

Beschreibung

Verfahren zum Betrieb eines Zirkulationssystem sowie Zirkulationssystem

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines Zirkulationssystem sowie ein Zirkulationssystem, jeweils gemäß den Merkmalen der Oberbegriffe der unabhängigen Ansprüche.

Um Mikrobeiwachstum in Kaltwassernetzen zu verhindern, verlangen die DIN EN 806, sowie die VDI-Richtlinie 6023 für Trinkwasserinstallationen in Gebäuden, eine Begrenzung der Temperatur des kalten Trinkwasser (PWC) in allen Leitungen der Installationen jederzeit auf einen Wert von maximal +25°C. Nach der DIN EN 806-2,3.6 soll für Kaltwasserstellen die Wassertemperatur 30 Sekunden nach dem vollen Öffnen einer Entnahmestelle nicht +25°C übersteigen. Ferner ist um eine Stagnation des Wassers zu vermeiden, die Kaltwasserinstallation so auszulegen, dass unter normalen Betriebsbedingungen das Trinkwasser in allen Leitungen der Installation regelmäßig erneuert wird. Ähnlich ist auch in der VDI-Richtlinie 6023 die Empfehlung enthalten, die Temperatur des Trinkwassers möglichst unter +25°C zu halten. Es versteht sich, dass häufig auch für andere Wasserinstallationen eine Temperaturbegrenzung des Wassers als notwendig angesehen wird, beispielsweise für Installationen von industriellem Brauchwasser.

Das Auftreten hoher PWC-Temperaturen wird durch das alleinige oder gemeinsame Auftreten verschiedener Gegebenheiten begünstigt, so unter anderem durch:

- hohe PWC-Temperaturen bereits am Hausanschluss,
- thermische Beeinflussung der Installationsbereiche durch z. B. die Lage und Ausrichtung des Gebäudes oder der Installationsbereiche innerhalb des Gebäudes,
- unzureichende Dämmung der PWC-Rohrleitungen gegen Wärmeeintrag,
- Installation von PWC-Rohrleitungen in Räumen und Technikzentralen mit Wärmequellen, in gemeinsamen Installationsbereichen wie beispielsweise in Schächten, Kanälen, Abhangdecken und Installationswänden mit wärmeabgebenden Medien (z. B. Heizungsrohrleitungen, Trinkwarmwasser (PWH) und Trinkwarmwasser - Zirkulationsanlagen (PWH-C), Zuluft- und Abluftkanäle, Lampen),
- Phasen der Stagnation in vorgeannten Installationsbereichen,
- weit verzweigte PWC-Installationen mit einhergehenden großen Anlagenvolumina,
- zu groß dimensionierte PWC-Rohrleitungen.

Bevorzugte Methode bei dem Versuch, die gesetzlichen Vorschriften in Stagnationsphasen zu erfüllen, ist bislang die Zwangsspülung der Anlagen um den bestimmungsgemäßen Betrieb in diesen Phasen nachzuahmen.

Um kaltes Trinkwasser zur Verfügung zu stellen sind für das Kaltwassernetz bereits verschiedene gekühlte Zirkulationssysteme vorgeschlagen worden.

Aus der EP 1 626 034 A1 ist bereits ein gekühltes Zirkulationssystem bekannt, bei dem eine kontrollierte Zugabe eines Desinfektionsmittels zum Wasser vorgesehen ist.

Aus der DE 10 2014 013 464 A1 ist Verfahren für den Betrieb einer Zirkulationsanlage mit einem Wärmespeicher, einer Zirkulationspumpe, einer Regeleinheit und wenigstens zwei Strängen und mit im Übrigen unbekannter Rohrnetzstruktur bekannt. Zu den Strängen, die jeweils ein über ein Motorantrieb einstellbares Ventil besitzen, korrespondieren Temperatur - Sensoren, die vor jeder Mischungsstelle zwischen den Strängen angeordnet sind. Die Motorantriebe und/oder die Zirkulationspumpe sind zum Datenaustausch mit der Regeleinheit kabellos oder kabelgebunden verbunden. Die Regeleinheit ist dazu ausgebildet, einen thermischen hydraulischen Abgleich und eine thermische Desinfektion durch eine Hubbegrenzung von gemessenen Temperaturen und/oder eine Anpassung der Pumpleistung in Abhängigkeit von einer Differenz zwischen einem Temperatur Ist-Wert und Temperatur Soll-Wert durchzuführen.

Aus der DE 20 2015 007 277 U1 ist eine Trink- und Brauchwasserversorgungseinrichtung eines Gebäudes mit einem Hausanschluss für kaltes Wasser, der an das öffentliche Versorgungsnetz angeschlossen ist, bekannt. Die Versorgungseinrichtung umfasst zumindest eine Zirkulationsleitung, die mit einer Pumpe versehen ist, und zu zumindest einem Verbraucher führt. In der Zirkulationsleitung ist ein Wärmetauscher vorgesehen, der dem Wasser Wärme entzieht.

In der EP 3 159 457 A1 ist ferner eine Trink- und Brauchwasserversorgungseinrichtung der aus der DE 20 2015 007 277 U1 bekannten Art beschrieben, wobei der Wärmetauscher durch einen Latentwärmespeicher gebildet wird und ein in der Zirkulationsleitung vorgesehenes motorbetriebenes Spülventil, das steuerungsmäßig mit einer Steuervorrichtung verbunden ist aufweist. Das Spülventil ist zwischen dem Latentwärmespeicher und einer Mündung des Hausanschlusses in der Zirkulationsleitung angeordnet und in Strömungsrichtung dem Latentwärmespeicher nachgeordnet.

Bei den bekannten Zirkulationssystemen mit Kühlung des Wassers ist zum Teil überhaupt nicht, oder jedenfalls nicht auf effektive Weise gewährleistet, dass für alle Teilstrecken und für alle Zeiten während des Betriebs des Zirkulationssystems die Wassertemperatur unter der gewünschten Temperatur bleibt.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher auf effektive Weise zu erreichen, dass für alle Teilstrecken und für alle Zeiten während des Betriebs eines Zirkulationssystems die Wassertemperatur unter der gewünschten Temperatur bleibt.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche gelöst.

Das erfindungsgemäße Verfahren bezieht sich auf ein Zirkulationssystem mit einer Kühlvorrichtung mit einem Eingangsport und einem Ausgangsport zur Kühlung von Wasser und mit einem Leitungssystem mit mehreren Strängen, welche eine oder mehrere Teilstrecken mit gegebener Wärme – Kopplung mit einer Umgebung aufweisen und mittels Knoten verbunden sind, wobei eine oder mehrere der Leitungen des Leitungssystems als Vorlaufleitung ausgebildet sind, zumindest eine mit einer Entnahmestelle verbundene Einzelzuleitung und zumindest eine als Zirkulationsleitung ausgebildete Leitung mit der oder den Vorlaufleitungen verbunden ist.

