

Einführung in die Heizungstechnik

Inhaltsverzeichnis:

1. Begriffe nach EnEV.....	3
2. Brennwert / Heizwert / Wirkungsgrad	5
3. Rohrnetze.....	7
4. Der hydraulische Abgleich	9
5. Die Heizungsumwälzpumpe.....	11
6. Die hydraulische Weiche.....	14
7. Hydraulische Grundsaltungen.....	15
8. Legionellen und Trinkwasserhygiene.....	18
9. Das Ausdehnungsgefäß.....	20
10. Das Sicherheitsventil.....	21
11. Heizflächen.....	22
12. Korrosion und Heizungswasser.....	24
13. Warmwasserbereitung / Warmwasserbedarf.....	28
14. Anhang.....	29

1. Begriffe nach EnEV¹

Die Energieeinsparverordnung stellt die wesentliche ordnungspolitische Komponente zur Minderung des Energieverbrauchs im Gebäudebereich dar. Hiermit soll ein wichtiger Beitrag zur CO₂-Emissionsminderung geleistet werden. Auf der Grundlage des Energieeinsparungsgesetzes aus dem Jahre 1976 werden die bisher diesen Bereich behandelnden Wärmeschutz- und Heizungsanlagenverordnung zu einer Verordnung, der Energieeinsparverordnung (EnEV), zusammengefasst.

Die ganzheitliche Betrachtung und Einbeziehung der Anlagen- und Bautechnik soll die erforderliche integrative energetische Planung fördern. Wesentliche praktische Konsequenzen der neuen Verordnung laufen darauf hinaus, dass in einem frühen Stadium die Abstimmung zwischen den Planern des baulichen Wärmeschutzes und der Anlagentechnik erfolgt.

Über „Bonusanreize“, die eine gute Detailplanung – und natürlich auch eine gute Detailausführung – belohnen, wird eine verbesserte Qualität der Baukonstruktion erreicht. Darüber hinaus wird in dem Nachweisverfahren der Verordnung die Effizienz einer guten Gebäudeanlagentechnik deutlich herausgestellt und es resultieren Anreize für den Einsatz optimierter Heizungs- und Warmwasserbereitungssysteme.

Der Gültigkeitsbereich der EnEV beinhaltet neu zu errichtende Gebäude, wobei zwischen Gebäuden mit normalen und niedrigen Innentemperaturen unterschieden wird, und den Gebäudebestand.

Heizwärmebedarf

Die Wärmemenge, die von dem Heizsystem (Heizkörper) dem Raum bzw. dem Gebäude zur Verfügung gestellt werden muss, um die entsprechende Raumtemperatur aufrecht zu erhalten.

Die Größe wird durch die Bilanzierung von Wärmeverlusten (Transmission und Lüftung) und Wärmegewinnen (solare und interne) ermittelt und kennzeichnet – unter Berücksichtigung definierter Nutzungsbedingungen – die wärmeschutztechnische Qualität der Gebäudehülle.

Heizenergiebedarf

Energiemenge, die für die Gebäudebeheizung unter Berücksichtigung des Heizwärmebedarfs und der Verluste des Heizungssystems aufgebracht werden muss. Verluste des Heizungssystems treten bei der Wärmeübergabe, der Wärmeverteilung, der Wärmespeicherung und der Wärmeerzeugung auf. Diese Verluste werden in einer Anlagenaufwandszahl zusammengefasst.

Eine kleine Aufwandszahl kennzeichnet ein energetisch günstiges Heizungssystem.

Endenergiebedarf

Energiemenge, die für die Gebäudebeheizung unter Berücksichtigung des Heizwärmebedarfs und der Verluste des Heizungssystems sowie des Warmwasserwärmebedarfs und der Verluste des Warmwasserbereitungssystems

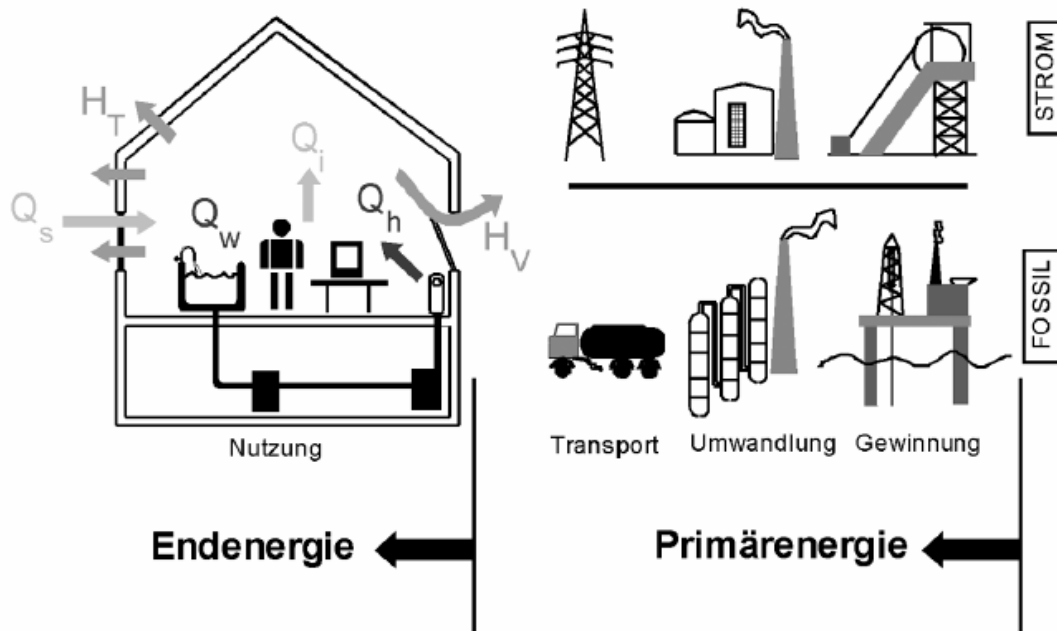
¹ Vgl. **Recknagel, Sprenger, Schramek** Taschenbuch für die Heizung- und Klimatechnik 07/08, Oldenbourg Industrieverlag München 73. Auflage 2007, S. 2004

aufgebracht werden muss. Die Endenergie bezieht die für den Betrieb der Anlagentechnik (Pumpen, Regelung, usw.) benötigte Hilfsenergie mit ein. Die Endenergie wird an der „Schnittstelle“ Gebäudehülle übergeben und stellt somit die Energiemenge dar, die vom Verbraucher bezahlt werden muss.

Primärenergiebedarf

Energiemenge, die zur Deckung des Endenergiebedarfs benötigt wird unter Berücksichtigung der zusätzlichen Energiemenge, die durch vorgelagerte Prozessketten außerhalb der Systemgrenze „Gebäude“ bei der Gewinnung, Umwandlung und Verteilung der jeweils eingesetzten Brennstoffe entstehen.

Die Primärenergie kann als Beurteilungsgröße für ökologische Kriterien, wie z.B. CO₂ - Emission, herangezogen werden, da der gesamte Energieaufwand für die Gebäudebeheizung einbezogen wird.

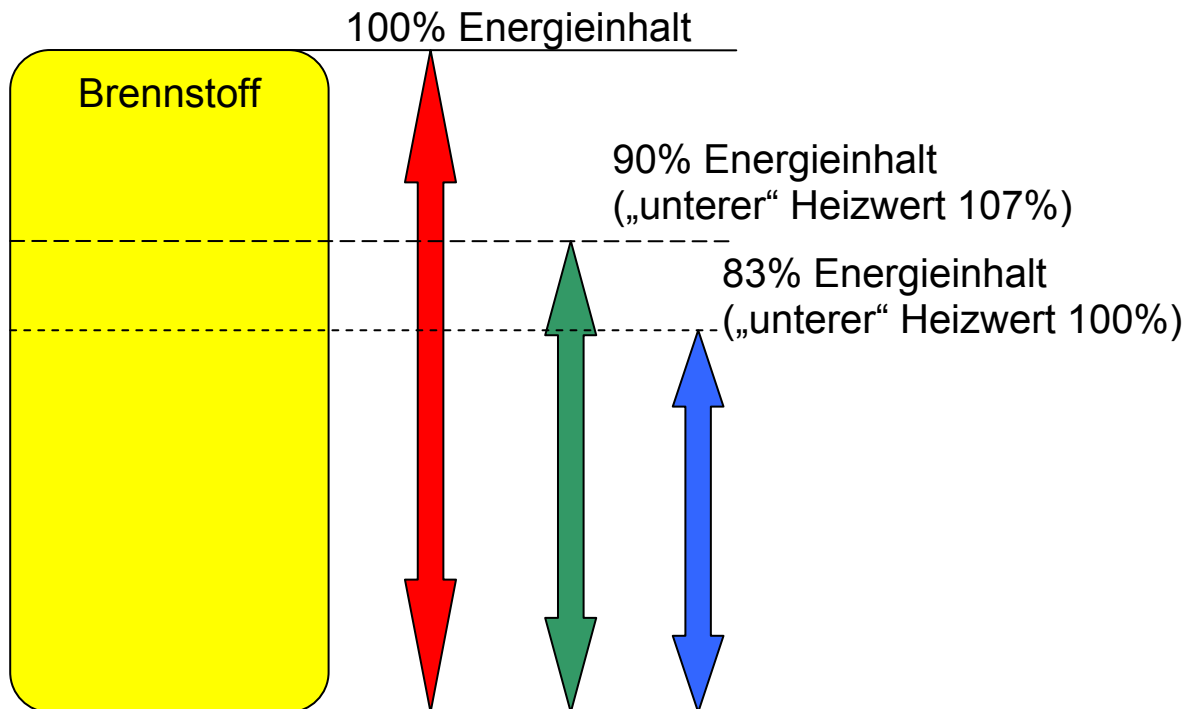


(Abb. 1 Primärenergie und Endenergie)

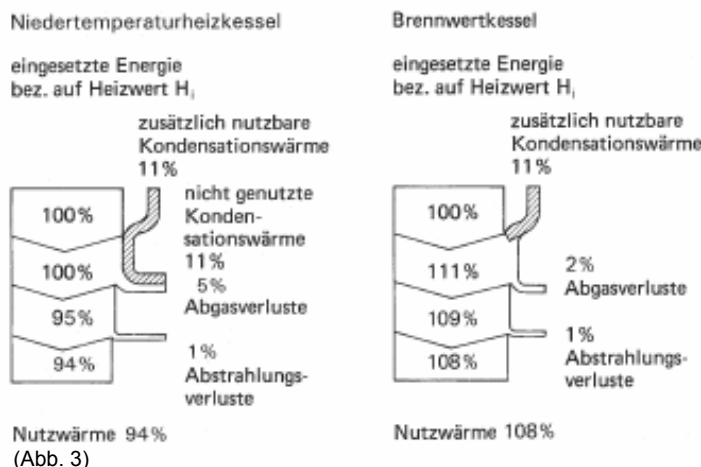
2. Brennwert / Heizwert / Wirkungsgrad

Altanlagen konnten technisch bedingt nur 83% Energieinhalt eines Brennstoffes nutzen. Aufgrund von marketingtechnischen Überlegungen wurde dieser „untere“ Heizwert als 100% Energieinhalt vereinbart.

Technische Innovationen machten es möglich, nun bis zu 90% Energieinhalt zu nutzen. Der Wirkungsgrad wurde dennoch auf den „unteren“ Heizwert bezogen.



