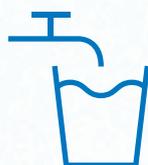


KOMPETENZBROSCHÜRE

# **BEMESSUNG** VON TRINKWASSER- INSTALLATIONEN

NACH DIN 1988-300,  
PROF. DR.-ING. CARSTEN BÄCKER

**IN KOOPERATION  
MIT KEMPER**







# INHALT

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Anwendungsbereiche</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Strömungstechnische Grundlagen</b>	<b>10</b>
3.1	Druck	11
3.2	Durchfluss, Geschwindigkeit	12
3.3	Reynoldszahl	13
3.4	Rohrreibungszahl $\lambda$	14
3.4.1	Rohrreibungszahl $\lambda$ für laminare Strömungen	14
3.4.2	Rohrreibungszahl für turbulente Strömungen	14
3.4.3	Rohrreibungsdruckgefälle	16
3.5	Einzelwiderstände	17
3.5.1	Teilstreckenanzuordnung der Einzelwiderstände	18
3.5.2	Einfluss von Richtungsänderungen	19
3.5.3	Einfluss von sprunghaften Querschnittsveränderungen	20
<b>4</b>	<b>Bemessung von Kalt- und Warmwasserleitungen</b>	<b>22</b>
4.1	Einleitung	23
4.2	Prinzip des differenzierten Bemessungsverfahrens	24
4.3	Berechnungsdurchfluss und Mindestfließdruck	26
4.4	Summendurchfluss	28
4.5	Spitzendurchfluss	29
4.5.1	Ermittlung des Spitzendurchflusses bei Nutzungseinheiten (NE)	33
4.6	Fließgeschwindigkeit	34
4.7	Druckbetrachtung	35
4.7.1	Mindestversorgungsdruck	35
4.7.2	Ermittlung des verfügbaren Druckgefälles für die Rohrleitung	36
4.7.3	Apparatedruckverlust	37
4.7.4	Druckverlust von Einzel-Trinkwassererwärmern	38
4.7.5	Druckverlust von Gruppen-Trinkwassererwärmern	38
4.8	Besonderheit der Ringleitung	39
4.9	Ausschreibung	40
4.10	Dokumentation der Berechnung	41

---

<b>5</b>	<b>Zirkulationssysteme</b>	<b>42</b>
5.1	Notwendigkeit der differenzierten Berechnung	43
5.2	Planungsrelevante Anforderungen an das Zirkulationssystem	44
5.3	Trinkwassererwärmer mit hohem Wasseraustausch	46
5.4	Höherwertige Anforderungen aus Hygiene und Komfort	47
5.5	Steigstrang-Zirkulation	49
5.6	Stockwerks-Zirkulation	50
5.7	Bemessung von Zirkulationssystemen	51
5.7.1	Berechnung des Zirkulationsvolumenstroms	53
5.7.2	Berechnung der Volumenströme in einem Knotenpunkt	54
5.7.3	Geschwindigkeitsverteilung	55
5.7.4	Ermittlung der Pumpendruckdifferenz	55
5.8	Einregulierungsmaßnahmen – Zirkulationsregulierventile	57
5.8.1	Erforderlicher $k_v$ -Bereich von Zirkulationsregulierventilen	58
5.9	Zirkulationssystem mit oberer Verteilung	59
5.10	Besonderheiten bei der Inliner-Zirkulation	60
5.11	Beimischverfahren	61

---

<b>6</b>	<b>Berechnungsbeispiel Pflegeheim</b>	<b>62</b>
6.1	Objektbeschreibung	63
6.1.1	Anlagenparameter	66
6.2	Rohrnetzdimensionierung nach DIN 1988-300	71
6.3	Auslegung Zirkulationssystem nach DIN 1988-300/DVGW W 553	79
6.3.1	Berechnung der Zirkulation	80

---

<b>7</b>	<b>Anhang zum Berechnungsbeispiel Pflegeheim</b>	<b>90</b>
----------	--	-----------

---

<b>8</b>	<b>Formelzeichen</b>	<b>94</b>
----------	----------------------	-----------

---

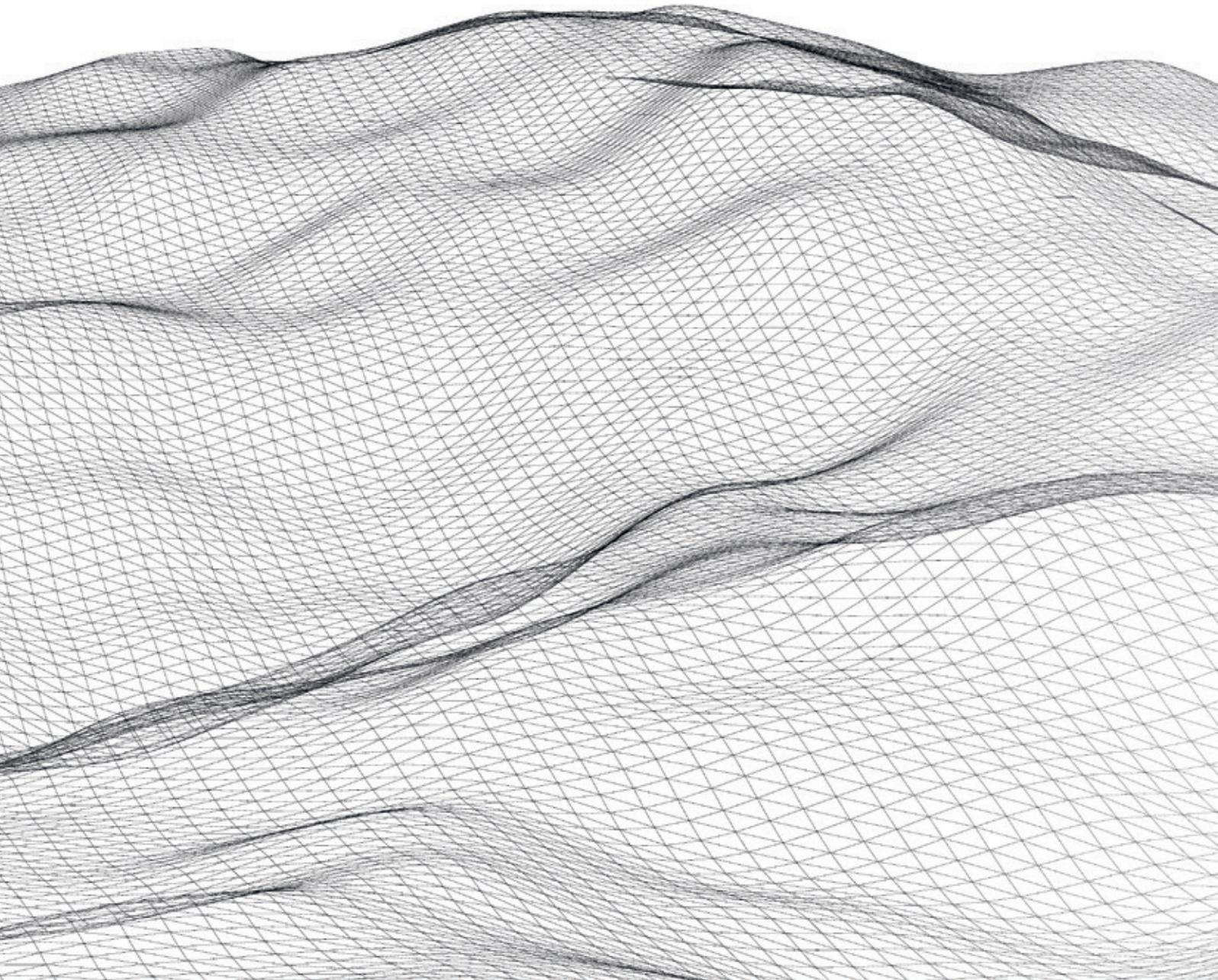
<b>9</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>96</b>
----------	------------------------------	-----------

---

<b>10</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>98</b>
-----------	----------------------------	-----------

KAPITEL EINS

# **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 Ausbildungs/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.



KAPITEL ZWEI

# **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 Leitungsinnenwände, 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 Trinkwassernetzes 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 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.



ABBILDUNG 1

Ineinandergreifen der Parameter zur Sicherstellung der Trinkwassergüte.

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 also um den kleinsten gemeinsamen Nenner einer Berechnungsnorm auf europäischer Ebene. Bei dem

Berechnungsverfahren aus der DIN 1988-300 handelt es sich um eine differenzierte Rohrnetzberechnung. 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 W 553<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 sechs Wohneinheiten auch nach der DIN EN 806-3 dimensioniert werden. Dieses 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, auch für diese 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) in der Trinkwasser-Installation bestimmen. Hierbei geht es um die Ermittlung des Durchflusses und des tatsächlichen Druckverlusts. 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 Rohrinne Durchmesser – Vereinfahtes 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.

KAPITEL DREI

STRÖMUNGS-  
TECHNISCHE  
**GRUNDLAGEN**



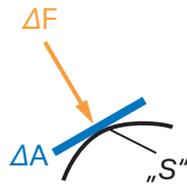
## 3.1 DRUCK

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:

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

## 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.

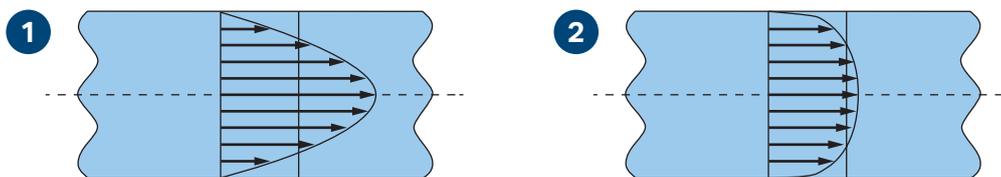


ABBILDUNG 2

Geschwindigkeitsprofil in einem Rohr – laminare (1) und turbulente (2) Strömung.

## 3.4 ROHRREIBUNGSZAHL $\lambda$

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

### 3.4.1 ROHRREIBUNGSZAHL $\lambda$ FÜR LAMINARE STRÖMUNGEN

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

GLEICHUNG 4

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

### 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 Reynoldszahl  $Re$ , von der Rohrrauigkeit  $k$  und vom Rohrrinnendurchmesser  $d_i$  abhängig. Die absolute Rauigkeit  $k$  hat die Dimension der Länge. Die relative Rauigkeit  $k/d_i$  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 Zementmörtel-  
auskleidung: 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 Ermittlung der Rohrreibungszahl  $\lambda$  in Abhängigkeit von der Reynoldszahl  $Re$  und der relativen Rauigkeit des Rohres  $k/d_i$ .

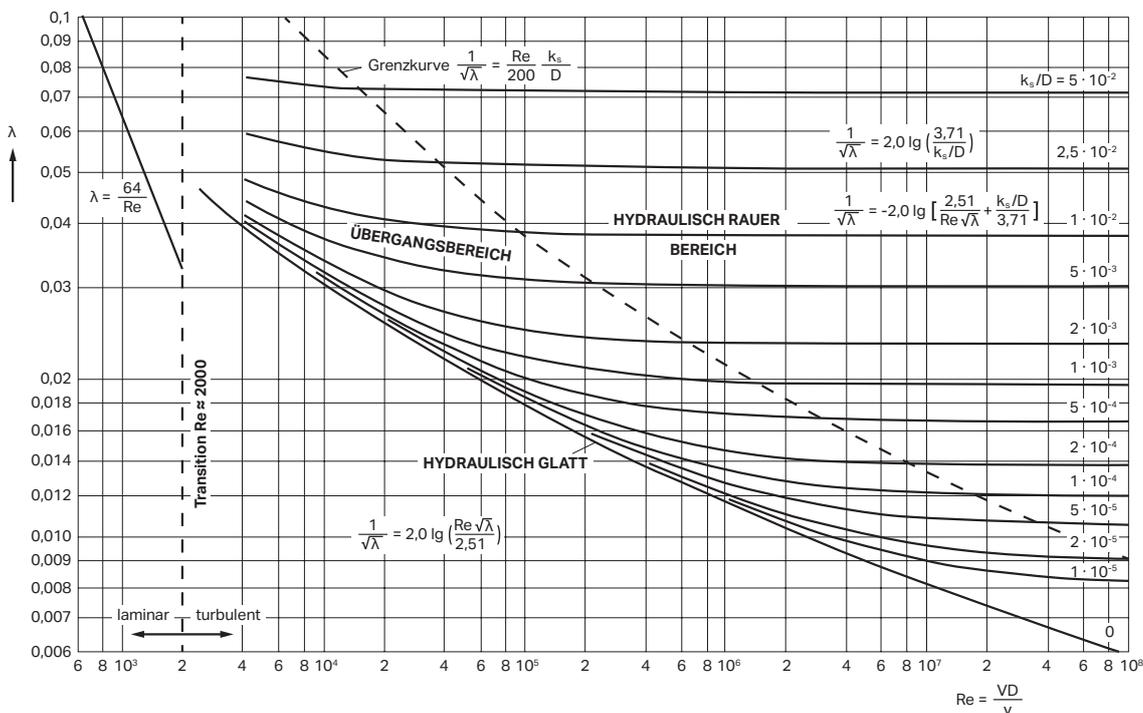


ABBILDUNG 3  
Moody-Diagramm.

### 3.4.3 ROHRREIBUNGSDRUCKGEFÄLLE

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

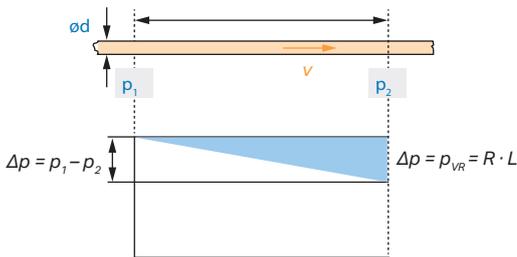


ABBILDUNG 4  
Rohrreibungsdruckgefälle entlang eines Rohrabchnittes.

