

Übergabestationen mit niedrigsten Rücklauftemperaturen

Franz Schneider, Dipl.Ing. (FH), Ingenieurbüro Schneider, Pöhlmannstr. 5, 80687 München

Keywords: Nahwärme, Fernwärme, Übergabestation, Rücklaufanschluss, Vorlauftemperatur, Rücklauftemperatur, Delta T, Hintereinanderschaltung von Heizkreisen, Warmwasserbereitung, Frischwasserstation, geringe Kalkproblematik, Wärmepumpe, Hydraulischer Druckluftspeicher, Schwarmpeicher, Power-to-Pressure, Pressure-to-Power, Power-to-Heat und Power-to-Cool

Zusammenfassung

Patentiertes Schema zur Hintereinanderschaltung von Heizkreisen mit unterschiedlichen Temperaturniveaus. Die Schaltung liefert bei gegebenen Heizkreisen systembedingt ein maximales ΔT bei minimalen Vor- und Rücklauftemperaturen.

In einer zum Patent angemeldeten Ergänzung wird der Rücklauf in einem kalten Puffer gesammelt und über eine Wärmepumpe noch weiter abgekühlt, wodurch die Effizienz der Geothermie und des Fernwärmenetzes gesteigert wird. Auf der anderen Seite hebt die Wärmepumpe Heizwasser auf ein höheres Temperaturniveau, welches in einem warmen Puffer gespeichert und bei Bedarf im Haus für die Heizung oder die WW-Bereitung verbraucht wird.

Werden viele Übergabestationen mit je einem kalten, je einem warmen Puffer und jeweils einer Wärmepumpe ausgestattet, so kann über eine Zentrale Leittechnik (ZLT) ein virtuelles Schwarmspeicherwerk betrieben werden, für: Power-to-Heat und Power-to-Cool

Die Wärmepumpe kann in einer weiteren Variante gegen ein neu entwickeltes hydraulisches Druckluftspeichersystem ersetzt werden. Immer wenn Druckluft unter Einsatz von Strom verpresst wird, entsteht Wärme, immer wenn durch Entspannen Strom erzeugt wird, entsteht Kälte. Das vorgenannte Schwarmspeicherwerk wird erweitert zur Stromspeicherung, als: Power-to-Pressure und Pressure-to-Power

Die Schaltung eignet sich besonders für LowEx Fern-/Nahwärmenetze, insbesondere für Geothermie, sie ist prädestiniert für einen 3-Leiter-Rücklaufanschluss.

1. Einleitung

Bei der Tiefen-Geothermie wird heißes Wasser aus der Erde gepumpt, dann wird es möglichst weit abgekühlt und wieder zur Erde zurückgegeben.

Die Effizienz ist alleine abhängig von der Abkühlung des Tiefenwassers. Die klare Aufgabe für die Fernwärmeübergabestationen lautet:

Es ist eine möglichst niedrige Rücklauftemperatur zu erzielen. Jedes Grad bringt zusätzlichen Gewinn.

Knackpunkt bei der Umstellung unserer Fernwärmenetze auf Erneuerbare Energien und LowEx-Systeme ist die Rücklauftemperatur. Derzeit haben wir erhebliche Probleme mit zu hohen Temperaturen auf der Abnehmerseite. Nachrüstungen im Bestand sind unumgänglich, Neuanschlüsse müssen innovative Konzepte beinhalten.

Ein weiteres Problem in unseren Städten ist der Kältebedarf in den Sommermonaten. Übliche Kälteerzeuger entsorgen Ihre Abwärme ungenutzt in die Luft oder beispielsweise an das Grundwasser, wodurch die Probleme des Klimawandels weiter verschärft werden.

Eine Nutzung der Abwärmeseite ist heute angesagt und Teil der vorgeschlagenen Lösung.

Zur Glättung der Wärmelastkurve werden üblicherweise große zentrale Wärmespeicher in der Nähe der Wärmeeinspeisung aufgestellt. Zum Einen geht es um die Überbrückung von Ausschaltzeiten, dann um die Glättung der Tagesganglinie aber auch um die Reduzierung der Lastspitzen an den kältesten Wintertagen. Dezentral angeordnete Speicher können über ZLT so zusammengeschaltet werden, dass sie zentrale Speicher komplett ersetzen.

Bei der Kälte ist dies entsprechend. Dezentral angeordnete und über ZLT zusammengeschaltete kalte Speicher ersetzen große zentrale Kältespeicher.

Das Stromnetz in Deutschland hat ein Mengenproblem. Es gibt Zeiten, an denen Strom im Überfluss vorhanden ist. Um beispielsweise Windstrom nicht abregeln zu müssen, sollte der Strom wenigstens genutzt werden, dafür sind Power-to-Heat und Power-to-Cool ein geeignetes Mittel. Ideal wäre eine verlustarme und preisgünstige Speicherung von Strom, wobei die thermischen Umwandlungsverluste nutzbar gemacht werden sollten. Wir stellen eine sehr nachhaltige Lösung vor, unter der Überschrift: Power-to-Pressure und Pressure-to-Power.. Die Umwandlungsverluste können als Wärme oder als Kälte im Haus oder im Netz verbraucht werden. Es gibt damit keine Abwärme und keine Abkälte.

