



IN KOOPERATION  
MIT GEBERIT

KOMPETENZBROSCHÜRE

# BEMESSUNG VON TRINKWASSER- INSTALLATIONEN NACH DIN 1988-300

Prof. Dr.-Ing. Carsten Bäcker

  
**KEMPER**  
FORTSCHRITT MACHEN





Zum Autor

## Prof. Dr.-Ing. Carsten Bäcker

### Berufliche Tätigkeiten:

2012 – heute	Professor für das Lehr- und Forschungsgebiet „Projektierung und Simulation gebäude-technischer Systeme“ an der FH Münster, Fachbereich Energie · Gebäude · Umwelt
2010 – 2012	Produktmanager für Sanitärtechnik / Armaturen
2011 – 2012	Lehrbeauftragter
2001 – 2010	Wissenschaftlicher Mitarbeiter (Projektingenieur)

### Akademische Ausbildung

2005 – 2010	Promotionsstudent zur Ausarbeitung einer Doktorarbeit an der Universität Duisburg-Essen, Institut für Energie- und Umweltverfahrenstechnik, Fachgebiet Verfahrenstechnik/ Wassertechnik
2001 – 2003	Studium des Technischen Managements in der Gebäudetechnik
1997 – 2001	Studium der Versorgungs- und Entsorgungstechnik an der FH Münster, Abteilung Steinfurt

### Handwerkliche Ausbildung

1995 – 1997	Ausbildung zum Gas- und Wasserinstallateur
-------------	--

FH Münster  
Fachbereich Energie · Gebäude · Umwelt  
Stegerwaldstr. 39  
48565 Steinfurt  
Tel: 02551 9-62421  
E-Mail: cbaecker@fh-muenster.de

# INHALT

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>Zirkulationssysteme</b>	<b>20</b>
<b>2</b>	<b>Anwendungsbereich</b>	<b>2</b>	5.1	Notwendigkeit der differenzierten Berechnung	20
<b>3</b>	<b>Strömungstechnische Grundlagen</b>	<b>4</b>	5.2	Planungsrelevante Anforderungen an das Zirkulationssystem	21
3.1	Druck	4	5.3	Trinkwassererwärmer mit hohem Wasseraustausch	23
3.2	Durchfluss, Geschwindigkeit	4	5.4	Höherwertige Anforderungen aus Hygiene und Komfort	23
3.3	Reynoldszahl	4	5.5	Steigstrang-Zirkulation	24
3.4	Rohrreibungszahl $\lambda$	4	5.6	Stockwerks-Zirkulation	24
3.4.1	Rohrreibungszahl für laminare Strömungen	4	5.7	Bemessung von Zirkulationssystemen	25
3.4.2	Rohrreibungszahl für turbulente Strömungen	5	5.7.1	Berechnung des Zirkulationsvolumenstromes	26
3.4.3	Rohrreibungsdruckgefälle	6	5.7.2	Berechnung der Volumenströme in einem Knotenpunkt	26
3.5	Einzelwiderstände	6	5.7.3	Geschwindigkeitsverteilung	27
3.5.1	Teilstreckenanzuordnung der Einzelwiderstände	7	5.7.4	Ermittlung der Pumpendruckdifferenz	27
3.5.2	Einfluss von Richtungsänderungen	7	5.8	Einregulierungsmaßnahmen – Zirkulationsregulierventile	28
3.5.3	Einfluss von sprunghaften Querschnittsveränderungen	8	5.8.1	Erforderlicher $k_v$ -Bereich von Zirkulationsregulierventilen	28
<b>4</b>	<b>Bemessung von Kalt- und Warmwasserleitungen</b>	<b>9</b>	5.9	Zirkulationssystem mit oberer Verteilung	29
4.1	Einleitung	9	5.10	Besonderheiten bei der Inliner-Zirkulation	30
4.2	Prinzip des differenzierten Bemessungsverfahrens	10	5.11	Beimischverfahren	30
4.3	Berechnungsdurchfluss und Mindestfließdruck	12	<b>6</b>	<b>Berechnungsbeispiel Pflegeheim</b>	<b>31</b>
4.4	Summendurchfluss	13	6.1	Objektbeschreibung	32
4.5	Spitzendurchfluss	13	6.1.1	Anlagenparameter	33
4.5.1	Ermittlung des Spitzendurchflusses bei Nutzungseinheiten (NE)	16	6.2	Rohrnetzdimensionierung nach DIN 1988-300	36
4.6	Fließgeschwindigkeit	17	6.3	Auslegung Zirkulationssystem nach DIN 1988-300 / DVGW W 553	42
4.7	Druckbetrachtung	17	6.3.1	Berechnung der Zirkulation	43
4.7.1	Mindestversorgungsdruck	17	<b>7</b>	<b>Anhang zum Berechnungsbeispiel Pflegeheim</b>	<b>50</b>
4.7.2	Ermittlung des verfügbaren Druckgefälles für die Rohrleitung	18	<b>8</b>	<b>Formelzeichen</b>	<b>53</b>
4.7.3	Apparatedruckverlust	18	<b>9</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>54</b>
4.7.4	Druckverlust von Einzel-Trinkwassererwärmern	19	<b>10</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>55</b>
4.7.5	Druckverlust von Gruppen-Trinkwassererwärmern	19			
4.8	Besonderheit der Ringleitung	19			
4.9	Ausschreibung	19			
4.10	Dokumentation der Berechnung	20			

# 1 EINLEITUNG

Dieser Leitfaden hat zum Ziel, das differenzierte Berechnungsverfahren zur Dimensionierung von Trinkwasser-Installationen in Gebäuden zu erläutern. Der Leitfaden soll die DIN 1988-300 und den dazugehörigen Kommentar nicht ersetzen, sondern ist als ergänzendes Nachschlagewerk bei Fragen in der täglichen Praxis gedacht.

Die DIN 1988-300 wird in der Praxis aufgrund der Komplexität von Projekten und hinsichtlich des Zeitaufwandes in der Regel nur mit entsprechender Berechnungssoftware angewandt. Da jede Software aber nur so gut wie ihr Anwender sein kann, muss ein Verständnis der planungsrelevanten Grundlagen vorliegen. Aus diesem Grund werden im Leitfaden, parallel zum eigentlichen Berechnungsverfahren, die dazugehörigen strömungstechnischen Grundlagen erläutert sowie auf praxisrelevante Themenbereiche, die im Rahmen von Planung und Berechnung von Trinkwasser-Installationen von Relevanz sind, eingegangen. Der Leitfaden schließt mit einem Berechnungsbeispiel ab, bei dem die genannten Grundlagen praxisorientiert Anwendung finden. Der Leser hat damit die Möglichkeit, das Verfahren zur Rohrnetzdimensionierung konkret an einem Beispiel nachzuvollziehen. Die Zielgruppe des Leitfadens ist weitgehend. Diese umfasst unter anderem Ingenieure, Meister, Techniker und Installateure im Bereich der Gebäudetechnik, die sich im Rahmen ihrer Ausbildung / beruflichen Tätigkeit mit der Planung / Sanierung einer Trinkwasser-Installation auseinandersetzen.

Sicherlich können in der ersten Auflage noch nicht alle Fragestellungen detailliert erläutert werden. Das Format

wurde bewusst so gewählt, dass dieser Leitfaden über Jahre von Auflage zu Auflage wachsen kann und sicherlich auch wird.

## 2 ANWENDUNGS- BEREICHE

Die hygienischen Anforderungen an die Planung, Errichtung und an die Betriebsweise von Trinkwasser-Installationen besitzen einen hohen Stellenwert. Um einer eventuell möglichen Verkeimung entgegenzuwirken, ist der Wasserinhalt einer Trinkwasser-Installation durch konstruktive Maßnahmen und durch die Dimensionierung der Leitungsnetze so gering als möglich zu halten. Hieraus resultieren geringere Oberflächen der Leitungsinneiwände, kürzere Verweilzeiten des Trinkwassers in der Anlage und ein schneller Wasseraustausch mit entsprechenden Strömungsgeschwindigkeiten. Die hygienischen Anforderungen verlangen die Vermeidung von stagnierendem Wasser und die Vermeidung der Erwärmung von kaltem Trinkwasser durch unerwünschte Umgebungsbedingungen. Es ist sicherzustellen, dass erwärmtes Trinkwasser an keiner Stelle des Trink-

wassernetzes die Temperatur von 55 °C unterschreitet, ausgenommen Einzel- und Stockwerksleitungen mit einem Wasserinhalt  $\leq 3$  Liter. Die Temperatur von kaltem Trinkwasser darf 30 s nach dem vollen Öffnen einer Entnahmestelle 25 °C nicht übersteigen. Entsprechend hat die Berechnung und Dimensionierung von Trinkwasser-Installationen, also Trinkwassererwärmungs-, Verteilungs- und Zirkulationsanlagen, nicht nur unter funktionalen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu erfolgen. Den hygienischen Aspekten bei der Bemessung ist ebenso Sorge zu tragen.

Die Beschaffenheit des Trinkwassers ist nicht nur von der einwandfreien Anlieferung durch den Wasserversorger abhängig, sondern in großem Umfang auch von der Konstruktion und Ausführung der Trinkwasser-Installation sowie

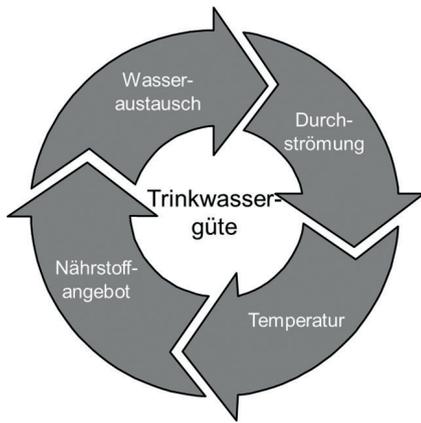


Abbildung 1: Ineinandergreifen der Parameter zur Sicherstellung der Trinkwassergüte

Auswahl der Rohrwerkstoffe. Sollten während des Betriebes trinkwasserhygienische Probleme auftreten, muss der Nachweis erbracht werden, dass die Planung und Errichtung der Trinkwasser-Installation den zum Zeitpunkt der Übergabe geltenden technischen Regeln entsprochen hat. Dieser Leitfaden soll die wichtigsten Regeln für die Ermittlung der Rohrdurchmesser nach den aktuell geltenden technischen Regeln zusammenfassen und praxisnah kommentieren.

Das Bemessungsverfahren für Trinkwasser-Installationen in Gebäuden ist in der europäischen Norm DIN EN 806-3<sup>1</sup> „Berechnung der Rohrrinnendurchmesser – Vereinfachtes Verfahren“ und der deutschen Norm DIN 1988-300<sup>2</sup> „Ermittlung der Rohrdurchmesser“ geregelt. Es handelt sich dabei um unterschiedliche Verfahren, die nicht kombiniert werden können. Vor Beginn der Dimensionierung muss eines der beiden Verfahren ausgewählt werden. Dabei stellt sich direkt die Frage, hat der Anwender die freie Wahl oder ist das Verfahren nach Gebäudetyp bzw. Randbedingungen zu wählen. Das Verfahren aus der DIN EN 806-3 ist, wie der Name schon verrät, ein vereinfachtes Verfahren. Es sind in der Norm enge Randbedingungen für das Gebäude beschrieben. Es handelt sich hierbei um den kleinsten gemeinsamen Nenner einer Berechnungs-Norm auf europäischer

Ebene. Bei dem Berechnungsverfahren aus der DIN 1988-300 handelt es sich um eine differenzierte Rohrnetz-berechnung. Im Wesentlichen wurde hierbei für die Dimensionierung von Kalt- und Warmwasserleitungen das Berechnungsverfahren aus der Vorgängernorm 1988-3<sup>3</sup> übernommen. Das Dimensionierungsverfahren von Zirkulationssystemen wurde an das Berechnungsverfahren aus dem DVGW-Arbeitsblatt W553<sup>4</sup> angelehnt.

Kommen wir aber zurück auf die Eingangsfrage, welches Verfahren denn nun für die Dimensionierung von Rohrleitungen in Gebäuden in Deutschland anzuwenden ist. Diese Frage ist ganz klar in der DIN 1988-300 geregelt. Das differenzierte Berechnungsverfahren aus der DIN 1988-300 ist für alle Gebäudearten anzuwenden. Die Anwendung der europäischen Norm kann nur in Ausnahmefällen erfolgen. Und zwar können die Kalt- und Warmwasserverbrauchsleitungen für Wohngebäude bis zu 6 Wohneinheiten auch nach der DIN EN 806-3 dimensioniert werden. Dies bedeutet, dass eine Zirkulationsleitung immer nach der DIN 1988-300 dimensioniert werden muss. An die Ausnahmeregelung zur Nutzung der DIN EN 806-3 sind aber zwei Bedingungen geknüpft. Vor der Anwendung des vereinfachten Berechnungsverfahrens aus der DIN EN 806-3 muss sichergestellt werden, dass der Versorgungsdruck ausreichend ist und die Hygiene in der Trinkwasser-Installation sichergestellt ist. Diese beiden Bedingungen werden aber nicht näher erläutert, so dass dem Anwender zu raten ist, für alle Gebäudearten das differenzierte Berechnungsverfahren aus der DIN 1988-300 anzuwenden. Wenn der Anwender in der Lage ist, ein großes Krankenhaus oder ein Verwaltungsgebäude nach dem Verfahren aus der DIN 1988-300 zu berechnen, dann wird ein Sechsfamilienhaus auch kein Problem darstellen. Da die Berechnungen komplett nach DIN 1988-300 durchgeführt werden können, wird im Weiteren nur noch auf dieses Berechnungsverfahren eingegangen.

Durch die Anwendung des differenzierten Verfahrens ist eine exakte Berechnung des Rohrnetzes möglich. Als Ergebnis ergibt sich ein Rohrnetz mit deutlich weniger Wasserinhalt („schlankes Rohrnetz“). Alleine aus trinkwasserhygienischen Gründen ist damit eine ausschließliche Anwendung des differenzierten Berechnungsverfahrens sinnvoll.

Die DIN 1988-300 ist neben der Neuplanung auch für die Sanierung und Änderung von Trinkwasser-Installationen in Gebäuden und auf Grundstücken anzuwenden. Der Anwendungsbereich betrifft die Ermittlung der Rohrdurchmesser der Trinkwasserleitungen für Kaltwasser, Warmwasser und Zirkulation. Zusätzlich lassen sich auch die Bauteilgrößen von Einbauten (z. B. Absperrarmaturen, Wasserzähler, usw.) in der Trinkwasser-Installation bestimmen. Hierbei geht es um die Ermittlung des Durchflusses und dem tatsächlichen Druckverlust. Aufgrund dieser beiden Parameter lassen sich dann die benötigten Größen der Einbauteile aus den Datenblättern der Hersteller ermitteln.

1 DIN EN 806, Teil 3, Juli 2006 | Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen - Teil 3: Berechnung der Rohrrinnendurchmesser - Vereinfachtes Verfahren; Deutsche Fassung EN 806-3:2006

2 DIN 1988, Teil 300, Mai 2012 | Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen - Teil 300: Ermittlung der Rohrdurchmesser; Technische Regel des DVGW

3 DIN 1988, Teil 3, Dezember 1988 (zurückgezogen, ersetzt durch DIN 1988, Teil 300) | Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen (TRWI); Ermittlung der Rohrdurchmesser; Technische Regel des DVGW

4 DVGW Arbeitsblatt W 553, Dezember 1998 | Bemessung von Zirkulationssystemen in zentralen Trinkwassererwärmungsanlagen

# 3 STRÖMUNGSTECHNISCHE GRUNDLAGEN

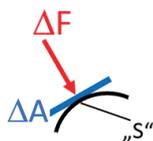
## 3.1 Druck

Der Druck ist dem Wesen nach eine Spannung. Die Druckspannung, die vereinfacht als Druck bezeichnet wird, ergibt sich aus einer Druckkraft  $\Delta F$ , die in einem Punkt senkrecht auf eine Oberfläche  $\Delta A$  wirkt. Der Druck kann an verschiedenen Punkten einer Oberfläche unterschiedlich groß sein. Der Druck wird mit dem Buchstaben  $p$  (engl. pressure) bezeichnet.

Der Druck  $p$ , der in einem Punkt „S“ der Oberfläche wirkt, ergibt sich aus:

Gleichung 1

$$p = \frac{\Delta F}{\Delta A}$$



Der Druck ist richtungsunabhängig! Die Dimension des Druckes ergibt sich zu:

$$[p] = 1 \frac{N}{m^2} = 1 \text{ Pa (Pascal)}$$

## 3.2 Durchfluss, Geschwindigkeit

Das pro Zeiteinheit durch einen Bilanzraum strömende Volumen bezeichnet man als Durchfluss (auch Volumenstrom):

Gleichung 2

$$\dot{V} = \frac{V}{t} \quad (\text{in m}^3/\text{h oder l/s})$$

## 3.3 Reynoldszahl

Die Reynoldszahl  $Re$  ist als das Verhältnis von Trägheits- und Reibungskräften definiert. Sie ist in der Strömungsmechanik von Bedeutung, da sich Strömungen hydraulisch ähnlich sind, wenn die Reynoldszahl gleich groß ist.

Gleichung 3

$$Re = \frac{v \cdot d_i}{\nu}$$

- $Re$  = Reynoldszahl
- $\nu$  = kinematische Viskosität von Wasser (in  $m^2/s$ )
  - bei 10 °C:  $1,31 \times 10^{-6} m^2/s$
  - bei 60 °C:  $0,47 \times 10^{-6} m^2/s$
- $v$  = mittlere Fließgeschwindigkeit (in  $m/s$ )
- $d_i$  = Innendurchmesser der Rohrleitung (in  $m$ )

Bei einer Reynoldszahl von 2320 erfolgt der Umschlag von einer laminaren in eine turbulente Strömung. Im Bemessungsfall wird anhand der Reynoldszahl festgestellt, ob eine laminare ( $Re < 2320$ ) oder eine turbulente ( $Re \geq 2320$ ) Strömung vorliegt.

## 3.4 Rohrreibungszahl $\lambda$

Entsprechend der Reynoldszahl  $Re$  wird in Abhängigkeit der vorherrschenden Strömung die Rohrreibungszahl  $\lambda$  ermittelt.

### // 3.4.1 Rohrreibungszahl für laminare Strömungen

Bei der laminaren Strömung ( $Re < 2320$ ) ist sie nur von der Reynoldszahl abhängig:

Gleichung 4

$$\lambda = \frac{64}{Re} \text{ (Hagen-Poiseuille)}$$

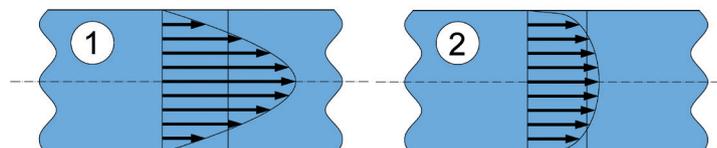


Abbildung 2: Geschwindigkeitsprofil in einem Rohr - laminare (1) und turbulente (2) Strömung

### // 3.4.2 Rohrreibungszahl für turbulente Strömungen

Bei turbulenten Rohrströmungen spielen die newtonschen Reibungsverluste nur in der laminaren Grenzschicht eine Rolle, da dort große Geschwindigkeitsgradienten vorliegen.

Die Rohrreibungszahl  $\lambda$  ist bei der turbulenten Strömung von der Reynolds-Zahl  $Re$ , von der Rohrrauigkeit  $k$  und vom Rohrinne Durchmesser  $d_i$  abhängig. Die absolute Rauigkeit  $k$  hat die Dimension der Länge. Die relative Rauigkeit  $k/d$  gibt das Verhältnis von absoluter Rauigkeit zum Rohrdurchmesser an und ist dimensionslos.

**Es werden drei Rauigkeitsbereiche unterschieden:**

// hydraulisch glatte Rohre

// hydraulisch raue Rohre

// Rohre im Übergangsbereich

**Rauigkeit der Innenwandung von:**

// duktilen Gussrohren mit Zementmörtelauskleidung:  
0,1 mm

// verzinkten Stahlrohren:  
0,15 mm

// Kunststoff- / Verbundrohren:  
0,007 mm

// Kupfer- und Edelstahlrohren:  
0,0015 mm

Entsprechend der vorherrschenden Rauigkeit der Innenwandung des Rohres wird bei turbulenter Strömung die Rohrreibungszahl für die drei Rauigkeitsbereiche unterschiedlich ermittelt:

Für den Bereich „hydraulisch glatt“ berechnet sich die Rohrreibungszahl  $\lambda$  nach Prandtl zu:

Gleichung 5

$$\frac{1}{\lambda} = 2 \cdot \lg \left[ \frac{Re \cdot \sqrt{\lambda}}{2,51} \right]$$

Für den Bereich „hydraulisch rau“ berechnet sich die Rohrreibungszahl  $\lambda$  nach Nikuradse zu:

Gleichung 6

$$\frac{1}{\lambda} = 2 \cdot \lg \left[ \frac{3,71}{\frac{k}{d_i}} \right]$$

Für den Übergangsbereich berechnet sich die Rohrreibungszahl  $\lambda$  nach Prandtl-Colebrook zu:

Gleichung 7

$$\frac{1}{\lambda} = -2 \cdot \lg \left[ \frac{k}{3,71 \cdot d_i} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} \right]$$

(Prandtl-Colebrook)

$\lambda$	= Rohrreibungszahl
$k$	= natürliche Rauigkeit der Innenwandung der Rohrleitung (in mm)
$d_i$	= Innendurchmesser der Rohrleitung (in mm)
$Re$	= Reynoldszahl

In Abbildung 3 ist das Moody-Diagramm dargestellt. Dieses ermöglicht die grafische Ermittlung der Rohrreibungszahl  $\lambda$  in Abhängigkeit von der Reynoldszahl  $Re$  und der relativen Rauigkeit des Rohres  $k/d$ .

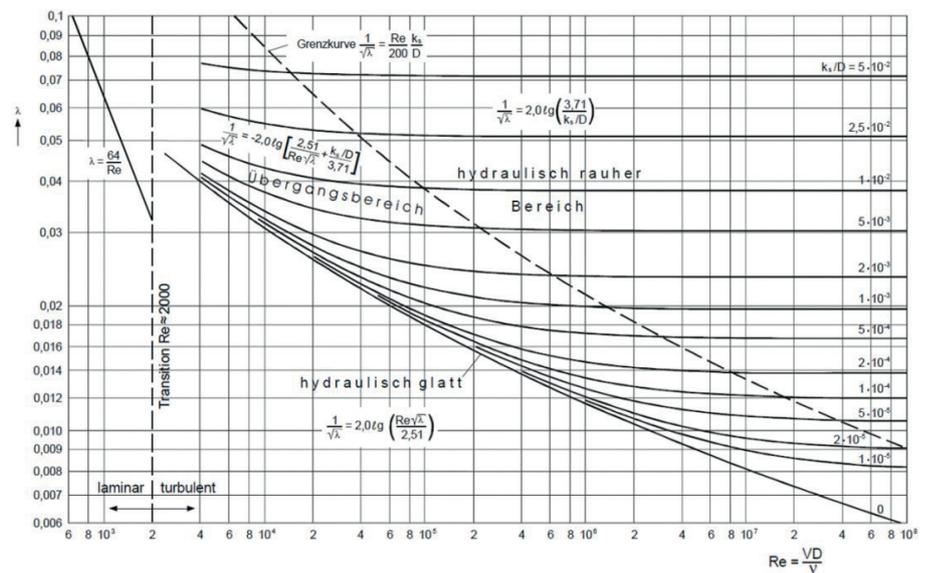


Abbildung 3: Moody-Diagramm

### // 3.4.3 Rohrreibungsdruckgefälle

Die Rohrreibungszahl  $\lambda$  ist abhängig vom Strömungszustand des Fluids und im turbulenten Fall auch von der Rauigkeit  $k$ . In technischen Darstellungen und Auslegungen wird der Druckverlust einer geraden Rohrstrecke über das Rohrreibungsdruckgefälle  $R$  und die Rohrlänge  $l$  ausgedrückt:

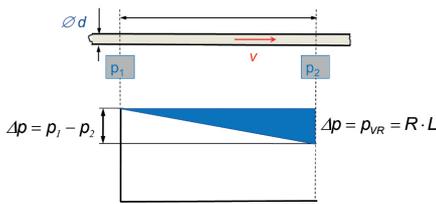


Abbildung 4: Rohrreibungsdruckgefälle entlang eines Rohrabchnittes

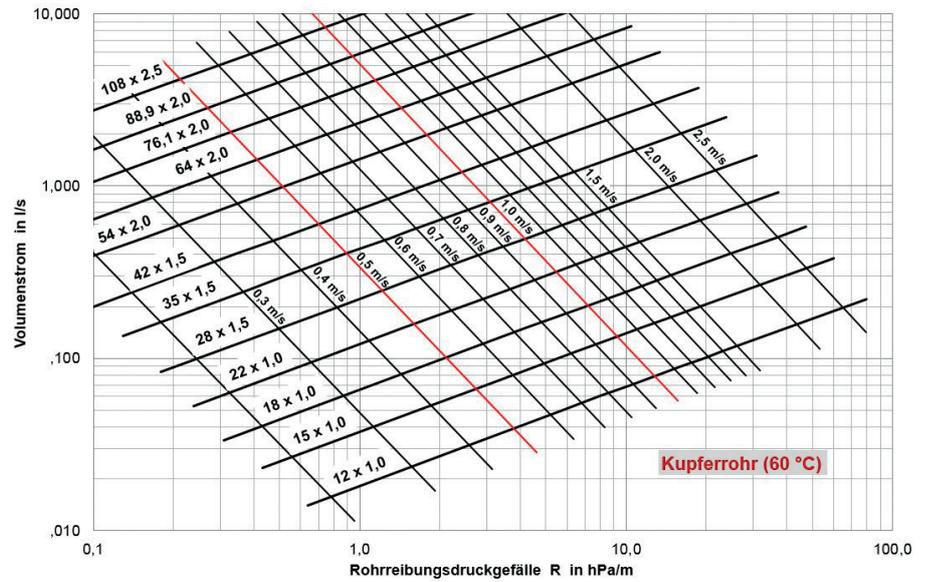


Abbildung 5: Rohrreibungsdruckgefälle für Kupferrohr, Medientemperatur = 60°C

Das Rohrreibungsdruckgefälle  $R$  errechnet sich aus dem Quadrat der mittleren Fluidgeschwindigkeit  $v$ , der Fluidichte  $\rho$ , dem Rohrlinnendurchmesser  $d_i$  und der Rohrreibungszahl  $\lambda$ :

Gleichung 8

$$R = \lambda \cdot \frac{1}{d_i} \cdot \frac{v^2 \cdot \rho}{2}$$

Das verfügbare Rohrreibungsdruckgefälle  $R_v$  dient als Richtwert für die Rohrleitungsdimensionierung der Teilstrecken. Der Rohrlinnendurchmesser  $d_i$  wird entsprechend dem Verhältnis  $R_v = R(d_i)$  und durch Umstellen der Gleichung 8 ermittelt:

Gleichung 9

$$d_i = \lambda \cdot \frac{1}{R_v} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2$$

Die nach Gleichung 9 ermittelten Rohrlinnendurchmesser sind durch die realen Werte der Hersteller entsprechend dem Rohrwerkstoff oder bei produktneutraler Berechnung durch die Werte nach Tabelle A.1 der DIN 1988-300 zu ersetzen.

### 3.5 Einzelwiderstände

In Rohrleitungsanlagen sind neben geraden Rohrleitungen verschiedenste Einbauelemente und Formteile erforderlich, um die Strömung umzuleiten, zu verzweigen (Bögen und T-Stücke) oder abzusperren (Armaturen und Schieber) sowie auch zu drosseln, zu regeln oder zu messen. Diese Elemente und Formteile erzeugen Druckverluste, die größer sind als die Druckverluste gerader Rohrleitungen gleicher Länge. Die Differenz zwischen dem Druckverlust, der von diesen Elementen und Formteilen verursacht wird, und dem Druckverlust einer gleich langen, geraden Rohrstrecke wird als Druckverlust eines Einzelwiderstandes  $\Delta p_E$  bezeichnet und ergibt sich aus dem Widerstandsbeiwert  $\zeta$  (Zeta-Wert) und dem dynamischen Druck  $p_{dyn}$ :

Gleichung 10

$$\Delta p_E = Z = \sum \zeta \frac{\rho}{2} v^2$$

- $\Delta p_E$  = Druckverlust der Einzelwiderstände (in Pa)
- $\zeta$  = Widerstandsbeiwert
- $\rho$  = Dichte des Wassers (in kg/m<sup>3</sup>)
- $v$  = rechnerische Strömungsgeschwindigkeit (in m/s)

Der Widerstandsbeiwert  $\zeta$  ist von der Art des Einbauelementes und im Allgemeinen von der Reynolds-Zahl abhängig.

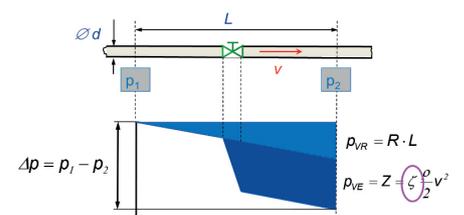


Abbildung 6: Druckverlustdiagramm eines Einzelwiderstandes

### // 3.5.1 Teilstreckenzuordnung der Einzelwiderstände

Die Hersteller von Rohrleitungssystemen müssen für ihre Systeme die Widerstandsbeiwerte für die Form- und Verbindungsstücke zur Verfügung stellen. Der DVGW hat mit dem Arbeitsblatt W 575<sup>5</sup> „Ermittlung von Widerstandsbeiwerten für Form- und Verbindungsstücke in der Trinkwasser-Installation“ hierfür eine technische Prüfgrundlage veröffentlicht.

Die Zuordnung der Einzelwiderstände zur entsprechenden Teilstrecke ist definiert. Entsprechend der exemplarischen Darstellung in Abbildung 7 beginnen im Bereich der Trinkwasser-Rohrnetze Teilstrecken in der Regel mit einem Einzelwiderstand.

Die Ausnahmen hierzu stellen Armaturenanschlüsse (Wandscheiben) und T-Stücke zur Stromvereinigung (Zirkulationsleitung) dar. Die Teilstrecken enden hierbei mit einem Einzelwiderstand. In Abbildung 8 ist ein T-Stück mit Stromvereinigung dargestellt.

Im Anhang der DIN 1988-300 sind für die gängigsten Rohrmaterialien Referenzwerte für die Widerstandswerte angegeben. Diese dienen jedoch nur für die herstellernerneutrale Berechnung, solange der Rohrhersteller für das Bauvorhaben noch nicht feststeht.

Im Folgenden werden die Einflüsse von Formteilen auf den Druckverlust betrachtet und beschrieben, die im Hinblick auf den Druckverlust von Radialpressfittings von Bedeutung sind.

### // 3.5.2 Einfluss von Richtungsänderungen

In der nachfolgenden Abbildung 9 ist als Beispiel für eine Richtungsänderung ein 90°-Bogen dargestellt. Die Fluidteilchen folgen diesem Bogen entlang einer der eingezeichneten Stromlinien. Aufgrund seiner Trägheit würde das

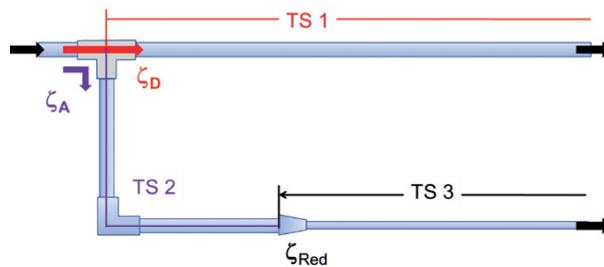


Abbildung 7: Einteilung von Teilstrecken

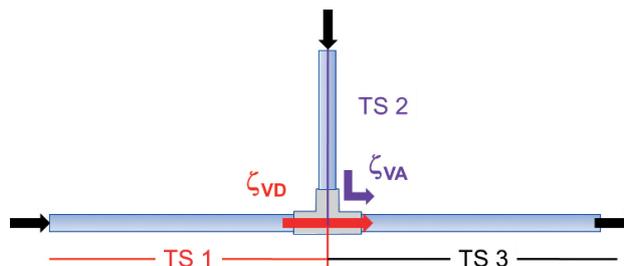


Abbildung 8: Einteilung der Teilstrecken bei Stromvereinigung

Fluid die Strömungsrichtung vor der Umlenkung beibehalten.

Es wird von Wandkräften in die neue Richtung gezwungen. Dabei ergibt sich am äußeren Bogen eine Druckerhöhung (+) und am inneren Bogen stellt sich ein im Vergleich dazu kleinerer Druck (-) ein. Dieser Druckunterschied verursacht eine der Hauptströmung überlagerte Sekundärströmung, die ein Verwirbeln des Fluids und damit zusätzliche Reibung im Fluid nach sich zieht.

Der Zeta-Wert eines Bogens nimmt mit steigendem Umlenkwinkel zu. Eine Erhöhung des Verhältnisses von Rohrdurchmesser  $d$  zu Bogenradius  $R$  verringert den Widerstandsbeiwert des Bogens.

Eine Verkleinerung des Innenradius  $R_i$  des Bogens (Abbildung 10) hat zur Folge, dass das Fluid aufgrund seiner Trägheit der inneren Kontur des Bauteils nicht mehr folgen kann und die Strömung ablöst. Es bildet sich ein Totwassergebiet, das ständig durch das vorbeiströmende Fluid verwirbelt wird. Dadurch geht Energie in Reibungsverluste über.

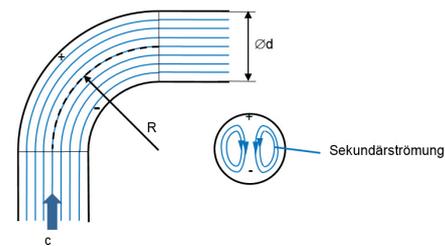


Abbildung 9: Druckverlust durch überlagerte Sekundärströmung im Rohrbogen

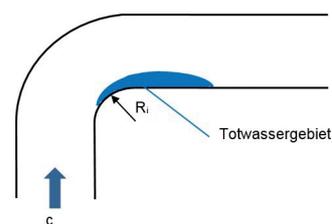


Abbildung 10: Druckverlust durch Totwasser in Umlenkungen

Am äußeren Radius des umlenkenden Bauteils bildet sich mit zunehmender Krümmung ebenfalls ein Ablösegebiet (Totwassergebiet) aus, das seine Ursache in der durch die Fliehkraftwirkung auftretenden großen Druckunterschiede hat.

