

Aufbau und Wirkung von Heisswasser-Heizungen

Autor(en): **Goldstern, W.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **107/108 (1936)**

Heft 8

PDF erstellt am: **24.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-48253>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

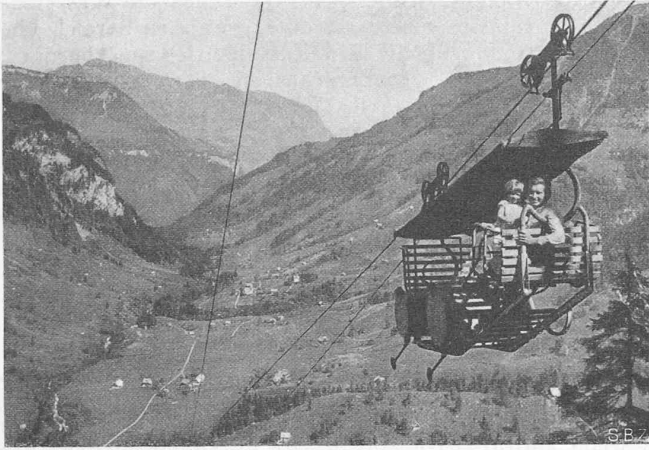


Abb. 9. Tiefblick talauswärts auf Oberrickenbach, mit der Personen-Schwebbahn Oberrickenbach-Bannalp. (Phot. E. Goetz, Luzern.)

al. 3 bestimmt: „Die Landsgemeinde bewilligt für die Finanzierung dieser Zwecke die Aufnahme eines vom Kanton garantierten Anleihe im Höchstbetrage von 4,2 Millionen Franken“. — In seiner Sitzung vom 1. Juli 1935 beschloss der Landrat den Baubeginn und in der nächstfolgenden Sitzung (vom 12. Juli) beauftragte er den Regierungsrat, in Verbindung mit der Baukommission die Finanzierung

in die Wege zu leiten. Anfangs September gelangten vom Kanton garantierte und überdies durch den gesamten Grundbesitz nebst allen Gebäulichkeiten und Anlagen des sich im Bau befindenden Werkes durch eine Grundpfandverschreibung sichergestellte Schuldverschreibungen zur Ausgabe. Für die Zeichnung wurde keine Frist gesetzt, weshalb Einzahlungen fortlaufend erfolgen können. Diese Art der Finanzierung hat sich gut bewährt. Der Kanton Nidwalden als ein Kanton mit absolut geordneten finanziellen Verhältnissen genießt volles Vertrauen, was daraus hervorgeht, dass die Zeichnungen einen durchaus befriedigenden Erfolg aufweisen. A. B.

Dieser Darstellung fügen wir in Abb. 9 noch ein Landschaftsbildchen bei mit der bestehenden, von Herrn Reg.-Rat Remigi Niederberger, «Drahtseilbauer» in Dallenwil, erstellten Schwebbahn auf die Höhe der Bannalp (Schindelboden). Mit rund 1200 m schiefer Länge überwindet sie in einer Spannweite etwa 450 m Höhe, und zwar in einer Fahrzeit von nur etwa 120 bis 80 sec. d. h. mit der unglaublichen mittlern Geschwindigkeit von 10 bis 15 m/sec.! Es ist eine Seilbahn mit Wasserballast (die beiden Fässer unter den Sitzen fassen 500 l), je einem Trage-seil, ohne Fangbremse bei allfälligem Bruch des einfachen Zugseils; die Geschwindigkeit wird nach Bedarf und Wunsch mittels Bandbremse an den Umlenkrollen von Hand geregelt. Dass die Benutzer dieser luftigen Einrichtung das dazu nötige Gottvertrauen besitzen, sieht man ihren sorglos-fröhlichen Gesichtern an. Mit gleicher Zuversicht folgte das Nidwaldner Volk auch dem feurigen Führer seines Bannalpwerkes, Herrn Kaplan Vokinger, in das gewagte, nunmehr im Gange befindliche Unternehmen der Selbstversorgung mit elektrischer Energie. Möge es nicht enttäuscht werden! Red.