(Abb. 2 Energieinhalt eines Brennstoffes)

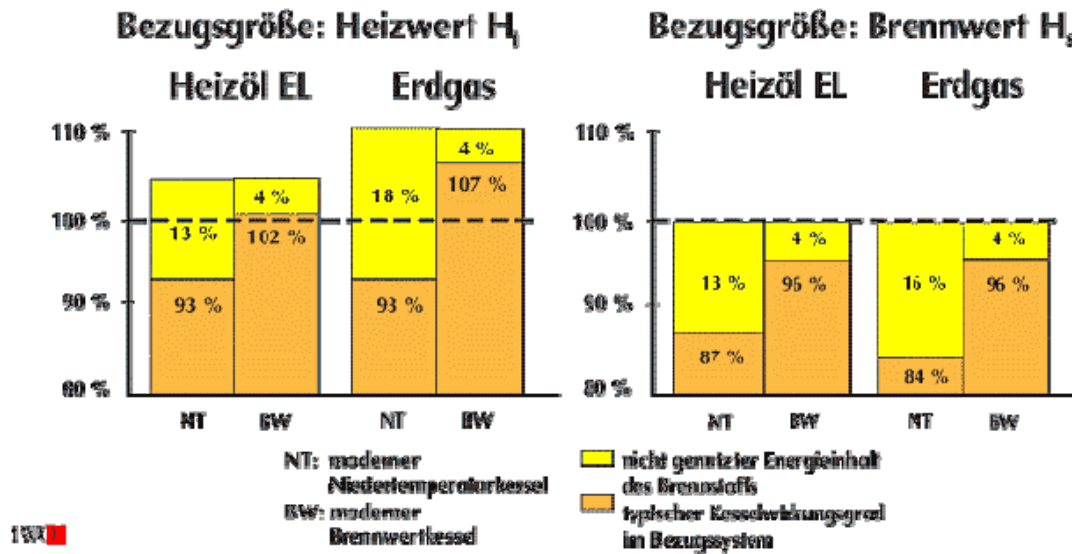


(Abb. 3)

Der Heizwert (H_i) bzw. Betriebsheizwert (H_{iB}) beschreibt die Wärmemenge, die 1 m^3 Gas beim vollständigen Verbrennen im Normzustand bzw. Betriebszustand liefert, wenn die Anfangs- und Endprodukte eine Temperatur von $25 \text{ }^\circ\text{C}$ haben und das bei der Verbrennung entstandene Wasser dämpfförmig vorliegt. Der Brennwert (H_S) beschreibt den gleichen Vorgang;

das bei der Verbrennung entstandene Wasser liegt jedoch flüssig vor, d. h. es wurde kondensiert und die in den Abgasen enthaltene Wasserdampfwärme genutzt.

Brennwertkessel sind in der Lage, das in den Abgasen dämpfförmig vorkommende Wasser zu kondensieren. Dadurch wird die Verdampfungsenergie zurück gewonnen und genutzt.



(Abb. 4 Wirkungsgradberechnungen bei verschiedenen Bezugsgrößen)

Der feuerungstechnische Wirkungsgrad gibt den Anteil der zugeführten Wärmeleistung in Prozent an, der nach Abzug der Abgasverluste im Wärmeerzeuger nutzbar ist.

Während beim feuerungstechnischen Wirkungsgrad lediglich die Abgasverluste berücksichtigt werden, gehen beim Kesselwirkungsgrad auch die Verluste ein, die während der Brennerlaufzeit auftreten können (z. B.: Abgasverluste, Verluste durch unverbrannte Gase, Verluste durch Verbrennungsrückstände, Strahlungsverluste).

Der Kesselwirkungsgrad gibt den Anteil der zugeführten Wärmeleistung an, der während des Heizbetriebes nutzbar an das Heizmedium (Heizungswasser) abgegeben wird.

Wenn der jährliche Brennstoffbedarf bekannt ist, kann mit der Formel für B_a der Normwärmebedarf $[Q_n]$ des Gebäudes abgeschätzt werden.

Brennstoff	Heizwert H_u		Dimen- sionen	Brennstoffverbrauch B_a	
	MJ/kg MJ/m ³ _n	kWh/kg kWh/m ³ _n		allgemein	bei $b_v = 1600 \text{ St}$
Heizöl El	42,7	11,86	kg/a	$0,105 \cdot b_v \cdot \dot{Q}_N$	$168 \cdot \dot{Q}_N$
Heizöl S	41,0	11,40	kg/a	$0,110 \cdot b_v \cdot \dot{Q}_N$	$176 \cdot \dot{Q}_N$
Ferngas	17,3	4,80	m ³ /a	$0,260 \cdot b_v \cdot \dot{Q}_N$	$416 \cdot \dot{Q}_N$
Erdgas H	37,5	10,40	m ³ /a	$0,120 \cdot b_v \cdot \dot{Q}_N$	$192 \cdot \dot{Q}_N$
Erdgas L	31,7	8,80	m ³ /a	$0,142 \cdot b_v \cdot \dot{Q}_N$	$227 \cdot \dot{Q}_N$
Elektrischer Strom ($\eta_{\text{ges}} = 0,95$)	3,6	1,0	kWh/a	$1,05 \cdot b_v \cdot \dot{Q}_N$	$1680 \cdot \dot{Q}_N$

(Abb. 5 Jährlicher Brennstoffbedarf bei älteren Heizungsanlagen)

3. Rohrnetze

Nur eine korrekte Auslegung einer Warmwasserverteilung ist die Grundlage für eine qualitativ hochwertige Funktion des Heizungssystems. Nur bei geeigneter Dimensionierung der einzelnen Rohrstrecken in Verbindung mit Pumpen und Regelarmaturen wird ein kostengünstiger und komfortabler Betrieb sichergestellt.

Folgende Randbedingungen beeinflussen die Dimensionierung der Rohrleitungen:

1. Systemvorgaben

Der Massenstrom ergibt sich bei vorgegebener Wärmeleistung durch die Festlegung der Temperaturspannung. Große Temperaturdifferenzen bedeuten einen geringen Energiebedarf für die Verteilung, benötigen allerdings große Heizflächen sowie Ventile mit kleinen k_v – Werten (Ventilautorität).

Bei Verbrauchern mit sehr unterschiedlichem Druckverlust – beispielsweise durch unterschiedliche Entfernungen im System – kann die hydraulische Gesamtleistung durch eine sinnvolle Aufteilung auf mehrere Pumpenkreise deutlich reduziert werden.

2. Anforderungen durch die Reglerorgane

Um die Funktion der Thermostatventile zu gewährleisten ist eine Ventilautorität von 0,3 bis 0,7 einzuhalten. Im ungünstigsten Fließweg sollte 0,3 angestrebt werden. Da der Differenzdruck über den Thermostatventilen aus Geräuschgründen 20 kPa nicht überschreiten sollte, ergibt sich ein verfügbarer Druck von ca. 40 kPa für den volumenstromvariablen Teil des ungünstigsten Fließwegs. Es ist zu überprüfen, ob über dem Thermostatventil auch bei Teillast nicht mehr als 20 kPa anstehen (Extremfall $Q = 0$). Eine Entschärfung kann erfolgen durch

- eine Verringerung des Druckverlustes durch größere Nennweiten
- eine Δp -variabel geregelte Pumpe
- strangweise Differenzdruckregler.

3. Konstruktive und bauliche Beschränkungen

Die Nennweite des Heizkörperanschlusses bzw. des Thermostatventils gibt i.d. R. die Nennweite der Anschlussleitung vor. Das Platzangebot für die Rohrleitung einschließlich Dämmung beschränkt die Nennweite.

4. Hydraulische Daten der Pumpen

Für Volumenströme bis etwa 2 m³/h werden einstufige Kreiselpumpen mit Förderhöhen bis max. 7 m angeboten. Erst für größere Volumenströme sind wirtschaftliche Pumpenlösungen auch für größere Förderhöhen verfügbar. Die niedrigste einstellbare Förderhöhe elektronischer Pumpen beträgt üblicherweise 0,5 m.

Unter Beachtung der genannten Randbedingungen erfolgt die Auswahl der Nennweiten nach den beiden folgenden Kriterien:

a) Strömungsgeschwindigkeit

- hoch: höhere Geräusche (Komfort), mehr Kupfererosion (Lebensdauer)
- niedrig: längere Aufheizzeiten durch thermische Trägheit (Wirtschaftlichkeit und Komfort), höhere Investitionskosten (Wirtschaftlichkeit), schlechtes Entlüftungsverhalten (Betrieb)

→ Geeignete Strömungsgeschwindigkeiten liegen in Hauptverteilungen bei etwa 0,3 bis 1,5 m/s, bei Fernleitungen bis 3 m/s und mehr.

b) Rohrreibungsdruckgefälle

- hoch: höherer Hilfsenergiebedarf der Pumpe (Betriebskosten)
- niedrig: größere Rohrdurchmesser (Investitionskosten)

→ Minimum an elektrischer Hilfsenergie bei vertretbaren Investitionskosten (Wirtschaftlichkeit)

Die VDI 2073 empfiehlt in Tabellenform die passenden Nennweiten für den gewünschten Massenstrom. Daraus resultieren Druckgefälle von 80 bis 200 Pa/m. Grundsätzlich ist jedoch für eine wirtschaftliche Dimensionierung folgendes zu beachten: Maßgeblich für den Pumpenenergiebedarf ist der ungünstigste Fließweg. Die Teilstrecken auf den günstigeren Fließwegen können so dimensioniert werden, dass der verfügbare Druck in der Rohrleitung aufgebraucht wird. Andernfalls muss er in Ventilen weggedrosselt werden, um den hydraulischen Abgleich sicherzustellen. Die wirtschaftlich optimalen Nennweiten für ein Rohrnetz sind daher keine direkte Funktion des Massenstroms. Für die Versorgung mit Heizwasser der Heizkörper von gut gedämmten Wohngebäuden sind so geringe Massenströme erforderlich, dass durch eine entsprechende Verkleinerung der Rohrnennweiten kaum noch Kostenvorteile entstehen. Daher können sehr geringe Druckverluste kostenneutral realisiert werden. Für die gesamte Heizungsanlage in einem Einfamilienhaus oder für den einzelnen Strang (mit Differenzdruckregler) in einem Mehrfamilienhaus sollten 5 kPa angestrebt werden, da dies dem kleinstmöglichen Einstellwert elektronischer Pumpen bzw. Differenzdruckregler entspricht. Bei mittelgroßen verzweigten Anlagen mit längeren Fließwegen sollte der untere Wert der empfohlenen Druckgefälle (20...50 Pa/m) für den ungünstigsten Fließweg gewählt werden. Die verfügbaren Druckgefälle für die günstigeren (kürzeren) Fließwege liegen dann höher.

Bei sehr großen Anlagen sollte in einer Wirtschaftlichkeitsrechnung geprüft werden, welches Druckgefälle im ungünstigsten Strang zu einem Optimum aus Investitions- und Betriebskosten führt. Dabei ist auf der Investitionsseite das gesamte Netz inklusive Rohrdämmung sowie die notwendigen Armaturen und Pumpen zu betrachten. Die Betriebskosten können nach DIN 18599 bestimmt werden.

Strang I										
Aus dem Rohrplan				Berechnung						
TS.	Wärmeleistung \dot{Q}	Wasserstrom \dot{m}	Rohrlänge l	Rohrdurchmesser d	Geschwindigkeit w	Druckgefälle R	$\Sigma \zeta$	Gleichw. Rohrlänge l_{gl}	Gesamtlänge l_{ges}	$R l_{ges}$
Nr.	W	kg/h	m	DN	m/s	Pa/m	-	m	m	Pa
1	42000	3600	15	50	0,45	45	3,5	7,8	22,8	1026
2+9	28000	2400	10	40	0,49	70	2,0	3,5	13,5	945
3+8	14000	1200	15	32	0,33	40	8,0	10,9	25,9	1037
4+7	7000	600	8	25	0,29	45	3,0	2,8	10,8	487
5+6	3500	300	2	20	0,23	42	6,0	4,1	6,1	254
10	42000	3600	20	50	0,45	45	3,0	6,7	26,7	1201
11	42000	3600	5	50	0,45	45	5,0	11,1	16,1	726
			75					46,9	121,9	5677
Heizkörper 3										
12+13	3500	300	2	20	0,23	42	6,0	4,1	6,1	254

(Abb. 6 Formblatt zur Berechnung von Leitungssträngen)

4. Der hydraulische Abgleich

Der hydraulische Abgleich ist die Einregulierung der Heizungsanlage. Das Wasser sucht immer den Weg des geringsten Widerstandes. Dadurch kommt es zu einer Überversorgung der Heizkörper, welche strömungstechnisch dem Wasser den geringsten Widerstand (durch Rohrleitung, Absperrorgane, Fittings usw.) entgegenwirken und einer Unterversorgung derer, die einen höheren Widerstand besitzen. Dies wurde in der Praxis häufig damit ausgeglichen, dass man die Heizungsumwälzpumpen höher dimensioniert hat oder zusätzliche Pumpen wurden eingebaut.

