2 Grundlagen für die Heißwasserheizung und für Heizungsanlagen mit organischen Wärmeträgern

2.1 Einleitung

In diesem Kapitel werden die Grundlagen für den Bau und Betrieb von Heißwasseranlagen und für Heizungsanlagen mit organischen Wärmeträgern dargestellt.

Beschrieben werden die möglichen Anlagenschaltungen, Sicherheitseinrichtungen und die dabei zu beachtenden Sicherheitsvorschriften. Dabei wird der Einbau von Anlagenbauteilen, die für einen sicheren Betrieb erforderlich sind, besonders herausgestellt. Die Bemessung und Berechnung von Druckhalteanlagen werden für die verschiedenen Schaltungen der Heißwassererzeuger hergeleitet und anhand von Beispielen werden deren Berechnung und Ausführung gezeigt.

2.2 Vermeidung von Dampfbildung und Kavitation

In Kap. 1.1 wurde gezeigt, dass zu jedem Dampfdruck eine bestimmte Verdampfungstemperatur gehört. Der Zusammenhang zwischen Anlagendruck und Verdampfungstemperatur wird für Wasser und Wasserdampf durch den linken Teil der Grenzkurve im h-s-Diagramm dargestellt.

In Abb. 2.1 ist der Teil der Verdampfungskurve, der für Heißwasseranlagen von Bedeutung ist, nochmals in größerem Maßstab aufgetragen.

Bei der Heißwassererzeugung kommt es nun darauf an, den Anlagendruck so festzulegen und ständig so aufrechtzuerhalten, dass bei der erforderlichen Heißwassertemperatur an allen Stellen des Heißwassersystems und unter allen möglichen Betriebsbedingungen der vorhandene Betriebsdruck über dem zur Verdampfungstemperatur gehörenden Sattdampfdruck liegt.

G. Scholz, *Heisswasser- und Hochdruckdampfanlagen*,
DOI 10.1007/978-3-642-36589-8_2, © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013

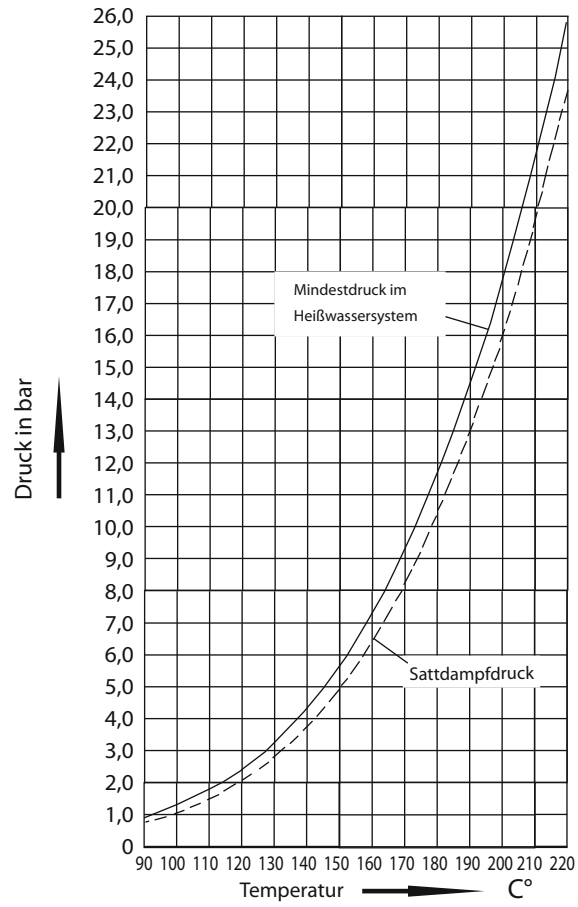


Abb. 2.1 Zusammenhang zwischen Heißwassertemperatur und erforderlichem Mindestdruck an den höchsten Stellen eines Heißwasserrohrnetzes

Es darf also an keiner Stelle des Heißwassersystems eine Verdampfung, bei der sich durch Dampfblasen und plötzliche Kondensation ein Hohlraum bildet, eine sogenannte Kavitation, auftreten.

