer Heizungsanlage betreffen demzufolge den Teillastbetrieb, der durch mehrere regelungstechnische Maßnahmen ermöglicht werden soll. Als regelungstechnische Maßnahmen sind zu nennen:

- Ein-/Ausschaltung und ggf. Modulation oder Inverterregelung des Wärmeerzeugers
- Regelung der Wärmeerzeuger- oder Heizkreis-Vorlauftemperatur an aktuelle Heizlast
- Ggf. Korrektur (Parallelverschiebung) der Vorlauftemperatur

- Variation der Wärmeträger-Durchflussmenge an jedem Heizkörper bzw. jeder Heizfläche (Wärmeübergabe) entsprechend den raumspezifischen und individuellen Bedürfnissen durch Thermostatventile etc. (siehe oben)
- Zeitprogrammsteuerung

Die Betriebsweise einer Heizungsanlage unter Auslegungsbedingungen ist also eher selten oder niemals zu erwarten. Durch die Vielzahl der Teillastfälle lässt sich leicht nachvollziehen, dass die Durchflussmengen in jedem Rohrabschnitt ständig schwanken und somit, in Parallelschaltungen, zu permanenten Umverteilungen des Durchflusses führen.

Die gezielte Beherrschung der auf unterschiedlichste Weise verursachten Einwirkungen auf die Wärmeverteilung in Heizungsanlagen mit der Maßgabe von maximaler Energieeffizienz erfordert die sach- und fachgerechte Konzeption, Planung, Installation und den hydraulischen Abgleich.

1.3 Wärmeübergabe

1.3.1 Unterteilung der Wärmeübergabesysteme

Im Sinne der Europäischen Gebäude Richtlinie (EPBD) wird die Zuführung der Heizwärme in den Raum als Wärmeübergabe bezeichnet. Entsprechend sind die dafür vorgesehenen Wärmeübertrager unter dem Oberbegriff „Wärmeübergabesysteme“ zusammengefasst. Die Wärmeübergabesysteme sind nach unterschiedlichsten Kriterien zu klassifizieren. Grundsätzlich sind Flächenheizsysteme und Heizkörper zu unterscheiden.

Flächenheizsysteme

Bei Flächenheizung erfolgt die Wärmeübergabe durch bauteilintegrierte Systeme in den Raumumschließungsflächen. Diese werden als Fußbodenheizung (Abb. 6), aber auch als Wand- oder Deckenheizung ausgeführt. Diese Wärmeübergabesysteme eignen sich u. U. auch zum Kühlen, wobei das Heizen über den Fußboden und das Kühlen über die Decke am vorteilhaftesten sind.

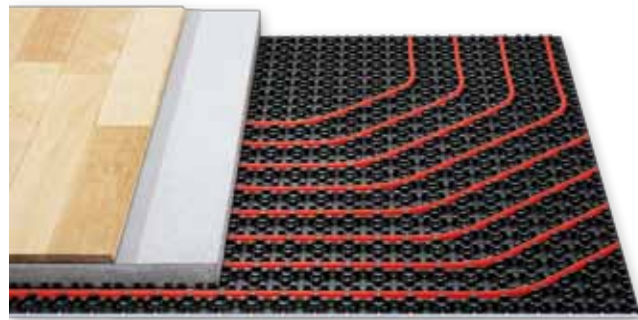


Abb. 6: Fußbodenaufbau Fußbodenheizung

Flächenheiz- und Kühlsysteme sind vorzugsweise für den Einsatz von Wärmeträger-Betriebstemperaturen geeignet, die nur wenig über bzw. unter der Raumtemperatur liegen, wie z. B. 38 °C/33 °C oder 19 °C/17 °C. Die Wärmeabgabe an den Raum erfolgt durch Strahlungswärmeübertragung und konvektive,

also über Luftbewegung realisierte, Wärmeübertragung. Der Strahlungsanteil liegt je nach Fläche und Betriebstemperatur zwischen ca. 60 % (Decke) und ca. 90 % (Fußboden).



Abb. 7: Ventil-Kompaktheizkörper mit Mittenanschluss

Heizkörper

Heizkörper sind normalerweise „körperlich“ sichtbare Wärmeübertrager zur Raumbeheizung und in einer unermesslichen Vielfalt erhältlich. Sie eignen sich vorzugsweise für klassische Wärmeträgertemperaturen in Warmwasserheizungen (< 110 °C), durchaus auch noch bei Auslegungs-Vorlauftemperaturen von 50 °C. Als häufigste Vertreter sollen Platten- und Kompaktheizkörper (Abb. 7), Konvektoren (Abb. 8) sowie Radiatoren (Abb. 9) genannt werden.

Die Wärmeabgabe von Heizkörpern erfolgt vorwiegend konvektiv. Der Strahlungsanteil beläuft sich bei Platten- und Kompaktheizkörpern sowie Radiatoren auf ca. 25 % bis 50 % und im Mittel auf ca. 10 % bei Konvektoren.

Eine Sonderform von Heizkörpern, charakterisiert durch den erhöhten Strahlungsanteil von bis zu ca. 80 %, stellen Strahlplatten (Abb. 10) dar, die als Deckenstrahlungsheizungen in Räumen (Hallen) mit mehr als 4 m Raumhöhe bevorzugt Anwendung finden.

Die übertragene Wärmeleistung jedes Wärmeübertragers ist proportional zur wärmeübertragenden Fläche und zur Temperaturdifferenz.

Der Proportionalitätsfaktor **k** wird als Wärmedurchgangskoeffizient bezeichnet und charakterisiert die wärmetechnischen Randbedingungen des inneren und äußeren Wärmeüberganges sowie der Wärmeleitung im Material der Trennfläche **A**.

$$Q = k \times A \times \Delta\theta_m \quad (4)$$

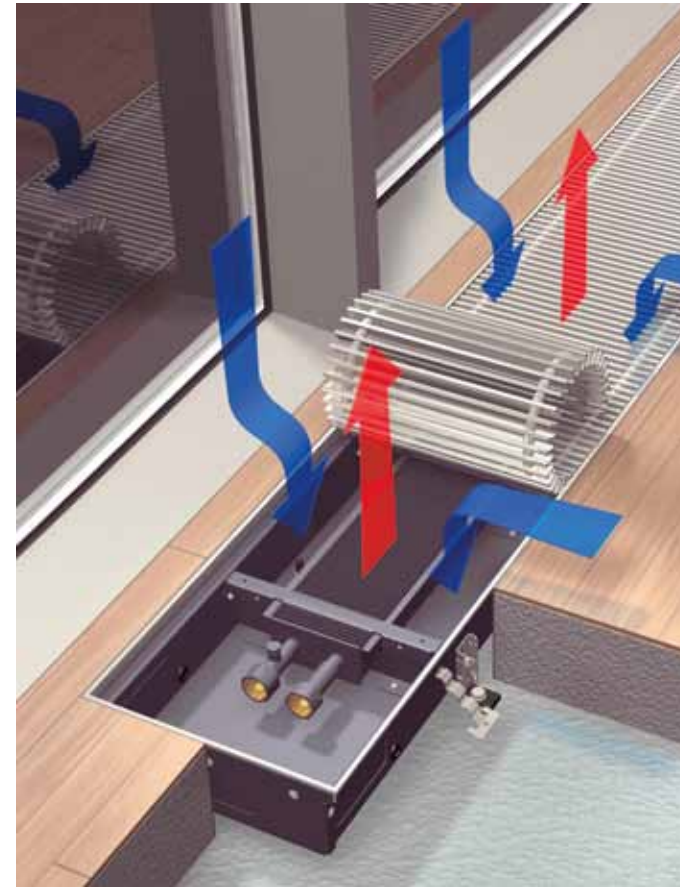


Abb. 8: Unterflurkonvektor

Das „treibende Gefälle“ jedes Wärmeübertragungsvorganges stellt die Temperaturdifferenz $\Delta\theta_m$ dar, die hier allgemein als mittlere Übertemperaturdifferenz bezeichnet wird.



Abb. 9: Stahlröhrenradiator

Als mittlere logarithmische Übertemperaturdifferenz bestimmt diese sich zu:

$$\Delta\theta_m = (\theta_v - \theta_r) / \{ \ln(\theta_v - \theta_{int}) / (\theta_r - \theta_{int}) \} \quad (5)$$

$\Delta\theta_m$ mittlere logarithmische Übertemperaturdifferenz [K]

θ_v Vorlauftemperatur im Auslegungsfall [°C]

θ_r Rücklauftemperatur im Auslegungsfall [°C]

θ_{int} Raumtemperatur im Auslegungsfall [°C]

Da die Wärmedurchgangsverhältnisse temperatur- und strömungsabhängig, also unter Teillastbedingungen, variieren, verändert sich die übertragene Wärmeleistung nichtlinear.

1.3.2 Auslegung der Wärmeübergabesysteme

Die Auslegung von Flächenheizsystemen erfolgt für die Raumheizlast nach DIN EN 1264-3 (11/2009) auf Grundlage der Basiskennlinie. Die Umrechnung auf beliebig andere Einsatzfälle, z. B. Wandkühlung, wird durch das in DIN EN 1264-5 (01/2009) beschriebene Berechnungsverfahren ermöglicht. Alternativ stehen Auslegungs-Nomogramme der Hersteller zur Verfügung.

Ist die Raumkühllast nach VDI 2078, Blatt 1 (02/2003) für die Dimensionierung von Flächenheiz- und Kühlsystemen repräsentativ, muss zunächst danach ausgelegt werden, da es infolge der geringeren Untertemperaturdifferenz in der Regel zu größeren Rohrlängen bzw. kleineren Rohrabständen führt als die Auslegung nach der Heizlast.

Die Dimensionierung von Heizkörpern auf Grundlage der Raumheizlast ist in der DIN EN 12828 (06/2003) geregelt. Für Heizkörper wird auf Basis der Normwärmeleistung, die nach DIN EN 442-2 (12/2003) bei einer Vorlauftemperatur von 75 °C, einer Rücklauftemperatur von 65 °C und einer Raumtemperatur von 20 °C ermittelt wurde, durch Umrechnung auf den zutreffenden Anwendungsfall nach DIN 4703-3 (10/2000) dimensioniert. Die Umrechnung ist wegen des Heizkörperexponenten ($n > 1,0$) nichtlinear und wird praxisüblich durch heizkörperspezifische, tabellarisch aufbereitete Korrekturfaktoren f_1 (siehe Formel 6) vorgenommen. Der Korrekturfaktor f_2 berücksichtigt die Einbausituation, z. B. bei verkleideten Heizkörpern.

$$Q_{HK,vorh} = Q_{HK,N} \times f_1 \times f_2 \quad (6)$$



Abb. 10: Deckenstrahlplatte (Einbausituation: Sporthalle)

Alternativ gibt es herstellersistenspezifische Wertetabellen für typische Auslegungstemperaturen, z. B. 55 °C / 45 °C / 20 °C. Für erhöhte Anforderungen an die thermische Behaglichkeit im Raum wird in der VDI-Richtlinie 6030 (07/2002) die Optimierung der Heizkörperdimensionierung nach der Strahlungswärmeabgabe bzw. der Nachweis der thermischen Behaglichkeit ermöglicht.

1.3.3 Leistungsregelung der Wärmeübergabesysteme

Da der Auslegungszustand eines jeden Wärmeübergabesystems nur äußerst selten zu erwarten sein wird, ist die notwendige Teilwärmeleistung gemäß EnEV den Erfordernissen anzupassen. Dafür finden Regeleinrichtungen Verwendung, die durch Handeingriff und selbsttätiges Regeln die Wärmezufuhr beeinflussen.

Zur Leistungsregelung finden Anwendung:

- Thermostatventile mit Thermostatkopf selbsttätig oder elektrisch betrieben
- Durchgangs-Regelventile, meist mit elektrischem Stellantrieb (bei Zonenregelung)
- Heizkörper-Pumpensysteme

Durch Handbetätigung des zugeordneten Thermostat ist die individuelle Vorwahl der Wärmezufuhr beeinflussbar. Die selbsttätige Regelung wird durch die Wirkung des Regelkreises realisiert, indem Abweichungen der Raumtemperatur vom vorgewählten Sollwert durch entsprechende Änderung des Wärmeträgerdurchflusses kompensiert werden. Die zulässige Regelabweichung ist zwischen 0,5 und 2,0 Kelvin anzutreffen, wobei die EnEV die max. zulässige Abweichung von 1,0 K verlangt. Das erfordert eine genaue Lastberechnung und Dimensionierung der Wärmeübergabesysteme einschließlich korrekter Ventilauslegung, um die notwendige Ventilautorität sicher zu stellen. Aus schalltechnischen Gründen können Thermostatventile im Allgemeinen mit maximal 200 mbar (20 kPa) Differenzdruck beaufschlagt werden. Eventuell anstehende höhere Differenzdrücke an den Thermostatventilen, z. B. infolge der Rohrnetzgestaltung, sind bereits im Strang durch Strangdifferenzdruckregler oder adäquate Drosselarmaturen „abzufangen“. Beim alternativen Heizkörper-Pumpensystem ist die hydraulische Entkopplung, etwa durch hydraulische Weichen, zwischen Wärmeübergabesystemen und Verteilanlage in Abhängigkeit des aufzubringenden Differenzdruckes zu ermöglichen.

1.4 Arten und Auslegung von Wärmeverteil-systemen

1.4.1 Typische Wärmeverteilssysteme

1.4.1.1 Einrohrheizung

Die Einrohrheizung hat wegen erheblicher Nachteile drastisch an Bedeutung verloren und soll hier nur kurz genannt sein. Das typische Merkmal von Einrohr-Heizungssystemen ist die sich wiederholende Aufteilung der Strangwassermenge in den Kurzschlussmassenstrom und den Bypassmassenstrom, der über den betreffenden Heizkörper zu leiten ist. Die Mischtemperatur der vorangegangenen Aufteilung entspricht der Vorlauftemperatur des folgenden Heizkörpers (Abb. 11).

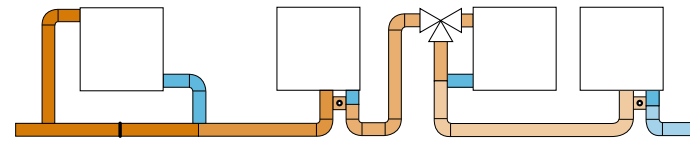


Abb. 11: Prinzipdarstellung Einrohrheizung (horizontal – verschiedene Anschlussarten)

Einrohrheizungen sind mit horizontaler Verteilung, vorwiegend in kleinen Anlagen, sowie mit vertikaler Verteilung anzutreffen.

1.4.1.2 Zweirohrheizung

Die häufigste Ausprägung der Wärmeverteilung von Heizungssystemen ist die Zweirohrheizung, deren charakteristisches Merkmal die eindeutige Zuordnung eines Vorlauf-Strömungsweges und eines Rücklauf-Strömungsweges zwischen Wärmeerzeuger und jeder Wärmeübergabeeinrichtung (z. B. Heizkörper) beinhaltet. Dabei können die Strömungswege mehrerer Wärmeübergabeeinrichtungen in gemeinsamen Rohrleitungsabschnitten verlaufen (Abb. 12).