Damit nun jeder Heizkörper genau den Wärmestrom bekommt, den er nach der Heizlastberechnung benötigt, werden Rücklaufverschraubungen (oder Thermostatventile mit Voreinstellung) eingebaut, die sich einregulieren lassen. Damit kann man strömungstechnisch günstig gelegenen Heizkörpern einen künstlichen Widerstand geben. Dieser Widerstand richtet sich nach dem Heizkörper, mit dem höchsten Druckverlust im Heizkreis.

Außerdem ist der Abgleich nicht nur nach der VOB Teil C, DIN 18380 und der EnEV (Energieeinsparverordnung) vorgeschrieben, sondern Grundvoraussetzung für eine funktionierende außentemperaturgesteuerte Warmwasserheizungsanlage.

Auch wird bei einigen Fördermaßnahmen nach dem CO₂-Gebäudesanierungsprogramm der KfW-Bank oder der BAFA ist ein hydraulischer Abgleich zwingend vorgeschrieben

Ist der Abgleich nur im Volllastbetrieb wirksam?

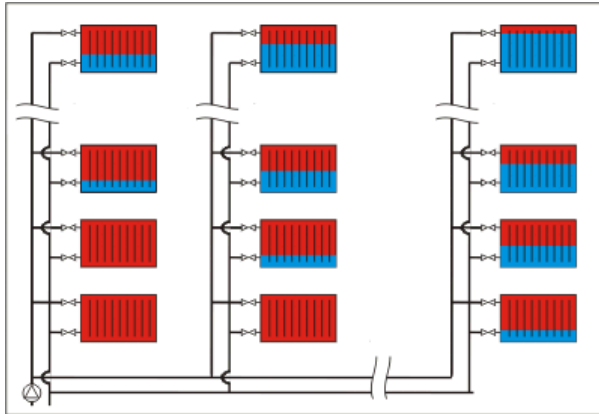
Eigentlich ja, aber genau deswegen ist ein hydraulischer Abgleich nur dann wirklich wirkungs- und sinnvoll, wenn eine geregelte oder sogar eine Hocheffizienzpumpe eingebaut wird. Auch ist die richtig eingestellte Heizkurve Voraussetzung für eine hydraulisch richtig arbeitende Anlage. Dann arbeitet die Anlage auch im Teillastbereich (Abschalten einiger Heizflächen per Hand oder Fremdwärme) hydraulisch einwandfrei.

Unter dem häufig im Zusammenhang mit der Rohrnetzberechnung verwendeten Begriff Stromkreis (Wasserstromkreis) versteht man den Weg, den das Wasser vom Heizkessel über Vorlauf, Wärmeaustauscher bzw. Heizkörper und Rücklauf zum Heizkessel zurücklegt. Dieser Stromkreis besteht in der Regel aus mehreren Teilstrecken (TS). Bei der Zweirohrheizung können Teilstrecken der Vor- und Rückläufe mit gleichen Heizwasserströmen zusammengefasst werden.

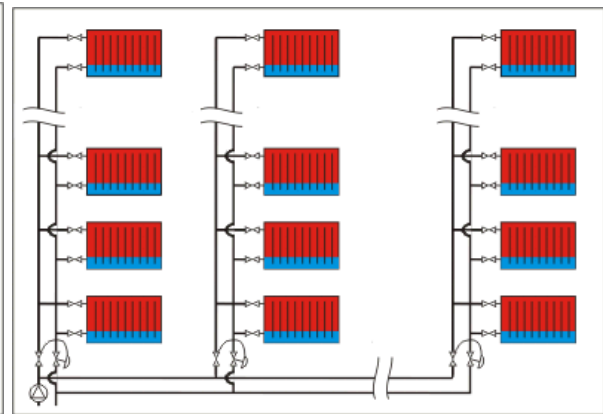
Durch den von der Heizungsumwälzpumpe erzeugten Pumpendruck wird der Druckverlust ausgeglichen, der durch Einzelwiderstände, Regelarmaturen und gerade Rohrstrecken entsteht. Da die einzelnen Stromkreise einer Warmwasserheizungsanlage parallel geschaltete Widerstände bilden, errechnet sich der notwendige Pumpendruck aus den Druckverlusten des ungünstigsten Stromkreises. In diesem Stromkreis entsteht der größte Druckverlust.

Die Stromkreise, in denen der Druckverlust geringer ist, müssen Drosselarmaturen (voreinstellbare Thermostatventile oder einstellbare Rücklaufverschraubungen, Strangreguliertventile) eingebaut werden. Diese Drosselarmaturen reduzieren den überschüssigen Druck, damit der günstigste Heizkreis (Heizkörper) nicht die Anlage steuert, denn dieser Heizkörper beeinflusst die Funktion der anderen Heizkörper.

Wenn nicht in allen Stromkreisen der gleiche Druckverlust entsteht, stellen sich andere Heizwasserströme als die berechneten notwendigen Massenströme ein. Das Wasser strömt dann mit einer viel zu großen Menge durch die Heizkörper mit den geringeren Widerständen. Die Heizkörper geben dann mehr Wärme ab und wirken als Störgröße für die Raumregelung. Dadurch wird die Hydraulik durcheinander gebracht. (siehe Abb.7).



(Abb. 7 nicht hydraulisch abgeglichenes System)



(Abb.8 hydraulisch abgeglichenes System)

Folge des fehlenden Abgleichs ist, dass die Heizkörper mit höheren Widerständen nicht warm werden. Die falsche „logische Folgerung“ wäre, den Pumpendruck zu erhöhen (höhere Schaltstufe, größere Pumpe). Dies bedeutet einen höheren Stromverbrauch, evtl. extreme Fließgeräusche, Einbau eines Überströmventils („Energievernichtung“) und Lufteinsaugung. Aber dadurch werden die Probleme noch größer.

Wenn die Anlage richtig abgeglichen ist, kann durch den Einsatz einer geregelten Pumpe (nach der EnEV ab 25 kW Nennwärmeleistung im Wohnungsbau vorgeschrieben) der Energieverbrauch der Pumpe bis zu 80% reduziert werden. Solche Pumpen haben sich nach relativ kurzer Zeit amortisiert.

Die alte, seit Jahrzehnten praktizierte Rohrnetzrechnung hat sich inzwischen für bestehende Anlagen überholt. Sinnvoll ist die Berechnung mit einem Berechnungsprogramm und man wird schnell feststellen, dass der theoretisch ungünstigste Heizkörper meistens nicht der richtige Heizkörper ist.

Auch die Berechnung für den nachträglichen Abgleich in Altbauten ist mit solchen Programmen möglich. Viele Hersteller bieten Überschlagsrechnungen an, die für die Praxis tolerierbar sind. Es werden auch schon Programme für Handys angeboten. Ein überschlägiger Abgleich ist immer noch besser als gar keiner.

5. Die Heizungsumwälzpumpe

Die Heizungsumwälzpumpe sorgt dafür, dass das Heizmedium (Heizwasser) zu den Verbrauchern (Heizkörpern, Fußbodenheizung, Trinkwassererwärmer) geführt wird. Auf dem Weg zu den Verbrauchern müssen Widerstände wie z.B. Rohrleitungen, T-Stücke, Bögen, Absperrorgane, Ventile usw. überwunden werden.

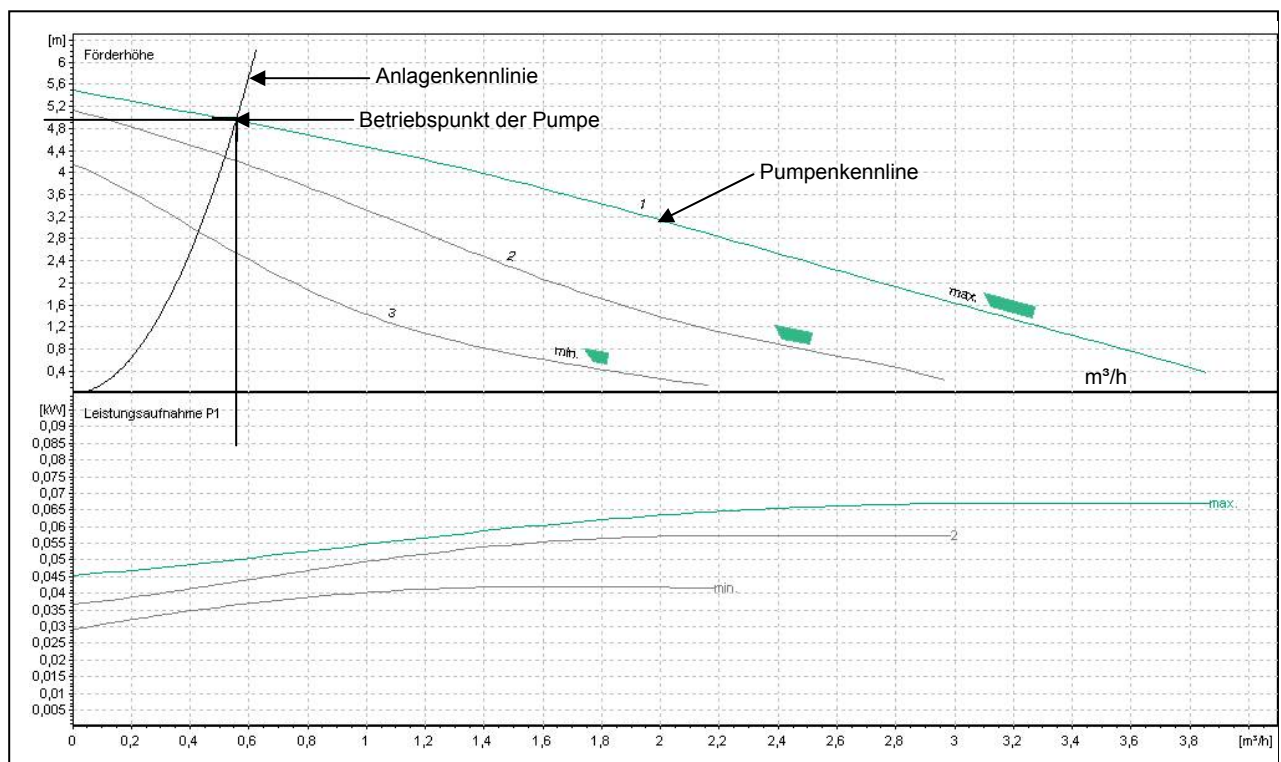
Als Pumpen werden meist Kreiselpumpen verwendet, die durch Elektromotor angetrieben werden. Zur Vermeidung von Geräuschübertragungen bei Rohrleitungen ist auf gute eine Schallisolierung an den Berührungsstellen von Rohrleitung und Gebäudeteilen zu achten, bei größeren Pumpen auf geringe Drehzahlen, geräuscharme Motoren, Aufbau auf schallgedämmtem Fundament, Dämmung gegen Körperschall und Erschütterungen meist durch Gummipplatten oder Schwingungsdämpfer.

Die Umwälzpumpe wird so ausgelegt, dass der erforderliche Wärmestrom (Massenstrom) zu den Verbrauchern geliefert und die Summe der Druckverluste (die Widerstände) ausgeglichen wird.

Zunächst berechnet man den erforderlichen Massenstrom mit der Formel $Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$ Q ist die Heizleistung des Heizkreises nach der Heizlastberechnung, m ist der gesuchte Massenstrom, c die spezifische Wärmekapazität des Wassers $= 1,163 \text{ Wh/kg}\cdot\text{K}$ und $\Delta\theta$ die ausgelegte Temperaturdifferenz zwischen Heizungsvor- und rücklauf.

Angenommen, eine Heizlastberechnung hat ergeben, dass ein Heizkreis 3.250 kW Wärme benötigt, die Auslegungstemperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf beträgt 5K (40°C Vorlauf / 35°C Rücklauf). Daraus folgt der erforderliche Massenstrom von $m = 558,89 \text{ kg/h} \approx 560 \text{ kg/h} \approx 0,56 \text{ m}^3/\text{h}$.