Kavitation führt zu Materialschäden, z. B. bei Pumpen und Regelventilen, und zur Zerstörung von Flanschverbindungen oder anderen Bauteilen der Anlage.

Der Anlagenplaner muss sich deshalb ein klares Bild über Temperaturen und Betriebsdrücke an allen Stellen des Heißwassersystems verschaffen. Dabei muss er vor allem Geschwindigkeitserhöhungen, die zur Absenkung des statischen Drucks führen, in höher gelegenen Rohrnetzteilen bei hohen Temperaturen, also im Vorlauf des Systems, überprüfen.

Bei Umwälzungspumpen und Druckhaltepumpen ist die erforderliche Zulaufhöhe sicherzustellen. Differenzdruckregler oder andere Regelventile sind möglichst in die Rücklaufleitung einzubauen, weil dort die niedrigere Temperatur vorhanden ist.

Abbildung 2.1 zeigt einen empfohlenen und erforderlichen Abstand von Betriebsdruck zu Sattdampfdruck bei verschiedenen Heißwasservorlauftemperaturen. Ein hoher Sicherheitsabstand erhöht die Investitionskosten für die Anlage, weil die höheren Druckstufen teurere Armaturen erfordern.

Der Ingenieur, der eine Heißwasseranlage plant, muss deshalb, ausgehend vom Sattdampfdruck mit einem Sicherheitsabstand von z. B. 1 bar, den erforderlichen Betriebsdruck wählen. Hierzu müssen vorher noch die Temperaturdifferenz des Feuerungsreglers von ca. 5 bis 10 K und der Sicherheitsabstand des Temperaturbegrenzers von 2 bis 6 K addiert werden.

Das bedeutet, dass z. B. bei einer geforderten Vorlauftemperatur von 180 °C mit einer maximalen Vorlauf- oder Kesseltemperatur von etwa 192 bis 195 °C zu rechnen ist. Der Sattdampfdruck hiervon beträgt 14 bar bzw. 13 bar Überdruck und mit dem Sicherheitsabstand von 1 bar gleich 14 bar Überdruck. Hierzu muss nun noch der Abstand für das Ansprechen der Sicherheitsventile addiert werden, der nach der TRD (Technische Regeln Druckgefäße) 10 % des Gesamtdrucks betragen soll, so dass der maximal mögliche Druck 15,5 bar Überdruck beträgt. Mit dem Hersteller des Sicherheitsventils (SV) ist zu klären, ob der Schließdruck des Ventils innerhalb der geforderten 10 % des Ansprechbereichs liegt. Dies sollte bei der SV-Auswahl überprüft werden.

Die Überströmventile der Druckhalteanlage sind nun so zu wählen, dass diese bei 15 bar Überdruck ansprechen und bei 14,5 bar Überdruck wieder schließen. Die Druckhaltepumpen sollten bei 13,5 bar Überdruck anlaufen und bei 14 bar Überdruck wieder abgeschaltet werden. Andere Schaltungen nach Füllstand oder im Dauerbetrieb sind möglich, wie im Einzelnen je nach Anlagenart in Abschn. 2.4 beschrieben wird.

Der Arbeitsbereich und das Ansprechen der Überström-Ventile der Druckhalteanlage bestimmen die Ruhedrucklinie des Heißwasserfernheiznetzes. Als Ruhedruck bezeichnet man den Anlagendruck, der sich bei abgeschalteten Umwälzpumpen in der Anlage überall gleich hoch einstellt. In Abb. 2.10 ist ein Druckdiagramm vereinfacht und in kleinem Maßstab dargestellt.

Die Darstellung des Druckdiagramms ist von der Pumpenschaltung (Umwälzpumpen im Vorlauf bzw. im Rücklauf oder wie in Abb. 2.10 in Vor- und Rücklauf aufgeteilt und in Reihe geschaltet) abhängig. Weitere Einzelheiten hierzu werden in Kap. 4 und 7 behandelt.

Auch die Festlegung des Brennstoffs für die Feuerung einer Heißwasseranlage bestimmt und beeinflusst die Anlagenausführung und deren Sicherheitseinrichtungen.