Das erfindungsgemäße Verfahren zum Betrieb des Zirkulationssystem zeichnet sich dadurch aus, dass ausgehend von einem Temperatur - Startwert $T_{MA}^* < T_{soll}$ und einem Volumenstrom–Startwert V_z^* für die erste an den Ausgangsport angeschlossene Teilstrecke eine Temperaturänderung des Wassers zwischen Anfangsbereich und Endbereich entsprechend einem Modell der axialen Temperaturänderung ermittelt wird, eine Temperaturänderung des Wassers zwischen Anfangsbereich und Endbereich für jede gegebene weitere, an die erste Teilstrecke angeschlossene Teilstrecke entsprechend dem Modell der Temperaturänderung ermittelt wird, unter der Randbedingung, dass die Wassertemperatur im Anfangsbereich der gegebenen Teilstrecke gleich der Wassertemperatur im Endbereich der Teilstrecke ist, an die die gegebene Teilstrecke in Fließrichtung des Wassers angeschlossen ist und der Wert T_a der Wassertemperatur und der Wert V_z des Volumenstroms am Ausgangsport so gewählt werden, dass im Endbereich jeder Teilstrecke des Zirkulationssystems die Wasser - Temperatur $T_{ME} < T_{soll}$ beträgt und am Eingangsport die Wassertemperatur $T_b < T_{soll}$ mit $T_{soll} - T_b < \theta$ ist, wobei $\theta > 0$ ein vorgegebener Wert ist.

Vorzugsweise besteht das Ermitteln in einem Berechnen gemäß dem Modell der axialen Temperaturänderung des Wassers zwischen Anfangsbereich und Endbereich der Teilstrecke,

also des entsprechenden Leitungsstücks, aufgrund von Wärmeaufnahme aus der Umgebung der Teilstrecke. Beginnend mit der ersten an die Kühlvorrichtung angeschlossenen Teilstrecke wird somit das sukzessiv das gesamte System der Teilstrecken durchlaufen und daher die Temperatur im gesamten System berechnet.

Erfindungsgemäß werden bei dem Verfahren, der Wert T_a der Wassertemperatur und der Wert V_z des Volumenstroms am Ausgangsport, bei denen erreicht wird, dass im Endbereich jeder Teilstrecke des Zirkulationssystems die Wasser - Temperatur $T_{ME} < T_{soll}$ beträgt und am Eingangsport die Wassertemperatur $T_b < T_{soll}$ mit $T_{soll} - T_b < \theta$ ist, wobei $\theta > 0$ ein vorgegebener Wert ist, mittels einer Modellierung von Temperatur und Volumenströmen des im Leitungssystem zirkulierenden Wassers ermittelt, vorzugsweise berechnet. Vorzugsweise erfolgt dies für einen Zustand mit einem stationären V_z .

Die Kühlvorrichtung und ggfs. eine Zirkulationspumpe des Zirkulationssystems werden dann so eingestellt, dass die Wassertemperatur und der Volumenstrom die ermittelten Werte T_a und der Wert V_z annehmen.

Es wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, dass eine Temperatur an einem Ausgangsport eingestellt wird, darauf basierend Temperaturänderungen berechnet und zur Modellierung nach den Vorgaben des Kennzeichens des Anspruchs 1 verwendet werden.

Vorteil des Berechnens ist, dass kein Sensor benötigt wird, um etwas zu messen, und dass man Einflussgrößen bewerten und variieren kann und evtl. auch Vorhersagen treffen kann.

Das Berechnen bietet im Vergleich zu einer Zweipunktregelung und/oder einer unterlagerten Stockwerksregelung beziehungsweise Strangregelung, den Vorteil, dass weniger Messstellen benötigt werden und das System insgesamt weniger schwingungsanfällig ist.

Die erfindungsgemäße Regelung erfolgt also im Vergleich zum Stand der Technik mittels eines Stelleingriffs am Ausgangsport, wobei dem Regler - Entwurf jedoch das gesamte Wasserleitungssystem mit verteilten Parametern mit einer Berechnung einer Vielzahl von Temperaturen T_{ME} zu Grunde liegt. Es sind also grundsätzlich nur ein Regler, und nur eine Temperatureinstellung zum Bereitstellen der Temperatur T_a erforderlich.

Ein ähnliches Problem wie für ein Kaltwassernetz besteht bei einem Warmwassernetz. Dabei ändern sich nur die Betriebstemperaturen, wobei statt einer Kühlvorrichtung ein Speicher oder Heizer eingesetzt wird. Die Temperaturen im Warmwassernetz liegen zwischen 60 °C am Speicheraustritt und 55 °C am Speichereintritt. Im Gegensatz zum Kaltwassernetz, bei dem es

zu einer Temperaturerhöhung infolge von Wärmegewinnen aus der Umgebung kommt, führen Wärmeverluste zu einer Temperaturabnahme im Warmwassernetz.

Die nachfolgende Formel gilt sowohl für den Temperaturabfall in einem Warmwassernetz als auch für den Temperaturanstieg in einem Kaltwassernetz.

$$\Delta\vartheta = \dot{q} \frac{l}{\dot{m} \cdot c_W} = \dot{q} \frac{l}{\dot{V} \cdot \rho \cdot c_W}$$

$\dot{q}$ = spezifischer Wärmestrom in W / m

$$\Delta\vartheta = \vartheta_{\text{Medium,Anfang}} - \vartheta_{\text{Medium,Ende}} \quad \text{Warmwasser}$$

$$\Delta\vartheta = \vartheta_{\text{Medium,Ende}} - \vartheta_{\text{Medium,Anfang}} \quad \text{Kaltwasser}$$

Die Erfindung umfasst daher auch den analogen Fall eines Warmwassernetzes, wobei statt einer Kühlvorrichtung ein Speicher oder Heizer eingesetzt wird.

Ferner sind die o.g. Formel auch in einem Kaltwassernetz gültig, falls die Temperatur des Wassers höher als die Umgebungstemperatur ist.

Allgemein umfasst die Erfindung daher mit entsprechenden Anpassungen der zur Berechnung gemäß dem Modell eingesetzten Formeln den Fall, dass statt einer Kühlvorrichtung ein Wärmetauscher eingesetzt wird, der das Wasser erwärmen oder kühlen kann.

Der Begriff Strang bezeichnet eine aus einer Teilstrecke oder mehreren Teilstrecken bestehende Leitung zwischen zwei Knoten, zwischen denen kein weiterer Knoten liegt.