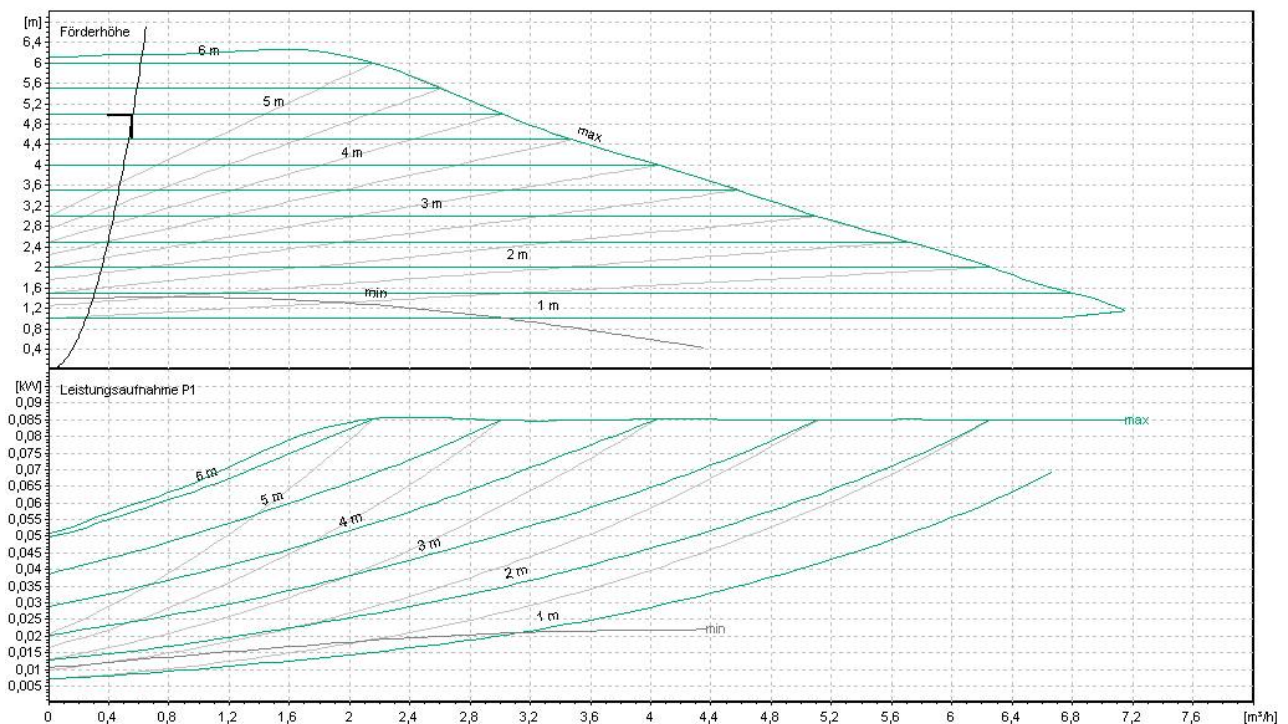
Die Druckverlustberechnung (Addition aller Widerstände im ungünstigsten Heizkreis) hat ergeben, dass der Heizkreis einen Druckverlust von $\Delta p = 50 \text{ kPa}$ besitzt. Das entspricht einer Förderhöhe von 5,00 m.



(Abb. 9 Pumpendiagramm einer unregulierten, 3-stufigen Wilo Umwälzpumpe)

Nun wählt man mit diesen Daten die Pumpe aus und in dem zur Pumpe gehörenden Pumpendiagramm werden der Betriebspunkt und die Leistungsaufnahme der Pumpe ablesen. Aus dem Diagramm kann man zudem erkennen, je geringer der Massenstrom wird (Heizköperventile schließen, geringere Wärmeabnahme des Heizkreises) desto höher wird der Pumpendruck. Dies kann zu Geräuschen an den Thermostatventilen oder bei sehr hohem Druck zu einer Zerstörung der Ventile führen. Deshalb wurde in alten Anlagen häufig ein Überströmventil eingebaut, welches bei einem hohen Pumpendruck, eine Bypassstrecke öffnete.

Da dieses System aber äußerst unwirtschaftlich ist, sind die drehzahlgeregelte Pumpen entwickelt worden. Diese, in den Pumpen integrierte Regelung regelt den Differenzdruck nach verschiedenen Eingangsgrößen (siehe Abb. 10).



(Abb. 10 Pumpendiagramm einer geregelten Pumpe)

$\Delta p-c$	Regelungsart für konstanten Differenzdruck
$\Delta p-cv$	Kombinierte Regelungsart aus konstantem und variablem Differenzdruck
$\Delta p-T$	Regelungsart für Differenzdruckregelung in Abhängigkeit der Medientemperatur
$\Delta p-v$	Regelungsart für variablen Differenzdruck
ΔT	Regelungsart für Differenztemperatur

(Abb. 11 Regelungsarten von Heizungspumpen)

Der Leistungsbedarf der Pumpe ergibt sich aus:

$$P = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p_t}{\eta} \text{ in W}$$

\dot{V} = Förderstrom in m³/s ist aus der Heizleistung und dem Temperaturunterschied
 $\Delta\theta$ zwischen Vorlauf und Rücklauf zu bestimmen.
 η = Wirkungsgrad der Pumpe
 Δp_t = Gesamtdruckdifferenz in Pa

Bei den Heizungspumpen werden hauptsächlich 2 Bauarten eingesetzt:

1. Pumpen mit Spaltrohrmotor (Naßläufermotor)
2. Pumpen mit Gleitringdichtung (Trockenläufermotor).

Bei den Naßläuferpumpen liegen alle rotierenden Teile von Pumpe und Motor im Wasser, die Abdichtung erfolgt über das Spaltrohr oder den Spalttopf aus unmagnetischem Chrom-Nickel Stahl. Das geförderte Heizungswasser dient gleichzeitig zur Schmierung der Rotorlager. Die Pumpen laufen äußerst geräuscharm und sind praktisch wartungsfrei.

Bei Trockenläuferpumpen erfolgt die Abdichtung der Welle durch die Gleitringdichtung. Zum Antrieb der Pumpen dienen handelsübliche Motoren in Spezial oder Normausführung. Bei den Gleitringdichtungen werden heute durch Einsatz hochwertiger Keramikwerkstoffe sehr hohe Standzeiten erzielt. Die Geräuschentwicklung der Pumpen ist etwas höher als bei Naßläuferpumpen.

Naßläuferpumpen und Trockenläuferpumpen sind sowohl als Einzel- als auch als Doppelaggregate verfügbar.

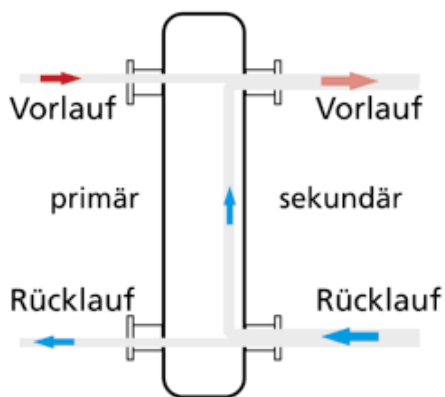
Naßläuferpumpen kommen hauptsächlich im Leistungsbereich von ca. 10 W bis 2,5 kW zum Einsatz. Dies entspricht Förderhöhen bis ca. 15 m und Förderströmen bis ca. 100 m³/h.

6. Die hydraulische Weiche

Eine erprobte technische Lösung zur hydraulischen Verknüpfung unterschiedlich großer Volumenströme (z.B. in Heizungsnetzen) ist die hydraulische Weiche. Im Grunde genommen ist die hydraulische Weiche nichts anderes als ein großer Behälter mit mindestens vier Anschlüssen. Jeweils zwei Anschlüsse werden pro eingebundenen Volumenstrom (z.B. Kesselkreis, Verteilerkreis) benötigt. Die unterschiedlichen Kreisläufe sind dann miteinander verbunden, aber druckseitig entkoppelt, also nicht voneinander abhängig. Jeder Kreis benötigt allerdings seine eigene Umwälzpumpe.²

Ein typisches Beispiel in der Heizungstechnik ist die Versorgung einer Fußbodenheizung mit einem sehr großem Volumenstrom. Gleichzeitig ist der Volumenstrom des Heizkessels begrenzt und kleiner als der der Fußbodenheizung.

Als grundsätzliche Vorteile ergeben sich neben der druckseitigen Entkoppelung der Wärmeträgerströme auch noch die einfachere Dimensionierung der Kesselkreisumwälzpumpe und die Zusatzfunktion der hydraulischen Weiche als Schlammfang (wegen des großen Querschnittes herrschen hier extrem niedrige Strömungsgeschwindigkeiten). So gesehen ist auch jeder Pufferspeicher als hydraulische Weiche zu betreiben.



(Abb. 12 und 13 schematischer Aufbau einer hydraulischen Weiche und Bild einer hydraulischen Weiche)

Beim Einsatz einer hydraulischen Weiche ist zu beachten, dass sie sich nicht temperaturneutral verhält. Man kann sich für jede Weiche drei prinzipielle Betriebsfälle vorstellen:

- Der Volumenstrom des Primärkreises (z.B. Kesselkreis) und der des Sekundärkreises (z.B. Heizkreis) sind gleich groß - die Weiche ist außer Betrieb.
- Der Volumenstrom des Primärkreises ist kleiner als der des Sekundärkreises - der Vorlauf des Sekundärkreises ist kälter als der des Primärkreises, da ihm in der Weiche kaltes Rücklaufwasser beigemischt wird (siehe Abbildung).
- Der Volumenstrom des Primärkreises ist größer als der des Sekundärkreises - die Rücklauftemperatur im Primärkreis steigt an. Deshalb ist es nicht empfehlenswert, einen Trinkwassererwärmer kesselseitig nach der hydraulischen Weiche zu installieren, da dieser für ein zügiges Aufheizen die Maximaltemperatur des Kesselkreises benötigt.

² Vgl. IKZ Praxis, Ausgabe 3/2004 Seite 11

7. Hydraulische Grundschaltungen

Die wasserseitige Zusammenschaltung eines Stellgliedes mit der Wärmeenergieerzeugung, der Pumpe und dem Wärmeverbraucher zu einer funktionsfähigen Anlage bezeichnet man als hydraulische Schaltung. Als Grundlage der Regelaufgaben in wasserführenden Systemen ist die Kenntnis hydraulischer Schaltungen und deren Wirkungen auf die Anlagenfunktionen Voraussetzung. Die Regelung ermöglicht dann, den Wärmetransport durch das Stellglied zu verändern und so automatisch dem jeweiligen Bedarf anzupassen.

Drosselschaltung

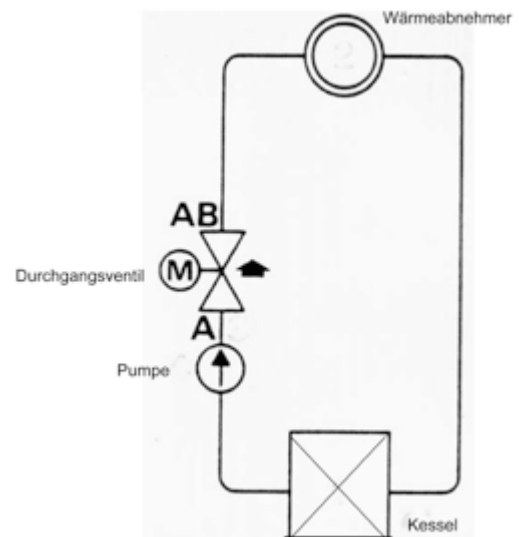
Wird das Ventil verstellt, beeinflusst dies den Volumenstrom sowohl im Wärmeenergieerzeuger wie im Heizkreis. Überall ergeben sich starke Schwankungen der Druckverhältnisse.

Eigenschaften:

- tiefe Rücklauftemperatur im Teillastbetrieb
- variabler Volumenstrom in der ganzen Anlage
- beim Anfahren zeitliche Verzögerung der Eintrittstemperatur in den Wärmeverbraucher (Totzeit - je nach Länge und Abkühlung der Rohre)
- bei geschlossenem Ventil kann die Pumpe überhitzen (Einsatz drehzahl geregelter Pumpen)

Einsatz:

- Luftheizkörper ohne Einfriergefahr
- Luftkühler mit Entfeuchtung
- Fernheizungsanschluss (direkt oder mit Wärmeübertrager)
- Speicherladung und Speicherentladung
- Anlagen mit Kondensationskessel



(Abb. 14)

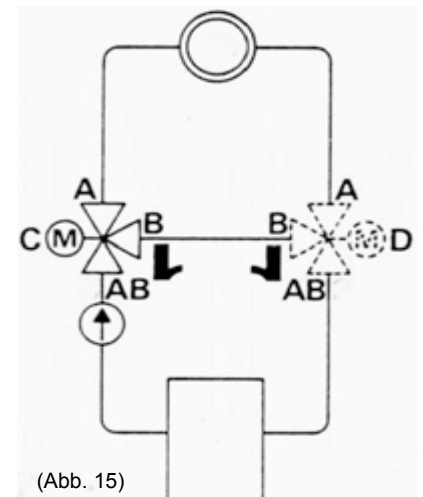
Umlenkschaltung

Der heiße Wärmeenergieerzeugervorlauf wird je nach Ventilstellung zwischen Heizkreis und Bypass verteilt. Die Leistung im Wärmeverbraucher wird über den Durchfluss gesteuert. Der Temperaturabfall am Wärmeverbraucher steigt mit sinkendem Durchfluss.