Wenn der Sicherheitsabstand und die Druckstufe festgelegt sind, müssen noch bei der Wahl der Anlagenschaltung die nachstehenden Hinweise für die Schaltung nach Abb. 2.2 bis 2.4 beachtet werden:

a. Die Heißwasserentnahmeleitung darf nicht höher als unbedingt erforder-lich über den Heißwassererzeugern angehoben werden.
b. Die Rücklaufbeimischleitung muss so dicht wie möglich am Kessel in die Vorlaufleitung eingebunden und so ausgeführt werden, dass möglichst kein Druckverlust vorhanden ist.

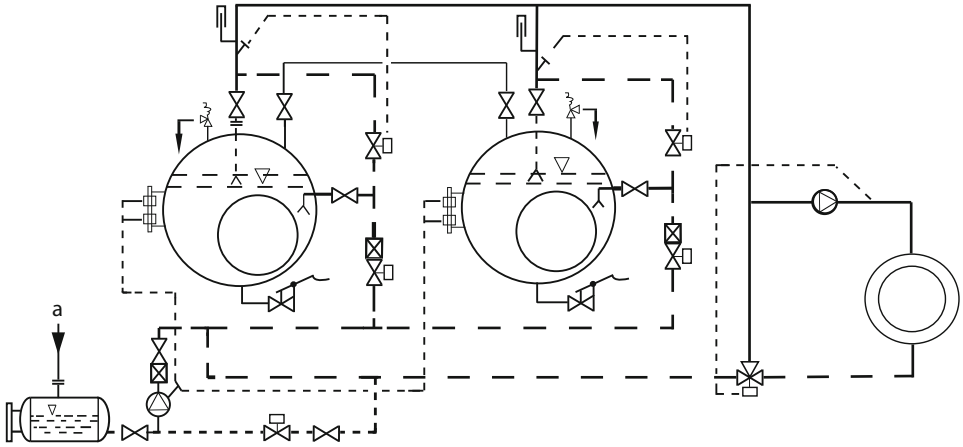


Abb. 2.2 Heißwasserkessel mit Dampfraum, *a*) aufbereitetes Zusatzwasser

c. In die Kesselrücklaufleitung ist am Kesselanschluss ein Regulierventil mit Regulierkegel und Stellungsanzeige einzubauen und so einzustellen, dass immer ein bestimmter Anteil Rücklaufwasser in den Vorlauf beigemischt wird. Die Beimischung ist durch Thermometer zu überwachen. Sie kann auch über ein Regelventil geregelt werden. Aus Sicherheitsgründen ist jedoch die einmalige Einstellung von Hand vorzuziehen.
d. Die Umwälzpumpen müssen in allen Fällen um eine Höhe, die sich aus dem Druckverlust in der Rohrleitung und den Armaturen zwischen Kessel und Pumpensaugstutzen und der erforderlichen Zulaufhöhe für die Pumpe bei der maximal möglichen Vorlauftemperatur errechnet, unter den niedrigsten Wasserstand im Kessel zur Aufstellung kommen (siehe hierzu Kap. 3 „Zulässige Saughöhe“).
e. Sicherheitsventile für Heißwasseranlagen sind immer mit einem Ausdampf- und Abscheidegefäß in der Ausblaseleitung, dicht am SV, auszurüsten. Das SV sollte auch eine Sitzentwässerungsanschlussleitung enthalten, die in die Ausblaseleitung einzubinden ist. Die Dampfausblasleitung ist möglichst über das Dach der Heizzentrale zu führen und dort so auszuführen, dass das Dach nicht beschädigt wird und auch keine Personen zu Schaden kommen. Das Gleiche gilt für die Entwässerungsleitung, die auf kürzestem Wege aus der Heizzentrale ins Freie zu verlegen ist. (Weitere Einzelheiten hierzu und zur Ausführung von Kesselabschlämmeinrichtungen enthalten die Kap. 4 und 9.)
f. Die Druckhaltepumpen oder Nachspeisepumpen müssen das Nachspeisewasser in den Anlagenrücklauf fördern. Kesselspeisepumpen sind, wie in den TRD-Richtlinien gefordert, herzustellen und in die Anlage einzubinden. Die Schaltung ist möglichst als stetiger Regelkreis auszuführen.
g. Ausdampftrommeln von Heißwassererzeugern wie in Abb. 2.3 und 2.4 dargestellt, sind immer mit kurzen und ansteigenden Rohrleitungen unterhalb der Dampftrommel anzuschließen.