Die Stränge sind über Knoten verbunden.

Vorzugsweise bezieht sich die Randbedingung, dass die Wassertemperatur im Anfangsbereich der gegebenen Teilstrecke gleich der Wassertemperatur im Endbereich der Teilstrecke ist, an die die gegebene Teilstrecke angeschlossen ist, nur auf die Teilstrecken jeweils eines Stranges.

Die Temperatur und Größe des aus einem Knoten in eine anschließende Teilstrecke auslaufenden Volumenstroms hängt von den Temperaturen und Größen der einlaufenden

Volumenströme ab. Von der Erfindung werden diese vorzugsweise als durch die Auslegung des Leitungssystem gegeben vorausgesetzt.

Die Aufteilung der aus einem Knoten abfließenden Volumenströme auf die verschiedenen abgehenden Leitungen beziehungsweise Teilstrecken wird bei der Erfindung vorzugsweise als durch die Auslegung des Leitungssystems gegeben vorausgesetzt.

Vorzugsweise werden Mischtemperaturen bei Strangvereinigung sowie die Temperaturen bei Strangteilung ausgehend von einer prozentualen Volumenstromaufteilung errechnet.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird das Leitungssystem als gegeben vorausgesetzt, wobei es sich versteht, dass das Leitungssystem entsprechend den Vorgaben der DIN 1988-300 zur Auslegung von Rohrnetzen ausgelegt ist, wodurch insbesondere bestimmte Nennweiten der PWC - (Potable Water Cold) Leitungen und Werte thermischer Kopplung des zirkulierenden Wasser mit der Umgebung vorgeschrieben sind. Es versteht sich, dass generell auch die in anderen Ländern oder Regionen vorgeschriebenen oder empfohlenen Auslegungen des Rohrnetzes beachtet werden können.

Vorzugsweise wird als Volumenstrom- Startwert V_z^* der höchste nach der Auslegung des Leitungssystems zulässige Wert gewählt. Dieser Wert wird solange herabgesetzt, bis die Temperatur des zirkulierenden Wassers nahe T_{soll} liegt, da mit sinkendem Volumenstrom die Temperatur des zirkulierenden Wasser zunimmt und daher die Temperatur am Eingangsport steigt.

Vorzugsweise wird der Wert T_{MA}^* variiert und der höchste Wert T_a der Wassertemperatur gewählt, bei dem am Eingangsport die Wassertemperatur $T_b < T_{soll}$ mit $T_{soll} - T_b < \theta$ ist, wobei $\theta > 0$ ein vorgegebener Wert ist.

Durch die Vorgabe $T_{soll} - T_b < \theta$ wird gewährleistet, dass die Wassertemperatur im Zirkulationssystem nicht zu kalt eingestellt wird und das System energetisch ineffektiv betrieben wird. Typischerweise liegt θ in einem Bereich zwischen 1°C und 5°C, kann aber auch in einem anderen Bereich liegen.

Die Ermittlung der Temperaturänderung des Wassers zwischen Anfangs- und Endbereich jeder Teilstrecke kann entsprechend von Modellen erfolgen, die an sich bekannt sind, zum Beispiel durch Simulationsrechnungen oder auch entsprechenden bekannten Formeln.

Das Zirkulationssystem wird bei Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahren vorzugsweise in einem Zustand betrieben, in dem keine Wasserentnahme und keine Wasseraufnahme erfolgt, weil in diesem Zustand eine höhere Erwärmung des Wassers zu erwarten ist, als in einem Zustand in dem eine Wasserentnahme erfolgt und damit bei Verwendung der verfahrensgemäß ermittelten Parameter T_a und V_z ein Sicherheitsabstand zu einem Zustand mit unerwünscht hoher Wassertemperatur gewährleistet ist.

Die mittels des Verfahrens bestimmten Parameter T_a und V_z werden vorteilhaft verwendet, um ein gegebenes Zirkulationssystem, bei dem das Leitungssystem entsprechend den gesetzlichen Bestimmungen hinsichtlich Nennweiten und thermischer Kopplung des zirkulierenden Wasser mit der Umgebung ausgelegt ist, zu modellieren und so zu betreiben, dass die gesetzlichen Vorschriften hinsichtlich der Temperatur des Trinkwasser im Zirkulationssystem erfüllt werden.

Simulationen der Anmelderin für bereits bestehende Anlagen haben ergeben, dass mit den erfindungsgemäß eingestellten Parametern a) die erwähnten gesetzlichen Vorschriften erfüllt werden und b) eine höhere Energieeffizienz des Betriebs der Anlage erreicht wird.

Die mittels des Verfahrens bestimmten Parameter T_a und V_z werden vorteilhaft verwendet um bei einem gegebenen Zirkulationssystem, bei dem das Leitungssystem entsprechend den gesetzlichen Bestimmungen hinsichtlich Nennweiten und thermischer Kopplung des zirkulierenden Wasser mit der Umgebung ausgelegt ist, die Auslegung der Kühlvorrichtung hinsichtlich ihrer Kühlleistung zu bestimmen. Ferner kann ggfs. die Auslegung eine Zirkulationspumpe hinsichtlich ihrer Pumpleistung bestimmt werden.

Folgende Begriffe werden in diesem Text mit einer spezifischen Bedeutung verwendet, wobei die Definition an der Norm DIN EN 806 orientiert ist.

Als Zirkulationsleitung des Zirkulationssystems wird eine Leitung stromabwärts einer Entnahmestelle in dem Kreislauf bezeichnet, in dem Wasser von dem Ausgangsport einer Kühlvorrichtung zurück zum Eingangsport der Kühlvorrichtung läuft, falls an diese Leitung keine weitere Entnahmestelle angeschlossen ist.

Der Begriff Knoten wird für ein Leitungselement verwendet, an das Leitungen angeschlossen sind. In einen Knoten können entweder zumindest zwei Volumenströme einlaufen und genau ein Volumenstrom auslaufen oder genau ein Volumenstrom einlaufen und zumindest zwei Volumenströme auslaufen. Ein Knoten korrespondiert mit einer Verzweigung.

Vorzugsweise laufen in einen Knoten des Zirkulationssystems genau zwei Volumenströme ein und ein Volumenstrom aus oder es laufen genau ein Volumenstrom ein und genau zwei Volumenströme aus, wie beispielsweise bei einem T-Stück.

Für die Knoten des Zirkulationssystems gilt in Analogie zu elektrischen Stromkreisen das 1. Kirchhoffsche Gesetz, wonach die Summe der zufließenden Volumenströme gleich der Summe der abfließenden Volumenströme ist.