Diese Situation ist in der Abbildung 11 als Ergebnis einer numerischen Berechnung der Strömung in einem Bogen dargestellt. Die Fluidgeschwindigkeit

keit ist durch unterschiedliche Farben kenntlich gemacht. Deutlich sind die Bereiche mit niedriger Geschwindigkeit auszumachen (blau). Im verengten Querschnitt treten die höchsten Geschwindigkeiten auf.

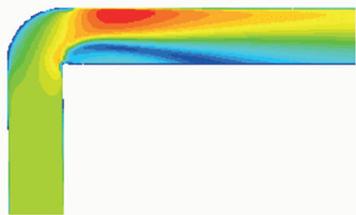


Abbildung 11: Numerisch berechnete Geschwindigkeitsverteilung in einem Rohrwinkel (Quelle: Prof. Dipl.-Ing. B. Rickmann, FH Münster)

Die Totwassergebiete verursachen zusätzlich zur Wirbelbildung eine Verkleinerung des freien Strömungsquerschnitts des Rohres. Das Fluid muss beschleunigt werden, um den kleineren Querschnitt zu passieren. Diese Beschleunigungsenergie wird aus dem anstehenden Druckpotenzial bezogen.

Die Totwassergebiete vergrößern sich mit abnehmendem Innenradius und erreichen ihre maximale Ausdehnung beim Radius  $r = 0$ , d.h., wenn die Umlenkung des Fluids durch einen Knick (Winkel) realisiert wird. Diese Vorgänge sind Ursache für die deutlich höheren Druckverluste, die bei Kniestücken im Vergleich zu Bögen zu verzeichnen sind.

### // 3.5.3 Einfluss von sprunghaften Querschnittsveränderungen

In der folgenden Abbildung 12 sind die Auswirkungen einer un stetigen, d.h. sprungartigen Querschnittsverengung auf die Strömung skizziert. Diese un stetige Querschnittsverengung ist beispielsweise bei Pressfittings am Übergang Rohrquerschnitt / Fitting gegeben.

Um in den verengten Querschnitt eintreten zu können, müssen die Fluidteil-

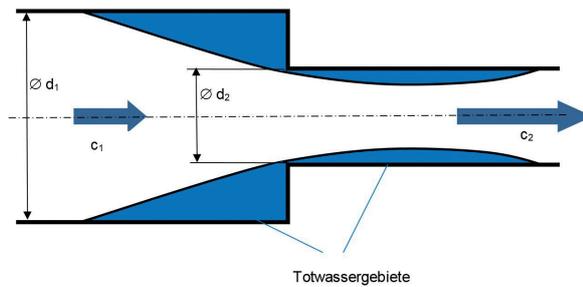


Abbildung 12: Totwassergebiete bei sprungartiger Querschnittsverengung

chen, die auf den äußeren Durchmesser des großen Rohrquerschnitts strömen, in Richtung Rohrachse beschleunigt werden. Dieser Beschleunigungsvorgang wirkt sich aufgrund der Trägheit der Fluidteilchen bis hinter den Eintrittsquerschnitt des kleineren Durchmessers in der Weise aus, dass die Strömung kontrahiert und erst in einem Abstand hinter dem Eintritt den gesamten Querschnitt des Rohres ausfüllt. Als Konsequenz dieser Vorgänge bilden sich Totwassergebiete, in denen das Fluid verwirbelt wird und somit Energie aufzehrt. Das Ablösegebiet hinter dem Querschnittsprung verursacht eine zusätzliche Reduzierung des Strömungsquerschnitts, was die weitere Beschleunigung des Fluids in der Engstelle zu Lasten des Drucks verlangt.

Je kleiner das Verhältnis der Querschnittsflächen

ist, umso stärker kontrahiert der Fluidstrom und umso größer ist die radiale und axiale Ausdehnung des Totwassergebiete. Die Druckverluste steigen somit mit abnehmendem Verhältnis  $A_2/A_1$  an.

Gleichung 11

$$\frac{A_2}{A_1} = \left( \frac{d_2}{d_1} \right)^2$$

A = Querschnittsfläche  
d = Durchmesser

Nachfolgendes Diagramm zeigt den Einfluss des Querschnittsverhältnisses auf den Zeta-Wert von T-Stücken für den Fall der Durchgangsströmung.

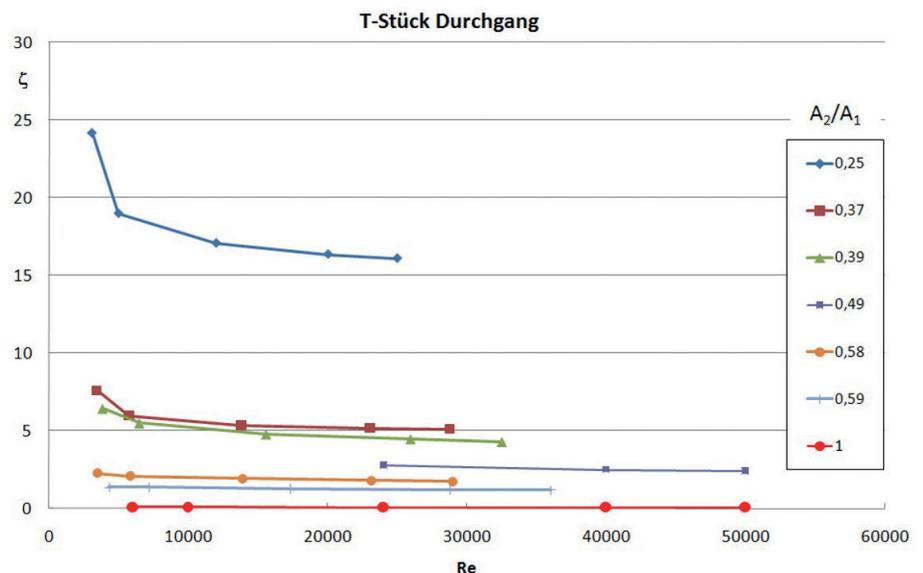


Abbildung 13: Zeta-Werte von T-Stücken (Durchgang) in Abhängigkeit der Querschnittsflächen

Die Fluidströmung durch eine sprunghafte Querschnittserweiterung (Abbildung 14) erzeugt das nachfolgend dargestellte Totwassergebiet mit verwirbeltem Fluid. Die Wirbelbewegung im Totwasser wird wie in den oben beschriebenen Fällen durch die Strömung aufrechterhalten. Diese Aufzehrung von Energie macht sich ebenfalls in Form von Druckverlust bemerkbar.

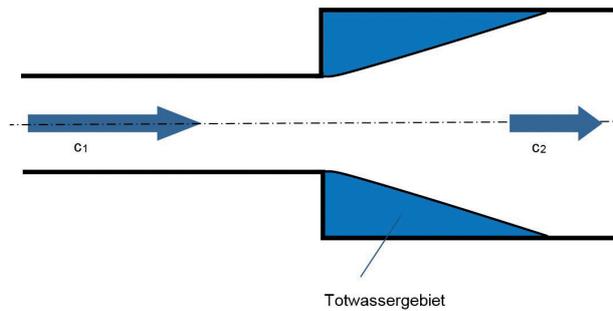


Abbildung 14: Totwassergebiet hinter einem Querschnittsprung

## 4 BEMESSUNG VON KALT- UND WARMWASSERLEITUNGEN

### 4.1 Einleitung

In der Trinkwasser-Installation erfolgt die hydraulische Betrachtung immer nur längs der Fließwege. Die Berechnung der Rohrnetze beruht auf der sogenannten Stromfadentheorie. Hierbei wird der Querschnitt einer Rohrleitung für die Betrachtung auf eine differenziell kleine Querschnittsfläche  $dA$  reduziert und der resultierende Stromfaden betrachtet.

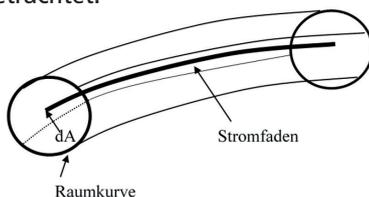


Abbildung 15: Stromfaden

Der Stromfaden zeichnet sich dadurch aus, dass bei der Berechnung davon ausgegangen werden kann, dass an einer Stelle der Rohrleitung alle Größen (z. B. Geschwindigkeit, Temperatur, Dichte usw.) konstant sind. Entlang des Stromfadens wird dann die Bernoulli-Gleichung angewendet. Die Bernoulli-Gleichung ist eine Spezialform der Energiegleichung, die vom Schweizer Mathematiker Daniel Bernoulli entdeckt wurde:

$p$	= statischer Druck (in Pa)
$\rho$	= Dichte des Mediums (in $\text{kg}/\text{m}^3$ )
$h$	= geodätische Höhe (in m)
$g$	= Erdbeschleunigung (in $\text{m}/\text{s}^2$ )
$v$	= Strömungsgeschwindigkeit (in $\text{m}/\text{s}$ )

Gleichung 12

$$p_1 + \rho \cdot g \cdot h_1 + \frac{1}{2} \rho \cdot v_1^2 = p_2 + \rho \cdot g \cdot h_2 + \frac{1}{2} \rho \cdot v_2^2$$

Die Bernoulli-Gleichung besagt, dass die Gesamtenergie eines Teilchens auf seinem Weg in einer Stromröhre konstant bleibt. Die Gesamtenergie setzt sich aus Anteilen potentieller Energie, kinetischer Energie und Druckenergie zusammen. Durchläuft ein Teilchen eine Stromröhre, so können sich die Anteile ändern, ihre Summe bleibt hingegen konstant.

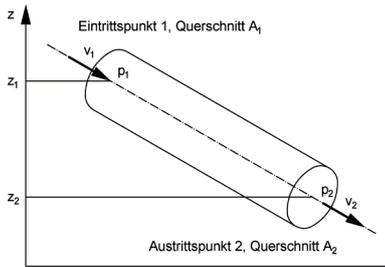


Abbildung 16: Stromfaden zwischen Eintrittspunkt 1 und Austrittspunkt 2 bei stationärer, inkompressibler und reibungsfreier Strömung

Die Auslegung des Rohrdurchmessers einer Trinkwasser-Rohrleitung beruht darauf, dass entlang des Stromfadens der Druckverlust bei dem Durchfluss durch die Rohrleitung ermittelt wird. Hierzu muss jeder Fließweg in einzelne Teilstrecken zerlegt werden. Bei dem Druckverlust handelt es sich um den Druckverlust der geraden Rohrleitung und dem Druckverlust der Einzelwiderstände (z. B. Bögen, T-Stücke, Schrägsitzventile). Der Durchfluss, bei dem der Druckverlust ermittelt wird, ist von der Leitungsart abhängig. Bei Kaltwasser- und Warmwasserleitungen wird der Druckverlust bei dem durch die Leitung fließenden Spitzendurchfluss  $\dot{V}_S$  berechnet. Bei Zirkulationsleitungen ist es der Zirkulationsvolumenstrom  $\dot{V}_Z$ .

#### 4.2 Prinzip des differenzierten Bemessungsverfahrens

Bei dem in der DIN 1988-300 beschriebenen Bemessungsverfahren handelt es sich um ein differenziertes Berechnungsverfahren. Schematisch ist das Prinzip

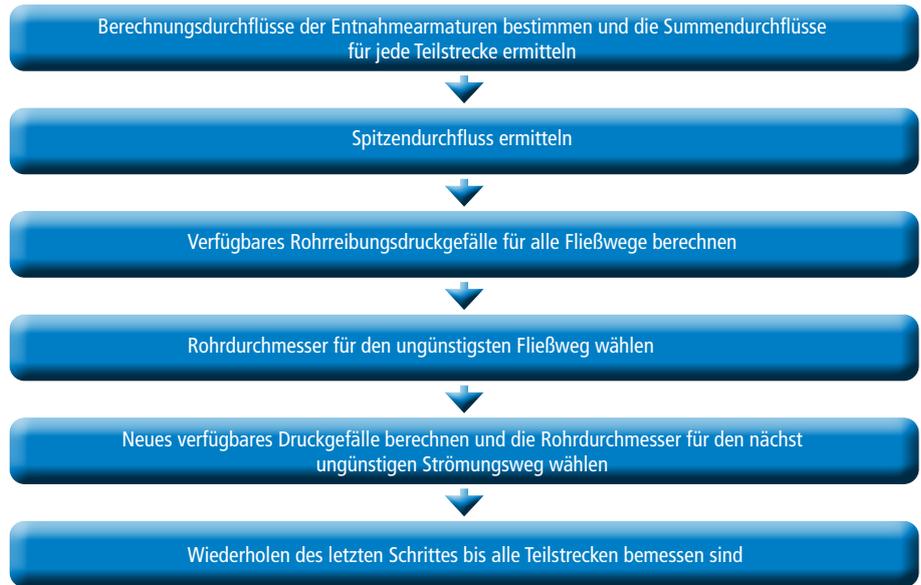


Abbildung 17: Prinzip des differenzierten Berechnungsverfahrens

des Berechnungsverfahrens in Abbildung 17 dargestellt.

Als erstes muss das Rohrnetz in die einzelnen Fließwege gegliedert werden. Jeder Fließweg wird anschließend in einzelne Teilstrecken unterteilt. Eine Teilstrecke eines Rohrnetzes ist dadurch charakterisiert, dass in ihr der Durchfluss und der Rohrdurchmesser gleichbleiben. Dieses bedeutet, dass in einer Teilstrecke keine Abzweige oder Reduzierungen angeordnet sein dürfen. Einzelwiderstände und Umlenkungen hingegen sind zugelassen.

Als nächstes werden den Teilstrecken die angebundenen Entnahmemarmaturen zugeordnet. Weiter ist den einzelnen Entnahmemarmaturen der Berechnungsdurchfluss  $\dot{V}_R$  zuzuordnen. Aus dem Berechnungsdurchfluss wird für jede Teilstrecke der Summendurchfluss  $\sum \dot{V}_R$  gebildet. Da nicht alle Entnahmemarmaturen immer gleichzeitig geöffnet sind, ist es wichtig, dass für das zu berechnende Objekt eine den tatsächlichen Entnahmemengen entsprechende Gleichzeitigkeit angewendet wird. Dies ist eine Voraussetzung für ein schlankes Rohrnetz.

Bevor mit der Dimensionierung des Rohrdurchmessers für den ungünstig-

sten Fließweg begonnen werden kann, muss der Druckverlust, der für die gerade Rohrleitung und die Einzelwiderstände genutzt werden kann, ermittelt werden. Der hierfür zur Verfügung stehende Druck wird als verfügbares Rohrreibungsdruckgefälle  $R_v$  bezeichnet.

Der Anfangspunkt für die hydraulische Berechnung kann gefunden werden, wenn für ausgewählte Entnahmemarmaturen eine Druckbilanz längs der zugehörigen Fließwege aufgestellt wird.

Gleichung 13

$$p_{\min V} = p_{\min FI} + \Delta p_{\text{geo}} + \Delta p_{\text{WZ}} + \sum \Delta p_{\text{Ap}} + \Delta p_{\text{St}} + \sum(1 \cdot R + Z)$$

Gleichung 14

$$\Delta p_{\text{verf}} = p_{\min V} - p_{\min FI} - \Delta p_{\text{geo}} - \Delta p_{\text{WZ}} - \sum \Delta p_{\text{Ap}} - \Delta p_{\text{St}}$$

Aus der verfügbaren Druckdifferenz  $\Delta p_{\text{verf}}$  abzüglich des Druckverlustanteils aus Einzelwiderständen ergibt sich die zur Ermittlung der Rohrdurchmesser wichtige Bemessungsgröße, das verfügbare Rohrreibungdruckgefälle  $R_{\text{verf}}$ . Diese nimmt für den ungünstigsten Fließweg den kleinsten und für den günstigsten Fließweg den größten Wert an.

Nachdem zu Beginn die Innendurchmesser der Rohrleitungen für den ungünstigsten Fließweg dimensioniert wurden und damit die tatsächlichen Werte für den Druckverlust der geraden Rohrleitungen und der Einzelwiderstände ermittelt wurden, kann jetzt mit der Dimensionierung des nächst ungünstigen Fließwegs fortgefahren werden. Hierzu muss jedoch wieder das zur Verfügung stehende Rohrreibungdruckgefälle ermittelt werden. Dieses muss wiederholt werden, bis alle Fließwege der Trinkwasser-Installation dimensioniert sind.

Gleichung 15

$$R_{\text{verf}} = \frac{\Delta p_{\text{verf}}}{l_{\text{ges}}} \cdot \frac{100-a}{100}$$

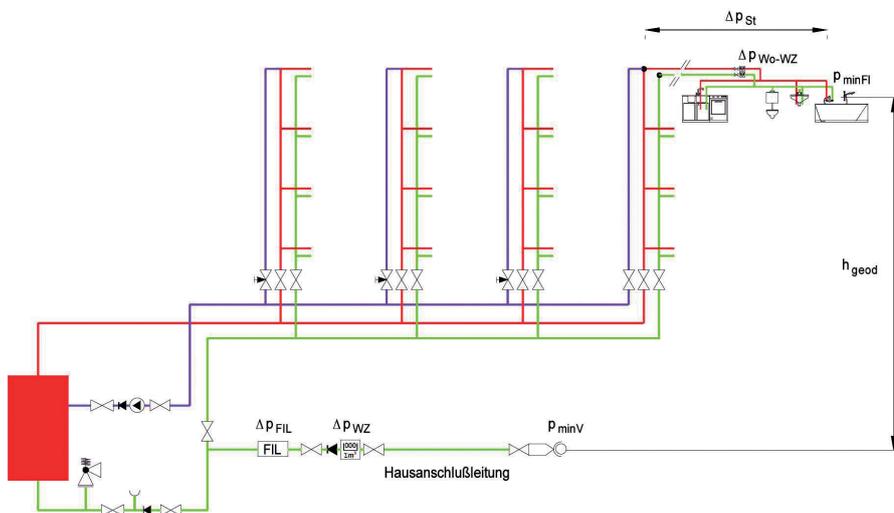


Abbildung 18: Bezeichnungen in Trinkwasser-Installationen

- $p_{\min V}$  = minimaler statischer Überdruck an der Anschlussstelle an die Versorgungsleitung, nach Angabe des zuständigen Wasserversorgungsunternehmens (WVU) (in hPa)
- $p_{\min FI}$  = erforderlicher statischer Überdruck an der Anschlussstelle für eine Entnahmematur bei ihrem Mindest-Entnahmefluss (in hPa)
- $\Delta p_{\text{geo}}$  = geodätische Druckdifferenz, resultierend aus der Höhendifferenz zwischen Anschlussleitung und Entnahmematur (in hPa)
- $\Delta p_{\text{WZ}}$  = Druckverlust im Wasserzähler (in hPa)
- $\Delta p_{\text{Ap}}$  = Druckverlust in Apparaten, wie Filtern  $\Delta p_{\text{FIL}}$ , Dosieranlagen  $\Delta p_{\text{DOS}}$ , Enthärtungsanlagen  $\Delta p_{\text{EH}}$  usw. (in hPa)
- $\Delta p_{\text{St}}$  = Druckverlust in Stockwerks- und Einzelzuleitungen (nur im vereinfachten Berechnungsgang) (in hPa)
- $\Delta p_{\text{verf}}$  = verfügbare Druckdifferenz für Rohrreibung und Einzelwiderstände (in hPa)
- $\sum(1 \cdot R + Z)$  = Druckverlust aus Rohrreibung und Einzelwiderständen im Fließweg, beginnend in der Hausanschlussleitung bis zur jeweiligen Entnahmestelle, bzw. bis zum Stockwerksabschluss (in hPa)
- a** = vorgeschätzter prozentualer Anteil der Einzelwiderstandsverluste am Gesamtdruckverlust (in %)
- $l_{\text{ges}}$  = Gesamtlänge des zu berechnenden Fließweges (in m)



Die ungünstigste Entnahmestelle wird am schnellsten gefunden, wenn im obersten Stockwerk die Armaturen mit den höchsten Fließdruckforderungen rechnerisch untersucht werden.

Die Durchmesser sind relativ groß zu wählen, wenn das verfügbare Rohrreibungsdruckgefälle  $R_{\text{verf}}$  klein ist und können kleiner gewählt werden, wenn ein verhältnismäßig großes Druckgefälle zur Verfügung steht. Das verfügbare Rohrreibungsdruckgefälle beeinflusst damit nicht nur maßgeblich die Erstellungskosten, sondern auch den Wasserinhalt der Leitungsanlage.



Vor Beginn der Druckverlustberechnung sollte daher für ein ausreichend großes verfügbares Rohrreibungsdruckgefälle ( $R_{\text{verf}} = 5,0 \dots 10,0 \text{ hPa/m}$ ) im ungünstigsten Fließweg gesorgt werden.

nungsdurchfluss geachtet werden muss. Ist eine Abstimmung im Vorfeld nicht möglich, weil z. B. der Käufer der Eigentumswohnung zu diesem frühen Zeitpunkt noch nicht feststeht, muss auf jeden Fall die zweite Möglichkeit, nämlich die Nutzung der Referenzwerte aus der DIN 1988-300 verwendet werden.

// In den Fällen, in denen die Herstellerangaben für den Berechnungsdurchfluss größer sind, als in der Norm angegeben, muss mit den Werten des Herstellers gerechnet werden. Klassisches Beispiel sind hier die sogenannten „Regenduschen“. Wird hier bei der Auslegung versehentlich mit dem Referenzwert gearbeitet, dann kommt im wahrsten Sinne des Wortes an der Regendusche nicht der vom Nutzer erwartete „Wasserfall“ heraus, sondern lediglich ein leichter „Landregen“. Neben dem Berechnungsdurchfluss muss auch der Mindestfließdruck der Armatur berücksichtigt werden.

### 4.3 Berechnungsdurchfluss und Mindestfließdruck

Um den hygienischen Anforderungen, die heutzutage an ein Trinkwassersystem gestellt werden, auch bei der Rohrnetzdimensionierung gerecht zu werden, ist es zielführend, ein sogenanntes schlankes Rohrnetz auszulegen. Für die Erfüllung dieser Anforderung ist es notwendig, bei der Rohrnetzberechnung möglichst viele konkrete Daten (Rohrmaterial, Entnahmearmaturen, Form- und Verbindungsteile usw.) anzuwenden.

Dieses gilt auch für die technischen Daten der zum Einsatz kommenden Entnahmearmaturen. Deshalb sind für den Berechnungsdurchfluss  $\dot{V}_R$  und den Mindestfließdruck  $p_{\text{minFl}}$  die Werte der Hersteller bei der Dimensionierung zugrunde zu legen.

In der DIN 1988-300 sind jedoch weiterhin Referenzwerte für Entnahmearmaturen angegeben. Diese dürfen aber nur für die Berechnung genutzt werden, wenn die Voraussetzungen hierfür erfüllt sind.

Betrachten wir die Voraussetzungen für die Anwendung der Referenzwerte am Beispiel des Berechnungsdurchflusses einer Entnahmearmatur:

Ist die Angabe des Herstellers für den Berechnungsdurchfluss kleiner als der

Referenzwert aus der DIN 1988-300, so ergeben sich zwei Möglichkeiten.

// Aus hygienischen und wirtschaftlichen Gründen sind bei der Rohrnetzberechnung die geringeren Werte zu berücksichtigen. Wichtig ist hierbei, dass dieses zwingend mit dem Bauherrn (schriftlich) vereinbart werden muss. Der Hintergrund für die Abstimmung ist dadurch begründet, dass im Nachhinein, z. B. aus Designgründen, die Entnahmearmatur ausgetauscht werden kann. Es sollte bekannt sein, dass beim Austausch auf den Berech-

**Tabelle 1: Mindestfließdrücke und Mindestwerte für den Berechnungsdurchfluss gebräuchlicher Trinkwasserentnahmestellen (DIN 1988-300)**

Art der Entnahmestelle	DN	Mindestfließdruck	
		$p_{\text{minFl}}$ MPa	$\dot{V}_R$ l/s
<b>Auslaufventile</b>			
// ohne Strahlregler <sup>a</sup>	// 15	// 0,05	// 0,30
	// 20	// 0,05	// 0,50
	// 25	// 0,05	// 1,00
<b>Auslaufventile</b>			
// mit Strahlregler	// 10	// 0,10	// 0,15
	// 15	// 0,10	// 0,15
<b>Mischarmaturen <sup>b, c</sup> für</b>			
// Duschwanne	// 15	// 0,10	// 0,15
// Badewanne	// 15	// 0,10	// 0,15
// Küchenspüle	// 15	// 0,10	// 0,07
// Waschbecken	// 15	// 0,10	// 0,07
// Sitzwaschbecken	// 15	// 0,10	// 0,07
<b>Maschinen für Haushalte</b>			
// Waschmaschine (nach DIN EN 60456)	// 15	// 0,05	// 0,15
// Geschirrspülmaschine (nach DIN EN 50242)	// 15	// 0,05	// 0,07

**Fortsetzung Tabelle 1: Mindestfließdrücke und Mindestwerte für den Berechnungsdurchfluss gebräuchlicher Trinkwasserentnahmestellen (DIN 1988-300)**

Art der Entnahmestelle	DN	Mindestfließdruck		$\dot{V}_R$ l/s
		$p_{minFI}$ MPa		
<b>WC-Becken und Urinale</b>				
// Füllventil für Spülkasten (nach DIN EN 14124)	// 15	// 0,05		// 0,13
// Druckspüler (manuell) für Urinal (nach DIN EN 12541)	// 15	// 0,10		// 0,30
// Druckspüler (elektronisch) für Urinal (nach DIN EN 15091)	// 15	// 0,10		// 0,30
// Druckspüler für WC	// 20	// 0,12		// 1,00

**Wichtiger Hinweis**

Die Hersteller müssen den Mindestfließdruck und die Berechnungsdurchflüsse auf der Kalt- und auf der Warmwasserseite (bei Mischarmaturen) angeben. Grundsätzlich sind für die Bemessung der Rohrdurchmesser die Angaben der Hersteller zu berücksichtigen, die zum Teil erheblich von den in dieser Tabelle angegebenen Werten abweichen können. Dabei ist wie folgt vorzugehen: Liegen die Herstellerangaben für den Mindestfließdruck und den Berechnungsdurchfluss unter den in der Tabelle genannten Werten, gibt es zwei Optionen: Ist die Trinkwasser-Installation aus hygienischen und wirtschaftlichen Gründen für die geringeren Werte zu bemessen, muss dieses Vorgehen mit dem Bauherrn vereinbart und die Auslegungsvoraussetzungen für die Entnahmestellen (Mindestfließdruck, Berechnungsdurchfluss) in die Bemessung aufgenommen werden. Wird die Trinkwasser-Installation nicht für die geringeren Werte bemessen, sind die Tabellenwerte zu berücksichtigen. Liegen die Herstellerangaben über den in der Tabelle genannten Werten, muss die Trinkwasser-Installation mit den Herstellerwerten bemessen werden.

<sup>a</sup> Ohne angeschlossene Apparate (z. B. Rasensprenger).

<sup>b</sup> Der angegebene Berechnungsdurchfluss ist für den kalt- und den warmwasserseitigen Anschluss in Rechnung zu stellen.

<sup>c</sup> Eckventile für z. B. Waschtischarmaturen und S-Anschlüsse für z. B. Dusch- und Badewannenarmaturen sind als Einzelwiderstände oder im Mindestfließdruck der Entnahmearmatur zu berücksichtigen.

zuweisen. Typische Dauerverbraucher sind Entnahmearmaturen, die für die Wasserentnahme zur Grünflächenbewegung vorgesehen sind.

**4.5 Spitzendurchfluss**

Da in einem Objekt nie alle an die Trinkwasser-Installation angeschlossenen Entnahmestellen gleichzeitig geöffnet werden, wird der Rohrdurchmesser nicht direkt über den Summendurchfluss ermittelt. Zuvor wird über einen nutzungsartabhängigen Gleichzeitigkeitsfaktor aus dem Summendurchfluss der Spitzendurchfluss ermittelt.

In der DIN 1988-300 sind für verschiedene Gebäudetypen Konstanten angegeben. Mit Hilfe dieser Konstanten und der dargestellten Gleichung 16 lässt sich in Abhängigkeit der Nutzungsart und des Summendurchflusses der für die Rohrnetzdimensionierung benötigte Spitzendurchfluss ermitteln.

**Tabelle 2: Konstanten für den Spitzendurchfluss nach Gleichung 16 (nach DIN 1988-300)**

Gebäudetyp	Konstante		
	a	b	c
Wohngebäude	1,48	0,19	0,94
Einrichtungen für betreutes Wohnen, Seniorenheim	1,48	0,19	0,94
Pflegeheim	1,40	0,14	0,92
Schule	0,91	0,31	0,38
Verwaltungsgebäude	0,91	0,31	0,38
Bettenhaus im Krankenhaus	0,75	0,44	0,18
Hotel	0,70	0,48	0,13

**4.4 Summendurchfluss**

Es müssen alle Berechnungsdurchflüsse  $\dot{V}_R$  zum Summendurchfluss  $\sum \dot{V}_R$  addiert werden. In der Vorgängerversion DIN 1988-3 war es häufig üblich, um in bestimmten Gebäudetypen eine Überdimensionierung zu vermeiden, bei der Aufsummierung bestimmte Entnahmearmaturen nicht zu berücksichtigen. Dieses ist mit der Einführung der aktuellen Version der DIN 1988-300 nicht mehr zulässig, da bei der Überarbeitung der Norm auch die Gleichzeitigkeit an das aktuelle Nutzungsverhalten angepasst wurde.

Bei der Aufsummierung zum Summendurchfluss sind folgende Ausnahmen zu berücksichtigen:

// Wenn in einer Nutzungseinheit (NE) ein zweites Waschbecken, eine Duschwanne zusätzlich zur Badewanne vorhanden ist, werden diese beim Summendurchfluss nicht berücksichtigt (Abbildung 19).

// Wenn in einer Nutzungseinheit (NE) ein Zapfventil in Vorräumen von

Toilettenanlagen vorhanden ist, wird es nicht berücksichtigt.

// Wenn neben einem WC noch ein Urinal und / oder ein Sitzwaschbecken in der Nutzungseinheit (NE) vorhanden ist, werden diese beim Summendurchfluss nicht berücksichtigt

Es wird bei der Aufaddierung der Berechnungsdurchflüsse für die Rohrnetz-berechnung nur der Verbraucher mit dem größten Berechnungsdurchfluss berücksichtigt.

Dauerverbraucher (Verbraucher mit einer üblichen Entnahmezeit von 15 Minuten oder mehr, z. B. Außenzapfstellen) sind hierbei gesondert aus-

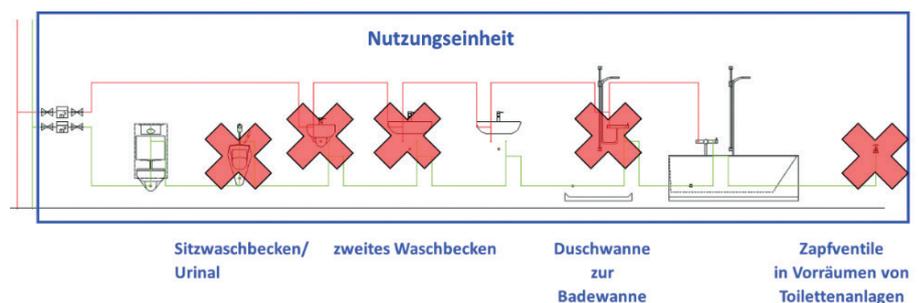


Abbildung 19: Berücksichtigung der Verbrauchsstellen in einer Nutzungseinheit

Gleichung 16

$$\dot{V}_S = a \left( \sum \dot{V}_R \right)^b - c$$

$\dot{V}_S$	= Spitzendurchfluss (in l/s)
$\dot{V}_R$	= Berechnungsdurchfluss (in l/s)
a,b,c	= Konstanten

Gleichung 16 ist nur in einem Geltungsbereich von  $0,2 \leq \sum \dot{V}_R \leq 500$  anzuwenden. Bei einer genauen Betrachtung dieser Einschränkung wird deutlich, dass sich jedoch fast alle alltäglichen Gebäude mit dieser Gleichung dimensionieren lassen.

Aus Tabelle 2 geht hervor, dass die Konstanten zwei Mal identisch sind. Nach DIN 1988-300 sind Wohngebäude, Einrichtungen für betreutes Wohnen, Seniorenheime sowie Schulen und Verwaltungsgebäude zusammengefasst. Ursächlich hierfür ist sicherlich, dass nicht genügend repräsentative Messwerte von Objekten vorliegen, um hier zurzeit eine weitergehende Unterscheidung vorzunehmen.

In Abbildung 20 ist der Spitzendurchfluss in Abhängigkeit des Summendurchflusses für die verschiedenen Gebäudetypen dargestellt. Es wird deutlich, in welchen Gebäudetypen mit einer sehr hohen Gleichzeitigkeit gerechnet werden muss und in welchen Gebäuden sich aufgrund der Nutzungsweise nur eine geringe Gleichzeitigkeit ergibt.

Bei Betrachtung der recht groben Einteilung in die unterschiedlichen Nutzungsarten wird für den Anwender recht schnell deutlich, dass z. B. ein Hotel nicht gleich Hotel ist oder ein Verwaltungsgebäude nicht einem anderen gleicht.