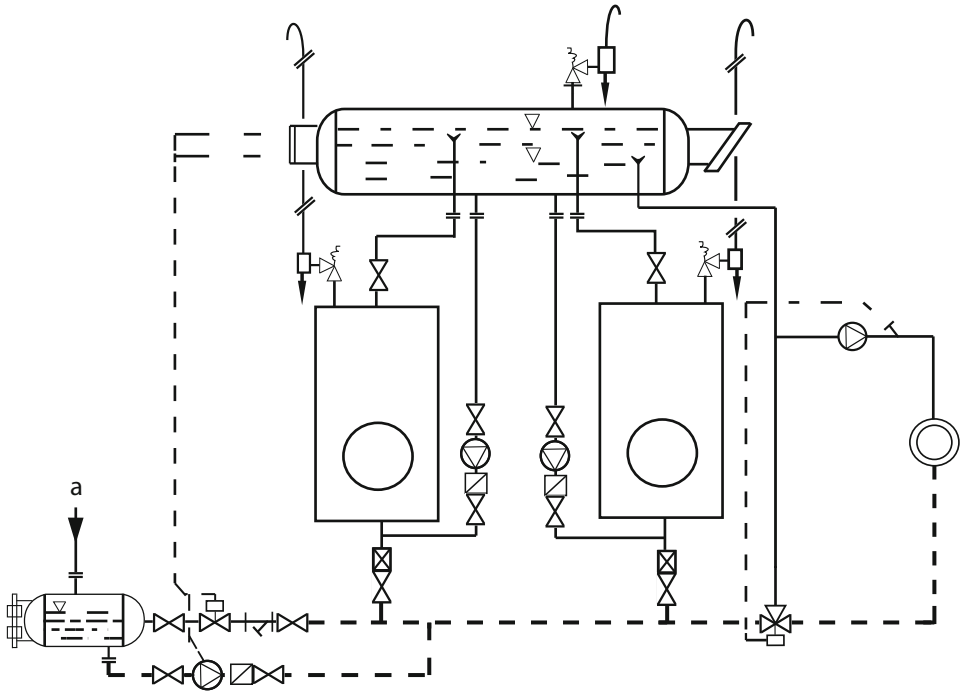


Abb. 2.3 Heißwasserkessel mit einem gemeinsamen hoch liegenden Ausdampf- und Ausdehnungsgefäß mit Kesselkreislaufpumpen und Rücklauftemperatur-Anhebung, *a*) aufbereitetes Zusatzwasser

Alle diese vorstehend genannten Anforderungen sind Grundlagen für die Planung und Ausführung einer Heißwassererzeugungsanlage, die aber nicht alle im Detail und gleichzeitig beschrieben werden können, weil dies den Leser überfordern würde. Aus diesem Grund werden zunächst die vereinfachten Schaltbilder dargestellt und erläutert. Danach werden die zu den Schaltbildern gehörenden Druckhalteanlagen sowie deren Funktion und Berechnung beschrieben. Die Fragen zur Wahl der Pumpen und deren Schaltung, zur Wahl der Wärmeerzeuger und deren Schaltung sowie zur Ausbildung des Fernheiznetzes werden in den jeweiligen Kapiteln im Detail behandelt.

2.3 Aufnahme der Wasserausdehnung beim Aufheizen der Anlage

Zunächst werden nur die Schaltungen der geschlossenen Heißwasseranlagen nach der alten DIN 4752 mit Dampferzeugern und Heißwassererzeugern der Gruppe IV nach TRD 402 und 604 bzw. nach 702–1998 dargestellt und beschrieben.