Das Rohrreibungsdruckgefälle  $R$  errechnet sich aus dem Quadrat der mittleren Fluidgeschwindigkeit  $v$ , der Fluidichte  $\rho$ , dem Rohrinne Durchmesser  $d_i$  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 Rohrinne Durchmesser  $d_i$  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 Rohrinne Durchmesser 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.

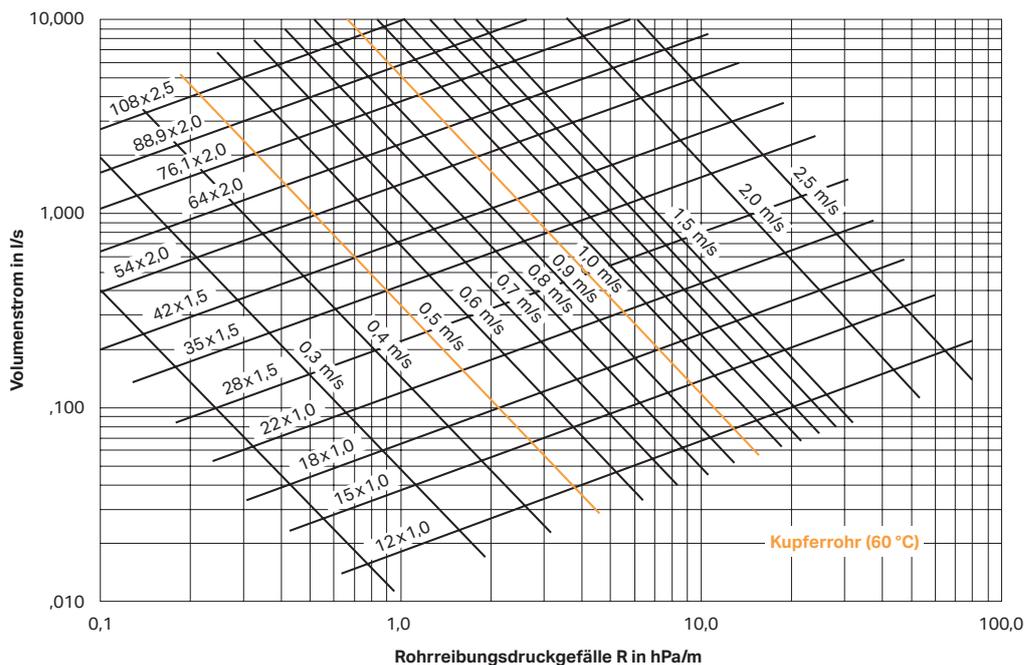


ABBILDUNG 5  
Rohrreibungsdruckgefälle für Kupferrohr, Medientemperatur = 60 °C.

## 3.5 EINZELWIDERSTÄNDE

In Rohrleitungsanlagen sind neben geraden Rohrstrecken 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  $p_{\text{dyn}}$ :

GLEICHUNG 10

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

$\Delta p_E$	Druckverlust der Einzelwiderstände (in Pa)
$\xi$	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 Reynoldszahl abhängig.

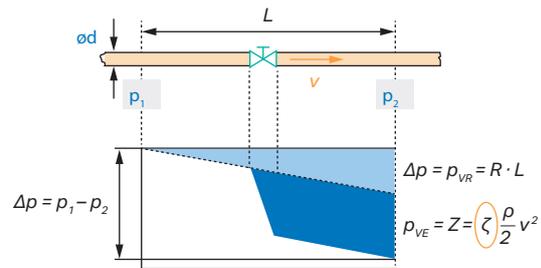


ABBILDUNG 6

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 Widerstandsbeiwerte angegeben. Diese dienen jedoch nur für die herstellernerneutrale Berechnung, solange der Rohrersteller 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.

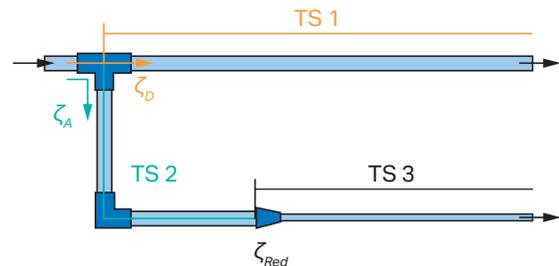


ABBILDUNG 7  
Einteilung von Teilstrecken.

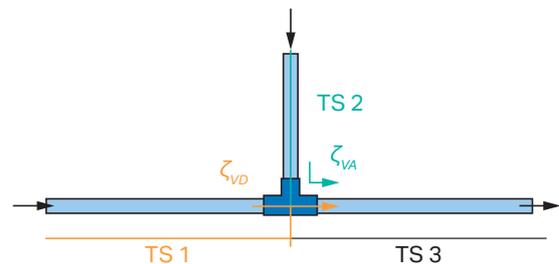


ABBILDUNG 8  
Einteilung der Teilstrecken bei Stromvereinigung.

5 DVGW-Prüfgrundlage W 575, Januar 2012 | Ermittlung von Widerstandsbeiwerten für Form- und Verbindungsstücke in der Trinkwasser-Installation.

## 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 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 dem 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 ( $\rightarrow$  ABBILDUNG 10) hat zur Folge, dass das Fluid aufgrund seiner Trägheit der inneren Kontur des Bauteils

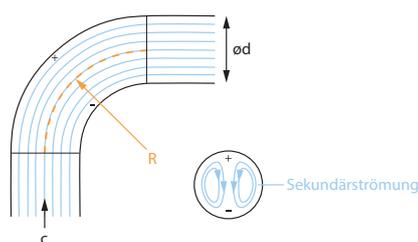


ABBILDUNG 9

Druckverlust durch überlagerte Sekundärströmung im Rohrbogen.

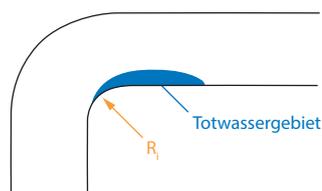


ABBILDUNG 10

Druckverlust durch Totwasser in Umlenkungen.

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.

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

Diese Situation ist in der Abbildung 11 als Ergebnis einer numerischen Berechnung der Strömung in einem Bogen dargestellt. Die Fluidgeschwindigkeit ist durch unterschiedliche Farben kenntlich gemacht. Deutlich sind die Bereiche mit niedriger Geschwindigkeit auszumachen (blau). Im verengten Querschnitt treten die höchsten Geschwindigkeiten auf.

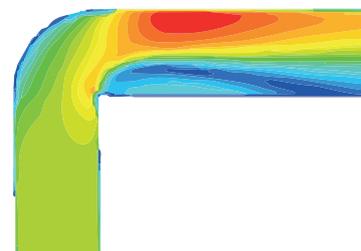


ABBILDUNG 11

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 Querschnittverengung auf die Strömung skizziert. Diese un stetige Querschnittsverengung ist beispielsweise bei Pressfittings am Übergang Rohrquerschnitt/Fitting gegeben.

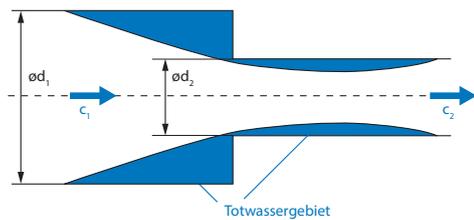


ABBILDUNG 12

Totwassergebiete bei sprungartiger Querschnittverengung.

Um in den verengten Querschnitt eintreten zu können, müssen die Fluidteilchen, die auf den äußeren Durchmessern des großen Rohrquerschnittes 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 vor und hinter dem Querschnittsprung Totwassergebiete, in denen das Fluid verwirbelt 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.

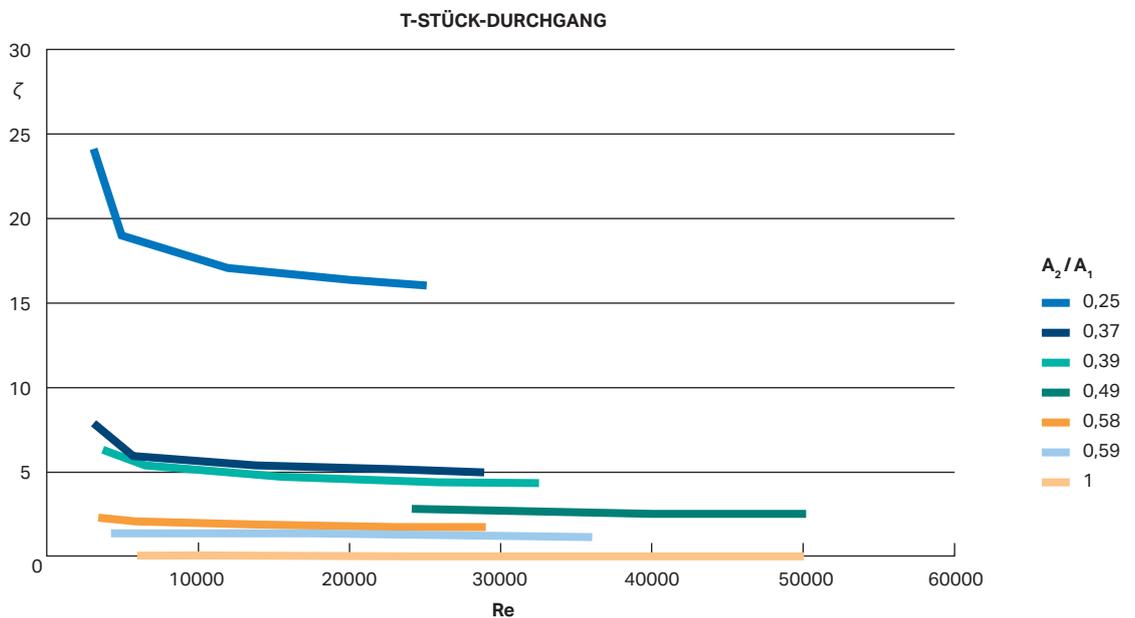


ABBILDUNG 13

Zeta-Werte von T-Stücken (Durchgang) in Abhängigkeit von den Querschnittsflächen.

Je kleiner das Verhältnis der Querschnittsflächen (→ GLEICHUNG 11) ist, umso stärker kontrahiert der Fluidstrom und umso größer ist die radiale und axiale Ausdehnung des Totwassergebiets. 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.

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.

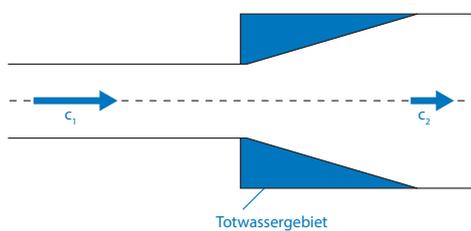


ABBILDUNG 14

Totwassergebiet hinter einem Querschnittsprung.

KAPITEL VIER

# **BEMESSUNG**

## VON KALT- UND WARMWASSER- LEITUNGEN

## 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.

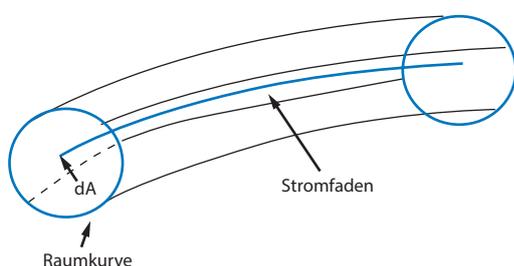


ABBILDUNG 15  
Stromfaden.

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) 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:

GLEICHUNG 12

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

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

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.

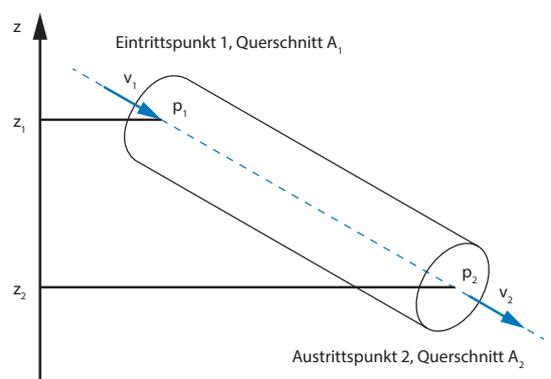


ABBILDUNG 16  
Stromfaden zwischen Eintrittspunkt 1 und Austrittspunkt 2 bei stationärer inkompressibler und reibungsfreier Strömung.

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 des Berechnungsverfahrens in Abbildung 17 dargestellt.

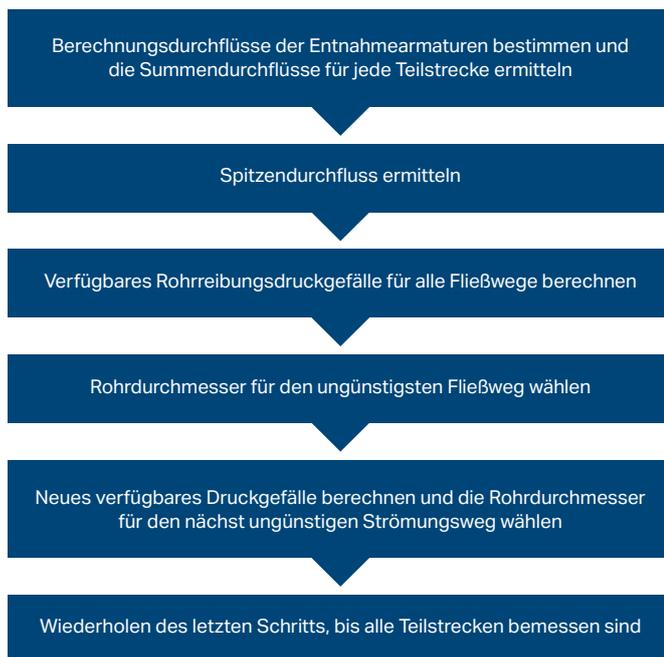


ABBILDUNG 17

Prinzip des differenzierten Berechnungsverfahrens.