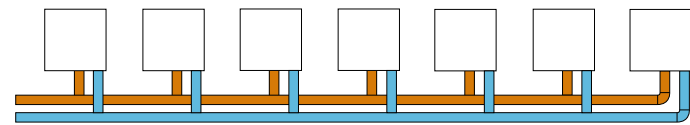


Abb. 12: Prinzip der Zweirohrheizung (horizontal)

Demnach strömt in den Teilstrecken als maximale Durchflussmenge im Auslegungsfall die Summe der Durchflussmengen der nachfolgenden Wärmeübergabeeinrichtungen (z. B. Heizkörper).

Je entfernter eine Wärmeübergabeeinrichtung vom Wärmeerzeuger bzw. von der Heizkreisverteilung angeordnet ist, umso länger wird der vom Wärmeträger zurückzulegende Fließweg sein. Da ein langer Fließweg für hohen Druckverlust sorgt, ist aus den zuvor dargelegten Ausführungen abzuleiten, dass der Wärmeträger jede mögliche „Abkürzung“ des Fließweges zu bevorzugen versucht und damit die unerwünschte Umverteilung der Durchflüsse zu Ungunsten der entfernten Wärmeübergabeeinrichtungen zu erwarten sein wird.

1.4.1.3 Verteilungsprinzipien

Die Gestaltung von Rohrnetzen ist heute durch den bevorzugten Einsatz von Umwälzpumpen entgegen den Freiheitsgraden bei der Auslegung von Schwerkraftheizungen beinahe unbegrenzt. Dabei finden jedoch bestimmte Verteilungsprinzipien Anwendung. Neben der (überwiegend) horizontalen oder vertikalen Gestaltung des Rohrnetzes zur räumlichen Erschließung des Gebäudes, sind vor allem die untere und obere Verteilung zu unterscheiden. Die untere Verteilung ordnet die horizontal angeordneten Haupt-Vorlaufverteilungen unten, i. d. R. im Kellergeschoß an, während bei oberer Verteilung diese Leitungen im Obergeschoß (Dach, Drempeel o. ä.) angeordnet werden.

Die Unterscheidung in Verästelungsprinzip (Abb. 13) und Gleichlaufprinzip (Abb. 14) gehört insbesondere unter dem Gesichtspunkt des hydraulischen Abgleiches zu den wesentlichsten Unterscheidungsmerkmalen in gebäudetechnischen Anlagen. Beim Verästelungsprinzip erfolgt die Aufteilung der Durchflussmengen in Richtung Wärmeübergabeeinrichtungen analog einer Baumstruktur, also zunehmende Aufteilung mit zunehmender Entfernung von der Wurzel (hier Wärmeerzeuger bzw. Heizkreisverteilung).

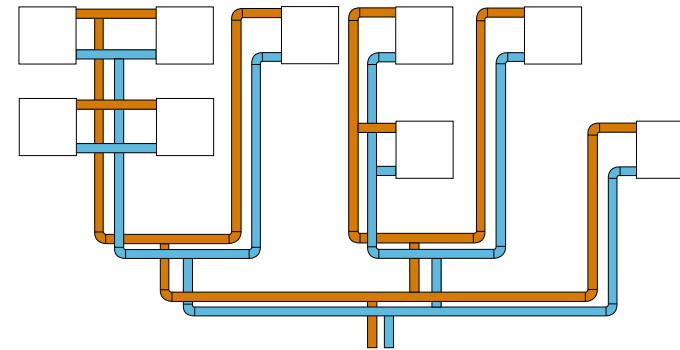


Abb. 13: Zweirohrheizung – Verästelungsprinzip

Das Gleichlaufprinzip nach Tichelmann folgt dem Grundsatz von „Fließwegen gleicher Länge“, was bedeutet, dass die Summe aller Vorlauf- und Rücklauf-Fließwege zwischen Wärmeerzeuger oder Heizkreisverteiler und jeder Wärmeübergabeeinrichtung (z. B. Heizkörper) gleich ist. Sind auch die Wärmeübergabeeinrichtungen in Art und Größe identisch, resultiert daraus die praktische (annähernde) Gleichheit der Druckverluste in jedem Fließweg. Damit erübrigt sich im Idealfall der hydraulische Abgleich in diesem Anlagenabschnitt.

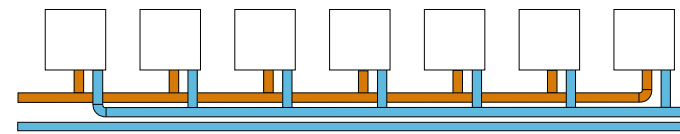


Abb. 14: Zweirohrheizung – Gleichlaufprinzip

Ergänzend sei bemerkt, dass sich Verästelungs- und Gleichlaufprinzip in jeder Verteilungsebene (Hauptverteilung, Strang, Anbindung) anwenden und kombinieren lassen.

Ist die konzeptionelle Struktur des Heizungssystems unter Berücksichtigung der gebäudespezifischen Bedingungen sowie der Gestaltungsgrundsätze erstellt, ist die Dimensionierung der Rohrleitungsabmessungen durchzuführen. Neben der Festlegung des Rohrmaterials bzw. der Materialien sind

drei Kriterien für die Bestimmung des Rohrdurchmessers in Abhängigkeit des Summendurchflusses in jeder Teilstrecke maßgebend:

- maximal zulässige Strömungsgeschwindigkeit w_{\max} in m/s
- maximaler spezifischer Rohrleitungsdruckverlust R_{\max} in Pa/m
- kleinste einzusetzende Rohrnennweite (i. d. R. DN 12)

Nach Erarbeitung des Strangschemas und der Zusammenstellung aller geometrischen und hydraulischen Basisdaten kann die eigentliche Rohrnetzberechnung vollzogen werden.

1.4.2 Rohrnetzberechnung

1.4.2.1 Zweck der Rohrnetzberechnung

Mit der heute meist softwarebasierten Rohrnetzberechnung werden sämtliche im Heizungssystem auftretende Druckverluste durch Rohrleitungen, Einzelwiderstände, Armaturen, Aggregate und sonstiger Einbauten erfasst

Aus der Rohrnetzberechnung resultieren der maximal zu erbringende Gesamtdruckverlust als Grundlage für die Auswahl der erforderlichen Heizungsumwälzpumpe sowie die Einstellwerte für den hydraulischen Abgleich des Gesamtsystems.

1.4.2.2 Verfahren der Rohrnetzberechnung

Jede Rohrnetzberechnung beginnt mit der Ermittlung der „ungünstigsten Wärmeübergabeeinrichtung“. Dabei handelt es sich in den meisten Fällen um den von der Umwälzpumpe am weitesten entfernt liegenden Heizkörper. Weniger entfernte Heizkörper erfüllen immer dann diesen Status, wenn deren größtenbedingter Einzeldruckverlust dominant ist. Um diese Wärmeübergabeeinrichtung hinreichend, also mit Nenn-Wärmeträgerdurchfluss, versorgen zu können, muss die zugeordnete Umwälzpumpe den Differenzdruck dieses gesamten Fließweges aufbringen und gleichzeitig den Nenndurchfluss von allen anderen Wärmeübergabeeinrichtungen (Summendurchfluss = Nennvolumenstrom) fördern.

Für jede Teilstrecke des Rohrnetzes sind nachfolgende Werte festzulegen bzw. zu bestimmen (durch Berechnung, Ablesung, Ermittlung):

- Durchfluss
- Mittlere Strömungsgeschwindigkeit
- Rohrmaterial (Rauheit)
- Innendurchmesser
- Temperatur → Dichte
- Rohrlänge
- spezifischer Druckverlust
- Einzelwiderstände (Zeta-Werte)
- Druckverluste von Einbauten, z. B. Heizkörper, Filter, Wärmemengenzähler, etc.

Basierend auf diesen Informationen lässt sich die Berechnung des Druckverlustes in jeder Teilstrecke durchführen, wobei dazu meist die praxisübliche Form der Bernoulli-Gleichung für geschlossene Strömungskreisläufe Anwendung findet:

$$\Delta p_{TS} = R_{TS} \times l_{TS} + \sum \zeta_{TS} \times S_{TS} + \Delta p_{Einb.} \quad (7)$$

- Δp_{TS}

Teilstreckendruckverlust [Pa]
- R_{TS}

spezifischer Rohrreibungsdruckverlust [Pa/m]
- l_{TS}

Länge der Teilstrecke
- $\sum \zeta_{TS}$

Summe der Einzeldruckverlustbeiwerte der Teilstrecke
- S_{TS}

Staudruck in der Teilstrecke [Pa]
- $\Delta p_{Einb.}$

Druckverlust von sonstigen Einbauteilen [Pa]
(Zähler, Filter, Heizkörper, etc.)

Sind alle Teilstreckendruckverluste Δp_{TS} berechnet und summiert, kann die Auslegung der Thermostatventile in den bereits erwähnten Einsatzgrenzen erfolgen und in den Druckverlust ergänzt werden. Schließlich werden noch ggf. die Druckverluste von Regelarmaturen (z. B. Dreiwegemischer) und Strangregleinrichtungen zum Gesamtdruckverlust addiert.

$$\Delta p_p = \sum \Delta p_{TS} + \Delta p_{THV} + \Delta p_{RV} \quad (8)$$

- Δp_p

Gesamtdruckverlust (= Pumpendifferenzdruck)
- $\sum \Delta p_{TS}$

Summe der Teilstreckendruckverluste
- Δp_{THV}

Druckverlust des Thermostatventils
- Δp_{RV}

Auslegungsdruckverlust der Regelarmatur(-en)

Es sind sämtliche installationsrelevanten Ergebnisse, wie Nennweiten, Armaturentypen, Voreinstellwerte und Pumpentypen in die Dokumentation (Grundrisszeichnungen, Strangschemen) zu übertragen und bei der Ausführung einzubeziehen.

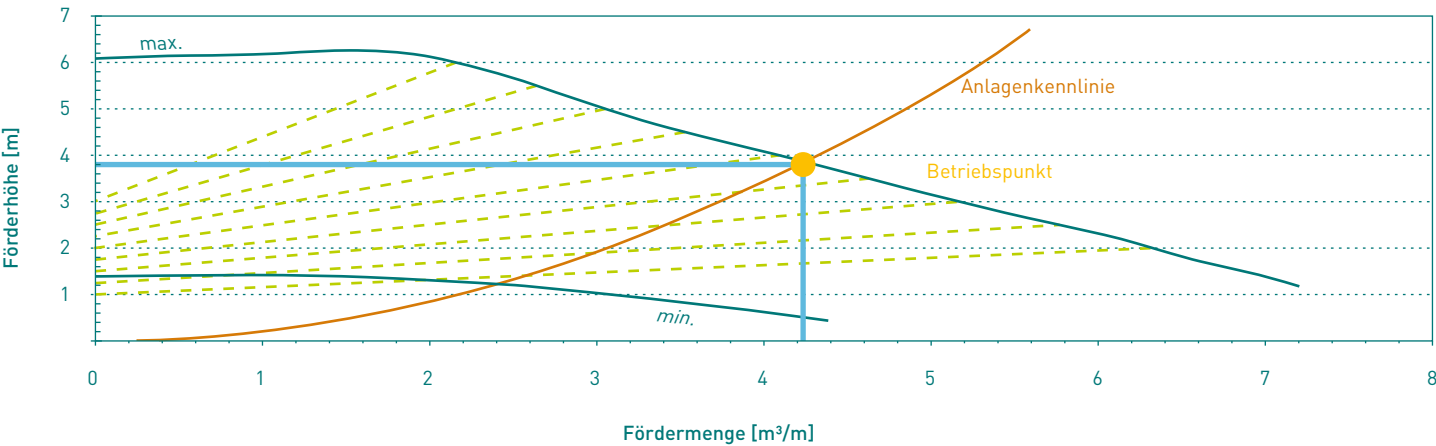


Abb. 15: Pumpenschaubild

1.4.2.3 Pumpenauslegung

Mit den Ergebnissen der Rohrnetzberechnung wird die Auswahl der erforderlichen Umwälzpumpe für die Heizungsanlage bzw. den jeweiligen Heizkreis möglich. Maßgebliche Eingangsgrößen sind:

- Nennvolumenstrom
- Gesamtdruckverlust

Weiterhin sind natürlich die Druckstufe (z. B. PN 6) und ggf. die verfügbaren elektrischen Parameter (z. B. 400V, 50 Hz) für die Pumpenauswahl erforderlich.

In der Praxis zeigt sich, dass der Nennvolumenstrom infolge individueller oder zufälliger Regeleingriffe an den Wärmeübergabeeinrichtungen (z. B. Thermostatventil im Schlafzimmer auf Frostschutz eingestellt) niemals eintritt. Daher kann die Pumpenauslegung meist mit einem um etwa 10 % reduzierten Nennvolumenstrom erfolgen.

Die auszuwählende Umwälzpumpe erweist sich hydraulisch als geeignet, wenn der Schnittpunkt (Betriebspunkt im Auslegungsfall) aus Anlagenkennlinie und Pumpenkennlinie zusammenfällt (Abb. 15) bzw. innerhalb des Arbeitsgebietes derselben liegt. Die nach EnEV geforderte Anpassung des Pumpenbetriebspunktes an beliebige Teillastbedingungen wird heute meist durch elektronische Drehzahlregelung ermöglicht, wobei die zwei Betriebsarten

- konstanter Differenzdruck (Δp_c)
- variabler Differenzdruck (Δp_v)

einstellbar und durch die horizontalen bzw. geneigten Parameterlinien im Pumpenschaubild abgebildet sind.

Auf ein praxisübliches Phänomen soll noch hingewiesen werden. Es kommt bei mangelhafter Versorgung einzelner Abnehmer oft vor, dass der Pumpenbetriebspunkt durch Erhöhung der einstellbaren Förderhöhe (Pumpendifferenzdruck) beeinflusst wird. Unter Beachtung des Pumpenschaubildes und Funktionalität der Leistungsregelung kann der Nennvolumenstrom dadurch nicht erhöht und somit die Problematik zu Lasten eines erhöhten Energieeinsatzes nicht behoben werden.

1.5 Hydraulischer Abgleich von Neuanlagen

1.5.1 Grundsätze der Konzeption und Planung

Bei der Konzeption von Neuanlagen existieren die meisten Freiheitsgrade hinsichtlich der Anordnung und Gestaltung des Rohrnetzes, wenngleich bauliche Randbedingungen zu berücksichtigen bleiben.

Eine Reihe von Leitgedanken mit unterschiedlichem Optimierungshindergrund stehen bei der Anlagenkonzeption im Fokus der Betrachtungen, wie:

- Einsatz von gleichartigen Wärmeübergabesystemen, vorzugsweise nach Heizkreisen getrennt (z. B. Heizkreis Fußbodenheizung + Heizkreis Radiatoren)
- Verwendung gleicher Thermostatventile und Thermostatköpfe
- möglichst symmetrische Strangaufteilung und Hauptverteilung
- Vermeidung von Strangarmaturen, z. B. durch Anwendung des Tichelmannprinzips, ansonsten Strangarmaturen gleichen Typs
- Minimierung des Rohreinsatzes
- Gute Zugänglichkeit der Armaturen für Einregulierung und Wartung
- keine Manipulationsmöglichkeit (Veränderung der Voreinstellung)

Es werden in der Praxis immer Kompromisse erforderlich sein, wie z. B. der Umstand, dass das Tichelmannprinzip meist zu erhöhtem Rohrmaterialeinsatz führt, weshalb eine Abwägung im Einzelfall stets notwendig erscheint. Die Planung, d.h. die notwendigen Dimensionierungsberechnungen sind mit hinreichender Sorgfalt durchzuführen und in den Planungsunterlagen nachvollziehbar zu dokumentieren. Alternative Überlegungen in der Realisierungsphase sind bei der Montageplanung zu berücksichtigen und ggf. neu nachzurechnen.