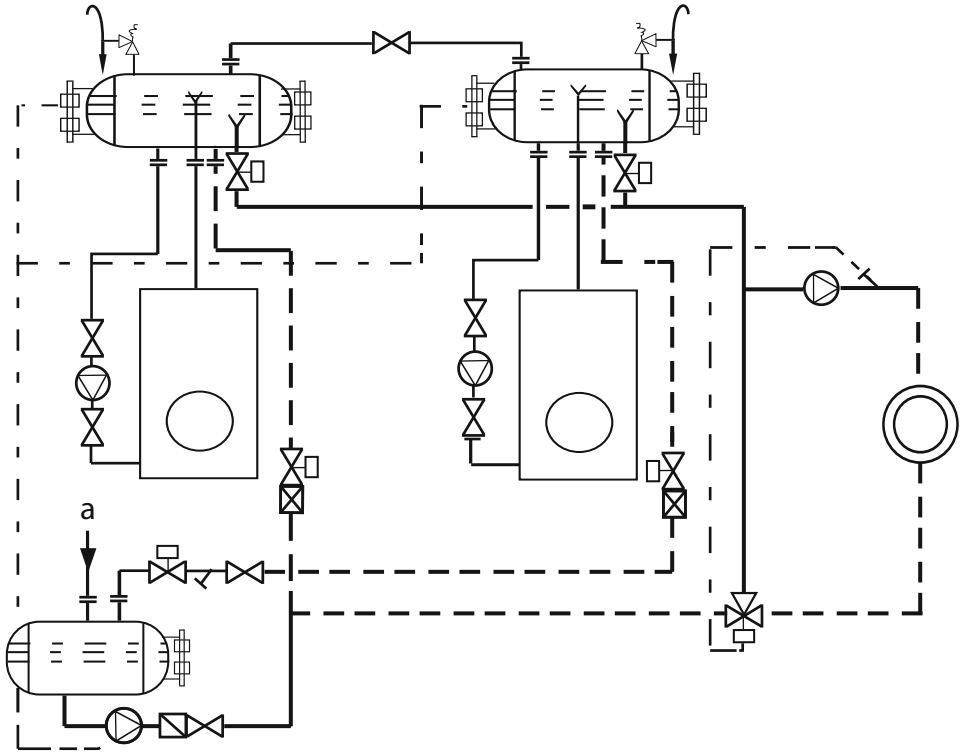


Abb. 2.4 Heißwasserkessel mit hoch liegendem Ausdampfgefäß mit Kessel für Zwangsumlauf, Einzel- und Parallelbetrieb, *a*) aufbereitetes Zusatzwasser

Die offenen und geschlossenen Wasserheizungsanlagen nach der alten DIN 4751 Teil 2 und Teil 4 werden in den Abschn. 2.6, 2.7 und 2.11 bei der Beschreibung möglicher Ausführungen mit behandelt.

Die bei der Erstellung des Fachbuches geltenden sicherheitstechnischen Anforderungen und anerkannten Regeln der Technik enthält Tab. 2.1 (DIN 1952, 1980, Beuth-Verlag, Berlin).

2.3.1 Heißwasserkessel mit Dampfraum

Der im Dampfkessel erzeugte Sattdampfdruck P_s genügt zur Überdruckhaltung, weil dem Heißwasser, das aus dem Kessel unterhalb des niedrigsten Wasserstandes entnommen wird, Rücklaufwasser beigemischt wird. Damit liegt die Heißwasservorlauftemperatur immer unterhalb der Sattdampftemperatur. Der Vorlaufdruck P_v wird noch durch den Förderdruck der Umwälzpumpe erhöht. Damit ist P_s im Kessel kleiner als P_v auf der Pumpendruckseite und im Heißwasserverteilnetz.

Tab. 2.1 Sicherheitstechnische Anforderungen und anerkannte technische Regeln für die Ausrüstung von Wärmeerzeugern