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 gleich bleiben. 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 angebotenen Entnahmearmaturen zugeordnet. Weiter ist den einzelnen Entnahmearmaturen der Berechnungsdurchfluss  $\dot{V}_R$  zuzuordnen. Aus dem Berechnungsdurchfluss wird für jede Teilstrecke der Summendurchfluss  $\sum \dot{V}_R$  gebildet. Da nicht alle Entnahmearmaturen 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 ungünstigsten 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 Rohrreibungsdrukgefälle  $R_v$  bezeichnet.

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

GLEICHUNG 13

$$p_{\min V} = p_{\min Fl} + \Delta p_{\text{geod}} + \Delta p_{WZ} + \sum \Delta p_{Ap} + \Delta p_{St} + \sum(l \cdot R + Z)$$

GLEICHUNG 14

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

$P_{\min V}$	Minimaler statischer Überdruck an der Anschlussstelle an die Versorgungsleitung, nach Angabe des zuständigen Wasserversorgungsunternehmens (WVU)
$P_{\min FI}$	Erforderlicher statischer Überdruck an der Anschlussstelle für eine Entnahmematur bei ihrem Mindest-Entnahmeverluststrom
$\Delta p_{\text{geod}}$	Geodätische Druckdifferenz, resultierend aus der Höhendifferenz zwischen Anschlussleitung und Entnahmematur
$\Delta p_{\text{WZ}}$	Druckverlust im Wasserzähler
$\Delta p_{\text{Ap}}$	Druckverlust in Apparaten, wie Filtern $\Delta p_{\text{FIL}}$ , Dosieranlagen $\Delta p_{\text{DOS}}$ , Enthärtungsanlagen $\Delta p_{\text{EH}}$
$\Delta p_{\text{St}}$	Druckverlust in Stockwerks- und Einzelzuleitungen (nur im vereinfachten Berechnungsgang)
$\Delta p_{\text{verf}}$	Verfügbare Druckdifferenz für Rohrreibung und Einzelwiderstände
$\Sigma(I \cdot R + Z)$	Druckverlust aus Rohrreibung und Einzelwiderständen im Fließweg, beginnend in der Hausanschlussleitung bis zur jeweiligen Entnahmestelle bzw. bis zum Stockwerksabschluss

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

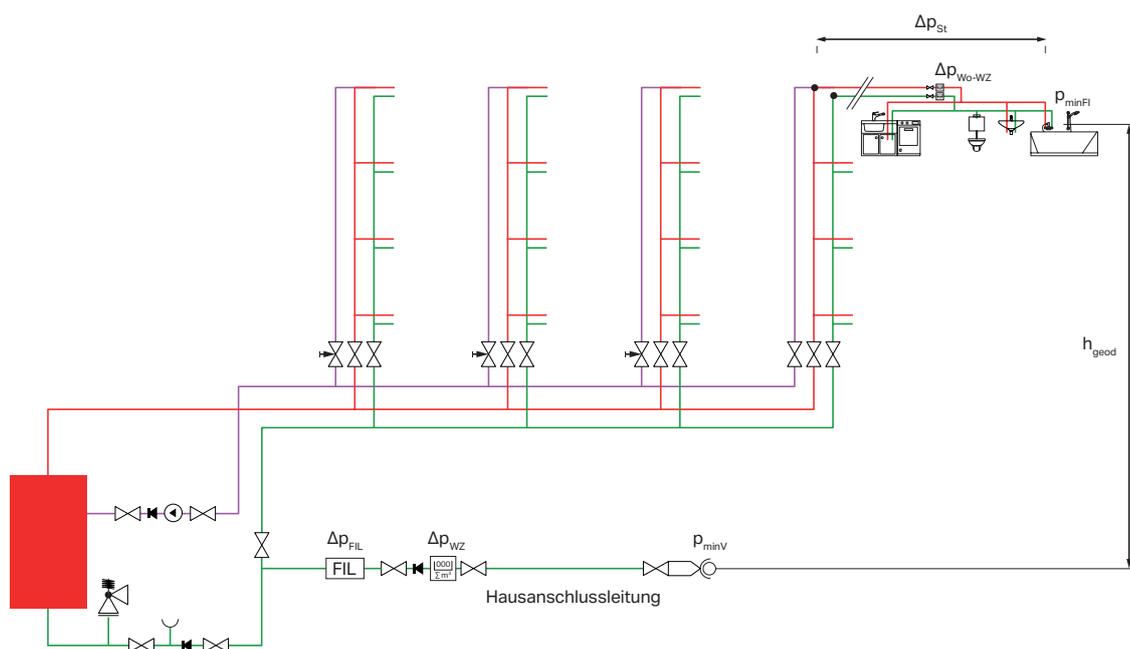
GLEICHUNG 15

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

$\Delta p_{\text{verf}}$	Verfügbar für den Druckverlust aus Rohrreibung und Einzelwiderständen (in hPa)
$a$	Vorgeschätzter prozentualer Anteil der Einzelwiderstandsverluste am Gesamtdruckverlust (in %)
$l_{\text{ges}}$	Gesamtlänge des zu berechnenden Fließweges (in m)

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 nächstungünstigen Fließwegs fortgefahren werden. Hierzu muss jedoch wieder das zur Verfügung stehende Rohrreibungsdrukgefälle ermittelt werden. Dieses muss wiederholt werden, bis alle Fließwege der Trinkwasser-Installation dimensioniert sind.

ABBILDUNG 18  
Bezeichnungen in Trinkwasser-Installationen.





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.

## 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, ergeben sich zwei Möglichkeiten.

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

TABELLE 1: MINDESTFLIESSDRÜCKE UND MINDESTWERTE FÜR DEN BERECHNUNGSDURCHFLUSS GEBRÄUCHLICHER TRINKWASSER-ENTNAHMESTELLEN (DIN 1988-300)

Art der Entnahmestelle	Mindestfließdruck		
	DN	$p_{minFL}$ 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 Badewanne Küchenspüle Waschbecken Sitzwaschbecken	15	0,10	0,15
	15	0,10	0,15
	15	0,10	0,07
	15	0,10	0,07
	15	0,10	0,07
<b>Maschinen für Haushalte</b> • Waschmaschine (nach DIN EN 60456) • Geschirrspülmaschine (nach DIN EN 50242)	15	0,05	0,15
	15	0,05	0,07
<b>WC-Becken und Urinale</b> • Füllventil für Spülkasten (nach DIN EN 14124) • Druckspüler (manuell) für Urinal (nach DIN EN 12541) • Druckspüler (elektronisch) für Urinal (nach DIN EN 15091) • Druckspüler für WC	15	0,05	0,13
	15	0,10	0,30
	15	0,10	0,30
	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 Entnahmemarmatur zu berücksichtigen.

## 4.4 SUMMENDURCHFLUSS

Es müssen alle Berechnungsdurchflüsse  $\dot{V}_R$  zum Summendurchfluss  $\Sigma \dot{V}_R$  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 Nutzungseinheiten (NE) ein zweites Waschbecken oder eine Duschwanne zusätzlich zur Badewanne vorhanden ist, werden diese beim Summendurchfluss nicht berücksichtigt (→ ABBILDUNG 19).
- Wenn in einer 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 NE vorhanden ist, werden diese beim Summendurchfluss nicht berücksichtigt.

Es wird bei der Aufaddierung der Berechnungsdurchflüsse für die Rohrnetzberechnung 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 auszuweisen. Typische Dauerverbraucher sind Entnahmearmaturen, die für die Wasserentnahme zur Grünflächenbewässerung vorgesehen sind.

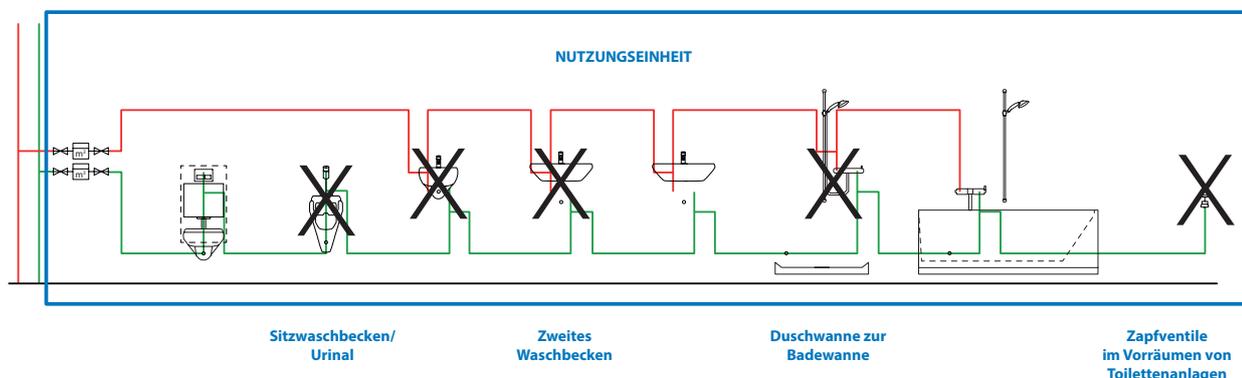


ABBILDUNG 19

Berücksichtigung der Verbrauchsstellen in einer Nutzungseinheiten.

## 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 von der Nutzungsart und dem Summendurchfluss der für die Rohrnetzdimensionierung benötigte Spitzendurchfluss ermitteln.

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 vom Summendurchfluss für die verschiedenen Gebäudetypen dargestellt. Es wird deutlich, in welchen Gebäudetypen mit einer sehr hohen Gleichzeitigkeit

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

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 nicht ein Verwaltungsgebäude einem anderen gleicht.

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 dem Gebäudetyp „Hotel“ 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.

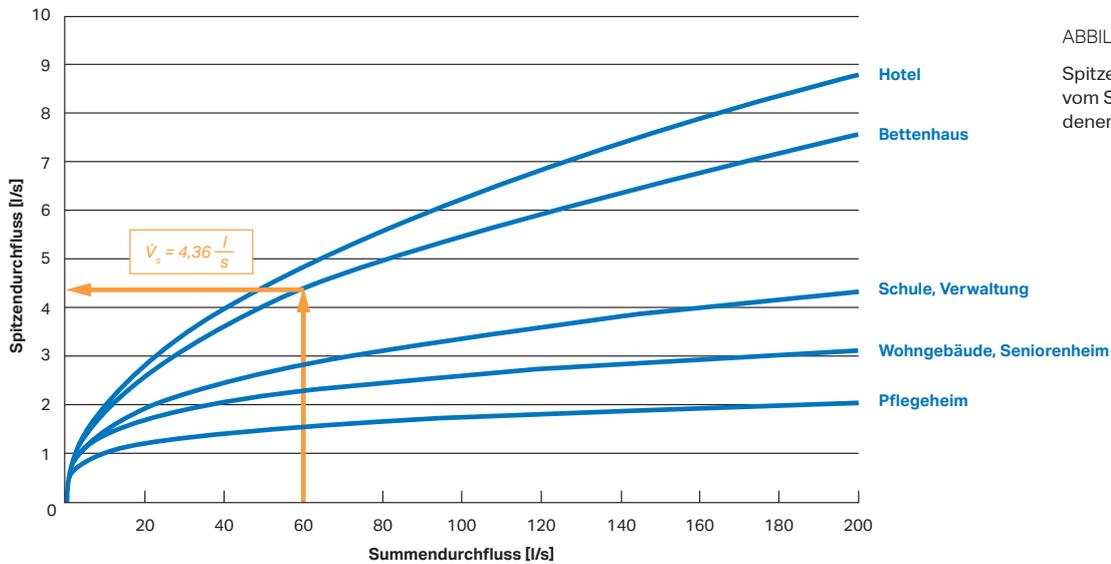


ABBILDUNG 20

Spitzendurchfluss in Abhängigkeit vom Summendurchfluss verschiedener Gebäudetypen.

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 sich nicht auf das gesamte Krankenhaus bezieht, sondern nur auf den Bereich des Bettenhauses. Dies bedeutet, dass für die funktionalen Bereiche wie Ambulanz, Küche, OP-Bereich, Bettenaufbereitung 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 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 ausge-

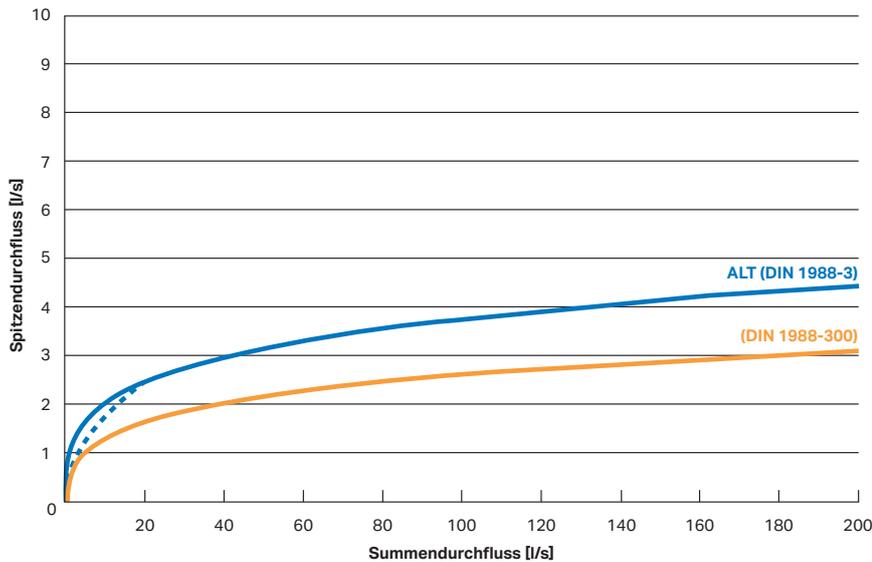


ABBILDUNG 21

Vergleich der Gleichzeitigkeitskurve für Wohngebäude nach alter und neuer Norm.

gangen, 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 symbolisiert, dass bei der Überarbeitung die Gleichzeitigkeitskurven an das aktuelle Nutzungsverhalten und an den Rückgang des Pro-Kopf-Verbrauches 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 Entnahmemarmatur, 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 Entnahmevermögenströme 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 angebotenen 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 Spitzen-

durchflüsse 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.

