

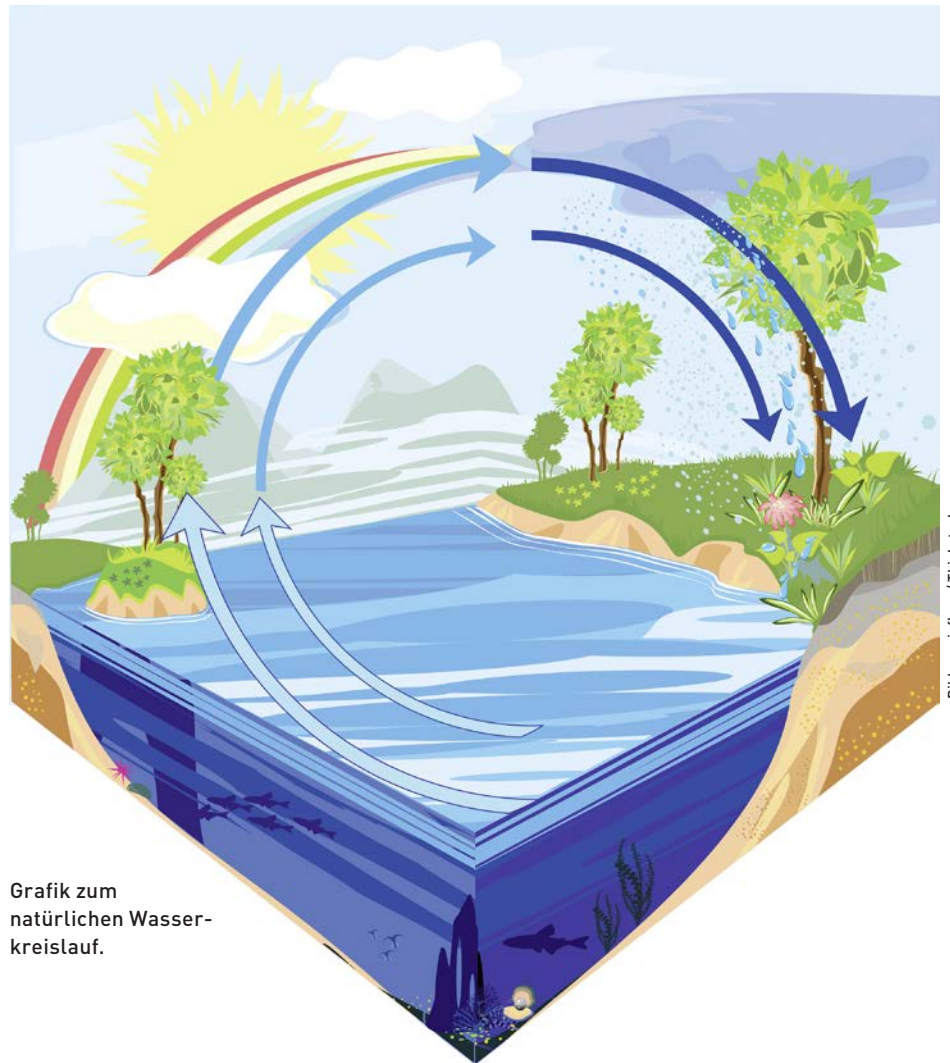
# Wasser als regenerativer Energieträger

## Dezentrales Wassermanagement von Gebäuden, Teil 5

Die Anwendungsbereiche von Wasser in Gebäuden erschöpfen sich bei weitem nicht nur in Badgestaltung und Trinkwasserhygiene. Im Zeitalter von Energieeffizienz sollte man den Blick auf dieses Element erweitern, um festzustellen, dass sich dieser Informations- und Energieträger nicht nur in allen drei Aggregatzuständen regenerativ nutzen lässt, sondern gleichfalls energetisch betrachtet, auch als Wärmequelle und Wärmesenke. → Frank Hartmann

Bereits im [ersten Teil](#) dieser Artikelserie wurde der natürliche Bezug des Wassers in der Umwelt dargestellt und auf die globalen Prozesse des natürlichen Wasserkreislaufes hingewiesen. Wasser durchdringt und verbindet die Lithosphäre, Atmosphäre und Biosphäre, – unseren Lebensraum. Die Kultur des Bauens und Siedelns, der Ausbau von Verkehrswegen, Infrastrukturen, usw. veränderte in den letzten 200 Jahren die Geografie dieses Planeten dermaßen, dass nicht nur Wissenschaftler von einem neuen Erdzeitalter, dem Anthropozän (in dem der Mensch auch durch seine Bauwerke als Klimafaktor wirkt), sprechen. Unser gesamter Lebensraum lässt sich in der Hygrosphäre darstellen, denn Wasser ist der bis heute einzige Stoff, der auf der Erdoberfläche in durchaus nennenswerter Menge in allen drei Aggregatzuständen vorkommt.