Vorzugsweise sind an jedem Knotenpunkt die auslaufenden Volumenströme in gleichgroße abgehende Volumenströme aufgeteilt. Es versteht sich, dass auch andere Aufteilungen möglich sind.

Bei einem Knoten mit genau einem auslaufendem mit unterschiedlichen Temperaturen Volumenstrom und genau einem einlaufenden Volumenstrom wird vorzugsweise angenommen, dass die Temperatur t_m und der Massenstrom m_m des Mischwassers des auslaufenden Volumenstroms über die folgende Beziehung mit Temperatur t_k und Massenstrom m_k des kälteren bzw. Temperatur t_w und Massenstrom m_w des wärmeren Stroms zusammen hängen:

$$t_m = \frac{t_k * m_k + t_w * m_w}{m_m}$$

t_m = Temperatur Mischwasser (°C)

t_k = Temperatur kälteres Wasser (°C)

t_w = Temperatur wärmeres Wasser (°C)

m_m = Masse/Volumen (-strom) Mischwasser (kg; m³; kg/h; m³/h oder %)

m_k = Masse/Volumen (-strom) Kaltwasser (kg; m³; kg/h; m³/h oder %)

m_w = Masse/Volumen (-strom) Warmwasser (kg; m³; kg/h; m³/h oder %)

Für die Ermittlung der Temperaturänderung des Wassers zwischen Anfangs- und Endbereich einer Teilstrecke werden neben der Länge der Teilstrecke vorzugsweise folgende Parameter verwendet

T_{Luft} = Temperatur Umgebungsluft (°C)

k_R = Wärmedurchgangskoeffizient der Rohrleitung (W/(m²K))

m_M = Massenstrom des Wassers in der Teilstrecke (kg/s)

$c_{p,m}$ = spez. Wärmekapazität des Wassers (J/(kgK))

V_M = Volumenstrom des Wassers in der Teilstrecke (m³/s)

ρ_M = Dichte des Wassers (kg/m^3)

Vorteilhaft kann für jede Teilstrecke des Zirkulationssystems bei einem stationärem Volumenstrom eine Temperaturänderung des Wassers zwischen ihrem Anfangsbereich und ihrem Endbereich ermittelt werden, wobei die Wassertemperatur im Endbereich einer gegebenen Teilstrecke gleich der Wassertemperatur im Anfangsbereich der in Strömungsrichtung des zirkulierenden Wassers nächsten an die gegebene Teilstrecke angeschlossenen Teilstrecke gewählt ist. Daher kann für jede Teilstrecke des Zirkulationssystems ausgehend von der Temperatur im Anfangsbereich, die Temperatur des Wassers im Endbereich der jeweiligen Teilstrecke bestimmt werden.

Vorteilhaft kann ausgehend von einer Temperatur am Ausgangsport bei einem stationärem Volumenstrom für jede Teilstrecke die Temperatur des zirkulierenden Wassers bestimmt werden, also auch ein Wert T_a der Wassertemperatur am Ausgangsport als Anfangstemperatur der an den Ausgangsport anschließenden Teilstrecke bestimmt werden, bei dem für die Endbereiche aller Teilstrecken die Wasser - Temperatur $T_{ME} < T_{soll}$ beträgt.

Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die Werte T_a und V_z in einem iterativen Näherungsverfahren bestimmt werden, bei dem ausgehend von einem Temperatur - Startwert $T_{MA}^* < T_{soll}$ und einem Volumenstrom - Startwert V_z^* für die erste an den Ausgangsport angeschlossene Teilstrecke, für jede gegebene Teilstrecke die Wasser - Temperatur T_{ME} in ihrem Endbereich berechnet wird, wobei die Wasser - Temperatur T_{MA}' im Anfangsbereich der nächsten angeschlossenen Teilstrecke gleich der Wasser - Temperatur T_{ME} im Endbereich der gegebenen Teilstrecke, als gewählt ist.

Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die Teilstrecken über die Länge zwischen ihrem Anfangsbereich und ihrem Endbereich hinsichtlich ihrer Wärme - Kopplung mit der Umgebung axial uniform ausgebildet sind, mithin sich axial nicht ändert. Dies ermöglicht eine Vereinfachung der Berechnungen.

Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass im Endbereich zumindest einer Teilstrecke der Länge L die Wasser - Temperatur T_{ME} mittels der Formel

$$T_{ME} = (T_{MA} - T_{Luft}) * e^{-\varepsilon * L} + T_{Luft}$$

$$\varepsilon = \frac{k_R}{m_M * c_{pm}} = \frac{k_R}{V_M * \rho_M * c_{pm}}$$

bestimmt wird, wobei gilt

L	= Länge (m) der uniformen Teilstrecke (T_{S1})
T_{MA}	= Wassertemperatur im Anfangsbereich ($^{\circ}\text{C}$)
T_{ME}	= Wassertemperatur im Endbereich ($^{\circ}\text{C}$)
T_{Luft}	= Temperatur Umgebungsluft ($^{\circ}\text{C}$)
k_R	= Wärmedurchgangskoeffizient der Rohrleitung ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)
$\dot{m}_M$	= Massenstrom des Wassers in der Teilstrecke (kg/s)
$c_{p,m}$	= spez. Wärmekapazität des Wassers ($\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$)
V_M	= Volumenstrom des Wassers in der Teilstrecke (m^3/s)
ρ_M	= Dichte des Wassers (kg/m^3)

Diese Formel ermöglicht eine gute Näherung der Temperaturänderung für uniforme Teilstrecken.

Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass der Wärmedurchgangskoeffizient der Teilstrecken nach der Formel

$$\frac{1}{k_R} = \frac{1}{\alpha_i * \pi} + \frac{1}{\Lambda_R} + \frac{1}{\alpha_a * \pi}$$

bestimmt ist, wobei

$1/k_R$	= <i>Wärmedurchgangswiderstand Rohrleitung</i> ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)
α_i	= <i>Wärmeübergangskoeffizient innen</i> ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)
$1/\Lambda_R$	= <i>Wärmedurchlasswiderstand</i> ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)
α_a	= <i>Wärmeübergangskoeffizient außen</i> ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)
d_a	= <i>Außendurchmesser</i> (m)
d_i	= <i>Innendurchmesser</i> (m)

und

$$\frac{1}{\Lambda_R} = \frac{1}{2 * \pi} * \left(\frac{1}{\lambda_r} * \ln \frac{d_{aR}}{d_{iR}} + \frac{1}{\lambda_D} * \ln \frac{d_{aD}}{d_{iD}} \right)$$

Im folgenden wird

Zur Ermittlung der Temperaturveränderungen und des Wärmegewinns im Wasser infolge des Temperaturunterschieds zur Umgebung werden im Folgenden die Gleichungen 1-4 verwendet.