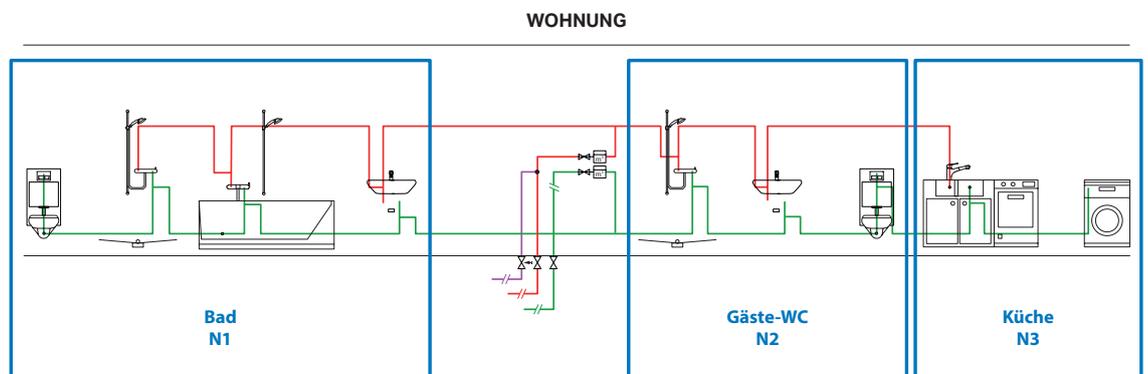


ABBILDUNG 22  
Wohnung mit drei Nutzungseinheiten.

## 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 NE eine weitere Möglichkeit, den Spitzendurchfluss zu ermitteln.

Bei einer NE handelt es sich um einen Raum mit Entnahmestellen in einem Wohngebäude. Damit kann eine NE zum Beispiel ein Bad, eine Küche oder ein Hausarbeitsraum sein (→ ABBILDUNG 22). Eine NE ist jedoch niemals eine ganze Wohnung oder Etage. Liegt eine wohnungsähnliche Nutzung vor, kann eine NE auch ein Raum in einem Nichtwohngebäude sein. Beispiele hierfür sind Bäder in Hotels, Seniorenheimen und Bettenhäuser im Krankenhaus.

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

Der Spitzendurchfluss einer Teilstrecke in einer NE ergibt sich maximal aus der Addition der beiden größten an der Teilstrecke 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 NE im Bereich der Sammelleitung oder der Steigleitung zusammen, werden die Spitzendurchflüsse der beiden NE addiert. 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 (→ 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 maximale 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.

TABELLE 3: MAXIMALE RECHNERISCHE FLIESSGESCHWINDIGKEITEN BEI ZUGEORDNETEM SPITZENDURCHFLUSS (DIN 1988-300)

Leitungsabschnitt	Maximale rechnerische Fließgeschwindigkeit bei Fließdauer m/s	
	< 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> Zum Beispiel Kolbenschieber, Kugelhahn, Schrägsitzventile.

<sup>b</sup> Zum Beispiel Geradsitzventil.

## 4.7 DRUCKBETRACHTUNG

### 4.7.1 MINDESTVERSORGUNGSDRUCK

Der Mindestdruck (Fließdruck) nach dem Wasserzähler  $p_{\text{minWZ}}$  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  $p_{\text{minV}}$  zur Verfügung, kann der Mindestdruck nach dem Wasserzähler  $p_{\text{minWZ}}$  entsprechend den Vorgaben der Norm ermittelt werden.

Alternativ kann das WVU den Werkstoff und die Nennweite der Anschlussleitung, die Bauart der Hauptabsperrereinrichtung (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  $p_{\text{nach}}$  nach der DEA berücksichtigt.

Beim Einsatz eines Druckminderers wird zwischen zwei Fällen unterschieden:

- Ist der Versorgungsdruck stets höher als der Ausgangsdruck, beginnt die Berechnung der Druckverluste ab dem Ausgangsdruck des Druckminderers.
- 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 Apparatedruckverlust  $\Delta p_{\text{Ap}}$  zu berücksichtigen.

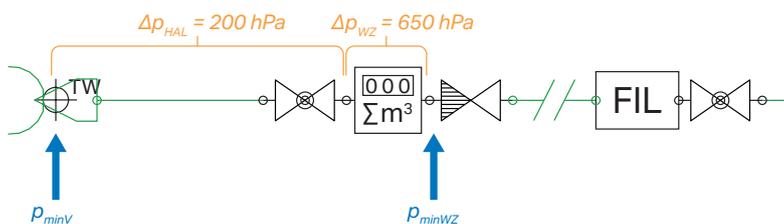


ABBILDUNG 23

Mindestdruck nach dem Wasserzähler.

$$p_{\text{minWZ}} = p_{\text{minV}} - \Delta p_{\text{HAL}} - \Delta p_{\text{WZ}}$$

$$p_{\text{minWZ}} = p_{\text{minV}} - 200 \text{ hPa} - 650 \text{ hPa} = p_{\text{minV}} - 850 \text{ hPa}$$

$p_{\text{minWZ}}$	Mindestdruck nach dem Hauswasserwähler (hPa)
$p_{\text{minV}}$	Mindestversorgungsdruck (hPa)
$\Delta p_{\text{HAL}}$	Druckverlust in der Hausanschlussleitung (= 200 hPa)
$\Delta p_{\text{WZ}}$	Druckverlust im Wasserzähler (= 650 hPa)

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

GLEICHUNG 18

$$p_{\min WZ} = \Delta p_{\text{geo}} + \Sigma \Delta p_{\text{Ap}} + \Sigma \Delta p_{\text{RV}} + \Sigma(l \cdot R + Z) + p_{\min \text{Fl}}$$

GLEICHUNG 19

$$\Delta p_{\text{ges,v}} = p_{\min WZ} - \Delta p_{\text{geo}} - \Sigma \Delta p_{\text{Ap}} - \Sigma \Delta p_{\text{RV}} - p_{\min \text{Fl}}$$

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

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

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

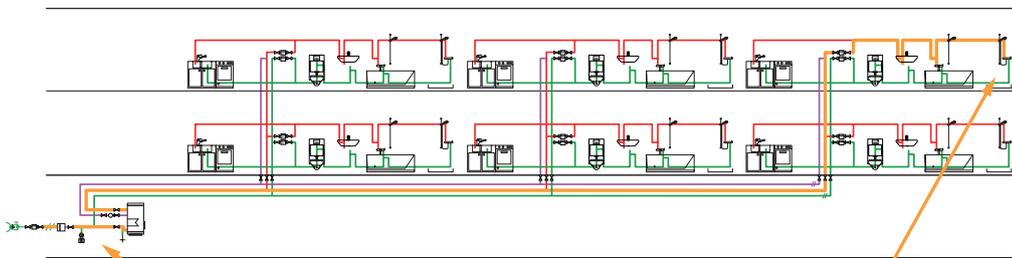


ABBILDUNG 24

Druckverluste in der Trinkwasser-Installation.

$$p_{\min WZ} = \Delta p_{\text{geo}} + \Sigma \Delta p_{\text{Ap}} + \Sigma \Delta p_{\text{RV}} + \Sigma(l \cdot R + Z) + p_{\min \text{Fl}}$$

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

## 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 Wasserzähler, Filter oder Gruppen-Trinkwassererwärmer.

GLEICHUNG 21

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

$\Delta p_{Ap}$	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 Entnahmearmatur 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.

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 • elektronisch gesteuert	1000 800
Elektro- bzw. Gas-Speicher-Wassererwärmer, Nennvolumen bis 80 l	200
Gas-Durchfluss-Wasserheizer und Gas-Kombi-Wasserheizer nach DIN EN 297, DIN EN 625	800

## 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  $\Delta p_{\text{Ring}}$  ist bei der Bestimmung des verfügbaren Druckgefälles  $R_v$  zusätzlich zu berücksichtigen.

Der Druckbedarf ist für die gleichzeitige Entnahme an den beiden größten Entnahmemarmaturen 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 4 nach DIN 1988-330 aufgeführten Fließgeschwindigkeiten (→ TABELLE 3) nicht überschritten werden.

GLEICHUNG 22

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

$\Delta p_{\text{ges,v}}$	Verfügbare Druckdifferenz (in hPa)
$p_{\text{minWZ}}$	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)
$p_{\text{minFl}}$	Mindestfließdruck an der Entnahmemarmatur (in hPa)
$\Delta p_{\text{Ring}}$	Druckverlust in Ringleitung (in hPa)

## 4.9 AUSSCHREIBUNG

Um das Ziel der DIN 1988-300, ein schlankes Rohrnetz zu dimensionieren, zu erfüllen, muss die Rohrnetzbe-  
rechnung mit herstellerspezifischen Daten durchge-  
führt werden. Die Folge ist eine sehr viel genauere Be-  
rechnung.

Bei einer öffentlichen Ausschreibung kann dieses zu  
Problemen führen, da die Ausschreibung produktneut-  
ral 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 Rohr-  
systems feststeht, ist hier eine Neuberechnung des  
Rohrnetzes erforderlich. Die hierfür entstehenden  
Kosten sollten schon bei der Ausschreibung berück-  
sichtigt werden.

Dieses bedeutet auch, dass ein Fabrikatswechsel des  
Rohrwerkstoffes und der Komponenten in der Trink-  
wasser-Installation ohne Neuberechnung des Rohr-  
netzes 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.



KAPITEL FÜNF

# ZIRKULATIONS- SYSTEME

## 5.1 NOTWENDIGKEIT DER DIFFERENZIERTEN BERECHNUNG

Damit ein Zirkulationssystem während des Betriebs einer Trinkwasser-Installation dauerhaft einwandfrei funktioniert, ist eine differenzierte Rohrnetzberechnung notwendig. Über den rein funktionellen Gedanke gibt es aber auch in den einschlägigen Normen für die Planung von Trinkwasser-Installationen konkrete Hinweise auf die Notwendigkeit einer differenzierten Rohrnetzberechnung. 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 Rohrnetzberechnung nicht erfüllt werden.

Die Notwendigkeit des hydraulischen Abgleichs eines Zweikreissystems 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.“

ABBILDUNG 25

Strangschema Wohngebäude.

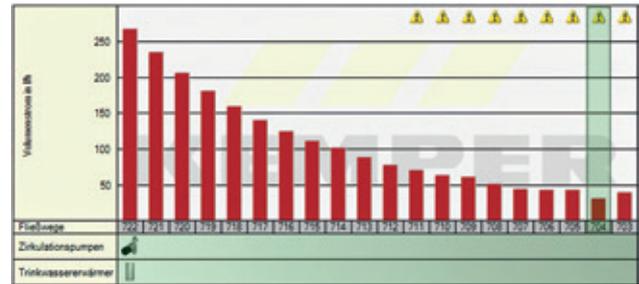
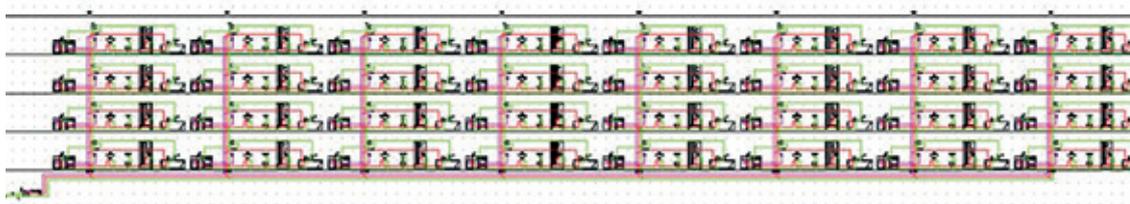


ABBILDUNG 26

Ergebnis der Zirkulationssimulation mit der Berechnungssoftware Dendrit STUDIO.

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 Steigstrang-Zirkulation.

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.

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

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.

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

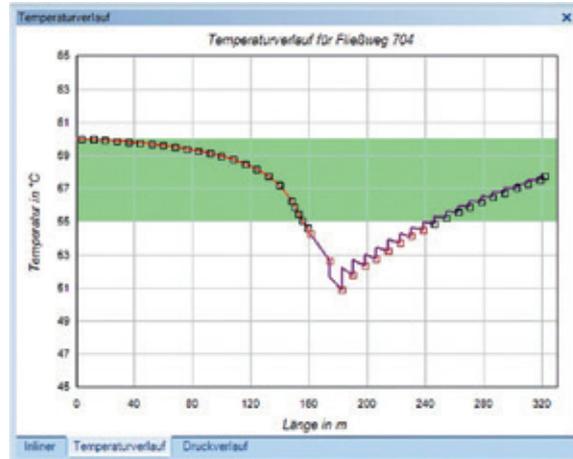


ABBILDUNG 27

Temperaturverlauf für einen Fließweg.

## 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 drei Liter überschreitet. Hierbei wird der Rohrleitungsinhalt vom Abgang des zentralen Trinkwassererwärmers bis zur entferntesten Entnahmestelle betrachtet.

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 Temperaturhaltebänder zu.

Stockwerks- und/oder Einzelzuleitungen können auch ohne ein Zirkulationssystem umgesetzt werden. Hierfür muss bei der Leitungsführung aber auch berücksichtigt werden, dass ein Rohrleitungsinhalt von drei 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 maximalen 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 3-Liter-Regel als Obergrenze zu verstehen ist und kleinere Leitungsvolumen grundsätzlich anzustreben sind. Hierauf weist die DIN 1988-200 explizit hin.

10 DVGW W 551, April 2004 | Trinkwassererwärmungs- und Trinkwasserleitungsanlagen – Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums – Planung, Errichtung, Betrieb und Sanierung von Trinkwasser-Installationen.