Durch Verdunstung und Kondensation werden erhebliche Energiemengen umgesetzt. Von der Sonnenstrahlung angetrieben sorgt der Wasserkreislauf für den Transport des Wassers über den allergrößten Teil des Planeten. Mit der Sonne als lebenserhaltende Arbeiterin und treibende Kraft, wird unser Lebensraum nicht nur von Energie, sondern gleichsam von Mineral- und Nährstoffe durchdrungen. Es scheint kaum übertrieben, Wasser als die Urform regenerativer Energie zu begreifen. Die Solartechnik sei hier nur als



Grafik zum natürlichen Wasserkreislauf.

Bild: mariafaya / Thinkstock

ein Beispiel für den Einklang von Ökologie und Technik erwähnt, die uns nicht nur Kraft, sondern auch Wärme liefert.

## Warmes Wasser und thermisch behagliches Innenraumklima

Nicht nur warmes Wasser, sondern auch der Jahreszeit entsprechend wohltemperierte Innenräume, bilden die Majorität der energetischen Anforderungen (Heizwärmebedarfe) einschließlich deren Bewertung entsprechend der Energieeinsparverordnung (EnEV) in sämtlichen Wohn- und Nichtwohngebäuden. Abgesehen von der Bereitstellung hygienisch einwandfreiem Trink-Warmwasser für den Menschen, versteht sich die heutige Definition von Innenraumklima in den Anforderungen „Heizen im Winter“ und für immer mehr „Kühlen im Sommer“. In der Haustechnik

ist die energetische Bedeutung des Wassers bislang auf die Eigenschaft als Trägermedium für Heizungsanlagen zur Wärmeübertragung in die eine Richtung zwar einerseits bekannt, dass aber der Wärmestrom sich andererseits mit demselben Medium gegenrichten lässt, setzt sich vornehmlich erst durch die Doppelfunktion der Flächenheizung /-kühlung durch.

In der solarthermischen Anlagentechnik werden die thermischen Eigenschaften des Wassers zugunsten des Frostschutzes verschlechtert. Durch die Herstellung eines Wasser-Glykol-Gemischs wird zwar ein Frostschutz sichergestellt, aber die spezifische Wärmekapazität des Wassers deutlich verschlechtert, was den anlagentechnischen Wirkungsgrad im Vergleich zur Verwendung von reinem Wasser deutlich reduziert. Und wie mit dem umwelt-

problematischen Glykol umgegangen wird, wissen nur Praktiker. Mit reinem Wasser könnte die solarthermische Anlageneffizienz deutlich erhöht werden, allein dadurch, dass auf einen Wärmeübertragungsprozess verzichtet werden könnte. Die Wärmeübertragungsverluste von Primär- auf Sekundärkreis entfallen und die solaren Erträge könnten effizienter genutzt werden, was insbesondere die solare Deckungsrate zur Heizungsunterstützung in der Heizperiode deutlich erhöht. Darüber hinaus könnten auch die Anlagengröße (Solar-Kollektorfeld und -Speichervolumen) reduziert werden und ungleich kompakter ausfallen. Desgleichen wäre eine Nachrüstung, nicht nur im Rahmen einer energetischen Sanierung im Bestand ungleich einfacher zu realisieren, da der Solarkollektor lediglich als weiterer Wärmeerzeuger integriert wird und nicht als eigenes System (keine Systemtrennung!).

## Thermische Eigenschaften des Wassers

Energie ist die Fähigkeit Arbeit zu verrichten. Die Einheit von Energie ist Joule (J). Bezogen auf die Einheit Watt (W) für Leistung, gilt die Gleichung  $3,6 \text{ MJ} = 1 \text{ kWh}$ , bzw.  $1 \text{ kJ} = 0,278 \text{ Wh}$ . Die spezifische Wärmekapazität von Wasser beträgt etwa  $4200 \text{ J}/(\text{kg} \times \text{K})$ . Das bedeutet: um ein Kilogramm Wasser um ein Kelvin