Normen und technische Regeln	DIN EN 12828: 2003–2006 Wasserheizungsanlagen physikalisch abgesichert	DIN EN 12828: 2003–2006 thermostatisch abgesichert und Zwangsumlauf-Wärmeerzeuger	TRD 701: 1996–2012 Dampfkesselanlagen Dampferzeuger der Gruppe II (für Anlagen im Bestand)	TRD 702:1998–2006 Dampfkesselanlagen Heißwassererzeuger der Gruppe II (für Anlagen im Bestand)
Temperatur oder Druck	bis 105 °C	bis 105 °C	bis 1 bar	> 100 bis 120 °C
Wärmeleistung	< 1 MW	< 1 MW	unbegrenzt	unbegrenzt
Brennstoff/Beheizung	fest/flüssig/gasförmig	fest/flüssig/gasförmig	fest/flüssig/gasförmig	fest/flüssig/gasförmig
wesentliche Anforderungen und Ausrüstung nach:	- Voraussetzungen für Wärmeerzeuger - Sicherheitsvor- und Rücklaufleistungen - Ausdehnungsgefäße und Anschlussleitungen	- Voraussetzungen für Wärmeerzeuger und Ausdehnungsgefäße - Einrichtungen gegen Überschreiten des zulässigen Betriebsdrucks - Wassermangelsicherungen - Einrichtungen zum Ausgleich der Wasser-volumenänderungen - Anzeigeeinrichtungen - Fülleinrichtungen - Inbetriebnahme - Bedienungs-Wasser /Wartungsanleitungen	- Werkstoffe - Herstellung - Bemessung - Ausrüstung - Beheizung - Kennzeichnung - Prüfungen für Neukesselanlagen Anforderungen nach DIN EN 12052	- Werkstoffe - Herstellung - Bemessung - Ausrüstung - Beheizung - Kennzeichnung - Prüfungen für Neukesselanlagen Anforderungen nach DIN EN 12953

Alle Wärmeverbraucher mit Direktanschluss müssen unterhalb des niedrigsten Kesselwasserstands liegen. Wärmeverbraucher mit höher gelegenen Rohrnetzbereichen müssen über Flächenwärmeübertragern angeschlossen werden. Bei Mehrkesselanlagen muss eine Druckausgleichsleitung von einem Dampfraum des Kessels zum anderen verlegt werden.

Diese Verbindungsleitung dient zum Druckausgleich bei unterschiedlicher Wärmebelastung der Kessel und verhindert schwankende Wasserstände.

Für den Teillastbetrieb der Anlage sollten die Hauptumwälzpumpen in Leistungsstufen aufgeteilt oder mit einem differenzdruckabhängigen drehzahlgeregelten Antriebsmotor und die Kessel im Rücklaufanschluss mit einer Motorabsperrklappe ausgerüstet sein.

Die Schaltung nach Abb. 2.2 sollte möglichst nicht ausgeführt werden, weil das Vorlaufwasser immer im Kessel ein Stück über den niedrigsten Wasserstand gehoben werden muss. Diese Anhebung und der Druckverlust im Absperrschieber ergeben eine Druckabsenkung, die immer dann, wenn keine Rücklaufbeimischung im Kessel stattgefunden hat, zur Verdampfung führen kann. Um dies zu vermeiden wurde ein Patent von der Fa. ROM entwickelt, bei dem eine Vermischung von Vor- und Rücklauf im Kessel vorgenommen wurde.

Alle Dampfkessel und Ausdampftrommeln müssen im Dampfraum mit einem Vakuumunterbrecher ausgerüstet werden, damit beim Abfahren der Anlage und bei abgesperrtem Kessel kein Unterdruck entstehen kann und eine Einbeulung des Kesselkörpers verhindert wird.

Die Kesselspeisepumpen einschließlich Verrohrung und Regeleinrichtung sind in Abb. 2.2 nicht oder nicht vollständig dargestellt und müssen nach den TRD ausgeführt werden (siehe Kap. 3 und 4).

Die Druckdiktieranlagen sind in Abb. 2.2 vereinfacht dargestellt und müssen mit mindestens zwei Überströmventilen und zwei Druckhaltepumpen, die aufeinander abgestimmt sind, ausgeführt werden (siehe Kap. 2.4.1).

Als Regelventile sollten in der Heißwasserheizung Zweiwegeventilen mit Doppelkegel, als Mischventil im Vorlauf oder als Trennventil im Rücklauf, an Stelle des Durchgangsregelventils der Vorzug gegeben werden, weil das Zweiwegeventil mit einem geringeren Differenzdruck ein gutes Regelergebnis erbringt.

