

Wärmepumpen- und Kältetechnik IV

Systeme Stand 2007

Kunz - Beratungen

Peter Kunz

Fuchshalde 15

8305 Dietlikon

Tel. 01 833 08 07

Fax. 01 833 79 65

Email info@kunz-beratungen.ch

Page www.kunz-beratungen.ch

Inhaltsverzeichnis

1 Speicher.....	3
1.1 Warmwasserspeicher	3
1.2 Kaltwasserspeicher.....	10
1.3 Eisspeicher	12
1.4 Technische Speicher	16
1.5 Energiespeicher	16
2 Wärmezufuhr zum Verdampfer.....	17
2.1 Luft.....	17
2.2 Wasser.....	18
2.3 Sole.....	18
2.4 Erde	19
2.5 Abwärme	22
3 Wärmeabgabe vom Kondensator	23
3.1 LUFT	23
3.2 Wasser.....	23
3.3 Verdunstung	24
4 Regelung.....	29
4.1 Was wird wo geregelt?	29
5 Verbundsysteme	30
6 Offene thermodynamische Verfahren der Kälteerzeugung.....	30
6.1 Verdunstungskühlung	30
6.2 Die „adiabatische“ Kühlung.....	30
6.3 Die freie Kühlung.....	31
7 Anhang.....	34
7.1 Definitionen zu Wärmepumpenheizungsanlagen WPHA.....	34
7.2 Standartschaltungen für Wärmepumpenheizungsanlagen WPHA.....	35

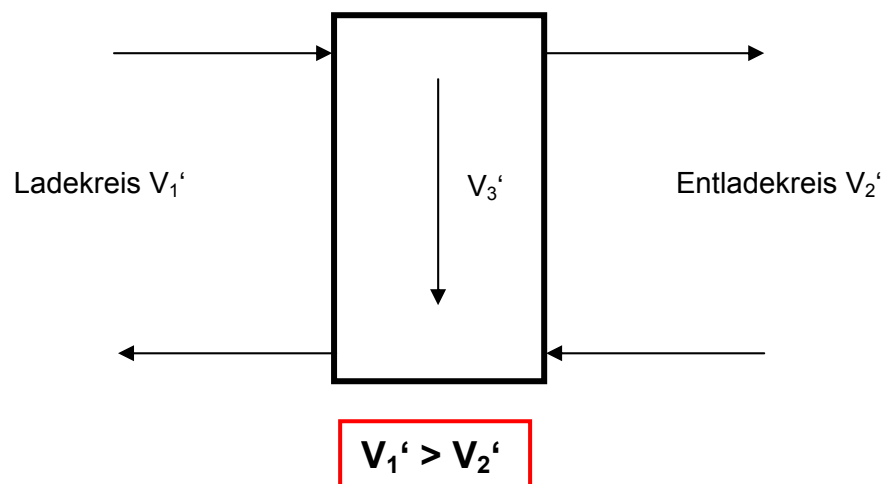
1 Speicher

Speicher können aus folgenden Gründen notwendig sein:

- Der Wärmebedarf des Gebäudes und die Wärmeerzeugung der Wärmepumpe sind gegenläufig. Die Folge ist ein häufiges Schalten im Teillastbetrieb.
- Bei tariflich vereinbarten Sperrzeiten muss die Wärmelieferung aufrecht erhalten bleiben.
- Der Kältebedarf des Gebäudes und die Kälteerzeugung der Kältemaschine sind gegenläufig. Die Folge ist ein häufiges Schalten im Teillastbetrieb.

1.1 Warmwasserspeicher

Grundsätzlich sollten Wasserspeicher (Energiespeicher und technische Speicher) als parallele Entkopplungsspeicher ausgelegt werden.



Es sind zwei Betriebsarten bei Wärmepumpen möglich:

- Ladekreis ist in Betrieb. Der Speicher wird geladen durch:

$$V_3' = V_1' - V_2'$$

- Ladekreis ist nicht in Betrieb. Der Speicher wird entladen durch:

$$V_3' = -V_2'$$

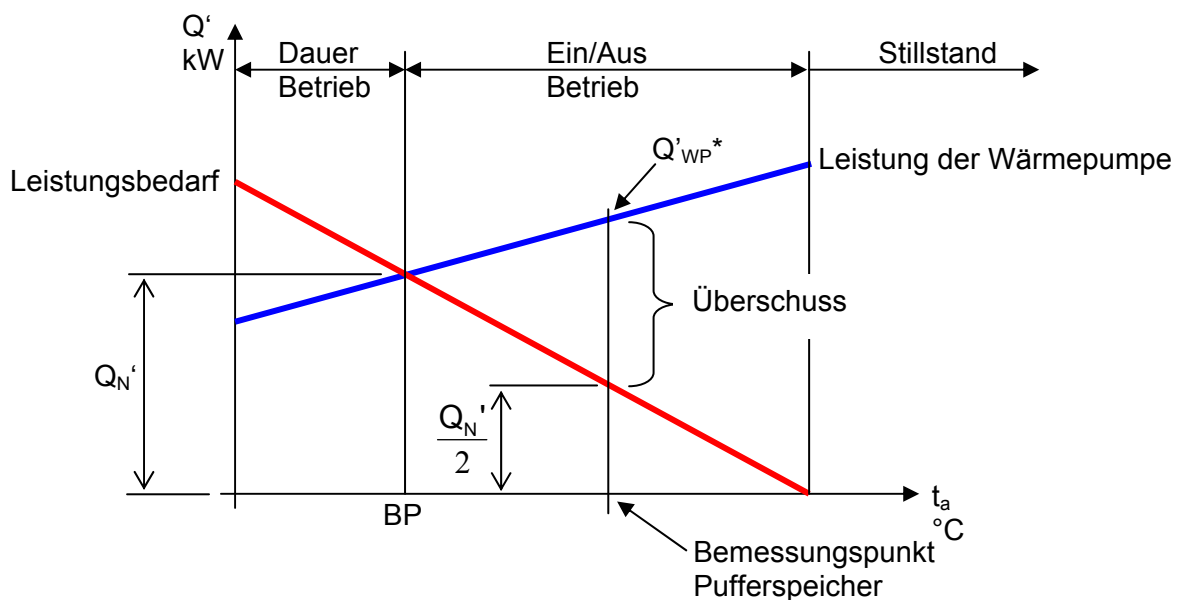
Auslegungsprinzip 1 für technische Speicher:

Der Speicher muss die Energie speichern, die während dem Ladebetrieb dem Speicher zu- strömt.

Kein Speicher ist erforderlich, wenn:

$$\boxed{Q' \geq Q_{WP}'} \quad \text{oder} \quad \boxed{Q' = 0}$$

Der Bemessungspunkt ist:



Die Wärmeabgabe der Wärmepumpe in kWh ist:

$$\boxed{Q_{WP} = Q'_{WP}^* \cdot t} \quad \text{kWh}$$

t = Einschaltdauer

Die Wärmeabgabe an die Heizung während der Einschaltdauer ist:

$$\boxed{Q = \frac{Q_{N}'}{2} \cdot t} \quad \text{kWh}$$

Q_{N}' = Leistungsbedarf am Bivalenzpunkt in kW

Die Überschusswärme beträgt dann:

$$Q_{SP} = t \cdot \left(Q'_{WP} * - \frac{Q_N'}{2} \right) \quad \text{kWh}$$

Die Einschaltdauer der Wärmepumpe im Bemessungspunkt des Speichers berechnet sich wie folgt:

**Während der Regelperiode von der Wärmepumpe geförderte Wärme
 = Wärmebedarf des Gebäudes während der Regelperiode**

Die Regelperiode beträgt normalerweise 20 Minuten, da die Einschalthäufigkeit einer Wärmepumpe drei Schaltvorgänge pro Stunde nicht überschreiten sollte.

Damit berechnet sich die Speichergrosse wie folgt:

$$Q'_{WP} * \cdot t = \frac{Q_N'}{2} \cdot t_p \quad \text{kWh}$$

t_p = Regelperiode in h

$$t = \frac{Q_N' \cdot t_p}{Q'_{WP} * \cdot 2} \quad \text{h}$$

$$Q_{SP} = t_p \cdot \frac{Q_N'}{2} \cdot \left(1 - \frac{Q_N'}{Q'_{WP} * \cdot 2} \right) \quad \text{kWh}$$

Nutzbares Speichervolumen:

$$V = \frac{Q_N' \cdot t_p \cdot 3600}{2 \cdot \rho \cdot c_{pm} \cdot \Delta t} \cdot \left(1 - \frac{Q_N'}{Q'_{WP} * \cdot 2} \right) \quad \text{lt (Liter)}$$

ρ in kg/dm^3

Δt = Differenz zwischen t_v und t_R am Bemessungspunkt des Speichers

Auslegungsprinzip 2 für Energiespeicher zur Überbrückung von Sperrzeiten:

Dieses Auslegungsprinzip gilt immer, wenn der Speicher zur Überbrückung von Sperrzeiten eingebaut wird.

Der Speicher muss während der Freigabezeit eine höhere Heizleistung als bei Dauerbetrieb erbringen, um das Wärmedefizit der Sperrzeiten zu kompensieren.

Die Heizleistung der Wärmepumpe im Bemessungspunkt bzw. Bivalenzpunkt wird dann:

$$Q'_{WP} = \frac{t_d}{t_f} \cdot Q_N' \quad \text{kW}$$

t_d = Tagesstundenzahl (24 h)

t_f = Freigabedauer während eines Tages (24 Stunden – Sperrdauer)

Q_N' = Wärmebedarf im Bemessungspunkt der Wärmepumpe

Die maximal zu speichernde Wärme entspricht dem grössten Wärmefehlbetrag, der sich im Laufe eines Tages zwischen der Ladeenergie und Entladeenergie einstellt. Dies ist im Bemessungspunkt der Wärmepumpe der Fall. Die zu speichernde Wärme ist dann:

$$Q_{SP} = \sum_{T_1}^{T_2} (Q'_{WP} - Q_N') \cdot (T_2 - T_1) \quad \text{kWh}$$

T_1 = Beginn der Betriebsunterbrechung

T_2 = Ende der Betriebsunterbrechung

Die zu speichernde Energie Q_{SP} kann auch auf einfache Weise mit einem Histogramm ermittelt werden. Dabei wird für einen 24-Stunden-Tag der Wärmebedarf stündlich als Balken dargestellt. Ebenso wird die Wärmepumpenleistung stündlich eingezeichnet.

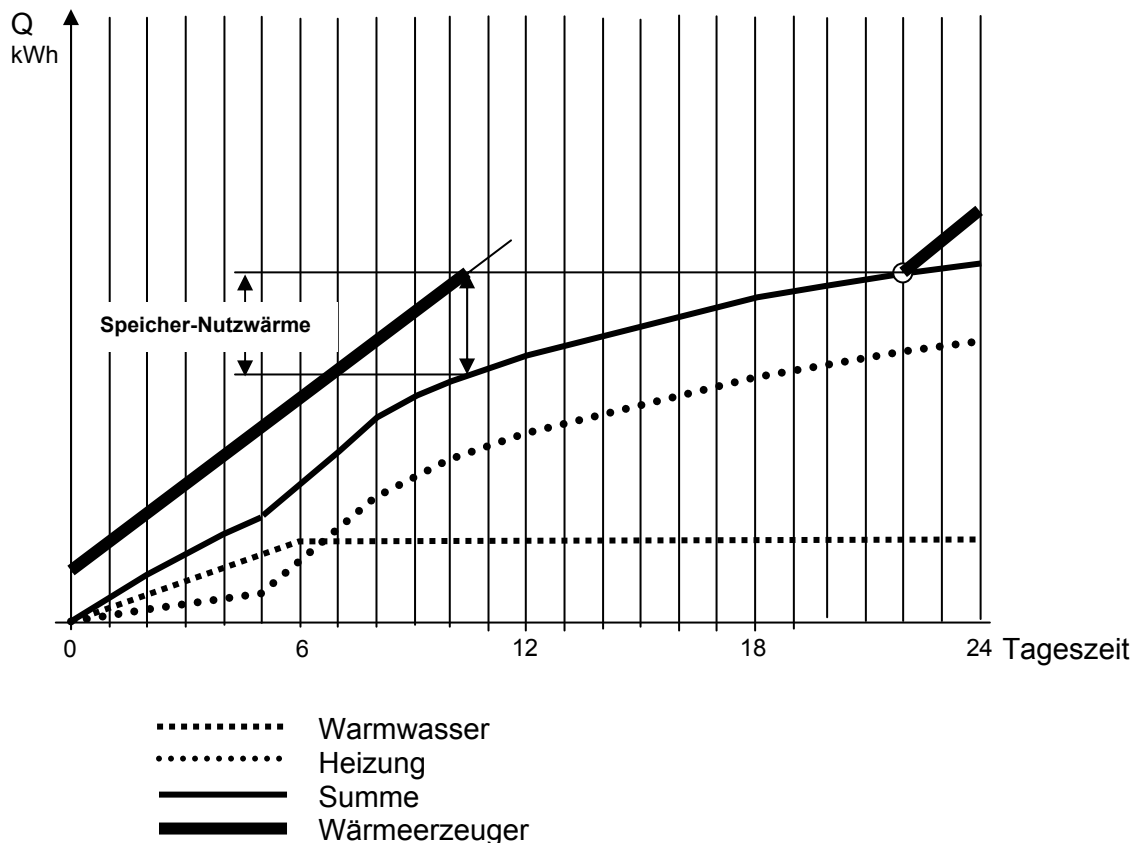
Das Speichervolumen wird dann:

$$V = \frac{Q_{SP} \cdot 3600}{\rho \cdot c_{pm} \cdot \Delta t} - V_H \quad \text{lt(Liter)}$$

V_H = In Wasservolumen umgerechnetes Speichervermögen der Heizungsanlage

Bestimmung des **Energiespeicher-Volumens** infolge einer gegebenen Wärmeerzeugerleistung mit Hilfe des Lastsummen-Diagramms:
 Das nötige Speichervolumen kann grafisch bestimmt werden. Dazu müssen sowohl die Wärmeerzeugerleistung, wie auch die Lasten bekannt sein.