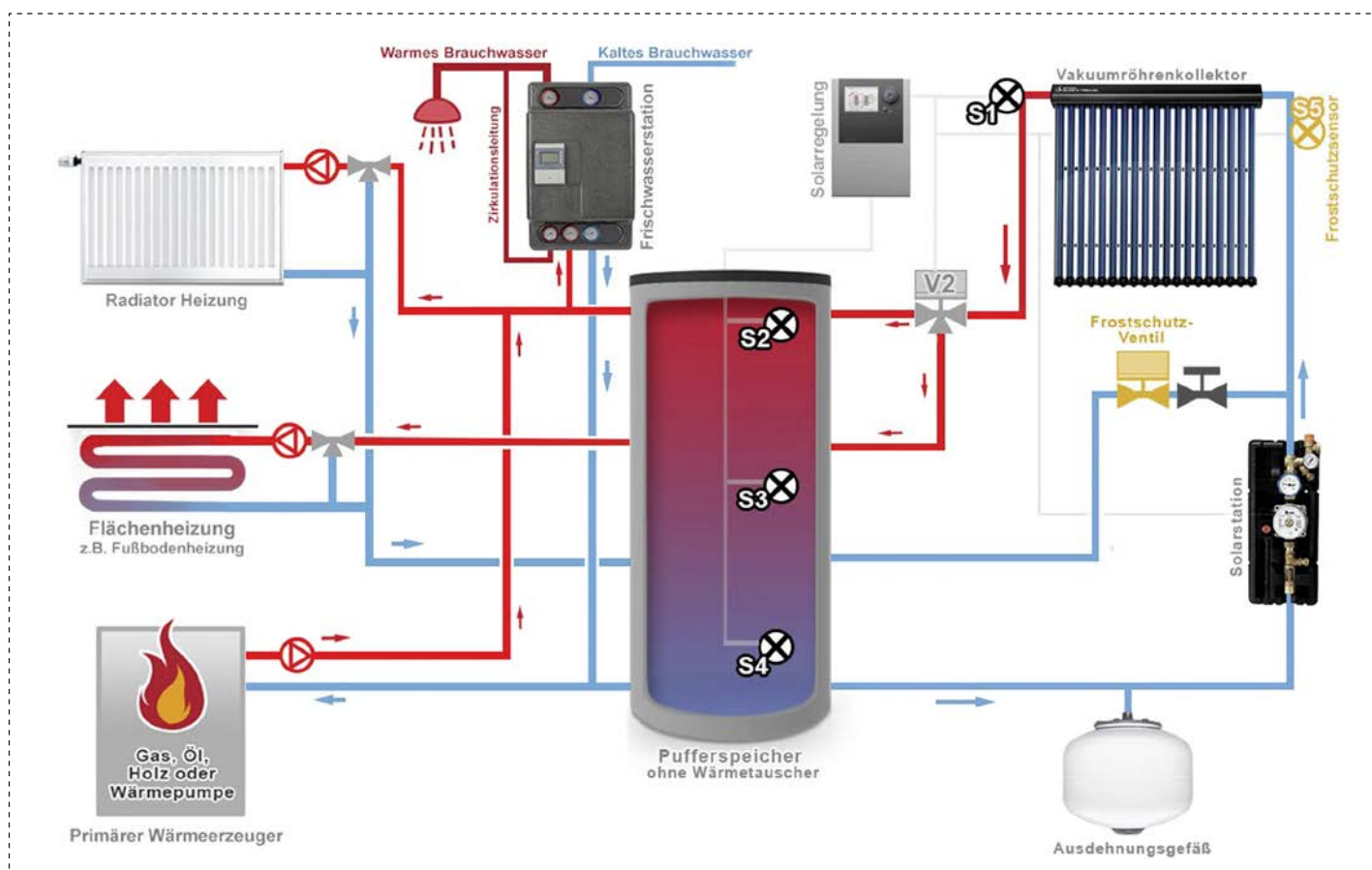
## INFO

### SBZ-Artikelserie zum dezentralen Wassermanagement

- Teil 1: Nachhaltige Wasserkonzepte → [SBZ 05/16](#)
- Teil 2: Schmutzwasser im Wohngebäude → [SBZ 06/16](#)
- Teil 3: Grauwassernutzung im Wohnungsbau → [SBZ 07/16](#)
- Teil 4: Bewirtschaftung von Niederschlagswasser → [SBZ 08/16](#)
- Teil 5: Wasser als regenerativer Energieträger → [SBZ 10/16](#)
- Teil 6: Passive Flächenkühlung mit Regenwasser
- Teil 7: Nachhaltige Badsanierung – Chance für die Grauwassernutzung
- Teil 8: Wärmerückgewinnung aus Grauwasser