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

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

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

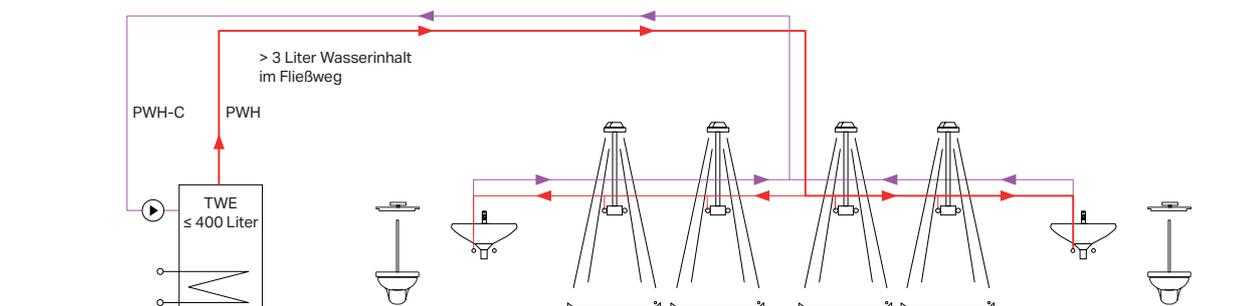


ABBILDUNG 28  
Schematische Darstellung des längsten Fließweges.

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 nur 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 acht 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.

### 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.

Bauteile, die bestimmungsgemäß Wärme zu Heizzwecken abgeben, dürfen nicht in Zirkulationssysteme eingebaut werden. Diese Anforderung lässt sich leicht erklären. Hintergrund zu dieser Anforderung sind Handtuchrockner im Bad, die, anstelle sie 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.

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 sind 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 s. Diese Anforderung lässt sich mit einer Steigstrang-Zirkulation unter Einhaltung der 3-Liter-Regel nicht erfüllen. Hierfür ist die Umsetzung einer Stockwerks-Zirkulation notwendig. Die Komfortkriterien aus der VDI-Richtlinie 6003 werden häufig im hochwertigen Hotelbereich und bei Eigentumswohnungen gefordert.

TABELLE 6: KOMFORTKRITERIEN FÜR EINE DUSCHE NACH VDI 6003

Komfortkriterien	Kurzzeichen/ Einheit	Anforderungsstufe		
		I	II	III
1. Zeitlicher Abstand bei serieller Nutzung	$t_{ww}$ 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	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	$t_9$ in s	~26	10	7

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

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). 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.

11 VDI 6003, August 2018 | Trinkwassererwärmungsanlagen – Komfortkriterien und Anforderungsstufen für Planung, Bewertung und Einsatz.

12 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 Stockwerks-Zirkulation 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 Zirkulationsregulierventile untereinander hydraulisch abzugleichen. In der Regel kommen heutzutage bei Steigstrang-Zirkulationen thermostatische Zirkulationsregulierventile zum Einsatz. Statische Zirkulationsregulierventile kommen bei größeren Objekten für die weiteren Einregulierungsebenen zum Einsatz. Es ist eine Wohnungswasserzählung möglich.

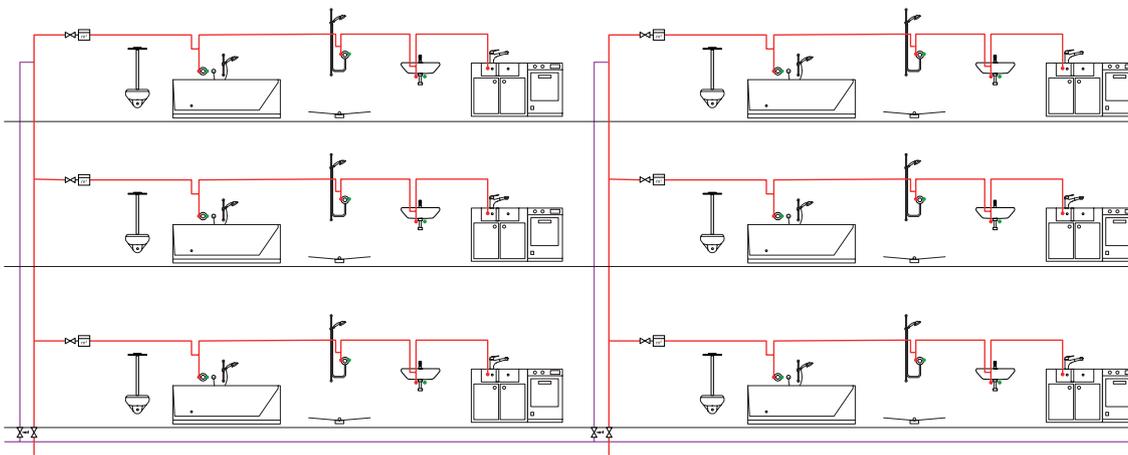


ABBILDUNG 29

Strangschema einer Steigstrang-Zirkulation mit thermostatischen Zirkulationsregulierventilen.

## 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) können mit einer Stockwerks-Zirkulation erfüllt werden.

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

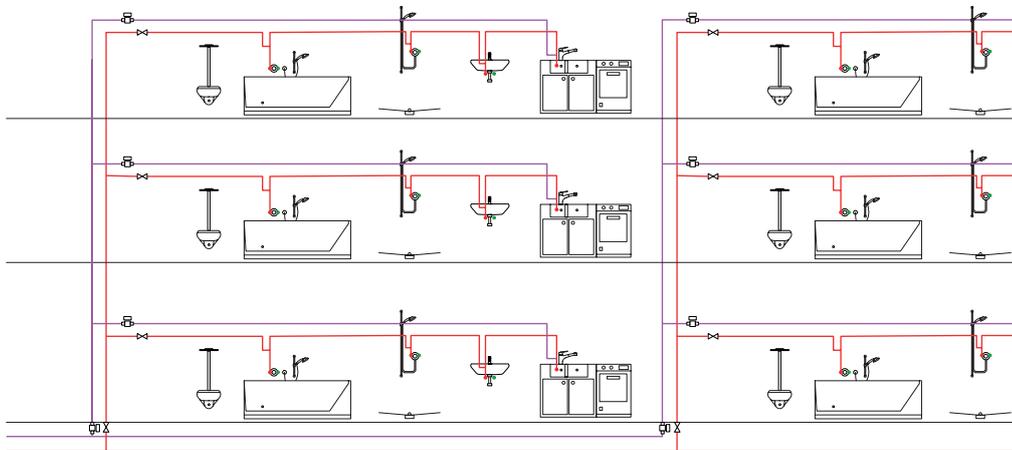


ABBILDUNG 30

Strangschema einer Stockwerks-Zirkulation. In den Etagen kommen thermostatische Stockwerks-Regulierventile und in den Steigsträngen statische Zirkulationsregulierventile zum Einsatz.

## 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 Ringleitung 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 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.

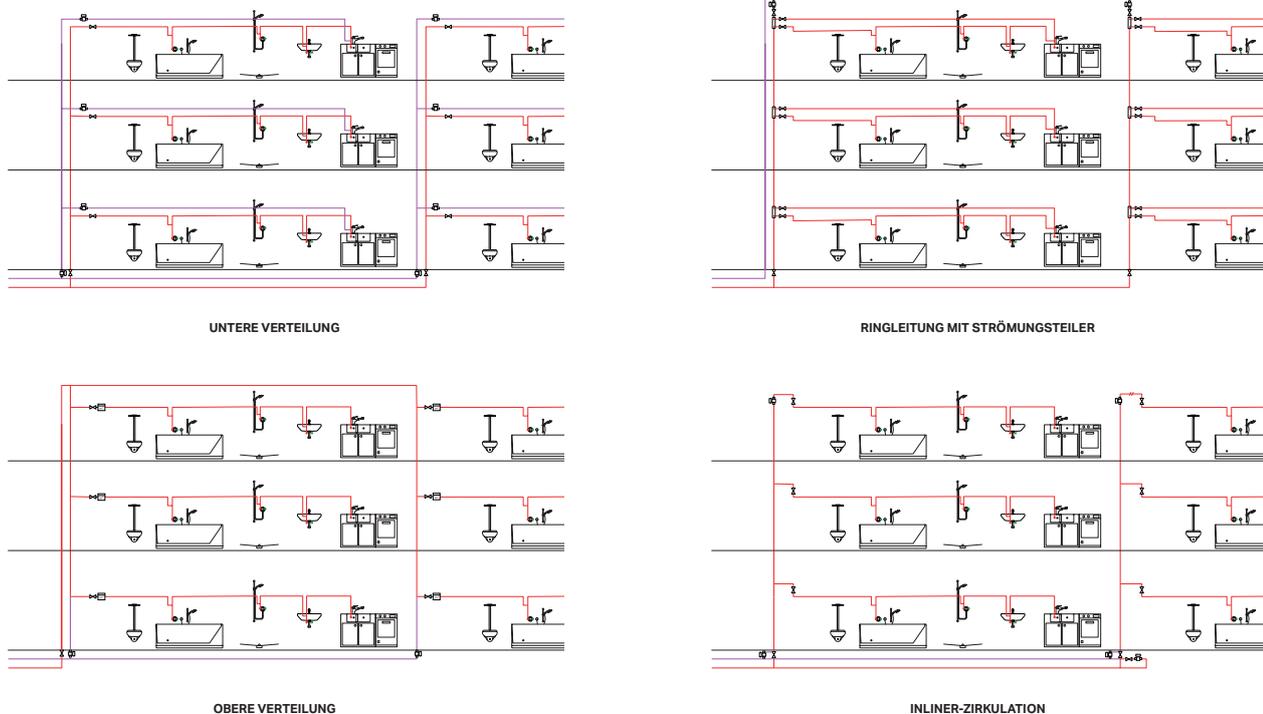


ABBILDUNG 31

Unterschiedliche Arten der Rohrleitungsführung bei Zirkulationssystemen.

Bei einer Temperatur von 60 °C am Austritt des 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.

- Vorgabe von Fließgeschwindigkeiten für die Bemessung des ungünstigsten Zirkulationskreises und zur Ermittlung der Pumpendruckdifferenz
- Hydraulischer Abgleich günstiger Zirkulationskreise, zunächst nur über die Rohrleitungsdurchmesser (min. DN 10;  $V_{\max.} = 1,0 \text{ m/s}$ )
- Hydraulischer Abgleich über Zirkulationsregulierventile

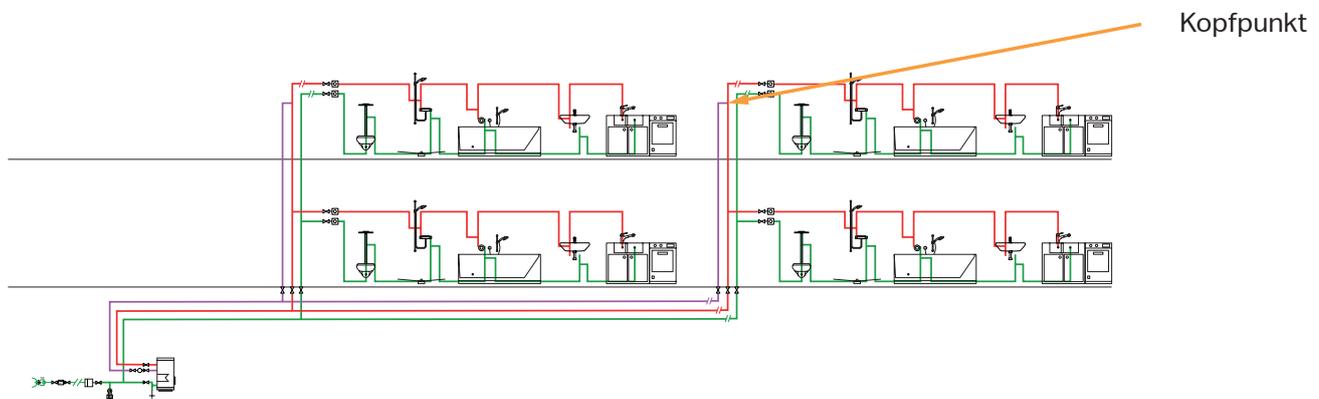


ABBILDUNG 32  
Anordnung von Zirkulationsregulierventile.

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:

- Ermittlung der erforderlichen Zirkulationsvolumenströme über die Wärmeverluste der Rohrleitungen PWH
- Festlegung einer Temperaturdifferenz  $\leq 5 \text{ K}$  zwischen TWE-Ausgang und Zirkulationsanschluss

## 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  $\dot{V}_z$ .

GLEICHUNG 23

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

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

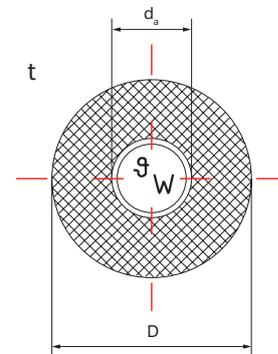


ABBILDUNG 33

Schematische Darstellung der gedämmten Zirkulationsleitung.

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 der Wärmeverlust über der Oberfläche der Rohrleitung sich proportional zum notwendigen Zirkulationsvolumenstrom verhält, erleichtert dieses die Volumenstromaufteilung an Abzweigen (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

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

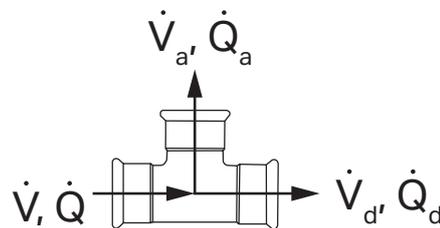


ABBILDUNG 34

Aufteilung der Zirkulationsvolumenströme in einem Knotenpunkt.

$\dot{Q}_d$	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)
---------------------------------	---------------------------------------

## 5.7.3 GESCHWINDIGKEITSVERTEILUNG

Als einer 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.

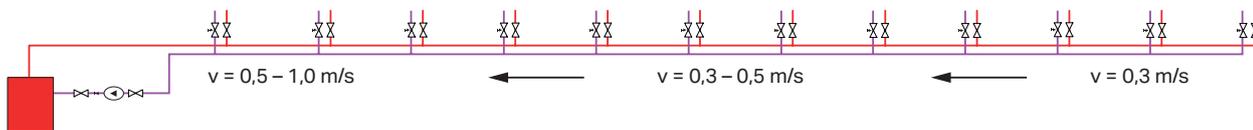


ABBILDUNG 35

Schematische Verteilung einer sinnvollen Geschwindigkeitsverteilung in einem Zirkulationssystem.