Bei geschlossenem Ventil erreicht der Kesselrücklauf annähernd die Temperatur des Kesselvorlaufs.

Eigenschaften:

- variabler Durchfluss im Verbraucherkreis
- konstanter Durchfluss und Druck im Wärmeenergieerzeugerkreis (vorteilhaft bei Anlagen mit mehreren Gruppen)
- mittlere bis hohe Temperatur im Wärmeenergieerzeugerrücklauf
- beim Anfahren Vorlauftemperatur vom Wärmeenergieerzeuger mit wenig Verzögerung am Heizkreis (sofern das Stellglied genügend nahe beim Verbraucher ist)



(Abb. 15)

Einsatz:

- Luftkühler mit Entfeuchtung
- Luftherwärmer ohne Einfriergefahr
- Wärmerückgewinnungssysteme
- Trinkwassererwärmung
- nicht geeignet für Anlagen mit Fernwärmeversorgung (hohe Rücklauftemperatur)

Beimischschaltung

Ein Dreiwege-Stellglied unterteilt die ganze Schaltung in Primär- oder Wärmeerzeugerkreis und Sekundär- oder Heizkreis. Heißes Wärmeerzeugerwasser und abgekühltes Heizkreis-Rücklaufwasser werden gemischt, um die gewünschte Vorlauftemperatur in den Heizkreis zu steuern und damit dessen Leistung zu bestimmen.

Eigenschaften

- tiefe Rücklauftemperatur bei kleiner Last
- variabler Volumenstrom im Wärmeerzeugerkreis
- konstanter Volumenstrom mit variabler Temperatur im Heizkreis
- gleichmäßige Temperaturverteilung über dem Wärmeverbraucher
- geringe Einfriergefahr bei Luftherwärmern

Die Schaltung ist nicht geeignet für Anlagen mit Distanzen über 20 m zwischen Bypass und Regel-Fühler: Die lange Transportzeit (Totzeit) erschwert die Regelaufgabe wesentlich.

Einsatz:

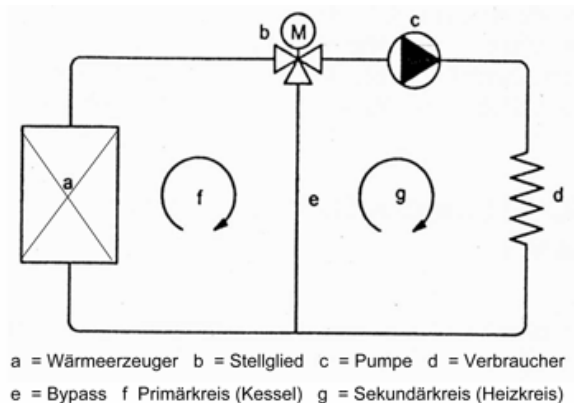
- Regelung von Heizkörper-Heizungen
- Luftherwärmer mit Einfriergefahr
- Anlagen mit Niedertemperatur-Wärmeerzeugern oder **Wärmepumpen**

Beimischschaltung mit fester Vormischung

Ein Dreiwege-Stellglied unterteilt auch hier die ganze Schaltung in Primär- oder Wärmeerzeugerkreis und Sekundär- oder Heizkreis. Zusätzlich wird durch die feste Vormischung immer ein bestimmter Anteil abgekühltes Rücklaufwasser dem Vorlauf beigemischt. Dies ist dann sinnvoll, wenn die gewünschte Vorlauftemperatur zum Heizkreis im Auslegezustand um einiges tiefer liegt, als die vom Wärmeerzeuger angelieferte Vorlauftemperatur. So wird erreicht, dass das Dreiwege-Stellglied über den gesamten Stellbereich arbeitet.

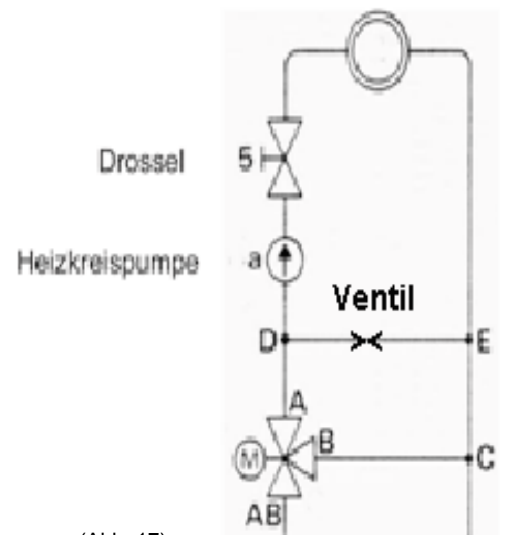
Als Grundregel für den bevorzugten Einsatz gilt:

$$\dot{m}_{\text{sekundär}} \geq 2 \cdot \dot{m}_{\text{primär}}$$



a = Wärmeerzeuger b = Stellglied c = Pumpe d = Verbraucher
e = Bypass f Primärkreis (Kessel) g = Sekundärkreis (Heizkreis)

(Abb. 16)



(Abb. 17)

Eigenschaften:

- tiefe Rücklauftemperatur bei kleiner Last
- variabler Volumenstrom im Wärmeerzeugerkreis
- konstanter Volumenstrom mit variabler Temperatur im Heizkreis

Die Schaltung ist nicht geeignet für Anlagen mit Distanzen über 20 m zwischen Bypass und Regel-Fühler: Die lange Transportzeit (Totzeit) erschwert die Regelaufgabe wesentlich.

Einsatz:

- Verbraucherkreise, mit tieferer Vorlauftemperatur als der Wärmeerzeugervorlauf
- Regelung von Fußbodenheizungen und Heizkörper-Heizungen, Anlagen mit Niedertemperatur-Wärmeerzeugern oder **Wärmepumpen**

Einspritzschaltung

Bei der Einspritzschaltung ist die Wasserumlaufmenge im Gegensatz zur Mengen- und Drosselschaltung im Wärmeerzeuger- und Heizkreis immer konstant. Dazu wird für jeden Kreis eine Pumpe benötigt. Bei dieser Schaltung steht ständig heißes Wasser an, dadurch gibt es keine Totzeiten.

Einspritzschaltung mit Dreiwegeventil

Die erste Pumpe sorgt für den Druck im Wärmeerzeugerkreis, inklusive dem Druckabfall über dem Stellglied. Die zweite Pumpe sorgt für den Druck im Heizkreis.

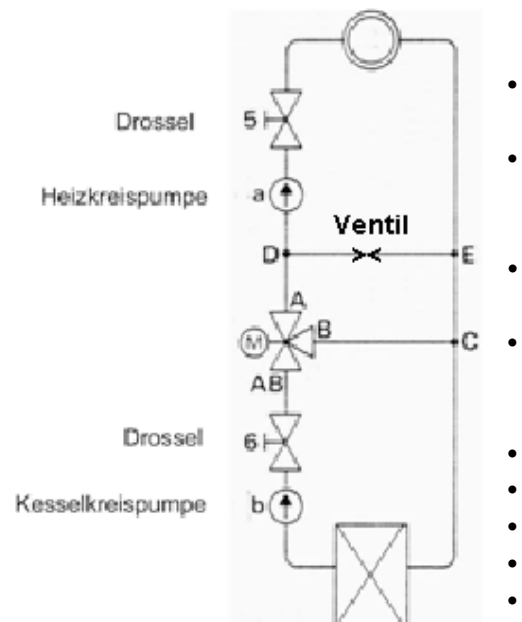
Die Wärmeerzeugerpumpe spritzt je nach Stellung des Dreiwegeventils mehr oder weniger heißes Vorlaufwasser in den Heizkreis ein. Dieses wird mit abgekühltem Heizkreis-Rücklaufwasser gemischt, welches von der Heizkreispumpe über den Bypass angesaugt wird. Im Heizkreis erhält man einen konstanten Volumenstrom mit variabler Temperatur.

Eigenschaften:

- konstanter Durchfluss, sowohl im Wärmeerzeugerkreis wie auch im Heizkreis
- relativ hohe Rücklauftemperatur (entspricht bei Last = 0% dem Wärmeerzeuger-Vorlauf und bei Last = 100% dem Heizkreis-Rücklauf)
- gleichmäßige Temperaturverteilung über dem Heizkreis
- geringe Einfriergefahr bei Luftherwärmern

Einsatz:

- Radiator- und Fußboden-Heizungen
- Luftherwärmer mit Einfriergefahr
- Luftkühler ohne geregelte Entfeuchtung
- Speicherladung
- nicht geeignet für Anlagen mit Fernwärmeversorgung (hohe Rücklauftemperatur)



(Abb. 18)

Direktschaltung

Bei dieser Schaltung ist im Heizkreis kein Regelventil eingebaut. Es erfolgt also keine Leistungsanpassung - die Energieabgabe erfolgt unregelt. Die Schaltung wird in der Trinkwassererwärmung eingesetzt. Die Ladepumpe wird über einen Thermostat ein- und ausgeschaltet.

8. Legionellen und Trinkwasserhygiene

Legionellen sind Wärme liebende Bakterien. Sie können eine Infektionserkrankung hervorrufen, die mit den Symptomen einer schweren Lungenentzündung verbunden sind. 1976 trat die bis dahin unbekannte Infektionskrankheit bei einem Legionärstreifen in Philadelphia auf und wird seitdem als Legionärskrankheit bezeichnet. Auch das so genannte Pontiac-Fieber kann von Legionellen ausgelöst werden.

Legionellen gehören zum natürlichen Bestandteil von Süßwasser und sind in Oberflächengewässern nur eine sehr geringe Infektionsgefahr für Menschen. Gelangen die Bakterien jedoch mit Tröpfchennebel in die Lunge, kann es zur Erkrankung kommen.

Legionellen vermehren sich bevorzugt zwischen 30 und 40°C. Quellen können vor allem Duschanlagen, Schwimmbäder und Klimaanlage mit Luftbefeuchtung sein, wo Wasser nicht stark erhitzt wird und längere Zeit steht. Anfällig sind vor allem große Speicher von über 200 Litern Inhalt, wie sie in Wohnungen kaum vorkommen. Daneben kommt jedes lange in der Leitung stehende Wasser als geeignetes Milieu in Frage, vor allem wenn es warm steht.

Bei der Legionellose handelt es sich um eine Atemwegserkrankung, die durch Bakterien der Gattung "Legionella pneumophila" hervorgerufen wird. Man unterscheidet bei der Legionellose zwei Erkrankungsformen: das Pontiac-Fieber, das einem grippeähnlichen Infekt gleicht und hauptsächlich durch Fieber, Husten und Muskelschmerzen charakterisiert ist und die schwerer, zum Teil auch tödlich verlaufende Legionärskrankheit, die mit einer atypischen Pneumonie einhergeht. Legionellen-Infektionen erfolgen nicht durch eine Übertragung von Mensch zu Mensch, sondern ausschließlich aus der Umwelt durch das Einatmen von Wasseraerosolen (Sprühnebel).

Laut der Wasserwirtschaft entsteht aufgrund mangelnder Befeuchtung in den Trinkwasserrohren ein Biofilm. Dieser enthält gefährliche Bakterien, wie z.B. die Magengeschwüre verursachenden *Helicobacter pylori* und Mikroorganismen zu denen die Legionellen gehören, welche zur gefürchteten Legionärskrankheit führen können.

Die Legionellose ist nach dem § 7 des Infektionsschutzgesetzes eine meldepflichtige Erkrankung, hier ist das Robert Koch-Institut zuständig.