2. Grundsätzliche Schaltungsvarianten

2.1 Direkte Hintereinanderschaltung von Heizkreisen

Die üblicherweise in einem Gebäude vorhandenen Heizkreise sind die Heizkreise für die Gebäudebeheizung und für die Warmwasserbereitung. Die Warmwasserbereitung wird getrennt in eine Warmwasservorwärmung und in eine Warmwassernachwärmung.

Beim Warmwassernachwärmer empfehlen wir einen WW-Speicher, um das Warmwasser bei höchstem Komfort, ohne Druck- und Temperaturschwankungen, bereit zu stellen. Das Wasser wird gleichmäßig und ständig mit einem kleinen ΔT über WW_{Soll} (z.B. $63^\circ C$) erwärmt.. Dieses kleine ΔT führt zu minimaler Kalkproblematik und damit zu minimalen Wartungskosten.

Bei der Anlagenhydraulik ist zu beachten, dass der WWB1 für den maximalen Volumenstrom des Heizkreises FBH am kältesten Wintertag ausgelegt ist. Hierfür haben wir vielfache Lösungen auf die wir hier nicht näher eingehen.

Die Warmwasservorwärmung wird idealerweise als Frischwassersystem ausgeführt, um das Trinkwasser gemäß DVGW Arbeitsblatt W551 nicht einmal täglich auf $60^\circ C$ aufwärmen zu müssen. Angetrieben wird das System im Winter alleine durch die Heizkreispumpe der Fußbodenheizung. Das Heizwasser strömt von der Wärmequelle bei einem kleinen ΔT über WW_{Soll} durch den WW-Nachwärmer, danach strömt das Heizwasser über einen Mischer zur Fußbodenheizung und dann über den Puffer für die Warmwasservorwärmung und zurück zur Wärmequelle. Immer wenn Warmwasser gezapft wird, springt die Ladepumpe des Frischwassersystems an und übergibt die Wärme aus dem Puffer an die Trinkwasservorwärmung. In der Übergangszeit reicht die Wassermenge, die von der Fußbodenheizung bestimmt wird, irgendwann nicht mehr aus, um die geforderte Solltemperatur im WWB1 aufrecht zu erhalten. Daraufhin schaltet sich die im Abb. 1 schraffiert gezeichnete Ladepumpe dazu, um die geforderte Leistung zu erbringen. Es bildet sich eine zweite überlagerte Strömung. Im Sommer bleibt die Heizkreispumpe ausgeschaltet, bei Wärmebedarf des WWB 1 wird die Ladepumpe in Betrieb genommen. Die Heizkreise für die WW-Nachwärmung und für die WW-Vorwärmung werden nacheinander durchströmt.

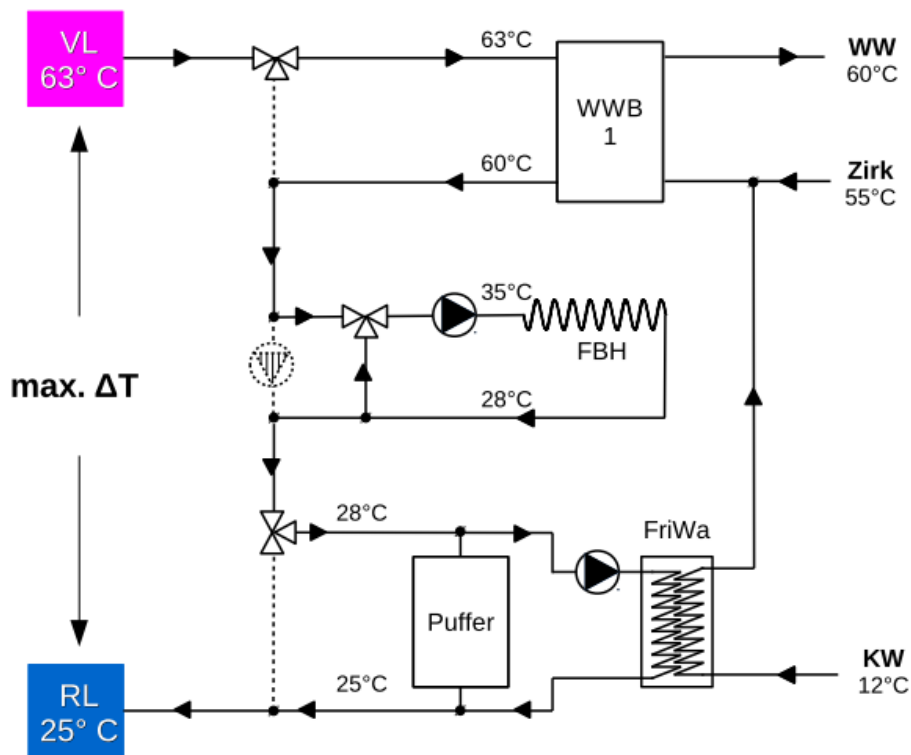


Abb. 1: Grundschialtung, direkte Hintereinanderschaltung von 3 Heizkreisen

Vorteile:

- niedrige RL-Temperatur, ca. 25° C im Winter, ca. 30°- 55°C im Sommer
- niedrige VL-Temperatur, ca. 63° C ausreichend
- keine Verbrauchsspitzen, gleichmäßige Last
- ausschließliche Verwendung von Standard-Bauteilen

weitere Vorteile WWB:

- geringe Kalkproblematik
- keine Phosphatdosierung erforderlich
- anhaltend guter Wirkungsgrad
- stabiler WW-Druck
- stabile WW-Temperatur
- geringe Wartungskosten
- hohe Verfügbarkeit
- Systemtrennung nach DIN1717
- Einhaltung DVGW Arbeitsblatt W551

2.2 Hintereinanderschaltung von Heizkreisen über eine hydraulische Weiche

Bei großen Heizleistungen fließen an kalten Wintertagen hohe Wassermengen an Heizwasser durch die Fußbodenheizung. Um die Warmwasserbereiter nicht mit der vollen Wassermenge zu

beaufschlagt, wird bei Heizleistungen ab ca. 100 kW die Fußbodenheizung über eine hydraulischen Weiche entkoppelt. Über drehzahlgesteuerte Umwälzpumpen, bzw. über Durchflusssensoren wird sichergestellt, dass im Versorgerkreis stets eine geringere Wassermenge fließt, als von der Heizkreispumpe aus der hydraulischen Weiche entnommen wird. Dadurch wird die stufenweise Abkühlung sichergestellt. So kann der Warmwasserbereiter WWB1 preisgünstiger dimensioniert werden.

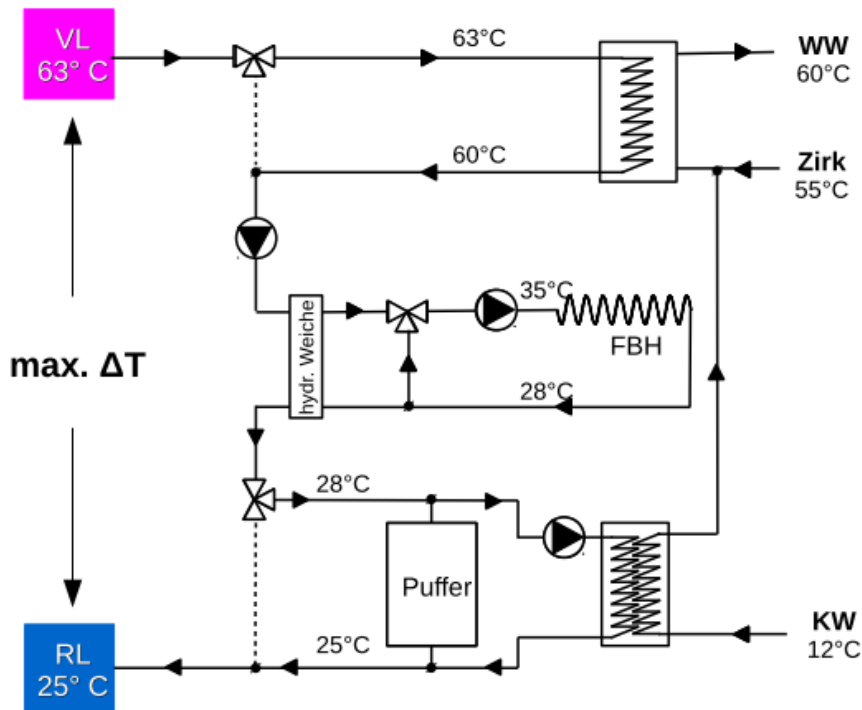


Abb. 2: Grundschtung, Hintereinanderschaltung von 3 Heizkreisen mit hydraulischer Weiche

Vorteile: Der WW-Nachwärmer kann auch bei großen Wassermengen der FBH als Standard-WWB ausgeführt werden. Damit ist eine preisgünstige Realisierung gegeben.

- niedrige RL-Temperatur, ca. 25° C im Winter, ca. 40°- 55°C im Sommer
 - niedrige VL-Temperatur, ca. 63° C ausreichend
- alle anderen Vorteile ebenso, wie unter 2.1 aufgeführt

2.3. Anwendung als Dreileiter-Rücklauf-Anschluss

Die Schaltung kann sehr einfach als 3- Leiter- Rücklaufanschluss ausgeführt werden, da die 3 hintereinandergeschalteten Heizkreise wie ein Heizkreis wirken.

Eine primärseitige Strahlpumpe saugt Heizwasser aus der Fernwärme-Rücklaufleitung und mischt auf eine niedrigere Temperatur. Damit wird auf elegante Weise die Energie im Netzzrücklauf nutzbar gemacht.

Die Lage im Netz ist dabei nicht relevant, die Druckverhältnisse im Rücklauf spielen keine Rolle, die Strahlpumpe gleicht unterschiedliche Druckverhältnisse aus.

Abb. 3 zeigt anhand typischer Temperaturwerte die Bilanz dieser Anordnung. Die Strahlpumpe wird über den Vorlauf mit einem Teil Heizwasser zu 95° C angetrieben, sie saugt aus dem ersten

Anschluss des Rücklaufes 3 Teile Heizwasser mit 55° C dazu, im Ergebnis werden 4 Teile Heizwasser zu 65°C geliefert, oder anders formuliert: 75 % der Energie werden dem Rücklauf entnommen.