1.5.2 Durchführung des hydraulischen Abgleiches

Mit der Fertigstellung, ggf. Teilinbetriebnahme von Neuanlagen sind zur Durchführung des hydraulischen Abgleiches folgende Vorleistungen erforderlich (s.a. VDMA-Einheitsblatt 24199 und DIN EN 14336):

- Anlage gespült und frei von Verunreinigungen
- Anlage gefüllt und entlüftet
- Sicherstellung der vollständigen Durchströmung der Anlage durch Öffnen sämtlicher Absperr- und Regelarmaturen
- Entfernung (bzw. noch nicht aufgesetzte) Thermostatköpfe an Heizkörpern
- Geöffnete Rücklaufverschraubungen bzw. Heizkörperanschlussverschraubungen
- Schließen eventuell vorhandener Bypassleitungen oder -ventile (Überströmventile)
- Gereinigte Schmutzfänger/-filter
- Einstellung der Umwälzpumpe auf Sollwert und Betriebsart

Insofern nicht bereits bei der Installation erfolgt, werden zunächst die Voreinstellungen der Thermostatventile und/oder einstellbaren Rücklaufverschraubungen bzw. bei Flächenheizungen die Regulierventile am Heizkreisverteiler auf den angegebenen Wert vorgenommen.

Nachfolgend sind, beginnend an den von der Umwälzpumpe entferntesten Strangreguliereinrichtungen, die Voreinstellungen vorzunehmen und vorzugsweise mit geeigneten Durchflussmessgeräten zu überprüfen.

Sind sämtliche Einstellungen und eventuelle Korrekturen vollzogen, ist das Ergebnis der Einregulierung zu protokollieren und in die Revisionsunterlagen einzutragen.

2. Praktische Umsetzung

2.1 Normative und rechtliche Grundlagen

Die Europäische Gebäuderichtline (EPBD) schreibt die regelmäßige Überprüfung von Heizungsanlagen mit einer Kesselleistung von größer 20 kW vor. Hierbei sind die Energieeffizienz der Heizungsanlage und die Dimensionierung in Bezug auf den Wärmebedarf des Gebäudes zu überprüfen. Bei Anlagen mit einer geringeren Kesselleistung ist eine Überprüfung ebenfalls energetisch und wirtschaftlich sinnvoll und zu empfehlen.

2.1.1 DIN EN 15378 Inspektion von Kesseln und Heizungssystemen

In der DIN EN 15378 „Inspektion von Kesseln und Heizungssystemen“ wird die Vorgehensweise bei einer Heizungsinspektion entsprechend den Anforderungen der EPBD erläutert. Eine praxisnahe Aufbereitung des Verfahrens erfolgt im „Leitfaden zum Heizungs-Check“ der Vereinigung der deutschen Zentralheizungswirtschaft e.V.

2.1.2 DIN V 18599

Die DIN V 18599 „Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung“ setzt den bestimmungsgemäßen Betrieb der heiztechnischen Anlagen nach den anerkannten Regeln der Technik voraus und verweist bezüglich des hydraulischen Abgleichs auf das VDMA-Einheitsblatt 24199. Für die Berechnung des hydraulischen Energiebedarfs ist ein Korrekturfaktor eingeführt worden. Wird der hydraulische Abgleich nicht nachgewiesen, so wird dieser Energiebedarf bei der Berechnung 10 % höher angesetzt.

2.1.3 Energieeinsparverordnung (EnEV)

In der Energieeinsparverordnung (EnEV) wird für Heizungsanlagen ein hydraulischer Abgleich verlangt. Die energetische Berechnung des Referenzgebäudes erfolgt mit einer Heizungsanlage, welche hydraulisch abgeglichen ist. Zur Erreichung dieser Energiekennwerte ist daher auch im realen Gebäude ein hydraulischer Abgleich durchzuführen. Zur Umsetzung der EnEV wird in einigen Bundesländern der Anlagenersteller aufgefordert, die EnEV-konforme Erstellung der Anlage zu bestätigen. Je nach Bundesland wird die Dokumentation der energetisch wesentlichen Merkmale nach EnEV sowie der hydraulische Abgleich vorgeschrieben.

2.1.4 Verlagerung von Planungsleistungen VOB Teil C und DIN 18380

Im Rahmen der VOB Teil C/DIN 18380 (Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen) wird der Fachhandwerker zur Durchführung des hydraulischen Abgleichs verpflichtet. Voraussetzung dafür sind Planungsunterlagen wie die Rohrnetz- und Pumpenauslegung, die vom Auftraggeber an den Fachhandwerker zu übergeben sind, VOB/C – DIN 18380 Absatz 3.1.2.

Liegen diese Unterlagen nicht vor, so ist dies dem Auftraggeber anzuzeigen. Wird daraufhin der Auftragnehmer vom Auftraggeber mit diesen Planungsleistungen beauftragt, ist dies eine besondere Leistung, die vom Auftraggeber auch zusätzlich zu vergüten ist.

Für Mängel bei der Ausführung bzw. der Unterlassung des hydraulischen Abgleichs haftet in jedem Fall der Fachhandwerker.

Bei Warmwasserheizungen müssen an jeder Raumheizfläche Möglichkeiten zur Begrenzung der Durchflussmenge vorhanden sein.

Nach VOB/C – DIN 18380 Absatz 3.1.1 ist für jede Heizungsanlage ein hydraulischer Abgleich vorzunehmen. Im Text heißt es hierzu explizit:

Absatz 3.1.1 „.... Umwälzpumpen, Armaturen und Rohrleitungen sind durch Berechnung so aufeinander abzustimmen, dass auch bei den zu erwartenden Betriebsbedingungen eine ausreichende Wassermengenverteilung sichergestellt ist. Die zulässigen Geräuschpegel dürfen nicht überschritten werden. Ist z. B. bei Schwachlastbetrieb ein übermäßiger Differenzdruck zu erwarten, so sind differenzdruckregelnde Einrichtungen vorzusehen ...“

Absatz 3.5.1 „.... der hydraulische Abgleich so vorzunehmen ist, dass bei bestimmungsgemäßem Betrieb alle Wärmeverbraucher entsprechend ihres Wärmebedarfs mit Heizwasser versorgt werden. Das gilt auch nach einer Raumtemperaturabsenkung oder Betriebspause der Heizungsanlage.“

2.1.5 Voraussetzung für Fördermaßnahmen

In einschlägigen Förderprogrammen zur Modernisierung und Erneuerung von Heizungssystemen ist ein hydraulischer Abgleich zwingend gefordert. So werden beispielsweise Zuschüsse oder Kredite der KfW in den Förderprogrammen Bauen, Wohnen, Energie sparen – energetisch Sanieren nur bei einem hydraulischen Abgleich der Gesamtanlage vergeben.

2.2 Hydraulischer Abgleich im Bestand

2.2.1 Positive Effekte

Mit dem hydraulischen Abgleich sind folgende positive Effekte für die Heizungsanlage erreichbar:

Erhöhung der Energieeffizienz der Anlage

Die nutzerseitige Verschwendung von Heizenergie wird durch eine bedarfsgerechte Versorgung der Heizflächen begrenzt. Eine anlagengerechte Einstellung der Pumpenleistung und verbesserte Ausnutzung der Vorlauftemperatur reduziert den Heizenergiebedarf.

Optimale Wärmeverteilung

Der hydraulischen Abgleich passt den Volumenstrom an die Anforderungen der jeweiligen Heizfläche an. Dies führt zu einer gleichmäßigen Verteilung der Wärme im gesamten Gebäude und eine Über-/Unterversorgung von einzelnen Räumen mit Wärme wird vermieden.

Vermeidung von Geräuschen in der Heizungsanlage

Die Begrenzung des Volumenstroms und Anpassung der Pumpenleistung reduziert die Fließgeschwindigkeit des Heizungswassers in der Anlage. In Verbindung mit geringeren Drucksprüngen über dem Thermostatregelventil reduziert sich die Geräuschbelastung bzw. wird vermieden.

Die theoretischen Grundlagen der beschriebenen positiven Effekten des hydraulischen Abgleichs werden im Teil I beschrieben.

Da in der Praxis als Verteilsysteme überwiegend Zweirohrsysteme anzutreffen sind (vgl. 1.4.1.2 Zweirohrheizung), werden in den folgenden Kapiteln praktische Lösungen anhand dieser Art der hydraulischen Verteilung erläutert.

2.2.2 Wann ist ein hydraulischer Abgleich erforderlich?

Der hydraulischer Abgleich ist im Regelfall durchzuführen bei:

- nicht abgeglichenen Bestandsanlagen
- Heizlaständerung des Gebäudes
- Änderung des Wärmeerzeugers/der Anlagentechnik

2.2.2.1 Nicht abgeglichene Bestandsanlagen

Nach Schätzung von Experten und Fachverbänden sind mehr als 80 % der Heizungsanlagen im Bestand nicht oder nur mangelhaft hydraulisch abgeglichen.

Indizien für nicht abgeglichene Anlagen:

- ungleichmäßige Wärmeverteilung im Heizungsnetz
- starke Strömungsgeräusche in den Rohrleitungen und an den Thermostatregelventilen
- auf Maximalleistung eingestellte Heizkreispumpen
- von der Anlagenauslegung abweichende Systemtemperaturen

Anlagentechnik:

- keine einstellbaren Thermostatventileinsätze vorhanden
- alle Thermostatventileinsätze befinden sich in der gleichen Einstellung
- bei größeren Anlagen sind keine Strangreguliertventile und/oder Differenzdruckregler eingebaut

Mit einem nachträglichen Abgleich der Anlagen wird das vorhandene Potential zur Verbesserung der Energieeffizienz nutzbar. In der Regel können Pumpenleistungen und/oder Auslegungstemperaturen reduziert werden. Gleichzeitig verbessern sich Regelverhalten und Komfort, Anlagengeräusche werden vermieden.

Entscheidend für den Aufwand eines nachträglichen Anlagenabgleichs sind die Komplexität der Anlage und die Qualität der Bestandsunterlagen. Für große verzweigte Anlagen mit unvollständigen Bestandsunterlagen ist dieser natürlich ungleich höher, als für die überschaubare Heizungsanlage im Einfamilienhaus. Da jedoch davon ausgegangen werden kann,

dass auch das Einsparpotential bei komplexen Anlagen höher ist, werden sich die Kosten in der Regel mittelfristig aus der Energieeinsparung amortisieren.

2.2.2.2 Änderung der Heizlast

Eine Änderung der Heizlast, gleich ob Reduzierung oder Erhöhung, erfordert eine Prüfung und ggf. den hydraulischen Abgleich des Systems.

Mit baulichen Maßnahmen am Gebäude reduzieren sich durch höhere Bauteildämmwerte und/oder bessere Gebäudedichtheit in der Regel die Transmissions- und Lüftungswärmeverluste und damit die Heizlast, z. B. bei:

- Komplettsanierung Gebäude nach EnEV
- energetische Ertüchtigung einzelner Bauteile der thermischen Hülle
- Austausch der Fenster
- Ausbau und Dämmung des Dachgeschosses
- Erweiterung des Gebäudes (Anbau)

Bei einer Heizlaständerung sind die Änderungen der raumweisen Heizlasten nicht gleichverteilt. Dies bedeutet, dass neben der Änderung der Auslegungstemperaturen auch geprüft wird, inwiefern die Volumenströme und damit der hydraulische Abgleich angepasst werden müssen. (siehe Beispiel Abschnitt 1.4.5)

Zur Bestimmung der Auslegungstemperatur nach einer Reduzierung der Gebäudeheizlast werden in der DIN V 18599-5 (S. 30, Tab. 5), in Abhängigkeit der Heizlasten vor und nach der Sanierung folgende Empfehlungen gegeben:

<div>neu alt</div>	70/55 °C	55/45 °C	35/28 °C
90/70 °C	63,8 %	40,6 %	11,3 %
70/55 °C			17,8 %
55/45 °C			27,9 %

Tab. 1: Anpassung der Auslegungstemperaturen bei reduzierter Heizlast nach DIN V 18599

Die Prozentangaben berechnen sich nach

$$\frac{\text{Heizlast neu}}{\text{Heizlast alt}} \times 100 = \text{Prozentwert}$$

Eine Änderung der Heizlast liegt vor bei:

- Sanierung der Fenster mit geringerem U-Wert
- energetischer Sanierung der Gebäudehülle (Dämmung)
- Dämmung der obersten Geschosdecke
- Ausbau und Dämmung des Dachgeschosses
- Erweiterung des Gebäudes (Anbau)

2.2.2.3 Änderung des Wärmeerzeugers

Die Änderung des Wärmeerzeugers geht zumeist mit einer Reduzierung der Vor-/Rücklauftemperatur einher (z. B. Brennwertnutzung bei Brennwertkesseln oder Systemtemperaturen der Wärmepumpe). Anhand der neuen Auslegungsrandbedingungen sind die Volumenströme durch die Heizkörper nachzurechnen und gegebenenfalls neu einzustellen.

Besonders bei Wärmepumpen muss die Wärmeerzeugerleistung sehr genau auf die Heizlast des Gebäudes ausgelegt werden. Nur wenn alle Volumenströme in den Heizflächen durch einen hydraulischen Abgleich den jeweiligen Lasten der Räume angepasst sind, kann das System mit der ausgelegten Vorlauftemperatur betrieben werden. Andernfalls ist zum Beispiel bei einer Wärmepumpe mit einer Verschlechterung der COP-Werte zu rechnen und der Nutzer wird stark überhöhte Stromkosten zu tragen haben. Oftmals ist nicht „die schlechte Wärmepumpe“ oder „der schlechte Wärmeerzeuger“ sondern die unzureichende und fachlich mangelhafte Anpassung des restlichen Heizsystems die Ursache für unplanmäßige Betriebskosten.

2.3 Bausteine zum hydraulischen Abgleich

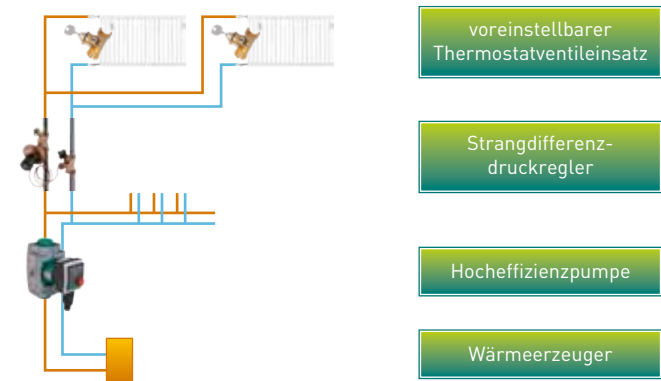


Abb. 16: Position der Bauteile im System

2.3.1 Heizungspumpen

Elektrisch angetriebene Umwälzpumpen in Heizungsanlagen erzeugen den Umtriebsdruck für den Wärmetransport vom Wärmeerzeuger zum Wärmeverbraucher und müssen so ausgewählt und eingestellt werden, dass bei Volllast alle angeschlossenen Wärmeverbraucher mit dem zur Beheizung der jeweiligen Räume benötigten Volumenstrom versorgt werden.