Aufbau und Wirkung von Heisswasser-Heizungen.

Von Dipl. Ing. W. GOLDSTERN, VDI, München.

[Nachdem hier schon öfters¹⁾ auf ausgeführte Heisswasser-Heizanlagen hingewiesen und als bemerkenswertes Beispiel einer solchen das Fernheizkraftwerk der E. T. H. Zürich ausführlich beschrieben worden ist²⁾, folgt nachstehend eine grundsätzliche Erörterung der für den Entwurf einer Heisswasser-Heizung massgebenden Gesichtspunkte. Red.]

1. *Einführung.* Untersuchungen und Erfahrungen aus den letzten Jahren haben gezeigt, dass in einem gewissen Anwendungsbereich die Wärmeversorgung von Raum- und Apparateheizungen ebensogut mittels *Heisswasser*, also Wasser unter Druck mit Temperaturen über 100°C, wie mit Dampf erfolgen kann; zum Teil sind sogar ganz erhebliche wirtschaftliche und betriebliche Vorteile beim Uebergang von Dampf auf Heisswasser zu erzielen. Seitdem sind eine beträchtliche Anzahl von industriellen Werken auf Heisswasserbetrieb umgestellt worden; besonders wurden auch für Fern- und Städteheizungen in wachsendem Masse Heisswasseranlagen ausgeführt.

Um nur kurz auf die *Grundlagen der Heisswassertechnik* einzugehen, sei zunächst der geschlossene Kreislauf des Wärmeträgers hervorgehoben. Die gesamte Kondensatwirtschaft mit Rückleitung, Kondensstöpfen und Korrosionsgefahr, sowie die Einrichtung zur Speisewasser-Reinigung der Dampfanlagen fallen weg; die oft sehr hohen Kondensatverluste sind vermieden. Dazu kommt der gegenüber Dampf grössere Wärmeinhalt der umlaufenden Wassermengen, der durch Speicherwirkung ausgleichend auf den Betrieb wirkt, sofern gewisse Schwankungen in den Temperaturen zugelassen werden. Andererseits begünstigen die verhältnismässig grossen umlaufenden Wassermengen die Regelung der Temperaturen bei den Verbrauchern, während in Dampfanlagen die Temperatur meist nur indirekt durch Einstellung des Dampfdrucks geregelt werden kann. — Unzweifelhaft sind die Verhältnisse in Heisswasseranlagen viel klarer und berechenbarer, schon wegen der einfacheren Zustands-, Strömungs- und Wärmeübergangs-Verhältnisse.

Im Folgenden ist eine kurze Uebersicht über die *grundsätzlichen Möglichkeiten* von Heisswasserheizungen gegeben, indem ausgehend von der einfachsten Grundschialtung die abgeleiteten oder erweiterten Schaltungen für besondere Betriebsbedingungen dargestellt sind. Durch Zusammenfassung verschiedener hier gekennzeichnete Einzelschaltungen lassen sich dann ohne weiteres eine grosse Anzahl von kombinierten Schaltungen bilden, wie sie in der Praxis vorkommen.