1. Als erstes wird das Summendiagramm aufgezeichnet.

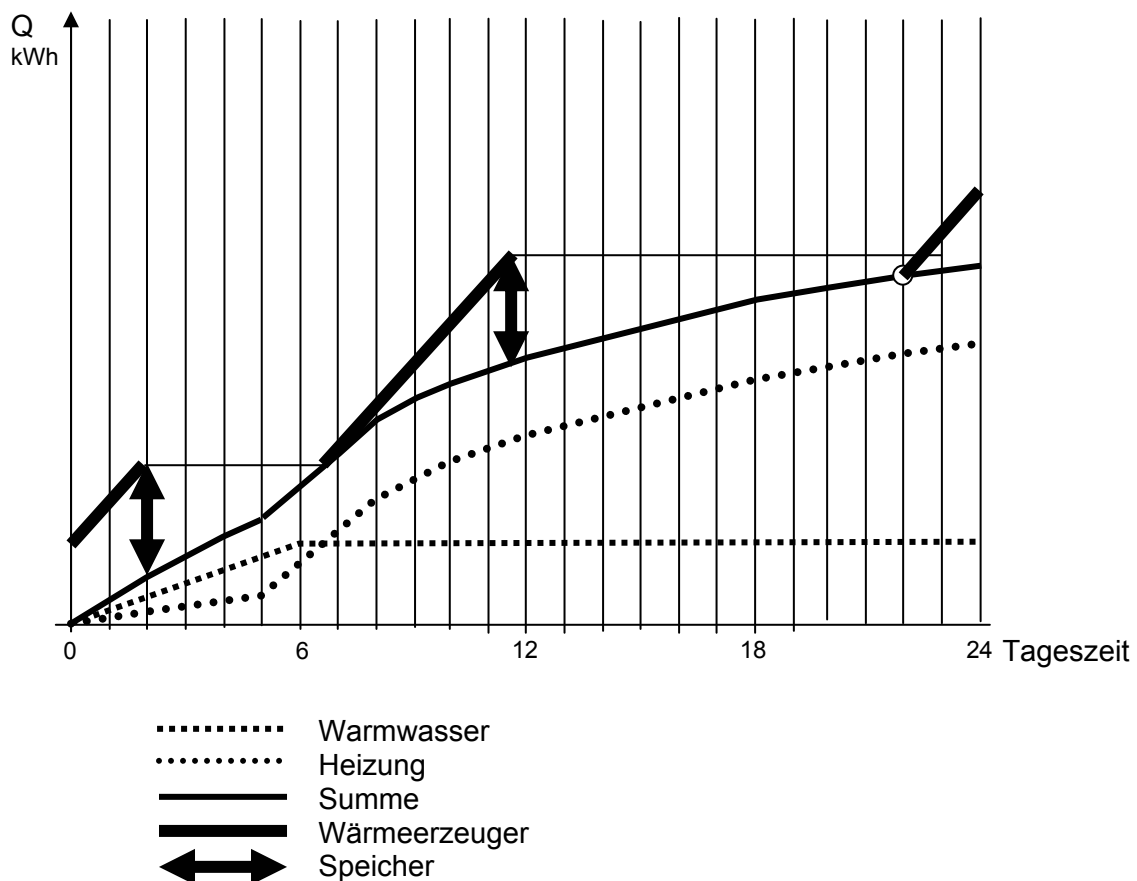


2. Der Startpunkt als Ladebeginn wird bestimmt (im Beispiel 22.00 Uhr).
3. Die Wärmeerzeugung wird ab Startpunkt eingezeichnet.
4. Die Überschussenergie um 24.00 Uhr wird auf 0.00 Uhr übertragen.
5. Die Wärmeerzeugung wird ab 0.00 Uhr eingezeichnet. Hier müssen möglicherweise auch Sperrzeiten berücksichtigt werden, während denen die Wärmeerzeugung ausbleibt.
6. Die Speicher-Nutzwärme bestimmen.

Diese Auslegungsart eignet sich vor allem auch für die Nutzung von Niedertarifzeiten zur Nachtladung von Wärmespeichern.

Bestimmung der **Wärmeerzeugerleistung** infolge eines gegebenen Speichervolumens:
 Die Wärmeerzeugerleistung kann grafisch bestimmt werden. Dazu müssen sowohl das Speichervolumen, wie auch die Lasten bekannt sein.

1. Als erstes wird das Summendiagramm aufgezeichnet.

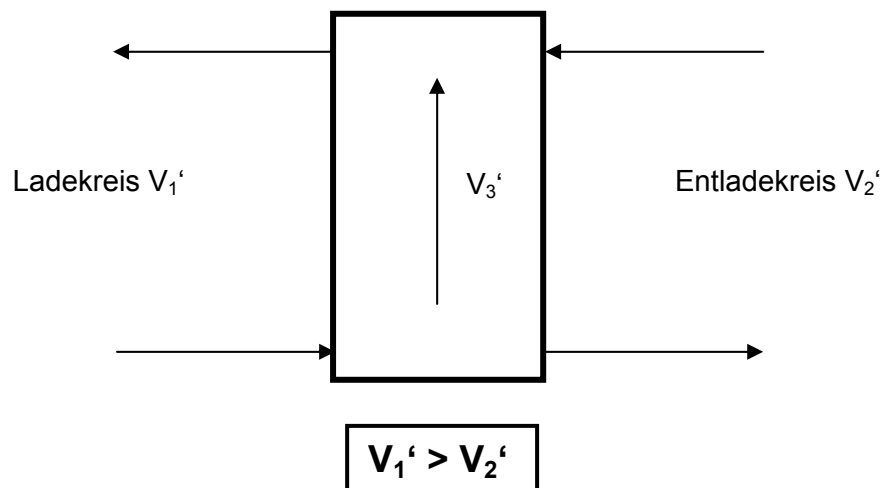


2. Der Startpunkt als Ladebeginn wird bestimmt (im Beispiel 22.00 Uhr).
3. Die Wärmeerzeugung wird ab Startpunkt eingezeichnet.
4. Die Überschussenergie um 24.00 Uhr wird auf 0.00 Uhr übertragen.
5. Die Wärmeerzeugung wird ab 0.00 Uhr eingezeichnet, bis die Differenz zur Summenkurve der Speicherenergie entspricht.
6. Horizontale nach rechts eintragen bis zum Schnittpunkt der Summenkurve.
7. Dieser Vorgang ist zu wiederholen für den ganzen Tag. Hier müssen möglicherweise auch Sperrzeiten berücksichtigt werden, während denen die Wärmeerzeugung ausbleibt.

1.2 Kaltwasserspeicher

Grundsätzlich gilt bei der Auslegung dasselbe, wie bei den Warmwasserspeichern.

Die Kaltwasserspeicher sollten als parallele Entkopplungsspeicher, oder als in Serie geschaltete Reihenspufferspeicher, ausgelegt werden.



Die Speicherdichte:

Als Speicherdichte bezeichnet man die gespeicherte Energie pro m^3 Speichervolumen.

Die Speicherdichte eines Kaltwasserspeichers ist wesentlich kleiner, als diejenige eines Eisspeichers.

Wasser 6/12 °C:

$$q = \rho \cdot c_{pm} \cdot \Delta t = \frac{1000 \cdot 4,19 \cdot 6}{3600} = 7 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}$$

Eis:

$$q = \rho \cdot s = \frac{916 \cdot 332}{3600} = 84,5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}$$

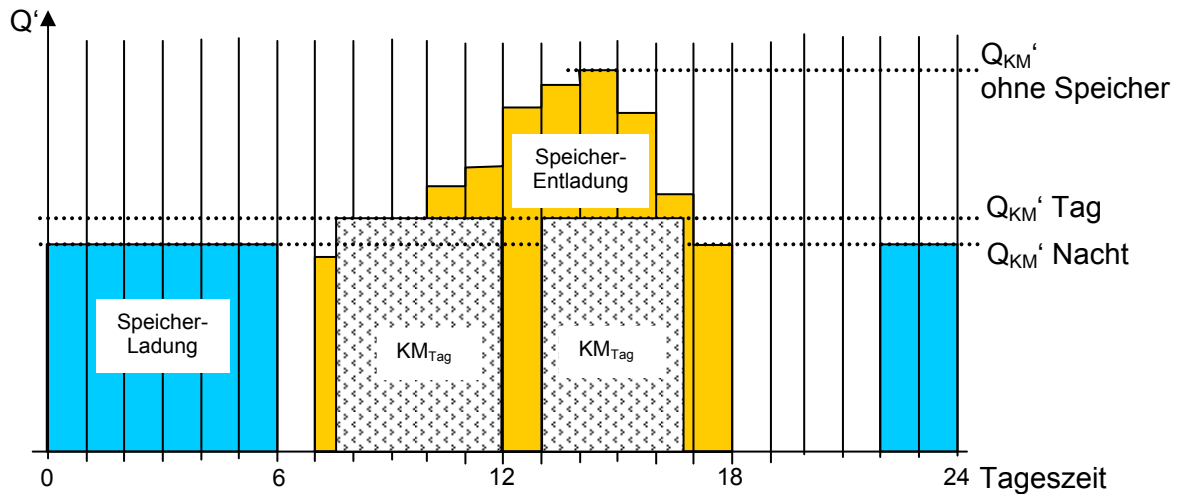
Die theoretische Speicherdichte eines Eisspeichers ist also 12-mal grösser, als diejenige eines Kaltwasserspeichers.

In der Praxis kann etwa mit dem Faktor 7 bis 8 gerechnet werden, also mit einer Eisspeicherdichte von ca. 45 bis 55 kWh/m³.

Die Eisspeicherdichte ist fabrikatabhängig und muss vom Lieferanten angegeben werden.

Speicherdimensionierung:

Als Grundlage für die Dimensionierung einer Speicheranlage ist es vorteilhaft ein Histogramm der benötigten Kälteleistung während eines Spitzentages zu erstellen.



Die Fläche über der Betriebszeit stellt den Energiebedarf für diesen Tag dar. Diese Energie wird durch die Kältemaschine und den Speicher geliefert.

Der Kältespeicher wird in der Regel in der Nacht geladen. Über Mittag kann die KM durch das EW gesperrt werden. Die Tarifordnungen werden aber in Zukunft sicher ändern (Liberalisierung des Strommarktes). So werden künftig (z.T. schon heute) individuelle Niedertarifeiten je nach regionalem Strombedarf freigegeben.

Tagesenergiebedarf:

$$Q = \sum_1^{24} Q' \cdot 1\text{Std} \quad \text{kWh}$$

oder
$$Q = Q_0' \cdot (t_B + f \cdot t_{Sp}) \quad \text{kWh}$$

- Q = Tagesenergiebedarf
- Q₀' = Kälteleistung der Kältemaschine
- t_B = Betriebszeit der Kälteanlage
- f = Leistungsfaktor (durch verändertes t₀ in der Nacht)
- t_{Sp} = Betriebsstunden im Ladebetrieb

Die notwendige Leistung der Kältemaschine ist dann:

$$Q_0' = \frac{Q}{t_B + f \cdot t_{Sp}} \quad \text{kW}$$

Damit lässt sich der folgende Anteil des Tagesenergiebedarfes direkt erzeugen:

$$Q_K = Q_0 \cdot t_B \quad \text{kWh}$$

Die verbleibende Differenz ist die zu speichernde Kälteenergie:

$$Q_{Sp} = Q - Q_0 \cdot t_B \quad \text{kWh}$$

Die Speichergrosse wird dann:

$$V_{Sp} = \frac{Q_{Sp}}{q}$$

q = Speicherdichte

1.3 Eisspeicher

Eisspeicher werden auch als Latentspeicher bezeichnet, da mit dem Latentspeicher die latente Wärme, also die Aggregats-Zustandsänderung des Speichermediums, genutzt wird.

Da Eisspeicher eine wesentlich höhere Speicherdichte aufweisen als Wasserspeicher, wird das notwendige Volumen kleiner. Deshalb werden in der Kältetechnik fast nur Eisspeicher als Energiespeicher eingesetzt.

Es muss aber beachtet werden, dass durch die tieferen Verdampfungstemperaturen, die während der Speicherladung für die Eisbildung nötig sind, die Verdampferleistung und natürlich auch die Leistungszahl empfindlich sinkt.