Dazu wird Gleichung 1 für den Wärmedurchlasswiderstand in Gleichung 2 eingesetzt und somit der Wärmedurchgangswiderstand ermittelt. Mit dem Kehrwert von Gleichung 2 wird der Wärmedurchgangskoeffizient Gleichung 3 berechnet.

Wärmedurchlasswiderstand $\frac{1}{\lambda_{ges}}$ einer Rohrleitung inkl. Dämmung

$$\frac{1}{\lambda_{ges}} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left(\frac{1}{\lambda_R} \cdot \ln \frac{d_{aR}}{d_{iR}} + \frac{1}{\lambda_D} \cdot \ln \frac{d_{aD}}{d_{iD}} \right) \quad \text{Gleichung 1, siehe VDI 2055, 2008}$$

Wärmedurchgangswiderstand $\frac{1}{U_R}$ der isolierten Rohrleitung

$$\frac{1}{U_R} = \frac{1}{d_{iR} \cdot \alpha_i \cdot \pi} + \frac{1}{\lambda_{ges}} + \frac{1}{d_{aD} \cdot \alpha_a \cdot \pi} \quad \text{Gleichung 2, siehe VDI 2055, 2008}$$

$$\frac{1}{U_R} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left(\frac{1}{\lambda_R} \cdot \ln \frac{d_{aR}}{d_{iR}} + \frac{1}{\lambda_D} \cdot \ln \frac{d_{aD}}{d_{iD}} \right) + \frac{1}{d_{aD} \cdot \alpha_a \cdot \pi}$$

Wärmedurchgangskoeffizient U_R der isolierten Rohrleitung

$$U_R = \frac{\pi}{\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{\lambda_R} \cdot \ln \frac{d_{aR}}{d_{iR}} + \frac{1}{\lambda_D} \cdot \ln \frac{d_{aD}}{d_{iD}} \right) + \frac{1}{d_{aD} \cdot \alpha_a}} \quad \text{Gleichung 3}$$

Der Wärmedurchgangskoeffizient ist zentraler Bestandteil von Gleichung 4 zur Berechnung einer Temperatur am Ende einer Teilstrecke.

Mithilfe von Gleichung 4 werden für alle relevanten Teilstrecken die jeweiligen Anfangs- und Endtemperaturen des Kaltwassers ermittelt. Die Herleitung der Formel für die axiale Erwärmung von Wasser in einer Rohrleitung beginnt mit Gleichung 5:

$$\vartheta_{ME} = \Delta\vartheta_a \cdot e^{\frac{-U_R \cdot l}{m \cdot c_W}} + \vartheta_{Luft} \quad \text{Gleichung 4}$$

$$\Delta\vartheta = \Delta\vartheta_a \left(1 - e^{\frac{-U_R \cdot l}{\dot{m} \cdot c_W}} \right)$$

Gleichung 5, siehe VDI 2055, 2008

$$\Delta\vartheta = \vartheta_{MA} - \vartheta_{ME}$$

$$\vartheta_{MA} - \vartheta_{ME} = \Delta\vartheta_a \left(1 - e^{\frac{-U_R \cdot l}{\dot{m} \cdot c_W}} \right)$$

$$\vartheta_{ME} = - \Delta\vartheta_a \left(1 - e^{\frac{-U_R \cdot l}{\dot{m} \cdot c_W}} \right) + \vartheta_{MA}$$

$$\vartheta_{ME} = - \Delta\vartheta_a + \Delta\vartheta_a e^{\frac{-U_R \cdot l}{\dot{m} \cdot c_W}} + \vartheta_{MA}$$

einsetzen von $\Delta\vartheta_a = \vartheta_{MA} - \vartheta_{Luft}$ und anschließend zusammenfassen.

$$\vartheta_{ME} = \Delta\vartheta_a e^{\frac{-U_R \cdot l}{\dot{m} \cdot c_W}} + \vartheta_{Luft}$$

Über eine iterative Berechnung durch kleinteiliges/schrittweises Erhöhen des Volumenstroms wird jener Volumenstrom gesucht, der die Kaltwasser-Installation, mit einer angestrebten/vorgegebenen Spreizung von beispielsweise 5 K (15°C / 20°C), betreibt.

Mit Hilfe dieses Lösungsansatzes lässt sich neben der im Vordergrund stehenden Ermittlung eines Volumenstroms der Zirkulationsanlage auch für jeden beliebigen Punkt im betrachteten Rohrnetz eine Wassertemperatur bestimmen.

Vorzugsweise ist das iterative Näherungsverfahren die an sich bekannte Excel-Zielwertsuche; siehe Excel und VBA: Einführung mit praktischen Anwendungen in den Naturwissenschaften von Franz Josef Mehr, María Teresa Mehr, Wiesbaden 2015, Abschnitt 8.1.

Erfindungsgemäß werden Eckdaten des Leitungssystems einschließlich der o.g. angegebenen Parameter der Teilstrecken in das Programm eingetragen und mittels der Zielwertsuche der Volumenstrom V_z bestimmt, bei die Trinkwasserzieltemperatur T_b erreicht wird; beispielsweise wie folgt

3.1.1 Stoffwerte Wasser

Nr.		Wert /
MT	Bezeichnung	Einheiten
MT1	Trinkwasser Eingangstemperatur nach Ausgangsport	15,0 °C
MT2	Ziel Trinkwassertemperatur	20,0 °C
MT3	Dichte von Wasser bei 17,5 °C	998,8 kg/m³
MT4	Volumenstrom V_z	0,022 m³/h
MT5	Spezifische Wärmekapazität	1,163 Wh/(Kg*K)

3.1.2 Wärmeübergangskoeffizienten

Nr.			
W	Bezeichnung		(W/(m²*K))
Wi	Wärmeübergangskoeffizienten außen	α_a	5
Wa	Wärmeübergangskoeffizienten innen	α_i	0

3.1.3 Umgebungstemperaturen

Nr.	Bezeichnung	Temperatur
UT		t_{Luft} in °C
UT1	Heizraum	30 °C
UT2	Kellergang	20 °C
UT3	Schacht	30 °C
UT4	Abhangdecke Flur	33 °C
UT5	Vorwand Bad	26 °C
UT6	Rücklauf Schacht	26 °C

3.1.4 Dämmungen

Nr.			Wärmeleit- koeffizient
DA	Bezeichnung	Material	λ_{DA} in W/(m*K)
DA1	Rockwool mit PVC	Heizraum	0,035
DA2	Rockwool alukaschiert	Kellergang	0,035
DA3	Rockwool alukaschiert	Steiger	0,035
DA4	Rockwool alukaschiert	Decke im Flur	0,035
DA5	Flex EL-Conel 24x18	Vorwand Bad	0,032
DA6	Mit 9 mm Dämmung im FB	FB-Bad	0,04