Die Vorteile liegen auf der Hand. Es werden keine doppelten Systeme benötigt, der Planungsaufwand ist minimal, es gibt keine teure primärseitige Pumpe und keinen erhöhten Stromverbrauch.

Die einmaligen Mehrkosten liegen letztlich in einer zusätzlichen Leitung, der Strahlpumpe, dem erforderlichen Zubehör und einer zusätzlichen Messeinrichtung.

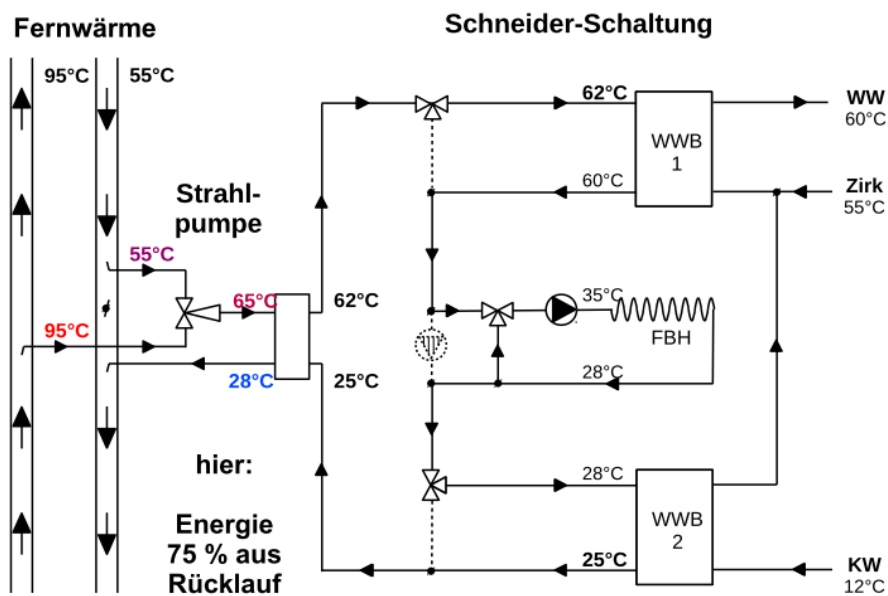


Abb. 3: Grundschialtung als 3-Leiter-Rücklaufanschluss

2.4. Hintereinanderschaltung von Heizkreisen plus Wärmepumpe

Anstelle der hydraulischen Weiche nach Abb. 2 wird für die neu zum Patent angemeldete Schaltung ein weiterer Puffer nach Abb. 4 verwendet. Im Winter-Betrieb ist dieser Puffer immer wärmer als der Puffer der nachgeschalteten WW-Vorwärmung.

Zwischen diesen beiden Puffern wird eine Wärmepumpe geschaltet. Die Wärmepumpe entzieht dem kälteren Puffer Energie und transportiert sie zum wärmeren Puffer. Aus dem wärmeren Puffer wird die Fußbodenheizung versorgt.

Im Ergebnis vergrößert sich das ΔT der Übergabestation. Bei Versorgung mit Geothermie führt die Vergrößerung von ΔT in direkter Folge zu einer Effizienzsteigerung. Bei Netzen, bei denen die Geothermie nur eine Teillast bereitstellen kann, sollten die dezentralen Wärmepumpen immer dann laufen, wenn die Grundlast nicht mehr durch Geothermie gedeckt werden kann. Die Wärmepumpen heben die Temperatur ausgehend von ca. 20°C auf ca. 35 °C. Damit laufen die Wärmepumpen nahe den optimalen Betriebspunkten bei COP \approx 9, bzw. EER \approx 8, siehe Abb.5.

Das heißt:

Mit 1 kWh Strom werden 8 kWh mehr Wärme aus der Erde geholt, wobei dem Kunden 9 kWh Wärme verkauft werden können.