(K) zu erwärmen, sind etwa 4,2 Kilojoule (kJ) notwendig. Wasser kann im Vergleich mit anderen Flüssigkeiten sehr viel thermische Energie aufnehmen, ohne dass die Temperatur dabei nennenswert steigt. Ein weiterer nicht unwesentlicher Aspekt hinsichtlich der thermischen Eigenschaften von Wasser ist die Betrachtung in den beiden anderen Aggregatzuständen fest und gasförmig, gleichfalls als Wärmespeichermedium. Für die Umwandlung (Auftauen) von  $0^\circ\text{C}$  kaltem Eis in  $0^\circ\text{C}$  kaltem Wasser, wird eine Energie von  $333,5 \text{ kJ/kg}$  benötigt. Mit der gleichen Energiemenge

kann im flüssigen Zustand das Wasser von  $0^\circ\text{C}$  auf annähernd  $80^\circ\text{C}$  erhitzt werden. Dementsprechend zeugen neuste Entwicklungen zur dezentralen Wärmebereitstellung und –speicherung in Form von Eisspeichern. Obgleich in diesem Bereich noch unterschiedliche Wissensstandards herrschen und die derzeitige Anwendungstechnik durchaus noch in den Kinderschuhen steckt, wird sich diese Technik doch absehbar weiterentwickeln und einmal mehr auf das Medium Wasser als Energieträger zwischen Wärmequelle und Wärmesenke zurückgreifen.



Funktionsprinzip SteamBack System.

Eigenschaft	Vergleich mit anderen Substanzen	Implikationen für Geosphäre und Biosphäre
Spezifische Wärme (auf die Masse bezogen)	Größer als diejenige aller anderen relevanten natürlichen Flüssigkeiten und Festkörper	Schützt die Umwelt vor extremen Temperaturschwankungen. Transport von Wärme in der Hydrosphäre. Klimarelevant.
Latente Schmelzwärme	Größer als diejenige aller anderen Substanzen, außer NH <sub>3</sub>	Stabilisierung der Umgebungstemperatur beim Schmelzpunkt durch Gefrieren und Auftauen.
Latente Verdampfungswärme	Größer als diejenige aller anderen Substanzen	Die Verdampfungswärme ist entscheidend für die Regulierung der Umgebungstemperatur. Unterschiede zwischen Tag und Nacht werden verkleinert.
Thermische Ausdehnung	Wasser hat eine Temperatur (max. Dichte) oberhalb des Gefrierpunktes (Temperaturanomalie). Für Meerwasser verschwindet die Anomalie.	Süßwasserseen sind unterhalb 4 °C invers geschichtet und können so gefrieren.
Oberflächenspannung	Maximal unter allen Flüssigkeiten	Wichtig für die Physiologie der Zelle, bestimmt die Tropfenbildung.
Lösungsvermögen	Groß	Für viele biologische und chemische Prozesse wichtig.
Wärmeleitfähigkeit	Am größten unter allen Flüssigkeiten	Relevant für kleine Skalen (z.B. Zelle). Über große Distanzen dominiert der Wärmetransport durch Advektion.
Molekulare Viskosität	Relativ klein im Vergleich zu anderen Flüssigkeiten	Fließt bei gegebenem Druckgradienten relativ gut.
Transparenz	Relativ groß	Im sichtbaren Bereich ist die Lichtabsorption relativ klein, nicht so im Infrarot und UV. Dies ermöglicht die Photosynthese auch in großer Wassertiefe.

Quelle: Werner Aeschbach-Hertig

Einige außerordentliche physikalische Eigenschaften von Wasser und deren Auswirkungen bzw. Relevanz auf die Umwelt.

Temperatur in °C	Dampfdruck $e_w$ in mbar	Spez. Wärme $c_p$ in J/kg*K	Verdampfungswärme in 10 <sup>6</sup> J/kg
0	6,1	4217,4	2,501
10	12,3	4191,9	2,477
20	23,3	4181,6	2,454
30	42,3	4178,2	2,43
40	73,8	4178,3	2,406
50	123	4180,4	2,382
60	199	4184,1	2,357
70	311	4189,3	2,333
80	473	4196,1	2,308
90	701	4204,8	2,283
100	1013	4215,7	2,257

Quelle: Werner Aeschbach-Hertig

Einige physikalische Eigenschaften des Wassers hinsichtlich der Wärmeenergie.

Ebenso wenig wie Wasser, kann Energie verbraucht werden. Das Missverständnis von „Energieverbrauch“ wird einmal mehr deutlich im Umgang mit dem Thema Wärmebedarf für Trink-Warmwasser. Der energetische Aufwand für die Bereitstellung eines Trinkwarmwasserbedarfs (aus Trink-Kaltwasser mit einer Temperatur von 10°C) von beispielsweise 50 Liter (~ 50 kg) auf eine Temperatur von 55°C bedeutet demnach annäherungsweise  $4200 \text{ J}/(\text{kg} \times \text{K}) \times 45 \text{ K} \times 50 \text{ kg} = 9450.000 \text{ J} = 9450 \text{ kJ}$ . Bezogen auf die heute gebräuchlichere Einheit Kilowattstunde (kWh) für Energiemenge bedeutet dies entsprechend der oben genannten Umrechnungsgleichung:  $0,278 \text{ Wh} \times 9450 \text{ kJ} = 2627,1 \text{ Wh} = 2,63 \text{ kWh}$ .