Ladesteuerung:

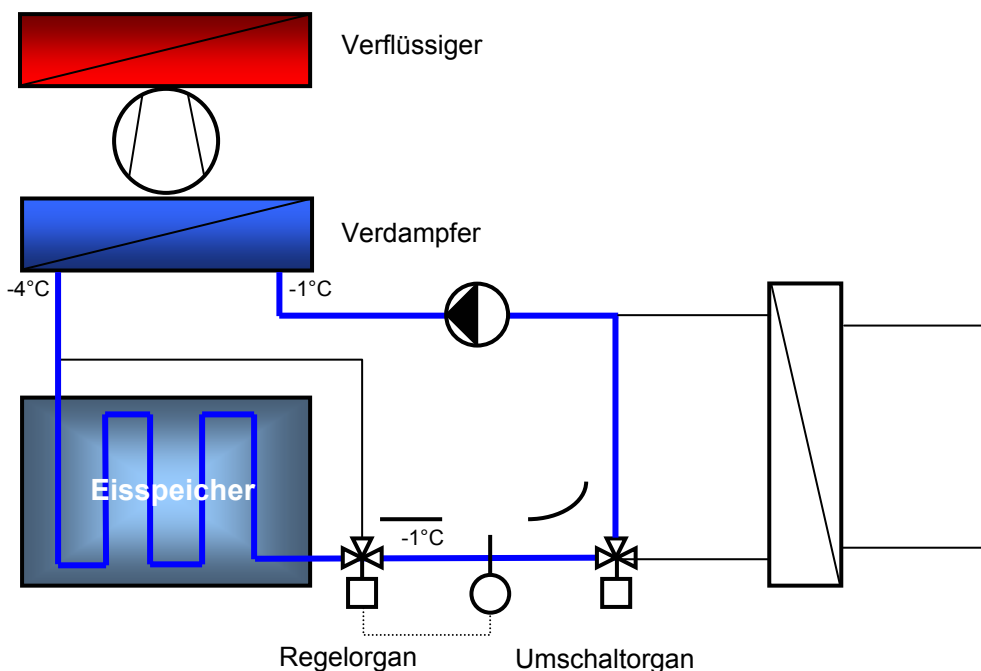
Es gibt auf dem Markt verschiedene Möglichkeiten, den Ladezustand eines Eisspeichers zu messen:

- Niveaumessung: Da sich der Wasserspiegel im Speicher bei der Eisbildung anhebt, kann das Wasserniveau als Ladezustands-Indikator dienen. Da aber immer wieder Wasser verdunstet, ist diese Messung mit Fehlern behaftet.
- Temperaturmessung im Rücklauf: Wenn der Eisspeicher annähernd durchgeladen ist, sinkt die Rücklauftemperatur ab, da der Kühlsole keine Energie mehr zugeführt wird. Mit einem Thermostaten im Rücklauf zur Kältemaschine lässt sich die Kältemaschine ausschalten, wenn der Speicher geladen ist.

Ladebetrieb:

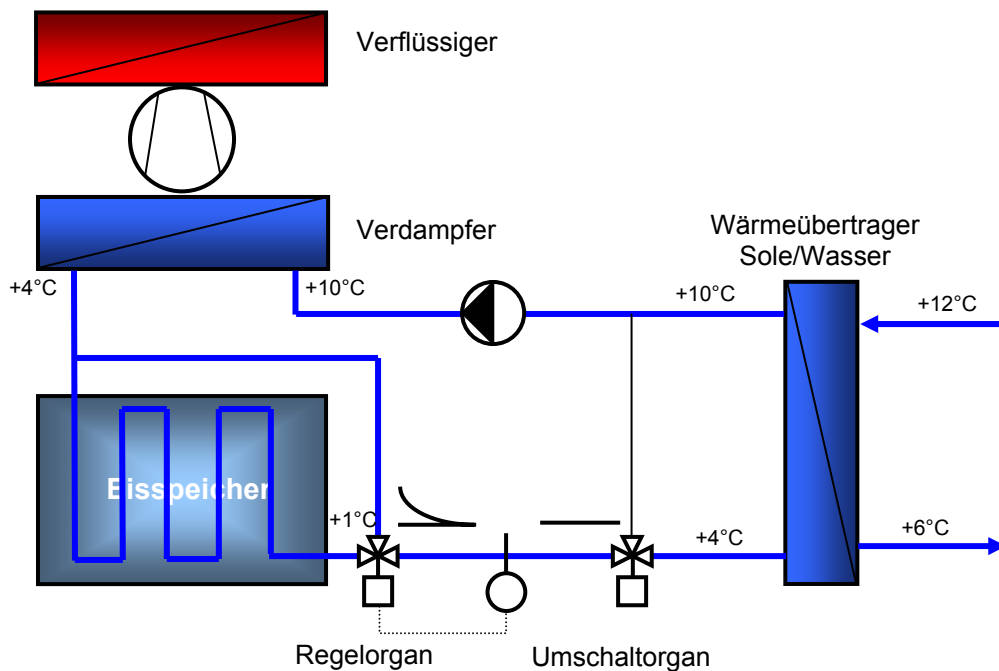
Das Kühlmittel wird für den Ladebetrieb auf Temperaturen unter dem Gefrierpunkt des Speichermediums (Wasser) gebracht. Damit ändert das Speichermedium den Aggregatzustand und der Speicher wird „geladen“. Dem Speichermedium wird die Verflüssigungswärme entzogen. Dies geschieht vor allem in Niedertarifzeiten.

Als Kühlmedium wird ein Frostschutzgemisch verwendet.



Entladebetrieb:

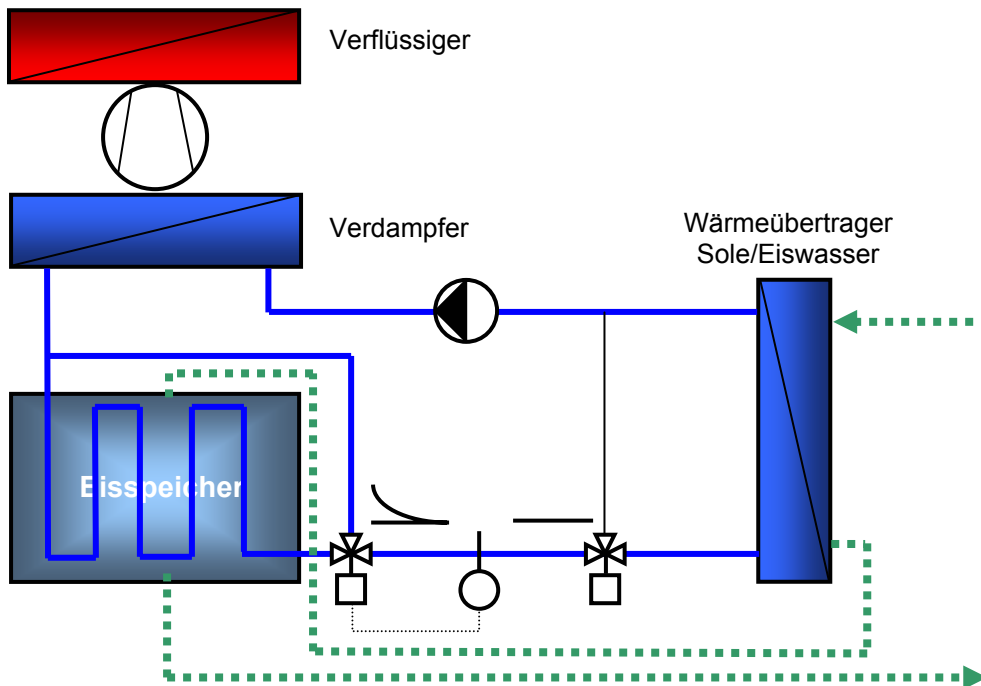
Das Rücklaufwasser wird im Verdampfer vorgekühlt und dem Speicher zugeführt. Dort wird dem Speichermedium die Schmelzwärme zugeführt, wodurch sich die Sole weiter abkühlt.



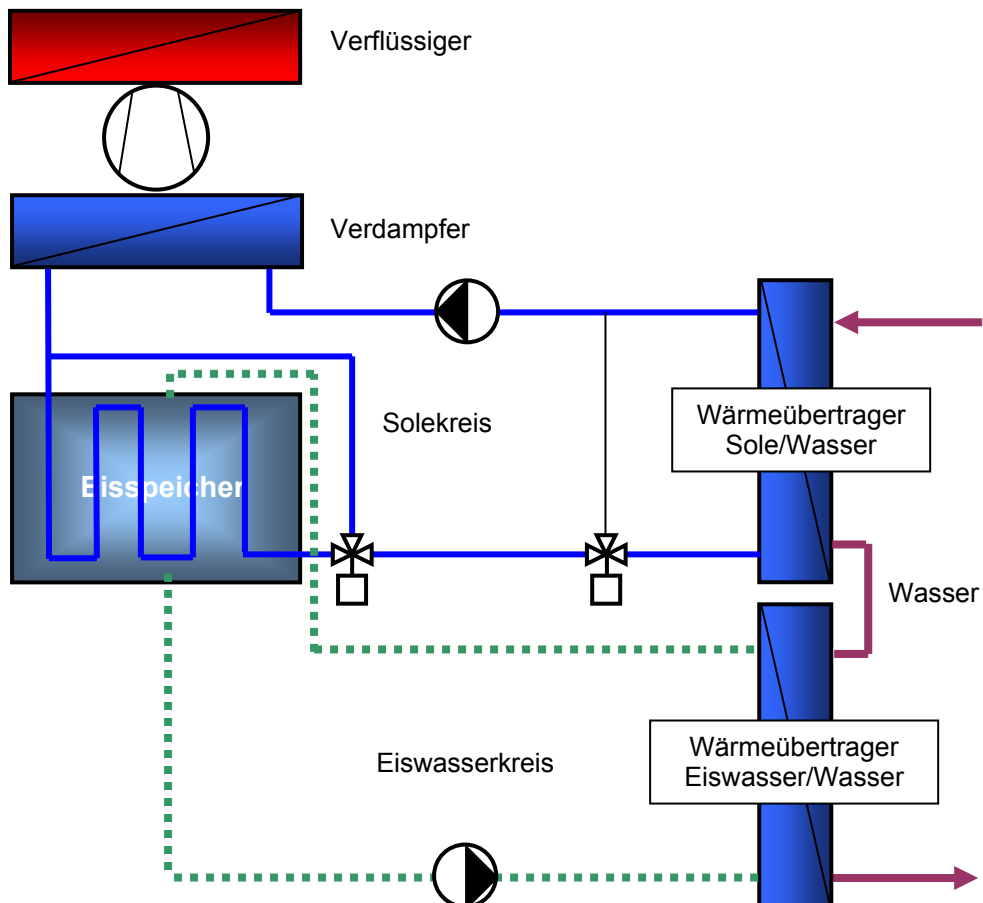
Der Speicher kann selbstverständlich auch ohne Vorkühlung betrieben werden.

Eisspeicher und Eiswasser

Variante mit Eiswasser im Sekundärkreislauf

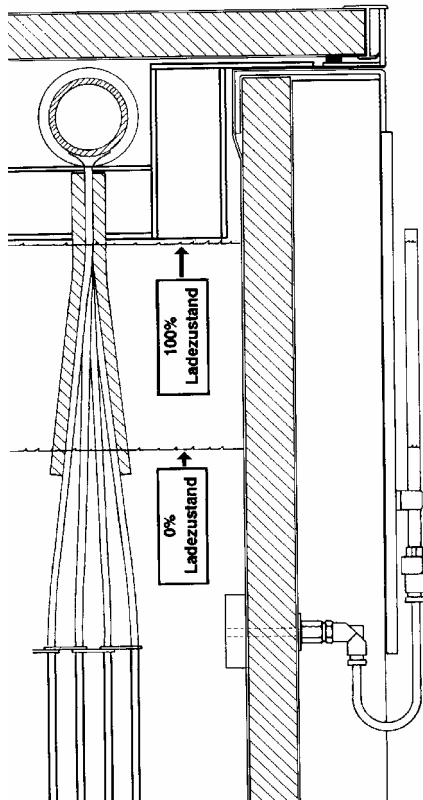


Variante mit Eiswasser-Zwischenkreis und Wasser im Sekundärkreis



Überwachung des Ladezustandes:

Da bei der Eisbildung Wasser verdrängt wird, kann der Wasserstand als Ladezustandsanzeige dienen. Mit einem Niveaurohr, das aussen am Speicher angebracht wird, kann so der aktuelle Speicherzustand dauernd angezeigt werden.



Diese Anzeige hat aber den Nachteil, dass Sie vom der aktuellen Wassermenge abhängt. Wenn z.B. Wasser verdunstet ist und damit zuwenig Wasser im Speicher ist, wird ein zu tiefer Ladezustand angezeigt.

Da Eisspeicher nicht „überladen“ werden dürfen, kann eine Fehl Anzeige zu Schäden führen.