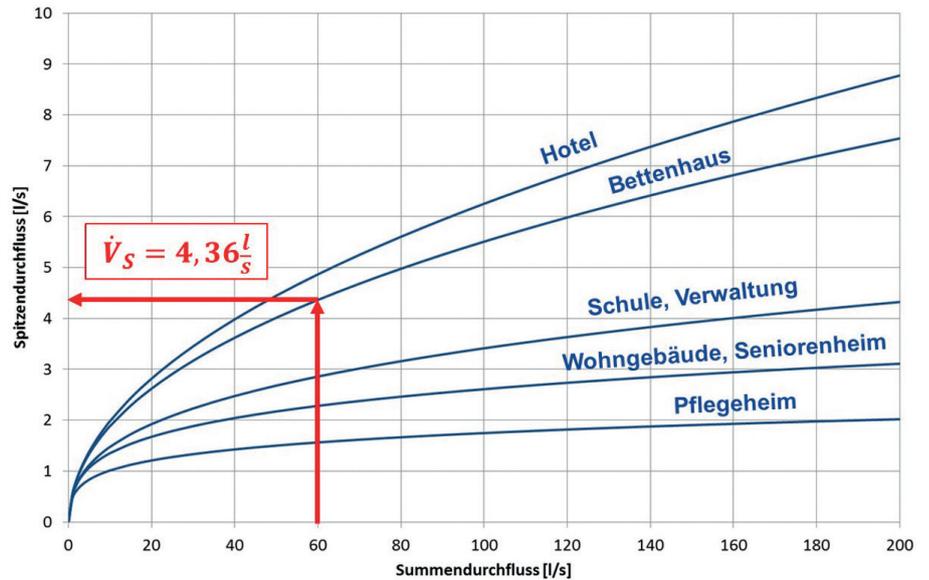


Abbildung 20: Spitzendurchfluss in Abhängigkeit des Summendurchflusses verschiedener Gebäudetypen

Bei Betrachtung der einzelnen Gebäude im Detail wird ersichtlich, in welchen Objekten die Gleichzeitigkeitskurven zur Anwendung kommen können. In Abbildung 20 stellt die größte gleichzeitige Nutzung der Gebäudetyp „Hotel“ dar. Allerdings gibt es bei diesem Gebäudetyp deutliche Unterschiede, die auch eine andere Trinkwassernutzung nach sich ziehen können. Es ist schwer vorstellbar, dass ein Landgasthof z. B. die höchste Gleichzeitigkeit haben soll. In nicht saisonalen Zeiten ist bei diesen Beherbergungsbetrieben eine starke Frequentierung nicht gegeben. Würde bei der Planung der Trinkwasser-Installation dieses Landgasthofes die höchste Gleichzeitigkeitskurve zugrunde gelegt, wäre das Rohrnetz deutlich überdimensioniert. Es ist davon auszugehen, dass eines Tages in einem so dimensionierten Beherbergungsbetrieb Probleme mit der Trinkwasserhygiene auftreten.

Neben dem beschriebenen Landgasthof gibt es noch eine Vielzahl unterschiedlicher Hoteltypen zu unterscheiden (Wellnesshotel, Tagungshotel, Messehotel usw.). Es sollte daher bei der Nutzung der Gleichzeitigkeitskurve beachtet werden, ob der zu planende Hoteltyp überhaupt die hohe Gleichzeitigkeit im Betrieb abbildet. Eine hohe

Gleichzeitigkeit ist z. B. im Tagungs- oder Messehotel gegeben, wenn morgens die Vielzahl der Gäste zur gleichen Zeit aufstehen, duschen und anschließend ihr Frühstück zu sich nehmen.

Verdeutlicht wird diese notwendige Klassifizierung auch bei der nächsten Gleichzeitigkeitskurve. Bei der Kurve „Bettenhaus im Krankenhaus“ wurde hier schon in der Vorgängernorm DIN 1988-3 deutlich, dass die abgebildete Gleichzeitigkeit nicht das gesamte Krankenhaus umfasst, sondern nur den Bereich des Bettenhauses. Dies bedeutet, dass für die funktionalen Bereiche wie Ambulanz, Küche, OP-Bereich, Bettenaufbereitung etc. andere Gleichzeitigkeiten vorliegen können. Weiterhin sollte auch berücksichtigt werden, dass das Nutzungsverhalten der Patienten im Bereich des Bettenhauses je nach Station unterschiedlich sein kann.

Die Gleichzeitigkeitskurve für „Schule und Verwaltung“ fällt im Vergleich zur Vorgängernorm deutlich flacher aus. Auch dieses hat mit der detaillierten Betrachtung der Nutzung in dem zu planenden Objekt zu tun. In der Vorgängernorm war man noch davon ausgegangen, dass zu einem

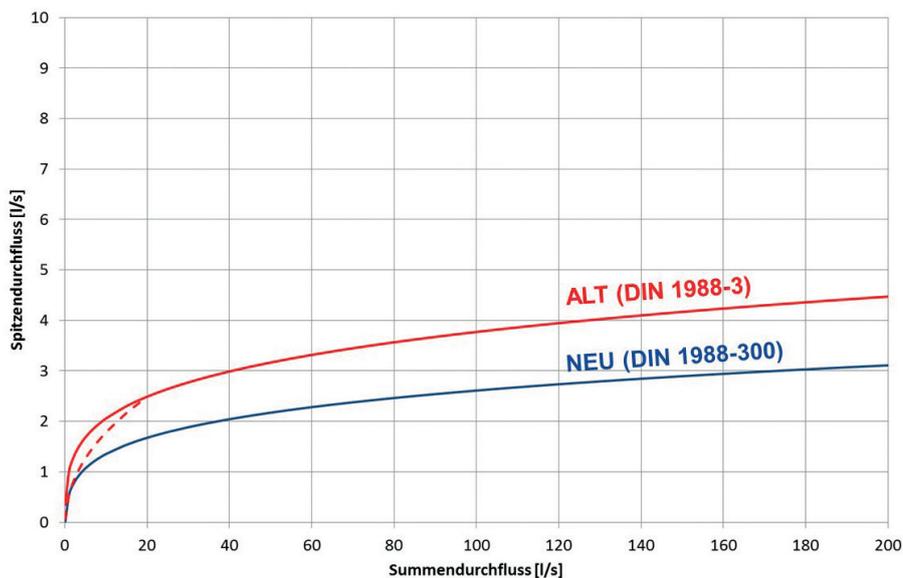


Abbildung 21: Vergleich der Gleichzeitigkeitskurve für Wohngebäude nach alter und neuer Norm

Schulgebäude immer eine Sporthalle gehört. Aufgrund der in einer Sporthalle vorhandenen Reihenduschanlage ergab sich dadurch eine deutlich höhere Gleichzeitigkeit. Da sich das Nutzungsverhalten bei den Duschen in Sporthallen in den letzten Jahren grundlegend verändert hat, wurde in der aktuellen Gleichzeitigkeitskurve „Schule“ davon ausgegangen, dass es sich um ein Schulgebäude ohne Sporthalle handelt. Damit erklärt sich auch, weshalb ein Schulgebäude und ein Verwaltungsgebäude nach der DIN 1988-300 ein ähnliches Nutzerverhalten haben. Die Gleichzeitigkeit der Wasserentnahme in Sporthallen kann nicht über diese Gleichzeitigkeitskurven betrachtet werden. Hierauf wird im nachfolgenden noch genauer eingegangen.

Die letzte Anpassung gegenüber der Vorgängernorm betrifft die Differenzierung zwischen einer Nutzung als Senioren(wohn)heim oder Pflegeheim. Die Differenzierung zwischen den beiden Nutzungsarten ergibt sich aus dem Mobilitätsgrad der Bewohner. Bei einem Senioren(wohn)heim wird davon ausgegangen, dass die Bewohner so mobil sind, dass diese sich selbstständig waschen und duschen können. Damit ist die Nutzung

der sanitären Einrichtungsgegenstände ähnlich einem Wohngebäude. In einem Pflegeheim wird davon ausgegangen, dass die Bewohner von einer Pflegekraft gewaschen werden müssen. Dadurch ist die gleichzeitige Wasserentnahme von der Anzahl der Pflegekräfte abhängig und ist deshalb geringer als in einem Wohngebäude oder einem Senioren(wohn)heim.

Folgend kann festgestellt werden, dass die Gleichzeitigkeitskurven aus der DIN 1988-300 tatsächlich nur für einen Teil der zu planenden Objekte angewendet werden können. So stellt sich hier auch die Frage, warum in der DIN 1988-300 nicht mehr differenzierte Gleichzeitigkeitskurven für viele verschiedene Objekttypen angeboten werden. Um für einzelne Gebäudetypen repräsentative Daten veröffentlichen zu können, werden eine Vielzahl von Messwerten von Gebäuden der gleichen Nutzung benötigt. Bislang sind diese Untersuchungen wohl auch aus Gründen der Finanzierbarkeit nicht getätigt worden.

In Abbildung 21 ist beispielhaft für das Wohngebäude die Reduzierung des Spitzendurchflusses von der Vorgängernorm zur aktuellen DIN 1988-300 dargestellt. Die Abbildung symbo-

lisiert, dass bei der Überarbeitung die Gleichzeitigkeitskurven an das aktuelle Nutzungsverhalten und an den Rückgang des „Pro-Kopf-Verbrauchs“ angepasst wurden. In der Abbildung ist zu erkennen, dass sich beispielsweise bei einem Summendurchfluss von 40 l/s der Spitzendurchfluss um ca. ein Drittel reduziert hat. Dieser Wert für den Rückgang ist jedoch nicht zu verallgemeinern, jede Nutzungsart muss individuell betrachtet werden.

Ausnahmen sind auch hinsichtlich der Nutzungseinheiten NE zu berücksichtigen. Wird in diesem Fall Gleichung 16 angewendet, ergeben sich in Fließrichtung zum Ende der Strangleitung hin und ebenso in der Stockwerksverteilung zu hohe Durchflüsse, da nicht mehr als zwei Entnahmestellen in einem Bad gleichzeitig geöffnet sind (Kapitel 4.5.1).

Für alle übrigen Nutzungsarten, dazu gehören Dauerverbraucher, Reihenanlagen, Sonderbauten, Gewerbe und Industrieanlagen, sind die gleichzeitigen Nutzungen der sanitären Einrichtungsgegenstände individuell mit dem Betreiber festzulegen.

Ein Dauerverbraucher ist entsprechend der Definition eine Entnahmearmatur, bei der die Wasserentnahme bei einem Zapfvorgang länger als 15 Minuten dauert. Ein klassischer Dauerverbraucher ist zum Beispiel die Außenzapfstelle zur Gartenbewässerung. Da Dauerverbraucher im Vergleich zu den anderen Zapfvorgängen höhere Entnahmeverluste nach sich ziehen, sollte auch die Gleichzeitigkeit separat betrachtet werden. Dauerverbraucher werden nicht zum Summendurchfluss aufaddiert, sondern getrennt betrachtet. Der gesamte Spitzendurchfluss für ein Objekt ergibt sich aus dem aufsummierten Durchfluss der angebundenen Dauerverbraucher und dem Spitzendurchfluss der anderen Entnahmestellen.

### Gleichung 17

$$\dot{V}_S = \dot{V}_{S,normal} + \dot{V}_D$$

$\dot{V}_S$	= Spitzenvolumenstrom (in l/s)
$\dot{V}_{S,normal}$	= Spitzenvolumenstrom aus Normalverbrauch (in l/s)
$\dot{V}_D$	= Dauerverbrauch (in l/s)

Für Reihenanlagen, Sonderbauten, Gewerbe- und Industrieanlagen ist es notwendig, die Gleichzeitigkeit mit dem Betreiber abzustimmen. Eine nützliche Grundlage für die Ermittlung der Nutzung von Entnahmestellen bietet hier das Raumbuch nach DIN 1988-200.

Für Gebäude mit besonderer Nutzung, wie z. B. Krankenhäuser, Seniorenwohnheime, Kindergärten, Schulen und Gebäude mit gewerblicher Nutzung ist nach DIN 1988-200 die Erstellung eines Raumbuches vorgeschrieben. Die individuelle Festlegung der Gleichzeitigkeiten ist mit dem Betreiber in einem Protokoll festzuhalten.

Treffen unterschiedliche Nutzungsarten (z. B. Gewerbebetrieb in Wohngebäuden) in einem Trinkwassersystem zusammen, muss für jeden einzelnen Bereich der Spitzendurchfluss ermittelt werden. Die Spitzendurchflüsse der Teilbereiche werden anschließend zu einem gemeinsamen Spitzendurchfluss addiert. Hierbei ist zu beachten, dass bei der reinen Addition der Spitzendurchflüsse noch keine Gleichzeitigkeit für die gemeinsame Teilstrecke berücksichtigt wurde. Wird dieses nicht berücksichtigt führt die Addition in diesen Teilstrecken zu einer Überdimensionierung.

Soll im Rahmen einer Sanierung eines Objektes eine Rohrnetzberechnung durchgeführt werden, ist die Ermittlung des Spitzendurchflusses für dieses Objekt sehr einfach. Mit Hilfe einer Ultraschall-Durchflussmessung lassen sich von außen ohne Eingriffe in die Trinkwasser-Installation für das Trinkwasser kalt (PWC) und das Trinkwasser warm (PWH) die Durchflüsse ermitteln. Dieses bietet die Möglichkeit einer genauen Bedarfsermittlung entsprechend dem realen Nutzungsverhalten und einer sich anschließenden bedarfsorientierten Dimensionierung.

nung durchgeführt werden, ist die Ermittlung des Spitzendurchflusses für dieses Objekt sehr einfach. Mit Hilfe einer Ultraschall-Durchflussmessung lassen sich von außen ohne Eingriffe in die Trinkwasser-Installation für das Trinkwasser kalt (PWC) und das Trinkwasser warm (PWH) die Durchflüsse ermitteln. Dieses bietet die Möglichkeit einer genauen Bedarfsermittlung entsprechend dem realen Nutzungsverhalten und einer sich anschließenden bedarfsorientierten Dimensionierung.

#### 4.5.1 Ermittlung des Spitzendurchflusses bei Nutzungseinheiten (NE)

Neben der Ermittlung des Spitzendurchflusses mit den bekannten Gleichungen für die gleichzeitige Wasserentnahme (Kapitel 4.5) aus dem Summendurchfluss, gibt es für den Bereich von Nutzungseinheiten eine weitere Möglichkeit, den Spitzendurchfluss zu ermitteln.

Bei einer Nutzungseinheit handelt es sich um einen Raum mit Entnahmestellen in einem Wohngebäude. Damit kann eine Nutzungseinheit (NE) zum Beispiel ein Bad, eine Küche oder ein Gäste WC sein (siehe Abbildung 22). Eine Nutzungseinheit ist jedoch niemals eine ganze Wohnung oder Etage. Liegt eine wohnungsähnliche Nutzung vor, kann eine Nutzungseinheit auch ein Raum in einem Nichtwohngebäude sein. Beispiele hierfür sind

Bäder in Hotels, Seniorenheimen und Bettenhäuser im Krankenhaus.

In einer Nutzungseinheit (NE) wird davon ausgegangen, dass maximal zwei Entnahmestellen gleichzeitig geöffnet sind. Damit ergibt sich bei der Anwendung dieser Ausnahme zur Ermittlung des Spitzendurchflusses in Nutzungseinheiten nachfolgendes Vorgehen:

Der Spitzendurchfluss einer Teilstrecke (TS) in einer Nutzungseinheit (NE) ergibt sich maximal aus der Addition der beiden größten an der Teilstrecke (TS) installierten Berechnungsdurchflüsse. Dieses bedeutet, dass der Anwender je nach Nutzungsverhalten und vorhandenen Entnahmestellen entscheiden muss, ob es ausreichend ist, mit dem größten oder den beiden größten Berechnungsdurchflüssen zu rechnen. Bei einem Bad mit Spülkasten, Waschtisch und Dusche sind es in der Regel immer die beiden größten Verbraucher. Bei einer kleinen Küche oder dem Hausarbeitsraum reicht es hier meist aus, einen Verbraucher zu berücksichtigen.

Treffen zwei Nutzungseinheiten (NE) im Bereich der Sammelleitung oder der Steigleitung zusammen, werden die Spitzendurchflüsse der beiden Nutzungseinheiten (NE) addiert.

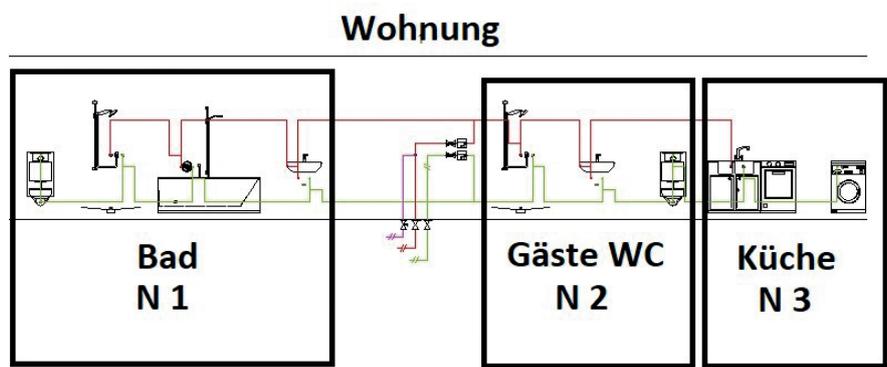


Abbildung 22: Wohnung mit drei Nutzungseinheiten

Damit bei der Anwendung dieser Ausnahme das Ziel eines schlanken Rohrnetzes weiterhin Berücksichtigung findet, ist es bei der Addition der Spitzendurchflüsse notwendig, einen Vergleich mit dem aus der Berechnungsgleichung (siehe Gleichung 16) ermittelten Spitzendurchfluss durchzuführen. Es wird für die Ermittlung des Rohrdurchmessers der kleinere Wert berücksichtigt.

Diese Ausnahme für die Ermittlung des Spitzendurchflusses kommt in der Praxis kaum zur Anwendung. Hintergrund ist, dass bei den gängigen Berechnungsprogrammen ein hoher Aufwand für das manuelle Editieren entsteht. Da die Abweichungen bei den Dimensionen vernachlässigbar klein sind, ist verständlich, dass gerne auf den zusätzlichen Aufwand verzichtet wird und die konventionelle Ermittlung des Spitzendurchflusses über die Berechnungsgleichungen bevorzugt wird.

#### 4.6 Fließgeschwindigkeit

Bei der Ermittlung des Rohrdurchmessers ist nicht nur der zur Verfügung stehende Druck zu betrachten, sondern auch die maximale Fließgeschwindigkeit in den Teilstrecken. Tabelle 3 gibt eine Übersicht über die maximal rechnerischen Fließgeschwindigkeiten in den Teilstrecken nach DIN 1988-300. Hierbei wird unterschieden, ob Dauerverbraucher vorhanden sind oder nicht. Durch den Einsatz von druckverlustarmen Armaturen, wie z. B. Schrägsitzventilen,

können Verbrauchsleitungen mit einer höheren maximalen Fließgeschwindigkeit bis zu 5 m/s beaufschlagt werden. Hieraus ergibt sich der Vorteil, dass die Rohrleitungen kleiner dimensioniert werden können.

#### 4.7 Druckbetrachtung

##### // 4.7.1 Mindestversorgungsdruck

Der Mindestdruck (Fließdruck) nach dem Wasserzähler  $p_{\min WZ}$  ist für die Dimensionierung der Rohrdurchmesser maßgebend. Der Fachplaner / das ausführende Unternehmen ist für die Abfrage bei dem zuständigen Wasserversorgungsunternehmen (WVU) verantwortlich.

Stellt das WVU nur den Mindestversorgungsdruck  $p_{\min V}$  zur Verfügung, kann der Mindestdruck nach dem Wasserzähler  $p_{\min WZ}$  entsprechend den Vorgaben der Norm ermittelt werden.

Alternativ kann das WVU den Werkstoff und die Nennweite der Anschlussleitung, die Bauart der Hauptabsperreinrichtung (HAE) und des Wasserzählers angeben. Der zur Verfügung stehende Druck kann vom Fachplaner / ausführenden Unternehmen berechnet werden.

Kommen in einer Hausinstallation nach dem Wasserzähler eine Druckerhöhungsanlage oder ein Druckminderer zum Einsatz, ändert sich der Startwert für den zur Verfügung stehenden Druck. Bei einer Druckerhöhungsanlage (DEA) wird zur Dimensionierung der Rohrleitungen der Nachdruck  $p_{\text{nach}}$  berücksichtigt.

Beim Einsatz eines Druckminderers wird zwischen zwei Fällen unterschieden:

// Ist der Versorgungsdruck stets höher als der Ausgangsdruck des Druckminderers, beginnt die Berechnung der Druckverluste ab dem Ausgangsdruck.

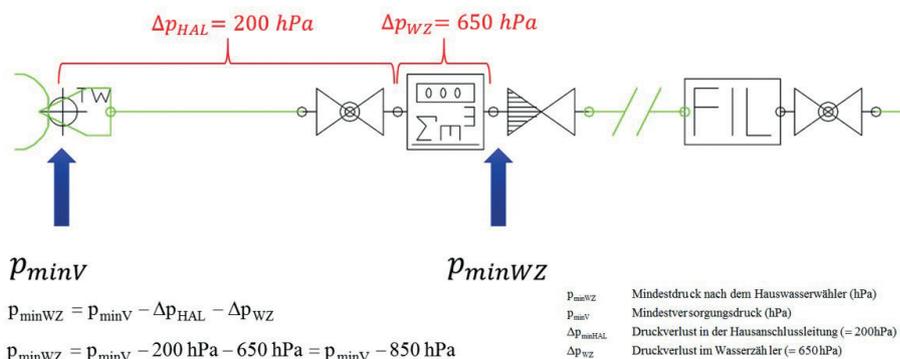


Abbildung 23: Mindestdruck nach dem Wasserzähler

Leitungsabschnitt	Maximal rechnerische Fließgeschwindigkeit bei Fließdauer	
	< 15 min	≥ 15 min
Anschlussleitungen (Hausanschlussleitung)	2	2
Verbrauchsleitungen:		
Teilstrecken mit Widerstandsbeiwerten $\zeta < 2,5$ für die Einzelwiderstände <sup>a</sup>	5	2
Teilstrecken mit Widerstandsbeiwerten $\zeta \geq 2,5$ für die Einzelwiderstände <sup>b</sup>	2,5	2

<sup>a</sup> z. B. Kolbenschieber, Kugelhahn, Schrägsitzventile  
<sup>b</sup> z. B. Geradsitzventil

// Ist der Druckminderer bei geringem Druckverlust nicht notwendig (Berechnungsfall), dann wird mit  $p_{\text{minWZ}}$  die Berechnung durchgeführt und der Einzelwiderstand des geöffneten Druckminderers ist als Apparate-  
druckverlust  $\Delta p_{\text{Ap}}$  zu berücksichtigen.

#### // 4.7.2 Ermittlung des verfügbaren Druckgefälles für die Rohrleitung

Die in der Trinkwasser-Installation auftretenden Druckverluste müssen durch die zur Verfügung stehende Druckdifferenz ausgeglichen werden.

Wird die Gleichung 18 nach  $\Sigma(1 \cdot R + Z)$  aufgelöst, ergibt sich die verfügbare Druckdifferenz. Hieraus ergibt sich, wieviel Druckverlust in dem Fließweg durch Rohrleitung und Einzelwiderstände verursacht werden kann. Damit ist diese, neben der maximalen Fließgeschwindigkeit, die entscheidende Bezugsgröße für den Rohrdurchmesser der Teilstrecke.

#### Gleichung 18

$$p_{\text{minWZ}} = \Delta p_{\text{geo}} + \Sigma \Delta p_{\text{Ap}} + \Sigma \Delta p_{\text{RV}} + \Sigma(1 \cdot R + Z) + p_{\text{minFI}}$$

#### Gleichung 19

$$\Delta p_{\text{ges,v}} = p_{\text{minWZ}} - \Delta p_{\text{geo}} - \Sigma \Delta p_{\text{Ap}} - \Sigma \Delta p_{\text{RV}} - p_{\text{minFI}}$$

Wird die verfügbare Druckdifferenz  $\Delta p_{\text{ges,v}}$  in das Verhältnis zur Gesamtlänge  $l_{\text{ges}}$  des betrachteten Fließweges gesetzt, ergibt sich das verfügbare Druckgefälle  $R_v$ . Da in der Größe für die verfügbare Druckdifferenz  $\Delta p_{\text{ges,v}}$  noch der Druckverlustanteil für die gerade Rohrleitung und die Einzelwiderstände enthalten ist, muss der Anteil der Einzelwiderstände herausgerechnet werden:

#### Gleichung 20

$$R_v = \frac{\left(1 - \frac{a}{100}\right)}{l_{\text{ges}}} \cdot \Delta p_{\text{ges,v}}$$

$R_v$	= verfügbares Druckgefälle (in hPa/m)
$\Delta p_{\text{ges,v}}$	= verfügbare Druckdifferenz (in hPa)
$l_{\text{ges}}$	= Gesamtlänge des Fließweges (in m)
$a$	= Anteil der Druckverluste durch Einzelwiderstände (in %)
$p_{\text{minWZ}}$	= Mindestdruck nach dem Wasserzähler (in hPa)
$\Delta p_{\text{geo}}$	= Druckverlust aus geodätischem Höhenunterschied (in hPa)
$\Delta p_{\text{Ap}}$	= Druckverlust in einem Apparat (in hPa)
$\Delta p_{\text{RV}}$	= Druckverlust im Rückflussverhinderer (in hPa)
$p_{\text{minFI}}$	= Mindestfließdruck (in hPa)

Der Einzelwiderstandswert  $a$  wird erfahrungsgemäß nach DIN 1988-300 für Wohngebäude mit 40 % bis 60 % von der für Rohrreibung und Einzelwiderstände verfügbaren Druckdifferenz angesetzt.

#### // 4.7.3 Apparatedruckverlust

Die Druckverluste aus Apparatewiderständen können gemäß DIN 1988-300 nach der Apparategleichung bestimmt werden. Als Apparate werden alle Einbauten in der Trinkwasser-Installation bezeichnet, wie z.B. Wasserzähler, Filter, Gruppen-Trinkwassererwärmer etc.

#### Gleichung 21

$$\Delta p_{\text{Ap}} = \Delta p_g \cdot \left( \frac{\dot{V}_s}{\dot{V}_g} \right)^2$$

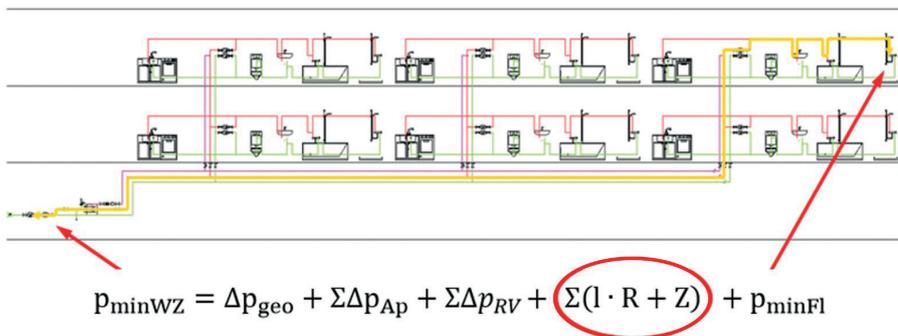


Abbildung 24: Druckverluste in der Trinkwasser-Installation

$\Delta p_{Ap}$	= Druckverlust im Apparat (in hPa)
$\Delta p_g$	= vom Hersteller angegebener Druckverlust des Apparates für einen Betriebspunkt (in hPa)
$\dot{V}_S$	= Spitzendurchfluss (in l/s)
$\dot{V}_g$	= vom Hersteller angegebener Durchfluss im Apparat für einen Betriebspunkt (in l/s)

Zur Berechnung des Apparatedruckverlustes sind vom Hersteller die Angaben über den Druckverlust  $\Delta p_g$  in Abhängigkeit vom Volumenstrom  $\dot{V}_g$  des Apparates heranzuziehen.

#### // 4.7.4 Druckverlust von Einzel-Trinkwassererwärmern

Wird ein Einzel-Trinkwassererwärmer unmittelbar vor der Entnahmematur installiert, wird der Druckverlust als Apparatedruckverlust erfasst.

Bei Speichern (Einzel-Trinkwassererwärmer) darf der Druckverlust vernachlässigt werden.

Bei Durchfluss-Trinkwassererwärmern (Einzel-Trinkwassererwärmer) sind die Herstellerangaben zu berücksichtigen.

#### // 4.7.5 Druckverlust von Gruppen-Trinkwassererwärmern

Bei Gruppen-Trinkwassererwärmern sind grundsätzlich die Werte der Hersteller zu berücksichtigen. Ansatzweise können bei produktneutralen Berechnungen die Werte der DIN 1988-300 herangezogen werden.

### 4.8 Besonderheit der Ringleitung

In der DIN 1988-300 ist ein Rechengang zur Berücksichtigung des Druckbedarfs für eine Ringleitung dargestellt. Hierbei handelt es sich ausschließlich um Ringleitungen in der Stockwerksverteilung (z. B. Nasszellen). Das Einschleifen eines ganzen Gebäudes in nur eine Ringleitung ist aus trinkwasserhygienischer Sicht nicht zulässig. Ebenso ist von einer Ring-in-Ring-Installation abzuraten. Auch dieses führt in der Regel zu hygienischen Auffälligkeiten.

Der Druckverlust der Ringleitungen  $\Delta p_{Ring}$  ist bei der Bestimmung des verfügbaren Druckgefälles  $R_v$  zusätzlich zu berücksichtigen.

#### Gleichung 22

$$\Delta p_{ges,v} = p_{minWZ} - \Delta p_{geo} - \sum \Delta p_{Ap} - \sum \Delta p_{RV} - p_{minFl} - \Delta p_{Ring}$$

$\Delta p_{ges,v}$	= verfügbare Druckdifferenz (in hPa)
$p_{minWZ}$	= Mindestdruck nach dem Wasserzähler (in hPa)
$\Delta p_{geo}$	= Druckverlust aus geodätischem Höhenunterschied (in hPa)
$\Delta p_{Ap}$	= Druckverlust in einem Apparat (in hPa)
$\Delta p_{RV}$	= Druckverlust im Rückflussverhinderer (in hPa)
$p_{minFl}$	= Mindestfließdruck an der Entnahmematur (in hPa)
$p_{Ring}$	= Druckverlust in der Ringleitung (in hPa)

Der Druckbedarf ist für die gleichzeitige Entnahme an den beiden größten Entnahmematuren differenziert zu bestimmen. Es wird empfohlen, bei Ringleitungen eine Ringnennweite zu wählen. Dieses ist praktikabler auf der Baustelle. Bei der Dimensionierung ist jedoch zu beachten, dass die in Tabelle 3 nach DIN 1988-300 aufgeführten Fließgeschwindigkeiten nicht überschritten werden.

### 4.9 Ausschreibung

Um das Ziel der DIN 1988-300, ein schlankes Rohrnetz zu dimensionieren, zu erfüllen, muss die Rohrnetzberechnung mit herstellereigenen Daten durchgeführt werden. Die Folge ist eine sehr viel genauere Berechnung.

Tabelle 4: Referenzwerte für Druckverluste  $\Delta p_{TE}$  von Gruppen-Trinkwassererwärmern (DIN 1988-300)

Geräteart	Druckverlust $\Delta p_{TE}$ hPa
<b>Elektro-Durchfluss-Wassererwärmer</b>	
// hydraulisch gesteuert	// 1000
// elektronisch gesteuert	// 800
<b>Elektro- bzw. Gas-Speicher-Wassererwärmer Nennvolumen bis 80 l</b>	// 200
<b>Gas-Durchfluss-Wasserheizer und Gas-Kombi-Wasserheizer nach DIN EN 297, DIN EN 625</b>	// 800

Bei einer öffentlichen Ausschreibung kann dieses zu Problemen führen, da die Ausschreibung produktneutral erfolgen muss. Um dem gerecht zu werden, verfügt die DIN 1988-300 über Referenzwerttabellen für die Widerstandsbeiwerte (Zeta-Werte) und Rohrinne Durchmesser. Sobald die endgültige Wahl des Rohrsystems feststeht, ist hier eine Neuberechnung des Rohrnetzes erforderlich. Die hierfür entstehenden Kosten sollten schon bei der Ausschreibung berücksichtigt werden.

Dieses bedeutet auch, dass ein Fabrikatswechsel des Rohrwerkstoffes und der Komponenten in der Trinkwasser-Installation ohne Neuberechnung des Rohrnetzes nicht mehr möglich ist.

#### 4.10 Dokumentation der Berechnung

Die Berechnungsergebnisse sind zu dokumentieren. Der Inhalt der Dokumentation ist für Kalt- und Warmwasserleitungen sowie Zirkulationssysteme vorgegeben. Als Anforderung für die Dokumentation der Berechnungsergebnisse gilt, dass die Berechnung von fachkundigen Dritten lückenlos nachvollziehbar ist. Durch die differenzierte Berechnung mit einem renommierten Rohrnetzrechnungsprogramm ist diese Anforderung erfüllt, da die Dokumentation der Berechnungsergebnisse hier auf Knopfdruck erfolgt und archiviert werden kann.

## 5 ZIRKULATIONSSYSTEME

### 5.1 Notwendigkeit der differenzierten Berechnung

Damit ein Zirkulationssystem während des Betriebs einer Trinkwasser-Installation dauerhaft einwandfrei funktioniert, ist eine differenzierte Rohrnetzrechnung notwendig. Über den rein funktionellen Gedanken gibt es aber auch in den einschlägigen Normen für die Planung von Trinkwasser-Installati-

onen konkrete Hinweise auf die Notwendigkeit einer differenzierten Rohrnetzrechnung. So fordert die DIN EN 806-2<sup>6</sup>, dass der Fachplaner den Wasser- und Energiebedarf der Trinkwasser-Installation berücksichtigen und nach Möglichkeit auch minimieren muss. Diese Anforderung kann im Bereich des Zirkulationsnetzes ohne eine differenzierte Rohrnetzrechnung nicht erfüllt werden.

6 DIN EN 806-2, Juni 2006 | Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen – Teil 2: Planung

Die Notwendigkeit des hydraulischen Abgleichs eines Zweikreisystems und damit einer Berechnung des Zirkulationsnetzes ergibt sich weiter aus der Anforderung der DIN 18380<sup>7</sup> (auch als VOB Teil C bekannt). Ein Verweis hierzu befindet sich in Kapitel 6.9.4 „Einregulierung“ in der VDI / DVGW 6023 Blatt 1<sup>8</sup>. "Trinkwasser-Installationen, warm" müssen vom Errichter nach DIN 18380 hydraulisch abgeglichen übergeben werden. Die Einhaltung der nach DVGW W 551<sup>9</sup> geforderten Temperaturen ist zu dokumentieren."

Neben den normativen Vorgaben für die Berechnung und den hydraulischen Abgleich ergibt sich die Notwendigkeit auch aus hydraulischer Sicht. Dieses dokumentiert das nachfolgend dargestellte Beispiel eines Wohngebäudes mit 20 Steigleitungen und einer Steigstrangzirkulation.