3.1.5 Rohrwerkstoffe

Nr.		Nennweite	Wand- stärke	Wärme- leitkoeffizient
DA	Bezeichnung	mm	mm	λ_R in W/(m*K)
R1	Viega Raxofix	16 x 2,2	2,2	0,4
R2	Viega Raxofix	20 x 2,8	2,8	0,4
R3	Viega Raxofix	25 x 2,7	2,7	0,4
R4	Viega Raxofix	32 x 3,2	3,2	0,4
R5	Viega Raxofix mit Dämmung	16 x 2,2	2,2	0,35
R6	Viega Raxofix mit Dämmung	20 x 2,8	2,8	0,35
R7	Viega Raxofix mit Dämmung	25 x 2,7	2,7	0,35
R8	Viega Raxofix mit Dämmung	32 x 3,2	3,2	0,35
R9	Viega Sanpress	15 x 1,0	1	23
R10	Viega Sanpress	18 x 1,0	1	23
R11	Viega Sanpress	22 x 1,2	1,2	23
R12	Viega Sanpress	28 x 1,2	1,2	23
R13	Viega Sanpress	35 x 1,5	1,5	23
R14	Viega Sanpress	42 x 1,5	1,5	23
R15	Viega Sanpress	54 x 1,5	1,5	23
R16	Viega Sanpress	64 x 2	2	23

In diesem Beispiel ist der berechnete Volumenstrom V_z , bei dem bei einer Eingangstemperatur T_a von 15°C eine Zieltemperatur T_b von 20° erreicht wird, in der Zeile MT4 angegeben.

Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass in das Zirkulationssystem eine Zirkulationspumpe integriert ist, womit ein gewünschter Volumenstrom eingestellt werden kann.

Es versteht sich, dass auch mehrere Kühlvorrichtungen und/oder Zirkulationspumpen vorgesehen sein können.

Im folgenden werden Ausführungsformen mit Leitungsstrukturen beschrieben, wie sie typischerweise bei Trinkwasserinstallationen in Gebäuden eingesetzt werden.

Eine Anschlussleitung ist eine Leitung zwischen einer Versorgungsleitung und einer Trinkwasserinstallation beziehungsweise dem Zirkulationssystem.

Eine Verbrauchsleitung ist eine Leitung, die Wasser von der Hauptabsperrarmatur bis zu den Anschlüssen der Entnahme stellen und gegebenenfalls in Apparate leitet. Eine Sammelzuleitung ist eine horizontale Verbrauchsleitung zwischen der Hauptabsperrarmatur und einer Steigleitung. Eine Steig- (Fall) Leitung führt von Stockwerk zu Stockwerk und von dem die Stockwerksleitungen oder Einzelzuleitungen abzweigen. Eine Stockwerksleitung ist die Leitung, die von der Steig- (Fall) Leitung innerhalb eines Stockwerks abzweigt und von der Einzelzuleitungen abzweigen. Eine Einzelzuleitung ist die zu einer Entnahmestelle führende Leitung.

Bei einer Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass mindestens eine Vorlaufleitung mit mindestens einer Ringleitung verbunden ist.

Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass zumindest ein Zweig der Zirkulationsleitung von der mindestens eine Vorlaufleitung abgeht.

Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass zumindest ein Zweig der mindestens einen Zirkulationsleitung von der mindestens eine Ringleitung abgeht.

Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die mindestens eine Vorlaufleitung mindestens eine Steigleitung und/oder eine Stockwerksleitung umfasst.

Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die mindestens eine Vorlaufleitung eine Sammelzuleitung umfasst, die mit einem Anschluss an ein Wasserversorgungsnetz verbunden ist.

Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass der Anschluss mit mindestens einer Anschlussleitung und/oder mindestens einer Verbrauchsleitung verbunden ist.

Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass in der mindestens einen Vorlaufleitung und/oder der mindestens einen Ringleitung mindestens ein statischer oder dynamischer Strömungsteiler angeordnet ist, womit vorzugsweise eine Entnahmestelle für Wasser verbunden ist. Vorzugsweise erfolgt eine prozentuale Aufteilung der Volumenströme 95% am Abgang und 5% am Durchgang.

Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass mittels der Kühlvorrichtung zur Kühlung des zirkulierenden Wassers thermische Energie von dem zirkulierenden Wasser zu einem anderen Stoffstrom, vorzugsweise mittels eines Wärmeübertragers übertragen wird, wodurch eine Optimierung des Kühlungsprozesses durch

geeignete Wahl des anderen Stoffstroms, beispielsweise Propan, und eine Verringerung der benötigten Energie zum Betrieb der Kühlvorrichtung erreicht werden kann.

Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die Kühlvorrichtung thermisch an einen Kälteerzeuger, vorzugsweise eine Wärmepumpe, einen Kaltwassersatz oder ein Kälteversorgungsnetz gekoppelt wird, womit ebenfalls eine Verringerung der für den Kühlungsprozess benötigten Energie erreicht werden kann.

Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist das Ermitteln einer Verbrauchs - Kennlinie der Zirkulationspumpe in Abhängigkeit vom geförderten Volumenstrom der Zirkulationspumpe und das Ermitteln einer Verbrauchs - Kennlinie der Kühlvorrichtung in Abhängigkeit von einer Wassertemperatur am Ausgangsport und das Einstellen eines Volumenstroms V_z und einer Wassertemperatur T_a am Ausgangsport so dass die Leistungsaufnahme von Zirkulationspumpe und Kühlvorrichtung einen relativen oder absoluten Minimalwert annimmt, vorgesehen, womit die Energieeffizienz des Verfahrens verbessert wird.

Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist zweckmäßigerweise vorgesehen, dass für die Temperatur T_{soll} ein Wert von $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ gewählt und für die Wassertemperatur T_a am Ausgangsport ein Wert von $15^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ gewählt wird.

Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass zumindest eine Teilstrecke des Leitungssystem als Außen - Zirkulationsleitung ausgebildet ist, da insbesondere in bereits bestehende Zirkulationssysteme meistens Außen - Zirkulationsleitungen verbaut sind.

Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass zumindest eine Teilstrecke als Inliner - Zirkulationsleitung ausgebildet ist, da diese häufig in neueren oder neuen Zirkulationssystemen verbaut sind.

Weitere Vorteile ergeben sich aus der folgenden Zeichnungsbeschreibung.

In den Zeichnungen sind Ausführungsbeispiele in der Beschreibung dargestellt. Die Zeichnung, die Beschreibung und die Ansprüche enthalten zahlreiche Merkmale in Kombination. Der Fachmann wird die Merkmale zweckmäßigerweise auch einzeln betrachten und zu sinnvollen weiteren Kombinationen zusammenfassen.