Beispiel:

- Wasserinhalt 10550 Liter
- Ladung von +4°C auf -2°C

Ausdehnung bei vollständiger Eisbildung (theoretisch):

$$\Delta V = \frac{V_1 \cdot \rho_1}{\rho_2} = \frac{10550 \cdot 1000}{916} = 11517 \text{ Liter} = 109\%$$

Gemäss Angaben eines Herstellers:

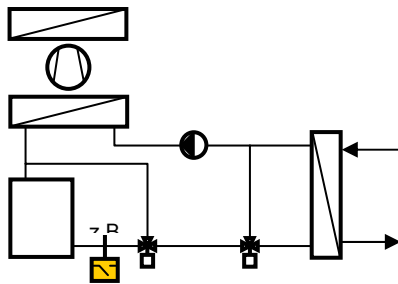
- Ladekapazität sensibel 50 kWh bei 10550 Liter

$$Q_{th} = \frac{10550 \cdot 1 \cdot 4,2 \cdot 4}{3600} = 49 \text{ kWh}$$

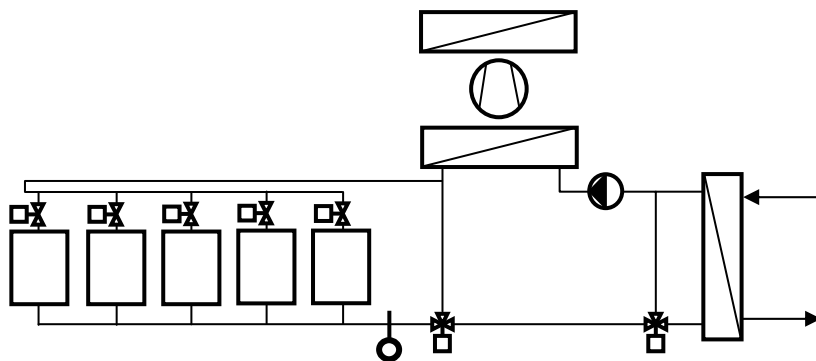
- Ladekapazität latent 480 kWh bei 10550 Liter

$$Q_{th} = \frac{10550 \cdot 332}{3600} = 973 \text{ kWh} \quad 480 \text{ kWh} = 49\%$$

Ladesteuerung:



Eine einfache und sichere Ladesteuerung kann mit einem Rücklaufthermostaten erreicht werden. Der Speicher wird dabei immer bis zur entsprechenden Rücklauftemperatur geladen. Die einzustellende Temperatur wird am einfachsten vor Ort ermittelt.



Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Soletemperatur nach den Eisspeichern zu messen und damit die Ladung und die Entladung der einzelnen Speicher zu steuern. Damit lassen sich auch die Prioritäten steuern, so dass die einzelnen Speicher auch regelmässig wieder entladen werden.

Die Gesamtladung kann damit verändert werden, dass nicht die volle Anzahl Speicher bewirtschaftet werden.

Der Wasserstand eines Eisspeichers eignet sich nicht als Indikator für den Ladezustand. Wenn die Wasser-Füllmenge des Eisspeichers nicht regelmässig eingestellt wird, führt dies zu Fehlladungen. Der Speicher wird dann „überladen“ und kann beschädigt werden, da das sich ausdehnende Eis den Behälter zerstören kann.

Eisspeicher werden nie voll durchgeladen. Um den notwendigen Wärmefluss von den Flüssigkeitsleitungen zum Eis zu ermöglichen, braucht es ein Eis-Wasser-Gemisch.

Bei der Dimensionierung eines Eisspeichers ist darauf zu achten, dass der maximal notwendige Wärmefluss eingehalten werden kann. Die maximale Eisspeicher-Entladung (dem Eisspeicher wird Wärme zugeführt) kann z.B. zwischen 12.00 Uhr und 13.00 Uhr entstehen, wenn die Kältemaschine durch das EW gesperrt wird.

1.4 Technische Speicher

Als technische Speicher werden Speicher bezeichnet, die lediglich eine Reduktion der Einschalthäufigkeit der Kältemaschine und der hydraulischen Entkoppelung dienen.

Die Kältemaschine sollte pro Stunde maximal 3 Ein- und Ausschaltungen erfahren.

1.5 Energiespeicher

Als Energiespeicher werden Speicher bezeichnet, die längere Unterbrüche in der Kälteerzeugung überbrücken sollen. Sie werden vor allem dazu eingesetzt, um möglichst die Niedertarifzeiten zur Kälteerzeugung zu nutzen.

Mit Energiespeichern können Hochtarif-Betriebsstunden reduziert und Sperrzeiten überbrückt werden.

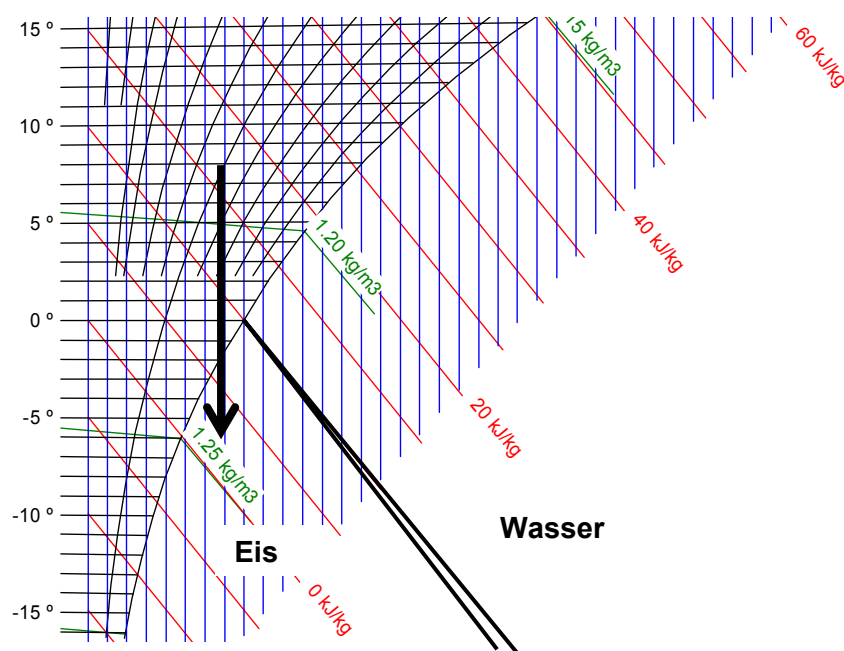
2 Wärmezufuhr zum Verdampfer

Dem Verdampfer muss Energie zugeführt werden. Je höher die Temperatur des Sekundärmediums ist, desto besser wird die Leistungszahl. Bei Wärmepumpen muss deshalb eine geeignete Energiezufuhr zum Verdampfer gesucht werden.

2.1 Luft

Bei Luft-Wasser oder Luft-Luft-Wärmepumpen erfolgt die Wärmezufuhr zum Verdampfer durch Luft. Dabei wird Fortluft oder Aussenluft abgekühlt.

Bei der Aussenluft-Abkühlung kann es zeitweise zu Eisbildung auf dem Verdampfer kommen.



Wenn die Eisschicht die Verdampferleistung zu stark beeinträchtigt, muss sie entfernt werden. Dabei gibt es zwei Möglichkeiten für die Abtauung (Enteisung):

- Elektrisch mit einer Heizung auf dem Verdampfer
- Durch Umschaltung des Kältekreislaufes. Dabei wird der Verdampfer kurzzeitig als Kondensator und der Kondensator als Verdampfer betrieben

Abtauung bedeutet aber immer, dass die Leistungszahl der Maschine verschlechtert wird.

Sowohl bei der Bestimmung der Arbeitszahl COP und der Jahresarbeitszahl JAZ, wie auch bei der Bestimmung des Jahresnutzungsgrades η_{WEA} muss die mittlere Leistungsaufnahme P_A resp. der Energieverbrauch W_A für die Abtauvorrichtung mit einbezogen werden.

Vergleiche dazu auch im Anhang: Definitionen

2.2 Wasser

Die Wärmezufuhr zum Verdampfer kann auch durch Wasser erfolgen. Dabei darf aber die Verdampfungstemperatur nur so tief gewählt werden, dass keine Eisbildung möglich ist

Aus Sicherheitsgründen empfiehlt sich der Einbau einer Frostschutzsicherung (Siehe „Verdampfer“).

2.3 Sole

Werden auf der Kalt- oder Kühlwasserseite Temperaturen unter 2 bis 3°C erreicht, so muss dem Wasser ein Frostschutzmittel zugesetzt werden. Früher waren dies Salzlösungen, daher immer noch der Name Sole. Heute verwendet man aus Korrosionsschutzgründen im allgemeinen Mischungen zwischen Wasser und höherwertigen Alkoholen, sogenannte Glykole.

Es gibt verschiedene dieser Mittel mit ganz unterschiedlichen toxischen und thermodynamischen Eigenschaften.

Glykol ist nicht einfach Glykol und es ist empfehlenswert, das Mittel einzusetzen, dessen Daten bei der Planung verwendet wurde. Eine unvorhergesehene nachträgliche Beimischung von Glykol verändert die Anlagedaten.

Bei der Anwendung von Glykolen als Frostschutz sind folgende Punkte zu beachten:

- Glykolumischung ergibt eine Erhöhung der Viskosität im Vergleich zu Wasser. Die Leistung der Umwälzpumpe wird grösser, da die Förderhöhe grösser wird.
- Wasser-Glykol-Gemische haben eine schlechtere Wärmübergangszahl als Wasser. Bei gleichen sonstigen Daten sind grössere Wärmeübertragerflächen notwendig, für die Übertragung einer gegebenen Wärmeleistung.
- Zur Verringerung der Korrosionsgefahr müssen Wasser Glykolegemischen, Inhibitoren zugesetzt werden.
- Glykole verdunsten leichter als Wasser. Im Laufe der Zeit kommt es zu einer Verarmung an Glykol in der Mischung. Die Konzentration ist deshalb jährlich zu kontrollieren.
- Glykole sind (mehr oder weniger) toxisch. Eine vorherige Abklärung ist empfehlenswert. Wasser Glykolegemische dürfen nicht in die Kanalisation abgeführt werden. Dazu sind die Angaben des BAG auf den Gebinden zu berücksichtigen.

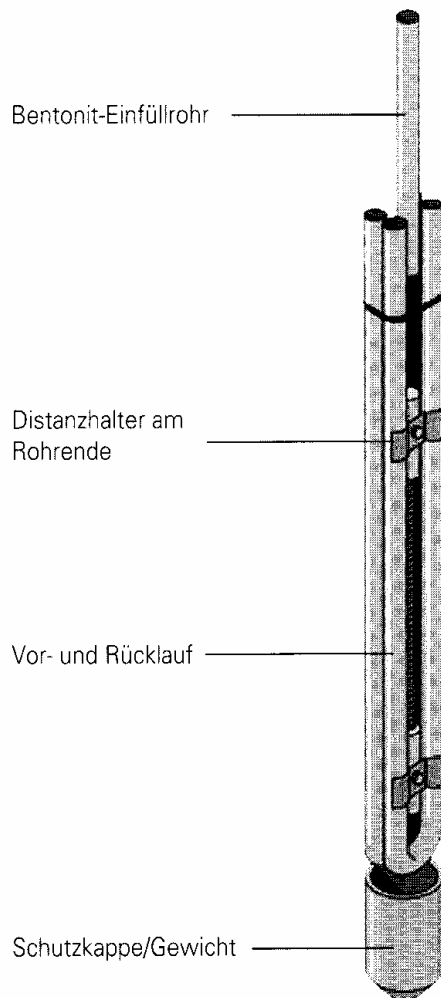
Häufig verwendete Glykole sind:

- **Antifrogen L**
- **Antifrogen N**

Diese Bezeichnungen sind Herstellernamen. Hersteller und Lieferant dafür sind die Farbwerke Höchst. Vergleiche dazu die Stoffdatensoftware „Antifrogen“, von Höchst.

2.4 Erde

Die Nutzung des Erdreichs als saisonaler Speicher kann mittels Erdregister, Erdsonden oder Energiepfählen erfolgen. Bei diesen Systemen wird Wasser durch ein erdverlegtes Leitungssystem gepumpt, welches je nach Saison Wärme an das Erdreich abgibt oder Wärme aufnimmt. So wie beim Luftansaug-Erdregister kann auch hier die Nutzung des Erdreichs als Wärmequelle im Vordergrund stehen. Eine bivalente Nutzung ermöglicht zudem die thermische Regenerierung des Erdreich-Speichers.



Erdsonden sind interessant, seit die Kosten für die notwendigen Bohrungen nicht mehr hoch sind. Sie liegen heute bei 6000.- bis 6500 Fr. 100 m, mit sinkender Tendenz.

Im Sommer ist eine direkte Nutzung der Erdsonden zur Kühlung möglich. Im Gegensatz zum Luftansaug-Erdregister, wo praktisch nur die Frischluftkühlung in Frage kommt, können hier auch Kühldecken, Betonkernkühlung oder Geräte mit Abwärme angeschlossen werden. Idealerweise wird die zur Verfügung stehende Kälte je etwa hälftig für die Lüftung und die Bauteilkühlung verwendet.

Im Winter dienen die Erdsonden als Wärmequelle für meist monovalent betriebene Wärmepumpen, welche damit Jahresarbeitszahlen von bis zu 5 erreichen oder für die Frischluftvorwärmung.

Energiepfähle sind wie Erdsonden, welche in die Fundationspfähle einbetoniert werden. Überall dort, wo Fundationspfähle erstellt werden müssen, bestehen nicht nur sehr günstige Möglichkeiten zum Verlegen der Sonden; meist weist auch der Baugrund gute thermische Eigenschaften auf (Grundwasser, gute Wärmeleitfähigkeit des Bodens).

Sowohl Erdsonden wie Energiepfähle nutzen die Speicherefähigkeit des Boden in verhältnismässig grosser Tiefe. Bei Energiepfählen ist es die Fundationstiefe, die in der Regel zwischen 20 und 30 m liegt, bei Erdsonden wird normalerweise 70 -150 m tief gebohrt. In beiden Fällen wird man in diesen Tiefen praktisch ungestörtes Erdreich antreffen.