## 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 zwölf Steigsträngen ausgeführt ist, abgebildet. Da die Pumpendruckdifferenz im ungünstigsten Fließweg ermittelt wird, bietet sich beim Einsatz von thermostatischen Strangregulierventilen an, dass im ungünstigsten Strang anstelle eines thermostatischen Strangregulierventils ein statisches Regulierventil eingesetzt wird. Aus den Anforderungen des Bemessungsverfahrens ist im ungünstigsten Fließweg theoretisch kein Regulierventil notwendig. An dieser Stelle auf ein Regulierventil zu verzichten, ist in der Praxis unüblich und in vielen Anlagen aus hydraulischer Sicht auch nicht sinnvoll.

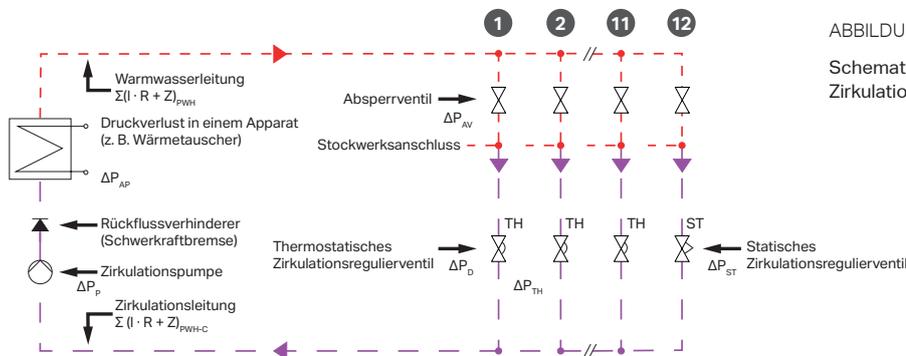


ABBILDUNG 36  
Schematische Darstellung des Zirkulationssystems.

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

GLEICHUNG 27

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

$\Sigma(l \cdot R + Z)_{PWH}$	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 Zirkulationsregulierventil (in hPa)
$\Delta p_{AP}$	Druckverlust in einem Apparat (in hPa)

Gleichung 27 verdeutlicht, dass in einem Zirkulationssystem nur eine Zirkulationspumpe notwendig ist. Die Aufteilung der Volumenströme findet durch den Einsatz der Reguliertechnik statt. Häufig wird die Fehlfunktion von Zirkulationssystemen erst durch den zusätzlichen Einbau von weiteren Zirkulationspumpen hervorgerufen.

## 5.8 EINREGULIERUNGSMAßNAHMEN – ZIRKULATIONSRREGULIERVENTILE

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, muss durch den Einsatz von Zirkulationsregulierventilen ausgeglichen werden. Dieses ist in Abbildung 37 dargestellt.

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 ( $\vartheta < 55\text{ °C}$ ).

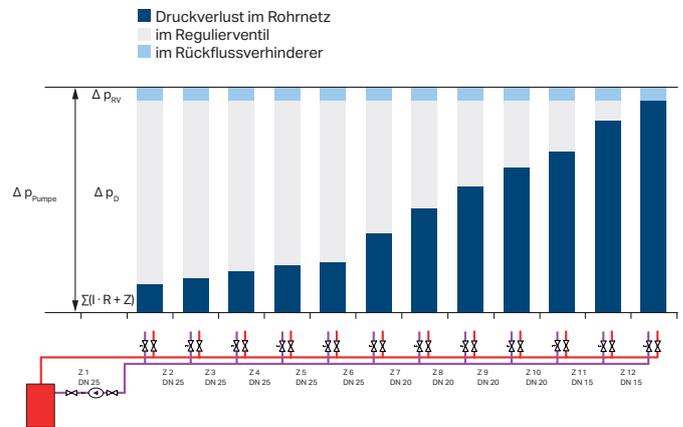


ABBILDUNG 37  
Druckverluste im Zirkulationssystem.

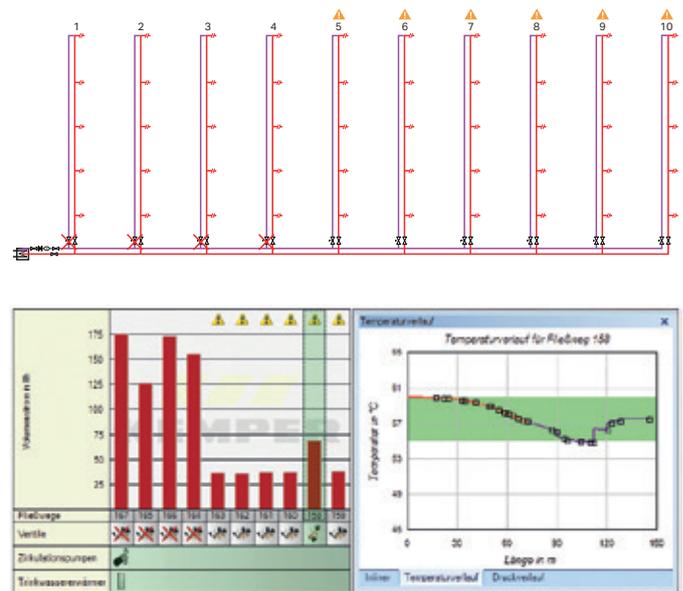


ABBILDUNG 38  
Kurzschluss-Strömungen und Temperaturunterschreitungen aufgrund fehlender Regulierventile.

## 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  $m^3/h$ , 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 Zirkulationsregulierventilen jeweils geforderte  $k_v$ -Wert kann aus den Anlagenwerten Zirkulationsvolumenstrom  $\dot{V}_Z$  in l/h und dem Druckverlust über dem Ventil  $\Delta p_D$  in hPa nach Gleichung 28 berechnet werden.

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

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

GLEICHUNG 28

$$k_v = \frac{\dot{V}_Z}{1000} \cdot \sqrt{\frac{1000}{\Delta p_D}} \quad \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

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

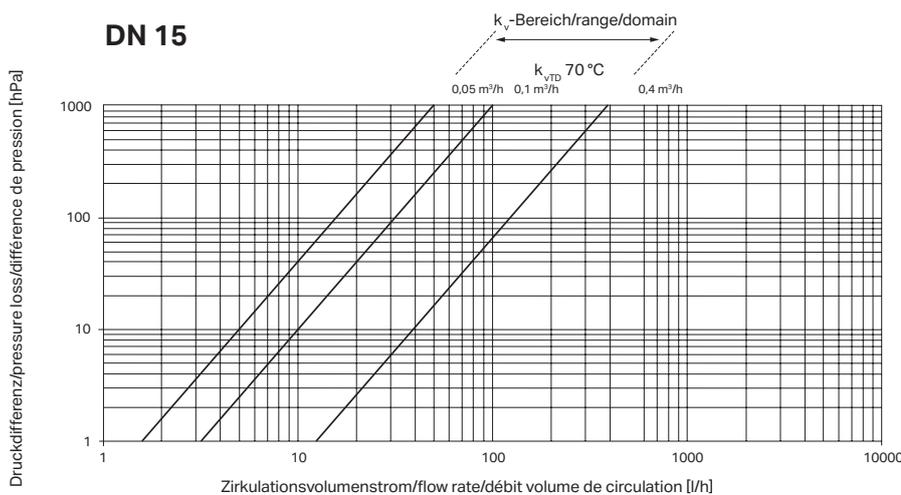


ABBILDUNG 39  
Durchflussdiagramm eines Zirkulationsregulierventils (KEMPER Eta-Therm, DN 15).

## 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.

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)

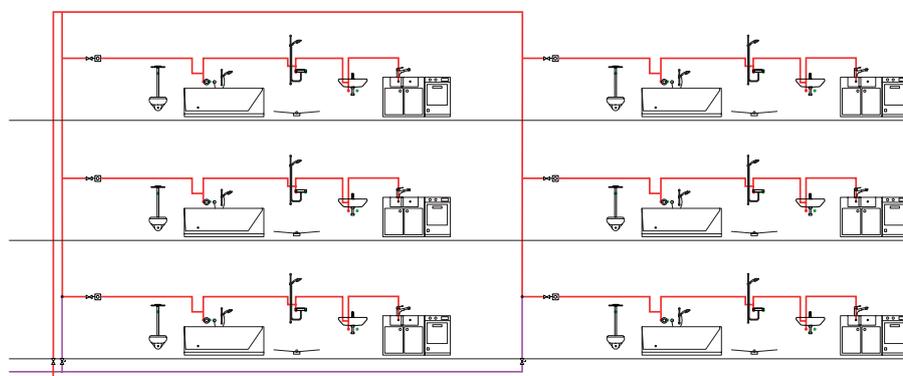


ABBILDUNG 40  
Strangschemata eines Zirkulationssystems mit oberer Verteilung.

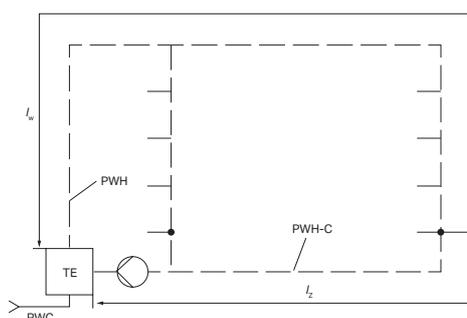


ABBILDUNG 41  
Längenverhältnis bei einem Zirkulationssystem mit oberer Verteilung (Quelle: DIN 1988-300).

## 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 %.

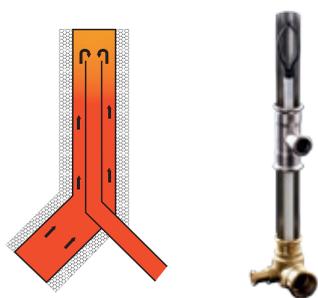


ABBILDUNG 42  
Inliner-Zirkulation.

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.

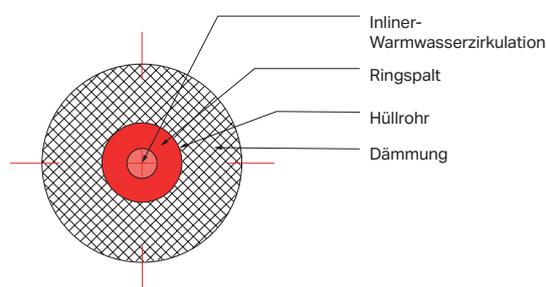


ABBILDUNG 43  
Querschnitt einer Inliner-Zirkulation.

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.

Dadurch, dass die Zirkulationsleitung im Inneren der Warmwasserleitung angesiedelt ist, findet innerhalb des Inliners kein Wärmeverlust 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.

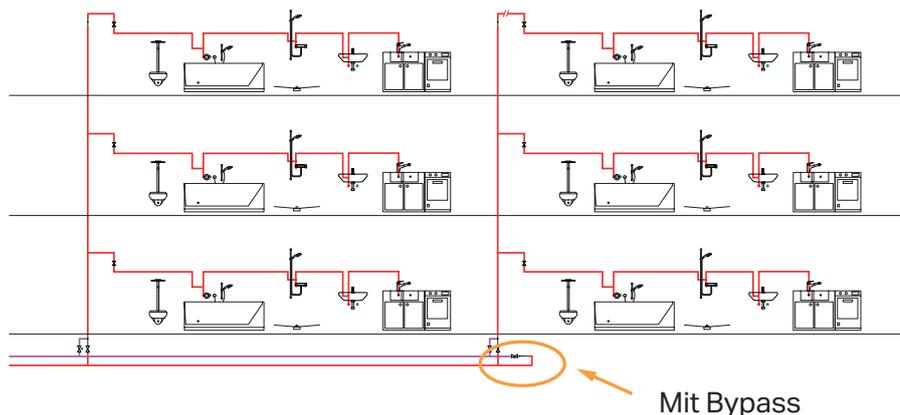


ABBILDUNG 44  
Prinzipieller Aufbau eines Zirkulationssystems mit Inliner.

Mit Bypass

## 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.

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

GLEICHUNG 30

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

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

GLEICHUNG 31

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

$\dot{Q}_d$	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)

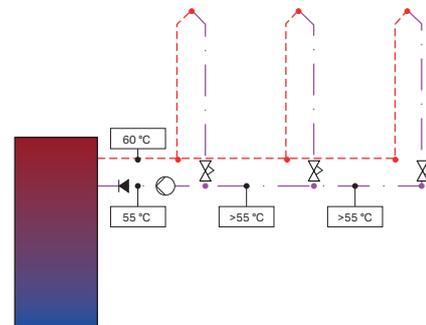


ABBILDUNG 45  
Beimischverfahren – Temperaturniveau.

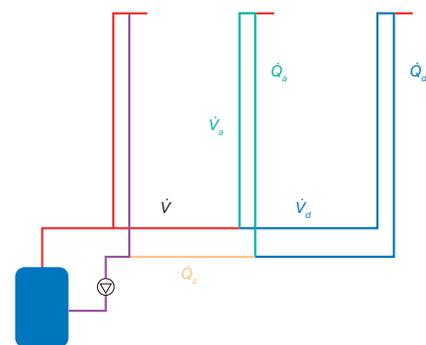


ABBILDUNG 46  
Volumenströme und Wärmeverluste – Beimischverfahren.

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 W 553 bekannte Gleichung 25 für das differenzierte Berechnungsverfahren:

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

KAPITEL SECHS

# BERECHNUNGS- BEISPIEL

PFLEGEHEIM



Trinkwasser-Installationen sind nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik entsprechend den 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.“**

[Bundesgesundheitsbl–Gesundheitsforsch–Gesundheitsschutz, Juli 2006.]