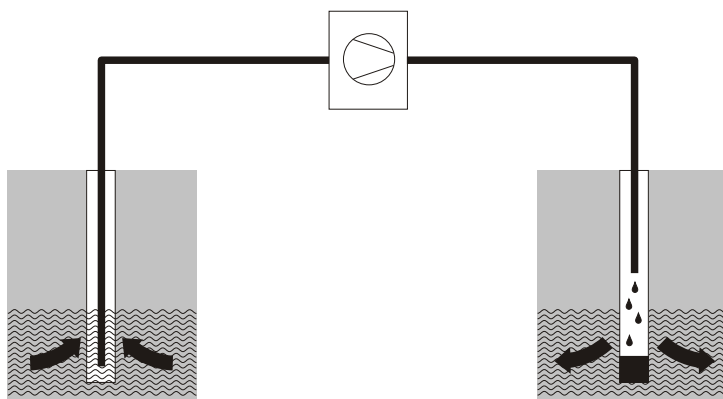
Aufgrund der hohen Systemtemperatur (Trinkwasserhygiene, Zirkulation), Gleichzeitigkeitsfaktoren und Komfortansprüche, ist heute die energetische Bereitstellung von Trink-Warmwasser oft die größere Herausforderung, als die Innenraumtemperierung. Aufgrund der hohen energetischen Qualität der thermischen Hülle von Gebäuden, sind nunmehr Niedrigtemperatursysteme nötig um den Heizwärmebedarf abzudecken. Insbesondere die Systeme der Flächenheizung /-kühlung wirken hier mit Systemtemperaturen, die deutlich niedriger sind, als die Bereitstellungstemperatur für Trink-Warmwasser, jedoch gleichsam dem Temperaturspektrum des Wärmekörpers Mensch entsprechen.

### Grauwasser als Wärmequelle

Es stellt sich in der Tat die Frage, warum im Zeitalter der so genannten Energieeffizienz die Wärmerückgewinnung aus Grauwasser nicht längst schon Stand der Technik ist. Immerhin fließt das so aufwendig bereitgestellte (und vorgehaltene) Warmwasser direkt nach dem Duschen oder Baden in die Abwasserleitungen. Ausgehend von obigem Beispiel bedeutet dies bei 50 l Grauwasser einen Wärmeinhalt von 1,17 kWh. Das besagt abzüglich etwaiger Wärmeübertragungsverluste einen Wärmerückgewinnungsgrad (WRG-Grad) von etwa 40 %, die mittlerweile auch von ersten Referenzanlagen, vornehmlich in Österreich bestätigt werden. Neu ist diese Anwendungstechnik keineswegs, nur zeitgemäßer.

In städtischen Gebieten bestehen bereits Abwasserkanalsysteme mit integrierten Wärmeübertragern als Wärmequellenanlage für Heizungswärmepumpen. Dieser zentrale WRG-Ansatz könnte effizienzsteigernd dezentral in den jeweiligen Gebäuden, bzw. Wohn- /Nutzungseinheiten direkt umgesetzt werden. Eine Studie zur Wärmerückgewinnung aus Abwasser, die vom österreichischen Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie in „Berichte aus Energie- und Umweltforschung“ aus dem Jahr 2013

Quelle: Forum Wohnenergie/Solargrafik



Die Grafik zeigt eine Grundwasser-Brunnenanlage als Wärmequellen- und Wärmesenkenanlage (Heizen/Kühlen); um Wärme aus dem Untergrund für den Arbeitsprozess der Wärmepumpe zu generieren, bzw. Wärme aus dem Gebäude in den Untergrund mittels Wasser als Trägermedium abzuführen.

veröffentlicht wurde, kommt zu dem Ergebnis: „Thermodynamisch günstiger wäre es, die Wärme bereits vor dem Einleiten in die Kanalisation und möglichst aus unvermischten warmen Abwässern zurückzuholen und an Ort und Stelle wieder einzusetzen“. Das spricht ebenfalls für eine dezentrale Wärmerückgewinnung aus Grauwasser.