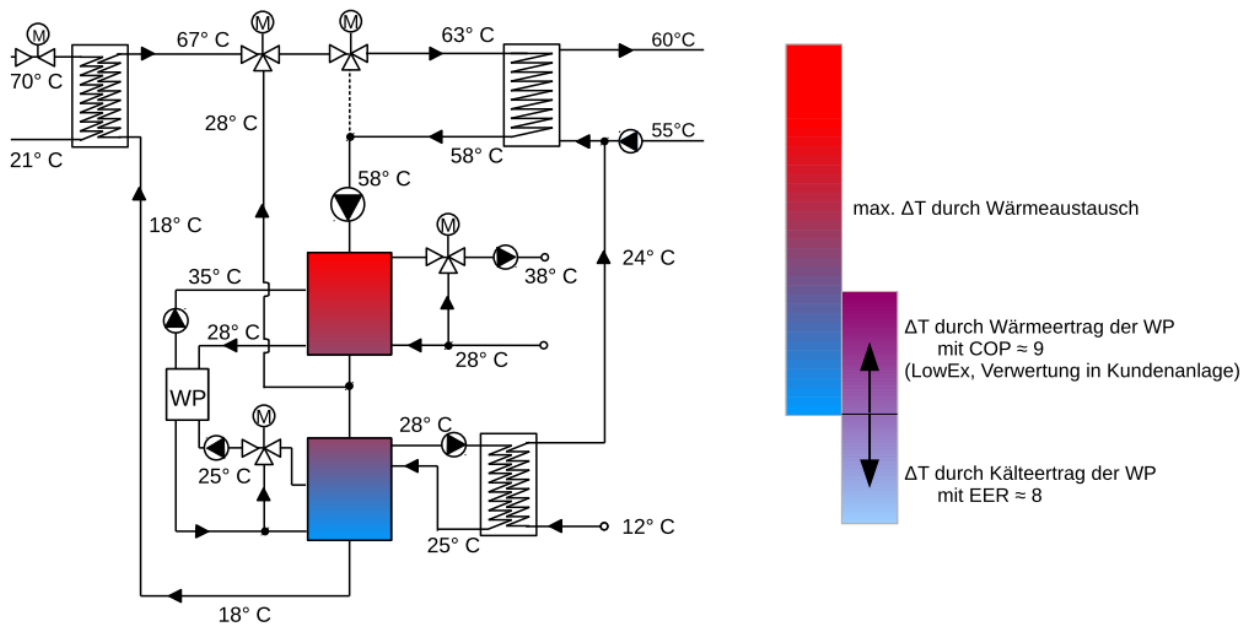


Abb. 4: Hintereinanderschaltung von 3 Heizkreisen + Wärmepumpe

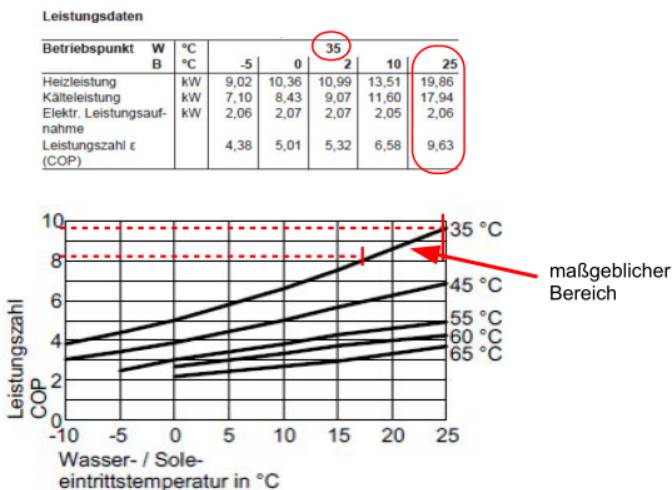


Abb. 5: typische Kennlinie von Wasser-Wasser-Wärmepumpen

2.5 Hintereinanderschaltung von Heizkreisen plus Wärmepumpe zur kältetechnischen Nachnutzung

Möchte man Kunden im Sommer mit Kälte versorgen, so bietet sich die Schaltung nach Abb. 6 an. Sie ist dafür ausgelegt, im Sommer möglichst niedrige Rücklauftemperaturen zu erreichen. Die Temperatur im kalten Puffer wird für eine kältetechnische Nachnutzung beispielsweise auf 4° C abgekühlt. Die Abwärme geht in die Warmwasserbereitung. In diesem Fall liegen die Faktoren immer noch sehr günstig bei COP > 6 und EER > 5.