2. *Die Grundschialtung.* Das Heisswasser dient zur Uebertragung der im Kessel erzeugten Wärme an den Verbraucher. Dabei behält es (im Gegensatz zum Dampf als Wärmeträger) dauernd den gleichen, flüssigen Aggregatzustand bei. Im Kessel wird das Heisswasser von einer Rücklauf-temperatur von etwa 80 bis 120° auf eine Vorlauf-temperatur von etwa 140 bis 190° erwärmt. Die Temperatur, mit der das Wasser dem Kessel entnommen wird, bestimmt seinen Betriebsdruck; wobei die zugehörige Sättigungstemperatur um etwa 5 bis 10° über der höchsten Heisswassertemperatur liegen muss, um Dampfbildung mit Sicherheit zu vermeiden. — Die Aufgabe, das Heisswasser zum Verbraucher zu transportieren, übernimmt die Heisswasserpumpe; grundsätzlich könnte auch, wie in gewöhnlichen Warmwasserheizungen, die Schwerkraft als Antrieb benutzt werden. An den Heizflächen der verschiedenen Verbraucherarten gibt das Heisswasser die übernommene Wärme wieder ab und kühlt sich dabei auf die Rücklauf-temperatur ab. Durch die Rücklaufleitung zum Kessel zurückgeleitet, erwärmt es sich wieder von neuem. Im einfachsten Fall ist mit diesen fünf Grundelementen: Kessel, Pumpe, Vorlaufleitung, Verbraucher und Rücklaufleitung die Grundschialtung einer Heisswasseranlage gegeben.

Von vornherein muss auf einen weiteren wesentlichen Bestandteil hingewiesen werden: den *Ausgleichsraum* für die Wärmedehnungen des Wasserinhalts. Wird etwa bei Betriebsbeginn das Wasser eingefüllt, so darf es nicht den ganzen verfügbaren Raum der Anlage einnehmen, da im Laufe der Anheizzeit eine mit wachsender Temperatur sehr beträchtliche Ausdehnung des Wasservolumens auftritt. Daneben bringen aber auch während des Betriebes die Temperaturschwankungen in den Leitungen noch gewisse Aen-

¹⁾ Fernheizung Villeurbanne Bd. 102, S. 164*; Hallenbad Basel Bd. 105, S. 46*; Urbankino Zürich Bd. 106, S. 34*; Hallenbad Beuthen Bd. 106, S. 237.

²⁾ Bd. 106, S. 141* und 205*.

derungen des in der Anlage enthaltenen Wasservolumens mit sich, die ebenfalls durch den Ausgleichraum aufgenommen werden müssen. — Da im Ausgleichraum der selbe Druck auftritt wie im Kessel selbst, verursacht ein besonderer Behälter hierfür, vor allem bei grösseren Anlagen, beträchtliche Kosten; meist wird daher von der Möglichkeit Gebrauch gemacht, den Dampfraum des Kessels gleichzeitig auch als Ausgleichraum zu benutzen. Die Grundschialtung für Heisswasseranlagen lässt sich dann wie in Abb. 1 wiedergeben, wobei der Ausgleichraum nur andeutungsweise im Kessel eingezeichnet ist. Auf diese Grundschialtung lassen sich alle möglichen und praktisch ausgeführten Schaltungen zurückführen.

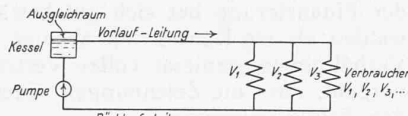


Abb. 1.

3. *Erweiterungsmöglichkeiten.* Bei der Kesselanlage tritt als eine Hauptschwierigkeit des Heisswasserbetriebes die verhältnismässig hohe Rücklauftemperatur auf; der möglichst weitgehenden Ausnutzung der Rauchgaswärme wird dadurch eine Grenze gesetzt, die in Dampfanlagen infolge der gewöhnlich wesentlich niedrigeren Speisewassertemperaturen einfach durch den Einbau von Economisern überwunden werden kann. In Heisswasseranlagen fällt jedoch dieses kalte Speisewasser, das dort günstig mit der restlichen Rauchgaswärme vorgewärmt werden kann, fort. Man muss sich daher nach einem Ersatz umsehen, der zur Wärmeaufnahme auch noch bei verhältnismässig niedrigen Temperaturen geeignet ist. In Betracht kommt dafür vor allem die Vorwärmung der Verbrennungsluft in besondern Luftvorwärmern, wodurch diese Schwierigkeit fast vollständig zu überwinden ist. Die in Abb. 2a dargestellte

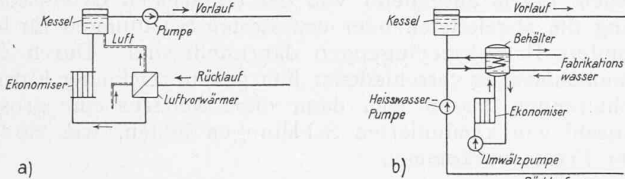


Abb. 2.