Die Erdreichtemperatur liegt in diesen Tiefen einige Kelvin über der Jahresmitteltemperatur des Standortes. Die jahreszeitlichen Temperaturschwankungen sind bis in Tiefen von 10 bis 15 m messbar, darunter herrschen konstante Temperaturen. In 10 Metern Tiefe ist das Erd-

reich etwa 1 K wärmer als die Lufttemperaturen im Jahresschnitt. In städtischen Gebieten liegt dieser Wert bei 2 K und in schneereichen Gegenden bis 4 K. Die Temperaturen nehmen mit 2,5 bis 4 K pro 100 m Tiefe zu. Steht die Kühlanwendung einer Erdsondenanlage im Vordergrund, so wählt man deshalb eher kürzere Sonden (50 bis 100 m), bei primärer Heizungsanwendung kommen längere Sonden (100 bis 200 m) zum Einsatz.

Die Erdsonden befinden sich normalerweise (ausser in den obersten paar Metern) in der Molasse, wo die Gesteinsschichten gute Wärmeleitfähigkeiten aufweisen.

• Sand trocken	1,2	W/m K
• Kies, gesättigt	1,8 – 2,2	W/m K
• Kalksandstein, Ton	2,2 – 2,8	W/m K
• Silt	2,4	W/m K
• Nagelfluh	2,8	W/m K
• Granit	2,6 – 3,6	W/m K

In alten Moränenablagerungen und in reinen Kalkgebieten ist Vorsicht geboten (trockener Kies, Höhlen). Erdsonden sind da in der Regel nicht möglich. Im schweizerischen Mittelland (Molassebecken) liegen die Wärmeleitfähigkeiten oft zwischen 2,2 und 2,5 W/m K.

Entzugsleistungen:

Als mittlere spezifische Entzugsleistung für Erdwärmesonden sollten 50-55 W/m nicht überschritten werden.

Entzugsenergie:

Als mittlere spezifische Entzugsenergie für Erdwärmesonden sollten 100 kWh/ma nicht überschritten werden. Dies ergibt eine Entzugszeit von <2000 Stunden pro Jahr.

Wenn eine EWS-Anlage zur Bauaustrocknung eingesetzt werden soll, kann dies nur geschehen, wenn obige Werte nicht überschritten werden. EWS-Anlagen eignen sich deshalb meist nicht für die Bauaustrocknung.

Füllen von EWS-Anlagen:

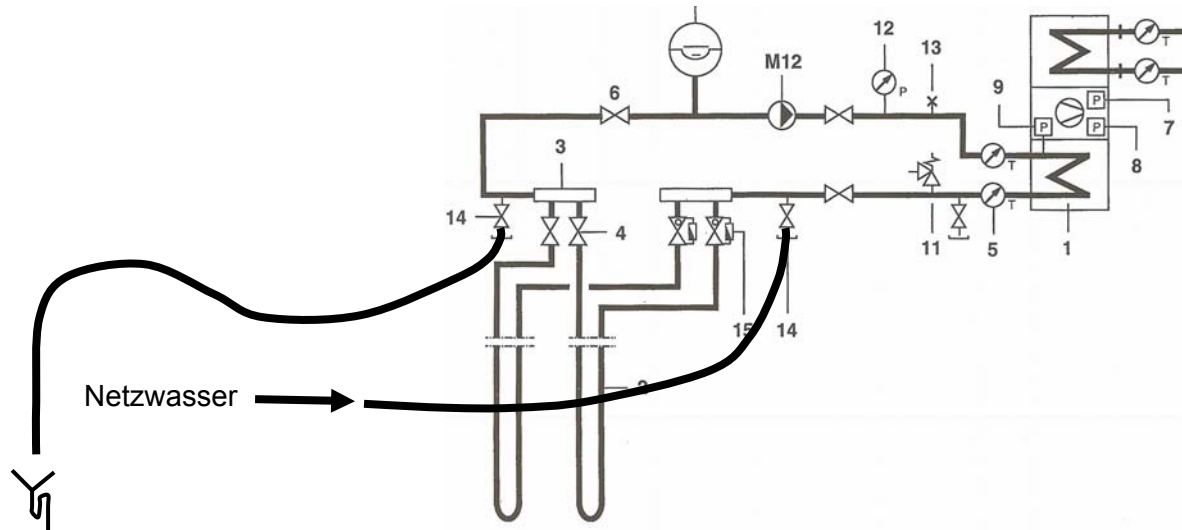
EWS-Anlagen bringen die geforderte Leistung dann nicht, wenn folgende Faktoren beim Füllen zu wenig beachtet werden:

- Schmutz im Kreislauf
- Durchmischung des Wasser-/Sole-Gemisches
- Solekonzentration

Siehe auch: FWS <http://www.fws.ch/>
HAKA.Gerodur <http://www.hakagerodur.ch/home.htm>
Frutiger <http://www.frutiger.com>

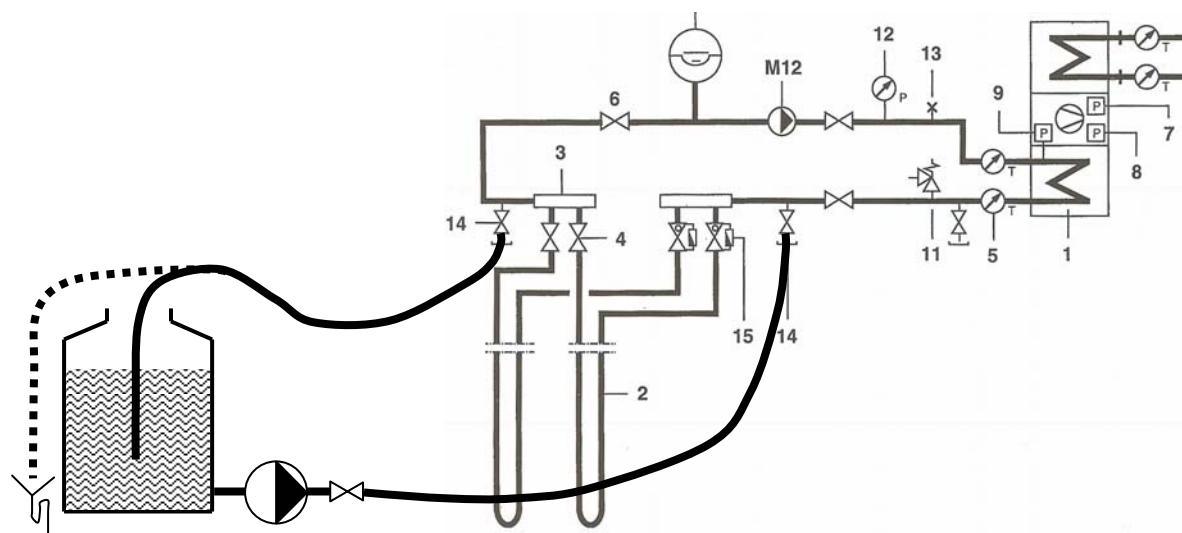
Wie geht man vor beim Füllen von EWS- und EWR-Anlagen?

Die Erdwärmesonden wurden beim Versetzen bereits mit Wasser gefüllt. Dieses Wasser ist aber möglicherweise verunreinigt.



1. Spülen

Zuerst werden die Umwälzpumpe des Erdwärmesondenkreises und der Verdampfer mit sauberem Leitungswasser mit Druck von Verunreinigungen durch Schweissperlen, Steinchen und Schmutz sauber gespült. Anschliessend muss jeder Kreis der Erdwärmesondenanlage einzeln gespült und entlüftet werden. Die Spülung jedes Sondenkreises dauert etwa 5 Minuten pro 100 m Sondenlänge.



2. Füllen

Jeder Kreis der Erdwärmesondenanlage ist separat zu füllen.

- Vor dem Füllen der Erdwärmesondenanlage ist unbedingt der Vordruck des Expansionsgefässes zu kontrollieren (0,5 bis 1.0 bar). Nach dem Spülen ist der ganze Erdwärmesondenkreis mit Leitungswasser gefüllt.

Inhalte:

Rohrdurchmesser	Inhalt pro Meter
25 mm	0,327 l/m
32 mm	0,531 l/m
40 mm	0,835 l/m

Die erforderliche Durchmischung mit 100%-igem Frostschutzkonzentrat ist wie folgt vorzunehmen:

- Berechnung des Volumens eines Erdwärmesondenkreises
- Anteil des notwendigen 100% - Frostschutzkonzentrates für den ersten Kreis berechnen und ins Fass geben und das Fass mit Wasser bis zum nötigen Füllvolumen auffüllen. Zusätzlich ca. 40 Liter Wasser ins Fass geben. Als Hilfe sind am Fass Volumenmarkierungen anzubringen.
- Die Schieber zum Verdampfer schliessen.
- Die Schieber eines Stranges öffnen.
- Den Entleerschlauch aus dem Fass nehmen und in einen Abfluss legen.
- Die Füllpumpe (Jetpumpe mit genügend Leistung) einschalten und laufen lassen, bis nur noch 40 Liter im Fass sind. Dann Füllpumpe sofort abschalten. Aus dem Entleerschlauch fliesst während dieses Vorgangs das überflüssige Leitungswasser in den Abfluss.
- Den Entleerschlauch ins Fass stecken und die Füllpumpe erneut einschalten und so lange laufen lassen, bis sich das Frostschutzkonzentrat und Wasser gut vermischt haben. Die benötigte Zeit beträgt ca. das 6-fache der Spülzeit.
- Füllhahnen beim Entleerschlauch und anschliessend beim Erdwärmesondenverteiler schliessen. Die Füllpumpe abschalten. Im Fass befinden sich noch beinahe 40 Liter Gemisch. Ein Teil wurde durch die Expansion der Erdwärmesonden aufgenommen.
- Die Mischung für jeden weiteren Kreis einer Erdwärmesondenanlage ist analog vorzubereiten.
- Wenn alle Erdwärmesondenkreise gefüllt sind, müssen noch die Verbindungsleitungen zur Wärmepumpe und der Verdampfer der Wärmepumpe gefüllt werden. Zu diesem Zweck sind alle Schieber zu den Erdwärmesonden zu schliessen und die Schieber zum Verdampfer zu öffnen. Sorgfältig wird nun der Rest des Gemisches über den Schieber am Füllschlauch hineingepumpt. Das Wasser im Verdampfer entweicht über den Entleerschlauch. Sobald am Entleerschlauch Frostschutzgemisch austritt (Farbänderung), ist der Hahnen zu schliessen. Über den Pumpendruck wird das Expansionsgefäss bis auf 2,5 bar gefüllt. Zuletzt ist der Hahnen am Füllschlauch zu schliessen. Es besteht nun Gewähr dafür, dass die Erdwärmesondenanlage schmutzfrei, mit richtiger Konzentration und auf korrekten Betriebsdruck (Vordruck Expansionsgefäss = 0,8 bar) gefüllt ist.

Diese Anleitung gilt sinngemäss auch für Erdkollektoranlagen.

2.5 Abwärme

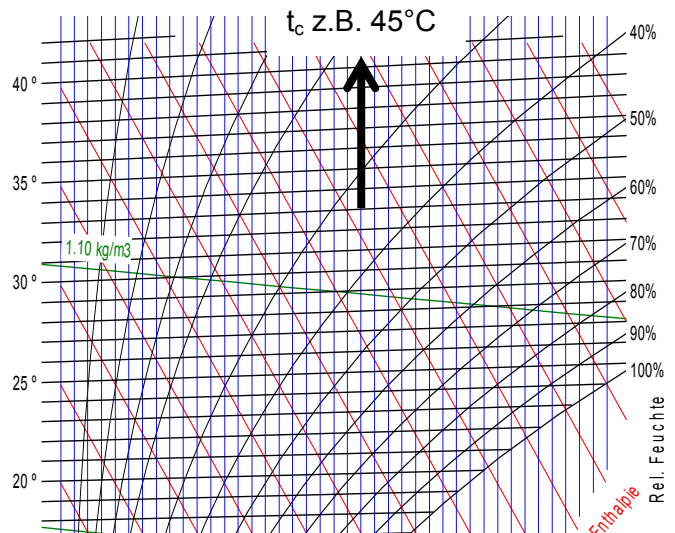
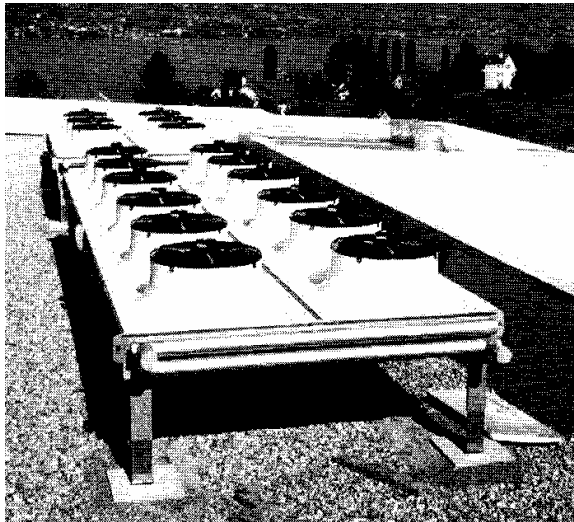
Die Nutzung von Abwärme hat oft den Vorteil hoher Sekundärtemperaturen. Die Anlage kann so, auch wenn die Abwärme nur zeitweise zur Verfügung steht, einen hohen Jahresnutzungsgrad erreichen.