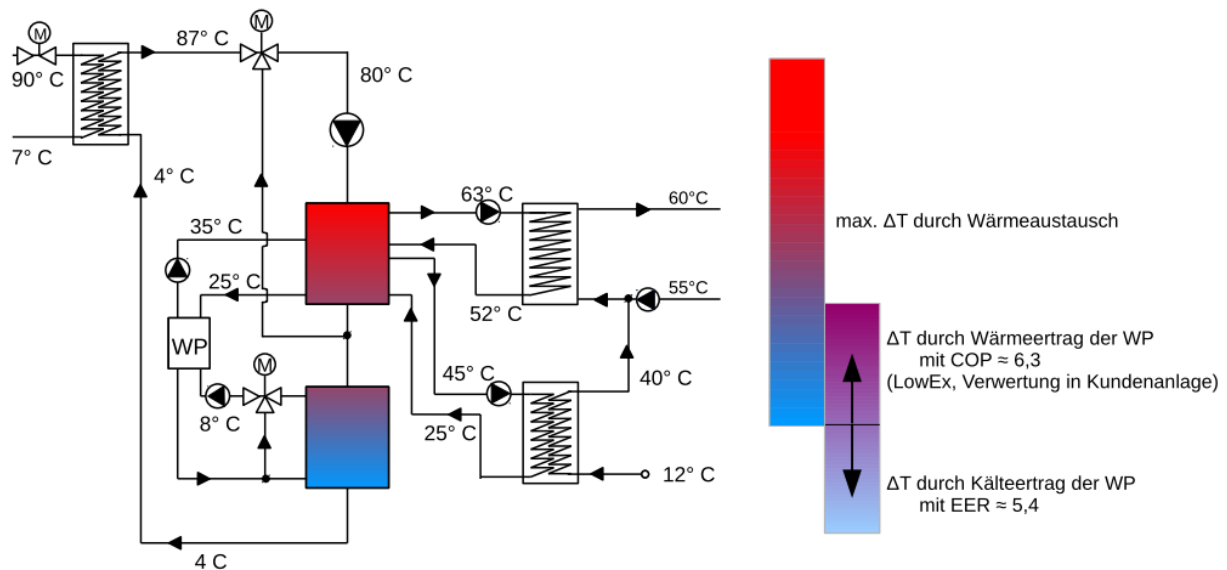


Abb. 6: Hintereinanderschaltung von 3 Heizkreisen + Wärmepumpe zur kältetechnischen Nachnutzung

Die großen Vorteil sind:

- es gibt keine Abwärme und
- effektive Kälteerzeugung, sehr guter Wert für EER

Nach der kältetechnischen Nutzung kann das wieder etwas erwärmte Wasser mit einem immer noch hervorragend niedrigen Rücklauftemperaturwert von z.B. 15° C zurückgegeben werden.

2.6 Hintereinanderschaltung von Heizkreisen plus hydraulischer Druckluftspeicher

Die Fa. 2-4 energy hat ein völlig neues Konzept entwickelt und zum Patent angemeldet, um Strom in Form von Druckluft zu speichern und aus Druckluft wieder Strom zu erzeugen (1). Die Verpressung der Luft erfolgt nicht wie bisher üblich mit Schraubenkompressoren, sondern über Hydraulikzylinder. Diese Art der Verpressung liefert erheblich weniger Wärmeverluste. Auch die Entspannung der Pressluft erfolgt nicht wie bisher üblich. Bei den bisherigen Verfahren wird die Luft über Düsen auf Druckluftmotoren geleitet. Nachteilig dabei ist, dass die Luft zuvor erhitzt werden muss, um eine Eisbildung an den Düsen vorzubeugen. Die Fa. 2-4 energy leitet die ausströmende Pressluft in parallel und in Kaskaden angeordneten Hydraulikzylindern und trifft damit auf eine relativ große Fläche, was einer Eisbildung entgegenwirkt. Die Hydraulikzylinder pressen in der Folge Öl durch einen Hydraulikmotor, welcher wiederum einen Generator zur Stromerzeugung antreibt. In der Gesamtbetrachtung arbeitet der hydraulisch/pneumatische Druckluftspeicher wie eine Wärmepumpe. Wenn Luft verpresst wird, entsteht Wärme, wenn die Luft entspannt, entsteht Kälte.

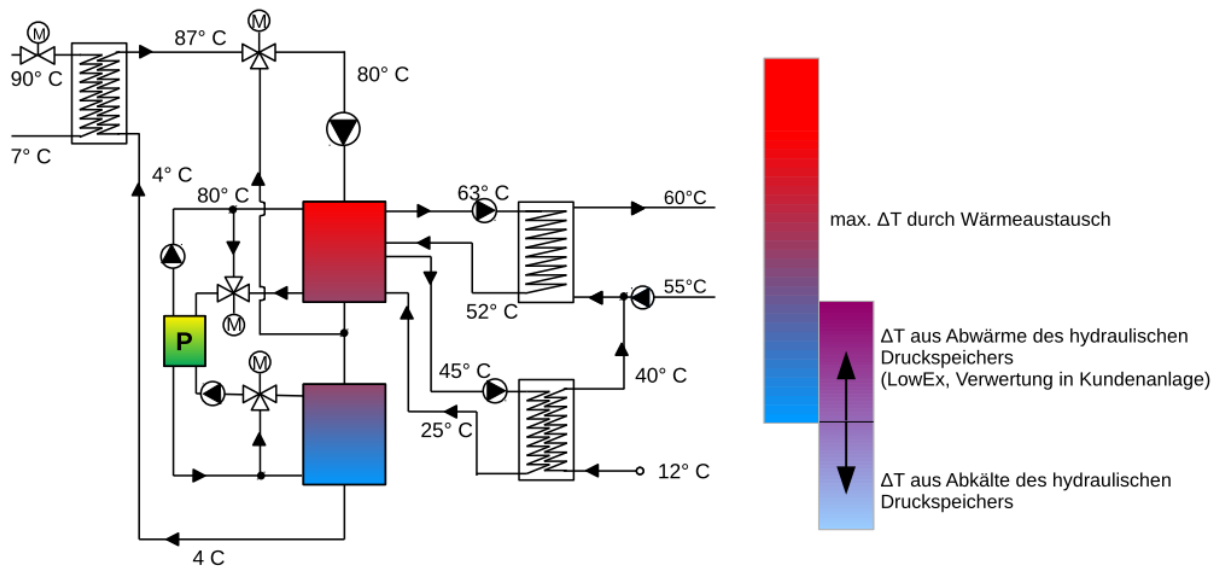


Abb. 7: Hintereinanderschaltung von 3 Heizkreisen + hydraulischer Druckluftspeicher

Unsere Schaltung hat die Eigenschaft, sowohl die Wärme, als auch die Kälte analog Kapitel 2.4 und 2.5 nutzbar zu machen.