Das Ergebnis der mit der Berechnungssoftware Dendrit Studio durchgeführten Simulation des Zirkulationssystems verdeutlicht, dass es in neun der 20 Steigleitungen zu Temperaturunterschreitungen unterhalb von 55 °C kommt. Die Ursache hierfür ist der fehlende hydraulische Abgleich.

In Abbildung 27 ist der Temperaturverlauf eines Fließweges dargestellt. Dieser zeigt eine deutliche Temperaturunterschreitung im Bereich der Steigleitungen von ca. 4 K.

## 5.2 Planungsrelevante Anforderungen an das Zirkulationssystem

Die planungsrelevanten Anforderungen an ein Zirkulationssystem ergeben sich im Wesentlichen aus der DIN 1988-200<sup>10</sup>. Ein Zirkulationssystem ist immer dann notwendig, wenn mindestens in einem Fließweg der Rohrleitungsinhalt 3 Liter überschreitet. Hierbei wird der Rohrleitungsinhalt vom Abgang des zentralen Trinkwassererwärmers bis zur entferntesten Entnahmestelle betrachtet.



Abbildung 25: Strangschema Wohngebäude

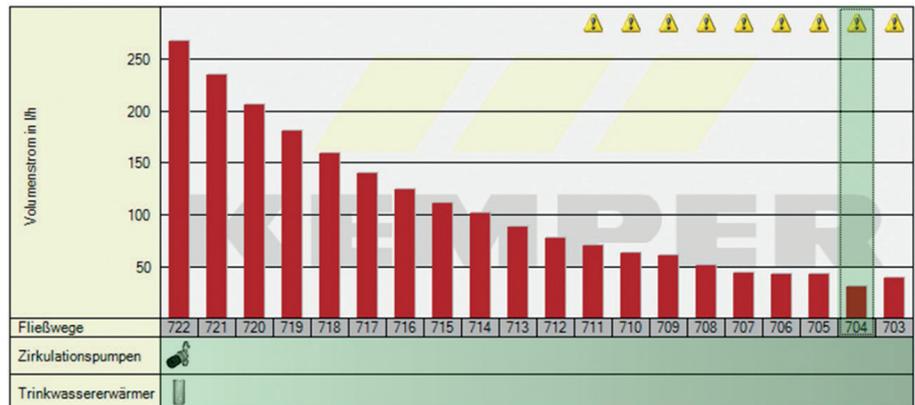


Abbildung 26: Ergebnis der Zirkulationssimulation mit der Berechnungssoftware Dendrit STUDIO

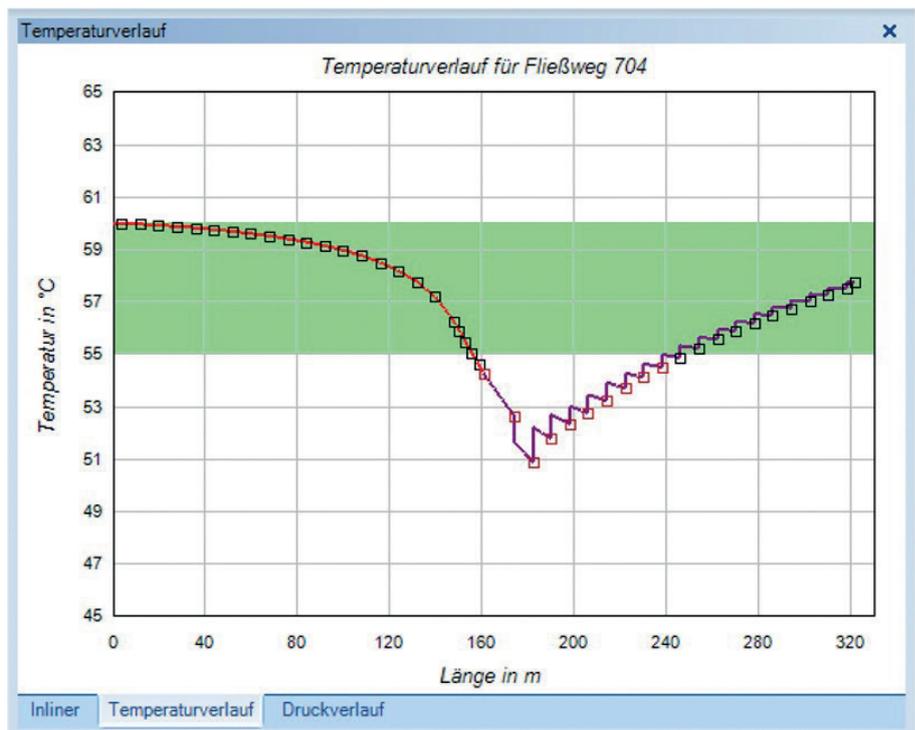


Abbildung 27: Temperaturverlauf für einen Fließweg

7 DIN 18380, September 2016 | VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Heizanlagen und zentrale Wassererwärmungsanlagen  
 8 VDI/DVGW 6023, April 2013 | Hygiene in Trinkwasser-Installationen - Anforderungen an Planung, Ausführung, Betrieb und Instandhaltung  
 9 DVGW W 551, April 2004 | Trinkwassererwärmungs- und Trinkwasserleitungsanlagen - Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums - Planung, Errichtung, Betrieb und Sanierung von Trinkwasser-Installationen  
 10 DIN 1988-200, Mai 2012 | Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen - Teil 200: Installation Typ A (geschlossenes System) - Planung, Bauteile, Apparate, Werkstoffe; Technische Regel des DVGW

Für die „3-Liter-Regel“ ist nur das Leitungsvolumen der PWH-Leitungen von Relevanz. Der Inhalt einer parallel verlegten Zirkulationsleitung wird nicht berücksichtigt (Abbildung 28). Neben einem Zweikreisssystem als Zirkulationssystem lässt die DIN 1988-200 auch sogenannte selbstregelnde Temperaturhaltbänder zu.

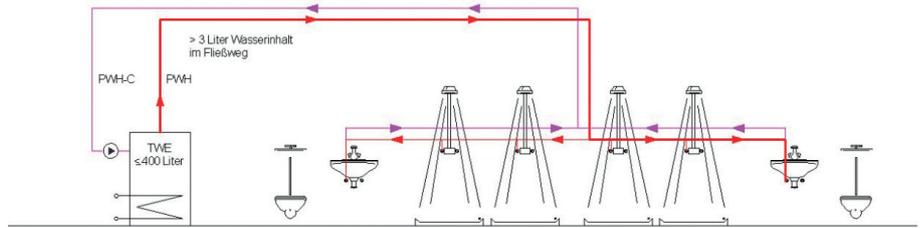


Abbildung 28: Schematische Darstellung des längsten Fließweges

Stockwerks- und / oder Einzelzuleitungen können auch ohne ein Zirkulationssystem umgesetzt werden. Hierfür muss bei der Leitungsführung aber berücksichtigt werden, dass ein Rohrleitungsinhalt von 3 Litern nicht überschritten wird.

Welche Leitungslängen sich damit im Bereich der Stockwerks- und Einzelzuleitungen ohne ein Zirkulationssystem realisieren lassen, zeigt die Tabelle 5. Am Beispiel einer Rohrleitung aus nichtrostendem Stahl (Edelstahl) sind in der letzten Spalte der Abbildung die maximal zulässigen Längen dargestellt, die sich im Bereich von Stockwerks- und Einzelzuleitungen ohne ein Zirkulationssystem umsetzen lassen. An dieser Stelle sei aber nochmals ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die sogenannte „3-Liter-Regel“ als Obergrenze zu verstehen ist und kleinere Leitungsvolumen grundsätzlich anzustreben sind. Hierauf weist die DIN 1988-200 explizit hin.

Ein maximales Rohrleitungsvolumen von 3 Litern gilt selbstverständlich auch hinter zentralen thermostatischen Mischern. Sollen zentrale thermostatische Mischer als Verbrühungsschutz eingesetzt werden, ist darauf zu achten, dass die danach geplanten Fließwege einen Leitungsinhalt von 3 Litern nicht überschreiten. Größere Volumina sind an dieser Stelle nicht zulässig. Sinnvoller ist es hier, den geforderten Verbrühungsschutz endständig zu realisieren.

Zentrale Trinkwassererwärmer müssen so geplant, gebaut und betrieben werden, dass am Austritt des Trinkwassererwärmers die Trinkwassertemperatur mindestens 60 °C beträgt. Dabei ist unerheblich, um welche Art von zentralen

**Tabelle 5: Darstellung der Rohrleitungslänge bei einem Leitungsvolumen von 3 Litern am Beispiel einer Rohrleitung aus nichtrostendem Stahl (Edelstahl)**

Dimension	Innendurchmesser in mm	Inhalt in l / m	Länge in m bei 3 l Volumen
12 x 1	10	0,08	38,20
15 x 1	13	0,13	22,60
18 x 1	16	0,20	14,92
22 x 1,2	19,6	0,30	9,94
28 x 1,2	25,6	0,51	5,83
35 x 1,5	32	0,80	3,73
42 x 1,5	39	1,19	2,51
54 x 1,5	51	2,04	1,47
88,9 x 2	84,9	5,66	0,53
108 x 2	104	8,49	0,35

Trinkwassererwärmern (Speicher-Trinkwassererwärmer oder Durchfluss-Trinkwassererwärmer) es sich handelt. Die einzige Ausnahme sind hierbei Trinkwassererwärmer mit hohem Wasseraustausch.

Kurzzeitige Absenkungen der Austrittstemperatur des Trinkwassers (warm) können jedoch toleriert werden, insbesondere bei der Entnahme von Spitzendurchflüssen. Diese Einschränkung ist u. a. in der Regelträgeit als auch in dem Auslegungsverfahren für Speicher-Trinkwassererwärmer begründet. Diese werden bekanntlich nicht auf den Spitzendurchfluss ausgelegt.

An die Dimensionierung der Rohrleitungen und die Auslegung der Zirkulationspumpe sind von Seiten der Temperaturen im Zirkulationssystem zwei Anforderungen geknüpft. Im gesamten

zirkulierenden System darf die Temperatur maximal um 5 K absinken und eine absolute Trinkwassertemperatur von 55 °C darf nicht unterschritten werden.

Bei hygienisch einwandfreien Verhältnissen in der Trinkwasser-Installation ist das Abschalten der Zirkulationspumpe für maximal 8 Stunden innerhalb von 24 Stunden nach wie vor erlaubt. Allerdings ist dieses aus trinkwasserhygienischer Sicht nicht mehr Stand der Technik. Die Empfehlung geht hier ganz klar dahin, dass Zirkulationspumpen über 24 Stunden in Betrieb sind.

Bauteile, die bestimmungsgemäß Wärme zu Heizwecken abgeben, dürfen nicht in Zirkulationssysteme eingebaut werden. Diese Anforderung lässt sich leicht erklären. Hintergrund zu dieser Anforderung sind Handtuchtrockner im Bad, die, anstelle in das Heizungssystem zu

integrieren, in das Zirkulationssystem eingebaut wurden. Der Vorteil bestand darin, dass das Zirkulationssystem 365 Tage im Jahr betrieben wurde und das Heizungssystem in den Sommermonaten abgeschaltet wurde. Diese Idee eines findigen Herstellers hat sich sinnvollerweise nicht durchgesetzt.

### 5.3 Trinkwassererwärmer mit hohem Wasseraustausch

Zentrale Trinkwassererwärmer mit hohem Wasseraustausch sind in der DIN 1988-200 definiert. Hierbei handelt es sich um zentrale Trinkwassererwärmer in kleinen Objekten (z. B. Ein- und Zweifamilienhäuser). Diese Erleichterung wurde in der DIN 1988-200 eingeführt, um den Einsatz regenerativer Wärmeerzeuger (z. B. Wärmepumpen) zur Trinkwassererwärmung nutzen zu können. Bei Trinkwassererwärmern mit hohem Wasseraustausch ist es zulässig, dass die Warmwasserbevorratungstemperatur gesenkt werden kann. Die Temperatur muss mindestens 50 °C betragen. Es muss jedoch eine Möglichkeit vorhanden sein, die Warmwasserbevorratungstemperatur bei Bedarf (z. B. aus hygienischen Gründen) auf 60 °C zu erhöhen.

Ein hoher Wasseraustausch bedeutet im Sinne der Norm, dass während des Betriebes der Trinkwasser-Installation alle drei Tage ein Austausch des Trinkwassers warm (PWH) stattfinden muss. Dieser Wasseraustausch ist für jeden Fließweg sicherzustellen. Das Aufsummieren des gesamten Rohrleitungsvolumens und die Betrachtung des Gesamtverbrauches ist für die Erfüllung dieser Anforderung nicht ausreichend. Dieses verdeutlicht, dass es sich hierbei ausschließlich um eine Erleichterung für das Kleinobjekt handeln kann. Bei der Anwendung dieser Erleichterung wird in der täglichen Praxis gerne übersehen, dass der Betreiber im Rahmen der Inbetriebnahme und Einweisung über ein mögliches Gesundheitsrisiko (z. B. Legionellenvermehrung) informiert werden muss.

### 5.4 Höherwertige Anforderungen aus Hygiene und Komfort

Die „3-Liter-Regel“ kann im Bereich der Zirkulationssysteme als Mindestanforderung u.a. für Komfort und Hygiene angesehen werden. Darüber hinaus gibt es eine ganze Reihe an höherwertigen Anforderungen. Diese sind zum Teil auch verpflichtend. Bevor ein Zirkulationsnetz mit den Mindestanforderungen, die sich aus der „3-Liter-Regel“ ergeben, geplant und ausgeführt wird, muss in dem konkreten Vorhaben immer überprüft werden, ob höherwertige Planungsanforderungen eingehalten werden müssen. Es gibt jedes Jahr eine ganze Reihe an Streitigkeiten über Objekte, in denen Zirkulationssysteme korrekt unter Einhaltung der „3-Liter-Regel“ geplant und gebaut worden sind, die Reklamation aber berechtigt ist, da höherwertige Planungsanforderungen übersehen wurden. Die Kosten hierfür gehen dann leider immer zu Lasten des Fachplaners oder des ausführenden Unternehmens.

Für höherwertige Anforderungen aus dem Bereich Komfort und Hygiene sollen hier exemplarisch zwei genannt werden. Aus dem Bereich Komfort handelt es sich um die VDI 6003<sup>11</sup>. Diese Richtlinie regelt Komfortkriterien für die einzelnen Entnahmestellen. In Tabelle 6

sind beispielhaft die Komfortkriterien für die Entnahmestelle Dusche dargestellt. Es gibt drei Anforderungsstufen. Die dritte Anforderungsstufe hat die höchsten Anforderungen. Für das Beispiel Dusche findet sich dort für die Anforderungsstufe III eine maximale Zeit bis zum Erreichen der Nutztemperatur von 42 °C an der Duscharmatur von 7 Sekunden. Diese Anforderung lässt sich mit einer Steigstranzirkulation unter Einhaltung der „3-Liter-Regel“ nicht erfüllen. Hierfür ist die Umsetzung einer Stockwerkszirkulation notwendig. Die Komfortkriterien aus der VDI 6003 werden häufig im hochwertigen Hotelbereich und bei Eigentumswohnungen gefordert.

Aus dem Bereich der Hygiene handelt es sich um die Richtlinie für die Erkennung, Verhütung und Bekämpfung von Krankenhausinfektionen (auch bekannt als RKI-Richtlinie<sup>12</sup>). Diese Richtlinie befasst sich mit der Hygiene in Gebäuden des Gesundheitswesens (z. B. Krankenhäuser, Altenpflegeheime usw.). Bei dem Thema Hygiene spielt auch die Trinkwasserhygiene eine wesentliche Rolle. Daher ist diese Richtlinie ergänzend zu den einschlägigen Normen bei der Planung und dem Bau einer Trinkwasser-Installation in Objekten des Gesundheitswesens zu berücksichtigen. Die Notwendigkeit der Berücksichtigung ergibt sich aus dem Infektionsschutzgesetz.

Komfortkriterien	Kurzzeichen/Einheit	Anforderungsstufe		
		I	II	III
Nutztemperatur $\vartheta_{\text{ww}} = 42 \text{ °C}^a$				
1. Zeitlicher Abstand bei serieller Nutzung	$t_{\text{ww}}$ in min	max. 8	max. 5	0
2. Möglichkeit gleichzeitiger Nutzung zweier oder mehrerer Entnahmestellen		nein	ja	ja
3. Maximale Temperaturabweichung während der Nutzung	in K	±5	±4	±2
4. Mindestentnahmerate	$\dot{V}$ in l/min	7	9	9
5. Mindestentnahmemenge	$V_B$ in l	28	60	120
6. Maximale Zeit bis zum Erreichen der Nutztemperatur unter Berücksichtigung von Zeile 3 und Zeile 4	$t_\vartheta$ in s	~26	10	7

<sup>a</sup> vgl. VDI 2067 Blatt 22

<sup>11</sup> VDI 6003, August 2018 | Trinkwassererwärmungsanlagen – Komfortkriterien und Anforderungsstufen für Planung, Bewertung und Einsatz  
<sup>12</sup> Richtlinie für die Erkennung, Verhütung und Bekämpfung von Krankenhausinfektionen (RKI-Richtlinie); Herausgeber: Robert-Koch-Institut, Berlin

Die Anforderungen der Hygiene an Warmwassersysteme ergeben sich aus Kapitel 2.1.2 der Richtlinie. Auszugsweise sind nachfolgend vier, das Zirkulationssystem betreffende, Anforderungen dargestellt:

// [...]

// Es ist möglichst wenig erwärmtes Trinkwasser zu speichern.

// Es ist auf 60 °C zu erwärmen.

// Eine gleichmäßige Temperaturverteilung ist erforderlich.

// [...]

// Die Warmwassertemperatur muss unmittelbar vor dem Mischen am Auslass noch mindestens 55 °C betragen.

// [...]

Zur Erfüllung der Anforderung, dass die Warmwassertemperatur unmittelbar vor dem Mischen am Auslass noch mindestens 55 °C betragen muss, ist die Umsetzung einer Stockwerkszirkulation notwendig.

### 5.5 Steigstrang-Zirkulation

Die Steigstrang-Zirkulation ist die klassische Ausführung eines Zirkulationssystems. Die Zirkulationsleitungen sind in den Steigsträngen parallel zur Warmwasserleitung installiert und am Kopfpunkt miteinander verbunden. Es findet eine Temperaturhaltung in den Steigsträngen statt. Das Wasservolumen in den Stockwerks- und Sammelleitungen kühlt ab. Deshalb ist bei der Planung und Ausführung darauf zu achten, dass das nicht zirkulierende Wasservolumen in den einzelnen Fließwegen der Stockwerke eine Obergrenze von 3 Litern nicht überschreitet. Die einzelnen Steigstränge der Zirkulationsleitungen sind über Zirkulationsreguliertventile untereinander hydraulisch abzugleichen. In der Regel kommen heutzutage

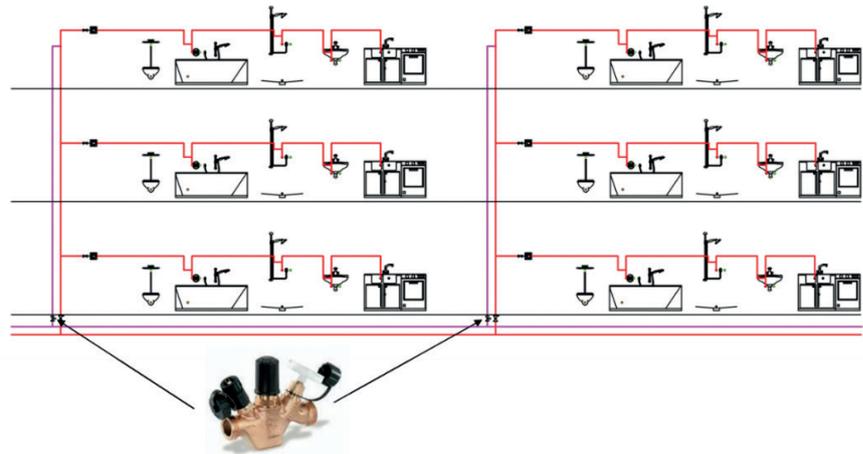


Abbildung 29: Strangschema einer Steigstrang-Zirkulation mit thermostatischen Zirkulations-Reguliertventilen

bei Steigstrang-Zirkulationen thermostatische Zirkulationsreguliertventile zum Einsatz (Abbildung 29). Statische Zirkulationsreguliertventile kommen bei größeren Objekten für die weiteren Eingulierungs-Ebenen zum Einsatz. Es ist eine Wohnungswasserzählung möglich.

### 5.6 Stockwerks-Zirkulation

Die Stockwerks-Zirkulation ist eine Weiterentwicklung der klassischen Steigstrang-Zirkulation. Dieses war notwendig geworden, da vor allem höherwertige Anforderungen aus dem Bereich der Trinkwasserhygiene und des Komforts mit der Steigstrang-Zirkulation nicht erfüllt werden konnten.

In der Stockwerks-Zirkulation wird die Zirkulationsleitung in den einzelnen Etagen bis an die entfernteste Entnahmestelle parallel zur Warmwasserleitung verlegt. Erst kurz vor der letzten Entnahmestelle werden beide Leitungen miteinander verbunden. Damit ist die Temperaturhaltung auch im Bereich der Etage sichergestellt. Die in Kapitel 5.4 beschriebenen, höherwertigen Anforderungen aus den Bereichen Trinkwasserhygiene und Komfort (z. B. in Krankenhäusern, Hotels, Pflegeheimen, usw.) können mit einer Stockwerks-Zirkulation erfüllt werden.

Bei der Stockwerks-Zirkulation ist es notwendig, dass auch die einzelnen Etagen untereinander hydraulisch ab-

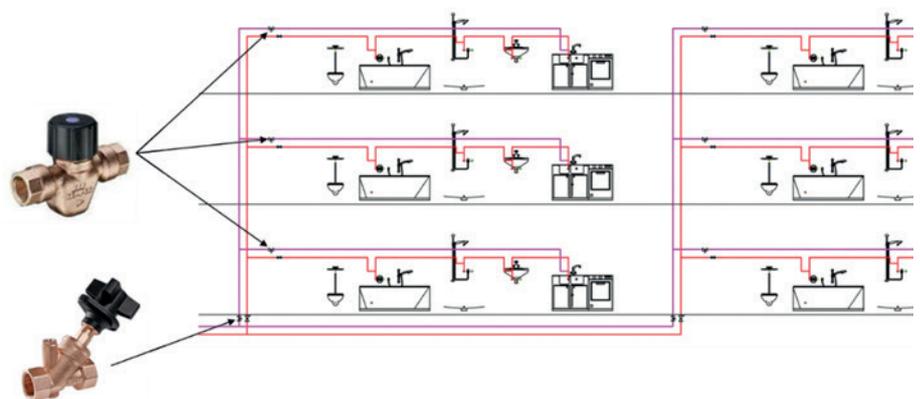


Abbildung 30: Strangschema einer Stockwerks-Zirkulation. In den Etagen kommen thermostatische Stockwerks-Reguliertventile und in den Steigsträngen statische Zirkulations-Reguliertventile zum Einsatz.

geglichen werden. Für den Abgleich der Etagen kommen Stockwerks-Zirkulationsregulierventile zum Einsatz. Hierbei handelt es sich vorwiegend um thermostatische Zirkulationsregulierventile. Diese unterscheiden sich gegenüber thermostatischen Zirkulationsregulierventilen in der Steigstrang-Installation durch einen kleineren  $k_v$ -Bereich. In einem Fließweg darf grundsätzlich nur ein thermostatisches Zirkulationsregulierventil eingebaut werden. Es ist darauf zu achten, dass in den Steigsträngen bei vorgeschalteten thermostatischen Zirkulationsregulierventilen in der Stockwerks-Installation nur statische Zirkulationsregulierventile zum Einsatz kommen. Eine Wohnungswasserzählung ist bei einer Stockwerks-Zirkulation nicht möglich (Abbildung 30).

## 5.7 Bemessung von Zirkulationssystemen

Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten der Rohrleitungsführung für Zirkulationssysteme. In Abbildung 31 sind exemplarisch vier Möglichkeiten der Rohrleitungsführung dargestellt:

- // Stockwerks-Zirkulation mit unterer Verteilung
- // Steigstrang-Zirkulation mit oberer Verteilung
- // Zirkulation mit Ringleitungen in Verbindung mit Strömungsteilern
- // Inliner-Zirkulation

Die Art der Rohrleitungsführung ist zunächst unwesentlich für das differenzierte Bemessungsverfahren. Der Hauptteil des thermodynamischen Berechnungsverfahrens ist unabhängig von der Art des Zirkulationssystems anzuwenden.

Bei dem zurzeit gültigen Berechnungsverfahren handelt es sich um das differenzierte Verfahren aus der DIN 1988-300. Dabei wurde im Wesentlichen das differenzierte Verfahren aus

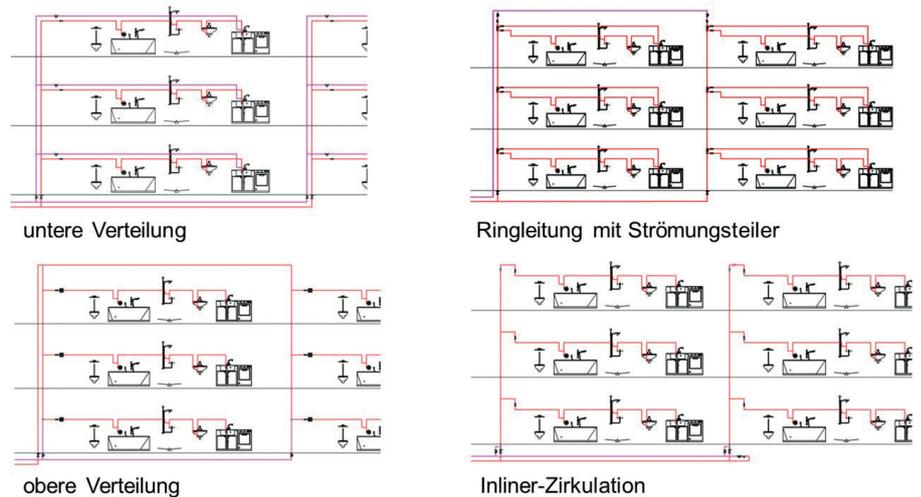


Abbildung 31: Unterschiedliche Arten der Rohrleitungsführung bei Zirkulationssystemen

dem DVGW-Arbeitsblatt W 553 „Bemessung von Zirkulationssystemen in zentralen Trinkwassererwärmungsanlagen“ übernommen und um die Möglichkeit des Beimisch-Faktors ergänzt.

Zunächst geht das differenzierte Berechnungsverfahren davon aus, dass die Zirkulationsleitung parallel zur Warmwasserleitung verlegt ist. Daraus ergibt sich, dass die Leitungslängen der Zirkulationsleitung (PWH-C) und der Warmwasserleitung (PWH) in etwa gleich lang sind. Das Auslegungsverfahren beruht darauf, dass im Steigstrang des ungünstigsten Fließweges eine Wassertemperatur von ca. 58 °C erreicht wird. Dieses ergibt sich aus den vorgegebenen Temperaturen für die Planung aus der DIN 1988-200.

Bei einer Temperatur von 60 °C am Austritt des zentralen Trinkwassererwärmers und einem maximal zulässigen

Temperaturabfall von 5 K ergibt sich bei einem parallel verlegten Leitungsnetz ein Temperaturabfall von 2,5 K für die Warmwasserleitung bis zum Kopfpunkt des ungünstigsten Fließweges. Dann herrscht hier eine Temperatur von 57,5 °C vor. Damit bleibt dann noch einmal ein zulässiger Temperaturabfall von 2,5 K für die Strecke vom Kopfpunkt des ungünstigsten Fließweges bis zum Eintritt der Zirkulationsleitung in den zentralen Trinkwassererwärmer.

Im Unterschied zur Dimensionierung von Kalt- und Warmwasserleitungen müssen bei dem Berechnungsverfahren für die Zirkulationsleitungen die auftretenden Wärmeverluste entlang der Rohrleitungen berücksichtigt werden. Daher ist es notwendig, dass das Bemessungsverfahren für das Zirkulationssystem über eine thermodynamische Komponente verfügt. Das Bemessungsverfahren lässt sich in die nachfolgenden Bereiche unterteilen:

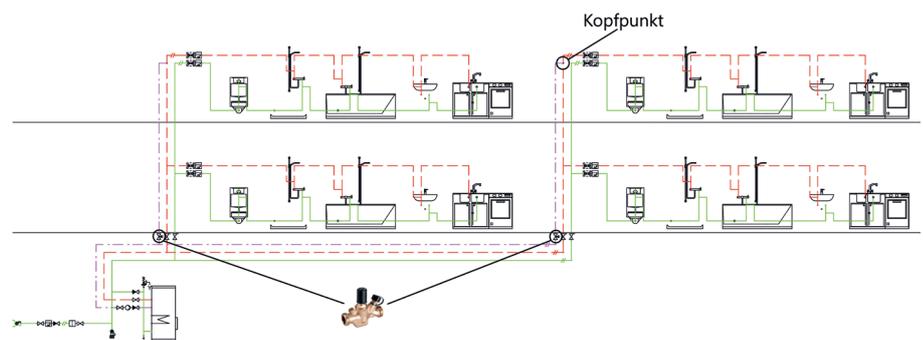


Abbildung 32: Anordnung von Zirkulationsregulierventilen

// Ermittlung der erforderlichen Zirkulationsvolumenströme über die Wärmeverluste der Rohrleitungen PWH

// Festlegung einer Temperaturdifferenz  $\leq 5$  K zwischen TWE-Ausgang und Zirkulationsanschluss

// Vorgabe von Fließgeschwindigkeiten für die Bemessung des ungünstigsten Zirkulationskreises und zur Ermittlung der Pumpendruckdifferenz

// Hydraulischer Abgleich günstiger Zirkulationskreise zunächst nur über die Rohrlängendurchmesser (min. DN 10;  $v_{max.} = 1,0$  m/s)

// Hydraulischer Abgleich über Zirkulationsregulierventile

### // 5.7.1 Berechnung des Zirkulationsvolumenstroms

Aus den planungsrelevanten Vorgaben der DIN 1988-200 ergibt sich für das Zirkulationssystem ein maximal zulässiger Temperaturverlust von 5 K. Um diese Anforderung einzuhalten und das angestrebte Temperaturniveau im Zirkulationssystem sicherzustellen, muss vom Zirkulationsvolumenstrom  $\dot{V}_z$  die Wärmemenge transportiert werden können, die über die Oberfläche der Rohrleitungen PWH und PWH-C verloren geht. Damit steht der Wärmeverlust über die Oberfläche der Rohrleitungen in direktem Zusammenhang mit dem zur Temperaturhaltung erforderlichen Zirkulationsvolumenstrom  $\dot{V}_z$ .

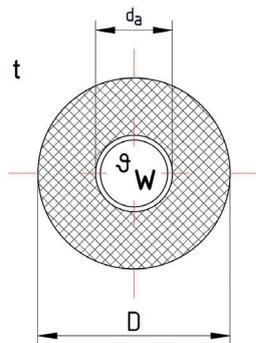


Abbildung 33: Schematische Darstellung der gedämmten Zirkulationsleitung

Über Gleichung 23 lässt sich der spezifische Wärmeverlust einer Teilstrecke berechnen.

Gleichung 23

$$\dot{q}_w = \frac{\pi}{\frac{1}{2 \cdot \lambda_D} \cdot \ln \frac{D}{d_a} + \frac{1}{\alpha \cdot D}} \cdot (\vartheta_w - \vartheta_L)$$

Sind die spezifischen Wärmeverluste aller zirkulierenden Teilstrecken PWH ermittelt, lässt sich durch Aufsummierung der Wärmeverluste der notwendige Zirkulationsvolumenstrom nach Gleichung 24 ermitteln. Der Zirkulationsvolumenstrom ist gleichzeitig Auslegungskriterium für die Zirkulationspumpe. Die Zirkulationspumpe muss den ermittelten Zirkulationsvolumenstrom fördern.

Gleichung 24

$$\dot{V}_P = \frac{\Sigma [l_W \cdot U_R \cdot (\vartheta_w - \vartheta_L)]}{\rho \cdot c_w \cdot \vartheta_w}$$

### // 5.7.2 Berechnung der Volumenströme in einem Knotenpunkt

Sobald die Rohrtrasse verzweigt (z.B. an einem Steigstrang), muss sichergestellt werden, dass die Zirkulationsvolumenströme hier so aufgeteilt werden, dass das Temperaturniveau sowohl im abzweigenden als auch im durchgehenden Rohrnetz sichergestellt werden kann. Da sich der Wärmeverlust über der Oberfläche der Rohrleitung proportional zum notwendigen Zirkulationsvolumenstrom verhält, erleichtert dieses die Volumenstromaufteilung an Abzweigen

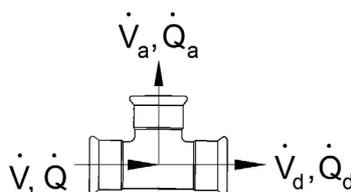


Abbildung 34: Aufteilung der Zirkulationsvolumenströme in einem Knotenpunkt

(Knotenpunkten). Wenn die Wärmeverluste im Durchgangsweg  $\dot{Q}_d$  und im Abzweig  $\dot{Q}_a$  an einem Knotenpunkt bekannt sind, lässt sich die Volumenstromaufteilung berechnen.