2.3.2 Heißwasserkessel mit einem hoch liegenden gemeinsamen Ausdampf- und Ausdehnungsgefäß

Mit der Schaltung nach Abb. 2.3 können sowohl Zwangsumlaufkessel als auch Heißwasserkessel mit natürlichem Umlauf betrieben werden. Bei dem Ausdampfgefäß handelt es sich um ein Bauteil, bei dem kaum Betriebsstörungen zu erwarten sind, so dass man, um Anlagenkosten zu sparen, dort, wo der Betrieb bei der TÜV-Revision eine Unterbrechung zulässt, die Anlage mit einem gemeinsamen Ausdampfgefäß ausführen kann. Die Schaltung ermöglicht es auch, bei Bedarf das Ausdehnungsgefäß in einem höheren Gebäudeteil des Kesselhauses so hoch anzuordnen, dass alle Verbraucher mit Heißwasser über einen Direktanschluss versorgt werden können.

Jedes hoch liegende Druckausdehnungsgefäß, das mit einem Dampfraum betrieben wird, muss zusätzlich mit einem Sicherheitsventil ausgerüstet sein, das so eingestellt ist, dass es früher als die Sicherheitseinrichtung gegen Drucküberschreitung der Heißwassererzeuger abbläst. Für die Bemessung der Abblaseleistung genügt es, die Leistung des größten aller angeschlossenen Heißwassererzeuger einzusetzen, wenn das Druckausdehnungsgefäß für den Druck gebaut ist, der im Ausdampfgefäß bei der zulässigen Vorlauftemperatur entstehen kann. Bei der Größenbemessung sind gegebenenfalls Zusatzheizungen und Fremddampfzufuhr zu berücksichtigen.

Wenn das Ausdampfgefäß für einen höheren Betriebsdruck zugelassen ist als der maximale Kesseldruck, kann das Sicherheitsventil am Ausdampfgefäß entfallen.

Im Teillastbetrieb kann einer der Kessel durch das Vorlaufwasserbeimischventil im Rücklauf abgesperrt und die Beimischpumpe abgeschaltet werden. Bei Bedarf wird der Kessel mit der Kesselkreislaufpumpe über das Ausdampfgefäß wieder aufgeheizt und danach in Bereitschaft geschaltet.

2.3.3 Heißwasserkessel mit einem Zwangsumlauf und den Kesseln zugeordneten Ausdampf -und Ausdehnungsgefäßen

Bei dieser Schaltung, wie in Abb. 2.4 dargestellt, ist das Ausdampfgefäß Teil des Heißwasserkessels. Auch die Verrohrung und die Kesselkreislaufpumpe gehören zum Heißwasserkessel und müssen der Dampfkessel-Verordnung entsprechend ausgeführt werden.

Für die Nachspeiseeinrichtungen gelten die Erleichterungen für Heißwasserkessel, wenn aus dem System kein Dampf entnommen wird. Grundsätzlich kann das Ausdampfgefäß auch mit Absperrventilen angeschlossen werden. Bei dieser Ausführung müssen jedoch die Heißwasserkessel zusätzlich mit Sicherheitsventilen ausgerüstet werden.

Auch bei dieser Schaltung ist eine Druckausgleichsleitung von Dampfraum zu Dampfraum zur Vermeidung einer unterschiedlichen Wasserstandanzeige zu empfehlen. Im Teillastbetrieb kann einer der Kessel durch Zufahren der Motorabstellklappen und Abschalten der Kesselkreislaufpumpe außer Betrieb genommen werden.

Bei der Wiederinbetriebnahme können der Kessel und das Ausdampfgefäß zunächst im Zwangsumlauf aufgeheizt werden. Auf eine Rücklauftemperaturanhebung kann verzichtet werden, wenn es sich um eine Industrieheizanlage mit Rücklauftemperaturen handelt, die selten unterhalb 60 oder 70 °C liegen und der Teillastbetrieb ebenfalls selten gefahren wird.

2.3.4 Heißwasserkessel mit einer Fremddruckhaltung durch Druckdiktierpumpen und Überströmventile

Bei dieser Schaltung wird das Heißwassersystem einschließlich Kesselanlage durch die Druckdiktierpumpe ständig unter einem Druck gehalten, der über dem Sattdampfdruck der Heißwassertemperatur liegt.