Der hydraulisch/pneumatischen Druckluftspeicher ist derzeit noch in der Entwicklungsphase. Eine Pilotanlage ist bereits erfolgreich in Betrieb. Die Fa. 2-4 energy sucht nach einem Industriepartner, der die Serienfertigung der Anlage in Angriff nimmt.

2.7 Power-to-Heat, Power-to-Cool

Ein Netz mit vielen Unterstationen mit jeweils einer Wärmepumpe, jeweils einem warmen Puffer und jeweils einem kalten Puffer kann über ZLT als Schwarmspeicherkraftwerk zusammengeschaltet und gesteuert werden. Es besteht die Möglichkeit Überschussstrom als Wärme oder Kälte zu speichern oder vorausschauend Spitzen aus Wärme oder Kälte auszugleichen. Zur kältetechnischen Nachnutzung in einem Netz wird eine zweite sehr kalte Rücklaufleitung gelegt. Aus dieser zweiten Rücklaufleitung kann Kälte zentral ausgekoppelt werden oder Kälteabnehmer werden direkt an diese Leitung im Kältevorlauf angeschlossen.

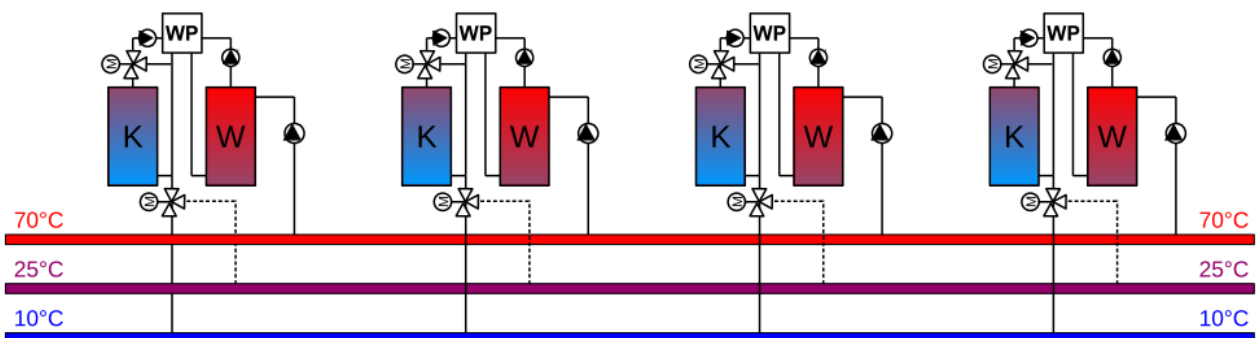


Abb. 8: Übergabestationen mit Wärmepumpen als Schwarmspeicher für Power-to-Heat und Power-to-Cool

Bei Strommangel bzw. bei zu hohem Strompreis wird die Wärmepumpe abgeschaltet. Die Schaltung liefert weiterhin gute Werte durch die Hintereinanderschaltung der Heizkreise.

Grundsätzlich ist es möglich, dass entweder der Kunde oder auch der Netzbetreiber als Investor für die Wärmepumpe auftritt. Prinzipiell sind beide Modelle möglich, die derzeitige Rechtslage hat dafür noch keine Regelungen geschaffen, siehe Kapitel 3.

Sehr geringe Rücklauftemperaturen müssen selbstverständlich prämiert werden, sonst wird kein Kunde eine Wärmepumpe einbauen. Derzeit müssen dafür Einzelverträge formuliert werden.

2.8 Power-to-Heat, Power-to-Cool, Power-to-Pressure, Pressure-to-Power

Bei Verwendung des hydraulisch/pneumatischen Druckluftspeichers anstelle der Wärmepumpe wird das Schwarm-speicher-kraftwerk sehr wertvoll ergänzt.

Immer wenn Strom in Druckluftenergie gespeichert wird, fällt Wärme an. Diese Wärme kann im warmen Puffer gespeichert oder bei Bedarf als Wärme im Haus verbraucht werden.

Immer wenn Strom aus Druckluftenergie erzeugt wird, fällt Kälte an. Diese Kälte kann im kalten Puffer gespeichert werden und führt bei Bedarf zur Vergrößerung des ΔT und damit zur Effizienzsteigerung der Geothermie. Zudem kann die Kälte analog zu Kapitel 2.7 zur kältetechnischen Nachnutzung über eine zweite sehr kalte Rücklaufleitung geleitet werden.