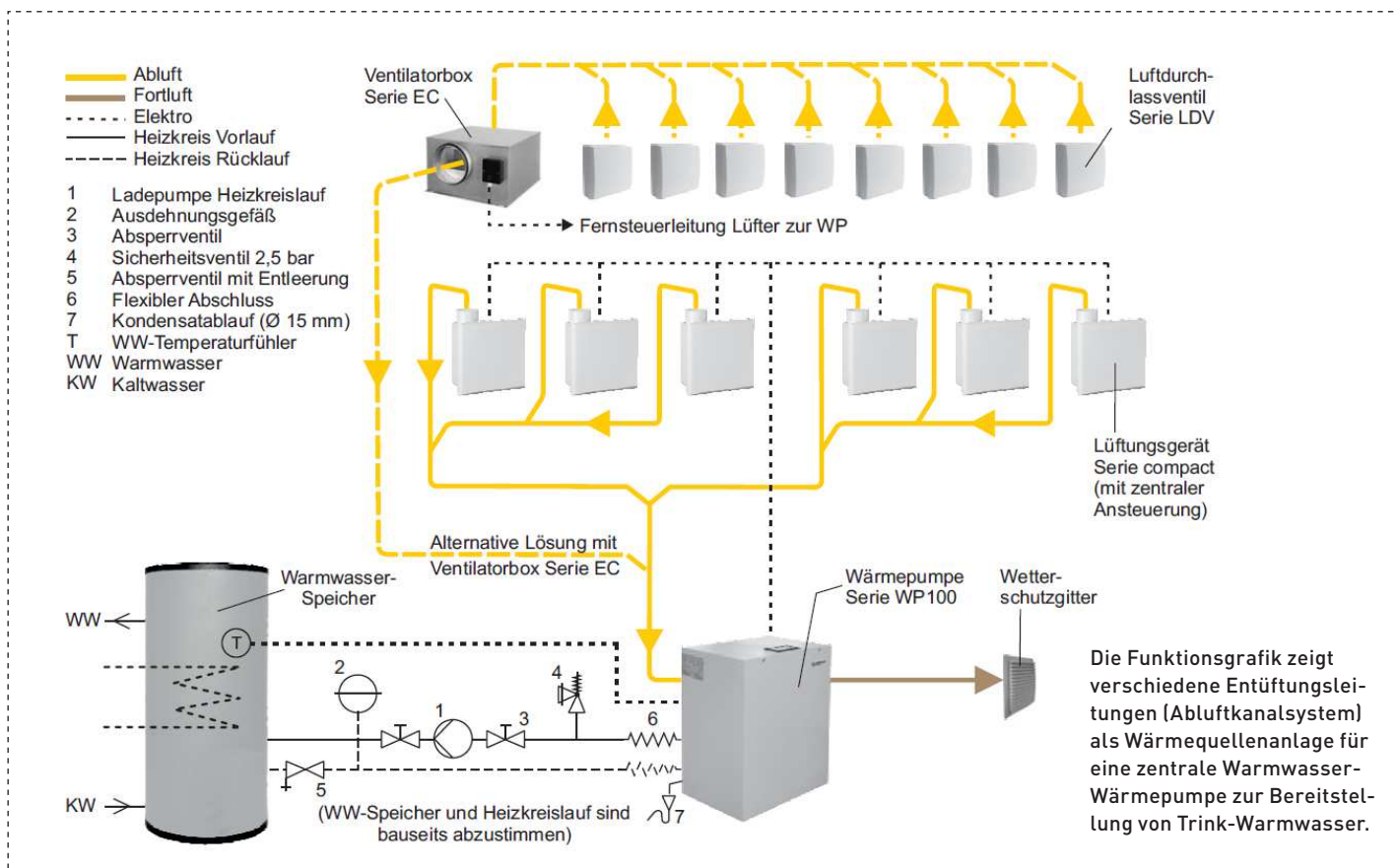
### Grundwasser als Energiequelle

Regeneration ist gleichermaßen die Grundlage zur thermischen Nutzung des oberflächennahen Untergrunds. Für die dauerhafte Nutzung des Untergrunds als Wärmequelle,

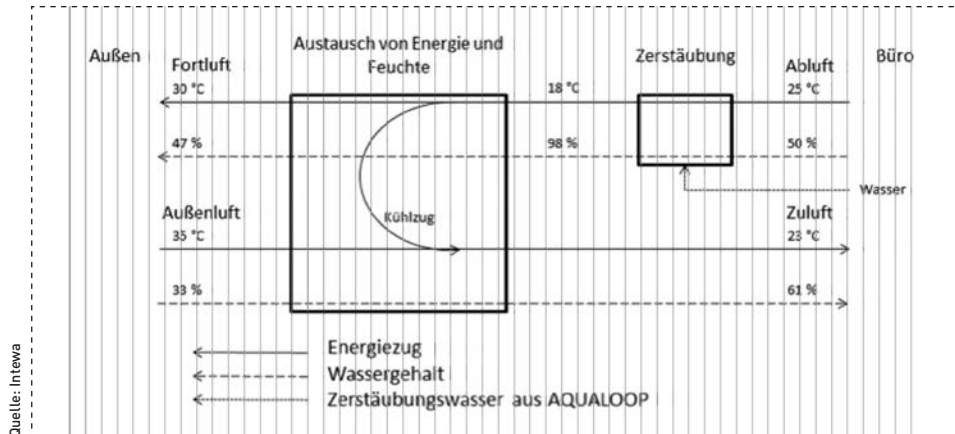
muss eine Regeneration des Untergrunds möglich sein, welche den Ausgleich des Wärmeentzugs zeitnah sicherstellt. Nur so ist ein dauerhaft nachhaltiger und aufwandstabiler Betrieb sicher zu stellen. Durch die verbreitete Anwendung von erdgekoppelten Wärmepumpenheizungen wurde das Wärmepotenzial des oberflächennahen Untergrunds gleichermaßen als Wärmequelle und Wärmesenke entdeckt und mittlerweile längst zum Stand der Technik etabliert. Der Untergrund (das Erdreich) fungiert dabei als thermischer Speicher. Ähnlich wie bei einer solarthermischen Anlage ist auch hier ein Wärmeübertra-