Gleichung 25

$$\text{Durchgangsweg: } \dot{V}_d = \dot{V} \cdot \frac{\dot{Q}_d}{\dot{Q}_a + \dot{Q}_d}$$

Gleichung 26

$$\text{Abzweig: } \dot{V}_a = \dot{V} - \dot{V}_d$$

$\dot{V}_P$	= Förderstrom der Zirkulationspumpe (in m <sup>3</sup> /s)
$l_W$	= Länge einer PWH-Teilstrecke (in m)
$U_R$	= Wärmedurchgangskoeffizient für das Rohr (in W/(m·K))
$\vartheta_w$	= Temperatur des Warmwassers (in °C)
$\vartheta_L$	= Lufttemperatur der Umgebung (in °C)
$\rho$	= Dichte des Wassers (in kg/m <sup>3</sup> )
$c_w$	= spezifische Wärmekapazität des Wassers (in kJ/(kg·K))
$\Delta\vartheta_w$	= Temperaturdifferenz des Warmwassers (in K)
$\dot{q}_w$	= spezifischer Wärmeverlust (in W/m)
$\lambda_D$	= Wärmeleitfähigkeit Dämmung (in W/(m·K))
$\alpha_a$	= äußerer Wärmeübergangskoeffizient (in W/(m <sup>2</sup> ·K))
$D$	= Außendurchmesser der gedämmten Rohrleitung (in m)
$d_a$	= Außendurchmesser Rohrleitung (in m)
$\dot{Q}_d$	= Wärmeverlust im Durchgangsweg (in W)
$\dot{Q}_a$	= Wärmeverlust im Abzweig (in W)
$\dot{V}_a; \dot{V}_d; \dot{V}$	= Volumenströme am Knotenpunkt (in l/h)

$$\Delta\vartheta_w = \frac{\Delta\vartheta_{TE}}{2} \text{ mit } \Delta\vartheta_{TE} = 4 \text{ K bis } 5 \text{ K}$$

### // 5.7.3 Geschwindigkeitsverteilung

Als eines der ersten Schritte für den hydraulischen Abgleich im Zirkulationssystem ist es notwendig, dass die Fließgeschwindigkeiten festgelegt werden. Um den hydraulischen Abgleich zu unterstützen, ist es daher sinnvoll, nicht in allen Teilstrecken die gleiche Geschwindigkeit vorzugeben, sondern gezielt zu variieren. Daher sollen pumpennahe Zirkulationsleitungen eine höhere Geschwindigkeit von 0,5 m/s bis 1,0 m/s haben und pumpenfernere Leitungen kleinere Geschwindigkeiten. Eine geeignete schematische Verteilung der Geschwindigkeit ist in Abbildung 35 dargestellt. Aus wirtschaftlichen und betriebstechnischen Gründen soll die Geschwindigkeit zwischen 0,2 m/s und 0,5 m/s betragen. Eine maximale Geschwindigkeit von 1,0 m/s darf nicht überschritten werden.

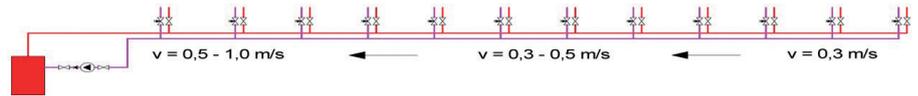


Abbildung 35: Schematische Verteilung einer sinnvollen Geschwindigkeitsverteilung in einem Zirkulationssystem

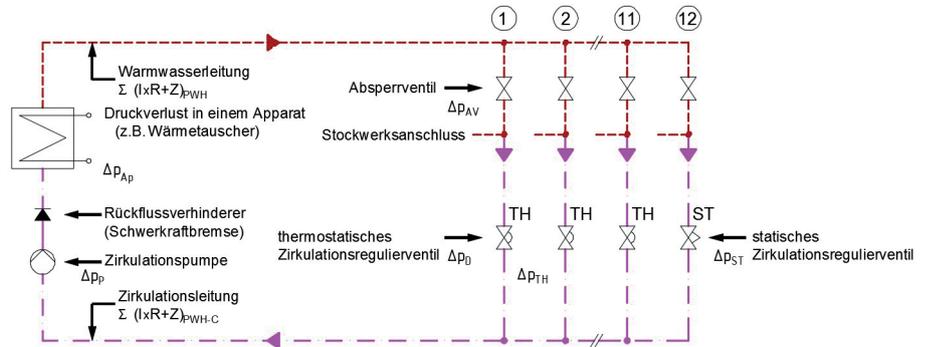


Abbildung 36: Schematische Darstellung des Zirkulationssystems

### // 5.7.4 Ermittlung der Pumpendruckdifferenz

Ist die Geschwindigkeitsverteilung im Zirkulationssystem vorgegeben, kann als nächster Schritt die Druckdifferenz im ungünstigsten Fließweg ermittelt werden. Der ermittelte Wert entspricht der Pumpendruckdifferenz. Damit ergeben sich beiläufig während der Bemessung des Zirkulationsnetzes die beiden notwendigen Auslegungsparameter für die Zirkulationspumpe. Die Pumpendruckdifferenz entspricht dem Druckverlust im ungünstigsten Zirkulationskreis und der Pumpenvolumenstrom entspricht dem Zirkulationsvolumenstrom.

In Abbildung 36 ist die schematische Darstellung eines Zirkulationssystems, das als Steigstrang-Zirkulation mit 12 Steigsträngen ausgeführt ist, abgebildet. Da die Pumpendruckdifferenz im ungünstigsten Fließweg ermittelt wird, bietet sich beim Einsatz von thermostatischen Strangreguliertventilen an, dass im ungünstigsten Strang anstelle

eines thermostatischen Strangreguliertventils ein statisches Reguliertventil eingesetzt wird. Aus den Anforderungen des Bemessungsverfahrens ist im ungünstigsten Fließweg theoretisch kein Reguliertventil notwendig. An dieser Stelle auf ein Reguliertventil zu verzichten, ist in der Praxis unüblich und in vielen Anlagen aus hydraulischer Sicht auch nicht sinnvoll.

Weiter sind in der Abbildung alle Komponenten dargestellt, die bei der Druckverlust-Berechnung berücksichtigt werden müssen. Gleichung 27 zeigt die einzelnen Widerstände, die zur Pumpendruckdifferenz aufaddiert werden.

$\Sigma(l \cdot R + Z)_{PWH}$	= Druckverlust Fließweg PWH (in hPa)
$\Sigma(l \cdot R + Z)_{PWH-C}$	= Druckverlust Fließweg PWH-C (in hPa)
$\Delta p_{RV}$	= Druckverlust im Rückflussverhinderer (in hPa)
$\Delta p_{ST}$	= Druckverlust im statischen Zirkulationsreguliertventil (in hPa)
$\Delta p_{Ap}$	= Druckverlust in einem Apparat (in hPa)

#### Gleichung 27

$$\Delta p_P = \Sigma(l \cdot R + Z)_{PWH} + \Sigma(l \cdot R + Z)_{PWH-C} + \Sigma \Delta p_{RV} + \Delta p_{ST} + \Delta p_{Ap}$$

Gleichung 27 verdeutlicht, dass in einem Zirkulationssystem nur eine Zirkulationspumpe notwendig ist. Die Aufteilung der Volumenströme findet durch den Einsatz der Regulierttechnik statt. Häufig wird die Fehlfunktion von

Zirkulationssystemen erst durch den zusätzlichen Einbau von weiteren Zirkulationspumpen hervorgerufen.

## 5.8 Einregulierungsmaßnahmen – Zirkulationsregulierventile

Damit die Anforderungen der Temperaturhaltung im Zirkulationssystem erfüllt werden können, ist es für den hydraulischen Abgleich notwendig, dass die Summe der Druckverluste in jedem Zirkulationskreis der ermittelten Pumpendruckdifferenz im ungünstigsten Fließweg entsprechen. Die Differenz der Druckverluste, die untereinander in den Fließwegen auftreten, müssen durch den Einsatz von Zirkulationsregulierventilen ausgeglichen werden. Dieses ist in Abbildung 37 dargestellt.

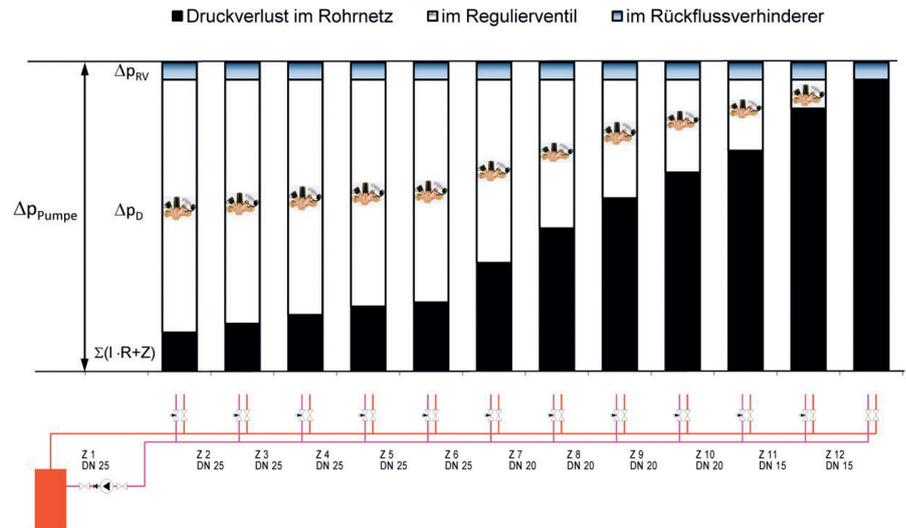


Abbildung 37: Druckverluste im Zirkulationssystem

Regulierventile können entweder als statische oder als thermostatische Regulierventile ausgeführt werden. Die Anforderungen eines thermostatischen Regulierventils müssen der DVGW Prüfgrundlage W 554 entsprechen.

Damit es nicht zu Kurzschluss-Strömungen innerhalb eines Zirkulationssystems kommt, muss jedem Zirkulationskreis ein Regulierventil zugeordnet werden. In Abbildung 38 ist eine Strang-Zirkulation eines Pflegeheims dargestellt. Es treten Kurzschluss-Strömungen in den Strängen 1 bis 4 aufgrund fehlender Regulierventile auf. Hieraus resultiert ein zu geringer Volumenstrom in den Strängen 5 bis 10 und damit einhergehend Temperaturunterschreitungen ( $\vartheta < 55^\circ\text{C}$ ).

### // 5.8.1 Erforderlicher $k_v$ -Bereich von Zirkulationsregulierventilen

Die Bemessung und Voreinstellung der Zirkulationsregulierventile erfolgt im Allgemeinen über den sogenannten  $k_v$ -Wert. Der  $k_v$ -Wert bezeichnet den Volumenstrom in  $\text{m}^3/\text{h}$ , der bei einem Druckabfall von 1000 hPa durch das Ventil fließt. Der  $k_v$ -Bereich eines Regulierventils muss messtechnisch ermittelt und vom Hersteller des Ventils in seinen technischen Unterlagen angegeben werden. Der an den Zirkula-

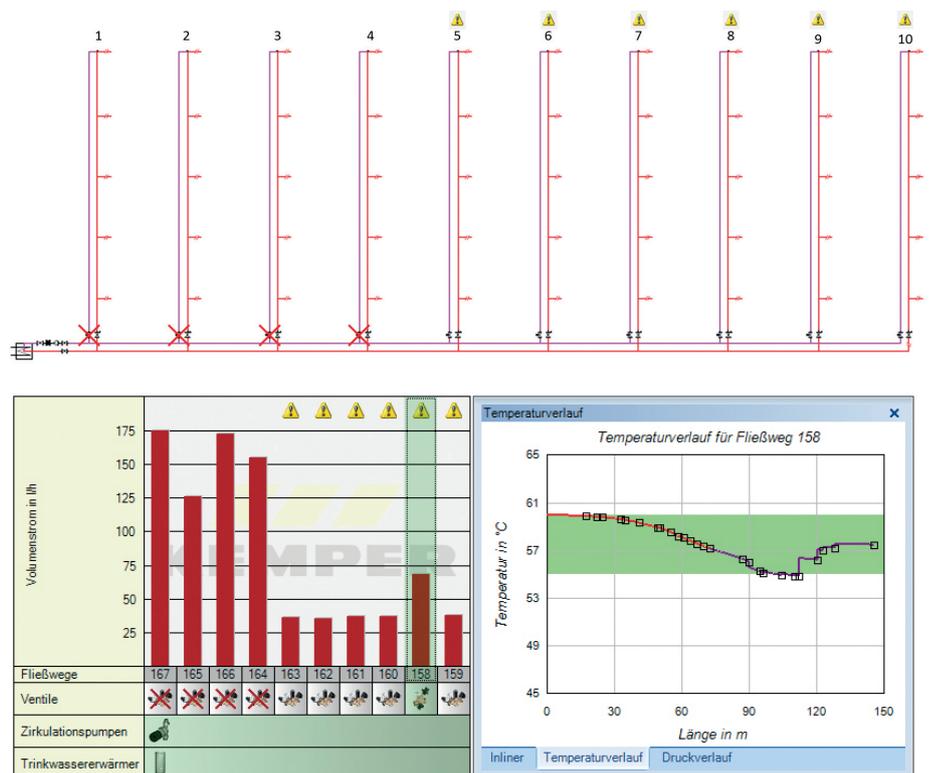


Abbildung 38: Kurzschluss-Strömungen und Temperaturunterschreitungen aufgrund fehlender Regulierventile

tionsregulierventilen jeweils geforderte  $k_v$ -Wert kann aus den Anlagenwerten Zirkulationsvolumenstrom  $\dot{V}_Z$  in  $\text{l/h}$  und dem Druckverlust über dem Ventil  $\Delta p_D$  in hPa nach Gleichung 28 berechnet werden.

Gleichung 28

$$k_v = \frac{\dot{V}_Z}{1000} \cdot \sqrt{\frac{1000}{\Delta p_D}}$$

$k_v$  = Durchflusskoeffizient  
 (in  $\text{m}^3/\text{h}$ )  
 $\dot{V}_Z$  = Zirkulationsvolumenstrom  
 (in  $\text{l}/\text{h}$ )  
 $\Delta p_D$  = Druckverlust über Ventil  
 (in  $\text{hPa}$ )

So ergibt sich bei einem Zirkulationsvolumenstrom  $\dot{V}_Z$  von 30  $\text{l}/\text{h}$  und einem Druckabfall  $\Delta p_D$  über dem Ventil von 117  $\text{hPa}$  der erforderliche  $k_v$ -Wert zu:

$$k_v = \frac{30}{1000} \cdot \sqrt{\frac{1000}{117}} = 0,087 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

## 5.9 Zirkulationssystem mit oberer Verteilung

Das differenzierte Bemessungsverfahren aus DIN 1988-300 setzt zunächst voraus, dass die Leitungslängen von Warmwasserleitung (PWH) und Zirkulationsleitung (PWH-C) in etwa gleich lang sind. Es gibt jedoch einige Ausführungen von Zirkulationssystemen, in denen diese Voraussetzung nicht erfüllt wird. Unter anderem ein Zirkulationssystem mit oberer Verteilung (Abbildung 40).

Müssen diese Installationsvarianten berechnet werden, so muss das tatsächliche Längenverhältnis zwischen Warmwasserleitung und Zirkulationsleitung ermittelt werden. Für die längere Leitung (in diesem Fall die Warmwasserleitung (PWH)) muss dann eine größere Auskühlung angenommen werden. Das bedeutet, dass die maximal zulässige Auskühlung von 5 K nicht mehr gleichmäßig aufgeteilt wird. Die Auskühlung kann mit Gleichung 29 berechnet werden.

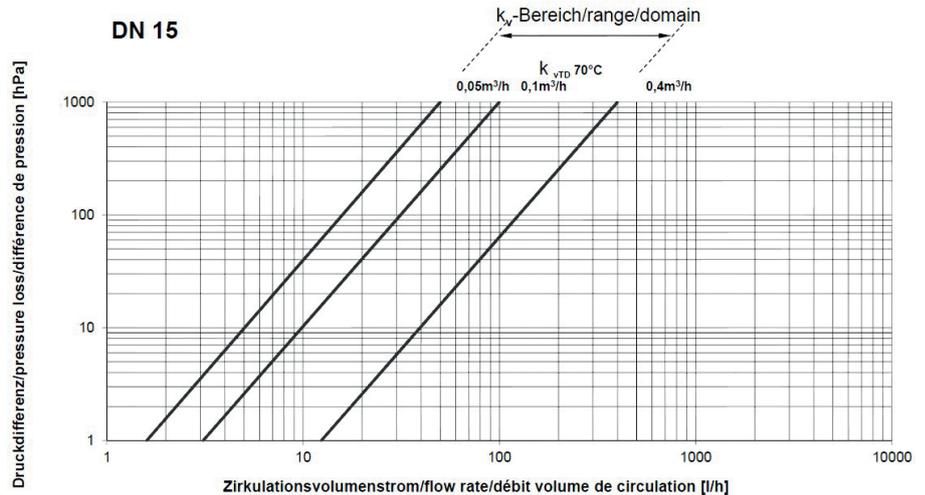


Abbildung 39: Durchflussdiagramm eines Zirkulationsventiles (KEMPER Eta-Therm, DN 15)

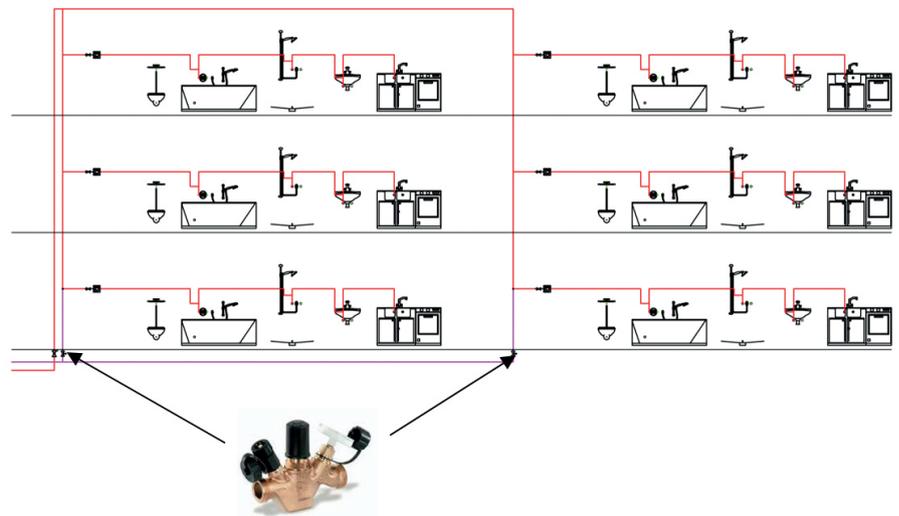


Abbildung 40: Strangschema eines Zirkulationssystems mit oberer Verteilung

### Gleichung 29

$$\Delta \vartheta_w = \frac{\Delta \vartheta_{TE}}{2} \cdot \frac{l_w}{l_z}$$

$\Delta \vartheta_w$  = PWH-Temperaturdifferenz  
 (in K)  
 $\Delta \vartheta_{TE}$  = Temperaturdifferenz PWH  
 – PWH-C am Trinkwassererwärmer  
 (4 K bis 5 K) (in K)  
 $l_w$  = Länge der entferntesten  
 PWH-Leitung  
 (in m)  
 $l_z$  = Länge der entferntesten  
 PWH-C-Leitung  
 (in m)

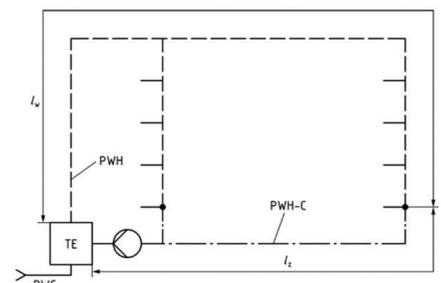


Abbildung 41: Längenverhältnis bei einem Zirkulationssystem mit oberer Verteilung (Quelle: DIN 1988-300)

## 5.10 Besonderheiten bei der Inliner-Zirkulation

Die Inliner-Zirkulation ist eine weitere Möglichkeit, das Zirkulationssystem auszuführen. Ein großer Vorteil dieses Verfahrens ist der geringere Platzbedarf, da die Zirkulationsleitung sich im Inneren der Warmwasserleitung befindet (Abbildung 42). Hierdurch reduziert sich der Aufwand an Dämmung und Befestigungen. Der Energieaufwand gegenüber den herkömmlichen Zirkulationssystemen verringert sich um ca. 30 %.

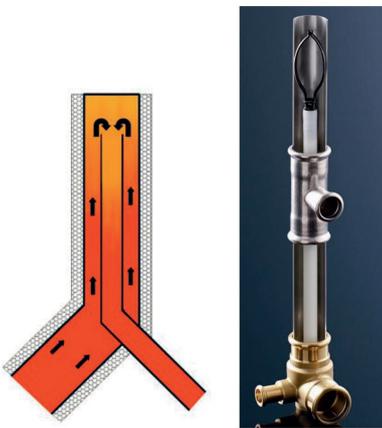


Abbildung 42: Inliner-Zirkulation

Die Inliner-Zirkulation ist in der DIN 1988-200 ausdrücklich als ein mögliches Zirkulationssystem beschrieben. Es werden in der DIN 1988-200 die gleichen Temperaturanforderungen, wie an andere Installationssysteme gestellt. Für die Bemessung der Inliner-Zirkulation ist es notwendig das beschriebene thermodynamische Berechnungsverfahren zu modifizieren.

Es ist eine Anpassung an zwei Stellen des bekannten Bemessungsverfahrens notwendig. Im Bereich der Warmwasserleitung liegt nur noch ein Ringspalt anstelle eines kreisrunden Rohres vor (Abbildung 43). Daher muss die Druckverlustermittlung im Bereich der Warmwasserleitung für einen Ringspalt ermittelt werden.

Dadurch, dass die Zirkulationsleitung im Inneren der Warmwasserleitung angeordnet ist, findet innerhalb des Inliners kein Wärmeverlust von der Zirkulationsleitung statt. Die Temperatur des Wassers in der Zirkulationsleitung ist niedriger als die Temperatur in der umschließenden Warmwasserleitung. Im Bereich der Warmwasserleitung muss der Wärmeverlust von der Warmwasserleitung zur Umgebung und zur Zirkulationsleitung berücksichtigt werden. Ansonsten gelten die bekannten Grundsätze des Bemessungsverfahrens.

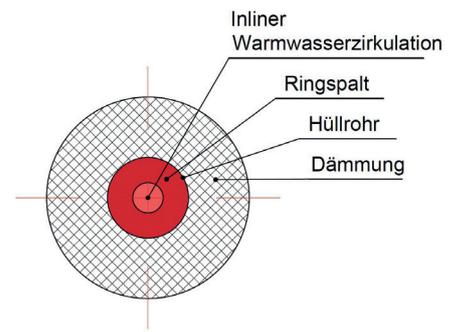


Abbildung 43: Querschnitt einer Inliner-Zirkulation

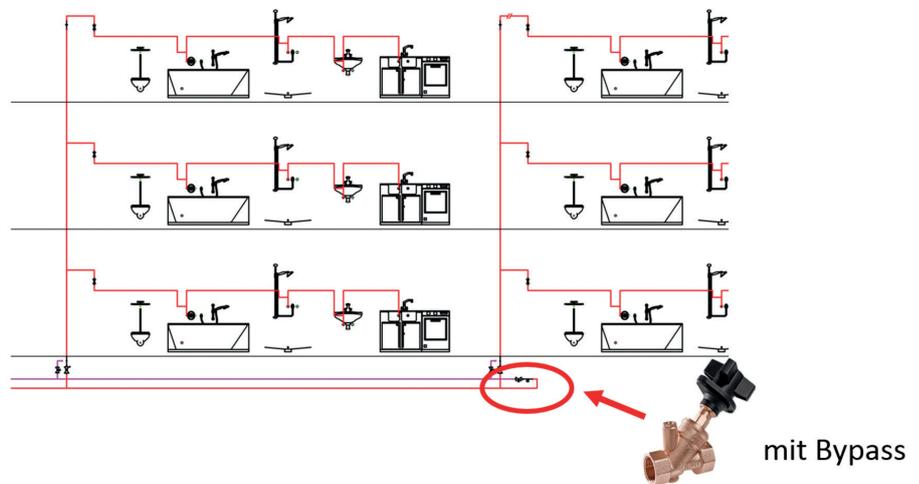


Abbildung 44: Prinzipieller Aufbau eines Zirkulationssystems mit Inliner

## 5.11 Beimischverfahren

Das Beimischverfahren mit der zusätzlichen Größe des Beimischgrades  $\eta$  ist in der DIN 1988-300 als zusätzliche Möglichkeit zu Bemessung von Zirkulationssystemen aufgenommen. Das Beimischverfahren geht bei der Berechnung von einer Temperatur von ca. 55 °C vor jedem Fußpunkt der Steigstränge aus (Abbildung 45). Der Beimischgrad  $\eta$  muss zwischen 0 und 1 liegen. Da der Beimischgrad für jedes Gebäude individuell ermittelt werden muss, kann hier auch kein einheitlicher oder konkreter Wert angegeben werden. Da das Beimischverfahren zurzeit in der Praxis keine Anwendung findet, soll der Unterschied zur bisherigen Berechnung in dem nachfolgenden Beispiel kurz erläutert werden.

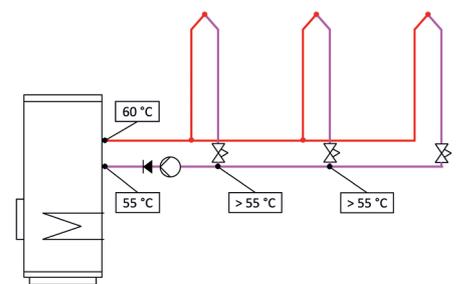


Abbildung 45: Beimischverfahren – Temperaturniveau

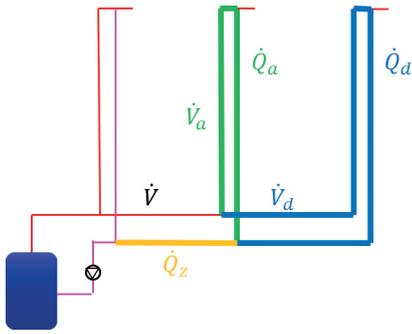


Abbildung 46: Volumenströme und Wärmeverluste – Beimischverfahren

$\dot{Q}_d$  = Wärmeverlust im Durchgangsweg (in W)  
 $\dot{Q}_a$  = Wärmeverlust im Abzweig (in W)  
 $\dot{V}_a; \dot{V}_d; \dot{V}$  = Volumenströme am Knotenpunkt (in l/h)

Für  $\dot{Q}_d \geq \dot{Q}_a + \dot{Q}_z$  gilt

Gleichung 30

$$\dot{V}_d = \dot{V} \cdot \frac{\dot{Q}_d}{\dot{Q}_a + \dot{Q}_d + \eta \cdot \dot{Q}_z}$$

Wird für den Beimischgrad  $\eta$  in die Gleichung 30 und Gleichung 31 der Wert 0 eingesetzt, ergibt sich für beide Gleichungen der nachfolgende Ausdruck. Diese Formel ist die zur Bemessung von Zirkulationssystemen schon aus dem DVGW-Arbeitsblatt W553 bekannte Gleichung 25 für das differenzierte Berechnungsverfahren:

$$\dot{V}_d = \dot{V} \cdot \frac{\dot{Q}_d}{\dot{Q}_a + \dot{Q}_d}$$

Für  $\dot{Q}_d < \dot{Q}_a + \dot{Q}_z$  gilt

Gleichung 31

$$\dot{V}_d = \dot{V} \cdot \frac{\dot{Q}_d}{\dot{Q}_a \cdot (1 - \eta) + \dot{Q}_d \cdot (1 - \eta)}$$

# 6 BERECHNUNGS- BEISPIEL PFLEGEHEIM

Trinkwasser-Installationen sind nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik entsprechend der bei Planung und Errichtung zugrunde gelegten Betriebsbedingungen bestimmungsgemäß zu betreiben. Dieses ist besonders in Pflegeheimen keine triviale Aufgabe, da nicht alle Zimmer regelmäßig belegt

oder die Entnahmestellen durch bettlägerige Patienten nur unregelmäßig genutzt werden. Durch die Wahl entsprechender Verteilungssysteme ggf. in Kombination mit endständigen Spüleinrichtungen kann diesem Problem entgegnet und die Trinkwasser-Installation weitestgehend unabhängig von

der Auslastung des Gebäudes und ohne erhöhten Personalaufwand (manuelle Spülungen) bestimmungsgemäß betrieben werden. Bei einer Expertenanhörung im Universitätsklinikum Bonn kam man zu dem Ergebnis, dass „eine periodische Spülung in Krankenhäusern, Arztpraxen oder Hotels sichergestellt sein [muss], unabhängig davon, ob Zimmer belegt sind oder nicht.“<sup>13</sup>

## 6.1 Objektbeschreibung

Bei dem Objekt handelt es sich um ein Pflegeheim. Dieses wurde exemplarisch für softwaregestützte Untersuchungen konzeptioniert und berücksichtigt die baulichen Anforderungen, die hinsichtlich einzuplanender Räume, Raumflächen, Sanitärausstattung und Bewegungsflächen an ein Pflegeheim gestellt werden. Das Gebäude hat insgesamt 6 Geschosse und schließt mit einem Flachdach ab. In Abbildung 47 ist das Pflegeheim im Schnitt dargestellt.

Die Pflege- und Wohnbereiche befinden sich auf den Etagen EG bis 4. OG. In Abbildung 48 ist der Grundriss des Kellergeschosses dargestellt. Im Kellergeschoss erstrecken sich die sanitären Anlagen für die Gesamtbelegschaft auf zwei Umkleieräume mit je angrenzendem Wasch- und WC-Raum und zwei Wäschereien (rein / unrein). Des Weiteren gibt es eine Werkstatt (Hausmeister) und einen Putzmittelraum mit je einem Ausgussbecken. Angrenzend an dem Putzmittelraum befindet sich ein WC-Raum für die Reinigungskräfte.

Die Grundrisse EG bis zum 4. OG sind, bis auf eine Haupteingangstür im EG, identisch. In Abbildung 49 ist der Grundriss für das Erdgeschoss und in Abbildung 50 der Grundriss für das 1. OG bis 4. OG dargestellt. Diese Geschosse haben jeweils 10 Einbettzimmer mit angrenzendem Bad / WC. Hier besteht die Sanitärausstattung aus einer gefliesten Dusche, einem Waschtisch und einer Toilette. Die weitere Sanitärausstattung verteilt sich je Etage über ein zusätzliches Stationsbad, einen

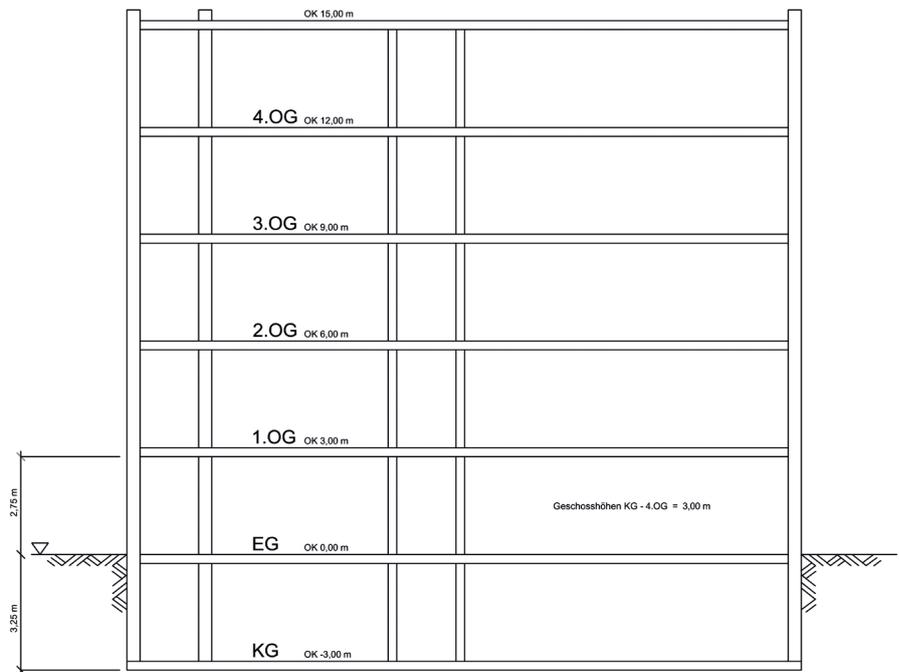


Abbildung 47: Schnittdarstellung des Berechnungsbeispiels „Pflegeheim“

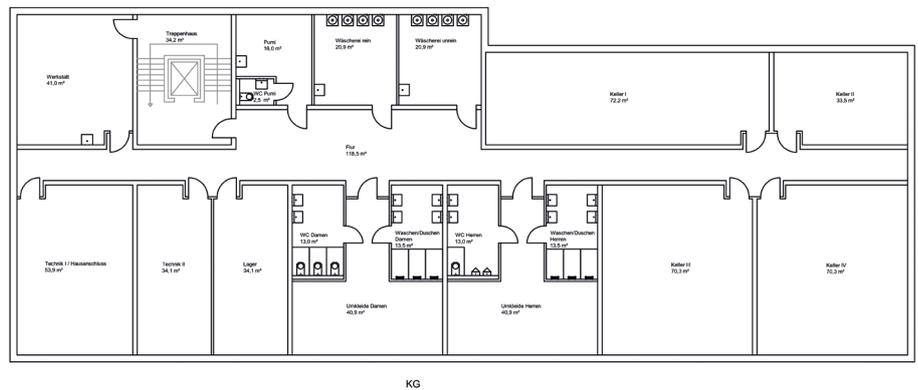


Abbildung 48: Grundriss Kellergeschoss

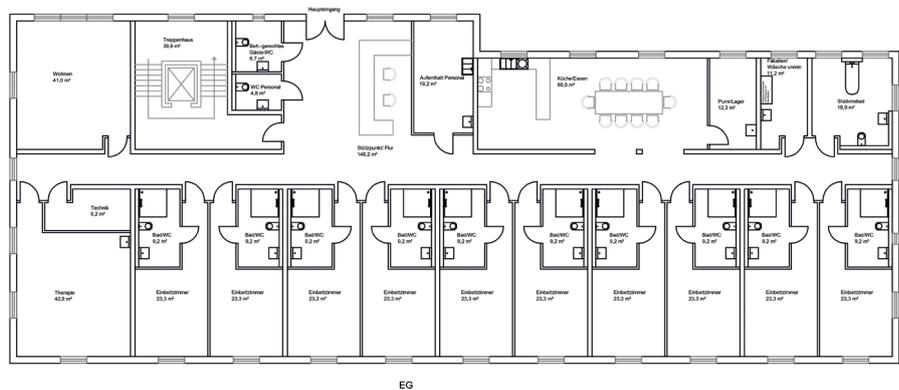
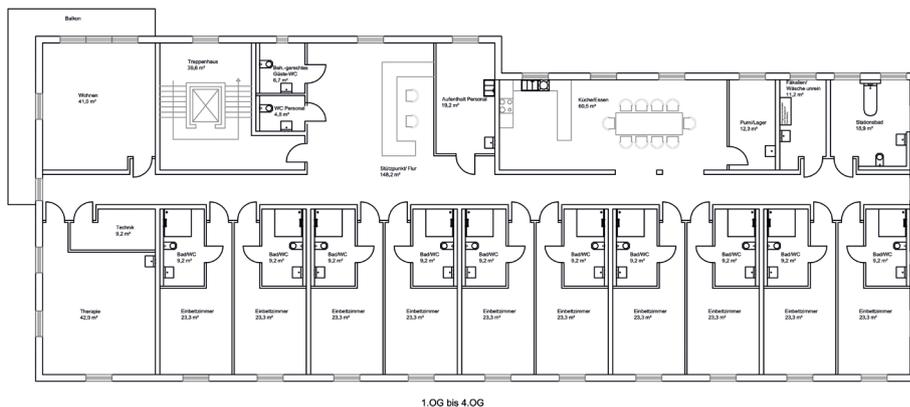


Abbildung 49: Grundriss Erdgeschoss

Raum Fäkalien / Wäsche unrein, einen kombinierten Putzmittel- und Lagerraum, eine Küche, einen Personal-Aufenthaltsraum und einen Therapieraum. Des Weiteren gibt es ein behindertengerechtes Gäste-WC und ein Personal-WC je Etage.