Schaltung zeigt einen Verbesserungsvorschlag, bei dem der Luftvorwärmer gewissermassen indirekt betrieben wird. Das Rücklaufwasser wird hier durch die zuströmende Verbrennungsluft abgekühlt, ehe es im Economiser wieder aufgewärmt wird. Um die Luft auf noch höhere Temperaturen vorwärmen zu können, kann der Luftvorwärmer auch zwischen Vor- und Rücklauf eingeschaltet werden.

In Betrieben, die einen grossen Bedarf an warmem Fabrikationswasser haben, wie z. B. in Textilfabriken oder Brauereien, ergibt sich eine ausserordentlich einfache Lösung, indem im Economiser statt Kesselspeisewasser dieses Gebrauchswasser, durch die verfügbare restliche Rauchgaswärme vorgewärmt werden kann; Schaltung siehe Abb. 2b. Das in einem hochliegenden Speicherbehälter enthaltene Gebrauchswasser wird mittels einer Umwälzpumpe durch den Economiser gepumpt; genügt die dabei erzielte Vorwärmung noch nicht, so kann — wie dies in der Schaltungsskizze angedeutet ist — noch eine weitere Vorwärmung durch die indirekte Heizung mit Rücklaufwasser vorgenommen werden.

Die Frage, wie der erforderliche Ausgleichraum in einfacher und doch wirtschaftlicher Weise unterzubringen ist, kann, auch mit der Verwendung des Dampfraums des Kessels zu diesem Zwecke, noch nicht als restlos gelöst gelten. Zunächst wechselt die Grösse des dafür verfügbaren Dampfraums sehr stark mit den verschiedenen Kesselbauarten. Ferner ist die Grösse und damit der Dampfraum des Kessels durch die Wärmeleistung bestimmt, das Wasservolumen der Anlage aber vor allem durch deren räum-

liche Ausdehnung. Schliesslich wirken sich die Wasserspiegelschwankungen, sobald sie einen gewissen Bereich überschreiten, ungünstig auf den Kesselbetrieb aus, besonders wenn der Kessel gleichzeitig noch zur Dampflieferung herangezogen werden soll. Daher wird bei einem neueren Vorschlag gerade umgekehrt versucht, diese Schwankungen vollständig zu vermeiden, indem durch einen Ueberlauf Kesselwasser in neben- oder untenstehende Ausgleichbehälter abfliessen kann. — Besonders bei den höheren Drücken, die sich bei gesteigerten Vorlauftemperaturen einstellen, werden die Kosten für die Unterbringung des Ausgleichraums so hoch, dass auch damit noch keine endgültige Lösung gefunden sein dürfte.

Die Pumpe kann sowohl in den Vorlauf als auch in den Rücklauf eingeschaltet werden. Da im zweiten Fall die Gefahr besteht, dass bei herabgesetzter Wärmeleistung und verminderter Umlaufwassermenge Dampfbildung im Vorlauf eintritt, wird eine direkte Verbindungsleitung beim Verbraucher angeordnet, die über ein Regelventil Vorlauf- und Rücklaufleitungen so verbindet, dass stets die gleiche Wassermenge umgewälzt wird (siehe Abb. 3, rechts).

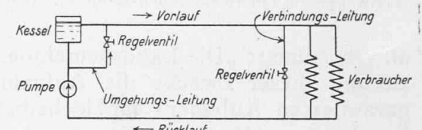


Abb. 3.