Für das Heizungsnetz ergibt sich ein Gesamtdruckverlust. Er bestimmt die erforderliche Förderhöhe (Druck) der Pumpe. Die Pumpe wird so gewählt und eingestellt, dass die Förderhöhe genau ausreicht, um das Heizwasser durch das vorhandene Rohrnetz mit allen seinen Verengungen zu pumpen und dabei auch den Heizkörper mit dem höchsten Druckverlust im Rohrnetz noch bedarfsgerecht zu versorgen.

Um eine Überversorgung der Fließwege mit einem geringeren Druckverlust zu vermeiden, werden Bauteile als zusätzliche einstellbare Widerstände eingesetzt und somit die Volumenströme abgeglichen (vgl. 1.4.2 Rohrnetzberechnung).

2.3.1.1 Ungeregelte 3-stufige Pumpe

Eine ungeregelte 3-stufige Pumpe darf auf der Grundlage der EnEV 2007 nur bis 25 kW Nennleistung eingesetzt werden.

Die Auslegung einer Pumpe ist im Punkt 1.4.2.3 ausführlich beschrieben.

Sie kann nur nach der eingestellten Kennlinie der Stufe 1, 2 oder 3 arbeiten. Im Teillastbetrieb bei reduziertem Volumenstrom steigt der Förderdruck immer weiter auf der eingestellten Kennlinie an, je kleiner der Volumenstrom wird. Diese Arbeitsweise ist unwirtschaftlich und fördert den schnelleren Verschleiß der Pumpe. Der Energieverbrauch der Pumpe ist auch bei Teillastbedingungen hoch.



Abb. 17: ungeregelte Pumpe (Bsp. Grundfos UPS 20-45, Wilo Star RS)

2.3.1.2 Heizungsumwälzpumpe elektronisch geregelt

Elektronisch geregelte Pumpen können sich dem tatsächlich benötigten Massenstrom gegenüber einer unregelmäßig arbeitenden Pumpe besser anpassen. Das hat nicht nur eine universelle Einsetzbarkeit und geringere Pumpenbelastung zur Folge, sondern geht mit einer entsprechenden Leistungsreduzierung und somit einer äquivalenten Energieeinsparung einher.

Der geringere Energiebedarf kann bis zu ca. 50 % gegenüber einer unregelmäßig arbeitenden Pumpe betragen.

Je nach Anlagencharakteristik mit Netzgröße und -verzweigung kann die Pumpenregelung auf konstante oder variable Förderhöhe eingestellt werden. Die meiste Zeit wird eine Pumpe im Teillastbetrieb gefahren. Bei reduziertem Volumenstrom und konstanter Pumpenregelung stellt sich der Betriebspunkt, als Schnittpunkt der Pumpenkennlinie mit der Rohrnetzkennlinie, mit einem nahezu gleichen Druckverlust gegenüber dem Volllastbetrieb ein. Zusätzlich ergibt sich im Teillastbetrieb und variabler Pumpenregelung ein Betriebspunkt, der noch bei einem geringeren Druckverlust liegt.

Eine Pumpenkennlinie zeigt die mögliche Förderhöhe im Verhältnis zum Volumenstrom auf, die sie unter den jeweiligen Betriebsbedingungen überwinden kann.

Die Rohrnetzkennlinie stellt den Verlauf des Druckverlustes in einem Heizungssystem im Verhältnis zu dem Volumenstrom dar.



Abb. 18: elektronisch geregelte Pumpe (Bsp. Wilo Star E , Grundfos UPE)

2.3.1.3 Hocheffizienzpumpen

Hocheffizienzpumpen sind elektronisch geregelte Pumpen, die durch EC-Motoren mit Permanentmagnet und konstruktive Optimierung unter gleichen Betriebsbedingungen eine geringere Stromaufnahme haben. Das hat eine noch größere Leistungsreduzierung gegenüber der unregelmäßig arbeitenden Pumpe zur Folge, was den Energiebedarf der Pumpe bis zu ca. 80 % senken kann.

Mit der Energieeffizienz dieser Pumpe liegt ein wesentlicher Bestandteil zur Betriebskostenreduzierung für eine Heizungsanlage vor, was den Einbau einer derartigen Pumpe favorisiert.



Abb. 19: Hocheffizienz Pumpe (Bsp. Wilo Stratos pico, Grundfos Alpha2)

2.3.1.4 Dezentrale Heizungspumpen (Geniax)

Das dezentrale Pumpensystem ist geeignet für Zweirohrheizsysteme, indem vorzugsweise nicht mehr mit einer zentralen Heizungsumwälzpumpe der notwendige Förderdruck erzeugt wird, sondern es kommen kleine dezentrale Hocheffizienzpumpen zum Einsatz. Diese kleinen Hocheffizienzpumpen werden im Rücklauf nach jedem Heizkörper installiert. Im Vorlauf zum Heizkörper entfällt das Thermostatventil, welches durch einen Rückflußverhinderer ersetzt wird.

Am Wärmeerzeuger wird die Regelung über einen Server, einen Buskoppler, Raumbediengeräte und der Pumpenelektronik mit jeder einzelnen Hocheffizienzpumpe an den Heizflächen verbunden.

Dieses System ist für den Einsatz an Heizkörpern und an Flächenheizsystemen geeignet.

Mit dem dezentralen Regelungssystem wird erreicht, dass die Wärme mit Hilfe der Software gesteuerten Raumtemperaturregelungen bedarfsgerecht, zu dem tatsächlich benötigten Zeitpunkt, in die einzelnen Räume transportiert wird.

Das flexible Regelsystem erhöht die Energieeffizienz, senkt die Betriebskosten und fördert die CO₂-Reduzierung. Es ist für Ein- und Zweifamilienhäuser, für Mehrfamilienhäuser und auch für komplexe Gebäude bestens geeignet. Besonders für Bürogebäude und öffentliche Einrichtungen wird eine raumbezogene Regelung ermöglicht, die bisher nicht gegeben war und zu unnötigen Wärmeeinsparungen geführt hat.



Abb. 20: Dezentrale Umwälzpumpe (Bsp. Wilo Geniax Pumpe)

2.3.1.5 Einsatzmöglichkeiten und Einsatzgrenzen der Pumpen

Ungeregelte, 3-stufige Pumpen werden nach den heutigen Erkenntnissen in Heizungsanlagen überwiegend für Kreisläufe mit gleichbleibenden Volumenströmen und stabilen Druckverhältnissen, wie im Kesselkreis oder für die Warmwasserspeicherladung eingesetzt. Als Heizungsumwälzpumpen verlieren sie auf Grund ihrer ständig hohen Leistungsaufnahme immer mehr an Bedeutung.

Hier kommen elektronisch geregelte Pumpen zur Anwendung, die wesentlich energieeffizienter arbeiten und ihre Leistung bedarfsgerecht den tatsächlich benötigten Volumenströmen anpassen können.

In Abb. 21 wird anhand der Kennlinie die Betriebsweise der unterschiedlichen Pumpentypen dargestellt. Vereinfacht kann davon ausgegangen werden, dass die Leistungsaufnahme einer Pumpe abhängig vom Produkt aus Volumenstrom (Q) mal Förderhöhe (H) ist.

Anhand der schwarzen Kennlinie der unregelmäßig arbeitenden Pumpe wird deutlich, dass mit sinkendem Volumenstrom (Q) die Förderhöhe (H) ansteigt. Die Leistungsaufnahme der Pumpe ändert sich bei reduziertem Volumenstrom nur unwesentlich.

Dagegen ist den Kennlinien elektronisch geregelter Pumpen zu entnehmen, dass die Förderhöhe bei sinkendem Volumenstrom gleich bleibt bzw. in der Einstellung H =variabel abgesenkt wird. Damit reduziert sich die Leistungsaufnahme der Pumpe deutlich.

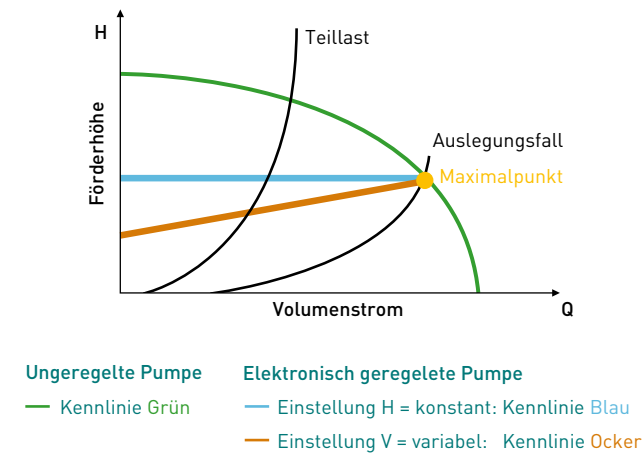


Abb. 21: Pumpenkennlinien

2.3.2 Wärmeübergabe

Die Wärmeübergabe an den jeweiligen Raum erfolgt über verschiedene Heizkörperarten und Flächenheizsysteme, wie im Abschnitt 1.3 beschrieben.

Die übertragene Wärmeleistung jedes Wärmeübertragers ist proportional zur wärmeübertragenden Fläche und zur mittleren Temperaturdifferenz. Diese ändert sich in Abhängigkeit vom Volumenstrom. Der hydraulische Abgleich bildet die Grundlage für eine ständige bedarfsgerechte Wärmeversorgung der einzelnen Räume.

2.3.2.1 Thermostatregelventil (TRV)

Die Hauptaufgabe des Thermostatregelventils ist die Sicherstellung der erforderlichen Raumtemperatur durch Regelung der Wärmezufuhr zum Heizkörper unter Berücksichtigung möglicher zusätzlicher Wärmequellen (z. B. innere und solare Wärmeeinträge).

Durch eine falsche Auslegung des Heizsystems ist diese Funktion oftmals nicht gegeben und das Thermostatregelventil wird durch den Nutzer als Auf-/Zu-Ventil missbraucht. Dies ist darin begründet, dass sich bei z. B. zu hohem Druck der Umwälzpumpe selbst bei gering öffnendem Thermostatregelventil ein zu hoher Massenstrom (Wärmestrom) einstellt, die Raumtemperatur steigt sehr stark an, das Ventil reagiert darauf und schließt voll, die Temperatur im Raum fällt wieder stark ab. Das Öffnen und Schließen des Ventils wiederholt sich zyklisch und führt zu stark schwankenden Raumtemperaturen und zur Unzufriedenheit des Nutzers.

Abhilfe schaffen Thermostatregelventile mit Begrenzung des Volumenstroms durch voreinstellbare Ventileinsätze.

Hinweise: Bei den in Abbildung 22 und Abbildung 23 dargestellten Ventileinsätzen kann eine Einstellung nur mit ganzzahligen Einstellwerten erfolgen. Eine Einstellung mit Zwischenwerten führt zum Verschluss des Strömungsquerschnitts (siehe Abb. 24).



Abb. 22: Querschnitt am voreinstellbaren Thermostatventileinsatz bei Voreinstellung Stufe 3



Abb. 23: Querschnitt am voreinstellbaren Thermostatventileinsatz bei Voreinstellung Stufe 5



Abb. 24: Voreinstellbarer Ventileinsatz falsch eingestellte (in Zwischenstellung 3–4)

Bei Ventileinsätzen mit einem abgeschrägten Verstellechieber ist auch die Einstellung von Zwischenwerten möglich (siehe Abbildung 25).



Abb. 25: Voreinstellbarer Ventileinsatz (Beispiel für Ventilheizkörper)

Für ein gutes Regelverhalten muss das Thermostatregelventil an den Auslegungsvolumenstrom des Heizkörpers angepasst werden. Nur bei einer korrekten Auslegung mit einem Differenzdruck über dem Ventil von 40 bis 140 mbar ergeben sich mit geringen Ventilhüben auch nur geringe Massenstromänderungen und somit eine genaue Anpassung der Raumtemperatur ohne Sollwertüber-/unterschreitungen. So wird auch gewährleistet, dass bei zusätzlichen Wärmequellen im Raum (Personen, Wärmeabgabe durch elektrische Geräte, Sonneneinstrahlung usw.) die Wärmezufuhr über den Heizkörper angepasst werden kann und die Raumtemperatur konstant gehalten wird.

Ein Thermostatregelventil am Heizkörper vorlauf besteht aus dem Ventilkörper und dem Thermostatkopf. Der Ventilkörper ist als nicht voreinstellbare und voreinstellbare Variante erhältlich. Auf Grund der EnEV und den anerkannten Regeln der Technik sind heute voreinstellbare Ventilkörper einzusetzen. Der hydraulische Abgleich erfolgt über die jeweils am Ventilkörper voreingestellte Stufe. Ein Thermostatventil regelt, abhängig von Raumtemperatur und manuell gewählter Stellung, den Volumenstrom durch Querschnittsverengung.

Der Thermostatkopf regelt die Raumtemperatur über eine Temperaturvorwahl bei folgenden Stellungen:

- **Stellung 0:** Ventil bleibt ständig geschlossen
- **Stellung *:** Ventil öffnet nur unterhalb von ca. 4 °C (Frostschutz)
- **Stellung 1:** Schließt bei Raumtemperatur ca. 12 °C
- **Stellung 2:** Schließt bei Raumtemperatur ca. 16 °C
- **Stellung 3:** Schließt bei Raumtemperatur ca. **20 °C**
- **Stellung 4:** Schließt bei Raumtemperatur ca. 24 °C
- **Stellung 5:** Schließt bei Raumtemperatur ca. 28 °C

Zwischentemperaturen sind stufenlos einstellbar.

2.3.2.2 Heizkörper mit voreingestellten Ventileinsätzen

Diese Heizkörper bieten dem Installateur eine Hilfestellung, beachten aber nicht die Gebäude und anlagenseitige Situation am Installationsort. Es wird von typischen Werten für Pumpendruck, Vorlauftemperaturen/Spreizungen und Verhältnis von Heizkörpergröße und Heizlast des Raumes ausgegangen. Eine Überprüfung der Werte und Nachjustierung ist unbedingt durchzuführen.

2.3.2.3 Fein justierbare Rücklaufverschraubungen

Die einstell- und absperrbare Rücklaufverschraubung am Heizkörper ermöglicht zusätzlich zur Absperrung in gewissen Grenzen auch eine Feinjustierung. Damit erfolgen Mengenregulierung und ein zusätzlicher Abbau von Überdrücken. Aufgrund deutlich besserer Einstellmöglichkeiten ist ein voreinstellbarer Ventileinsatz einer fein justierbaren Rücklaufverschraubung vorzuziehen.

Nicht einstellbare Rücklaufverschraubungen sind für den hydraulischen Abgleich nicht geeignet.

2.3.2.4 Einstellventile Flächenheizung

Bei Flächenheizungen werden die Heizkreise über eine Verteiler-/Sammlerkombination angeschlossen. Jeder einzelne Heizkreis hat neben der Möglichkeit zur Absperrung einen voreinstellbaren Ventileinsatz, vergleichbar mit dem Heizkörperventil, oder einem Drosselventil mit direkter Volumenstromanzeige. Damit sind die Volumenströme für die einzelnen Flächenheizkreise abgleichbar.



Abb. 26: Fußbodenheizungsverteiler

2.3.3 Wärmeverteilung

2.3.3.1 Rohrsystemkomponenten

Strangreguliertventil

Das Strangreguliertventil ist ein festeinstellbares Drosselventil mit dem sich der Druckverlust über dem Ventil, abhängig vom Volumenstrom, einstellen lässt. Der Volumenstrom bei Volllastbetrieb ist vorgegeben und definiert sich aus dem Wärmebedarf der angeschlossenen Verbraucher. Der Druckverlust über dem Ventil ist aus der Rohrnetzberechnung zu entnehmen. Anhand des ventilspezifischen Volumenstroms/Druckdiagramms kann das passende Strangreguliertventil ausgewählt und eingestellt werden.