In Abbildung 51 sind beispielhaft die Bäder / WC's für zwei Einbettzimmer im Grundriss dargestellt. Die behindertengerechte Gestaltung der Räume äußert sich in großen Bewegungsflächen, die hier den Großteil der Gesamtfläche entsprechen. Die Bewegungsflächen dürfen sich überschneiden, soweit eine gleichzeitige Nutzung der Sanitärausstattung ausgeschlossen werden kann.



1.OG bis 4.OG

Abbildung 50: Grundrisse 1. OG bis 4. OG

Eine Auflistung der in den Grundrissen dargestellten Sanitärobjekte, sortiert nach Etagen, ist in Tabelle 7 dargestellt.

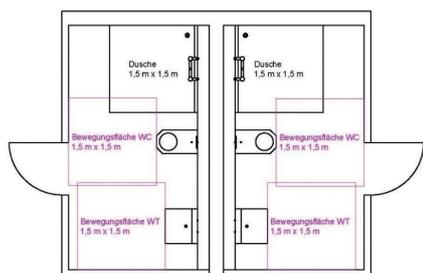


Abbildung 51: Bewegungsflächen Bad / WC (behindertengerecht)

**Tabelle 7: Anzahl der Sanitärobjekte je Geschoss**

Sanitärobjekte	Waschtisch	WC	Urinal	Dusche	Aussussbecken	Spüle	Spülmaschine	Hub-Badewanne	Pflegeraumkombi.	Waschmaschine
KG	13	5	2	6	4	-	-	-	-	8
EG	16	13	-	10	1	2	1	1	1	-
1. bis 4. OG	16	13	-	10	1	2	1	1	1	-

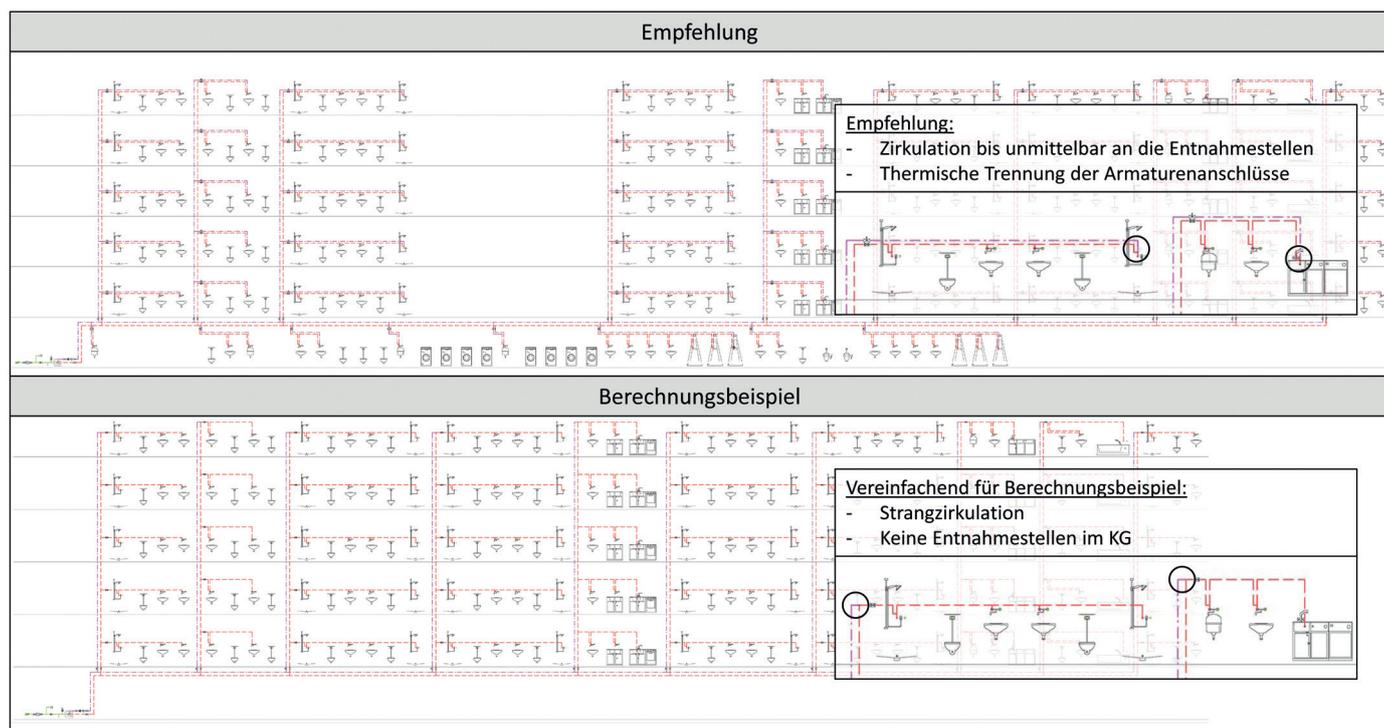


Abbildung 52: Strangschemata PWH - Ausführungsempfehlung und Berechnungsbeispiel

## // 6.1.1 Anlagenparameter

In Abbildung 52 ist die zu dimensionierende Installation im Strangschema dargestellt. Hierbei handelt es sich um eine vertikale Verteilung mit Steigstrang-Zirkulation. Je Etage werden zwei aneinander angrenzende Nasszellen der Bettenzimmer über einen Strang versorgt. Die Entnahmestellen der Geschosse werden mittels Reihenleitung angeschlossen. Eine obere Verteilung oder eine horizontale Verteilung sind ebenfalls denkbare Verteilungsvarianten. Das grundlegende Berechnungsverfahren ist bei allen Verteilungsvarianten identisch.

Die Entnahmestellen im Untergeschoss des Pflegeheims sind für das nachfolgende Berechnungsverfahren nicht erforderlich und bleiben daher vereinfachend unberücksichtigt.

Bei den Installationsvarianten wurde bewusst auf die Installation von Doppelwandscheiben verzichtet, um so eine Wärmeübertragung von der

zirkulierenden Warmwasserseite über die Entnahmearmatur auf die Kaltwasserseite zu vermeiden. Daher sind

alle Entnahmearmaturen thermisch getrennt angeschlossen.

### Allgemeine Berechnungsvorgaben:

$p_{\min WZ}$ :	5000 hPa
Nutzungsart:	Pflegeheim
Rohrleitungsmaterial:	E-Stahl 1.4401
Rohrtabelle:	Tabelle 8 (DIN1988-300 / Tabelle A.1 = Herstellerang.)
DN-MIN:	12
$\Delta p_{\text{geo}}$	1560 hPa (15,6 m Druckhöhe)

### Berechnungsvorgaben PWH:

Berechnungsdurchfluss $\dot{V}_R$ und Mindestfließdruck $p_{\min FI}$ :	Tabelle 9
Anteil Einzelwiderstände a:	50 %
Längenangaben und Zeta-Werte:	Tabelle 10
Filter nach Hauswasserzähler:	Rückspülfilter DN 40 ( $\dot{V}_N=7,5 \text{ m}^3/\text{h}$ bei $\Delta p_g=200 \text{ hPa}$ )

### Berechnungsvorgaben PWH-C:

Längenangaben und Zeta-Werte:	Tabelle 11
Umgebungstemperatur der Rohrleitungen:	25 °C

Tabelle 8: Rohrtabelle DIN 1988-300<sup>14</sup>

Rohrwerkstoff	Schmelztauchverzinkte Eisenwerkstoffe <sup>b</sup>		Kupfer		Nichtrostender Stahl		Mehrschichtverbund, PEX		PP, PB, PVC-C	
	$d_a$	$d_{i\min}$	$d_a$	$d_{i\min}$	$d_a$	$d_{i\min}$	$d_a$	$d_{i\min}$	$d_a$	$d_{i\min}$
DN <sup>a</sup>										
10	17,2	11,5	12	10	12	10	12	8,6	12	-
12	-	-	15	13	15	13	16	11	16	11,6
15	21,3	15,2	18	16	18	16	18/20	14	20	14,4
20	26,9	20,7	22	20	22	19,6	25/26	17,6	25	18
25	33,7	26,1	28	25	28	25,6	32	22,5	32	23,2
32	42,4	34,8	35	32	35	32	40	28	40	29
40	48,3	40,7	42	39	42	39	50	36,2	50	36,2
50	60,3	51,6	54	50	54	51	63	45,8	63	45,8
60	-	-	64	60	64	60	-	-	-	-
65	76,1	67,2	76,1	72,1	76,1	72,1	75	60	75	54,4
80	88,9	79	88,9	84,9	88,9	84,9	90	73	90	65,4
100	114,3	103	108	103	108	104	110	90	110	79,8

<sup>a</sup> Siehe DIN EN ISO 6708:1995-09, Abschnitt 2, ANMERKUNG 2 [3]

<sup>b</sup> Nur für Trinkwasser kalt

**Tabelle 9: Berechnungsdurchfluss  $\dot{V}_R$  und Mindestfließdruck  $p_{\min FI}$  der Entnahmestellen**

Entnahmestelle	Berechnungsdurchfluss		Mindestfließdruck	
	$\dot{V}_R$		$p_{\min FI}$	
	l/s		MPa	
Hubbadewanne	0,15		0,10	
Urinal	0,30		0,10	
Waschmaschine	0,15		0,05	
Küchenspüle-Spülmaschine Kombination	0,07		0,10	
Küchenspüle mit Wandarmatur	0,07		0,10	
Mischarmatur Ausgussbecken	0,30		0,05	
Dusche	0,15		0,10	
Wandarmatur für Waschbecken	0,07		0,10	
Arbeitspflegekombination mit Reinigung und Desinfektion	0,30		0,10	

**Tabelle 10: Längenangaben und Zeta-Werte der Teilstrecken PWH**

	Bezeichnung der Teilstrecke		Bauteile		
	TS	l	Bezeichnung	Zeta	Anzahl
	-	m	-	-	-
PWC-Einspeisung	1	2,5	Winkel, 90°	0,3	1
			Freistrom-Absperrventil	1,8	2
Trinkwassererwärmung	2	2,9	Kombi-RV mit Entleerventil	Diagramm	
			Abzweig rechtwinklig	0,1	3
	3	17,5	zentrale TWE	1,5	1
			Winkel, 90°	0,3	4
			Freistrom-Absperrventil	1,1	1
			Abzweig rechtwinklig	0,1	1
4	5,1	Abzweig rechtwinklig	0,1	1	
5	2,5	Abzweig rechtwinklig	0,1	1	
Kellerverteilerungen	6	8,2	Abzweig rechtwinklig	0,1	1
	7	2,0	Abzweig rechtwinklig	0,1	1
	8	6,1	Abzweig rechtwinklig	0,1	1
	9	8,2	Abzweig rechtwinklig	0,1	1
	10	1,1	Abzweig rechtwinklig	0,1	1
	11	4,9	Abzweig rechtwinklig	0,1	1
Strang 10	12	5,4	Abzweig rechtwinklig	0,1	1
			Winkel, 90°	0,3	2
	13	3,0	Freistrom-Absperrventil	1,4	1
			Abzweig rechtwinklig	0,2	1
			Abzweig rechtwinklig	0,2	1
			Abzweig rechtwinklig	0,2	1
14	3,0	Abzweig rechtwinklig	0,2	1	
15	3,0	Abzweig rechtwinklig	0,2	1	
Etageverteilung	17	0,9	Abzweig rechtwinklig	0,2	1
			Winkel, 90°	0,5	2
Einzelzuleitung	18	3,0	UP-VAV Vollstromabsperrentil	0	1
			Abzweig rechtwinklig	1,1	1
			Winkel, 90°	0,5	3
			Armaturenanschluss	2,8	1



Abbildung 53: Durchflussdiagramm eines KFR-Ventils (KEMPER, DN 32)

## 6.2 Rohrnetzdimensionierung nach DIN 1988-300

Das differenzierte Berechnungsverfahren nach DIN 1988-300 kann prinzipiell händisch durchgeführt werden, ist aber hinsichtlich des Zeitaufwandes nicht praktikabel. An dieser Stelle empfiehlt sich der Einsatz einer Berechnungssoftware. Da jede Software aber nur so gut wie ihr Anwender sein kann, werden nachfolgend die Berechnungsschritte der DIN 1988-300 am Beispiel Pflegeheim angewandt und erläutert. Die Dimensionierung der Trinkwasser-Installation PWH erfolgt anlog der Dimensionierung für PWC, ist jedoch der Auslegung des Zirkulationssystems vorgeschaltet. Daher bietet es sich an, mit der Dimensionierung der Trinkwasser-Installation PWH zu beginnen. Die Auslegung des Zirkulationssystems, basierend auf den Ergebnissen der Dimensionierung für PWH, erfolgt im Kapitel 6.3. Für die Dimensionierung PWH wird der hydraulisch ungünstigste Fließweg betrachtet. Dieser ist in Abbildung 55 unter Angabe der Teilstrecken dargestellt.

Mit den angegebenen Anlagenparametern (Kapitel 6.1.1) sowie dem Strangschema der Abbildung 55 kann die Rohrnetzdimensionierung nach DIN 1988-300 erfolgen:

// 1. Bestimmung der Berechnungsdurchflüsse  $\dot{V}_R$  der Entnahmearmaturen. Hierbei sind primär die Herstellerangaben zu berücksichtigen. Bei einer herstellernerneutralen Berechnung sind die Angaben der Tabelle 2 nach DIN 1988-300 zu entnehmen (Kapitel 4.3 / Tabelle 1). Gleiches gilt für die Mindestfließdrücke  $p_{\min FL}$

Tabelle 11: Längenangaben und Zeta-Werte der Teilstrecken PWH-C					
Teilstrecke PWH-C	Länge PWH-C	zugehörige Teilstrecke	Bauteile		
$TS_{PWH-C}$	$l_{PWH-C}$	$TS_{PWH}$	Bezeichnung	Zeta	Anzahl
-	m	-	-	-	-
Z-S10	17,4	Strang 10	Abzweig rechtwinklig	1,7	1
			Abzweig rechtwinklig	3	1
			Winkel, 90°	0,5	3
Z-11	4,9	11	Abzweig rechtwinklig	2,9	1
Z-10	1,1	10	Abzweig rechtwinklig	2,9	1
Z-9	8,2	9	Abzweig rechtwinklig	2,8	1
Z-8	6,1	8	Abzweig rechtwinklig	2,8	1
Z-7	2,0	7	Abzweig rechtwinklig	2,8	1
Z-6	8,2	6	Abzweig rechtwinklig	2,7	1
Z-5	2,5	5	Abzweig rechtwinklig	2,7	1
Z-4	5,1	4	Abzweig rechtwinklig	2,7	1
Z-3	17,5	3	Winkel, 90°	0,3	4
			Freistrom-Absperrventil	1,4	2
			Durchgangs-RV	Diagramm	

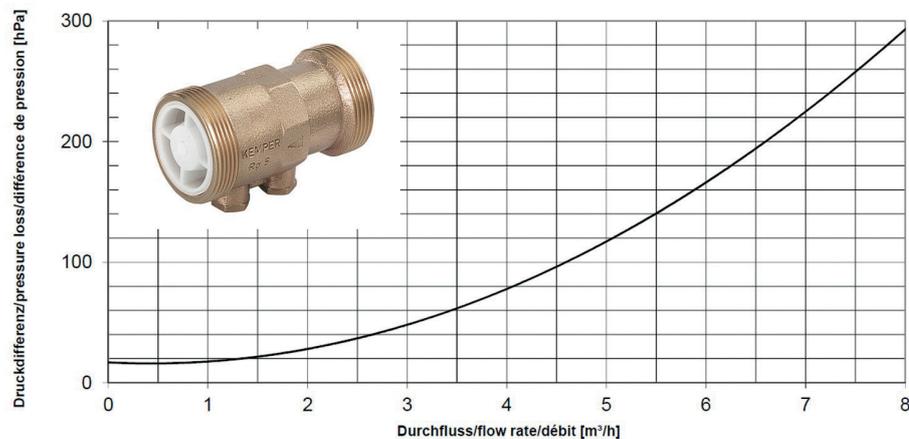
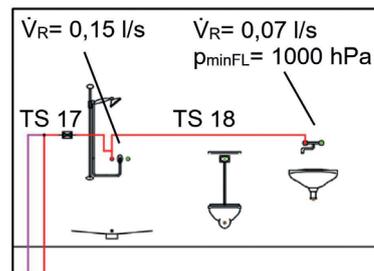


Abbildung 54: Durchflussdiagramm eines Durchgangs-Rückflussverhinders (KEMPER, DN 25)



// 2. Berechnung der Summendurchflüsse  $\sum \dot{V}_R$  je Teilstrecke. Hierfür werden ausgehend von der entferntesten Entnahmestelle und entgegen der Fließrichtung alle Berechnungsdurchflüsse  $\dot{V}_R$  bis zum Hauswasserzähler addiert und den Teilstrecken zugeordnet. Die Ausnahme bilden Nutzungseinheiten (NE), bei denen maximal zwei Entnahmestellen gleichzeitig genutzt werden.

TS	$\sum \dot{V}_R$
18	0,07 l/s
17	0,07 l/s + 0,15 l/s = 0,22 l/s
...	...

// 3. Berechnung der Spitzendurchflüsse  $\dot{V}_S$  für jede Teilstrecke über folgende Gleichung:

[Gleichung 16]

$$\dot{V}_S = a \cdot (\sum \dot{V}_R)^b - c$$

$\dot{V}_S$  = Spitzendurchfluss (in l/s)  
 $\sum \dot{V}_R$  = Summendurchfluss (in l/s)  
 $a, b, c$  = Konstanten je Gebäudetyp nach Tabelle 3 der DIN 1988-300 (Kapitel 4.5 / Tabelle 2)

TS	$\sum \dot{V}_S$
18	0,07 l/s
17	$\dot{V}_S = (1,40 \cdot (0,22)^{0,14} - 0,92)$ l/s = 0,21 l/s
...	...

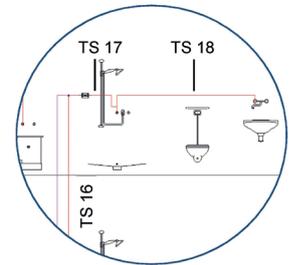
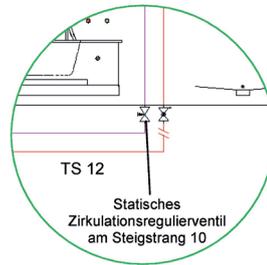
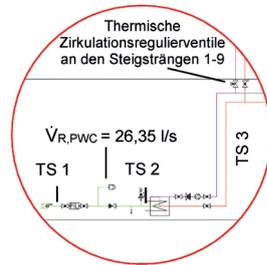
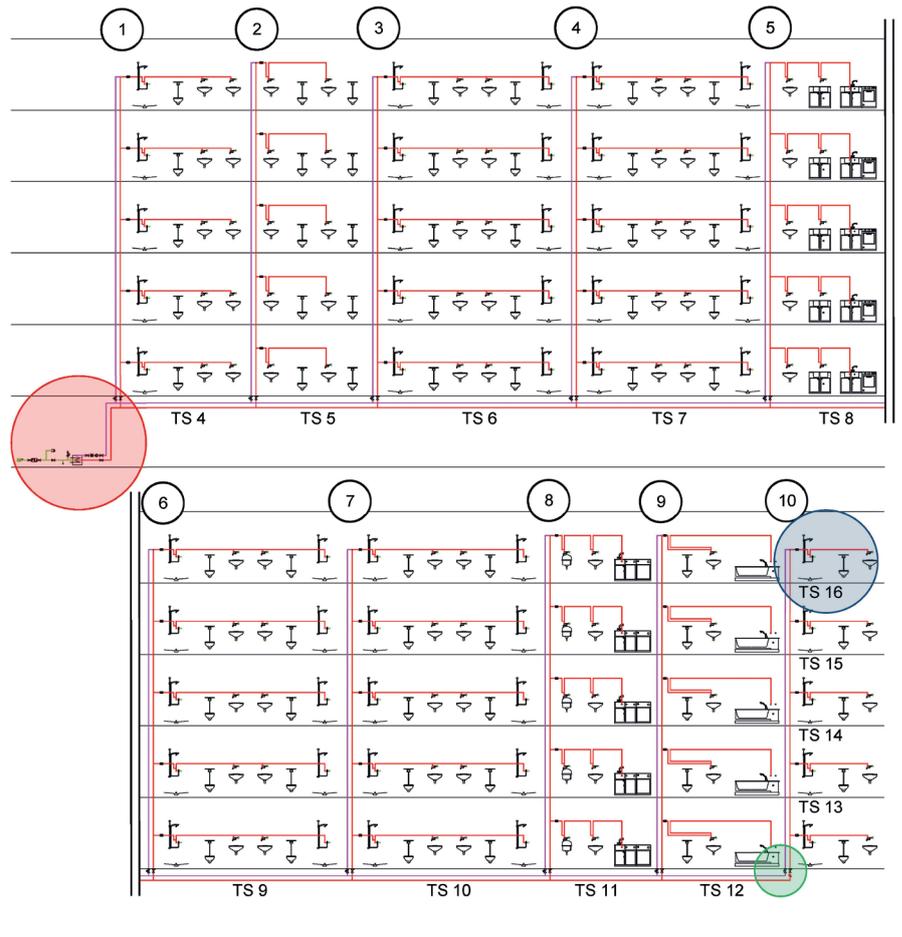


Abbildung 55: Strangschema mit hydraulisch ungünstigstem Fließweg

// 4. Ermittlung des verfügbaren Rohrreibungsdrukgefälles  $R_V$  für den hydraulisch ungünstigsten Fließweg:

$$\Delta p_{Ap(Filter)} = 200 \text{ hPa} \cdot \left( \frac{(1,46 \cdot 3,6) \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{7,5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}} \right)^2 = 98 \text{ hPa}$$

Basierend auf Herstellerangaben können die Druckverluste von Apparaten nach Gleichung 21 ermittelt werden:

Hinweis: Der Druckverlust der Trinkwassererwärmung wird mittels Zeta-Wert berücksichtigt (siehe Tabellen 10 & 12).

[Gleichung 21]

$$\Delta p_{Ap} = \Delta p_g \cdot \left( \frac{\dot{V}_S}{\dot{V}_g} \right)^2$$

$\Delta p_g$  = Druckverlust für einen Betriebspunkt (in hPa)  
(Filter:  $\Delta p_g = 200 \text{ hPa}$  bei  $\dot{V}_g = \dot{V}_N$  des Filters)  
 $\dot{V}_g$  = Durchfluss für einen Betriebspunkt (in l/s)  
 $\dot{V}_S$  = Spitzendurchfluss (in l/s)

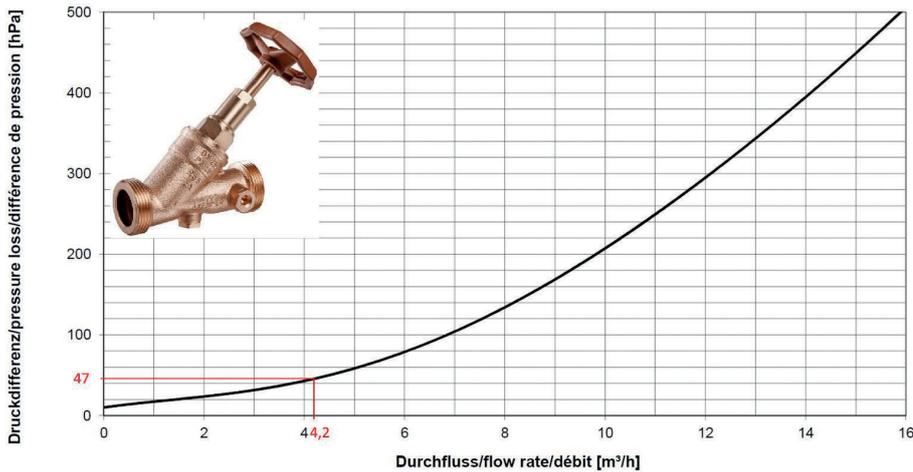


Abbildung 56: Durchflussdiagramm eines KFR-Ventils (KEMPER, DN 32)

$$\dot{V}_{R,PWH} = 17,55 \frac{1}{s}$$

(Summendurchfluss entsprechend Tabellen 7 & 9)

$$\dot{V}_{S,PWH} = 1,17 \frac{1}{s} = 4,2 \frac{m^3}{h}$$

$$\rightarrow \Delta p_{RV} = 47 \text{ hPa}$$

$$R_V = \frac{\left(1 - \frac{50}{100}\right)}{82,3 \text{ m}} \cdot 2295 \text{ hPa} = 13,9 \frac{\text{hPa}}{\text{m}}$$

$\Delta p_{ges,v}$  berechnet sich nach Gleichung 19:

[Gleichung 19]

$$\Delta p_{ges,v} = p_{minWZ} - \Delta p_{geo} - \sum \Delta p_{Ap} - \sum \Delta p_{RV} - p_{minFL}$$

$$\Delta p_{ges,v} = 5000 \text{ hPa} - 1560 \text{ hPa} - 98 \text{ hPa} - 47 \text{ hPa} - 1000 \text{ hPa} = 2295 \text{ hPa}$$

Berechnung des verfügbaren Rohrreibungsdruckgefälles  $R_V$  nach Gleichung 20:

[Gleichung 20]

$$R_V = \frac{\left(1 - \frac{a}{100}\right)}{l_{ges}} \cdot \Delta p_{ges,v}$$

// 5. Das reale Rohrreibungsdruckgefälle  $R$  wird errechnet über Gleichung 8:

[Gleichung 8]

$$R = \lambda \cdot \frac{1}{d_i} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2$$

Die Rohrreibungszahl  $\lambda$  ist abhängig vom Strömungszustand im Rohr. Dieser lässt sich über die Reynolds-Zahl  $Re$  nach Gleichung 3 bestimmen:

[Gleichung 3]

$$Re = \frac{v \cdot d_i}{\nu}$$

Bei  $Re \leq 2320$  liegt eine laminare und bei  $Re > 2320$  eine turbulente Strömung vor. Für die laminaren Strömungen gilt Gleichung 4:

[Gleichung 4]

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

Bei den turbulenten Strömungen werden hydraulisch glatte und hydraulisch raue Strömungsvorgänge sowie Strömungsvorgänge im Übergangsbereich zwischen hydraulisch rau und hydraulisch glatt unterschieden. Diese Unterscheidung bedingt drei unterschiedliche Gleichungen für die Rohrreibungszahl  $\lambda$ . Bei Trinkwasser-Installationen kann aber generell für alle turbulenten Strömungsbereiche die Gleichung für den Übergangsbereich nach Prandtl-Colebrook [Gleichung 7] verwendet werden:

[Gleichung 7]

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \lg \left( \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3,71 \cdot d_i} \right)$$

- $p_{minWZ}$  = Mindestdruck nach dem Wasserzähler (in hPa)
- $\Delta p_{geo}$  = geodätischer Druckverlust (1 m Druckhöhe  $\cong$  100 hPa) (in hPa)
- $\sum \Delta p_{Ap}$  = Druckverlust durch Apparate (in hPa)
- $\sum \Delta p_{RV}$  = Druckverlust durch Rückflussverhinderer (in hPa)
- $p_{minFL}$  = Mindestfließdruck an der Entnahmematur (in hPa)
- $R_V$  = verfügbares Rohrreibungsdruckgefälle (in hPa/m)
- $a$  = Anteil der Druckverluste durch Einzelwiderstände (i.d.R. 40-60 %) (in %)
- $l_{ges}$  = Rohrleitungslänge (in m)
- $\Delta p_{ges,v}$  = verfügbare Druckdifferenz (in hPa)
- $\lambda$  = Rohrreibungszahl
- $d_i$  = Rohrinne Durchmesser (in m)
- $\rho$  = Dichte des Wassers (in kg/m<sup>3</sup>)
- $v$  = Strömungsgeschwindigkeit (in m/s)
- $\nu$  = kinematische Viskosität (Zähigkeit) (in m<sup>2</sup>/s)

Durch Umstellung der Gleichung 7 ergibt sich für die Rohrreibungszahl  $\lambda$ :

Gleichung 32

$$\lambda = \left( \frac{1}{-2 \cdot \lg \left( \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3,71 \cdot d_i} \right)} \right)^2$$

$k$  = Rohrrauigkeit (in m)

Die DIN 1988-300 macht Angaben zur Rohrrauigkeit  $k$  von handelsüblichen Rohren. Sobeträgt der Wert für Kupferrohre und Rohre aus nichtrostendem Stahl  $k = 0,0015$  mm. Primär sind aber die Herstellerangaben zu berücksichtigen.

Das verfügbare Rohrreibungsdruckgefälle  $R_V$  dient als Richtwert für die Rohrleitungsdimensionierung der Teilstrecken. Der Rohrinne Durchmesser  $d_i$  wird somit entsprechend dem Verhältnis  $R_V = R(d_i)$  und durch Umstellen der Gleichung 8 ermittelt:

Gleichung 33

$$d_i = \lambda \cdot \frac{1}{R_V} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2$$

Da die Strömungsgeschwindigkeit  $v$  vom Durchmesser  $d_i$  abhängig ist, macht es Sinn, die Variable  $d_i$  aus dem Term für  $v^2$  rauszuziehen. Hieraus resultiert:

Gleichung 34

$$d_i = \sqrt[5]{\frac{8 \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \dot{V}_s^2}{R_V \cdot \pi^2}}$$

Aufgrund der Abhängigkeiten lässt sich der Rohrinne Durchmesser  $d_i$  für die betrachtete Teilstrecke nur iterativ über die vorgenannten Gleichungen berechnen. Die berechneten Rohrinne Durchmesser sind durch die realen Rohrinne Durchmesser oder bei herstellernerutraler Be-

rechnung durch die Innendurchmesser nach Tabelle 8 [Tabelle A.1 der DIN 1988-300] zu ersetzen. Bei der Auswahl der Rohrdimensionen ist auf die Einhaltung der maximalen Fließgeschwindigkeiten nach Tabelle 3 [Tabelle 5 der DIN 1988-300] zu achten.