Eine weitere wichtige Schaltungsart der Heisswasser-Anlagen zeigt der linke Teil der selben Abb. 3; um die Vorlauftemperatur in beliebiger Höhe einstellen zu können, wird eine Umgehungsleitung um den Kessel vorgesehen, durch die soviel Rücklaufwasser dem Vorlauf zugesetzt werden kann, bis dieser auf die gewünschte Temperatur gebracht ist. Dabei kann durch ein in diese Umgehungsleitung eingeschaltetes, das Mischungsverhältnis nach Bedarf regulierendes Regelventil die Vorlauftemperatur auch automatisch eingehalten werden. Der Nachteil dieser Schaltung liegt in dem Temperaturverlust zwischen Kessel und Vorlauf; ihr Vorteil in dem einfachen Ausgleich von Belastungsschwankungen durch erhöhten Zusatz bzw. Drosselung von Rücklaufwasser.

Schliesslich kann eine Umgehungsleitung um die Pumpe vorgesehen werden; sie hat den Zweck, die Bildung von Hohlräumen und das Auftreten von Schlägen zu verhindern, die ihre Ursache in der Zusammenziehung des Wassers durch die Abkühlung der Leitung während längerer Betriebspausen haben können. Eine solche Umgehungsleitung von geringem Durchmesser liefert die fehlenden Wassermengen selbsttätig aus dem Wasserraum des Kessels.

Mit zwei Leitungen (für Vor- und Rücklauf) kann man nicht in jedem Falle auskommen. Apparate- und Raumheizung unterscheiden sich meist durch weit auseinander liegende Verbrauchertemperaturen; man wird in diesem Falle eine gesonderte Vorlaufleitung schon vom Kesselhaus aus einrichten, die durch grösseren Zusatz von Rücklaufwasser eine niedrigere Temperatur für die Heizkörper der Raumheizung erhält (3-Leiter-System). Die untere Grenze für diese zweite Vorlauftemperatur ist hier durch die Temperatur des gemeinsamen Rücklaufs gegeben. Wird eine noch tiefere Vorlauftemperatur gefordert, so ist man ge-

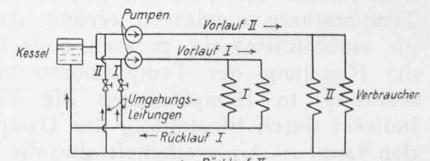


Abb. 4.

zwungen, auch für den Rücklauf der Raumheizung eine gesonderte Leitung zu legen (s. Abb. 4). Ein besonderer Fall dieser Schaltung ist die Anfügung eines geschlossenen Kühlkreislaufs. Zum 3-Leiter-System kann auch der Wunsch nach einer Reserveleitung führen.

Die verschiedenen Arten von Wärmeverbrauchern ändern an dem grundsätzlichen Aufbau der Heisswasser-

Anlagen solange nichts, als der geschlossene Kreislauf erhalten bleibt und die Wärme durch Heizflächen hindurch abgegeben wird. Wenn für irgendwelche Zwecke Dampf benötigt wird, so ist neben der üblichen Methode der Dampferzeugung in Gegenstromapparaten die direkte Methode möglich, durch Druckentlastung das Heisswasser selbst zu verdampfen, wodurch sich besonders günstige Speicher- und Ausgleichsmöglichkeiten ergeben. Wird das Dampfkondensat nicht wiedergewonnen, so muss natürlich die Wassermenge entsprechend ergänzt werden, wodurch die erwähnten Vorteile des geschlossenen Kreislaufs beeinträchtigt werden.

4. *Heizkraft-Schaltungen.* Wie die Dampfheizung, ermöglicht auch die Heisswasserheizung die vorherige Ausnutzung der Wärme bei höheren Drücken in Gegendruck-Maschinen, wobei die gleiche Kesselanlage für Heiz- und Kraftzwecke ausgenutzt wird; dennoch ergeben sich ganz erhebliche Unterschiede gegenüber dem Dampfbetrieb. Erreicht (bei ausgedehnten Fernheiznetzen) der zur Erzeugung der gewünschten Vorlauftemperatur notwendige Druck im Kessel etwa 12 bis 15 at, so ist ein Gegendruckbetrieb erst durch Vorschaltung von Hochdruckkesseln und Vorschaltturbinen möglich.