Ohne eine fachgerechte Druckverlustberechnung ist die Einstellung an den einzelnen Strangregulierventilen und somit ein hydraulischer Abgleich nicht möglich.

Auf Änderungen des Volumenstroms im Teillastbetrieb kann das festeingestellte Ventil nicht reagieren, wodurch die Stränge unterschiedlich mit Wärme versorgt werden.

Differenzdruckregler (DR)

Mit einem Differenzdruckregler werden die Druckverhältnisse eines nachgeschalteten Anlagenabschnitts unabhängig vom Vordruck der Anlage geregelt.

Er wird vor der Strangeinbindung in die Verteilungsleitung des Strangrücklaufes eingebaut. Über eine Kapillarleitung wird das Regelventil im Strangrücklauf mit dem Strangvorlauf verbunden. Damit kann die Druckdifferenz über den Anlagenabschnitt erfasst und über eine Membran im Regelventil gesteuert werden.

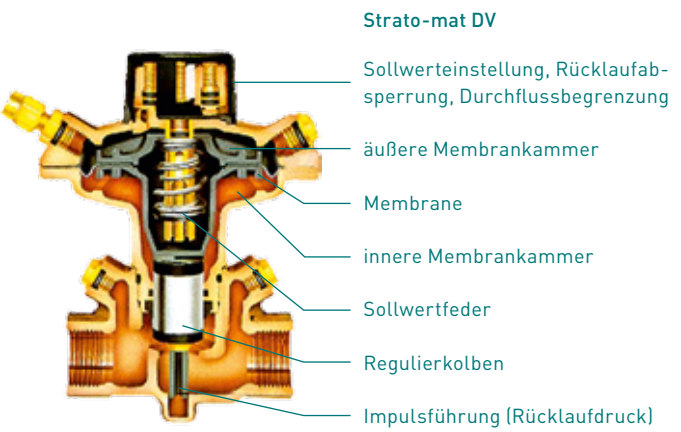


Abb. 27: Differenzdruckregler (Bsp. Heimeier)

Der Differenzdruckregler kann sich den ständigen Differenzdruckveränderungen anpassen und somit durch stabile Druckverhältnisse in den nachgeschalteten Anlagenabschnitten die gleichmäßige Wärmeversorgung sichern.

Um Strömungsgeräusche bei Teillastbetrieb in den Strängen zu vermeiden, sollte der eingestellte Differenzdruck am Regler 200 mbar nicht überschreiten.

Differenzdruckregler sind in größeren Heizsystemen, wie in Mehrfamilienhäusern und komplexen Gebäuden, wichtige Bauteile für den Abgleich der Heizstränge.

Kombination von Strangregulierventil (SRV) und Differenzdruckregler (DR)
Die Kombination ermöglicht unabhängig von Druckschwankungen im Heizungsnetz einen nahezu konstanten Volumenstrom. Unabhängig vom Ventilhub kann sie somit auch kleinste Wassermengen genau regeln. Das zeichnet sich nach dem heutigen Stand der Technik als günstigste Variante ab.

Zusammenfassung Funktion Regulierventile

Regelventil	Massenstrom	Differenzdruck
SRV	x	-
DR	-	x
SRV/DR	x	x

2.3.4 Überströmventil

Überströmventile sind Regel- und Sicherheitseinrichtungen für die Begrenzung der maximalen Förderhöhe.

Mit verringertem Volumenstrom im Teillastbereich erhöht sich bei unregelten Heizungspumpen die Förderhöhe (siehe Abb. 21) Überströmventile werden auf die erforderliche Förderhöhe (entspricht dem Wert der Druckverlustberechnung bei maximalem Volumenstrom), eingestellt. Ist dieser Wert zu niedrig, kann die Pumpe selbst bei exaktem hydraulischen Abgleich nicht den notwendigen Druck aufbauen, um den Volumenstrom zu sichern, mit dem alle Wärmeverbraucher ausreichend versorgt werden.

Mit zu hoher Einstellung besteht das Risiko, dass bei geschlossenen Absperrreinrichtungen an Verbrauchern der erforderliche Mindestvolumenstrom von 200 bis 300 l/h für die Pumpe und der teils erforderliche Mindestdurchsatz für Wärmeerzeuger nicht eingehalten wird, was zu Schäden an diesen Anlagen teilen führt.

2.3.5 Luftgefäße

Heizungsanlagen müssen mit wirkungsvollen Einrichtungen zur Entlüftung ausgestattet sein. Eingeschlossene Luft in Heizungsanlagen führt zu instabilen, nicht berechenbaren Druckverhältnissen.

Luftgefäße und andere Entlüftungsmöglichkeiten, wie z. B. Handentlüfter oder automatische Entlüfter, dienen der sicheren Funktion des Heizungssystems. Sie sind immer an den Hochpunkten und an den höchsten Stellen der Stränge anzuordnen.

Anlagen sollten regelmäßig innerhalb turnusmäßiger Wartungen und nach Eingriffen in das hydraulische System entlüftet werden.

2.3.6 Wärmeerzeuger

Wärmeerzeuger haben mittelbaren Einfluss auf den hydraulischen Abgleich der Anlagen.

Anlagentechnik, Energieträger und Anlageneinbindung bedingen z. B. unterschiedliche Systemtemperaturen und Mindestvolumenströme. Beide Kriterien bilden mit der Heizlast die Grundlage für die Auslegung des hydraulischen Systems. Ohne Berücksichtigung der spezifischen, durch die Wärmeerzeuger vorgegebenen Bedingungen, ist ein korrekter hydraulischer Abgleich nicht realisierbar.

2.4 Praktische Vorgehensweise bei unterschiedlichen Gebäudetypen

2.4.1 Grundlagen

Grundlagen für die Durchführung des hydraulischen Abgleichs sind folgende Daten zum Gebäude und zur Anlagentechnik:

- spezifische Heizlast aller Räume
- Anlagenkonfiguration mit Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung, Wärmeübergabe

Im Idealfall sind alle Daten aus den Planungs- und Ausführungsunterlagen zu entnehmen. Im Regelfall werden diese Unterlagen nicht oder nur unvollständig vorliegen.

Im Bestand sind die folgenden Ausgangsdaten des Gebäudes zu ermitteln:

- Grundfläche jedes beheizten Raumes
- Anzahl, Abmessung und Art der Wärmeübertrager (Heizkörper) raumweise
- Auslegungstemperaturen Vor-/Rücklauf
- Anlagenschema mit Rohrlängen, Dimensionierung und Einbauten

2.4.2 Grundsätzliche Vorgehensweise

1. Raumweise Bestimmung der Heizlast (siehe Abschnitt 1.2)
2. Berechnung der Volumenströme für jeden Heizkörper
3. Berechnung der Förderhöhe der Pumpe
4. Prüfung Einsatz und ggf. Auslegung zusätzlicher Abgleichventile
5. Bestimmung der Voreinstellwerte des Thermostatventileinsatzes
6. Einstellung aller Thermostatventileinsätze mit der Voreinstellung komplett geöffnet (je nach Hersteller, Stellung N; 9; 7)
7. Spülen der kompletten Heizungsanlage
8. Einstellung der Ventileinsätze nach Berechnung aus Schritt 5
9. Anpassung der Heizkurve

2.4.3 Vorstellung verschiedener Verfahren

2.4.3.1 Datenschieber

Benötigte Daten:

- geometrische Abmessungen und Art der Heizkörper
- Leitungsschema der Anlage zur Bestimmung der Leitungslängen

Der Datenschieber bietet die Möglichkeit mit geringem rechnerischem Aufwand die Voreinstellwerte der Thermostatventileinsätze für bestehende Heizkörper zu bestimmen. Es wird davon ausgegangen, dass die bestehenden Heizkörper der Heizlast des Raumes entsprechend ausgelegt sind. Diese Annahme ist im Bestand nicht immer tragbar und muss bei der Anwendung des Datenschiebers beachtet werden. Es ist zu

empfehlen, eine vereinfachte Heizlastberechnung zur Kontrolle der Heizflächenauslegung durchzuführen. Der Datenschieber kann auch direkt mit den Ergebnissen der Heizlastberechnung (Heizkörperleistung) verwendet werden.

Stärken

- sehr einfache Anwendung
- kein Rechenaufwand
- leicht verständlich
- schnell

Schwächen

- ohne Heizlastbestimmung
- es wird von zur Raumheizlast passenden Heizkörpern ausgegangen
- nur für feste Auslegungstemperaturen (z.B. 70/55/20 °C) verwendbar

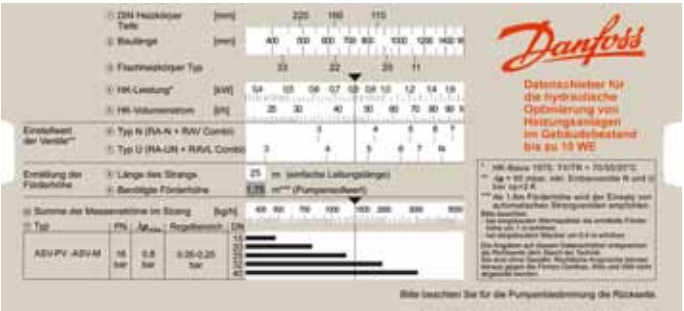


Abb. 28: Datenschieber, Beispiel

2.4.3.2 Vereinfachte Planung mit Softwaretools

Benötigte Daten:

- Grundriss des Gebäudes
- Baujahr des Gebäudes
- Fenstergrößen
- U-Werte der Bauteile (Abschätzung siehe Anhang Tab. 11, S. 32)
- Geometrische Abmessungen und Art der Heizkörper
- Leitungsschema der Anlage zur Bestimmung der Leitungslängen
- Vor- und Rücklauftemperatur im Auslegungsfall

Die Bestimmung der Voreinstellwerte mit Hilfe von einfachen Softwaretools erhöht die Genauigkeit gegenüber dem Datenschieber. Sie bietet eine einfache, integrierte, raumweise Heizlastberechnung, als Grundlage für die Bestimmung der Voreinstellwerte. Die im Objekt gesammelten Kenngrößen werden durch die Software übernommen. Eine raumweise Auswertung der Voreinstellwerte der Thermostatventileinsätze kann ausgegeben werden. Die eindeutige Menüführung ermöglicht es auch Anwendern ohne spezielles EDV-Wissen die Programme zu verwenden.

Stärken

- einfache Anwendung
- integrierte raumweise Heizlastberechnung
- erhöhte Genauigkeit
- anwendbar bei unterschiedlichen Auslegungstemperaturen

Schwächen

- erhöhter Bearbeitungsaufwand
- hoher Fehlereinfluss durch Abschätzung der U-Werte
- teilweise sind fest eingestellte Differenzdrücke pro Steigstrang notwendig (dies bedingt die Verwendung von Strangdifferenzdruckreglern)

2.4.3.3 Vollständige Nachrechnung des hydraulischen Systems

Benötigte Daten:

- detailliertes Aufmaß des Gebäudes
- energetische Kenndaten aller Bauteile der Gebäudehülle
- Leitungsschema der Anlage zur Bestimmung der Leitungslängen
- geometrische Abmessungen und Art der Heizkörper
- Vor- und Rücklauftemperatur im Auslegungsfall

Die vollständige ingenieurmäßige Nachrechnung des hydraulischen Systems ist die Methode mit der höchsten Genauigkeit. Mit der Durchführung der kompletten Nachrechnung ist ein Ingenieur oder Fachplaner zu beauftragen. Die Softwarelösungen sind komplex und nicht ohne Einarbeitung anwendbar. Diese Methode ist vor allem bei großen, komplexen Heizsystemen anzuwenden.

Stärken

- höchste Genauigkeit
- auf beliebige Randbedingungen anwendbar
- auch komplexe Systeme genau abbildbar
- kein höherer Zeitaufwand da Arbeit vom Fachplaner parallel durchgeführt werden kann

Schwächen

- deutlicher Mehraufwand
- Zusatzkosten durch Unterbeauftragung von Ingenieur oder Fachplaner
- nicht vom Fachhandwerker selbst durchführbar
- Schwierigkeit im Bestand genaue energetische Kennwerte der Gebäudehülle zu bestimmen

2.4.4 Ein-/Zweifamilienhaus

Bei einfachen Heizsystemen wie im Ein-/Zweifamilienhaus ist der Datenschieber zur Bestimmung der Voreinstellwerte des Thermostatventileinsatzes zu empfehlen. Die Anwendung des Schiebers kann direkt am einzustellenden Heizkörper im Objekt geschehen und bedarf keiner Vorplanung.

Anwendung Datenschieber:

Hinweis: Der Anwendungsbereich des Datenschiebers ist auf eine feste Temperaturpaarung (meist 70/55/20 °C) begrenzt. Exemplarisch wird die Anwendung an einem Datenschieber der Firma Danfoss/Wilo demonstriert. Datenschieber anderer Anbieter sind analog zu benutzen.

Die Einstellung der Werte geschieht auf dem Datenschieber anhand der Schrittnummerierung.

Schritt 1: Einstellung der Baulänge des Heizkörpers in Abhängigkeit der Heizkörperbauart. Besitzt der abzugleichende Heizkörper eine Tiefe von 110 mm und eine Baulänge von 850 mm zeigt die Abbildung die Einstellung auf dem Datenschieber.

In der Beispielgrafik sind folgende Heizkörper eingestellt:

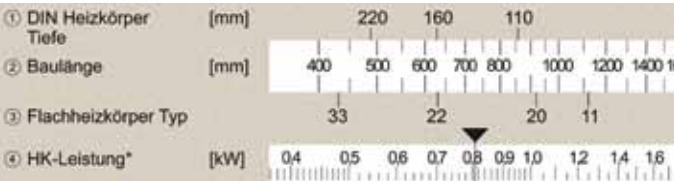


Abb. 29: Beispiel Heizkörpereinstellung

Schritt 2 + 3: Mit dieser Einstellung sind die Heizkörperleistung und der dafür notwendige Volumenstrom ablesbar.

Die Heizkörperleistung beträgt 0,8 kW. Der dafür benötigte Volumenstrom liegt bei 45 l/h.

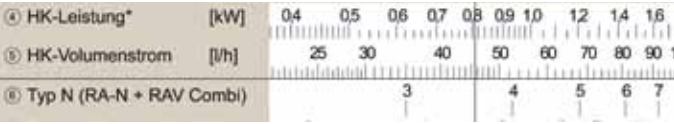


Abb. 30: HK-Leistung und Volumenstrom

Der Volumenstrom ist für die spätere Berechnung des Gesamt-/Strangvolumenstroms zu notieren.

Schritt 4: Anschließend kann der Voreinstellwert des Ventileinsatzes abgelesen werden. Der Voreinstellwert von 4 ist für den Ventiltyp N zu wählen. Handelt es sich um ein Ventil des Typs U ist der Voreinstellwert 5 zu wählen.

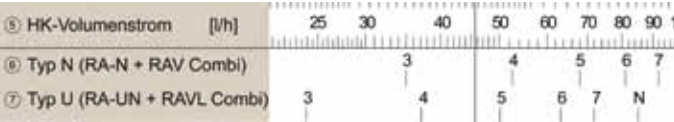


Abb. 31: Voreinstellwerte des Ventileinsatzes

Schritt 5: Dieses Vorgehen ist für jede Wärmeübergabefläche der Heizungsanlage zu wiederholen.