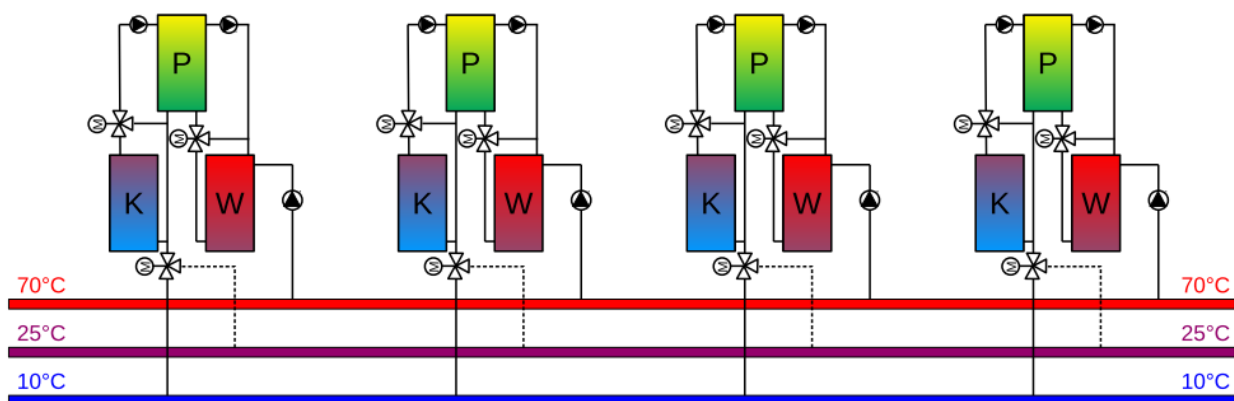


Abb. 9: Übergabestationen mit hydraulisch/pneumatischen Druckluftspeicher als Schwarm-speicher-kraftwerk für Power-to-Heat, Power-to-Cool, Power-to-Pressure, Pressure-to-Power

3. Forderung an den Gesetzgeber und an die Netzbetreiber

Derzeit darf in Deutschland die Wärme nur nach der gelieferten Wärmemenge abgerechnet werden. Das Temperaturniveau der Wärmeabgabe spielt dafür leider keine Rolle. Die heute verfügbare Messtechnik könnte sinnvollere Abrechnungsmodelle unterstützen, das Eichrecht und die AVBFernwärmeV steht dem leider entgegen, bzw. hinken der Entwicklung hinterher.

Dazu kommt, dass die meisten Netzbetreiber in Deutschland bei der Berechnung des Grundpreises ein völlig überholtes Instrument benutzen. In den TAB's wird ein Max-Wert für Rücklauftemperatur festgelegt. Die Kunden werden aufgefordert diesen Max-Wert zu jeder Zeit einzuhalten. Das Potential für eine noch höhere Energieeffizienz wird nicht gesehen.

Die Rücklauftemperaturen liegen in Deutschland viel zu hoch, die durchschnittlichen Werte liegen über 60° C (2).

Es ist offensichtlich, dass ein neues und wirksames Instrument geschaffen werden muss. Für den Kunden muss ein Anreiz geschaffen werden, die gelieferte Wassermenge jederzeit möglichst weit abzukühlen. Wir schlagen die Einführung eines Faktors vor, der über einen bestimmten Zeitraum die Energieausbeute aus einer gelieferten Wassermenge bemisst. Wir nennen ihn den Effizienzfaktor, er kann bereits heute an jedem Wärmemengenzähler per Stichtag abgelesen werden:

$$\text{Effizienzfaktor} = \frac{\text{gelieferte Wärmemenge [kWh]}}{\text{gelieferte Wassermenge [m}^3\text{]}}$$

Dieser Effizienzfaktor könnte und sollte verwendet werden für Rückvergütungen an Investoren, für die Grundpreisberechnung und auch für die Arbeitspreisberechnung. Dieser Wert sollte in allen Nah- und Fernwärmenetzen, insbesondere in LowEx-Netzen und ganz besonders bei Geothermienetzen Verwendung finden.

Es ist zu hoffen, dass der Gesetzgeber möglichst schnell die Rahmenbedingungen dafür schafft. Bis dahin können natürlich Einzelvereinbarungen zwischen Kunden und Netzbetreiber getroffen werden, dies gilt für alle von uns vorgestellten Schaltungsvarianten.

4. Ergebnis

Die Energiewende kann in Deutschland nur gelingen, wenn wir neue Wege gehen und alte Zöpfe abschneiden. Hierfür sollte ein einfacher Leitsatz gelten:

„Wir müssen gemeinsam an einem Strang ziehen – und wichtig – in die gleiche Richtung!“

Quellenangaben:

(1) Heiko Schwarzburger, Photovoltaikmagazin, 07-08/2019, *Ökostrom aus 300 bar*, Seite 70 – 74

(2) SWM Infrastruktur GmbH & Co. KG: *Wie kann das bislang zur Verteilung von KWK-Wärme genutzte Fernwärmenetz der SWM tauglich gemacht werden für die zukünftige Einspeisung aus Geothermieanlagen*, 28.11.16, Seite 19

verantwortlicher Autor:

Schneider Franz Dipl.-Ing.(FH), IB Schneider, Pöhlmannstr. 5, 80687 München
Email: schneider@schneider-muenchen.de

Herstellernachweis:

Fa. Bälz & Sohn GmbH & Co. Büro München, Bäckerstr. 22, 81241 München
Email: muenchen@baelz.de

Fa. Stolz Fernwärmeservice GmbH, Alte Landstr. 42, 72072 Tübingen
Email: anfrage@stolz-fernwaerme.de

Fa. 2-4 energy UG, St. Antoniusstr. 6, 86495 Eurasburg
Email: info@druckluftspeicher.net