Der Gegendruckbetrieb macht die Umwandlung des in der Kraftmaschine benutzten Dampfes in Heisswasser notwendig; damit kommt in solchen Anlagen als neues Element der *Heisswassererzeuger* hinzu, in dem also das umlaufende Wasser (wie sonst im Kessel) durch die Dampfwärme von Rücklauf- auf Vorlauftemperatur erwärmt wird. Die grundsätzliche Schaltung einer Heizkraft-Heisswasser Anlage zeigt Abb. 5;

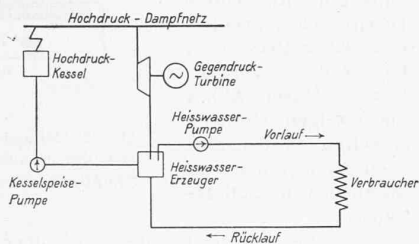


Abb. 5.

hier ist ein Heisswasser-Erzeuger angedeutet, bei dem der Dampf direkt in das Wasser eingeführt und dabei die beim Kondensieren freiwerdende Wärmemenge (ähnlich wie beim Ruths-Gefälle - Dampfspeicher) an den Wasserinhalt des Behälters abgegeben wird. Bei der gleichzeitigen Speicherung treten allerdings beträchtliche Temperaturschwankungen auf, die sich auf die Vorlauftemperatur auswirken. Auch erheischt der Kondensationsvorgang ein gewisses Temperaturgefälle zwischen der Sattdampf-Temperatur des kondensierenden Dampfes und der Wassertemperatur im Heisswassererzeuger. Wählt man statt dessen einen Gegenstrom-Vorwärmer als Heisswasser-Erzeuger, so bringt der Wärmewiderstand der trennenden Heizfläche zwischen Dampf und Heisswasser zwar ebenfalls einen Temperaturunterschied mit sich, doch können bei getrenntem Speisewasser- und Heisswasserkreislauf die Temperaturen des Vorlaufs und des zum Kessel zurückfließenden Kondensats konstant gehalten werden, wodurch eine bessere Wärmeausnutzung erzielt wird.

Der Heisswassererzeuger nimmt die Stelle des Kessels in unverbundenen Heisswasseranlagen ein, deren Schaltung im übrigen durch den Heizkraftbetrieb nicht weiter beeinflusst wird. Nur muss im Interesse einer möglichst hohen Leistungsausbeute jeder vermeidbare Druck- bzw. Temperaturverlust ausgeschaltet werden. Dabei ist die Wahl der Temperaturgrenzen (Vor- und Rücklauftemperatur der Heisswasseranlage) von entscheidender Bedeutung. Da durch Steigerung der umlaufenden Wassermenge dieses Temperaturgefälle bis zu einem gewissen Masse verkleinert werden kann, wählt man hohe Umlaufgeschwindigkeiten, die allerdings eine erhöhte Pumpenleistung bedingen.

5. *Speicher-Schaltungen.* In Bezug auf *Speicherfähigkeit* sind die Heisswasseranlagen den Dampfanlagen stark überlegen und können daher auch bei sehr ungleichmäßigem Verbrauch ausgleichend wirken, sofern eine gewisse

Schwankung der Vor- und Rücklauftemperaturen zugelassen ist. Wird jedoch aus betrieblichen Gründen die Einhaltung unveränderlicher Temperaturen vorgeschrieben oder reicht die Speicherfähigkeit der Anlage selbst nicht mehr aus, so müssen besondere Speichereinrichtungen eingefügt werden. Alle Arten der Speicherung lassen sich auf zwei grundsätzlich verschiedene Wirkungsweisen zurückführen, deren Schaltung in Abb. 6 wiedergegeben ist.