Es zeigen beispielhaft:

Figur 1: in schematischer Darstellung ein erfindungsgemäßes Zirkulationssystem

- Figur 2: eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Zirkulationssystem
Figur 3: eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Zirkulationssystem, wobei ein weiterer Wärmetauscher vorgesehen ist
Figur 4: eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Zirkulationssystem
Figur 5: eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Zirkulationssystem
Figur 6: eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Zirkulationssystem
Figur 7: eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Zirkulationssystem
Figur 8: eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Zirkulationssystem

Die in den Figuren 1 bis 8 dargestellten Zirkulationssysteme stellen nur Beispiele dar, ohne dass damit die Erfindung auf diese Systeme beschränkt ist. Bei allen dargestellten Systemen laufen in einen Knoten genau zwei Volumenströme ein und ein Volumenstrom aus, oder es laufen genau ein Volumenstrom ein und genau zwei Volumenströme aus, wie beispielsweise bei einem T-Stück. Die Erfindung ist jedoch nicht auf Systeme mit derartigen Knoten beschränkt. Grundsätzlich bestehen alle dargestellten Leitungen zwischen Knoten und zwischen Knoten und Eingangsport sowie Knoten und Ausgangsport aus einer oder mehr Teilstrecken, wie oben definiert.

Gleichartige Komponenten sind mit gleichen Bezugszeichen versehen.

Bei dem in Figur 1 dargestellten Zirkulationssystem ist ein Knoten K1 über eine Vorlaufleitung 4a an einen Ausgangsport 12b einer Kühlvorrichtung 12 angeschlossen. Die Kühlvorrichtung 12 hat kältekreisseitige Anschlüsse sowie eine kältekreisseitige Pumpe 13.

Am Knoten K1 ist eine Verzweigung zu einer Sammelleitung 4, einer Anschlussleitung an einen Anschluss 1 an ein Wasserversorgungsnetz und einer Verbrauchsleitung 3 vorgesehen, wobei letztere und die Anschlussleitung nicht zum Zirkulationssystem gehören. Am Knoten K1 erfolgt daher keine Volumenstromaufteilung.

Die Sammelzuleitung 4 ist verbunden mit einer Steigleitung 5, die in einem Knoten K2 mündet. Der Knoten K2 verzweigt in eine Stockwerksleitung 6 sowie eine Steigleitung 5, die in einen Knoten K3 mündet und an dem eine Verzweigung zu einer Stockwerksleitung 6 und einer Steigleitung 5 erfolgt, mit einer Stockwerksleitung 6 verbunden ist, die in einen Knoten K4 mündet. Der Knoten K2 ist über eine Stockwerksleitung 6 mit einem Knoten K6 verbunden. Der Knoten K3 ist über eine Stockwerksleitung 6 mit einem Knoten K5 verbunden.

Zwei explizit als solche gekennzeichnete Teilstrecken TS1 und TS2 sind über den Knoten K4 verbunden, wobei TS1 Teilstrecke der Stockwerksleitung 6 und TS2 eine Zirkulationsleitung darstellt.

An Knoten K4 erfolgt ferner eine Verzweigung über eine Einzelzuleitung 7 zu einer Entnahmestelle 9 erfolgt. Zur Vereinfachung sind die mit den Knoten K2 bzw. K3 verbundenen Einzelzuleitungen und Entnahmestellen nicht mit Bezugszeichen versehen. Da das erfindungsgemäße Zirkulationssystem zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahren in einem Zustand betrieben wird, in dem keine Wasserentnahme erfolgt, sind im Folgendem solche Knoten, die Entnahmestellen zugeordnet sind von der Betrachtung ausgenommen und werden, mit Ausnahme von Knoten K4, entsprechend in den Zeichnungen nicht mit Bezugszeichen versehen.

Die Teilstrecke TS2 ist angeschossen an eine vertikale Zirkulationsleitung 10a, die in den Knoten K5 mündet. Der Knoten K5 ist an eine Zirkulationsleitung 10a angeschlossen, die in den Knoten K6 mündet. Der Knoten K6 ist an eine vertikale Zirkulationsleitung 10a angeschlossen, die mit einer horizontalen Zirkulationsleitung 10a verbunden ist, die wiederum über eine vertikale Zirkulationsleitung mit der Zirkulationspumpe 10b verbunden ist.

Das in Figur 2 dargestellte Zirkulationssystem hat eine analoge Struktur, wie das System der Figur 1, wobei jedoch in den Stockwerksleitungen 6 Ringleitungen vorgesehen sind, wobei zur Vereinfachung lediglich bei der obersten in Figur 2 dargestellten Ringleitung ein Bezugszeichen 8 verwendet wird. Der Ringleitung 8 ist ein optionaler Strömungsteiler 8a zugeordnet. Ringleitungen sind Knoten K21 bis K32 zugeordnet. Es versteht sich, dass auch solche Systeme, bei denen lediglich eine Ringleitung vorhanden ist, von der Erfindung umfasst werden.

In Figur 3 ist ein weiteres System mit Knoten K31 bis K34 dargestellt, bei dem jedoch die in die Knoten K34 und K35 mündenden Zirkulationsleitungen 10a parallel zu den von den Knoten K32 und K33 ausgehenden Stockwerksleitungen 6 geführt sind.

Ferner ist in der obersten Stockwerksleitung 6 eine optionale dezentrale Kühlvorrichtung 14 mit einem Eingangsport 14a und einem Ausgangsport 14b angeordnet, wobei zur Vereinfachung der Darstellung vorhandene Anschlüsse eines kälteseitigen Kreislaufs sowie eine entsprechende Pumpe nicht dargestellt sind.

Analog können weitere dezentrale Kühlvorrichtungen in den anderen Stockwerksleitungen angeordnet sein.

In einer weiteren Ausführungsform analog der Figur 3 kann der Wärmetauscher 12 weggelassen sein, wobei in diesem Fall eine Kühlvorrichtung 14 oder mehrere Kühlvorrichtungen 14 obligatorisch sind.

Analog der Ausführungsform der Figur 3 können Kühlvorrichtungen in den Steigleitungen 5 bzw. den Stockwerksleitung der Ausführungsformen der Figuren 1, 2 sowie 4 bis 8 vorgesehen sein.

Figur 4 zeigt ein System mit Knoten K41 bis K51 wie in Figur 3, wobei jedoch in den Stockwerksleitungen Ringleitungen 8 vorgesehen sind.