Schritt 6: Anhand des längsten Strangs ist der benötigte Pumpendruck (unter Annahme keiner weiteren druckreduzierenden Bauteile im Strang) zu ermitteln. Im dargestellten Fall ist bei einer Stranglänge von 16 m ein Pumpendruck von 0,148 bar an der Heizkreispumpe einzustellen.

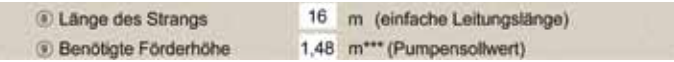


Abb. 32: Bestimmung des Pumpendrucks

Schritt 7: Mittels der aufsummierten Volumenströme des Stranges kann die Nennweite des Strangdifferenzdruckreglers abgelesen werden (sofern ein Regler erforderlich ist). Im Beispiel ist ein Volumenstrom von 450 l/h gewählt. Ein Differenzdruckregler mit Nennmaß DN 15 wäre möglich, ist allerdings sehr dicht an seiner Einsatzgrenze. Ebenso ist die Verwendung von Differenzdruckreglern mit den Nennmaßen DN 20 bis DN 40 möglich.

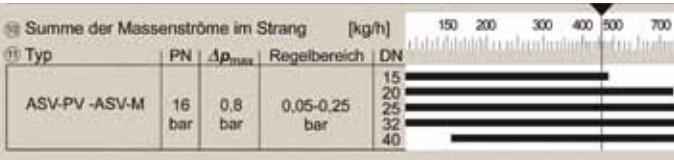


Abb. 33: Bestimmung der Nennweite Differenzdruckregler

Schritt 8: Zum Abschluss der Arbeiten ist die Heizkreispumpe auf die Auslegungsbedingungen einzustellen. Die Rückseite des Datenschiebers bietet hierzu eine Arbeitshilfe. Im Beispiel werden ein spezifischer Wärmebedarf von 100 W/m² und eine beheizte Fläche von 200 m² angenommen. Das Gebäude hat somit einen Wärmebedarf von 20 kW. Dies entspricht bei einer Spreizung von 15 °C einem Volumenstrom von 1150 l/h.

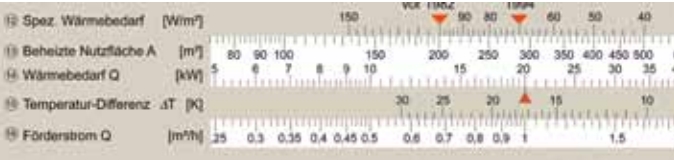


Abb. 34: Bestimmung des Volumenstroms

Für den Fall einer eingebauten Hocheffizienzpumpe ist der Pumpeneinstellwert dem Pumpendiagramm zu entnehmen. Der benötigte Pumpendruck wird aus dem Schritt 6 (0,148 bar) übernommen.

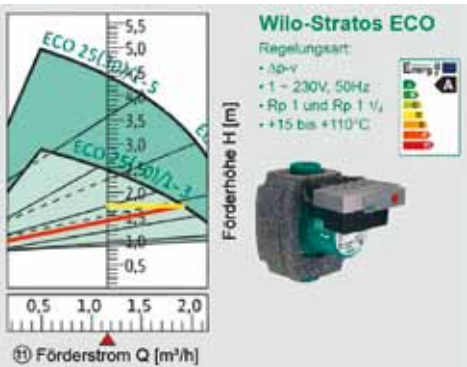


Abb. 35: Pumpeneinstellung

Zur Anwendung kommt eine Pumpe vom Typ Eco 25 1-3. Die Pumpenauslegung erfolgt am rechten Rand des Kennfeldes. Anhand der roten Geraden ist der Schnittpunkt mit der Pumpenkennlinie zu ermitteln. Über eine waagerechte Linie (gelb) vom Schnittpunkt zur Druckskala ist die einzustellende Förderhöhe, von im Beispiel 0,185 bar, abzulesen.

Dem Datenschieber liegen meist vereinfachte Rohrnetzpläne zur Eintragung der einzelnen Heizkörperkennwerte und Volumenströme bei. Dies erleichtert die Arbeit und die abschließende, strangweise Summation der Volumenströme.

Beispiel Datenschieber:

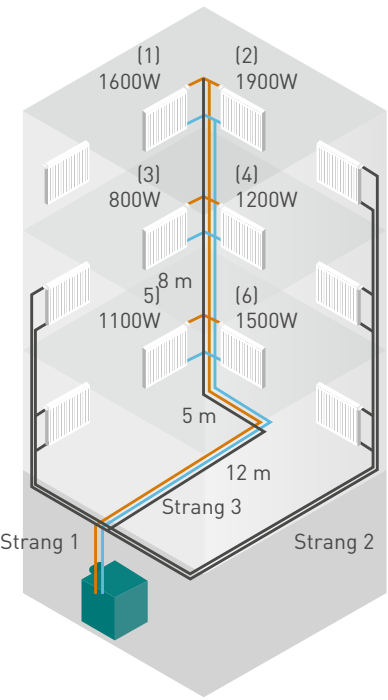


Abb. 36: Strangschema Heizung

Die Raumheizlast kann anhand der geometrischen Abmessungen und der Art der Heizkörper mit dem Datenschieber bestimmt werden. Es wird dabei von einer Heizkörperhöhe von 600 mm ausgegangen. In der nachfolgenden Tabelle sind die Einstellwerte des verstellbaren Thermostatventileinsatzes und die mit dem Datenschieber ermittelten Zwischenergebnisse angegeben.

Heizkörper					Voreinstellung z. B. Ventiltyp N
Nr.	Typ	Länge	Leistung	Volumenstrom	
1	33	1100	2000	0,113	N
2	22	1200	1550	0,088	7
3	20	1200	1050	0,06	5
4	20	1000	880	0,05	4
5	22	1000	1300	0,072	6
6	33	900	1700	0,096	N

Tab. 2: Einstellwerte der Ventileinsätze

Die Heizlast wird bei der Benutzung des Datenschiebers aus den Abmessungen des Heizkörpers bestimmt. Dies setzt voraus, dass die Heizkörper entsprechend der Raumheizlast definiert sind. Dieser Sachverhalt ist mit Hilfe von baualters- und flächenspezifischen Heizlastangaben zu überprüfen.

Im Beispiel handelt es sich um ein Gebäude der Baualtersklasse ab 1984. Der Tabelle 4 ist eine flächenspezifische Heizlast von 99 W/m² zu entnehmen. Die überschlägige Raumheizlast berechnet sich zu:

$$\text{Raumheizlast} = \text{Raumfläche} \times \text{spezifische Heizlast}$$

Für Raum 1 bedeutet dies:
1980 W = 20 m² x 99 W/m²

Baualterklasse ab 1984, spez. Heizlast ca. 99 W/m²			
HK-Nr.	Heizlast Datenschieber [W]	Raumfläche [m²]	überschlägige Heizlast [W]
1	2000	20	1980
2	1550	15	1485
3	1050	10	990
4	880	9	891
5	1300	15	1485
6	1700	16	1584

Tab. 3: Kontrolle der raumweisen Heizlast

Wie in Tabelle 3 ersichtlich, sind die Heizkörper entsprechend den Heizlasten der Räume dimensioniert. Lediglich der Heizkörper 5 ist leicht unterdimensioniert. Bei einer starken Überdimensionierung ist die überschlägig berechnete Heizleistung als Eingangsgröße für den Datenschieber zu wählen. Die Bestimmung der Voreinstellwerte der Thermostatventileinsätze erfolgt dann ab dem Schritt 2.

Wird im Ein-/Zweifamilienhaus eine Ertüchtigung der Gebäudehülle vorgenommen (Dämmung) so ist von einer deutlichen Reduzierung der Heizlast auszugehen. In diesem Fall ist eine überschlägige Berechnung der Raumheizlasten vorzunehmen. Mit den neu berechneten Heizlasten kann der Datenschieber ab dem Schritt 2 verwendet werden. In diesem Fall entfällt die Bestimmung der Heizkörperleistung anhand der Baugröße des Heizkörpers. Es ist zu beachten, dass der Datenschieber auf eine feste Auslegungstemperatur des Heizsystems angepasst ist (Datenschieber in der Regel 70/55/20 °C).

Baualterklasse	Baujahr	Heizlast [W/m²]
Außenwände ungedämmt, einfach verglaste Fenster	bis 1977	ca. 163
Außenwände ungedämmt, Isolierglas oder doppelte verglaste Fenster	ab 1978	ca. 115
nachträgliche Außenwanddämmung, ≤ 6 cm, Isolierglas oder doppelte Verglasung	ab 1984	ca. 99
nachträgliche Außenwanddämmung, ≥ 6 cm, Dachdämmung, neue Fenster mit Wärmeschutzverglasung	ab 1995	ca. 67
	ab 2002	ca. 45

Tab. 4: Heizlast nach Baualterklasse

2.4.5 Mehrfamilienhaus bis 6 Wohneinheiten

Die Heizungsanlagen in Mehrfamilienhäusern sind oftmals verzweigt und in mehrere Stränge unterteilt. Ist die Netzstruktur ersichtlich, sollte die Bestimmung der Voreinstellwerte des Thermostatventileinsatzes mit einfachen Softwaretools erfolgen (z.B. ZVPLAN, Easyplan, DanBasic).

Die Aufnahme des Grundrisses, der Raumhöhen, der Heizkörpergrößen, der Fensterflächen und die Abschätzung der energetischen Güte der Bauteile (z. B. über geeignete Tabellenwerte anhand des Wandaufbaus, Tab. 11 im Anhang, S. 31) müssen als Vorleistung im Objekt durchgeführt werden. Alternativ kann auch eine Abschätzung der Raumheizlast über die Grundfläche erfolgen (siehe hierzu Tab. 4). Eine Übernahme der Daten in das Softwaretool geschieht im Büro. Die Ausgabe der jeweiligen Voreinstellwerte erfolgt in einer übersichtlichen Tabelle. Der ausführende Monteur kann anhand dieser Tabelle die Voreinstellung der Ventileinsätze und der Strangdifferenzdruckregler vornehmen.

Die Softwaretools unterscheiden sich bei der Auslegung des Strangdifferenzdruckreglers. Es wird mit einer festen Annahme oder einem frei einstellbarem Differenzdruck gearbeitet. Eine hohe Genauigkeit bei erhöhtem Planungsaufwand ist mit dem Softwaretool des Optimus Forschungsprojektes der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (www.optimus-online.de) zu erreichen.

Benutzungsbeispiel Softwaretool

Das prinzipielle Vorgehen wird anhand der Software ZVPLAN dargestellt. Softwaretools weiterer Hersteller sind am Markt erhältlich und in ihrer Anwendungsweise ähnlich. Die Programme bieten die Möglichkeit, die Planung des hydraulischen Abgleichs, wie vom Gesetz- bzw. Fördermittelgeber gefordert, zu dokumentieren.



Abb. 37: ZVPLAN Programmübersicht

Die Arbeitsschritte sind dabei wie folgt gegliedert:

- Aufnahme der U-Werte der Gebäudebauteile
- einfache Erstellung des Gebäude- und Raummodells in 3-D
- Definition der Auslegungstemperaturen
- automatische Berechnung der Heizlast der Räume
- Auslegung der Heizflächen
- Erstellung des Rohrnetzes, Einbau von Strangdifferenzdruckreglern, Definition der Thermostatventile und weiterer Bauteile
- automatische Berechnung des Rohrnetzes, der Einstellwerte der Strangdifferenzdruckregler sowie der Voreinstellwerte der Ventileinsätze
- übersichtliche Ausgabe der Grundrisse und der Voreinstellwerte der Ventileinsätze

Anhand eines Beispiels (Abb. 38) ist der Einfluss einer energetischen Sanierung eines Gebäudes der Baualtersklasse 1949–57 auf die Abstimmung des hydraulischen Systems dargestellt.

Als Beispielgebäude wurde ein drei geschossiges Mehrfamilienhaus mit 6 Wohneinheiten gewählt. Die Wohnfläche beträgt ca. 500 m² und auf jeder Etage befinden sich zwei Wohneinheiten. Die Raumaufteilung ist in jeder Etage identisch.

Im Rahmen der energetischen Sanierung werden die Kennzahlen (U-Werte) der Bauteile auf das Referenzniveau der EnEV 2009 angehoben. Die vorhandenen Heizflächen bleiben bestehen. Der Wärmeerezeuger wird dem Stand der Technik angepasst und es erfolgt eine Neubestimmung der Auslegungstemperaturen. Die Änderungen an der hydraulischen Anlage werden in den nachfolgenden Tabellen dargestellt.



Abb. 38: Grundriss Beispielgebäude

Bauteil	Baualtersklasse 1949–1957 U-Wert [W/(m²K)]	Vorgaben EnEV 2009 U-Wert [W/(m²K)]
Außenwand, massiv	1,4	0,24
Außenfenster	2,7	1,3
Außentür	3,5	1,8
Dach	2,1	0,2
Decke, massiv	2,1	0,2
Kellerwand	1,5	0,4
Innenwand 1 (120 mm)	2,3	2,3
Innenwand 2 (240 mm)	1,8	1,8

Tab. 5: Charakterisierung Beispielgebäude

Eigenschaft	Beispielgebäude 1949–1957	Beispielgebäude EnEV 2009
Norm-Heizlast	ca. 47 kW	ca. 16 kW
Transmissions- wärmeverluste (nach außen)	ca. 43 kW	ca. 12 kW
Lüftungswärme- verluste ¹	ca. 4 kW	ca. 4 kW

Tab. 6: Wärmebedarf Beispielgebäude

¹ Annahme: Mindestluftwechsel 0,5

Eigenschaft	Beispielgebäude 1949–1957	Beispielgebäude EnEV 2009
Auslegungsdruck Pumpe	164 mbar	152 mbar
Auslegungsvolu- menstrom	2,643 m³/h	0,967 m³/h
Auslegungstem- peraturen	86/70/20 °C	55/40/20 °C

Tab. 7: Kennwerte des hydraulischen Systems

Da es insbesondere bei Bestandsgebäuden sehr aufwändig wäre, die bauphysikalischen Eigenschaften der Außenbauteile (Außenwände, Außenfenster und Türen, Dächer etc.) mess-technisch bzw. rechnerisch zu ermitteln, wurden zur über-schlägigen Bestimmung der U-Werte durch das Bundesminis-terium für Verkehr, Bau und Technologie (BMVBT) der Begriff der Baualtersklassen eingeführt. Mit Hilfe dieser Baualters-klassen kann nun, ausgehend vom Baualter der Immobilie, eine Abschätzung der Wärmedurchgangskoeffizienten oder auch U-Werte vorgenommen werden. In diesem Beispiel wur-de das Gebäude in einem Zeitraum von 1949 bis 1957 errichtet. Für diese Baualtersklasse werden als U-Werte für die Außen-bauteile die in Tabelle 5 stehenden Werte angenommen. Nach einer Sanierung auf EnEV-Niveau müssen die Außenbauteile die U-Wert Vorgaben der Tabelle 1, Anlage 3 der EnEV erfüllen. Diese sind ebenso in Tabelle 5 festgehalten.



Abb. 39: 3-D-Modell des Gebäudes in ZV Plan

Mit diesen Vorgaben wurde die Normheizlast vor und nach der Sanierung ermittelt. Die Ergebnisse dieser Berechnung sind in Tabelle 6 ersichtlich.