3 Wärmeabgabe vom Kondensator

Dem Kondensator muss Energie abgeführt werden. Je tiefer die Temperatur des Sekundärmediums ist, desto besser wird die Leistungszahl. Bei Wärmepumpen muss deshalb eine geeignete Energieabfuhr vom Kondensator gesucht werden.

3.1 LUFT

Luftgekühlte Verflüssiger ergeben in unseren Regionen hohe Verflüssigungstemperaturen.

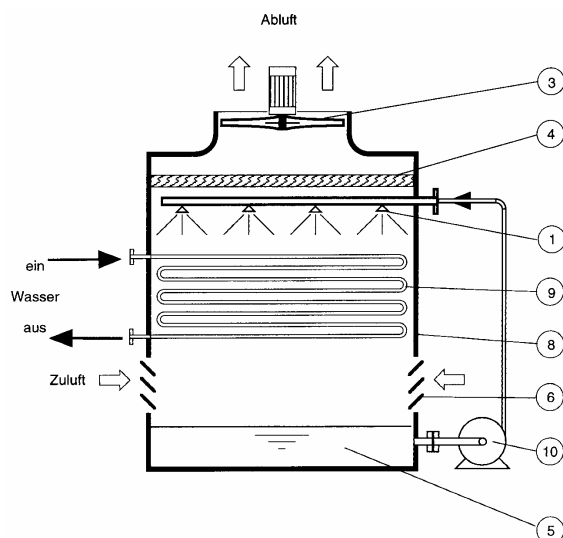


Luftgekühlte Verflüssiger sind aber weit verbreitet, da sie billig und einfach zu betreiben sind.

Zudem ist auch eine reine Rückkühlung mit Luft möglich. Dies wird aber vor allem mit Rückkühleinrichtungen gemacht, die bei hohen Aussenlufttemperaturen als befeuchtete Rückkühlanlagen betrieben werden können.

3.2 Wasser

Mit einem geschlossenen Kühlturm kann das Rückkühlwasser gekühlt werden. „Geschlossen“ deshalb, weil der Rückkühlwasserkreislauf als geschlossener Kreislauf ausgelegt wird.



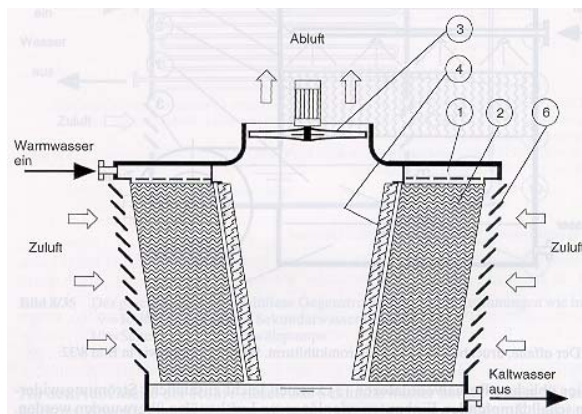
1. Düsen
2. Nachspeisung
3. Ventilator
4. Tropfenabscheider
5. Wasserbad
6. Zuluftgitter
7. Luft-Vorkühlbereich
8. Gehäuse
9. Register
10. Umwälzpumpe

An der Außenseite der Rohre rieselt das Sekundärwasser herab. Dieses Sekundärwasser steht im Wärme- und Stoffaustausch mit der

Luft wie beim offenen Kühlturm, die Wärmezufuhr erfolgt vom Primärwasser in den Röhren an das Wasser im Rieselfilm außerhalb der Rohre. Die übertragbaren, spezifischen Leistungen der geschlossenen Kühltürme sind deshalb geringer, als die der offenen Systeme. Diese, als Verdunstungskühler bezeichneten Kühltürme, können bei geeigneter Bauweise auch direkt als Verflüssiger arbeiten, sie werden dann Verdunstungsverflüssiger genannt. Dabei wird der energetische Nachteil einer zusätzlichen Temperaturdifferenz vermieden.

3.3 Verdunstung

Beim Verdunstungskühler wird zusätzlich die Verdunstungsenergie des Wassers genutzt.



1. Wasserverteilung
2. Füllkörper
3. Ventilator
4. Tropfenabscheider
5. Wasserbad
6. Jalousien

Der Füllkörper sollte von Wasser und von Luft möglichst gleichmäßig durchströmt werden, um die größtmögliche Leistung zu erreichen.

Blockierte Düsen ergeben trockene Füllkörperpartien. Da hier ein geringerer

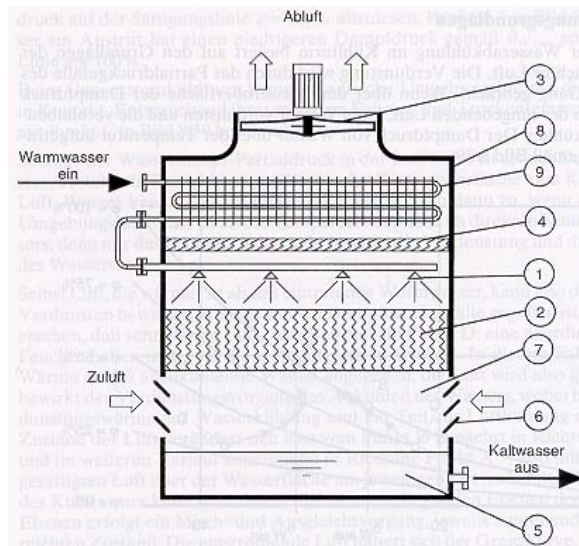
Luftwiderstand herrscht, werden diese trockenen Partien bevorzugt von Luft durchströmt, die Verdunstungsleistung nimmt dadurch stärker ab, als es der inaktivierten Fläche entspricht.

Eine ungünstige Luftzuströmung und -verteilung im Füllkörper wirkt ebenso leistungsmindernd und sollte möglichst vermieden werden.

Das abgekühlte Wasser regnet vom Füllkörper ab und wird im Kaltwasserbecken gesammelt. Frische Umgebungsluft strömt durch Jalousien durch das Regengebiet in den Füllkörper ein. Die Jalousien sollen das Herausspritzen und bei Querwind das Herausragen von Wasser verhindern. Es wird oft unterschätzt, wie stark die Zuströmungsverhältnisse am Luft-eintritt die Kühlleistung beeinflussen. Die Öffnungsquerschnitte müssen groß, die Jalousien selbst sollen strömungsgünstig geformt sein. Häufig sind zu enge Querschnitte mit hoher Luftgeschwindigkeit und ungünstig gestalteten Jalousien die Ursache von Minderleistungen. Das Gehäuse aus Kunststoff oder verzinktem Blech umschließt die Einbauten und führt die Luft im Kühlturm.

Unvermeidlich wird im Kühlturm die Luft feuchter - im extremen Fall kann sogar kalte, gesättigte Luft erwärmt werden und dann wieder Wasserdampf aufnehmen. Am Austritt vermischt sich die feuchtwarme Luft mit der kalten Luft der Umgebung, es kann Nebel entstehen. Dieser sichtbare Schwaden kann an kritischen Orten, z. B. an Hausfassaden, stören und sollte in seiner Entstehung gehindert werden. Die Aufgabe ist hier also, die feuchte Luft entweder zu erwärmen oder mit warmer, trockener Luft zu mischen. In beiden Fällen entsteht relativ trockenere Luft. Wird diese nun mit der kalten Umgebungsluft vermischt, liegt der Mischungszustand außerhalb des übersättigten Bereiches, die Nebelbildung wird vermieden, zumindest aber stark vermindert.

Technisch wird dies erreicht, indem das warme Wasser zunächst einen Teil der fühlbaren Wärme an die feuchte Luft abgibt, bevor es über Sprühdüsen auf den offenen Füllkörper des Kühlturmes verteilt wird.



1. Düsen
2. Füllkörper
3. Ventilator
4. Tropfenabscheider
5. Wasserbad
6. Jalousien
7. Lufteintritt
8. Gehäuse
9. Rippenrohrwärmeübertrager

In der seriellen Anordnung wird die befeuchtete Luft durch Nachwärmen im nachgeschalteten Rippenrohrwärmeübertrager wieder relativ trocken, bevor sie den Kühlturm verlässt.

In der nicht bildlich dargestellten Parallelschaltung wird ein Teil der Luft im wasserbenetzten Füllkörper feuchter, der andere Teil der Luft in einem Wärmeübertrager wärmer, beide Luftströme vermischt ergeben einen Zustand außerhalb des Nebelgebietes.

Eine Weiterentwicklung sind Füllkörper mit abwechselnd trockenen und nassen Kanälen.

Rückkühlleistung:

$$Q_{KT}' = m_w' \cdot c_{pw} \cdot (t_{w1} - t_{w2}) \quad \text{kW}$$

Bezogen auf die Luft:

$$Q_L' = m_L' \cdot (h_{L2} - h_{L1}) \quad \text{kW}$$

Verdunstete Wassermenge:

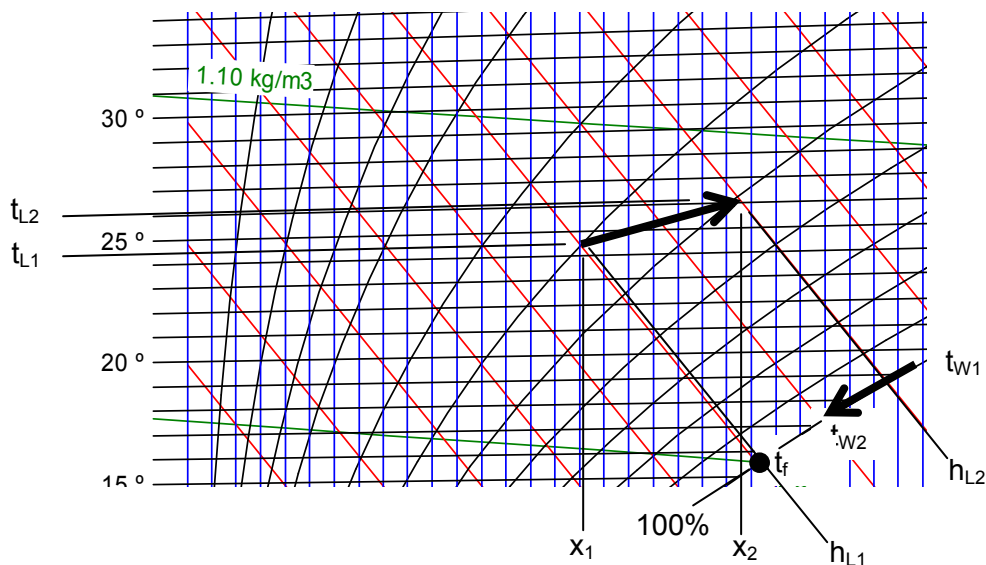
$$m_{FW}' = m_L' \cdot (x_2 - x_1) \quad \text{kg/h}$$

Das verdunstete Wasser muss als Frischwasser (FW) nachgespiessen werden. Dazu sollte entsalztes Wasser (auch Regenwasser ist geeignet) verwendet werden.

Damit ergibt die Energiebilanz:

$$Q_{KT}' = m_w' \cdot c_{pw} \cdot (t_{w1} - t_{w2}) = m_L' \cdot [(h_{L2} - h_{L1}) - h_w \cdot (x_2 - x_1)] \quad \text{kW}$$

Im h-x-Diagramm dargestellt:



Der Frischwasserverbrauch wird dann ungefähr:

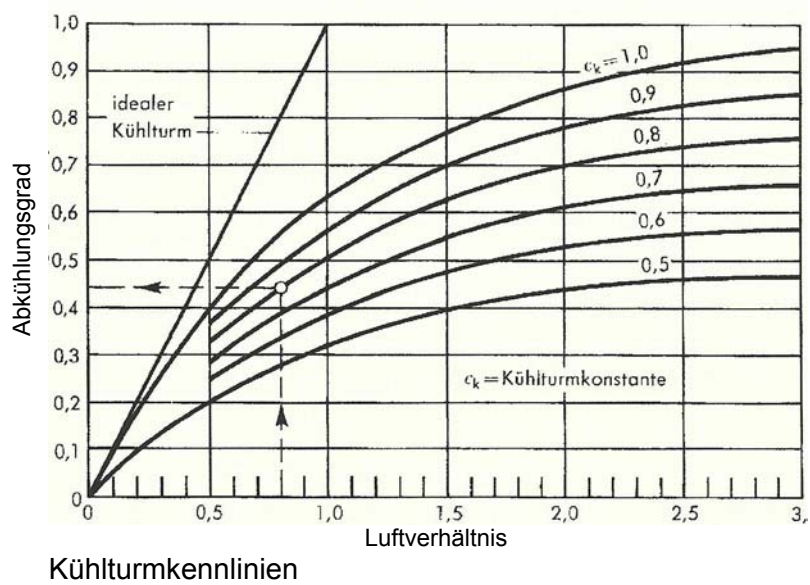
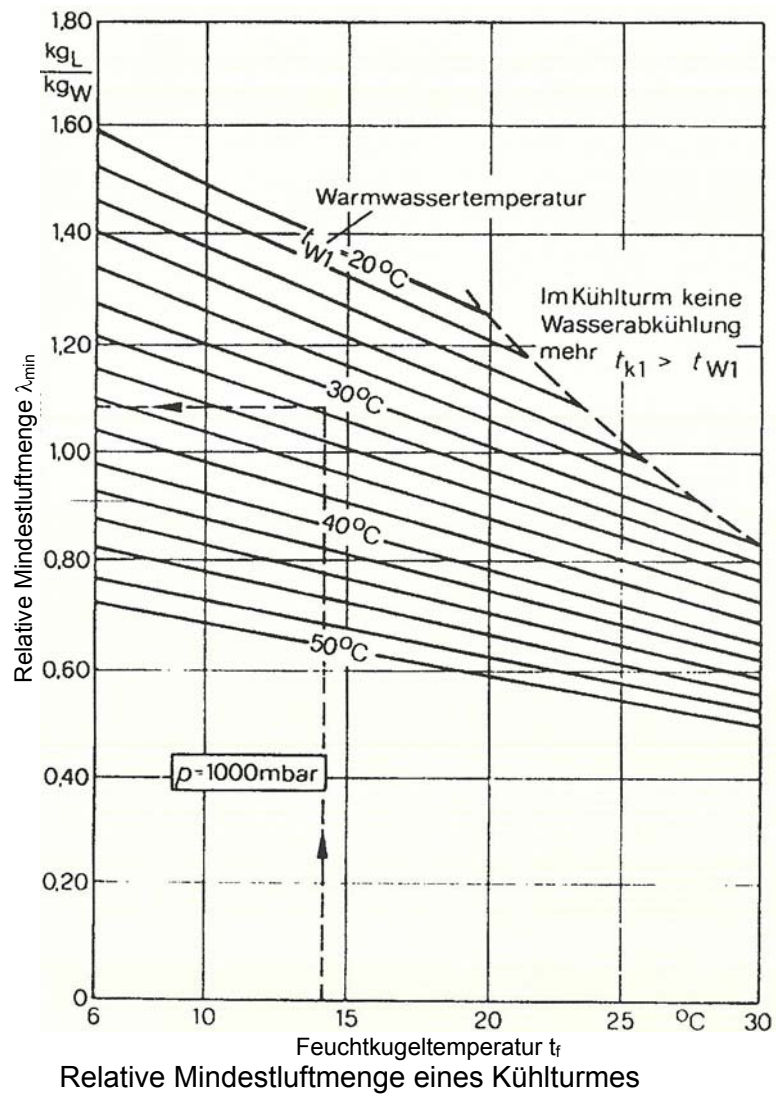
$$m_{FW}' = \frac{Q_{KT}' - m_L' \cdot c_{pL} \cdot (t_{L2} - t_{L1})}{r} \quad \text{kg/h}$$

Analog dem Befeuchtungsgrad eines Luftbefeuchters wird beim Kühlturm der Abkühlungsgrad definiert:

$$\eta_A = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{t_{w1} - t_f}$$

Beim Idealkühlvorgang ist zur Abkühlung des Wassermassenstromes von t_{w1} auf t_f ein Mindestluftmassenstrom notwendig. Das Verhältnis dieser beiden Massenströme nennt man relative Mindestluftmenge I_{min} .

$$I_{min} = \frac{m'_{Lmin}}{m'_w}$$



Diese liegt bei üblichen Kühlwasser- und Feuchtkugeltemperaturen zwischen 0,8 und 1,2. Man kann sie mit Hilfe der technischen Thermodynamik berechnen.

Die tatsächlich benötigte Luftmenge im Verhältnis zur Wassermenge nennt man relative Luftmenge l_0 .

$$l_0 = \frac{m'_L}{m'_w}$$

-

Das Verhältnis der beiden Luftmengen ist das Luftverhältnis λ .

$$\lambda = \frac{l_0}{l_{\min}}$$

-

Zwischen den beiden Kenngrössen Abkühlungsgrad und Luftverhältnis gibt es einen Zusammenhang, der graphisch dargestellt als Rückkühler-Kennlinie bezeichnet wird.

$$\eta_A = K \cdot (1 - e^{-\lambda})$$

-

- K ist in der Gleichung eine Konstante, die Rückkühlerkonstante.

Diese wird messtechnisch ermittelt. Mit den Kühlturmdaten aus den Herstellerkatalogen kann man sie auch berechnen. Bei der Abnahme einer Anlage, kann man λ und η_A messen. liegen diese auf der Kennlinie des Rück.kühlers, so ist die Garantie erfüllt.

Zur Abschätzung der Frischwassermenge kann man mit folgenden Werten rechnen:

- | | | |
|-----------------------|-----|----------|
| • Verdunstung pro kW | ca. | 1,7 kg/h |
| • Spritzwasser pro kW | ca. | 0,9 kg/h |
| • Abschlämmung pro kW | ca. | 2,6 kg/h |

Der Wasserqualität im Kühlturm ist besondere Beachtung zu schenken. Hier wird auf die SWKI-Richtlinie 97-1 verwiesen.

Regelmässige Kontrollen des Leitwertes und der Abschlämmung kann die Lebensdauer eines Kühlturmes wesentlich verlängern.

Es ist darauf zu achten, dass keine Nebelschwaden des Kühlturmes an benachbarte Gebäude gelangen können (Fassadenschäden). Diese Nebelschwaden sollten auch nicht eingeatmet werden (Legionellengefahr).

4 Regelung

4.1 Was wird wo geregelt?

Man unterscheidet grundsätzlich zwischen:

- Kühlstellenregelung
- Verdampferfüllungsregelung
- Verdichterleistungsregelung

Als Kühlstelle wird der Verdampfer mit seiner Umgebung (z. B. Zuluft) bezeichnet. Eine Kühlstellentemperaturregelung ist die Temperaturregelung des durch den Verdampfer geförderten Kälte-trägers und damit die des Sekundärsystems. Als Kälte-träger können Luft oder andere Gase oder auch Flüssigkeiten dienen. Es kann sich auch z. B. um Eiserzeuger handeln.

Verdampferfüllungsregelungen sichern, dass die in dem Verdampfer auf Niederdruck entspannte Kältemittelflüssigkeit in dem Verdampferrohrsystem vollständig verdampft. Verdampferfüllungsregelungen sind bei Kälteanlagen mit sogenannter Trockenexpansion bei denen der Verdichter direkt aus dem Verdampfer verdampftes Kältemittel (Sauggas) ansaugt, üblich. Der in den Verdampfer geförderte und von der Verdampferfüllungsregelung geregelte Massenstrom an entspannter Kältemittelflüssigkeit muss dem vom Verdichter angesaugten Sauggasmassenstrom entsprechen.

So ist es dann auch Aufgabe der Verdichterleistungsregelung, diesen Sauggasmassenstrom zu regeln.

Bei Anlagen mit un stetiger thermostatischer Kühlstellenregelung ist diese zugleich eine Verdichterleistungsregelung, da bei Erreichen der gewünschten Kühlstellentemperatur der durch den Verdampfer geförderte Kältemittelmassenstrom durch Ausschaltung des Verdichters unterbunden wird.

Bei Wärmepumpen und bei Klima-Kälteanlagen wird wo immer möglich mit sekundärseitigen Speichern gearbeitet. Damit kann die Wärmepumpe/Kälteanlage mit ihrem optimalen COP betrieben werden. Grundsätzlich verschlechtert eine Leistungsregelung immer den COP. Wo immer möglich sollte auf eine Leistungsregelung (Regelung der Kälte- oder Wärmeleistung) einer Wärmepumpe oder einer Kältemaschine verzichtet werden. Die Anlagen sollten möglichst mit den optimalen Betriebsdaten arbeiten können. Dazu eignen sich Puffer- oder Energie-Speicher.

5 Verbundsysteme

Als Verbundsysteme werden Anlagen bezeichnet, bei denen sowohl die Wärme-Energie des Kondensators, als auch die „Kälte“-Energie des Verdampfers genutzt werden. Wenn dies gleichzeitig erfolgt, resultiert eine weit höhere Leistungszahl und Arbeitszahl für das gesamte System:

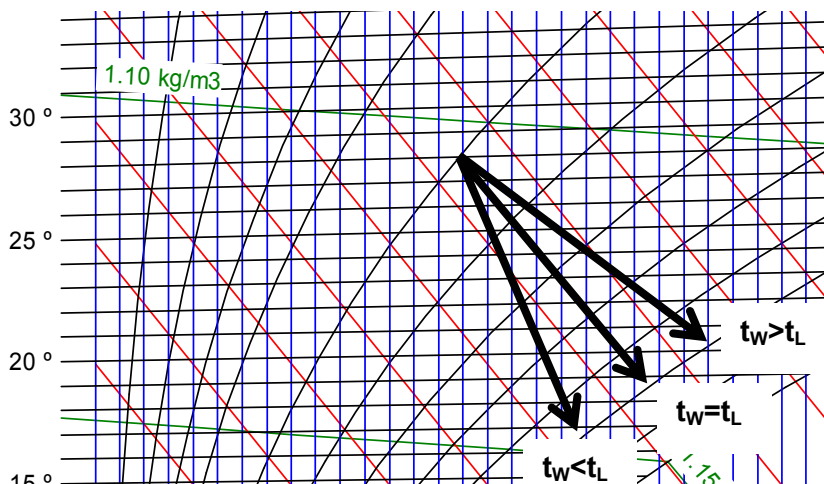
$$\varepsilon_{\text{Verbund}} = \varepsilon_{\text{Kältemaschine}} + \varepsilon_{\text{Wärmepumpe}}$$

Solche Verbundsysteme können dann realisiert werden, wenn frühzeitig eine umfassende Energiebilanz für ein Gebäude oder einer Überbauung erstellt wird.

6 Offene thermodynamische Verfahren der Kälteerzeugung

6.1 Verdunstungskühlung

Die Verdunstungskühlung ist als Luftbefeuchtung mit Wasser schon bekannt. Durch die Eindüsung von Wasser in die Luft entsteht ein neues Gemisch und eine Zustandsänderung.

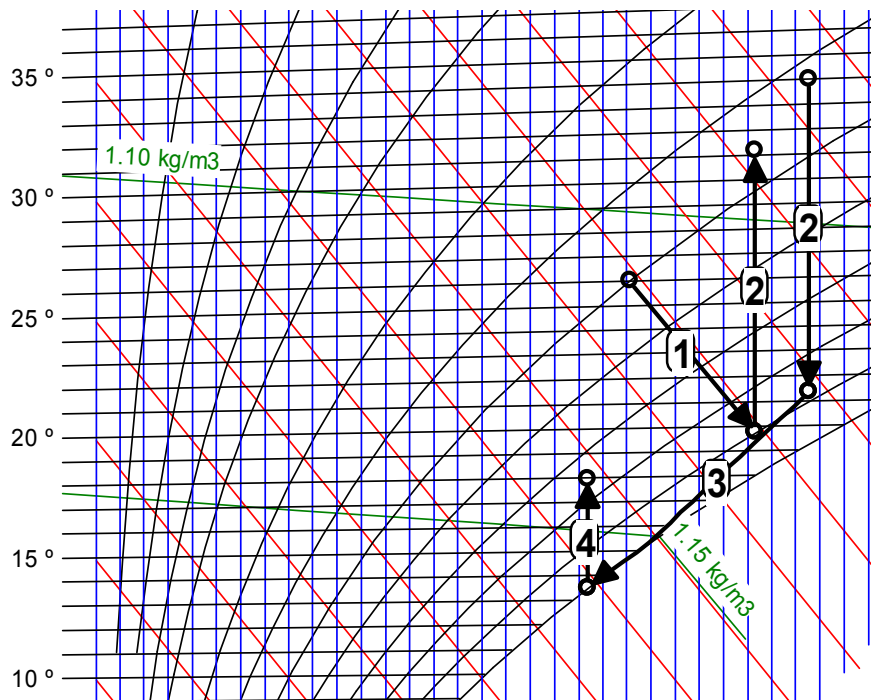


Durch Erwärmen oder Abkühlen des Umlaufwassers, kann die Richtung der Zustandsänderung bestimmt werden.

Dieses Prinzip wird beim Abkühlen von Wasser mit Luft angewendet (Verdunstungskühler). Da ein grosser Teil der Verdunstungsenergie dem zerstäubten Wasser entzogen wird, resultiert eine Wasserabkühlung bis zur Feuchtkugeltemperatur.

6.2 Die „adiabatische“ Kühlung

Bei der „adiabatischen“ Kühlung nutzt man die Verdunstungskühlung der Luft. Da aber die abgekühlte Luft eine hohe Feuchte aufweist, wird nicht die Zuluft, sondern die Fortluft abgekühlt. Mit einer WRG wird dann die Aussenluft vorgekühlt.



Da eine reine „adiabatische“ Kühlung (2) oft nicht ausreicht, muss anschliessend nachgekühlt werden (3).

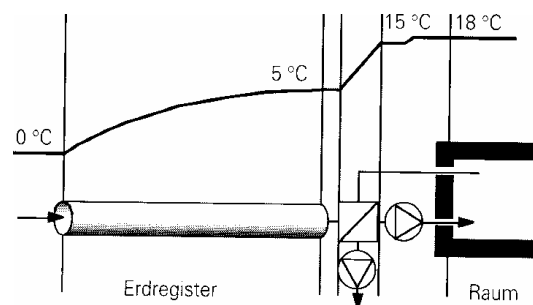
6.3 Die freie Kühlung

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die freie Kühlung zu nutzen. Dabei wird die kalte Aussenluft zur Luftkühlung genutzt. Damit ist auch eine normale Lüftungsanlage eine freie Kühlung oder eine „Free cooling Anlage“.