Berechnung des realen Rohrreibungsdruckgefälles  $R$  für Teilstrecke 18:

$$\dot{V}_{s,TS18} = 0,07 \frac{l}{s}$$

Kinematische Viskosität bei 60 °C:

$$\nu = 0,073 + (0,7625 + \frac{60}{73,3})^{-2} = 0,47 \frac{mm^2}{s}$$

Dichte bei 60 °C:

$$\rho = 1000 - \left( \frac{60-4}{10} \right)^{1,65} = 982,8 \frac{kg}{m^3}$$

Startwert für  $d_i = 10$  mm

Geschwindigkeit Rohrleitung:

$$v = \frac{0,07 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{s}}{\frac{\pi}{4} \cdot 0,01^2 m^2} = 0,89 \frac{m}{s}$$

Reynolds-Zahl:

$$Re = \frac{0,89 \cdot 10^3 \frac{mm}{s} \cdot 10 mm}{0,47 \frac{mm^2}{s}} = 18.936 \text{ (turbulente Strömung)}$$

Iterative Berechnung der Rohrreibungszahl  $\lambda$ :

$$\lambda = \left( \frac{1}{-2 \cdot \lg \left( \frac{2,51}{18936 \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{0,0015 mm}{3,71 \cdot 10 mm} \right)} \right)^2 = 0,0266$$

Berechnung Rohrinne Durchmesser  $d_i$  unter Berücksichtigung des verfügbaren Rohrreibungsdruckgefälles  $R_V$ :

$$d_i = \sqrt[5]{\frac{8 \cdot 0,0259 \cdot 982,8 \frac{kg}{m^3} \cdot (0,07 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{s})^2}{1390 \frac{Pa}{m} \cdot \pi^2}} = 9,4 \cdot 10^{-3} m = 9 mm$$

Schritte wiederholen, bis sich  $d_i$  nicht mehr ändert!

$$v = \frac{0,07 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{s}}{\frac{\pi}{4} \cdot 0,009^2 m^2} = 1,10 \frac{m}{s} \quad Re = \frac{1,10 \cdot 10^3 \frac{mm}{s} \cdot 9mm}{0,47 \frac{mm^2}{s}} = 21.064$$

Iterative Berechnung der Rohrreibungszahl  $\lambda$ :

$$\lambda = \left( \frac{1}{-2 \cdot \lg \left( \frac{2,51}{21064 \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{0,0015mm}{3,71 \cdot 9mm} \right)} \right)^2 = 0,0259$$

Berechnung Rohrrinnendurchmesser  $d_i$  unter Berücksichtigung des verfügbaren Rohrreibungsdruckgefälles  $R_v$ :

$$d_i = \sqrt[5]{\frac{8 \cdot 0,0259 \cdot 982,8 \frac{kg}{m^3} \cdot \left(0,07 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{s}\right)^2}{1390 \frac{Pa}{m} \pi^2}} = 9,4 \cdot 10^{-3} m = 9mm$$

Der berechnete Rohrrinnendurchmesser  $d_i$  wird durch den realen Rohrrinnendurchmesser  $d_i$  in Abhängigkeit der maximalen Strömungsgeschwindigkeit ersetzt und das reale Rohrreibungsdruckgefälle  $R$  berechnet:

$d_i$  berechnet = 9mm  $\rightarrow$   $d_i$ , Real = 13mm (DN12)

$$v = \frac{0,07 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{s}}{\frac{\pi}{4} \cdot 0,013^2 m^2} = 0,53 \frac{m}{s}$$

$$Re = \frac{0,53 \cdot 10^3 \frac{mm}{s} \cdot 13mm}{0,47 \frac{mm^2}{s}} = 14.660$$

Iterative Berechnung der Rohrreibungszahl  $\lambda$ :

$$\lambda = \left( \frac{1}{-2 \cdot \lg \left( \frac{2,51}{14660 \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{0,0015mm}{3,71 \cdot 13mm} \right)} \right)^2 = 0,0281$$

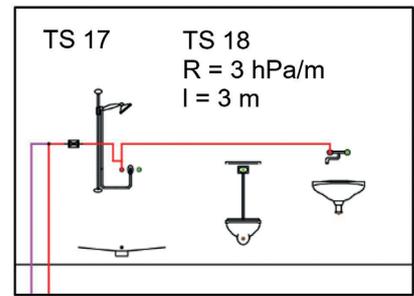
Berechnung des realen Rohrreibungsdruckgefälles  $R$ :

$$R = 0,0281 \cdot \frac{1}{13 \cdot 10^{-3} m} \cdot \frac{982,8 \frac{kg}{m^3}}{2} \cdot \left(0,53 \frac{m}{s}\right)^2 = 298 \frac{Pa}{m} = 3 \frac{hPa}{m}$$

// 6. Berechnung der Rohrreibungsdruckverluste je Teilstrecke:

$$\Delta p_R = R \cdot l$$

$R$  = Rohrreibungsdruckgefälle (in hPa/m)  
 $l$  = Rohrleitungslänge (in m)



$$\Delta p_R = 3 \frac{hPa}{m} \cdot 3m = 9 hPa$$

// 7. Berechnung der Druckverluste durch Einzelwiderstände je Teilstrecke nach Gleichung 10:

[Gleichung 10]

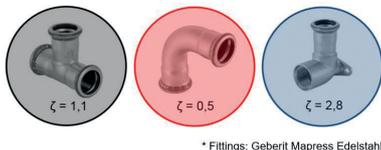
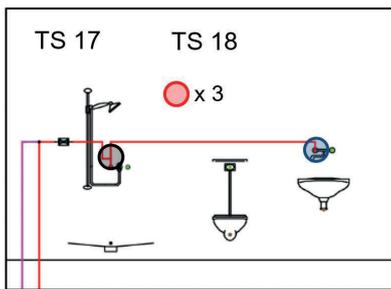
$$\Delta p_E = Z = \sum \zeta \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2$$

$\sum \zeta$  = Summe der Widerstandsbeiwerte der Teilstrecke  
 $\rho$  = Dichte des Wassers (in kg/m<sup>3</sup>)  
 $v$  = Strömungsgeschwindigkeit (in m/s)

Es sind die Herstellerangaben für die Widerstandsbeiwerte  $\zeta$  von Fittings und Armaturen zu berücksichtigen. Bei herstellerneutraler Berechnung sind die Widerstandsbeiwerte nach den Tabellen A.2 bis A.5 der DIN 1988-300 anzunehmen.

$$\sum \zeta = 1,1 + 3 \cdot 0,5 + 2,8 = 5,4$$

$$\Delta p_E = Z = 5,4 \cdot \frac{982,8 \frac{kg}{m^3}}{2} \cdot \left(0,53 \frac{m}{s}\right)^2 = 745 Pa = 7,5 hPa$$



\* Fittings: Geberit Mapress Edelstahl

// 8. Durch Addition der Druckverluste durch Rohrreibung mit den Druckverlusten durch Einzelwiderstände ergibt sich der Druckverlust zu:

$$\Delta p_{ges} = R \cdot l + Z$$

$$\Delta p_{ges} = 9 \text{ hPa} + 7,5 \text{ hPa} = 16,5 \text{ hPa}$$

Die Schritte 1-8 sind für alle Teilstrecken durchzuführen. Die Berechnungsergebnisse für den vollständigen Fließweg sind in Tabelle 12 dargestellt. Die Rohrleitungsdimensionen der Teilstrecken, die in Abhängigkeit der maximalen Fließgeschwindigkeiten gewählt wurden, sind durch eine orange Umrandung gekennzeichnet. In den Berechnungsschritten 1-8 wurden gerundete Zahlenwerte genutzt. Hieraus ergeben sich geringe Unterschiede zur Tabelle 12.

Tabelle 12: Darstellung der Berechnungsergebnisse für den hydraulisch ungünstigsten Fließweg

Temperatur	Dichte	Zähigkeit	$k_{E\text{-Stahl 1.4401}}$	$R_v$
°C	kg/m³	mm²/s	mm	hPa/m
60	982,8	0,47	0,0015	13,9
10	999,6	1,31		

TS	Länge	$\Sigma(\text{Länge})$	$\Sigma V_R$	$V_s$	$d_i$	v	R	I·R	$\Sigma \zeta$	Z	I·R+Z	$\Sigma (I·R+Z)$
	m	m	l/s	l/s	mm	m/s	hPa/m	hPa		hPa	hPa	hPa
$p_{\text{minFl}}$											1000,0	1000,0
18	3,0	82,3	0,07	0,07	13,0	0,5	3,0	8,9	5,4	7,38	16,3	1016,3
17	0,9	79,3	0,22	0,21	13,0	1,6	21,2	19,1	1,2	15,13	34,2	1050,5
16	3,0	78,4	0,22	0,21	16,0	1,1	7,8	23,5	0,2	1,10	24,6	1075,1
15	3,0	75,4	0,44	0,33	19,6	1,1	6,4	19,2	0,2	1,16	20,4	1095,5
14	3,0	72,4	0,66	0,40	19,6	1,3	9,2	27,5	0,2	1,74	29,3	1124,8
13	3,0	69,4	0,88	0,46	19,6	1,5	11,5	34,6	0,2	2,24	36,8	1161,6
12	5,4	66,4	1,10	0,50	25,6	1,0	3,8	20,3	2,1	9,69	30,0	1191,6
11	4,9	61,0	2,20	0,64	25,6	1,2	5,9	29,1	0,1	0,77	29,9	1221,5
10	1,1	56,1	5,55	0,86	32,0	1,1	3,4	3,8	0,1	0,56	4,3	1225,8
9	8,2	55,0	7,75	0,94	32,0	1,2	4,0	33,2	0,1	0,68	33,9	1259,7
8	6,1	46,8	9,95	1,01	32,0	1,3	4,6	27,9	0,1	0,78	28,7	1288,4
7	2,0	40,7	11,00	1,04	32,0	1,3	4,8	9,6	0,1	0,82	10,4	1298,8
6	8,2	38,7	13,20	1,09	32,0	1,4	5,2	42,9	0,1	0,90	43,8	1342,5
5	2,5	30,5	15,40	1,13	32,0	1,4	5,6	14,0	0,1	0,98	15,0	1357,5
4	5,1	28,0	16,10	1,15	32,0	1,4	5,7	29,2	0,1	1,00	30,2	1387,7
3	17,5	22,9	17,55	1,17	32,0	1,5	6,0	104,2	2,3	23,96	128,2	1515,9
$\Delta p_{RV}$											47,0	1562,9
2	2,9	5,4	17,55	1,17	32,0	1,5	7,3	21,2	1,8	19,07	40,3	1603,2
$\Delta p_{\text{App(Fit)}}$											97,9	1701,0
1	2,5	2,5	43,90	1,46	39,0	1,2	4,1	10,2	3,9	29,00	39,2	1740,3
$\Delta p_{\text{geo}}$											1560,0	3300,3
											$p_{\text{minWZ}}$	3300,3

$p_{minWZ}$	= Mindestdruck nach dem Wasserzähler (in hPa)
$\Delta p_R$	= Druckverlust durch Rohrreibung (in hPa)
$\Delta p_E$	= Druckverlust durch Einzelwiderstände (in hPa)
$\Delta p_{Ap}$	= Druckverlust in einem Apparat (in hPa)
$\Delta p_{RV}$	= Druckverlust im Rückflussverhinderer (in hPa)
$p_{minFL}$	= Mindestfließdruck an der Entnahmearmatur (in hPa)
$\Delta p_{geo}$	= Druckverlust aus geodätischem Höhenunterschied (in hPa)

// 9. Nach erfolgter Dimensionierung des Rohrleitungssystems lässt sich der erforderliche Mindestdruck nach dem Wasserzähler  $p_{min,WZ}$  nach Gleichung 18 berechnen:

[Gleichung 18]

$$p_{minWZ} = \sum \Delta p_R + \sum \Delta p_E + \sum \Delta p_{Ap} + \sum \Delta p_{RV} + p_{minFL} + \Delta p_{geo}$$

$$p_{minWZ} = 479 \text{ hPa} + 117 \text{ hPa} + 98 \text{ hPa} + 47 \text{ hPa} + 1000 \text{ hPa} + 1560 \text{ hPa} = 3301 \text{ hPa}$$

// 10. Unter Berücksichtigung der bereits über den hydraulisch ungünstigsten Fließweg dimensionierten Rohrleitungen sind die hydraulisch günstigeren Fließwege analog dem oben vorgestellten Verfahren zu berechnen.

### 6.3 Auslegung Zirkulationssystem nach DIN 1988-300 / DVGW W 553

Bei der Zirkulationsberechnung unterscheidet man das 2012 eingeführte Beimischverfahren nach DIN 1988-300 und das Berechnungsverfahren nach DVGW W 553. Grundlage beider Verfahren ist die Anforderung nach DVGW W 551. Hiernach ist das Zirkulationssystem von zentralen Trinkwassererwärmungsanlagen so zu bemessen, dass in allen Leitungsabschnitten die Warmwassertemperatur nicht mehr als 5 K gegenüber der geforderten Austrittstemperatur des Trinkwassererwärmers von mindestens 60 °C unterschritten wird. Dieses entspricht der Forderung nach einer Temperatur von mindestens 55 °C an jeder Stelle im zirkulierenden Warmwassersystem. Dieser Forderung kann nur Folge geleistet werden, wenn das Zirkulationssystem über Zirkulationsregulierventile hydraulisch einreguliert ist.

Der wirtschaftliche Aspekt im Hinblick auf einen energieeffizienteren Betrieb der Zirkulationspumpen und einen geringeren Materialverbrauch war ein Grund für die Einführung des Beimischverfahrens nach DIN 1988-300. Das Beimischverfahren entspricht im Grunde dem differenzierten Berechnungsverfahren nach DVGW W 553, ergänzt um einen sogenannten Beimischgrad „ $\eta$ “. Bei  $\eta=0$  ergeben sich rechnerisch die gleichen Ergebnisse. Ein Beimischgrad von  $\eta>0$  führt dazu, dass die Zirkulationstemperatur bis zur Mindesttemperatur vor dem Stromvereinigungspunkt an der Sammelleitung abkühlen darf. An den Strängen wird dann heißes Wasser beigemischt. Hierdurch fallen an den längeren Zirkulationskreisen die Volumenströme geringer und an den kürzeren Zirkulationskreisen größer aus. Hierdurch soll der Materialverbrauch, bezogen auf die Dimensionierung der Zirkulationsleitungen, und die Pumpendruckdifferenz abnehmen.

In Abbildung 57 ist ein vereinfachtes Prinzipschaltbild für das betrachtete Objekt dargestellt. Der hydraulisch ungünstigste Strömungsweg verläuft über den Steigstrang 10, der auch den entferntesten Strang darstellt. Die zu betrachtenden Teilstrecken des Strömungsweges sind im Prinzipschaltbild gekennzeichnet.

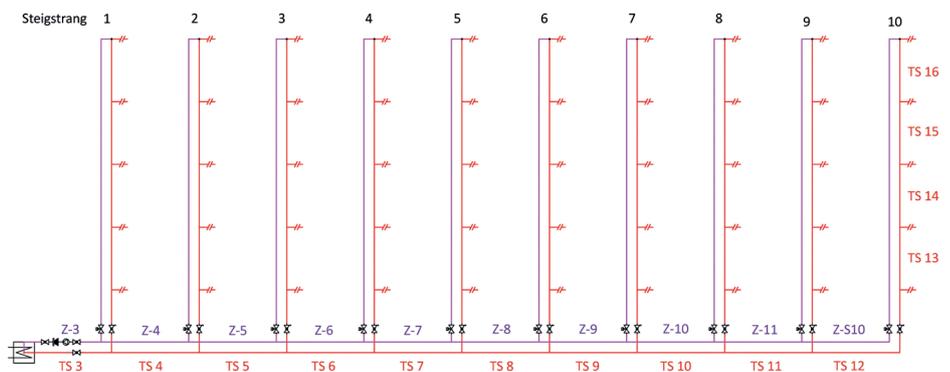


Abbildung 57: Prinzipschaltbild der zirkulierenden Warmwasser-Installation

### // 6.3.1 Berechnung der Zirkulation

// 1. Es sind die Wärmeverluste der zirkulierenden PWH-Teilstrecken differenziert nach Gleichung 35 zu berechnen:

Gleichung 35

$$\dot{Q}_w = l_w \cdot U_{R,w} \cdot (\vartheta_w - \vartheta_L)$$

$\lambda_D$	= Wärmeleitfähigkeit Dämmung (in W/(m·K))
$\alpha_a$	= äußerer Wärmeübergangskoeffizient (in W/(m²·K))
$D$	= Außendurchmesser der gedämmten Rohrleitung (in m)
$d_a$	= Außendurchmesser Rohrleitung (in m)

$U_{R,w}$	= Wärmedurchgangskoeffizient der PWH-Teilstrecke (in W/(m·K))
$l_w$	= Länge der PWH-Teilstrecke (in m)
$\vartheta_w$	= Temperatur PWH (in °C)
$\vartheta_L$	= Lufttemperatur Umgebung (in °C) unbeheizter Keller: $\vartheta_L = 10$ °C Schacht, Vorwand oder abgehängte Decke in beheizten Räumen: $\vartheta_L = 25$ °C

Der Wärmedurchgangskoeffizient  $U_{R,w}$  ist für jede PWH-Teilstrecke nach Gleichung 36 zu berechnen:

Gleichung 36

$$U_{R,w} = \frac{\pi}{\frac{1}{2 \cdot \lambda_D} \cdot \ln\left(\frac{D}{d_a}\right) + \frac{1}{\alpha_a \cdot D}}$$

Im Kapitel 6.2 erfolgt die Rohrleitungsdimensionierung PWH ausschließlich für den hydraulisch ungünstigsten Fließweg. Eine vollständige Dimensionierung aller Fließwege wäre für diesen Leitfaden zu umfangreich und hätte auch didaktisch keinen Mehrwert. Da jedoch für die Ermittlung der Wärmeverluste der zirkulierenden PWH-Teilstrecken eine vollständige Dimensionierung erforderlich ist, werden in Tabelle 15 des Anhangs die notwendigen Daten aller zirkulierenden Teilstrecken vorgegeben.

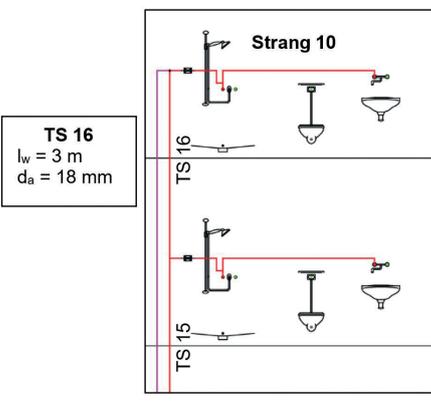
Bei der ausgewählten Dämmung handelt es sich um Rohrschalen aus Steinwolle mit einer Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_D = 0,035 \frac{W}{m \cdot K}$ . Für den äußeren Wärmeübergangskoeffizient kann  $\alpha_a = 10 \frac{W}{m^2 \cdot K}$  angenommen werden. Die zugrunde liegenden Dämmschichtdicken in Abhängigkeit der Rohrdimensionen sind in Tabelle 13 angegeben (orange Umrandung).

Tabelle 13: Angaben Rohrleitungs-dämmung (Rohraußendurchmesser / Dämmschichtdicke)<sup>15</sup>

Rohr-dimensionen		Rockwool 800		
Außen $\varnothing$ Da [mm]	DN	EnEV 100 % Warm	EnEV 50 % Warm	DIN 1988 Kalt
12,0	10	15/20	15/20	15/20
15,0	12	15/20	15/20	15/20
18,0	15	18/20	18/20	18/20
22,0	20	22/20	22/20	22/20
28,0	25	28/30	28/20	28/20
35,0	32	35/30	35/20	35/20
42,0	40	42/40	42/20	42/20
54,0	50	54/60	54/30	54/30
76,1	65			76/30
76,1	65	76/80	76/40	
88,9	80			89/30
88,9	80	89/100	89/50	
108,0	100			108/30
108,0	100	108/100	108/50	



Berechnung der Wärmeverluste für Teilstrecke 16:



Wärmedurchgangskoeffizient  $U_{R,w}$ :

$$U_{R,w} = \frac{\pi}{\frac{1}{2 \cdot 0,035 \frac{W}{m^2 \cdot K}} \cdot \ln\left(\frac{18+2 \cdot 20}{18}\right) + \frac{1}{10 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot (18+2 \cdot 20) \cdot 10^{-3} m}}$$

$$= 0,170 \frac{W}{m \cdot K}$$

Wärmeverlust  $\dot{Q}_w$ :

$$\dot{Q}_w = 3m \cdot 0,17 \frac{W}{m \cdot K} \cdot (60 - 25)K = 17,9 W$$

15 Rockwool – Planungs- und Montagehelfer für Rohrleitungsanlagen (06/2016)

// 2. Der Förderstrom der Zirkulationspumpe ergibt sich aus den Wärmeverlusten aller an der Zirkulation angebotenen PWH-Leitungen und der definierten Temperaturdifferenz  $\Delta\vartheta_w$  entlang aller PWH-Fließwege, jeweils vom Trinkwassererwärmer bis zur Anbindung der PWH-Leitung an die Zirkulationsleitung.

Für das Berechnungsbeispiel ergibt sich ein Gesamt-Wärmeverlust von

$$\Sigma \dot{Q}_w = 1439,8 \text{ W (siehe Tabelle 15)}$$

Der Förderstrom wird nach Gleichung 24 berechnet:

[Gleichung 24]

$$\dot{V}_{Pumpe} = \frac{\Sigma [l_w \cdot U_{R,w} \cdot (\vartheta_w - \vartheta_L)]}{\rho \cdot c_w \cdot \Delta\vartheta_w}$$

$\dot{V}_{Pumpe}$	= Förderstrom Zirkulationspumpe (in m <sup>3</sup> /h)
$\rho$	= Dichte des Wassers (in kg/m <sup>3</sup> )
$c_w$	= spezifische Wärmekapazität Wasser in (kJ/kg·K)
$\Delta\vartheta_w$	= PWH-Temperaturdifferenz (in K) $\Delta\vartheta_w = \frac{\Delta\vartheta_{TTE}}{2}$ mit $\Delta\vartheta_{TTE} = 4 \text{ K bis } 5 \text{ K}$

Die Temperaturspreizung je Fließweg von Ausgang TWE bis Übergang Rohrleitung PWH-C beträgt:

$$\Delta\vartheta_w = \frac{5\text{K}}{2} = 2,5 \text{ K}$$

Hieraus resultiert ein Temperaturbereich je Fließweg PWH von 60 °C (Ausgang TWE) bis 57,5 °C am Übergang zur Rohrleitung PWH-C.

Entsprechend sind für die einzelnen Fließwege die Dichte der mittleren Temperatur zu berechnen:

$$\text{Dichte bei } \frac{(60+57,5)^\circ\text{C}}{2} = 58,75^\circ\text{C:}$$

$$\rho = 1000 - \left(\frac{58,75-4}{10}\right)^{1,65} = 983,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Die spezifische Wärmekapazität  $c_w$  von Wasser kann für den betrachteten Temperaturbereich mit  $c_w = 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$  angenommen werden.

$$\dot{V}_{Pumpe} = \frac{1439,8 \frac{\text{J}}{\text{s}}}{983,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \cdot 2,5\text{K}}$$

$$= 1,4 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 504 \frac{\text{l}}{\text{h}}$$

// 3. Ausgehend vom ermittelten Pumpenförderstrom werden die Volumenströme durch Bilanzierung an jedem Abzweig der Warmwasserleitung den einzelnen Teilstrecken zugeordnet. Die Ermittlung der Volumenströme erfolgt nach Gleichung 37, Gleichung 38 und Gleichung 39 unter Zuhilfenahme der Abbildung 58. Die Volumenströme an den Knotenpunkten sind abhängig vom Beimischgrad  $\eta$ . Bei  $\eta=0$  findet keine Beimischung an den Knotenpunkten statt, Gleichung 37 und Gleichung 38 sind dann identisch. Die Volumenaufteilung und die nachfolgenden Berechnungsergebnisse entsprechen dann dem differenzierten Verfahren nach DVGW W 553.

Gleichung 37

$$\text{Bei } \dot{Q}_d \geq \dot{Q}_a + \dot{Q}_z: \quad \dot{V}_d = \frac{\dot{V} \cdot \dot{Q}_d}{\dot{Q}_a + \dot{Q}_d + \eta \cdot \dot{Q}_z}$$

Gleichung 38

$$\text{Bei } \dot{Q}_d < \dot{Q}_a + \dot{Q}_z: \quad \dot{V}_d = \frac{\dot{V} \cdot \dot{Q}_d}{\dot{Q}_a \cdot (1-\eta) + \dot{Q}_d \cdot (1+\eta)}$$

Gleichung 39

$$\dot{V}_a = \dot{V} - \dot{V}_d$$

$\dot{Q}_d$	= Wärmeverlust im Durchgangsweg (in W)
$\dot{Q}_a$	= Wärmeverlust im Abzweigweg (in W)
$\dot{Q}_z$	= Wärmeverlust in der Zirkulationsteilstrecke nach dem Mischpunkt (in W)
$\dot{V}_d$	= Durchgangsstrom (in m <sup>3</sup> /h)
$\dot{V}$	= Volumenstrom (in m <sup>3</sup> /h)
$\dot{V}_a$	= Abzweigstrom (in m <sup>3</sup> /h)
$\eta$	= Beimischgrad

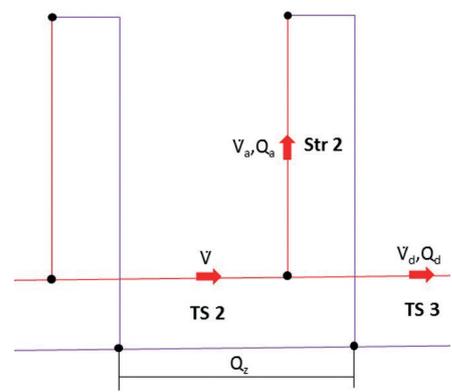


Abbildung 58: Durchgangs- und Abzweigwege an einem Knotenpunkt

Bezogen auf Abbildung 58 berechnet sich der Wärmeverlust im Durchgangsweg  $\dot{Q}_d$  wie folgt:

Gleichung 40

$$\dot{Q}_{d,TS3} = \dot{Q}_{d,TS2} - \dot{Q}_{w,TS2} - \dot{Q}_{a,Str2}$$

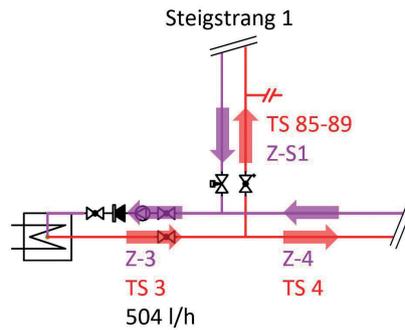


Abbildung 59: Knotenpunkt Steigstrang 1

Aufteilung der Wärmeverluste am Knotenpunkt „Steigstrang 1“: Ausgehend von Teilstrecke 4 werden von den Wärmeverlusten des Gesamtsystems  $\sum \dot{Q}_w$  die Wärmeverluste der Teilstrecke 3 sowie des Steigstrangs 1 ( $\sum \dot{Q}_{w,TS85-TS89}$ ) abgezogen. Die Wärmeverlustberechnung der Teilstrecken ist in Tabelle 15 dargestellt.

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{d,TS4} &= \dot{Q}_{d,TS3} - \dot{Q}_{w,TS3} - \dot{Q}_{a,Str1} \\ &= \sum \dot{Q}_w - \dot{Q}_{w,TS3} - \dot{Q}_{a,Str1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{d,TS4} &= 1439,8 \text{ W} - 125,4 \text{ W} \\ &\quad - 97,9 \text{ W} = 1216,5 \text{ W} \end{aligned}$$

In diesem Berechnungsbeispiel erfolgt die Volumenstromermittlung der Teilstrecken vereinfachend mit einem Beimischgrad von  $\eta=0$ .

$$\dot{V}_{d,TS4} = \frac{\dot{V}_{TS3} \cdot \dot{Q}_{d,TS4}}{\dot{Q}_{a,Str1} + \dot{Q}_{d,TS4} + \eta \cdot \dot{Q}_z}$$

$$\dot{V}_{d,TS4} = \frac{504 \frac{1}{h} \cdot 1216,5 \text{ W}}{97,9 \text{ W} + 1216,5 \text{ W}} = 466,5 \frac{1}{h}$$

Der Volumenstrom im Steigstrang 1 ergibt sich aus der Differenz von Teilstrecke 3 zu Teilstrecke 4:

$$\dot{V}_{a,Str1} = \dot{V}_{TS3} - \dot{V}_{TS4}$$

$$\dot{V}_{a,Str1} = (504 - 466,5) \frac{1}{h} = 37,5 \frac{1}{h}$$

Als nächstes sind die Volumenströme durch Bilanzierung am Knotenpunkt „Steigstrang 2“, anschließend am Knotenpunkt „Steigstrang 3“ bis einschließlich „Steigstrang 9“ zu verteilen. Die Volumenströme des Zirkulationssystems sind jetzt in jedem Fließweg bekannt. In Abbildung 60 ist die Volumenstromaufteilung ohne Beimischgrad ( $\eta = 0$ ) dargestellt.

// 4. Die Volumenströme  $\dot{V}$  in den Teilstrecken PWH fließen auch in den parallel geführten Teilstrecken PWH-C (System mit unterer Verteilung). Unter Berücksichtigung von maximalen Fließgeschwindigkeiten  $v$  [ $v = 0,2 \text{ m/s}$  bis  $0,5 \text{ m/s}$  (max.  $1,0 \text{ m/s}$ )] und einem minimalen Innendurchmesser der Zirkulationsleitungen von  $d_i = 10 \text{ mm}$  erfolgt die Auslegung der PWH-C-Teilstrecken.

Dimensionierung der PWH-C-Teilstrecke Z-S10:

Der minimale Innendurchmesser im Rohrleitungssystem wurde für das Pflegeheim auf  $d_i = 13 \text{ mm}$  festgelegt.

$$v = \frac{\dot{V}_{Z-S10}}{A_{Z-S10}} = \frac{\dot{V}_{Z-S10}}{\frac{\pi}{4} \cdot d_i^2}$$

Analog zum Volumenstrom entspricht der Wärmeverlust im Durchgangsweg der Teilstrecke 2 den Wärmeverlusten aller nachgeschalteten zirkulierenden PWH-Leitungen. Ausgehend von der Teilstrecke 3 werden von diesem Wert die Wärmeverluste der Teilstrecke 2 und des Steigstranges 2 abgezogen. Die Berechnung der Wärmeverluste erfolgt nach Gleichung 35.

Die Volumenströme werden in Fließrichtung, ausgehend vom Trinkwassererwärmer, an jedem Knotenpunkt für die Teilstrecken berechnet. Beim Berechnungsbeispiel beginnt die Berechnung somit bei Teilstrecke 3. Der entsprechende Knotenpunkt ist in Abbildung 59 dargestellt.

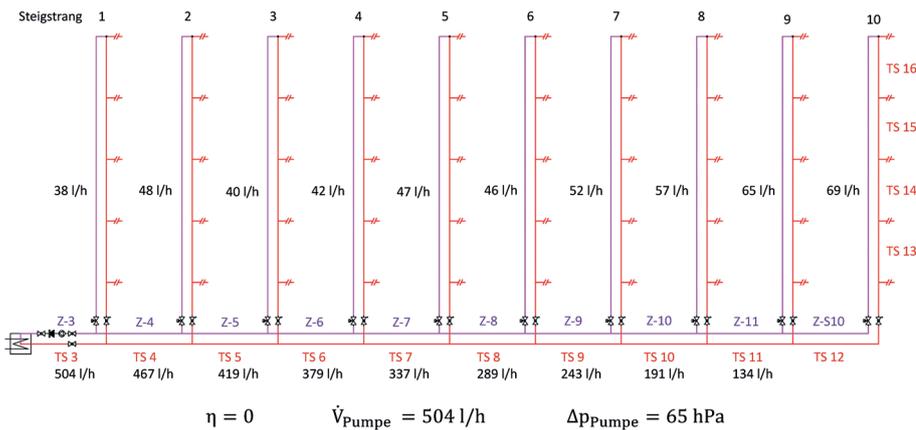


Abbildung 60: Volumenstromaufteilung bei  $\eta = 0$

Hieraus resultiert: Die Rohrleitung dürfte entsprechend der berechneten Geschwindigkeit auch kleiner dimensioniert werden.

// 5. Für die dimensionierten PWH-C-Teilstrecken erfolgt analog zu den PWH-Teilstrecken die Berechnung der Wärmeverluste nach Gleichung 35.

Berechnung der Wärmeverluste für PWH-C-Teilstrecke Z-S10:

Wärmedurchgangskoeffizient  $U_{R,w}$ :

$$U_{R,w} = \frac{\pi}{\frac{1}{2 \cdot \lambda_D} \cdot \ln\left(\frac{D}{d_a}\right) + \frac{1}{\alpha_a \cdot D}}$$

$$U_{R,w} = \frac{\pi}{\frac{1}{2 \cdot 0,035 \frac{W}{m^2 \cdot K}} \cdot \ln\left(\frac{15+2 \cdot 20}{15}\right) + \frac{1}{10 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot (15+2 \cdot 20) \cdot 10^{-3} m}}$$

$$= 0,154 \frac{W}{m \cdot K}$$

Wärmeverlust  $\dot{Q}_w$ :

$$\dot{Q}_w = l_w \cdot U_{R,w} \cdot (\vartheta_w - \vartheta_L)$$

$$\dot{Q}_w = 17,4 m \cdot 0,154 \frac{W}{m \cdot K} \cdot (60 - 25) K = 93,8 W$$

Die Dimensionierung und die Berechnung der Wärmeverluste aller weiteren PWH-C-Teilstrecken sind in Tabelle 16 des Anhangs zu finden. An dieser Stelle gilt es anzumerken, dass die Berechnung der Wärmeverluste der PWH-C-Rohrleitungen nur bei einem Beimischgrad von  $\eta > 0$  zwingend erforderlich ist. Bei einem Beimischgrad von  $\eta = 0$  haben die Wärmeverluste der PWH-C-Rohrleitungen keinen Einfluss auf die Volumen-

stromverteilung im System. Nur wenn der Temperaturverlauf in einem Fließweg ermittelt werden soll, so muss, unabhängig vom Beimischgrad, eine Berechnung der Wärmeverluste der PWH-C-Teilstrecken erfolgen.

// 6. Ausgehend von einer Temperatur von  $60^\circ C$  am Austritt des Trinkwassererwärmers wird über den Temperaturabfall in der Teilstrecke  $\Delta\vartheta_{TS}$  die Zirkulationstemperatur am Ende der Teilstrecke  $\vartheta_w$  berechnet.

Gleichung 41

$$\Delta\vartheta_{TS} = \frac{\dot{Q}_{w,TS}}{\rho \cdot c_w \cdot \dot{V}_{TS}}$$

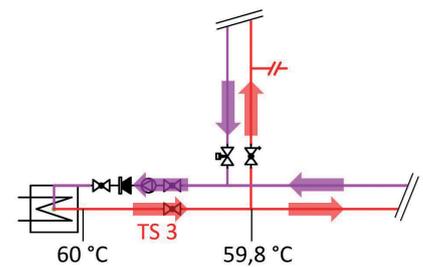


Abbildung 61: Temperaturverlauf der PWH-Teilstrecke 3

Betrachtung der Teilstrecke 3:

Dichte bei  $60^\circ C$ :

$$\rho = 1000 - \left(\frac{60-4}{10}\right)^{1,65} = 982,8 \frac{kg}{m^3}$$

Die spezifische Wärmekapazität  $c_w$  von Wasser kann für den betrachteten Temperaturbereich mit  $c_w = 4,18 \frac{kJ}{kg \cdot K}$  angenommen werden.

$$\Delta\vartheta_{TS} = \frac{\dot{Q}_{w,TS3}}{\rho \cdot c_w \cdot \dot{V}_{TS3}}$$

$$\Delta\vartheta_{TS} = \frac{125,4 W}{982,8 \frac{kg}{m^3} \cdot 4180 \frac{J}{kg \cdot K} \cdot \left(\frac{504}{1000 \cdot 3600}\right) \frac{m^3}{s}} = 0,22 K$$

Ausgehend vom Trinkwassererwärmer ergibt sich am Ende der Teilstrecke 3 die folgende Temperatur:

$$\vartheta_{w,TS4} = 60^\circ C - 0,2^\circ C = 59,8^\circ C$$

// 7. Der Förderdruck der Zirkulationspumpe ergibt sich aus den Druckverlusten durch Rohrreibung und Einzelwiderständen für den hydraulisch ungünstigsten Strömungsweg (PWH + PWH-C), dem Druckverlust im Zirkulationsreguliertventil bei voller Öffnung, den Druckverlusten durch Rückflussverhinderer und den Druckverlusten sonstiger Apparate im Zirkulationssystem. Die Druckverlustberechnung erfolgt äquivalent der Rohrleitungs-Dimensionierung PWH aus Kapitel 6.2.

Der Gesamt-Druckverlust für Strang 10, den hydraulisch ungünstigsten Zirkulationskreis, beläuft sich auf  $\sum (l \cdot R + Z) = 43,6 \text{ hPa}$ .

Der Druckverlust im Zirkulationsreguliertventil, bei voller Öffnung, lässt sich über die Herstellerangabe für den  $k_{vs}$ -Wert berechnen (Gleichung 42).