Durch die Verbesserung der Qualität der baulichen Hülle min-dert sich die Heizlast im Beispiel um 31 KW oder um ca. 65 %. In Tabelle 7 sind die Veränderungen am hydraulischen System erkennbar, die sich aus dieser erheblich geminderten Heizlast ergeben. Für das berechnete Beispiel ergibt sich, dass eine Absenkung der Systemtemperaturen nicht ausreichend ist, um das System nach Durchführung der Dämmmaßnahmen hydrau-lisch abzugleichen. Parallel dazu müssen an allen Heizkörpern des Heizungssystems die Voreinstellwerte der Thermostat-ventile überprüft und angepasst werden. Im Ergebnis dieser Maßnahmen ist der Arbeitspunkt der Umwälzpumpe auf die veränderten hydraulischen Bedingungen anzupassen. In Tabel-le 7 und 8 sind die entsprechenden Daten aufgelistet.

			Kennwerte									
			Heizlast [W]		Volumenstrom [m³/h]		Druckabfall über dem Ventil [mbar]		Auslegungspro- portionalbereich xp		Ventil Vorein- stellwert	
Etage	Wohnung	Raum	1949–57	EnEV	1949–57	EnEV	1949–57	EnEV	1949–57	EnEV	1949–57	EnEv
Erdgeschoss	Wohnung 1	Bad	1.168	535	0,082	0,042	74,1	84,5	1,6	0,7	3	3
		Flur	399	131	0,025	0,004	76,3	87,1	0,6	0,2	2	1
		Kind	1.779	625	0,107	0,022	79,8	87,6	1,6	0,5	4	2
		Küche	840	324	0,066	0,014	76,4	86,4	1,1	0,6	3	1
		Schlafen	2.028	687	0,097	0,023	74	39,2	1,5	0,8	4	2
		Wohnen	2.026	754	0,160	0,031	67,9	38	2	0,7	6	3
	Wohnung 2	Bad	816	410	0,035	0,031	64	48	1	1	2	2
		Flur	458	167	0,026	0,006	63,9	49,3	0,7	0,3	2	1
		Kind 1	1.081	411	0,056	0,016	110,9	52,9	1,4	0,3	2	3
		Kind 2	1.879	616	0,147	0,021	98,6	53,2	1,7	0,7	5	2
		Küche	845	275	0,070	0,010	57,3	50,2	1,5	0,5	3	1
		Schlafen	1.718	577	0,087	0,019	63,8	50,7	1,4	0,6	4	2
		Wohnen	2.217	842	0,132	0,033	113,4	53	1,6	0,7	4	3
Obergeschoss 1	Wohnung 1	Bad	944	504	0,056	0,079	64,7	61,1	1	1	3	6
		Kind	1.337	565	0,047	0,022	70,8	70,2	0,8	0,6	3	2
		Küche	569	287	0,040	0,025	65,8	63,7	1,1	0,7	2	2
		Schlafen	1.457	610	0,122	0,032	50,1	31,3	1,7	0,8	6	3
		Wohnen	1.179	638	0,053	0,053	56,3	28,1	1	1	3	6
	Wohnung 2	Bad	674	391	0,028	0,060	48,1	34,7	0,9	1	2	6
		Kind 1	625	349	0,024	0,027	113,7	36,9	0,5	1	2	2
		Kind 2	1.377	548	0,079	0,023	106,7	38,6	1,1	0,8	3	2
		Küche	545	234	0,029	0,011	44,5	38,7	1	0,4	2	2
		Schlafen	1.274	516	0,086	0,024	43,5	39,3	1,8	0,8	4	2
		Wohnen	1.288	715	0,055	0,061	112	36,4	1,3	1	2	6
Obergeschoss 2	Wohnung 1	Bad	1.282	566	0,072	0,035	46,6	63,5	1,4	1	4	2
		Flur	535	183	0,023	0,006	48	69,7	0,7	0,3	2	1
		Kind	1.982	708	0,132	0,026	46,6	68,3	2	0,7	6	2
		Küche	979	389	0,063	0,017	48,7	67,3	1,4	0,3	3	3
		Schlafen	2.241	746	0,085	0,023	47,7	35	1,6	0,9	4	2
		Wohnen	2.344	841	0,104	0,029	41,5	34,7	1,9	0,7	5	3
	Wohnung 2	Bad	888	430	0,040	0,030	23,3	34,8	1,2	0,7	3	3
		Flur	605	222	0,050	0,009	18	38,1	1,5	0,6	4	1
		Kind 1	1.253	458	0,076	0,017	88,4	38	1,2	0,6	3	2
		Kind 2	2.068	668	0,108	0,021	81,7	40	1,6	0,8	4	2
		Küche	958	306	0,054	0,010	22	40,8	1,5	0,6	4	1
		Schlafen	1.885	622	0,096	0,020	24,4	41,3	2	0,7	6	2
		Wohnen	2.566	937	0,181	0,037	87,4	38	2	0,8	6	3

Tabelle 8: Vergleich der Voreinstellwerte der Thermostatventileinsätze (Randbedingungen siehe Tabelle 7)

Der Wärmeerzeuger befindet sich im unbeheizten Keller-
geschoss des Gebäudes. Das Heizungsnetz ist aus vier
Steigsträngen mit einer zentralen Verteilung im Keller aufge-
baut. Die raumweise Zuordnung ist in jeder Etage identisch.
Die Lage der Steigstränge ist in der Abb. 38 auf S. 25 darge-
stellt.

	Strang 1	Strang 2	Strang 3	Strang 4
Raum	Wohnung 1 Wohnen	Wohnung 1 Küche	Wohnung 2 Küche	Wohnung 2 Kind 1
	Wohnung 1 Schlafen	Wohnung 1 Bad	Wohnung 2 Bad	Wohnung 2 Kind 2
		Wohnung 1 Kind	Wohnung 2 Schlafen	Wohnung 2 Wohnen
		Wohnung 1 Flur	Wohnung 2 Flur	

Tab. 9: Raumzuordnung zu den Steigsträngen

Strang	Baualtersklasse 1949-1957			Baualtersklasse EnEV		
	Ein- stell- wert [mbar]	Druck- abfall [mbar]	Durch- fluss [m³/h]	Ein- stell- wert [mbar]	Druck- abfall [mbar]	Durch- fluss [m³/h]
1	116	39	0,584	ohne	ohne	0,189
2	99	60	0,668	122	14	0,293
3	68	86	0,576	64	70	0,229
4	ohne	ohne	0,815	87	54	0,256

Tab. 10: Übersicht Strangdifferenzdruckregler

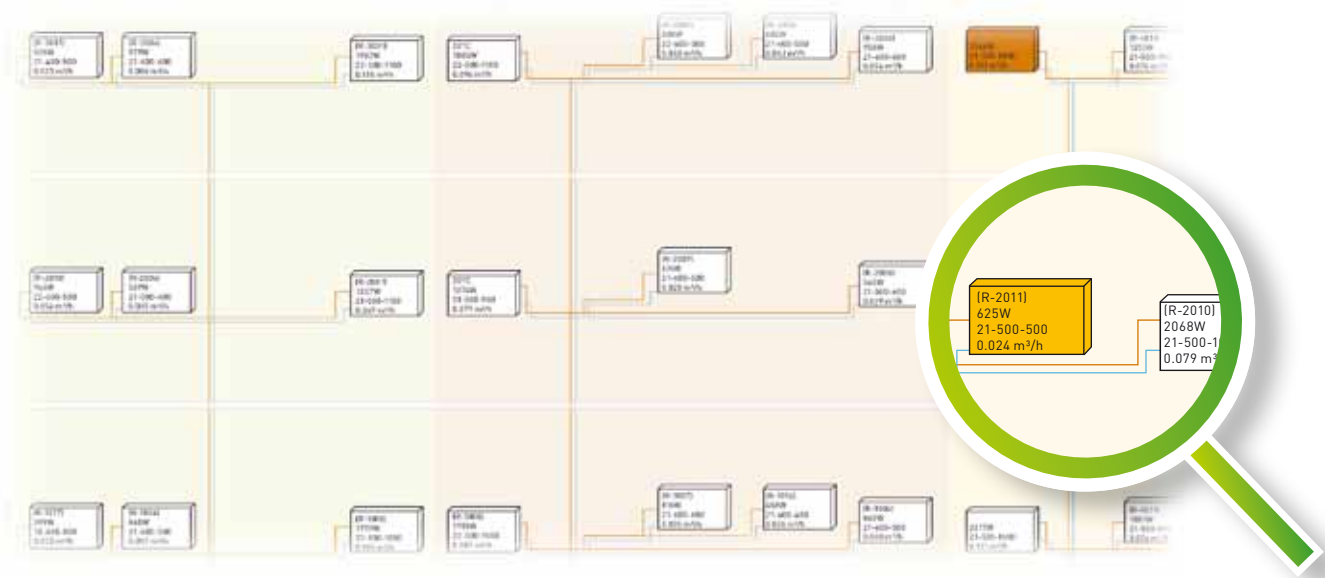


Abb. 40: Strangschema des Beispielgebäudes

Nach der energetischen Sanierung des Beispielgebäudes ist
im Strang 1 der Strangdifferenzdruckregler nicht mehr not-
wendig, wird dafür aber im Strang 4 benötigt (siehe Tab. 10).

Dass eine pauschale Reduktion der Vorlauftemperatur nach
der Sanierung nicht ausreichend ist, verdeutlichen die Tabelle
8 und Tabelle 10. Es ist ersichtlich, dass sowohl die Vorein-
stellungen der Thermostatventileinsätze, der Strangdifferenz-
druckregler sowie die Förderhöhe der Pumpe neu justiert
werden müssen.

Wie das Beispiel zeigt, sind die Einflüsse einer Heizlastver-
änderung auf die Hydraulik des Heizsystems nicht mehr mit
einfachen pauschalen Ansätzen zu beschreiben und eine Nach-
rechnung des hydraulischen Systems ist notwendig.
Die Softwaretools bieten die Möglichkeit eine Berechnungs-
übersicht auszugeben, welche für die Dokumentation des
hydraulischen Abgleichs verwendet werden kann.

Empfehlung hydraulischer Abgleich im Mehrfamilienhaus:
Bei übersichtlichen Netzen im Bestand kann der Datenschie-
ber verwendet werden, bei einer Heizlastreduktion bzw. Sys-
temänderung ist eine fachgerechte Druckverlustberechnung
für den hydraulischen Abgleich mit einfachen Softwaretools
durchzuführen. Die Anwendung der Softwaretools ermöglicht
einen höheren Freiheitsgrad bei der Pumpenauslegung.

2.4.6 Komplexe Objekte

Bei einer sehr komplexen Netzstruktur ist eine fachgerechte
Planung durchzuführen. Diese kann sich auf die vorhandene
Planung aus der Zeit der Gebäudeerstellung stützen. Wurden
nachträgliche Änderungen der Heizlast oder der Anlagentechn-
ik vorgenommen, ist die gesamte hydraulische Auslegung des

Die vergrößerte Darstellung des Strangschemas finden Sie im Anhang auf
der Doppelseite 31/32.

Heizsystems mit den neuen Randbedingungen nachzurechnen.
Hier empfiehlt es sich auf einen Fachplaner bzw. ein Ingenieur-
büro zurückzugreifen.

Empfehlung hydraulischer Abgleich in komplexen Objekten:
Bei komplexen Gebäuden ist immer eine fachgerechte Druck-
verlustberechnung für den hydraulischen Abgleich durchzu-
führen.

2.4.7 Sanierung mit erheblicher Reduktion der Heizlast
(Passivhauskomponenten)

Wird ein Gebäude auf Passivhausniveau saniert, ist mit einer
erheblichen Minderung der Heizlast zu rechnen.

Üblicherweise liegen die erreichbaren Werte für den spezifi-
schen jährlichen Heizwärmeverbrauch nach der Sanierung mit
Passivhauskomponenten zwischen 30 und 40 kWh/m² Energie-
bezugsfläche.

Bei einer Altbausanierung von Gebäuden der Baualtersklasse
vor 1977 entspricht dies einer Größenordnung in der Verrin-
gerung des Heizenergiebedarfs von mehr als 80 %. Bei dieser
Sanierungsgüte muss davon ausgegangen werden, dass das
vorhandene Heizsystem völlig überdimensioniert ist und auch
mit einem hydraulischen Abgleich nicht auf die neuen Anforde-
rungen angepasst werden kann.

Durch die besondere Spezifik des Passivhauskonzeptes wird
neben einer hohen energetischen Güte der baulichen Hülle
auf die maximale Verringerung der Lüftungswärmeverluste
besonderes Augenmerk gelegt. Die ist nur durch den Einsatz
einer hocheffizienten Lüftungsanlage mit hohen Wärmerück-
gewinnungsgraden erreichbar, weshalb diese Lüftungsanlage
untrennbarer Bestandteil des Wärmeversorgungssystems
eines Passivhauses ist.

Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit der Integration der Lüf-
tungsanlage in das Versorgungssystem. Ohne erhebliche auf
die zu erwartenden Verbräuche angepasste Veränderungen
an der Heizungsanlage wird sich der Jahresnutzungsgrad des
Wärmeerzeugers und das Regelverhalten der Heizungsanlage
deutlich verschlechtern und mit den überdimensionierten An-
lagen erhöhen sich zusätzlich die Bereitschafts- und Vertei-
lungsverluste.

Den hohen energetischen Anspruch bei einer Gebäudesanie-
rung mit Passivhauskomponenten können Bestandsanlagen
in der Regel nicht erfüllen. Hier muss aus energetischen, aber
auch aus wirtschaftlichen Erwägungen bereits bei der Planung
der Gebäudesanierung geprüft werden, mit welcher effizien-
ten Wärmeerzeugungsanlage und welchem Energieträger die
Anforderungen an die Wärmeenergie gedeckt werden können.

Da die spezifische Raumheizlast sehr gering ist, muss bei
Wohngebäuden dieser hohen energetischen Qualität der
deutlich höhere prozentuale Anteil des Energiebedarfs für die
Warmwasserbereitung hinsichtlich der Systemauswahl beson-
ders beachtet werden.

Dabei kann auf Techniken alternativer Energiegewinnung zu-
rückgegriffen werden. Es sind unter anderem solarthermische
Kollektoren, Biomasse sowie Luft- und Erdwärme zu berück-
sichtigen.

2.4.8 Typische Fehler

Bei der Durchführung des hydraulischen Abgleiches besteht
die Gefahr folgender typischer Fehler:

Spülen der Anlage

Die Einstellung des Druckverlustes über dem Thermostatventil
erfolgt durch eine Querschnittsverringerung (siehe Abb. 22
und Abb. 23 auf S. 18). Sind die Ventile bereits beim Spülen der
Anlage in der voreingestellten Stellung, kann es zu Verstop-
fungen des Zulaufs zum Heizkörper kommen. Daher ist die
Voreinstellung des Heizkörperventileinsatzes (nicht mit dem
Thermostatkopf zu verwechseln) immer auf ganz offen zu wäh-
len, wenn die Anlage gespült wird. Die jeweiligen heizkörper-
spezifischen Einstellwerte des hydraulischen Abgleichs dürfen
erst NACH dem Spülvorgang eingestellt werden.