Als Free cooling Anlagen werden Systeme bezeichnet, mit denen man im Winter das Kaltwasser ohne Verwendung einer Kältemaschine, nur mit Aussenluft oder mit dem Erdreich, abkühlt. Zur Wasserkühlung wird entweder das Rückkühlwerk oder ein spezieller Kühler eingesetzt.

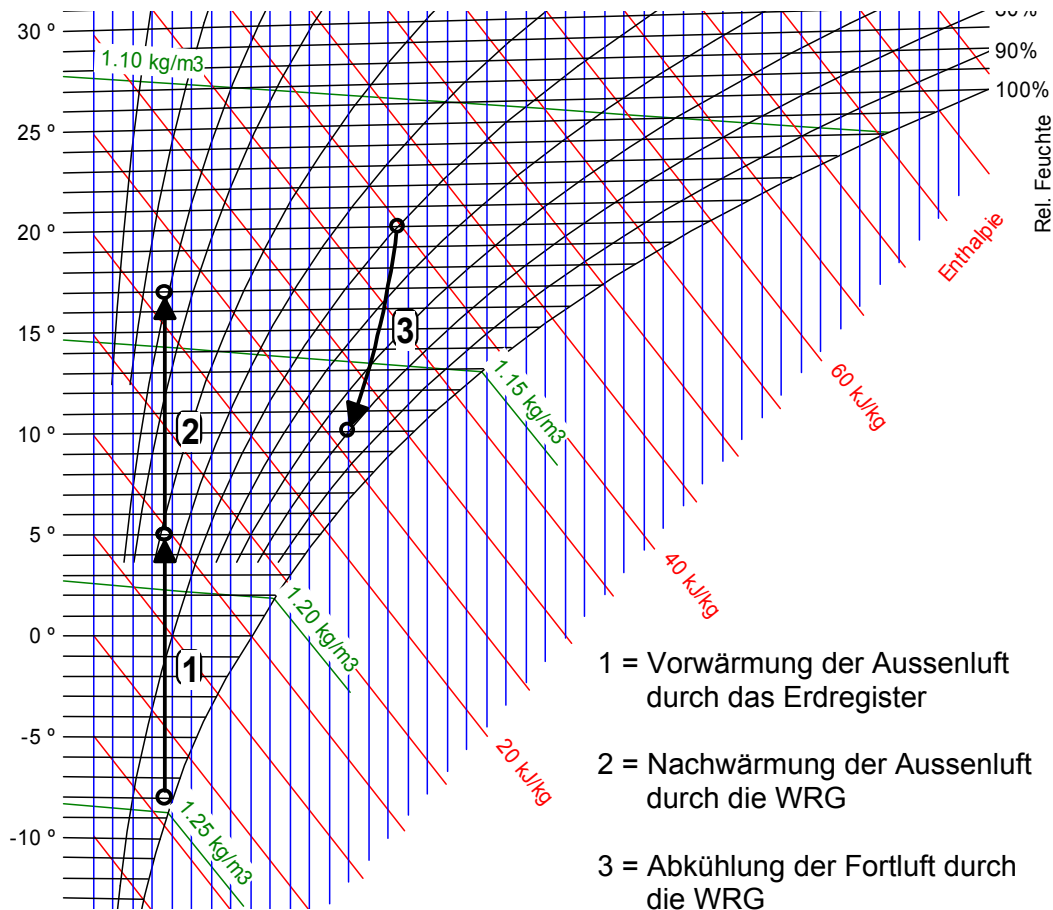
Beispiel:

Luftvorwärmung im Winter und Luftvorkühlung im Sommer mit einem Erdregister



Die Luft wird in Kunststoffleitungen im Erdreich oder unter der Bodenplatte vorbehandelt und anschliessend mittels WRG weiter erwärmt (Winter).

Luftansaug-Erdregister dienen der Vorkonditionierung von Aussenluft. Die Aussenluft wird über ein unterirdisches Kanalsystem der Lüftungsanlage zugeführt. Das Erdreich dient dabei als Speichermasse, die sowohl saisonal wie auch im Tagesverlauf ausgleichend wirkt. Dem Kühleffekt im Sommer steht eine entsprechende Luftvorwärmung im Winter gegenüber.



Der Hauptnutzen besteht allerdings im Sommer, da die Luftvorwärmung im Winter die Wirkung des Abluftwärmetauschers reduziert. Von grossem Vorteil ist jedoch die Frostfreiheit des Wärmetauschers, welche eine einfachere Betriebsweise ohne Abtauvorgänge ermöglicht.

Erdregister können sinnvollerweise nur in Regionen eingesetzt werden, welche grössere Temperaturdifferenzen zwischen Sommer und Winter sowie zwischen Tag und Nacht aufweisen.

Der interessanteste Bereich liegt im gemässigten Klima Mitteleuropas. Bei sehr warmen Standorten nimmt die Leistungsfähigkeit ab, währenddem bei kühlen Standorten in der Regel nur ein geringer Kühlbedarf vorhanden ist.

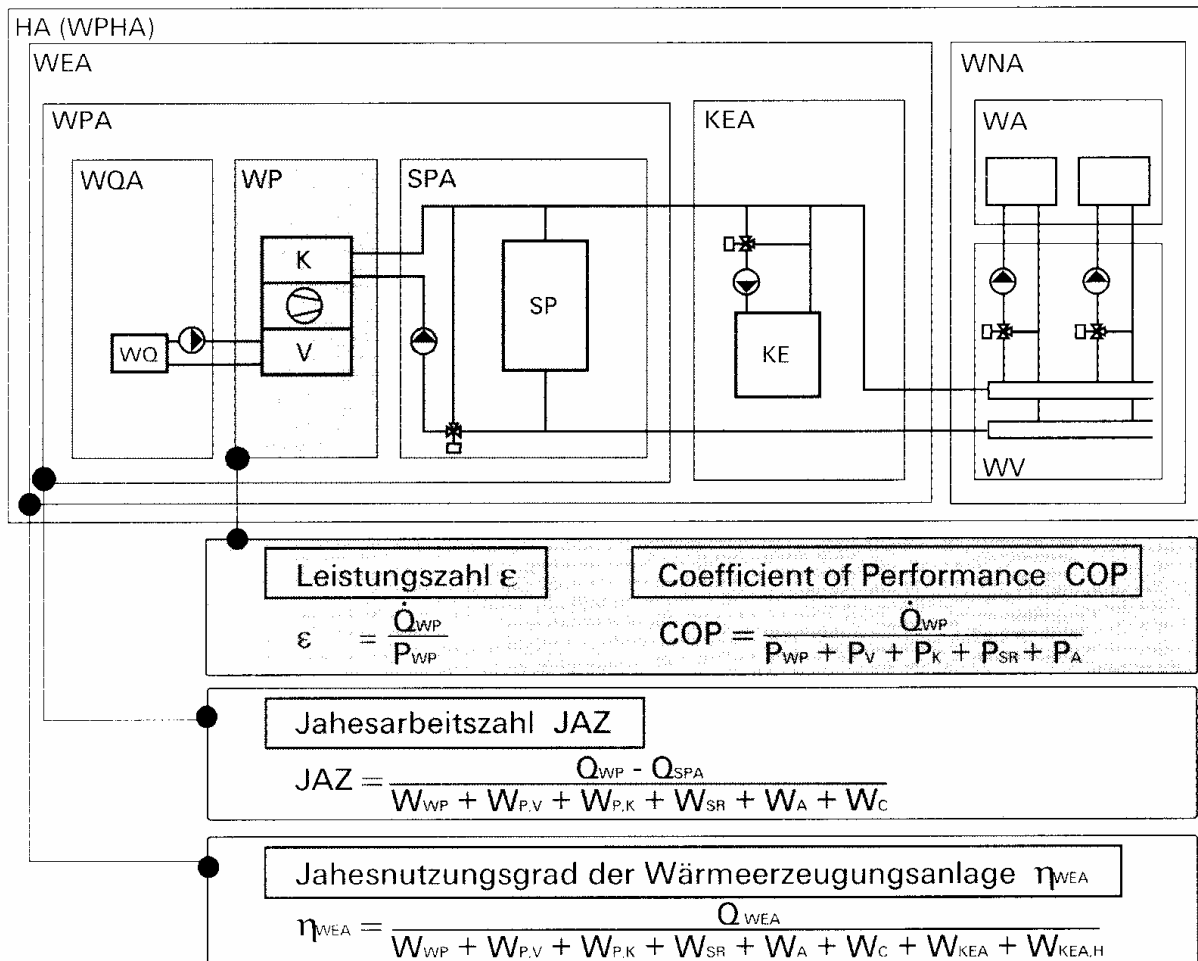
Grundsätzlich eignen sich Luftansaug-Erdregister sowohl zur selbständigen Kühlung der Raumluft, wie auch als Ergänzung zusätzlicher Raumkühlsysteme. Da das Erdreich lediglich die Aussenluft vorkühlt, kann die Zuluft im Prinzip durch weitere Massnahmen weiter abgekühlt werden oder es kann dem Raum Wärme durch statische Kühlflächen (Kühldecken, Bauteilkühlung) entzogen werden. Interessante Kombinationsmöglichkeiten sind:

- Erdregister - natürliche Nachtluftkühlung
- Erdregister - mechanische Nachtkühlung
- Erdregister - Bauteilkühlung/Kühldecke

Weniger geeignet sind Kombinationen mit adiabatischen Systemen (Verdunstungskühlung), da das Erdregister diesen nachgeschaltet werden müsste. Interessant sind jedoch Kombinationen mit Erdsonden oder mit Grundwassernutzung. Falls die Möglichkeit besteht, wäre es jedoch in der Regel wirtschaftlicher, diese Systeme monovalent, d.h. ohne Erdregister, zu betreiben.

7 Anhang

7.1 Definitionen zu Wärmepumpenheizungsanlagen WPHA



Bilanzgrenzen

HA Heizungsanlage; auch WPHA für Wärmepumpenheizungsanlage (diese Bezeichnung ist aber nur sinnvoll für eine monovalente Anlage)

WEA Wärmeezeugungsanlage

WPA Wärmepumpenanlage

WQA Wärmequellenanlage

WP Wärmepumpe

SPA Speicheranlage

KEA Kesselanlage

WNA Wärmenutzungsanlage

WV Wärmeverteilung

WA Wärmeabgabe

Weitere Abkürzungen

WQ Wärmequelle

V Verdampfer

K Verflüssiger (Kondensator)

SP Speicher

KE Kessel

Leistungen (Momentanwerte oder Mittelwerte über kurze Zeitdauer)

Q_{WP} Heizleistung der Wärmepumpe

P_{WP} Verdichter-Leistungsaufnahme der Wärmepumpe

P_V Leistungsanteil zur Überwindung des Verdampferdruckabfalls

P_K Leistungsanteil zur Überwindung des Verflüssigerdruckabfalls

P_{SR} Leistungsaufnahme der Steuerung und Regelung innerhalb der Wärmepumpe

P_A mittlere Leistungsaufnahme der Abtaueinrichtung

Energiemengen (Jahreswerte)

Q_{WP} von der Wärmepumpe produzierte Wärmemenge

Q_{SPA} Wärmeverluste der Speicheranlage

Q_{WEA} von der ganzen Wärmeezeugungsanlage produzierte Wärmemenge

W_{WP} Verdichter-Energieverbrauch der Wärmepumpe

$W_{P,V}$ Energieverbrauch der Verdampferpumpe

$W_{P,K}$ Energieverbrauch der Verflüssigerpumpe

W_{SR} Energieverbrauch der Steuerung und Regelung

W_A Energieverbrauch der Abtaueinrichtung

W_C Energieverbrauch der Carterheizung

W_{KEA} Brennstoffverbrauch der Kesselanlage

$W_{KEA,H}$ Hilfsenergieverbrauch der Kesselanlage

7.2 Standardaltungen für Wärmepumpenheizungsanlagen WPHA

Im Auftrag der Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz und mit finanzieller Unterstützung durch „Energie Schweiz“ des BfE wurden für kleinere Anlagen so genannte Standardaltungen erarbeitet. Diese sieben Standardsaltungen sollen dazu führen, dass nicht jede Kleinanlage neu „erfunden“ wird.

Praktisch jede Wärmepumpen-, Wärmekraftkoppelungs-, Wärmerückgewinnungs- oder Abwärmenutzungsanlage ist ein Unikat. Zwangsläufig ist dadurch die Fehlerhäufigkeit hoch. Der Qualitätssicherung muss deshalb viel mehr Beachtung geschenkt werden, als dies normalerweise üblich ist. Typenprüfung und firmenbezogene Qualitätssicherung sind wichtige Schritte in die richtige Richtung. Was es aber vor allem braucht, ist eine projektbezogene Qualitätssicherung!

Wesentliche Forderungen der projektbezogenen Qualitätssicherung sind:

- Standardisierung auf möglichst wenige, einfache und bewährte Schaltungen
- Notwendige Instrumentierung für die Betriebsoptimierung und Erfolgskontrolle

Mit den Standardsaltungen wird versucht diesen Forderungen gerecht zu werden. Die Autoren hoffen damit, allen an der Realisierung einer Anlage Beteiligten ein wichtiges Werkzeug für eine effiziente projektbezogene Qualitätssicherung in die Hand geben zu geben.