ger (Absorber) als geschlossenes System üblich, der in der Regel ebenfalls wie konventionell betriebene solarthermische Anlagen mit einem Wasser-Glykolegemisch befüllt ist, um die im Untergrund aufgenommene Wärme an den Verdampfer des Kältekreislaufs der Wärmepumpe zu bringen.

Eine effizientere Wärmequelle stellt die Nutzung von Grundwasser in einem offenen System dar, um die volle thermische Qualität des Wassers zu nutzen. In diesem Fall wird das Grundwasser direkt als Wärmespeicher- und Wärmeträgermedium genutzt. Dies verlangt einerseits einen Ansaugbrunnen, um das Grundwasser an die Wärmepumpe zu bringen und andererseits einen Schluckbrunnen, der das vom Arbeitsprozess der Wärmepumpe entwärmte Wasser wieder in den Untergrund zurückführt. Die Wärmequellenanlagen einer erdgekoppelten Wärmepumpe können auch als Wärmesenke verwendet werden. Hier findet sich das thermodynamische Prinzip der Wärmeleitung, dass Wärme nur von einem höheren auf einem niedrigeren Temperaturniveau selbstständig übergeht. Die Bewegungen der Grundwasserschichten sind Teil der Regeneration des Untergrunds. Neben der Sonneneinstrahlung ist es der Niederschlag, der eine natürliche Regeneration in Form eines natürlichen Temperatursausgleichs sicherstellt. Eine weitere Zu-



Quelle: Limot



Funktionsprinzip der Adiabaten Kühlung am Beispiel einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung – Kühlung der Abluft mittels Wasserdampf.

nahme von Versiegelungsflächen wirkt nicht nur in diesem Bereich destruktiv.

## Wasser als Wärmequelle und Wärmesenke

Die hohe Wärmeleitfähigkeit von Wasser ermöglicht somit auch die effiziente Art der Doppelfunktion von Flächentemperierungssystemen mit dem Medium Wasser in einem System. Während der Heizperiode wirkt der Innenraum von Gebäuden als Wärmesenke (Heizbetrieb) indem das Wasser die Wärme in den umbauten Raum transportiert. Im Sommer hingegen kehrt dasselbe System den Wärmetransport um und der Innenraum wirkt als Wärmequelle, aus dem das Wasser die Wärme aufnimmt und aus dem umbauten Raum hinaus transportiert. Notwendig ist hierfür eine externe Wärmesenke (Umweltwärme / Kälteerzeuger), sowie im anderen Fall eine externe Wärmequelle (Umweltwärme / Wärmeerzeuger) notwendig ist. Die Effizienz der Kühlung ist gleichermaßen wie die der Heizung zuerst eine Frage der Regeneration.

### „Die energetische Bereitstellung von Trink-Warmwasser ist oftmals die größere Herausforderung, als die Innenraumtemperierung“

Es besteht heute in Fachkreisen Einigkeit darüber, dass die Gebäudekühlung nicht nur weiterhin an Bedeutung gewinnen, sondern einen zentralen Stellenwert für zukünftige Gebäudeplanungen einnehmen wird. Der Doppelfunktion von Flächentemperierungssystemen wird dabei in Zukunft eine noch größere Bedeutung zukommen, da es sich dabei um das nachhaltigste System für eine ganzjährige Innenraumklimatisierung mit einem Maximum an Energieeffizienz, Komfort und Nachhaltigkeit handelt. Auch wenn Wärmepumpen in reversibler Betriebsweise hier weiterhin

eine bedeutende Rolle spielen werden, sollten die Innovationen auch unabhängig vom Vorhandensein einer Wärmepumpenheizung vorangetrieben werden. Bei einer passiven Flächenkühlung (negative Flächentemperierung) ist de facto eine Wärmesenke notwendig. Mit Wasser (Regenwasser und Grundwasser) als Wärmesenke und Wärmeträgermedium gleichermaßen, ist ebenso eine passive Flächenkühlung, auch ohne Wärmepumpenheizung möglich. Das ist ein entscheidender Vorteil für die Marktakzeptanz und Systemvielfalt. Somit wäre z. B. auch bei einer Biomasse- oder Gas-Brennwertheizung eine Kühlung mittels Flächentemperierung möglich.