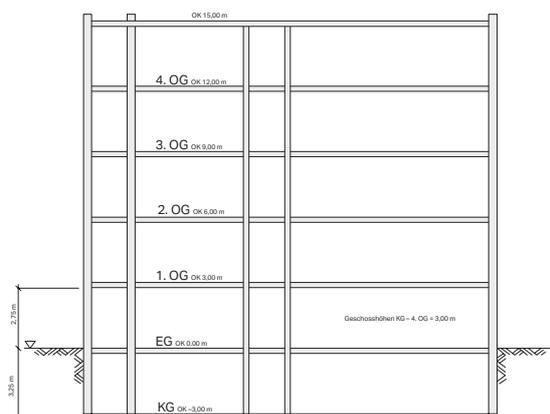
## 6.1 OBJEKTBESCHREIBUNG

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 sechs Geschosse und schließt mit einem Flachdach ab. In Abbildung 47 ist das Pflegeheim im Schnitt dargestellt.



ABBILDUNG 47

Schnittdarstellung des Berechnungsbeispiels „Pflegeheim“.



Die Pflege- und Wohnbereiche erstrecken sich auf die 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 Wäscherien (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 zehn 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 Raum Fäkalien/Wäsche unrein, einen kombinierten Putzmittel- und Lagerraum, eine Küche, einem Personal-Aufenthaltsraum und einem Therapieraum. Des Weiteren gibt es ein behindertengerechtes Gäste-WC und ein Personal-WC je Etage.

In Abbildung 51 sind beispielhaft die Bäder/WCs für zwei Einbettzimmer im Grundriss dargestellt. Die behindertengerechte Gestaltung der Räume äußert sich in großen Bewegungsflächen, die hier dem Großteil

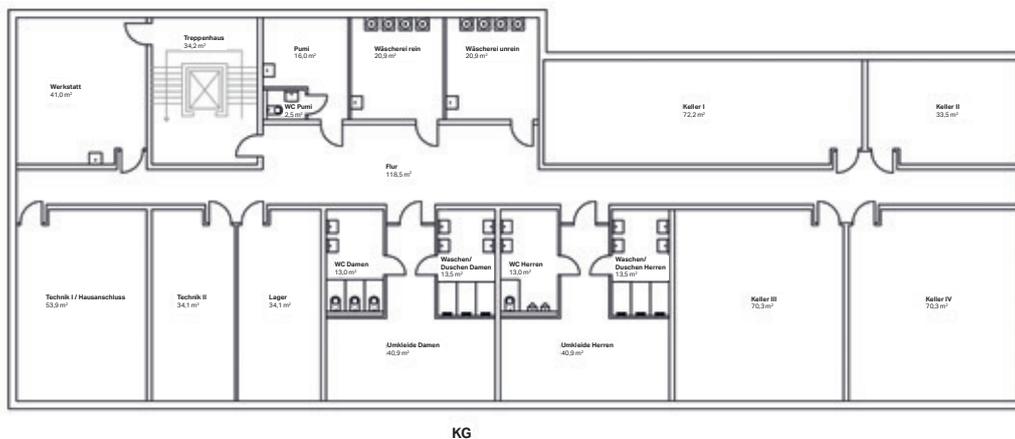


ABBILDUNG 48  
Grundriss Kellergeschoss.

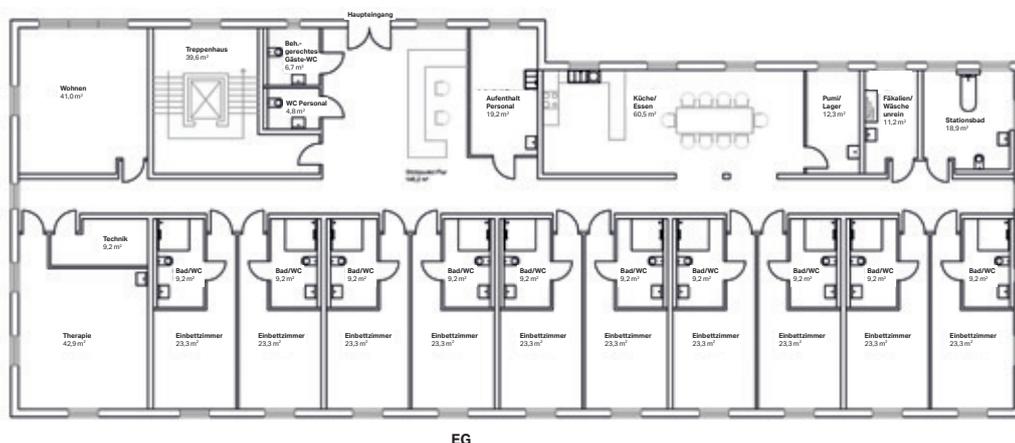


ABBILDUNG 49  
Grundriss Erdgeschoss.

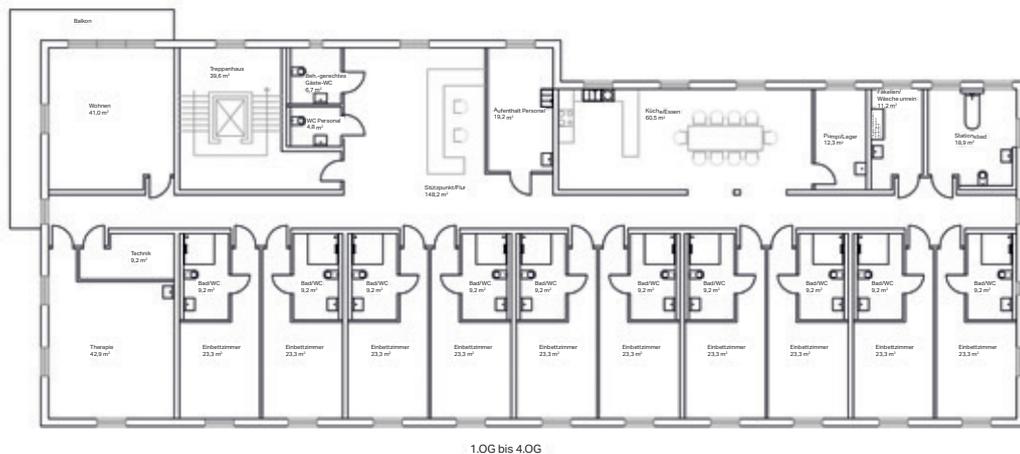


ABBILDUNG 50  
Grundrisse 1. OG bis 4. OG.

der Gesamtfläche entsprechen. Die Bewegungsflächen dürfen sich überschneiden, soweit eine gleichzeitige Nutzung der Sanitärausstattung ausgeschlossen werden kann.

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

TABELLE 7: ANZAHL DER SANITÄROBJEKTE JE GESCHOSS

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

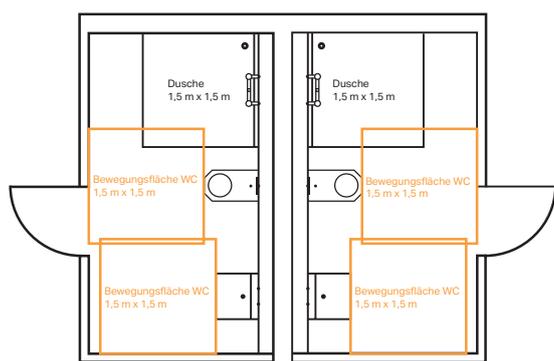


ABBILDUNG 51  
Bewegungsflächen Bad/WC (behindertengerecht).

## 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 Entnahmemarmatur auf die Kaltwasserseite zu vermeiden. Daher sind alle Entnahmemarmaturen thermisch getrennt angeschlossen.



ABBILDUNG 52  
Strangschema PWH – Pflegeheim.

Allgemeine Berechnungsvorgaben		Berechnungsvorgaben PWH	
$P_{\text{minWZ}}$ :	5000 hPa	Berechnungsdurchfluss $\dot{V}_R$ und Mindestfließdruck $p_{\text{minPI}}$ :	Tabelle 8
Nutzungsart:	Pflegeheim	Anteil Einzelwiderstände a:	50 %
Rohrleitungsmaterial:	E-Stahl 1.4401	Längenangaben und Zeta-Werte:	Tabelle 9
Rohrtabelle:	Tabelle 7 (DIN 1988-300/Tabelle A.1 = Herstellerang.)	Filter nach Hauswasserzähler:	Rückspülfilter DN 32 ( $\dot{V}_N = 8,2 \text{ m}^3/\text{h}$ bei $\Delta p_g = 200 \text{ hPa}$ )
DN-MIN:	12		
$\Delta p_{\text{geo}}$ :	1560 hPa (15,6 m Druckhöhe)		
		Berechnungsvorgaben PWH-C	
		Längenangaben und Zeta-Werte:	Tabelle 10
		Umgebungstemperatur der Rohrleitungen:	25 °C

TABELLE 8: ROHRTABELLE DIN 1988-300<sup>13</sup>

Rohrwerkstoff DN <sup>a</sup>	Schmelztauchverzinkte Eisenwerkstoffe <sup>b</sup>		Kupfer		Nichtrostender Stahl		Mehrschichtverbund, PEX		PP, PB, PVC-C	
	d <sub>a</sub>	d <sub>t,min</sub>	d <sub>a</sub>	d <sub>t,min</sub>	d <sub>a</sub>	d <sub>t,min</sub>	d <sub>a</sub>	d <sub>t,min</sub>	d <sub>a</sub>	d <sub>t,min</sub>
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  $P_{\text{minFl}}$  DER ENTNAHMESTELLEN

	Berechnungsdurchfluss	Mindestfließdruck
	$\dot{V}_R$	$P_{\text{minFl}}$
Entnahmestelle	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	Länge der Teilstrecke	Bauteile		
			Bezeichnung	Zeta	Anzahl
	TS	l m			
PWC-Einspeisung	1	4,8	Winkel, 90°	0,3	1
			Freistrom-Absperrventil	1,1	2
			Kombi-RV mit Entleerventil	2,8	1
Trinkwassererwärmung	2	0,2	Abzweig rechtwinklig	0,1	1
	3	0,4	Abzweig rechtwinklig	0,1	1
			Zentrale TWE	1,5	1
	4	17,5	Winkel, 90°	0,3	4
Freistrom-Absperrventil			1,1	1	
Kellerverteillungen	5	5,1	Abzweig rechtwinklig	0,1	1
	6	2,5	Abzweig rechtwinklig	0,1	1
	7	8,2	Abzweig rechtwinklig	0,1	1
	8	2,0	Abzweig rechtwinklig	0,1	1
	9	6,1	Abzweig rechtwinklig	0,1	1
	10	8,2	Abzweig rechtwinklig	0,1	1
	11	1,1	Abzweig rechtwinklig	0,1	1
	12	4,9	Abzweig rechtwinklig	0,1	1
Strang 10	30 + 31	5,4	Abzweig rechtwinklig	0,1	1
			Winkel, 90°	0,3	2
			Freistrom-Absperrventil	1,4	1
	32	3,0	Abzweig rechtwinklig	0,2	1
	33	3,0	Abzweig rechtwinklig	0,2	1
	34	3,0	Abzweig rechtwinklig	0,2	1
	35	3,0	Abzweig rechtwinklig	0,2	1
Etagenverteilung	36	0,9	Abzweig rechtwinklig	0,2	1
			Winkel, 90°	0,5	2
			UP-VAV-Vollstromabsperrentil	0	1
Einzelzuleitung	37	3,0	Abzweig rechtwinklig	1,1	1
			Winkel, 90°	0,5	3
			Armaturenanschluss	2,8	1

TABELLE 11: LÄNGENANGABEN UND ZETA-WERTE DER TEILSTRECKEN PWH-C

Teilstrecke PWH-C TS <sub>PWH-C</sub>	Länge PWH-C l <sub>PWH-C</sub> m	Zugehörige Teilstrecke TS <sub>PWH</sub>	Bauteile		
			Bezeichnung	Zeta	Anzahl
Z 336	14,3	Strang 10	Abzweig rechtwinklig	1,7	1
			Winkel, 90°	0,5	2
Z 335	3,1	Strang 10	Abzweig rechtwinklig	3	1
			Winkel, 90°	0,5	1
Z 334	4,9	12	Abzweig rechtwinklig	2,9	1
Z 333	1,14	11	Abzweig rechtwinklig	2,9	1
Z 332	8,15	10	Abzweig rechtwinklig	2,8	1
Z 331	6,13	9	Abzweig rechtwinklig	2,8	1
Z 330	2,0	8	Abzweig rechtwinklig	2,8	1
Z 329	8,2	7	Abzweig rechtwinklig	2,7	1
Z 328	2,5	6	Abzweig rechtwinklig	2,7	1
Z 327	5,1	5	Abzweig rechtwinklig	2,7	1
Z 326	17,5	4	Winkel, 90°	0,3	4
			Freistrom-Absperrventil	1,4	2
			Durchgangs-RV	Diagramm	

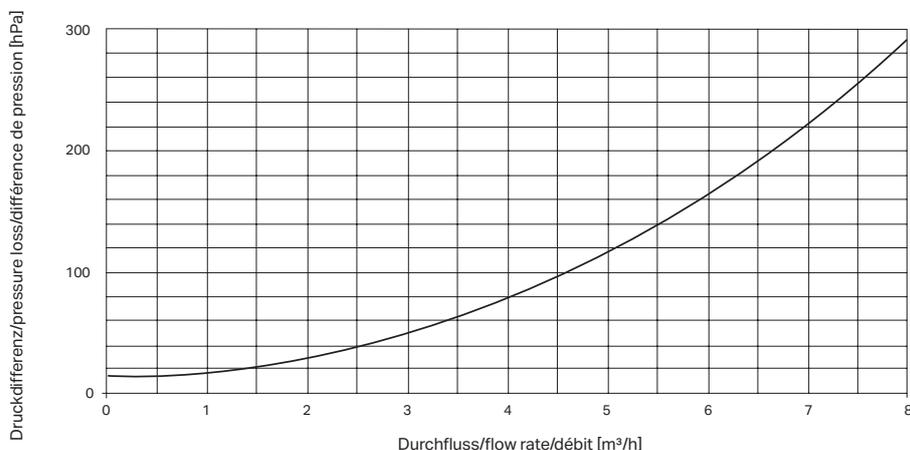


ABBILDUNG 53  
Durchflussdiagramm eines Durchgangs-Rückflussverhinders (KEMPER, DN 25).