Zwischen den jeweiligen WVU (Wasserversorgungsunternehmen) und den in ihren Gebieten tätigen Installationsunternehmen abzuschließenden Verträge (die so genannten Installateurverträge), basieren auf den Forderungen aus § 12 (2) der AVB-WasserV, wonach die Einrichtung und wesentliche Veränderungen nur von solchen Installateurbetrieben durchgeführt werden dürfen, die in das Installateurverzeichnis eines WVU eingetragen sind.

Nach DVGW Arbeitsblatt W551 muss bei **Großanlagen** (> 400l Speichervolumen und/oder >3l in jeder Rohrleitung zwischen dem Abgang Trinkwassererwärmer [TWW] und Entnahmestelle) stets eine Temperatur $\geq 60^\circ\text{C}$ am Warmwasseraustritt des TWW eingehalten werden. Der gesamte Trinkwasserinhalt von Vorwärmstufen ist mindestens einmal am Tag auf $\geq 60^\circ\text{C}$ zu erwärmen.

Für **Kleinanlagen** wird die Einstellung der Regler Temperatur am TWW auf 60°C empfohlen. Betriebstemperaturen unter 50°C sollten aber in jedem Fall vermieden werden. Allerdings sollte der Auftraggeber oder Betreiber im Rahmen der Inbetriebnahme und Einweisung über das eventuelle Gesundheitsrisiko hingewiesen werden.

Wassertemperatur - Infektionsrisiko

Wasser-temperatur	Auswirkung
$< 20^\circ\text{C}$	Bakterien sind inaktiv
$20^\circ\text{C} - 46^\circ\text{C}$	Bakterien vermehren sich
50°C	90% abgetötet innerhalb von 2 Stunden
60°C	90% abgetötet innerhalb von 2 Minuten
80°	90% abgetötet innerhalb von 1 Minute

(Abb. 19 Legionellenaktivität in Abhängigkeit der Wassertemperatur)

Maßnahme	Vorteile	Nachteile
Thermische Desinfektion	<ul style="list-style-type: none"> → sichere Legionellenabtötung → keine Chemikalienzusätze 	<ul style="list-style-type: none"> → keine Wuchsbelagsentfernung → rasche Wiederverkeimung → Verbrühungsgefahr am Austritt → Rohrmaterial z.T. nicht hitzebeständig → hoher Organisations-, Energie- und Personalaufwand → problematisch bei Rund-um-die-Uhr-Betrieb (Krankenhaus, Hotel etc.) → mgl. Erwärmung der Kaltwasserseite mit folgender Aufkeimung → nicht bzw. nur aufwendig mit Solarenergie, Wärmepumpen etc. kombinierbar
Intermittierende Aufheizung des Heizkessels auf $\geq 70^\circ\text{C}$	→ Legionellenminimierung im Kessel	→ keine Wirkung im Leitungsnetz
Temperatur nach DVGW: Heizkessel $\geq 60^\circ\text{C}$ Warmwasserzirkulation $\geq 55^\circ\text{C}$	→ Legionellenminimierung (Empfehlenswert bei Neuinstallationen)	<ul style="list-style-type: none"> → vielfach Leitungsüberdimensionierung → mögliche Erwärmung von Kaltwasserstagnationszonen mit folgender Aufkeimung
Chlorung (Chlordioxid bildet keine HKW und ist etwa 4x wirksamer als Chlorbleichlauge) Chlorelektrolyseverfahren Anodische Oxidation	<ul style="list-style-type: none"> → sichere Abtötung einzelner Legionellen bei Dauereinwirkung: → keine oder verzögerte Biofilmbildung → langfristiger Abbau von Biofilmen → Depotwirkung 	<ul style="list-style-type: none"> → Chemikalienzugabe (mit möglichen Auswirkungen auf die Wasserqualität) → Legionellen in Biofilmen und Einzellern werden ungenügend abgetötet
UV-Bestrahlung	<ul style="list-style-type: none"> → sichere Abtötung einzelner Legionellen → keine Chemikalienzugabe 	<ul style="list-style-type: none"> → Legionellen in Biofilm-Partikeln und Einzellern werden ungenügend abgetötet → keine Depotwirkung → kein Biofilmbau im System
UV-Bestrahlung mit Ultraschallbehandlung	(Ultraschall soll Legionellen aus Biofilmen und Einzellern zur sicheren Abtötung vereinzeln) → wie bei UV-Bestrahlung	<ul style="list-style-type: none"> wie bei UV-Bestrahlung → keine Depotwirkung → kein Biofilmbau im System → zuverlässige Legionellenfreisetzung durch Ultraschall nicht gutachtlich bestätigt
Peroxid-Verbindungen	→ Ablösung von Biofilmen	→ nicht zulässig zur Dauerdesinfektion
Filter	→ „Sterilität im Filtrat“	<ul style="list-style-type: none"> → keine Depotwirkung → kein Biofilmbau im System → kostenintensiv → Druckabfall → mögliche Material- und Personalfehler

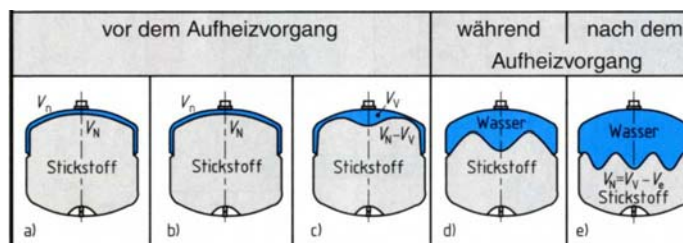
(Abb. 20 Maßnahmen gegen Legionellen im Trinkwasser)

9. Das Ausdehnungsgefäß

Wenn Wasser erwärmt wird, dehnt es sich aus. Befüllt man eine Heizungsanlage mit Wasser von einer Temperatur von 10°C und erwärmt man nun dieses Wasser auf 60°C auf, so dehnt sich dieses Wasser auf 1,7 % seines Ursprungsvolumens aus. Da Wasser jedoch nicht, wie Gase, komprimiert werden kann, steigt der Druck in der Anlage an. Ausdehnungsgefäße nehmen nun diese Volumenänderung auf um den Druck in der Anlage konstant zu halten. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen offenen und geschlossenen Ausdehnungsgefäßen. Offene Ausdehnungsgefäße werden an der höchsten Stelle des Kreislaufes angebracht. Diese Form findet sich nur noch bei alten Heizungsanlagen mit Schwerkraftumlauf, da durch diese offenen Systeme Sauerstoff ins Wasser eindringen kann und so Korrosionsschäden entstehen können. In modernen Heizungsanlagen und Sonnenkollektoranlagen werden dagegen geschlossene Membranausdehnungsgefäße [MAG] verwendet.

Es sind vier grundsätzliche Zustände von Membranausdehnungsgefäßen zu unterscheiden:

- 1) Wasserseitig Drucklos: Der Stickstoff hat die Membrane komplett im Gefäß an die Behälterwand gedrückt. Der Druck kann kontrolliert und eingestellt werden gemäß den Herstellerangaben und der Berechnung. **(Bild a und b)**
- 2) Wasserseitig Druckbelastet im kalten Anlagenzustand: Der Stickstoff und das Wasser halten sich die „Waage“, das Wasser hat die Membrane von der Behälterwand gelöst. **(Bild c)**
- 3) Wasserseitig Druckbelastet im warmen Anlagenzustand: Der Stickstoff ist komprimiert durch die Volumenänderung des Heizungswassers. **(Bild d und e)**
- 4) Wasserseitig Druckbelastet ohne Stickstoffpolster: Der Stickstoff ist entwichen und das MAG kann seine Aufgabe nicht erfüllen.



(Abb. 21 Zustände eines MAG)

Für die erste überschlägige Auslegung der MAG gibt es von Herstellern Auswahltabellen. Diese Tabellen ersetzen **nicht** die genaue Berechnung der MAG!

Die Abbildung zeigt zwei Auswahltabellen für Reflex-MAG:

- Schnellauswahl - Heizungsgefäße:** Eine Tabelle mit den Spalten 'Nennleistung kW', 'Sicherheitswert 1,5 bar' (L1, L2) und 'Sicherheitswert 2 bar' (L1, L2). Die Zeilen zeigen verschiedene Modelle (z.B. 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 140, 160, 180, 200) mit den entsprechenden Nennleistungen und Sicherheitswerten.
- Schnellauswahl - Trinkwassergefäße:** Eine Tabelle mit den Spalten 'Sicherheitswert 10 bar' (R, B, 10) und 'Sicherheitswert 18 bar' (R, B, 10). Die Zeilen zeigen verschiedene Modelle (z.B. 100, 120, 140, 160, 180, 200) mit den entsprechenden Sicherheitswerten.

Die Tabellen sind von Reflex (Reflex Wärmesystem GmbH & Co. KG) erstellt und enthalten Kontaktinformationen sowie eine schematische Darstellung des MAG-Systems.

(Abb. 22 Reflex Auslegungstabellen)

10. Das Sicherheitsventil

Bei geschlossenen Anlagen bilden Sicherheitsventile (SV) eine zusätzliche Sicherheit gegen unzulässige Überdrücke im System für den Fall, dass der Temperaturbegrenzer (thermostatische Absicherung) nicht ausreicht.

In dem Fall einer Störung des MAG sind zur Absicherung der Anlage vor zu hohen Drücken, Sicherheitsventile eingebunden. Diese lösen bei einem zu hohen Anlagendruck aus und lassen das überschüssige Wasser aus der Anlage. Nach einem Auslösen des Sicherheitsventils ist unbedingt das MAG zu überprüfen und das SV auszutauschen, da das integrierte Federelement nicht mehr für die Druckbelastung ausgelegt ist.

Die Abblasleitung muss immer frei einsehbar sein, damit die Funktion gewährleistet ist und etwaige Leckagen unmittelbar gesichtet werden können.

In Hausheizungen spricht das Sicherheitsventil bei etwa 3 bar an, vor Warmwasserspeichern bei etwa 6 bar. Ein Membranausdehnungsgefäß muss immer mit einem Sicherheitsventil abgesichert werden. Ein weiteres Beispiel sind Sicherheitsventile an Druckluftkompressoren, die für die Liefermenge des Verdichters ausgelegt sind. Sicherheitsventile an Behältern für die Lagerung tiefkalter Gase (z. B. flüssiger Sauerstoff) müssen für den Verdampfungsmassenstrom ausgelegt sein, wenn das Vakuum in der Isolierung gebrochen ist.

Die Ventilgröße richtet sich nach der Wärmeleistung der Heizungs- oder der Brauchwasser-Anlage.



(Abb. 23 und 24 Sicherheitsventile für Heizungsanlagen (links) und für Trinkwasseranlagen)

11. Heizflächen

Heizflächen haben die Aufgabe, die vom Heizwasser gelieferte Wärme in den zu beheizenden Räumen durch Konvektion und Strahlung an die Raumluft zu übertragen. Die dazu verfügbaren Raumheizeinrichtungen (Raumheizflächen) teilen sich in freie Heizflächen (z.B. Heizkörper) und in im Baukörper integrierte Heizflächen (Flächenheizungen, z.B. Fußbodenheizungen, Wandheizungen) auf.

Die heute überwiegend eingesetzten Heizflächen übertragen Wärme an den Raum sowohl durch Konvektion (Lufterwärmung) als auch durch Strahlung (Umschließungsflächenenerwärmung). Dabei schwanken die Strahlungs- und Konvektionsanteile bei den unterschiedlichen Systemen. Warmluftheizungen sind rein konvektive Heizsysteme, Wand- und Fußbodenheizungen haben einen hohen Strahlungsanteil. Der unterschiedliche Anteil der Strahlung und Konvektion bewirkt für die einzelnen Heizflächenarten eine unterschiedliche Abhängigkeit der Heizkörperleistung von der Heizkörpertemperatur (bzw. Übertemperatur oberhalb der Raumtemperatur). Diese Abhängigkeit wird für alle Heizkörperheizungen vereinfachend durch den Heizkörperexponenten n ausgedrückt. Konvektoren (hoher Konvektionsanteil) haben Heizkörperexponenten von etwa $n = 1,4$.