Figur 5 zeigt ein System mit Knoten K51 bis K55, bei dem Zirkulationsleitungen 10 parallel zu den an die Knoten K52, K53 angeschlossenen Steigleitungen 5 geführt sind.

Figur 6 zeigt ein System mit den Knoten K61 bis K69b, wobei zwischen den Knoten K63, K64, K66, K67 sowie K68, K69 Ringleitungen vorgesehen sind.

Figur 7 zeigt ein System mit den Knoten K71 bis K75, wobei Steigleitungen 5 mit den Knoten K72 und K73 verbunden sind.

Figur 8 zeigt ein System mit Knoten K81 bis K89b analog wie in Figur 7 jedoch mit zwischen den Knoten K89a, K89b, K88, K89 sowie K84 und K85 angeordneten Ringleitungen.

Die in den Reinzeichnungen unter Figuren 1, 3, 5, 7 dargestellten Ausführungsformen können auch nur Teilbereiche zirkulieren lassen. So können die Teilstrecken auch z. B. Installationen in Wohnungen darstellen, die aufgrund diverser Anforderungen (Abrechnung des Wasserverbrauchs) nicht mitzirkulieren dürfen. Ein Wasseraustausch zur Haltung der gewünschten Temperatur wäre hier durch Spülautomaten möglich.

Das erfindungsgemäße Verfahren wird bei den Systemen der Figuren 1 bis 8 in der oben beschriebenen Weise ausgeführt, wobei ausgehend von einem Temperatur - Startwert $T_{MA}^* < T_{soll}$ und einem Volumenstrom - Startwert V_z^* für die erste an den Ausgangsport (12b) angeschlossene Teilstrecke eine Temperaturänderung des Wassers zwischen Anfangsbereich und Endbereich entsprechend einem Modell der Temperaturänderung ermittelt wird.

Ferner wird eine Temperaturänderung des Wassers zwischen Anfangsbereich und Endbereich für jede gegebene weitere Teilstrecke entsprechend dem Modell der Temperaturänderung

ermittelt, unter der Randbedingung, dass die Wassertemperatur im Anfangsbereich der gegebenen Teilstrecke gleich der Wassertemperatur im Endbereich der Teilstrecke ist, an die die gegebene Teilstrecke angeschlossen ist.

Vorzugsweise wird das oben beschriebene Modell der axialen Temperaturänderung verwendet, wonach sich im Endbereich einer Teilstrecke der Länge L die Wasser - Temperatur T_{ME} mittels der Formel

$$T_{ME} = (T_{MA} - T_{Luft}) * e^{-\varepsilon * L} + T_{Luft}$$

$$\varepsilon = \frac{k_R}{m_M * c_{pm}} = \frac{k_R}{V_M * \rho_M * c_{pm}}$$

errechnet.

Der Wert T_a der Wassertemperatur und der Wert V_z des Volumenstroms am Ausgangsport 12b werden so gewählt, dass im Endbereich jeder Teilstrecke des Zirkulationssystems die Wasser - Temperatur $T_{ME} < T_{soll}$ beträgt und am Eingangsport 12a die Wassertemperatur $T_b < T_{soll}$ mit $T_{soll} - T_b < \theta$ ist, wobei $\theta > 0$ ein vorgegebener Wert ist.

Es versteht sich, dass die Zirkulationspumpe 10b nicht immer mit einem konstanten Volumenstrom betrieben wird, also unabhängig davon, ob die Porteingangstemperatur 12a exakt den eingestellten Wert hat oder gar darunter liegt.

Sollte die Porteingangstemperatur 12a aus verschiedenen Gründen z. B. bei 17°C liegen, z. B. max. 20°C sind vorgegeben, könnte der Fördervolumenstrom der Zirkulationspumpe 10b reduziert werden. Dieses kann beispielsweise temperaturgesteuert automatisch erfolgen. Im Resultat würden sich Energieeinsparungen ergeben.

Ebenso kann in einem solchen Fall der Fördervolumenstrom der Pumpe 13, temperaturgesteuert reduziert werden.

Sollte die Porteingangstemperatur aus verschiedenen Gründen z. B. bei 17°C liegen (z. B. max. 20°C sind vorgegeben), könnte ebenso die Vorlauftemperatur im Kältekreislauf angepasst werden. Im Resultat würden sich Energieeinsparungen ergeben.

Tabelle 1

Symbol	Einheit	Benennung	Erklärung
c_w	$kJ(kg\ K)$	spezifische Wärmekapazität	Wärme für die Erwärmung von 1 kg
ρ	kg/m^3	Dichte des Wassers	Quotient aus Masse und Volumen des Wassers bei gegebener
α_a	$W(m^2\ K)$	äußerer Wärmeübergangskoeffizient	Wärmeverlust einer 1 m ² großen Fläche bei einer Temperaturdifferenz zwischen
λ_D	$W(m\ K)$	Wärmeleitfähigkeit der	
λ_R	$W(m\ K)$	Wärmeleitfähigkeit der	
λ_{ges}	$W(m\ K)$	Wärmeleitfähigkeit eines	Dämmung
$\frac{1}{\lambda_{ges}}$	$(m\ K)W$	Wärmedurchlasswiderstand	
$\frac{1}{U_R}$	$(m\ K)W$	Wärmedurchgangswiderstand	
U_R	$W(m\ K)$	Wärmedurchgangskoeffizient für das Rohr	Wärmeverlust eines 1 m langen gedämmten Warmwasserrohres bei einer Temperaturdifferenz
d_a	mm	Rohraußendurchmesser	Außendurchmesser einer
D	mm	Rohraußendurchmesser	Außendurchmesser einer
l	m	Rohrleitungslänge	Länge einer Teilstrecke
ϑ_{Luft}	$^{\circ}C$	Luft- / Umgebungstemperatur	
$\Delta\vartheta_a$	K	Anfangstemperaturunterschied	Temperaturunterschied zwischen Umgebung und Medium am
ϑ_{MA}	$^{\circ}C$	Mediumstemperatur Anfang	Temperatur eines Mediums am
ϑ_{ME}	$^{\circ}C$	Mediumstemperatur Ende	Temperatur eines Mediums

Bezugszeichenliste

1	Anschluss an ein Wasserversorgungsnetz
2	Anschlussleitung
3	Verbrauchsleitung
4	Sammelzuleitung
5	Steig- (Fall) Leitung
6	Stockwerksleitung
7	Einzelzuleitung
8	Ringleitung
8a	statische oder dynamische Strömungsteilung
9	Entnahmestelle
10	Zirkulationssystem
10a	Zirkulationsleitung
10b	Zirkulationspumpe
12	Kühlvorrichtung
12a	Eingangsport
12b	Ausgangsport
14	Wärmetauscher
14a	Eingangsport
14b	Ausgangsport