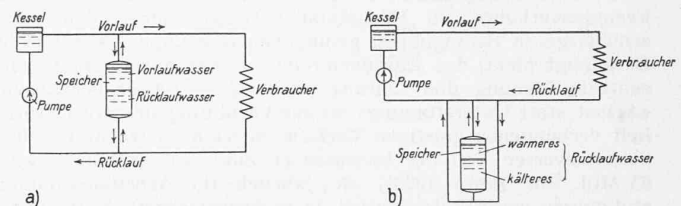


Abb. 6.

Speicher mit *grossem Gefälle* arbeiten zwischen Vor- und Rücklauf, indem sie bei höherer Belastung das aufgespeicherte wärmere Wasser des Vorlaufs — zusätzlich zum umlaufenden Heisswasser — an die Verbraucher abgeben und einem Unterspeicher zuführen. Bei niedrigerer Belastung wird das im Unterspeicher aufbewahrte kältere Rücklaufwasser durch den Kessel geleitet und zur Ladung in den Oberspeicher zurückgeführt, wodurch wieder ein Vorrat an Vorlaufwasser entsteht. Die in Abb. 6 a wiedergegebene Schaltung dieser Art zeigt, wie durch Anwendung des Verdrängungsprinzips die Vereinigung der beiden Speicher in einem einzigen Behälter möglich wird.

Demgegenüber arbeiten Speicher mit *kleinerem Gefälle* (Abb. 6 b) vor allem im Rücklauf selbst. Das verfügbare Gefälle ist durch die Grenzen bestimmt, in denen Schwankungen der Rücklauftemperatur zugelassen werden. Auch hier ist im Schaltbild die Vereinigung in einem Verdrängungsspeicher angedeutet, der oben das wärmere und unten das kältere Rücklaufwasser enthält. Tritt nun ein erhöhter Leistungsbedarf ein, so kühlt sich das umlaufende Wasser beim Verbraucher stärker ab. Durch selbsttätige Regelventile wird aus dem oberen Teil des Speichers wärmeres Wasser zugesetzt, bis die Rücklauftemperatur vor dem Kessel wieder ihre normale Höhe erreicht hat; dagegen wird eine entsprechende Menge an kälterem Wasser dem unteren Teil des Speichers zugeführt. Umgekehrt wird bei niedrigerer Belastung das Rücklaufwasser beim Verbraucher nur bis auf eine etwas höhere Temperatur abgekühlt; dann wird dem Rücklauf kälteres Wasser zugesetzt und das wärmere gespeichert. Infolge des kleineren Wärmegefälles erfordert ein Rücklaufspeicher für die gleiche Speicherfähigkeit ein grösseres Volumen als ein Speicher zwischen Vor- und Rücklauf, der aber wiederum bei höherem Druck arbeiten muss und daher stärkere Blechstärken benötigt. Am wirtschaftlichsten sind die Speicheranlagen, bei denen Rücklaufwasser mit Temperaturen bis zu 100°C gespeichert werden kann, da dabei drucklose Behälter verwendet werden können, die wesentlich billiger zu bauen sind.

6. *Zusammenfassung.* In Heisswasseranlagen führt der geschlossene Kreislauf des umlaufenden Heisswassers zu einer sehr einfachen Grundschaltung der fünf Hauptelemente: Kessel, Pumpe, Vorlaufleitung, Verbraucher und Rücklaufleitung. Der für den Betrieb der Anlage notwendige Ausgleichraum kann in den Kessel selbst gelegt werden. Von dieser Grundschaltung ausgehend, lassen sich eine Anzahl weiterer Schaltungen ableiten, die zur Erfüllung verschiedener Betriebsbedingungen geeignet sind, und deren Vor- und Nachteile untersucht wurden. Schliesslich lässt sich die Schaltung zur Kraft-erzeugung im Gegendruckverfahren ausbauen und, sofern die verhältnismässig hohe Speicherfähigkeit der Anlage selbst nicht ausreicht, die Speicherung in besonderen Speicherbehältern ermöglichen.