Für Wand- und Fußbodenheizungen gelten Werte um etwa $n = 1,1$. Der Heizkörperexponent ist also ein Maß dafür, wie stark die Wärmeabgabe des Heizkörpers von der Übertemperatur abhängt. Je näher der Wert an 1,0 liegt, desto linearer hängen die Wärmeabgabe der Heizflächen und die Heizkörperübertemperatur als Differenz zwischen mittlerer Heizwasser- und Raumlufttemperatur zusammen.

Die Leistungsbemessung der Heizflächen erfolgt nach der Berechnung der Normheizlast, seit dem Jahr 2004 nach der DIN EN 12831.

Temperaturniveau und Heizkörpergröße können im Neubau frei gewählt werden. Je geringer das Temperaturniveau, desto größer die notwendige Heizfläche (Kosten), aber umso gleichmäßiger ist die Wärmeverteilung (Behaglichkeit).

Im Bestand liegen die Heizflächen in der Regel fest vor und bestimmen das Temperaturniveau. Auslegungsspreizungen zwischen 50/40°C bis 80/40°C sind für Heizkörperheizungen denkbar. Abzuwägen sind diverse Randdaten: Massenstrombedarf (höher bei geringer Spreizung), möglicher angestrebter Brennwerteffekt (höher bei geringer Rücklauftemperatur), gleichmäßige Wärmeverteilung (besser bei geringer Übertemperatur), fühlbare Wärme auch in der Übergangszeit (besser bei hoher Vorlauf- bzw. Übertemperatur), Investitionskosten (geringer bei hoher Übertemperatur) usw.

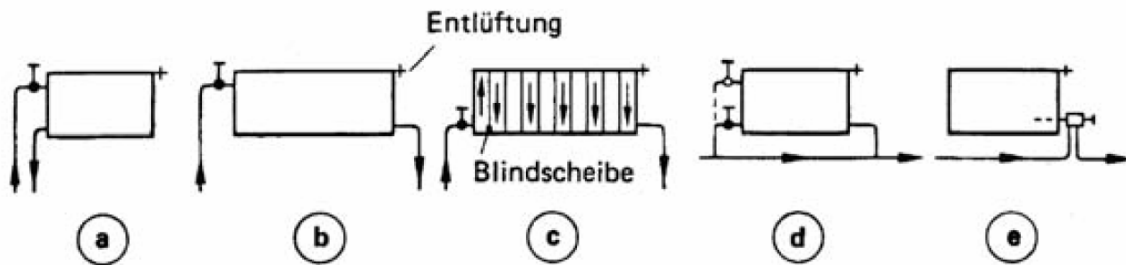
Es gibt eine große Anzahl Bauarten, die sich sowohl in der Bauform (Radiatoren, Konvektoren u. a.) als auch im Material (Gusseisen, Stahl, Aluminium usw.) und ihrem Regel- und Leistungsverhalten unterscheiden. Man unterscheidet bei den freien Heizflächen in:

- Flachheizkörper (Plattenheizkörper),
- Gliederheizkörper (Stahl- und Gussradiatoren),
- Röhrenradiatoren (incl. Handtuchheizkörper),
- Rohr- und Rippenrohrheizkörper,
- Konvektoren
- weitere Sonderbauformen.

Frühere Normleistungsangaben bezogen sich – wie beschrieben – auf die Temperaturpaarung 90/70/20 (Vorlauf 90°C / Rücklauf 70°C / Raumtemperatur 20°C). Dies bedeutet, dass bei der Revision alter Herstellerunterlagen und für Berechnungen die Normleistung mit den heute verfügbaren Werten nicht vergleichbar ist. Es muss eine Umrechnung erfolgen.

In der Praxis kann die Heizleistung eines Heizkörpers aus unterschiedlichsten Gründen vermindert sein, z. B. durch:

- Nischeneinbau
- Verkleidungen und Abdeckungen
- Verbauung
- Fensterfronten direkt hinter Heizkörpern
- Anschlussart (Durchströmung des Heizkörpers z.B. Einrohrheizung)



- (a) Normalanschluss
- (b) Wechselseitiger Anschluss
- (c) Anschluss reitend

- (d) Anschluss beim Einrohrsystem
- (e) Einrohrsystem mit Vierwegeventil

(Abb. 25 Heizkörperanschlussarten)

12. Qualität von Heizungswasser

Wasser hat eine sehr hohe Wärmekapazität und eine hohe Verdampfungsenergie. Auf Grund der hohen spezifischen Wärmekapazität ist Wasser der häufigste Wärmeträger. Nur für extreme Anwendungen werden Öle oder flüssige Metalle sowie in speziellen Fällen verflüssigte Gase verwendet. Reines Trinkwasser sollte und darf nicht in Heizungs- und Kühlsysteme gefüllt werden.

Man muss die Wasserbeschaffenheit kennen, damit die richtige Wasseraufbereitung und vor allem die Überwachung erfolgen kann, um einen störungsfreien Betrieb der Anlage sicherzustellen. Entsprechende Maßnahmen müssen schon in die Anlagenplanung miteinbezogen werden. Die mit unaufbereitetem Füll- und Ergänzungswasser gefüllte Anlage wird immer in irgendeiner Form zu Problemen führen z.B. Korrosion an Plattenwärmetauschern und eine Verschlammung der Anlage. Eine Wasseraufbereitung ohne Wasseranalyse sollte nicht durchgeführt werden. Deswegen sollte man wissen, was in dem Trinkwasser vorhanden ist und zu welchen Problemen es führen kann. Die notwendige Chemie sollte nur durch geschulte Fachfirmen angewandt werden und gehört nicht in "Laienhand".

Härte

Als Härte bezeichnet man die gelösten Salze des Kalziums und des Magnesiums. Früher bezog man in Deutschland die Mengenangabe auf 10 mg/l Kalziumoxid (CaO) und bezeichnete dies als deutsche Härtegrade (°dH). Seit der Einführung der SI-Einheiten in den 70er-Jahren sind diese Härteangaben veraltet. Die neue Bezeichnung ist 1mmol/l (= 5.6 °dH). Man gibt die Stoffmenge der gelösten Kalzium- und Magnesiumionen direkt an. Die Stoffmenge in der Chemie ist das mol. Es bezeichnet die Anzahl von Molekülen, Atomen oder Ionen. Da man jedoch keine Atome bzw. Ionen zählen kann, wird deren Masse angegeben. Man spricht dann von der Molmasse. Im Fall des Kalziums hat ein mol die Masse von 40,08 g und des Magnesiums von 24,312 g.

Temporäre Härte > Carbonathärte oder vorübergehende Härte

Die Gesamthärte wird auf die Ionen des Kalziums und des Magnesiums bezogen. Beide sind positiv geladen. Um die elektrische Neutralität der Lösung zu wahren, muss die gleiche Menge negativ geladener Ionen vorhanden sein. In Deutschland, mit seinen ausgesprochen mächtigen Kalklagerstätten, sind dies meist Karbonat bzw. Hydrogencarbonat. Man spricht dann von Karbonathärte (KH), Kalkhärte oder auch temporärer Härte.

Die Salze des Magnesiums oder des Calciums und der Kohlensäure (Karbonate) sind sehr schwer löslich. Die Kohlensäure ist jedoch eine schwache Säure und eine flüchtige dazu. So können folgende Eigenschaften angegeben werden:

- Bei Gegenwart von Säuren (z.B. Kohlensäure) wird Kalk gelöst. Es bilden sich Hydrogencarbonate, die leicht löslich sind.
- Wird die Kohlensäure ausgetrieben (durch z.B. Druckentlastung oder Hitzeeinwirkung) fällt der Kalk (die Härte) aus. Es bildet sich Kesselstein und weiches Wasser.

Dauerhafte Härte

Alle anderen Ionen (z.B. Chlorid, Sulfat usw.) sind nicht flüchtig und bilden in kurzer Zeit keine schwer löslichen Verbindungen. Man spricht daher von permanenter Härte, weil diese durch Hitzeeinwirkung nicht entfernt werden kann. In Heizkesseln kann dies zur

Verkrustung (Kesselsteinbildung) der wärmeübertragenden Flächen führen. Härte wird hier oft zum Bindemittel für Oxidschlämme.

pH-Werte

Für den Betrieb von Heizkesseln und anderen Wasser berührten Teilen ist es wichtig zu wissen, dass die tatsächliche Korrosionstätigkeit zu einem großen Teil vom pH-Wert abhängt. Da es auch einen alkalischen Angriff auf den Stahl gibt, existiert ein optimaler pH-Wertbereich, bei dem die Korrosionstätigkeit fast nicht mehr messbar ist. Dieser liegt zwischen ca. 8,5 und 10,5. Diese Angabe gilt für salzhaltiges Wasser (elektrische Leitfähigkeiten 100 - 1500 S/cm) und Temperaturen unter 100°C. Bei Aluminium ist der "optimale" pH-Wertbereich wesentlich schmaler und liegt bei ca. 6,5 - 7,5. Bei entsprechenden Legierungen lässt sich dieser Bereich auf ca. 9,5 erweitern.

Sauerstoff

Wie bereits in der Einleitung geschrieben, neigen alle gängigen Werkstoffe zur Reaktion mit Sauerstoff. Für diese Art der Korrosion ist Stahl bekanntlich besonders anfällig. Die Oxidschichten bei anderen Werkstoffen (Kupfer, Aluminium) sind zwar dicht und schützen das darunter liegende Material, sind aber bei ständigem Wasserkontakt sehr empfindlich, weil sie durch Schwankungen des pH-Wertes und anderen Faktoren leicht angegriffen werden können.

Biologische Prozesse in der Heizung

Bakterien sind durchaus in der Lage, in Heizungskreisläufen zu existieren - schließlich kann dort Leben sein, wo Wasser ist. Alles Biologische in einer Heizungsanlage wird als Bakterium bezeichnet, auch wenn es Pilze oder Algen sein können.

Bakterien benötigen eine Energiequelle. Das kann Wärme sein oder eine bestimmte chemische Reaktion, was bevorzugt wird. Sie nisten sich in Unebenheiten oder Poren ein, um dort Kolonien zu bilden. Sie bevorzugen vor allem ölige Oberflächen, Kunststoffe und Härtebeläge. Bakterien benötigen eine gewisse Konstanz der Lebensbedingungen, vor allem zu Beginn der Ansiedlung. Hier zwei häufige Fälle:

Sulfatreduzierende Bakterien

Das in alten Anlagen häufig zur Sauerstoffbindung im Heizungswasser eingesetzte Natriumsulfit verbindet sich mit Sauerstoff zu Natriumsulfat. Da ständig mit einem gewissen Eintrag an Sauerstoff zu rechnen ist, muss das Sauerstoffbindemittel ständig zugesetzt werden. Das hat drei Folgen:

- Die elektrische Leitfähigkeit des Heizungswassers steigt, was den Fluss des Korrosionsstroms begünstigt.
- Die Sulfatkonzentration steigt, was zur Bildung von Gipskristallen führen kann, wenn Härte im Wasser vorhanden ist.
- Unter Umständen kann das Wasser umkippen. Darunter versteht man in diesem Zusammenhang die Bildung von Schwefelwasserstoff. Das Wasser versäuert, stinkt und ist giftig.

Die Verursacher sind sulfatreduzierende Bakterien, die Sulfat zu Sulfid umwandeln. Dabei entsteht Sauerstoff, der zur Oxidation von Metallen führt. Temperatur und Druck spielen für die Bakterien fast keine Rolle. Aus diesem Grunde verwendet man heute nur noch dann Sulfit als Sauerstoffbindemittel, wenn es unter ständiger Beobachtung ist.