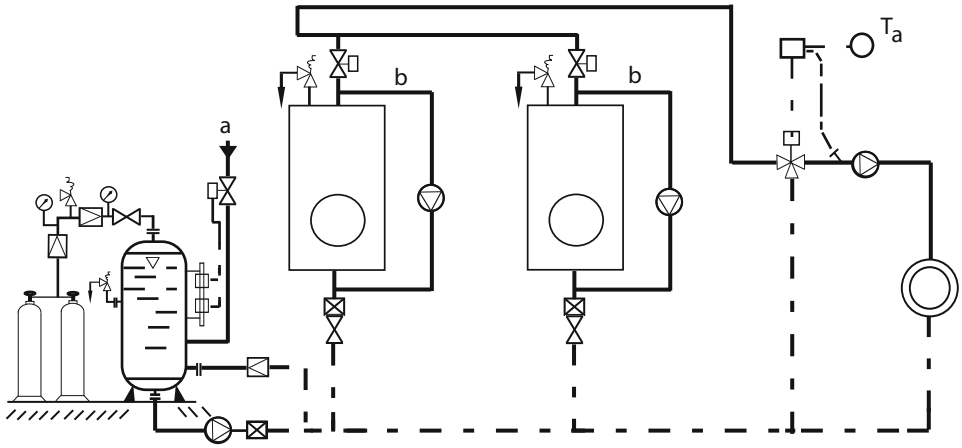


Abb. 2.5 Heißwasserheizung mit Druckerzeugung durch Diktierpumpen und Überströmventil. Volumenausgleich im Nachspeisegefäß mit geringer Überdruckhaltung durch Stickstoff, *a*) aufbereitetes Zusatzwasser

Das Überströmventil öffnet, wenn der eingestellte Betriebsdruck erreicht ist, und lässt einen geringen Volumenstrom abfließen. Für einen wirtschaftlichen Betrieb dieser Druckhaltung ist es erforderlich, dass eine Pumpe mit geringer Fördermenge für den Dauerbetrieb und eine zweite Pumpe mit einer Fördermenge, bemessen für den Abfahrbetrieb, parallel geschaltet werden.

Für die Überströmung sind zwei hochwertige Überströmventile parallel zu schalten, die für den Anfahr- und Aufheizbetrieb ausgelegt sind und bei geringerem Druckanstieg den vollen Volumenstrom durchlassen. Das Ausdehnungsgefäß ist für den vollständigen Volumenausgleich zu bemessen und wird mit einem geringen Überdruck mit Stickstoff beaufschlagt, damit das ständig durch das Gefäß gepumpte Heizungskreislaufwasser keinen Sauerstoff aufnehmen kann. In Heißwasseranlagen, die ganzjährig ohne Unterbrechung in Betrieb sind, kann anstelle des Stickstoffdruckes auch das Wasser im Ausdehnungsgefäß auf 105 °C aufgeheizt und ein Dampfpolster von 0,36 bar erzeugt werden. In diesem Fall ist die erforderliche Zulaufhöhe bei den Druckdiktierpumpen zu beachten. Bei einem Teillastbetrieb unter 50 % werden die Absperrklappen bei „b“ geschlossen und die Kesselkreislaufpumpe abgeschaltet (Abb. 2.5).

In Heizkraftwerken ist es auch üblich, das Dampfpolster aus dem vorhandenen Abdampf mit einem Dampfreduzierventil zu erzeugen. Die dabei anfallende Kondensatmenge ist gering und dient zugleich als Zusatzwasser für den Ausgleich von geringen Verlusten, die in großen Fernheiznetzen ohnehin auftreten.

Die Druckhaltung mit ständig laufenden Druckdiktierpumpen ist nur bei Großanlagen wirtschaftlich vertretbar. Für die Anlagen mit Wärmeleistung bis 30 oder 50 MW kann die Druckhaltung wirtschaftlicher und wie in Abb. 2.6 gezeigt erfolgen.

http://www.springer.com/978-3-642-36588-1

Heisswasser- und Hochdruckdampfanlagen
Planungshandbuch für Industrie- und Fernwärmeversorgung
Scholz, G.
2013, XV, 577 S. 300 Abb., Hardcover
ISBN: 978-3-642-36588-1