## Wasser und Lüftungskonzept

In der Wärmerückgewinnung aus Abluft spielt Wasser in Form von Wasserdampf eine ebenso bedeutende Rolle in der Lüftungstechnik. Insbesondere in Entlüftungsanlagen aus Sanitär-räumen mit hohem Wasserdampf aber auch Wärmeanteilen vermag eine Wärmerückgewinnung beispielsweise mittels dezentralen Abluft-Wärmepumpen direkt die erneute Warmwasserbereitung zu unterstützen. Beide Prozesse liegen im zeitlichen Intervall sehr nahe beieinander. Sobald entsprechende Wasserdampfplaten durch Duschen und Baden anfallen, besteht nicht nur ein Lüftungsbedarf (Abluft) sondern gleichsam wieder die Notwendigkeit warmes Trinkwasser wieder vorzuhalten, bzw. bereitzustellen. (Siehe hierzu auch Artikel „Dampfschwaden energetisch nutzen“ in der SBZ [SBZ 4/2016](#)).

Ebenso kann im Kontext eines Lüftungskonzeptes eine Anköhlung der zugeführten Außenluft im Sommer mittels Adiabate Kühlung erfolgen. Die angesaugte, warme Außenluft wird durch den Wärmetauscher einer Lüftungsanlage mit WRG geführt. Die Luft wird nun dem Innenraum zugeführt und dort durch Personen

und Geräte erwärmt und weiter befeuchtet. Die sogenannte „adiabatische Abkühlung“, befeuchtet nun die Abluft unmittelbar vor dem Wärmetauscher. Die Befeuchtung der Abluft erfolgt bis nahezu zum Sättigungspunkt. Folglich gibt die Abluft jene Energiemenge an das Wasser ab, die notwendig ist, um die entsprechende Wassermenge zu verdampfen. Daraus resultiert eine kühlere feuchte Luft, die nun wiederum über den Wärmetauscher, Energie der Außenluft entnimmt und somit diese abkühlt. Die Abluft wird wiederrum erwärmt und als Fortluft aus dem Gebäude gebracht. Dem Wärmetauscher in einer Lüftungsanlage (Zu-/Abluft-Anlage) kommt hierbei als entscheidendes Bauteil die thermo-dynamische Funktionalität zwischen Wärmequelle und Wärmesenke zu, was einmal mehr dafür spricht, in Zukunft besser von Wärmeübertragern zu sprechen.

## Fazit

Wasser wird auch weiterhin eine zentrale Bedeutung als Wärmeträgermedium zukommen. Darüber hinaus wäre es töricht, sich allein damit zufriedener zu geben und Wasser nicht umfassend als regenerative Energiequelle, wie – senke zu begreifen. Ein konsequentes Energieverständnis wird die Wärmerückgewinnung aus Grauwasser einfordern und anwendungstechnische Innovationen voranbringen. Der Gesamt-Energieaufwand für die Trink-Warmwasserbereitung würde sich damit deutlich reduzieren. Grundwasser weiterhin als Wärmequelle/-senke zu nutzen, verlangt konsequenterweise den Grundwasserspiegel zu stabilisieren und die Entsigelung von bebauten Flächen voranzubringen. Schließlich wird Wasser auch in seinen anderen Aggregatzuständen regenerativ zu nutzen sein, wie es die Entwicklungen der Adiabaten Kühlung, oder von Eispeichern, bis hin zu solarthermischen Kraftwerken, zeigen. In der SBZ-Ausgabe 11/2016 wird im sechsten Teil der Artikelserie das Thema Passive Flächenkühlung mit Regenwasser behandelt um aufzuzeigen, was zu beachten ist, um in die naturnahe Bewirtschaftung von Regenwasser eine Wärmesenkenanlage zu integrieren.



## AUTOR



**Frank Hartmann** ist Gas-Wasser-Installateur, Heizungs- und Lüftungsbauer, Elektroinstallateur

und Energietechniker. Er ist zudem Gründer vom Forum Wohnenergie für energie-effizientes Bauen und Renovieren, 97509 Zeilitzheim, Telefon (0 93 81) 71 68 31, hartmann@forum-wohnenergie.de