Biofouling in Heizungen

Es gibt eine Menge von Lebensformen die mit dem Wasser in die Anlagen hineinkommen und diese greifen die Materialien an. Diese als „Biofouling“ oder „MIC“ (microbially influenced corrosion) bekannten Schadensursachen nehmen deutlich zu. Sie sind noch weitgehend unbekannt, weil die analytischen Nachweise schwierig sind. Einige der Spezies sind vermutlich noch gar nicht mit der Laborwissenschaft in Kontakt gekommen. Eines allerdings haben sie gemeinsam: Dort, wo sie wachsen, verändern sie lokal den pH-Wert (nachgewiesen bisher Veränderungen bis zu pH 2!), das Redoxpotential, die Konzentration an Sauerstoff und gelösten Salzen, die Parameter, die aus chemischer Sicht für Korrosionen verantwortlich sind. „MIC“ bewirkt mithin keineswegs „neue“ Korrosionsmechanismen, sondern beeinflusst die chemischen bzw. elektrochemischen Prozesse an Grenzflächen zwischen Wasser und dem Material. Diese biologische Filmbildung tritt vorwiegend bei Niedertemperaturheizungen und Kühlsystemen mit Kunststoffrohren auf. Dabei nisten sich zunächst Pionierorganismen in den Poren der Oberfläche ein und vermehren sich. Dadurch wird der Boden für andere Organismen bereitet, die sich anschließend dort einnisten. Dieser Prozess geht so weit, bis Teile des Biofilms abgestoßen werden und an anderer Stelle aufwachsen. Dabei sind die Bakteriengesellschaften in der Lage, ihr chemisches Milieu weitgehend selbst zu bestimmen. Das heißt, auch wenn das Wasser einen pH-Wert von 9 hat, kann an der Oberfläche des Metalls oder Kunststoffes ein pH-Wert von 4,5 vorliegen. Die biologischen Prozesse in diesen gallertartigen Schichten sind äußerst vielfältig. Die Dosierung von Chemikalien und anderen Bioziden ist in der Regel nachträglich nicht erfolgreich, weil nur die oberste Schicht der Bakterien abgetötet wird. Die darunter liegende Schicht hat nun genügend Zeit, eine resistent gegen diese giftige Substanz zu entwickeln. Deshalb muss ausgeschlossen werden, dass diese Lebewesen gar nicht erst in die Anlage kommen.

Auf Dauer kann hier nur durch eine spezielle und wiederkehrende Wasserbehandlung bzw. Reinigung durch Beizen eine Verminderung oder gar Lösung des Problems erreicht werden, die zur langsamen "Verbrennung" des Biofilmes führt. Allerdings sollte man bei dieser Methode die Materialspezifikation der Heizungsanlage genau prüfen, um nicht unerwünschte Nebenwirkungen zu erhalten. Deshalb sollten diese Behandlungen nur Spezialfirmen überlassen werden.

Moderne Heizanlagen bestehen nicht selten aus ca. 20 verschiedenen Materialien. Die Auswahl an Produkten ist sehr groß, wodurch unweigerlich vielschichtige Probleme auftreten können. Bei Mischinstallationen kommt es neben dem Kontakt von verschiedenen Metallen miteinander (Stromfluss) auch zum verstärkten Sauerstoffzutritt (Kunststoffrohre, O-Ringe und Stopfbuchsen, Verschraubungen,...). Dadurch kommt es zu einer elektrochemischen Korrosion, dem unedle Metalle zum Opfer fallen. Dies kann z.B. Aluminium sein. Aber auch andere Materialien können betroffen sein. Eine Möglichkeit des Schutzes besteht darin, die betroffenen Bauteile elektrisch zu isolieren, damit kein Strom fließen kann.

Darüber hinaus kann es bei Mischinstallationen zu Lokalelementbildungen kommen. Das bedeutet, dass beispielsweise Kupfer gelöst wird und das gelöste Kupferion sich zum Beispiel am Aluminium anlagert. Kommen noch weitere Kupferionen hinzu, entsteht ein Lokalelement, bei dem Stahl gelöst wird.

13. Warmwasserbereitung / Warmwasserbedarf

Aufgabe der Warmwasserversorgung (WWV)

Warmwasser ist in Wassererwärmern bis auf max. 90° C erwärmtes Trinkwasser. Der Haushalt benötigt verhältnismäßig kleine Mengen zur Bereitung von Speisen und Getränken, zum Waschen, Reinigen und zum Baden. Gaststätten, Hotels, Betriebsküchen und Krankenhäuser verbrauchen wesentlich größere Mengen zum gleichen Zweck. In noch größerem Umfang wird es schließlich in gewerblichen und industriellen Betrieben wie Wäschereien, Färbereien, Schlächtereien, Badeanstalten, Hütten und Bergbaubetrieben verlangt. Aufgabe der sich mit der WWV befassenden Ingenieure ist es, das für den jeweiligen Zweck geeignete Verfahren der WWV zu erkennen und die WWV-Anlagen so zu bauen, dass sie den Ansprüchen der Verbraucher in technischer, wirtschaftlicher und hygienischer Hinsicht am besten entsprechen.

Anforderungen an die WWV

1. Das Warmwasser (WW) soll mit der gewünschten Temperatur und Menge ohne große Verzögerung zur Verfügung stehen.
2. Die WW-Temperatur soll an den Entnahmestellen regelbar sein.
3. Das WW soll hygienisch einwandfrei sein.
4. Die WW-Anlagen sollen betriebssicher und leicht zu bedienen sein.
5. Der Betrieb soll kostengünstig, energiesparend und umweltfreundlich sein.

Warmwasserbedarf

Die für die verschiedenen Zwecke benötigten Warmwassermengen sind außerordentlich stark schwankend. Bei Wohnungen hängt der Bedarf nicht nur von der Größe der Wohnung und der Zahl der Personen, sondern auch vom Lebensstandard, Alter der Personen, Einbau von Warmwasserzählern, Beruf der Bewohner, Jahreszeit und anderen Umständen ab. Außerdem ist er großen zeitlichen Schwankungen unterworfen. Der Sonnabend, evtl. auch der Freitag allein kann wegen der an diesem Tag üblichen Badbenutzung etwa 30% des gesamten Wochenbedarfs an Warmwasser haben.

In Hotels ist der Warmwasserverbrauch abhängig von der Zahl der Wannen oder Duschen sowie der Güteklasse. Luxushotels verbrauchen wesentlich mehr Warmwasser als einfache Hotels. Spitzenverbrauch morgens und abends.

In Fabriken, Sporthallen usw. werden nach Schluß der Betriebszeit in kurzer Zeit – etwa 10... 30 Minuten – sehr erhebliche Warmwassermengen benötigt, wenn alle Waschbecken oder Duschen gleichzeitig benutzt werden. Hoher Spitzenverbrauch, der aus dem Speicher gedeckt werden muss.

Bei Zweckbauten für Gewerbe und Industrie wird Warmwasser außer für hygienische Zwecke auch für technische Zwecke benötigt, z.B. in Wäschereien, Färbereien usw. Die Tafel 4.4.1-1 bis Tafel 4.4.1-5 sowie Bild 4.4.1-1 und Bild 4.4.1-2 geben maximale Verbrauchszahlen an.

Der WW-Verbrauch an einem Tage verteilt sich ungleichmäßig auf die einzelnen Stunden.

Berechnung der Wasser-Erwärmungsanlagen

Tabelle 1: Zentrale Wasser-Erwärmungsanlagen nach dem Speichersystem für Mietshäuser mit 3 bis 4 Zimmern, 3 bis 4 Personen und Wannenvollbad je Wohnung

Zahl der Wohnungen n	Gleichzeitigkeitsfaktor φ	Max. Wärmebedarf in kW \dot{Q}	Kesselleistung \dot{Q}_K in kW bei z_A in h				Speichergröße V_S in l bei z_A in h			
			0,5	1	2	3	0,5	1	2	3
1	1,15	8	7	6	4	3	90	150	200	220
2	0,86	12	10	8	6	5	130	200	300	370
4	0,65	18	15	12	9	7	190	300	450	520
6	0,56	24	19	16	12	10	230	400	600	740
8	0,5	28	24	19	14	12	300	470	690	890
10	0,47	33	27	22	17	13	330	540	835	960
12	0,47	39	32	26	20	16	395	640	985	1180
15	0,44	46	37	31	23	18	455	765	1130	1330
18	0,42	53	42	35	27	21	520	860	1130	1550
20	0,4	56	45	37	28	22	555	910	1380	1620
25	0,38	67	54	45	34	27	665	1110	1670	2000
30	0,36	76	61	51	38	30	750	1250	1870	2220
40	0,33	93	74	62	46	37	910	1525	2260	2730
50	0,32	112	90	75	56	45	1110	1850	2750	3320
60	0,31	130	104	87	65	52	1280	2140	3200	3840
80	0,29	162	130	108	81	65	1600	2660	3990	4800
100	0,28	195	157	130	98	78	1930	3200	4820	5760
120	0,27	230	185	155	115	92	2280	3815	5660	6790
150	0,26	275	220	185	138	110	2700	4550	6790	8120
200	0,25	350	280	235	175	140	3450	5780	8610	10330

z_A = Anheizdauer, Betriebsdauer (Spitzenbedarf) $z_B = 2$ h, $\Delta t = 35$ K, $\Theta_0 = 60^\circ$ C

Kesselleistung

Die Kesselleistung Q_K für die Wassererwärmungsanlage eines Wohnhauses ermittelt sich bei Wassererwärmung allgemein aus

$$\dot{Q}_K = \frac{\dot{Q} \cdot z_B}{z_A + z_B} \text{ in kW}$$

z_A = Zahl der Anheizstunden bis zur vollständigen Erwärmung des Speicherinhalts

z_B = Zahl der Betriebsstunden

Q_K = Wärmebedarf kW

Je größer z_A , desto kleiner der Kessel, desto größer aber der Speicher.

Hierbei ist zu beachten, wenn eine Speichervorrangschaltung existiert, dann ist der Kessel oder die Wärmepumpe nach der höheren Leistung - entweder gesamt Heizleistung oder Leistung für Warmwasserbereitung - auszulegen.

14. Anhang

Wichtige Normen, Verordnungen und Bestimmungen:

- DIN 12831 EN „Heizungssysteme in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast“
- Energieeinsparverordnung EnEV
- DIN EN 12828 „Heizungssysteme in Gebäuden“
- EEG Erneuerbares-Energien-Gesetz
- DVGW Arbeitsblatt W551 „Trinkwasserhygiene“
- VDI 2035 „Richtlinie zur Vermeidung von Schäden an Warmwasserheizungsanlagen“
- DIN 18160 „Klassifizierung und Leistungsgrößen von Abgasanlagen“
- VOB/C „Hydraulischer Abgleich“
- DIN V 4107-10
- DIN V 4109-6
- DIN EN 832
- DIN 4708-1 „Zentrale Wassererwärmungsanlagen; Begriffe und Berechnungsgrundlagen“
- BimSchV „Feuerungstechnischer Wirkungsgrad, Wirkungsgrad, Abgasverluste und Luftüberschuss“
- VDI 3808 „Jahresnutzungsgrad Heizkesselanlagen“
- VDI 2073 „Hydraulische Schaltungen in Heiz- und Raumluftechnischen Anlagen“
- VDMA Einheitsblatt 24199 „Regelungstechnische Anforderungen an die Hydraulik bei Planung und Ausführung von Heizungs-, Kälte-, Trinkwarmwasser- und Raumluftechnischen Anlagen“
- VDI 2067 „Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen“

Literaturverzeichnis:

Bücher:

Ihle, Bader, Golla Tabellenbuch Sanitär, Heizung, Klima/Lüftung, Bildungsverlag eins Troisdorf, 6. Auflage 2007

Recknagel, Sprenger, Schramek Taschenbuch für die Heizung- und Klimatechnik 07/08, Oldenbourg Industrieverlag München 73. Auflage 2007

DVGW Arbeitsblatt W551 „Trinkwasserhygiene“

Internetquellen:

bosy-online, Sanitär, Heizung, Klima Informationen, [<http://www.bosy-online.de/>], 22.08.2008

GLS Projekt (Hrsg.), hydraulischer Abgleich, [<http://www.gls-projekt.de/9.html>], 08.03.2008

Reflex.de (Hrsg.), Hersteller für Ausdehnungsgefäße – Auswahltable für MAG [<http://www.reflex.de/reflex/html/index.php?lang=1&tp=4>], 08.08.2008

Wikipedia.de (Hrsg.), Ausdehnungsgefäße, [<http://de.wikipedia.org/wiki/Ausdehnungsgef%C3%A4%C3%9F>], 22.08.2008

Wikipedia.de (Hrsg.), Sicherheitsventile, [<http://de.wikipedia.org/wiki/Sicherheitsventil>], 22.08.2008

Wilo.de (Hrsg.), Pumpenhersteller – Online Auswahl von Pumpen [<http://www.wilo.de>], 22.08.2008

Zeitschriftenquellen:

IKZ Praxis, Ausgabe 2/2005 Seite 4f