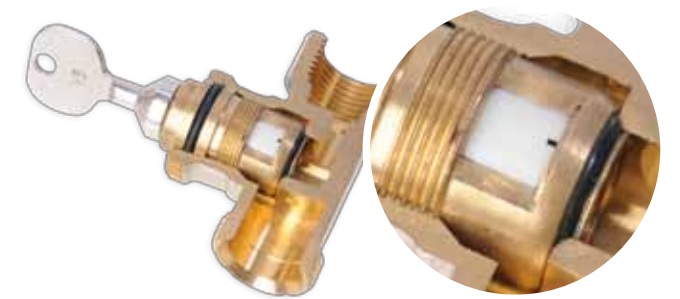


Abb. 41: voreinstellbarer Thermostatventileinsatz in Stellung 1

Nachträgliche Änderung des Pumpendrucks

Erfolgt nach der Durchführung eines hydraulischen Abgleichs
eine Veränderung des Pumpendrucks der Heizungsumwälz-
pumpe, verstellen sich die definierten Zuordnungen der Druck-
verluste über den einzelnen Heizkörpern und der hydraulische
Abgleich ist zerstört. Sollte sich an einem entfernten Heiz-
körper eine zu geringe Heizleistung nach dem hydraulischen
Abgleich einstellen, so ist es zuerst empfehlenswert den Vor-
einstellwert des Ventileinsatzes anzupassen, anstatt pauschal
den Pumpendruck zu erhöhen.

Einstellung der Heizungsreglung

Erfolgt nach der Durchführung des hydraulischen Abgleichs
keine Anpassung der Heizungsreglung (Wahl der Heizkurve
anhand der Berechnungen) kann das Energiesparpotential der
Anlage nicht ausgenutzt werden. Die berechneten Temperatu-
ren am Heizkörper werden sich in diesem Fall nicht einstellen
und eine Über-/Unterversorgung einzelner Heizkörper ist die
Folge. Die Durchführung des hydraulischen Abgleichs ist somit
unvollständig und fehlerhaft.

2.5 Grenzen des hydraulischen Abgleiches

Nicht jede Heizungsanlage ist mit dem hydraulischen Abgleich so zu optimieren, dass alle bestehenden Probleme der Wärmeverteilung beseitigt und das Energieeinsparpotential vollkommen ausgeschöpft wird. Die Grenzen des hydraulischen Abgleichs sollen nachfolgend umrissen werden.

2.5.1 Überdimensionierung des Wärmeerzeugers

Probleme, die mit einer Überdimensionierung des Heizkessels einhergehen, wie z. B. häufiges Takten des Brenners, sind auch mit dem hydraulischen Abgleich nicht zu beseitigen. Der schlechte Jahresnutzungsgrad und die hohen Abgasverluste werden nicht reduziert. Hier hilft nur ein Ersatz des Wärmeerzeugers, der auf die Anforderungen des Gebäudes besser abgestimmt ist. Die bisher übliche Praxis der Überdimensionierung (meist um den „Angst“-Faktor 1,5) ist zur Erreichung eines hohen Jahresnutzungsgrades sowie der Nutzung des Brennwerteffekts bei Brennwertgeräten schädlich und nicht mehr zeitgemäß. Bei der Umrüstung auf eine Wärmepumpe sind die Hinweise aus Abschnitt 1.2.2.3 zu beachten.

2.5.2 Heizkörpergrößen

Über die Heizkörpergrößen und die gewählte Vorlauftemperatur bestimmen sich der Volumenstrom und die Rücklauftemperatur des Heizkörpers. Wurde die Gebäudehülle seit der Installation der Heizungsanlage gedämmt und liegen normale Nutzungsbedingungen vor (Raumtemperatur 21 °C) kann davon ausgegangen werden, dass die Heizkörper ausreichend überdimensioniert sind und eine Absenkung der Vorlauftemperatur bei einem Kesseltausch bzw. im Rahmen des hydraulischen Abgleichs vorgenommen werden kann. Es kann auch der Fall eintreten, dass ein Heizkörper so stark überdimensioniert ist, dass mit dem eingestellten Umwälzpumpendruck keine sinnvolle Volumenstromauslegung (-begrenzung) möglich ist. Hier ist ein Tausch des Heizkörpers notwendig. Ein Voreinstellwert von 1 des Ventileinsatzes bedeutet eine erhöhte Verschmutzungs- und Verstopfungsgefahr und sollte vermieden werden (siehe Abb. 41).

Im Rahmen des hydraulischen Abgleichs kann sich in ungünstigen Fällen anhand der überschlägigen Heizlastberechnung eines Raumes allerdings auch ergeben, dass ein Heizkörper bei abgesenkter Vorlauftemperatur zu klein ist, um den Wärmebedarf zu decken. In diesem Fall muss eine höhere Vorlauftemperatur gewählt oder der Heizkörper getauscht werden.

2.5.3 Ergänzende Hinweise zur weiteren Systemoptimierung

Zur Erhöhung der thermischen Behaglichkeit kann die Position der Heizkörper überprüft werden. Ein Einbau unterhalb von Fensterflächen ist im Allgemeinen die zu favorisierende Lösung. Dabei ist die Anordnung hinter Einbauten (Holzvertäfelungen, -abdeckungen) zu vermeiden.

Die Anlageneffizienz kann bei der Verwendung eines geschichteten Pufferspeichers gegenüber einem ungeschichteten Pufferspeichers erhöht werden.

Die Anpassung der Heizung an die Anwesenheitszeit von Personen im Gebäude (Einschalten des Absenkbetriebs bei Wochenend- oder Urlaubsreisen) birgt ebenfalls Energieeinsparpotential.

2.6 Zusammenfassung

Vorteile für den Nutzer der Anlage

- Anlagenoptimierung zur Energie- und Kosteneinsparung
- Verbesserung der thermischen Behaglichkeit durch erhöhten Regelungskomfort
- Reduktion der Fließ- und Pfeifgeräusche in der Anlage
- Beitrag zum Klimaschutz, CO₂-Reduktion
- Voraussetzung für die Gewährung von Fördermitteln

Aufwand am Beispiel Ein- und Zweifamilienhaus

- Beratungsgespräch beim Kunden
- Begehung des Gebäudes und Aufnahme der Heizkörpergrößen und des Rohrnetzplanes (ca. 1–2 h)
- Überschlägige Kontrolle der Heizleistung der Wärmeübertragerflächen mit dem Wärmebedarf im Gebäude (ca. 30 min)
- Bestimmung der Voreinstellwerte der Thermostatventileinsätze (ca. 2 h)
- Einbau von voreinstellbaren Thermostatventileinsätzen (sofern nicht vorhanden)
- Einstellen der Thermostatventileinsätze auf die zuvor berechneten Einstellwerte
- Einstellen der Heizkreispumpe
- Anpassung der Kesselreglung

Nutzen für den Heizungsfachbetrieb

- Erhöhte Kundenzufriedenheit
- Kundenbindung durch Kompetenzbeweis

2.7 Checkliste

2.7.1 Checkliste für den Nutzer

Werden ein oder mehrere Punkte mit „nein“ beantwortet, kann dies ein Indiz für eine nicht abgeglichene Hydraulik sein.

Merkmal/Symptom	ja	nein
Alle Räume werden gleichmäßig warm.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Raumtemperaturen entsprechen den Einstellungen der Thermostatventile.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Temperaturdifferenz Vor- und Rücklauf am Heizkreis entspricht der Auslegung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Anlage läuft ohne Strömungsgeräusche.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Vor- und Rücklauftemperaturen entsprechen den Auslegungstemperaturen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Rücklauftemperaturen an den Heizkörpern entsprechen den Temperaturen im unteren Bereich der Heizflächen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nach Dämmmaßnahmen am Gebäude wurde die Heizung neu eingestellt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nach Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz des Gebäudes wurden die berechneten oder prognostizierten Verbrauchs-minderungen erzielt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2.7.2 Checkliste für die Durchführung nach der Berechnung

Merkmal	ja	nein
Vordruck am MAG und Betriebsdruck bedarfsgerecht für Anlage eingestellt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Schmutzfänger gereinigt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Anlage entlüftet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pumpe auf Funktion geprüft und Anlagenkennlinie eingestellt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Überströmventil vorhanden und eingestellt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Strangregulierventile bzw. Differenzdruckregler nach Berechnung eingestellt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Heizkörperthermostatventile geprüft auf <ul style="list-style-type: none">• Möglichkeit der Voreinstellung• genaue Voreinstellung am Unterteil• Gangbarkeit des Regelstiftes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Thermostatfunktion geprüft	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Heizkörperrücklaufverschraubung auf Gangbarkeit und Einstellung geprüft	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Heizkurve und Steilheit richtig einstellt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Strangabgleich durchgeführt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

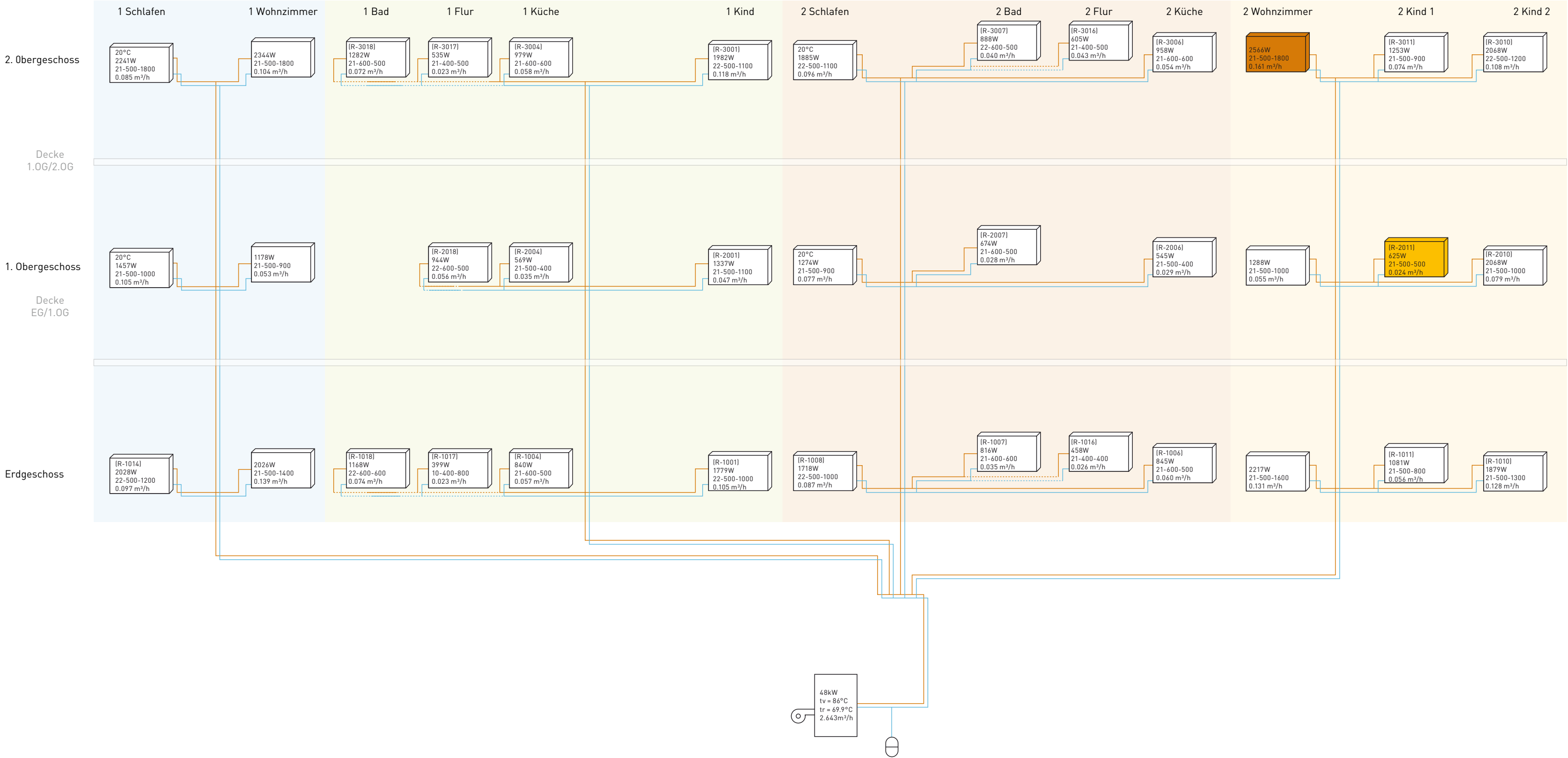


Abb. 40: Strangschema des Beispielgebäudes

Bauteil	Konstruktion	Baualtersklasse								
		bis 1918	1919–48	1949–57	1958–68	1969–78	1979–83	1984–94	ab 1995	EnEV 2009
Dach	Massive Konstruktion (Flachdach)	2,1	2,1	2,1	2,1	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2
	Holzkonstruktion (Steildach)	2,6	1,4	1,4	1,4	0,8	0,5	0,4	0,3	0,2
oberste Geschossdecke	Massive Decke	2,1	2,1	2,1	2,1	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2
	Holzbalkendecke	1,0	0,8	0,8	0,8	0,6	0,4	0,3	0,3	0,2
Außenwand gegen Außenwand	Massive Konstruktion (Mauerwerk, Beton o. ä.)	1,7	1,7	1,4	1,4	1,0	0,8	0,6	0,5	0,3
	Holzkonstruktion (Fachwerk, Fertighaus o. ä.)	2,0	2,0	1,4	1,4	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3
Außenwand zum Erdreich (und zum unbeheizten Keller)	Massive Konstruktion (Mauerwerk, Beton o. ä.)	1,7	1,7	1,4	1,4	1,0	0,5	0,8	0,5	0,4
	Holzkonstruktion (Fachwerk, Fertighaus o. ä.)	2,0	2,0	1,4	1,4	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4
Fenster	Holzfenster, einfach verglast	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	-	-	-
	Holzfenster, zwei Scheiben	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	1,8	-
	Kunststofffenster, Isolierverglasung	-	-	-	3,0	3,0	3,0	3,0	1,8	1,3
	Alu-/Stahlfenster, Isolierverglasung	-	-	-	4,3	4,3	4,3	4,3	1,8	1,3
Türen		3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	1,8

Tab. 11: U-Werte nach Baualtersklasse (Quelle: EnEV 2009)

Impressum

Herausgeber

Sächsische Energieagentur - SAENA GmbH
Pirnaischer Str. 9
01069 Dresden

Telefon: 0351 4910-3179
Telefax: 0351 4910-3155

E-Mail: info@saena.de
Internet: www.saena.de

Redaktion

Sächsische Energieagentur - SAENA GmbH

Fachverband Sanitär-Heizung-Klima Sachsen
Bereich Technik

ITG Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden
Forschung und Anwendung GmbH

Prof. Dr.-Ing. Mario Reichel
Lehrgebiet Technische Gebäudeausrüstung
Fakultät Maschinenbau/ Verfahrenstechnik
Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden

Layout

media project creative network GmbH
Glashütter Str. 101
01277 Dresden

Telefon: 0351 34060-33
Telefax: 0351 34060-31

E-Mail: agentur@mediaproject.de
Internet: www.mediaproject.de



Die Sächsische Energieagentur - SAENA GmbH ist das unabhängige Kompetenz- und Beratungszentrum zu den Themen erneuerbare Energien, zukunftsfähige Energieversorgung und Energieeffizienz. Gesellschafter sind der Freistaat Sachsen und die Sächsische Aufbaubank – Förderbank –.

Bild- und Quellenachweis

Abb. 6: © VIEGA, Abb.: 7: © Vogel & Noot, Abb. 8: © Kampmann, Abb. 9: © Arbonia, Abb. 10: Frenger Systemen BV, Abb. 15: © Wilo-Select 3, Abb. 26: © velta Uponor