Gleichung 42

$$\Delta p_{ZRV} = \frac{\dot{V}_Z^2}{k_v^2 \cdot 1000}$$

Der Druckverlust von Rückflussverhinderern erfordert die Herstellerangabe von Öffnungsdruck und Zeta-Wert. Alternativ können Druckverlustdiagramme der Hersteller herangezogen werden.

Die Berechnung des Förderdrucks der Zirkulationspumpe erfolgt nach Gleichung 43:

Gleichung 43

$$\Delta p_{Pumpe} = \sum (l \cdot R + Z) + \sum \Delta p_{RV} + \Delta p_{ZRV} + \Delta p_{Ap}$$

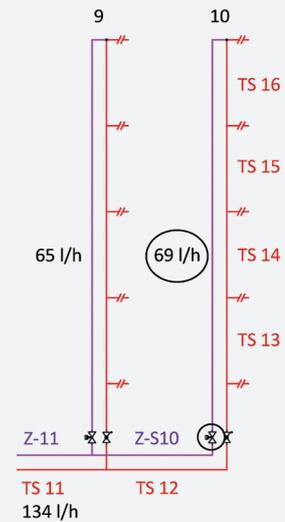
- $\Delta p_{Pumpe}$  = Förderdruck der Zirkulationspumpe (in hPa)
- $l$  = Rohrleitungslänge (in m)
- $R$  = Rohrreibungsdruckgefälle (in hPa/m)
- $Z$  = Druckverlust der Einzelwiderstände (in hPa)
- $\Delta p_{ZRV}$  = Druckverlust Zirkulationsreguliertventil bei voller Öffnung (in hPa)
- $\Delta p_{RV}$  = Druckverlust Rückflussverhinderer (in hPa)
- $\Delta p_{Ap}$  = Druckverlust Apparat (in hPa)

Berechnung für den hydraulisch ungünstigsten Zirkulationskreis (Fließweg Strang 10):

Druckverlust im statischen Zirkulationsventil bei voller Öffnung (KEMPER Multi-Fix, DN 15,  $k_{vs} = 4,48 \text{ m}^3/\text{h}$ ):

$$\Delta p_{ZRV} = \frac{\dot{V}_Z^2}{k_v^2 \cdot 1000}$$

$$\Delta p_{ZRV} = \frac{69^2}{4,48^2 \cdot 1000} \approx 0,2 \text{ hPa}$$



Druckverlust im Rückflussverhinderer ( $\Delta p_{RV}$ ) entsprechend Herstellerangabe:

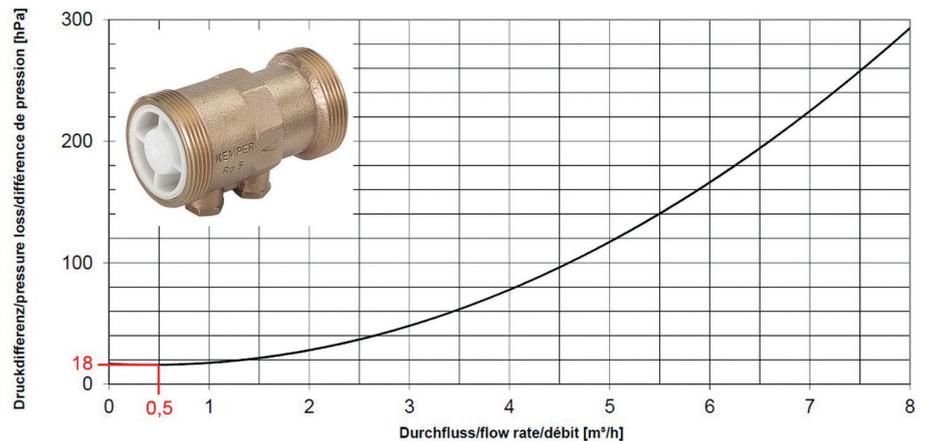


Abbildung 62: Durchflussdiagramm eines Durchgangs-Rückflussverhinderers (KEMPER, DN 25)

Förderdruck der Zirkulationspumpe:

$$\Delta p_{Pumpe} = 43,6 \text{ hPa} + 18 \text{ hPa} + 0,2 \text{ hPa} = 61,8 \text{ hPa}$$

$$\dot{V}_{Z-3} = \dot{V}_{Pumpe} = 504 \frac{\text{l}}{\text{h}} \approx 0,5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$\rightarrow \Delta p_{RV} = 18 \text{ hPa}$$

$\Sigma \dot{Q}_w$ :	1440 W
$\dot{V}_{Pumpe}$ :	504 l/h

Der über den hydraulisch ungünstigsten Zirkulationskreis ermittelte Förderdruck der Zirkulationspumpe  $\Delta p_{Pumpe}$  steht allen anderen Zirkulationskreisen für die Überwindung der Druckverluste zur Verfügung. In Tabelle 14 sind die Berechnungsergebnisse für den hydraulisch ungünstigsten Zirkulationskreis bei einem Beimischgrad von  $\eta = 0$  (DVGW W 553) dargestellt.

Die weiteren PWH-C-Rohrleitungen sind entsprechend den ermittelten Volumenströmen nach den maximalen Geschwindigkeiten zu dimensionieren. Anschließend erfolgt die Ermittlung des notwendigen Druckverlustes in den Zirkulationsregulierventilen für den hydraulischen Abgleich der Zirkulationskreise.

Der notwendige Druckverlust der Zirkulationsregulierventile berechnet sich nach:

$$\Delta p_{ZRV} = \Delta p_{Pumpe} - \sum(l \cdot R + Z) - \sum \Delta p_{RV} - \sum \Delta p_{Ap}$$

Tabelle 14: Berechnungsergebnisse für einen Beimischgrad von  $\eta=0$

Temperatur	Dichte	Zähigkeit	k	$\vartheta_{w,v}$	$\vartheta_{w,r}$	$c_w$	$\eta$
°C	kg/m <sup>3</sup>	mm <sup>2</sup> /s	mm	°C	°C	kJ/(kg·K)	
58,75	983	0,48	0,015	60	57,5	4,18	0

TS	Länge	$\Sigma$ (Länge)	$\dot{Q}_d$	$\dot{Q}_w$	$\dot{Q}_a$	$\dot{Q}_z$	$\dot{Q}_d - \dot{Q}_a - \dot{Q}_z$
	m	m	W	W	W	W	W

Ausgang TWE		0,0					
3	17,5	17,5	1440	125			
4	5,1	22,6	1217	37	98	32	1086
5	2,5	25,1	1059	18	120	16	924
6	8,2	33,2	943	59	99	51	793
7	2,0	35,2	785	14	99	13	673
8	6,1	41,4	662	44	109	41	512
9	8,2	49,5	519	59	99	55	366
10	1,1	50,7	362	8	99	7	256
11	4,9	55,6	248	31	105	29	114
Str 10	17,4	73,0	112	112	105	94	-87
12 (Str 10)	5,4						
13 (Str 10)	3,0						
14 (Str 10)	3,0						
15 (Str 10)	3,0						
16 (Str 10)	3,0						
Z-S10	17,4	55,6		94			
Z-11	4,9	50,7		29			
Z-10	1,1	49,5		7			
Z-9	8,2	41,4		55			
Z-8	6,1	35,3		41			
Z-7	2,0	33,3		13			
Z-6	8,2	25,1		51			
Z-5	2,5	22,6		16			
Z-4	5,1	17,5		32			
Z-3	17,5	0,0		110			

Hier nur Berechnung der Druckverluste der Teilstrecken!  
Str 10 = TS 12 bis TS 16  
 $\dot{V}_{d,Str} = \dot{V}_{d,TS}$

$\dot{V}_d$	$\dot{Q}_a + \dot{Q}_z$	$\dot{V}_a$	$\Delta\theta_{15}$	$\theta_w$	$d_i$	$v$	R	I·R	$\Sigma\zeta$	Z	I·R+Z	$\Sigma$ (I·R+Z)
l/h	W	l/h	K	°C	mm	m/s	hPa/m	hPa		hPa	hPa	hPa
				60,0								
504			0,22	59,8	32,0	0,2	0,1	2,5	2,30	0,3	2,8	2,8
467	130	38	0,07	59,7	32,0	0,2	0,1	0,6	0,10	0,0	0,6	3,5
419	136	48	0,04	59,7	32,0	0,1	0,1	0,3	0,10	0,0	0,3	3,7
379	150	40	0,14	59,5	32,0	0,1	0,1	0,7	0,10	0,0	0,7	4,5
337	112	42	0,04	59,5	32,0	0,1	0,1	0,1	0,10	0,0	0,1	4,6
289	150	47	0,13	59,4	32,0	0,1	0,1	0,3	0,10	0,0	0,3	4,9
243	154	46	0,21	59,2	32,0	0,1	0,0	0,3	0,10	0,0	0,3	5,3
191	106	52	0,04	59,1	32,0	0,1	0,0	0,0	0,10	0,0	0,0	5,3
134	135	57	0,20	58,9	25,6	0,1	0,0	0,2	0,10	0,0	0,2	5,5
69	199	65	1,42	57,5								
69					25,6	0,0	0,0	0,0	2,10	0,0	0,1	5,6
69					19,6	0,1	0,0	0,1	0,20	0,0	0,1	5,7
69					19,6	0,1	0,0	0,1	0,20	0,0	0,1	5,9
69					19,6	0,1	0,0	0,1	0,20	0,0	0,1	6,0
69					16,0	0,1	0,1	0,4	0,20	0,0	0,4	6,4
69			1,19	56,3	13,0	0,1	0,3	5,7	6,20	0,6	6,3	12,7
134			0,19	56,1	16,0	0,2	0,4	1,9	2,90	0,5	2,4	15,1
191			0,03	56,1	16,0	0,3	0,7	0,8	2,90	1,0	1,8	16,9
243			0,20	56,0	19,6	0,2	0,4	3,4	2,80	0,7	4,0	20,9
289			0,12	55,9	19,6	0,3	0,6	3,4	2,80	1,0	4,4	25,4
337			0,03	55,9	19,6	0,3	0,7	1,5	2,80	1,3	2,8	28,1
379			0,12	55,8	25,6	0,2	0,3	2,0	2,70	0,6	2,6	30,7
419			0,03	55,8	25,6	0,2	0,3	0,7	2,70	0,7	1,4	32,2
467			0,06	55,7	25,6	0,3	0,4	1,9	2,70	0,8	2,7	34,9
504			0,19	55,5	25,6	0,3	0,4	7,2	4,00	1,5	8,7	43,6
										$\Sigma$ (I·R+Z)		43,6
										$\Delta p_{RV}$		18,0
										$\Delta p_{ZRV}$		0,2
										$\Delta p_{Pumpe}$		61,8

# 7 ANHANG ZUM BERECHNUNGS- BEISPIEL PFLEGEHEIM

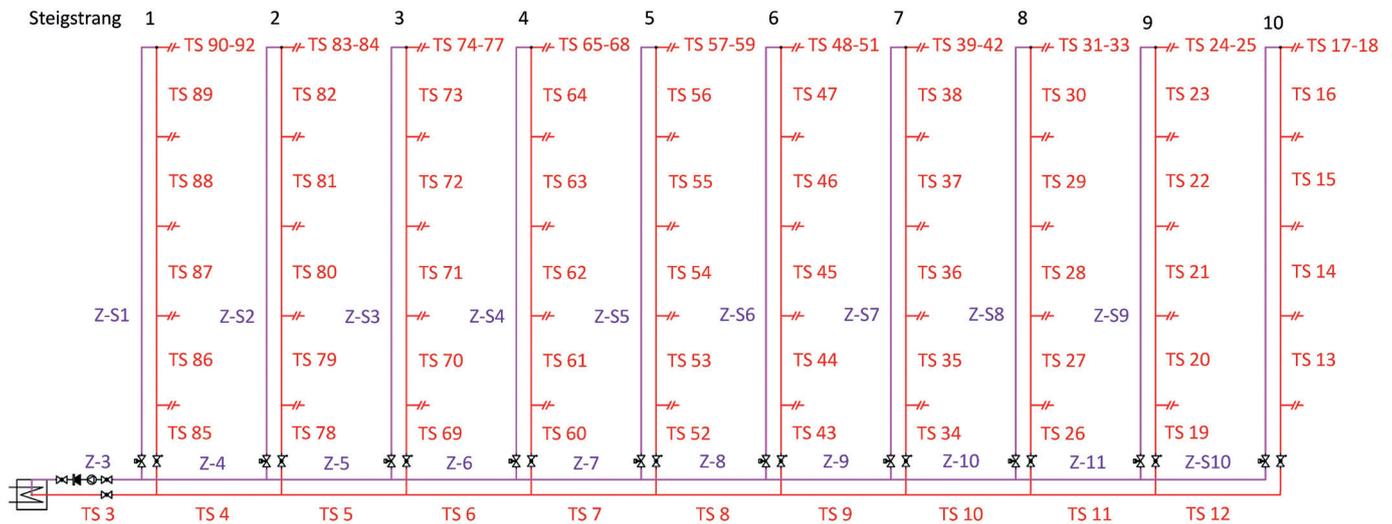


Abbildung 63: Prinzipialbild mit Teilstrecken-Bezeichnungen

Tabelle 15: Teilstrecken-Daten der zirkulierenden PWH-Rohrleitungen												
Bezeichnung der Teilstrecke	Länge der Teilstrecke	Außendurchmesser	Innendurchmesser	Wassertemperatur	Lufttemperatur	Dicke der Dämmschicht	Außendurchmesser Dämmung	Wärmeleitfähigkeit	äußerer Wärmeübergangskoeffizient	Wärmedurchgangskoeffizient	spezifischer Wärmeverlust	Wärmeverlust der Teilstrecke
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
TS	l	d <sub>a</sub>	d <sub>i</sub>	θ <sub>w</sub>	θ <sub>L</sub>	S <sub>Dämmung</sub>	D	λ	α <sub>a</sub>	U <sub>R</sub>	q̇ <sub>w</sub>	Q̇ <sub>w</sub>
-	m	mm	mm	°C	°C	mm	mm	W/(m·K)	W/(m <sup>2</sup> ·K)	W/(m·K)	W/m	W
3	17,5	35	32	60	25	30	95	0,035	10	0,205	7,2	125,4
4	5,1	35	32	60	25	30	95	0,035	10	0,205	7,2	36,8
5	2,5	35	32	60	25	30	95	0,035	10	0,205	7,2	17,8
6	8,2	35	32	60	25	30	95	0,035	10	0,205	7,2	58,5
7	2,0	35	32	60	25	30	95	0,035	10	0,205	7,2	14,4
8	6,1	35	32	60	25	30	95	0,035	10	0,205	7,2	44,0
9	8,2	35	32	60	25	30	95	0,035	10	0,205	7,2	58,5
10	1,1	35	32	60	25	30	95	0,035	10	0,205	7,2	8,2
11	4,9	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	30,9
85	3,3	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	20,9
86	3,0	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	18,9
87	3,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1
88	3,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1
89	3,0	18	16	60	25	20	58	0,035	10	0,170	6,0	17,9
78	6,9	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	46,0
79	3,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1
80	3,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1
81	3,0	18	16	60	25	20	58	0,035	10	0,170	6,0	17,9
82	3,0	15	13	60	25	20	55	0,035	10	0,154	5,4	16,2

Kellerverteilung

Strang 1

Strang 2

Fortsetzung Tabelle 15: Teilstrecken-Daten der zirkulierenden PWH-Rohrleitungen

Bezeichnung der Teilstrecke	Länge der Teilstrecke	Außendurchmesser	Innendurchmesser	Wassertemperatur	Lufttemperatur	Dicke der Dämmschicht	Außendurchmesser Dämmung	Wärmeleitfähigkeit	äußerer Wärmeübergangskoeffizient	Wärmedurchgangskoeffizient	spezifischer Wärmeverlust	Wärmeverlust der Teilstrecke	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
TS	l	d <sub>a</sub>	d <sub>i</sub>	ϑ <sub>w</sub>	ϑ <sub>L</sub>	S <sub>Dämmung</sub>	D	λ	α <sub>a</sub>	U <sub>R</sub>	q <sub>w</sub>	Q <sub>w</sub>	
-	m	mm	mm	°C	°C	mm	mm	W/(m·K)	W/(m²·K)	W/(m·K)	W/m	W	
69	3,4	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	21,1	Strang 3
70	3,0	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	18,9	
71	3,0	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	18,9	
72	3,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1	
73	3,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1	
60	3,4	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	21,1	Strang 4
61	3,0	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	18,9	
62	3,0	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	18,9	
63	3,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1	
64	3,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1	
52	4,9	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	30,5	Strang 5
53	3,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1	
54	3,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1	
55	3,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1	
56	3,0	18	16	60	25	20	58	0,035	10	0,170	6,0	17,9	
43	3,4	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	21,1	Strang 6
44	3,0	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	18,9	
45	3,0	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	18,9	
46	3,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1	
47	3,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1	
34	3,4	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	21,1	Strang 7
35	3,0	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	18,9	
36	3,0	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	18,9	
37	3,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1	
38	3,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1	
26	4,6	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	28,7	Strang 8
27	3,0	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	18,9	
28	3,0	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	18,9	
29	3,0	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	18,9	
30	3,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1	
19	4,3	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	26,9	Strang 9
20	3,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1	
21	3,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1	
22	3,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1	
23	3,0	18	16	60	25	20	58	0,035	10	0,170	6,0	17,9	
12	5,4	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	34,1	Strang 10
13	3,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1	
14	3,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1	
15	3,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1	
16	3,0	18	16	60	25	20	58	0,035	10	0,170	6,0	17,9	
											Σ Q <sub>w</sub>	1439,8	

Tabelle 16: Teilstrecken-Daten der PWH-C-Rohrleitungen

Bezeichnung der Teilstrecke	Länge der Teilstrecke	Außendurchmesser	Innendurchmesser	Wassertemperatur	Lufttemperatur	Dicke der Dämmschicht	Außendurchmesser Dämmung	Wärmeleitfähigkeit	äußerer Wärmeübergangskoeffizient	Wärmedurchgangskoeffizient	spezifischer Wärmeverlust	Wärmeverlust der Teilstrecke	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
TS	l	d <sub>a</sub>	d <sub>i</sub>	θ <sub>w</sub>	θ <sub>L</sub>	S <sub>Dämmung</sub>	D	λ	α <sub>a</sub>	U <sub>R</sub>	q <sub>w</sub>	Q̇ <sub>w</sub>	
-	m	mm	mm	°C	°C	mm	mm	W/(m·K)	W/(m <sup>2</sup> ·K)	W/(m·K)	W/m	W	
Z-S1	15,6	15	13	60	25	20	55	0,035	10	0,154	5,4	84,2	Strang 1
Z-S2	19,2	15	13	60	25	20	55	0,035	10	0,154	5,4	103,6	Strang 2
Z-S3	10,7	15	13	60	25	20	55	0,035	10	0,154	5,4	57,7	Strang 3
Z-S4	10,7	15	13	60	25	20	55	0,035	10	0,154	5,4	57,7	Strang 4
Z-S5	17,2	15	13	60	25	20	55	0,035	10	0,154	5,4	92,8	Strang 5
Z-S6	10,7	15	13	60	25	20	55	0,035	10	0,154	5,4	57,7	Strang 6
Z-S7	10,7	15	13	60	25	20	55	0,035	10	0,154	5,4	57,7	Strang 7
Z-S8	16,9	15	13	60	25	20	55	0,035	10	0,154	5,4	91,2	Strang 8
Z-S9	16,6	15	13	60	25	20	55	0,035	10	0,154	5,4	89,6	Strang 9
Z-S10	17,4	15	13	60	25	20	55	0,035	10	0,154	5,4	93,9	Strang 10
Z-11	4,9	18	16	60	25	20	58	0,035	10	0,170	6,0	29,3	Kellersammelleitung
Z-10	1,1	18	16	60	25	20	58	0,035	10	0,170	6,0	6,8	
Z-9	8,2	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	54,6	
Z-8	6,1	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	41,1	
Z-7	2,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	13,5	
Z-6	8,2	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	51,2	
Z-5	2,5	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	15,6	
Z-4	5,1	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	32,2	
Z-3	17,5	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	109,8	
											$\sum_{Q_{w,Strang 10}}$	447,9	

# 8 FORMELZEICHEN

$A$	= Querschnittsfläche (m <sup>2</sup> )	$\Delta p_E$	= Druckdifferenz der Einzelwiderstände (hPa)	$v$	= Geschwindigkeit (m/s)
$a$	= Anteil der Druckverluste durch Einzelwiderstände (%)	$\Delta p_{geo}$	= Druckverlust aus geodätischem Höhenunterschied (hPa)	$\dot{V}_P$	= Förderstrom der Zirkulationspumpe (l/h)
$a, b, c$	= Konstanten für den Spitzendurchfluss	$\Delta p_{HAL}$	= Druckverlust der Hausanschlussleitung (hPa)	$\dot{V}_R$	= Berechnungsdurchfluss (l/s)
$c_W$	= spezifische Wärmekapazität des Wassers (kJ/(kg·K))	$\Delta p_{RV}$	= Druckverlust im Rückflussverhinderer (hPa)	$\dot{V}_S$	= Spitzendurchfluss (l/s)
$d$	= Durchmesser (mm)	$\Delta p_g$	= Herstellerangabe des Druckverlustes eines Apparates (hPa)	$\dot{V}_{S,normal}$	= Spitzenvolumenstrom aus Normalverbrauch (l/s)
$d_i$	= Innendurchmesser (mm)	$\Delta p_{WZ}$	= Druckverlust im Wasserzähler (hPa)	$\dot{V}_D$	= Dauerverbrauch (l/s)
$g$	= Erdbeschleunigung (m/s <sup>2</sup> )	$\Delta p_{Ap}$	= Druckverlust in Apparaten (hPa)	$\dot{V}_g$	= Herstellerangabe zum Durchfluss in einem Apparat (l/s)
$h$	= geodätische Höhe (m)	$\Delta p_{St}$	= Druckverlust in Stockwerks- und Einzelzuleitungen (hPa)	$\dot{V}_d$	= Volumenstrom im Durchgang (T-Stück) (l/h)
$\vartheta_W$	= Temperatur PWH (°C)	$\Delta p_{Ring}$	= Druckverlust in der Ringleitung (hPa)	$\dot{V}_a$	= Volumenstrom im Abgang (T-Stück) (l/h)
$\vartheta_L$	= Lufttemperatur / Umgebungstemperatur (°C)	$\Delta \vartheta_W$	= PWH-Temperaturdifferenz (K)	$\dot{V}_Z$	= Zirkulationsvolumenstrom (l/h)
$\Delta \vartheta_W$	= Temperaturdifferenz des Warmwassers (K)	$\Delta \vartheta_{TE}$	= Temperaturdifferenz PWH – PWH-C am Trinkwassererwärmer (4 K bis 5 K) (K)	$Z$	= Druckverlust aus Einzelwiderständen (hPa)
$l_{ges}$	= Länge des Fließweges (m)	$v$	= kinematische Viskosität (m <sup>2</sup> /s)	$\zeta$	= Widerstandsbeiwert
$l_W$	= Länge einer PWH-Teilstrecke (m)	$NE$	= Nutzungseinheit		
$l_W$	= Länge der entferntesten PWH-Leitung (m)	$\dot{Q}_a$	= Wärmeverlust im Abzweig (W)		
$l_Z$	= Länge der entferntesten PWH-C-Leitung (m)	$\dot{Q}_d$	= Wärmeverlust im Durchgangsweg (W)		
$k$	= Rohrrauigkeit (mm)	$\dot{Q}_w$	= Wärmeverlust der Teilstrecke (W)		
$k_v$	= Durchflusskoeffizient (m <sup>3</sup> /h)	$\eta$	= Beimischgrad		
$\lambda$	= Rohrreibungszahl	$\rho$	= Dichte (kg/m <sup>3</sup> )		
$p_{minFl}$	= Mindestfließdruck (hPa)	$R$	= Rohrreibungsdruckgefälle (hPa/m)		
$p_{minHAL}$	= Druckverlust in der Hausanschlussleitung (hPa)	$R_{verf}$	= verfügbares Rohrreibungsdruckgefälle (hPa/m)		
$p_{minV}$	= Mindestversorgungsdruck (hPa)	$Re$	= Reynoldszahl		
$p_{WZ}$	= Druckverlust im Wasserzähler (hPa)	$t$	= Zeit (s)		
$p_{minWZ}$	= Mindestdruck nach dem Hauswasserzähler (Pa)	$TS$	= Teilstrecke		
$\Delta p$	= Druckdifferenz (hPa)	$U_R$	= Wärmedurchgangskoeffizient für das Rohr (W/(m·K))		
$\Delta p_D$	= Druckverlust über Ventil (hPa)				
$\Delta p_{ges,v}$	= verfügbare Druckdifferenz (hPa)				
$\Delta p_P$	= Pumpendruckverlust (hPa)				
$\Delta p_R$	= Druckverlust durch Rohrreibung (hPa)				
$\Delta p_{verf}$	= verfügbare Druckdifferenz (hPa)				

# 9 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

<b>Abb. 1:</b> Ineinandergreifen der Parameter zur Sicherstellung der Trinkwassergüte	3	<b>Abb. 19:</b> Berücksichtigung der Verbrauchsstellen in einer Nutzungseinheit	13	<b>Abb. 34:</b> Aufteilung der Zirkulationsvolumenströme in einem Knotenpunkt	26
<b>Abb. 2:</b> Geschwindigkeitsprofil in einem Rohr - laminare (1) und turbulente (2) Strömung	4	<b>Abb. 20:</b> Spitzendurchfluss in Abhängigkeit des Summendurchflusses verschiedener Gebäudetypen	14	<b>Abb. 35:</b> Schematische Verteilung einer sinnvollen Geschwindigkeitsverteilung in einem Zirkulationssystem	27
<b>Abb. 3:</b> Moody-Diagramm	5	<b>Abb. 21:</b> Vergleich der Gleichzeitigkeitskurve für Wohngebäude nach alter und neuer Norm	15	<b>Abb. 36:</b> Schematische Darstellung des Zirkulationssystems	27
<b>Abb. 4:</b> Rohrreibungsdruckgefälle entlang eines Rohrabschnittes	6	<b>Abb. 22:</b> Wohnung mit drei Nutzungseinheiten	16	<b>Abb. 37:</b> Druckverluste im Zirkulationssystem	28
<b>Abb. 5:</b> Rohrreibungsdruckgefälle für Kupferrohr, Medientemperatur = 60°C	6	<b>Abb. 23:</b> Mindestdruck nach dem Wasserzähler	17	<b>Abb. 38:</b> Kurzschluss-Strömungen und Temperaturunterschreitungen aufgrund fehlender Regulierventile	28
<b>Abb. 6:</b> Druckverlustdiagramm eines Einzelwiderstandes	6	<b>Abb. 24:</b> Druckverluste in der Trinkwasser-Installation	18	<b>Abb. 39:</b> Durchflussdiagramm eines Zirkulationsventiles (KEMPER Eta-Therm, DN 15)	29
<b>Abb. 7:</b> Einteilung von Teilstrecken	7	<b>Abb. 25:</b> Strangschema Wohngebäude	21	<b>Abb. 40:</b> Strangschema eines Zirkulationssystems mit oberer Verteilung	29
<b>Abb. 8:</b> Einteilung der Teilstrecken bei Stromvereinigung	7	<b>Abb. 26:</b> Ergebnis der Zirkulationssimulation mit der Berechnungssoftware Dendrit STUDIO	21	<b>Abb. 41:</b> Längenverhältnis bei einem Zirkulationssystem mit oberer Verteilung (Quelle: DIN 1988-300)	29
<b>Abb. 9:</b> Druckverlust durch überlagerte Sekundärströmung im Rohrbogen	7	<b>Abb. 27:</b> Temperaturverlauf für einen Fließweg	21	<b>Abb. 42:</b> Inliner-Zirkulation	30
<b>Abb. 10:</b> Druckverlust durch Totwasser in Umlenkungen	7	<b>Abb. 28:</b> Schematische Darstellung des längsten Fließweges	22	<b>Abb. 43:</b> Querschnitt einer Inliner-Zirkulation	30
<b>Abb. 11:</b> Numerisch berechnete Geschwindigkeitsverteilung in einem Rohrwinkel (Quelle: Prof. Dipl.-Ing. B. Rickmann, FH Münster)	8	<b>Abb. 29:</b> Strangschema einer Steigstrang-Zirkulation mit thermostatischen Zirkulations-Regulierventilen	24	<b>Abb. 44:</b> Prinzipieller Aufbau eines Zirkulationssystems mit Inliner	30
<b>Abb. 12:</b> Totwassergebiete bei sprungartiger Querschnittverengung	8	<b>Abb. 30:</b> Strangschema einer Stockwerks-Zirkulation. In den Etagen kommen thermostatische Stockwerks-Regulierventile und in den Steigsträngen statische Zirkulations-Regulierventile zum Einsatz	24	<b>Abb. 45:</b> Beimischverfahren – Temperaturniveau	30
<b>Abb. 13:</b> Zeta-Werte von T-Stücken (Durchgang) in Abhängigkeit der Querschnittsflächen	8	<b>Abb. 31:</b> Unterschiedliche Arten der Rohrleitungsführung bei Zirkulationssystemen	25	<b>Abb. 46:</b> Volumenströme und Wärmeverluste – Beimischverfahren	31
<b>Abb. 14:</b> Totwassergebiet hinter einem Querschnittsprung	9	<b>Abb. 32:</b> Anordnung von Zirkulationsregulierventilen	25	<b>Abb. 47:</b> Schnittdarstellung des Berechnungsbeispiels „Pflegeheim“	32
<b>Abb. 15:</b> Stromfaden	9	<b>Abb. 33:</b> Schematische Darstellung der gedämmten Zirkulationsleitung	26	<b>Abb. 48:</b> Grundriss Kellergeschoss	32
<b>Abb. 16:</b> Stromfaden zwischen Eintrittspunkt 1 und Austrittspunkt 2 bei stationärer, inkompressibler und reibungsfreier Strömung	10			<b>Abb. 49:</b> Grundriss Erdgeschoss	32
<b>Abb. 17:</b> Prinzip des differenzierten Berechnungsverfahrens	10			<b>Abb. 50:</b> Grundrisse 1. OG bis 4. OG	33
<b>Abb. 18:</b> Bezeichnungen in Trinkwasser-Installationen	11			<b>Abb. 51:</b> Bewegungsflächen Bad / WC (behindertengerecht)	33

# 10 TABELLEN- VERZEICHNIS

<b>Abb. 52:</b> Strangschema PWH – Ausführungsempfehlung und Berechnungsbeispiel	33		
<b>Abb. 53:</b> Durchflussdiagramm eines KFR-Ventils (KEMPER, DN 32)	36	<b>Tabelle 1:</b> Mindestfließdrücke und Mindestwerte für den Berechnungsdurchfluss gebräuchlicher Trinkwasser- entnahmestellen (DIN 1988-300)	12
<b>Abb. 54:</b> Durchflussdiagramm eines Durchgangs- Rückflussverhinderers (KEMPER, DN 25)	36	<b>Tabelle 2:</b> Konstanten für den Spitzen- durchfluss nach Gleichung 16 (nach DIN 1988-300)	13
<b>Abb. 55:</b> Strangschema mit hydraulisch ungünstigstem Fließweg	37	<b>Tabelle 3:</b> Maximal rechnerische Fließ- geschwindigkeiten bei zuge- ordnetem Spitzendurchfluss (DIN 1988-300)	17
<b>Abb. 56:</b> Durchflussdiagramm eines KFR-Ventils (KEMPER, DN 32)	38	<b>Tabelle 4:</b> Referenzwerte für Druckver- luste $\Delta p_{TE}$ von Gruppen- Trinkwassererwärmern (DIN 1988-300)	19
<b>Abb. 57:</b> Prinzipschaltbild der zirkulierenden Warmwasser- Installation	42	<b>Tabelle 5:</b> Darstellung der Rohrleitungs- länge bei einem Leitungs- volumen von 3 Litern am Beispiel einer Rohrleitung aus nichtrostendem Stahl (Edelstahl)	22
<b>Abb. 58:</b> Durchgangs- und Abzweig- wege an einem Knotenpunkt	44	<b>Tabelle 6:</b> Komfortkriterien für eine Dusche nach VDI 6003	23
<b>Abb. 59:</b> Knotenpunkt Steigstrang 1	45	<b>Tabelle 7:</b> Anzahl der Sanitärobjekte je Geschoss	33
<b>Abb. 60:</b> Volumenstromaufteilung bei $\eta = 0$	46	<b>Tabelle 8:</b> Rohrtabelle DIN 1988-300	34
<b>Abb. 61:</b> Temperaturverlauf der PWH-Teilstrecke 3	46	<b>Tabelle 9:</b> Berechnungsdurchfluss $\dot{V}_R$ und Mindestfließdruck $p_{\min FI}$ der Entnahmestellen	35
<b>Abb. 62:</b> Durchflussdiagramm eines Durchgangs-Rückflussver- hinderers (KEMPER, DN 25)	47	<b>Tabelle 10:</b> Längenangaben und Zeta-Werte der Teilstrecken PWH	35
<b>Abb. 63:</b> Prinzipschaltbild mit Teilstrecken-Bezeichnung	50	<b>Tabelle 11:</b> Längenangaben und Zeta-Werte der Teilstrecken PWH-C	36
		<b>Tabelle 12:</b> Darstellung der Berech- nungsergebnisse für den hydraulisch ungünstigsten Fließweg	41
		<b>Tabelle 13:</b> Angaben Rohrleitungs- dämmung (Rohraußen- durchmesser / Dämmschichtdicke)	43
		<b>Tabelle 14:</b> Berechnungsergebnisse für einen Beimischgrad von $\eta=0$	48
		<b>Tabelle 15:</b> Teilstrecken-Daten der zirkulierenden PWH- Rohrleitungen	50
		<b>Tabelle 16:</b> Teilstrecken-Daten der PWH-C-Rohrleitungen	52

# MILLIONEN KEIME

bilden sich in Trinkwasser, das nicht ausreichend genutzt wird.

ODER AUCH NICHT.



**KEMPER**

FORTSCHRITT MACHEN

[www.kemper-olpe.de/trinkwasserhygiene](http://www.kemper-olpe.de/trinkwasserhygiene)