## 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 analog 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 54 unter Angabe der Teilstrecken dargestellt.

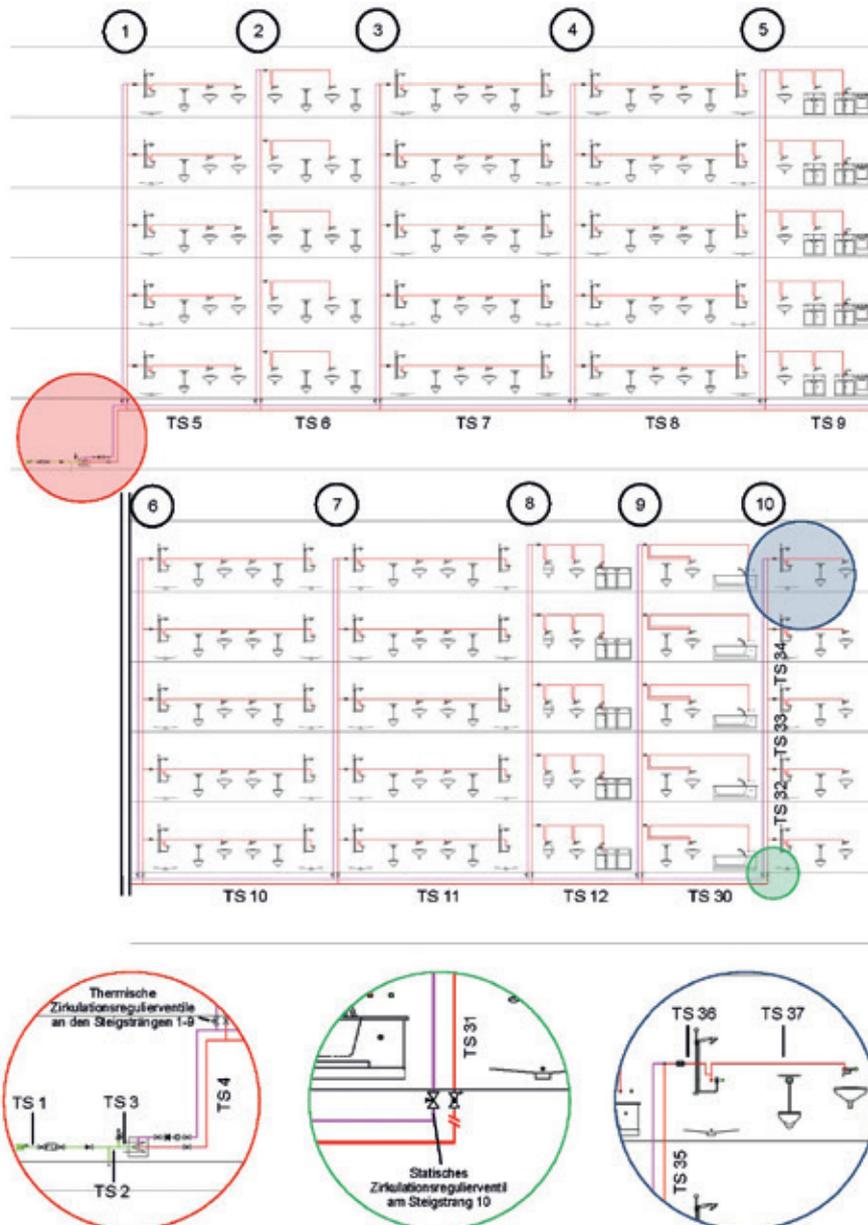
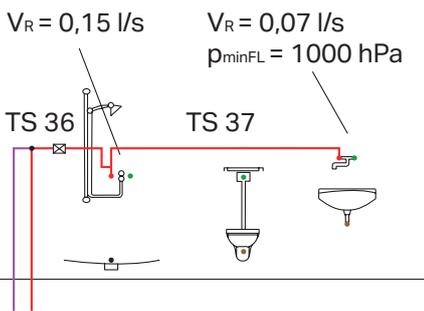


ABBILDUNG 54

Strangschema mit hydraulisch ungünstigstem Fließweg.

Mit den angegebenen Anlagenparametern (→ KAPITEL 6.1.1) sowie dem Strangschema der Abbildung 54 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 herstellerneutralen Berechnung sind die Angaben der Tabelle 2 nach DIN 1988-300 zu entnehmen (→ KAPITEL 4.3/ TABELLE 1). Gleiches gilt für die Mindestfließdrücke  $p_{\text{minFL}}$ .



**2. Berechnung der Summendurchflüsse  $\Sigma \dot{V}_R$  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	$\Sigma \dot{V}_R$
37	0,07 l/s
36	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]

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

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

TS	$\Sigma \dot{V}_R$
37	0,07 l/s
36	$\dot{V}_S = (1,40 \cdot (0,22)^{0,14} - 0,92) \text{ l/s} = 0,21 \text{ l/s}$
...	...

**4. Ermittlung des verfügbaren Rohrreibungsdruckgefälles  $R_V$  für den hydraulisch ungünstigsten Fließweg:**

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

[GLEICHUNG 21]

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

$\Delta p_{Ap}$	Druckverlust durch Apparate (in hPa)
$\Delta p_g$	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)

$$\Delta p_{Ap(Filter)} = 200 \text{ hPa} \cdot \left( \frac{(1,17 \cdot 3,6) \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{8,2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}} \right)^2$$

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

[GLEICHUNG 19]

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

$p_{minWZ}$	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 Entnahmemarmatur (in hPa)

$$\begin{aligned} \Delta p_{ges,v} &= 5000 \text{ hPa} - 1560 \text{ hPa} \\ &\quad - 53 \text{ hPa} - 1000 \text{ hPa} \\ &= 2387 \text{ hPa} \end{aligned}$$

Berechnung des verfügbaren Rohrreibungsdruckgefälles  $R_V$  nach Gleichung 20:

[GLEICHUNG 20]

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

$R_V$	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)

$$R_V = \frac{(1 - \frac{50}{100})}{82,3 \text{ m}} \cdot 2387 \text{ hPa} = 14,5 \frac{\text{hPa}}{\text{m}}$$

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

[GLEICHUNG 8]

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

$\lambda$	Rohrreibungszahl
$d_i$	Rohrinnendurchmesser (in m)
$\rho$	Dichte des Wassers (in kg/m <sup>3</sup> )
$v$	Strömungsgeschwindigkeit (in m/s)

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

[GLEICHUNG 3]

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

$v$	Strömungsgeschwindigkeit (in m/s)
$d_i$	Rohrinnendurchmesser (in m)
$\nu$	kinematische Viskosität (Zähigkeit) (in m <sup>2</sup> /s)

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]

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

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

GLEICHUNG 32

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

---

$k$  Rohrrauheit (in m)

---

Die DIN 1988-300 macht Angaben zur Rohrrauheit  $k$  von handelsüblichen Rohren. So beträgt 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 Berechnung 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 37:**

Kinematische Viskosität bei 60 °C:

$$\dot{V}_{s,TS37} = 0,07 \frac{l}{s}$$

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

Dichte bei 60 °C:

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

**Startwert für  $d_i = 10 \text{ mm}$** 

Geschwindigkeit Rohrleitung:

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

Reynoldszahl:

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

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  $R_v$ :

$$d_i = \sqrt[5]{\frac{8 \cdot 0,0266 \cdot 982,8 \frac{kg}{m^3} \cdot \left(0,07 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{s}\right)^2}{1450 \frac{Pa}{m} \cdot \pi^2}} = 9,4 \cdot 10^{-3} m = 9 mm$$

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

$$v = \frac{0,07 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{s}}{\frac{\pi}{4} \cdot 0,009^2 m^2} = 1,10 \frac{m}{s}$$

$$Re = \frac{1,10 \cdot 10^3 \frac{mm}{s} \cdot 9 mm}{0,47 \frac{mm^2}{s}} = 21.064$$

Iterative Berechnung der Rohrreibungszahl  $\lambda$ :

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

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

$$d_i = \sqrt[5]{\frac{8 \cdot 0,0259 \cdot 982,8 \frac{kg}{m^3} \cdot \left(0,07 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{s}\right)^2}{1450 \frac{Pa}{m} \cdot \pi^2}} = 9,3 \cdot 10^{-3} m = 9 mm$$

Der berechnete Rohrinne Durchmesser  $d_i$  wird durch den realen Rohrinne Durchmesser  $d_i$  in Abhängigkeit von der maximalen Strömungsgeschwindigkeit ersetzt und das reale Rohrreibungsdruckgefälle R berechnet: $d_i$  berechnet = 9 mm  $\rightarrow$   $d_{i, \text{Real}} = 13 \text{ mm (DN12)}$ 

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

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

Iterative Berechnung der Rohrreibungszahl  $\lambda$ :

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

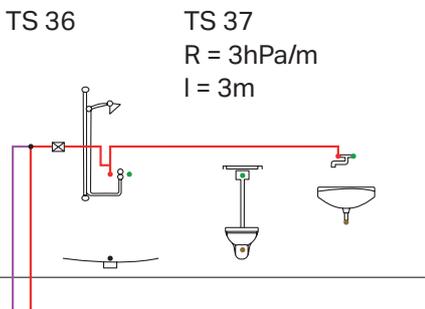
Berechnung des realen Rohrreibungsdruckgefälles R:

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

**6. Berechnung der Rohrreibungsdruckverluste je Teilstrecke:**

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

<i>R</i>	Rohrreibungsdruckgefälle (in hPa/m)
<i>l</i>	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:**

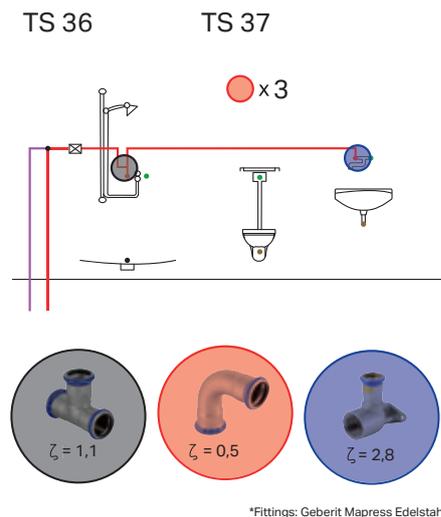
[GLEICHUNG 10]

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

$\sum \zeta$	Widerstandsbeiwerte der Teilstrecke
$\rho$	Dichte des Wassers (in kg/m³)
<i>v</i>	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 A2 bis A5 der DIN 1988-300 anzunehmen.

$$\begin{aligned} \sum \zeta &= 1,1 + 3 \cdot 0,5 + 2,8 = 5,4 \\ \Delta p_E = Z &= 5,4 \cdot \frac{982,8 \frac{kg}{m^3}}{2} \cdot \left(0,53 \frac{m}{s}\right)^2 = 745 Pa \\ &= 745 Pa = 7,5 hPa \end{aligned}$$



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

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

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

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 von der maximalen Fließgeschwindigkeiten ge-

wählt 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	$k_{E\text{-Stahl 1.4401}}$	$R_v$									
				hPa/m									
°C	kg/m <sup>3</sup>	mm <sup>2</sup> /s	mm										
60	982,8	0,47	0,0015		14,5								
10	999,6	1,31											
TS	Länge	$\Sigma(L\text{Länge})$	$\Sigma V_R$	$V_s$	$d'$	$v$	R	IR	$\Sigma Z$	Z	IR+Z	$\Sigma (IR+Z)$	
	m	m	l/s	l/s	mm	m/s	hPa/m	hPa		hPa	hPa	hPa	
$P_{\text{minFI}}$											1000,0	1000,0	
37	3,0	82,3	0,07	0,07	13,0	0,5	3,0	8,9	5,4	7,38	16,3	1016,3	
36	0,9	79,3	0,22	0,21	13,0	1,6	21,2	19,1	1,2	15,13	34,2	1050,5	
35	3,0	78,4	0,22	0,21	16,0	1,1	7,8	23,5	0,2	1,10	24,6	1075,1	
34	3,0	75,4	0,44	0,33	19,6	1,1	6,4	19,2	0,2	1,16	20,4	1095,5	
33	3,0	72,4	0,66	0,40	19,6	1,3	9,2	27,5	0,2	1,74	29,3	1124,8	
32	3,0	69,4	0,88	0,46	19,6	1,5	11,5	34,6	0,2	2,24	36,8	1161,6	
30	5,4	66,4	1,10	0,50	25,6	1,0	3,8	20,3	2,1	9,69	30,0	1191,6	
12	4,9	61,0	2,20	0,64	25,6	1,2	5,9	29,1	0,1	0,77	29,9	1221,5	
11	1,1	56,1	5,55	0,86	32,0	1,1	3,4	3,8	0,1	0,56	4,3	1225,8	
10	8,2	55,0	7,75	0,94	32,0	1,2	4,0	33,2	0,1	0,68	33,9	1259,7	
9	6,1	46,8	9,95	1,01	32,0	1,3	4,6	27,9	0,1	0,78	28,7	1288,4	
8	2,0	40,7	11,00	1,04	32,0	1,3	4,8	9,6	0,1	0,82	10,4	1298,8	
7	8,2	38,7	13,20	1,09	32,0	1,4	5,2	42,9	0,1	0,90	43,8	1342,5	
6	2,5	30,5	15,40	1,13	32,0	1,4	5,6	14,0	0,1	0,98	15,0	1357,5	
5	5,1	28,0	16,10	1,15	32,0	1,4	5,7	29,2	0,1	1,00	30,2	1387,7	
4	17,5	22,9	17,55	1,17	32,0	1,5	6,0	104,2	2,3	23,96	128,2	1515,9	
3	0,4	5,4	17,55	1,17	32,0	1,5	7,5	3,0	1,6	16,95	20,0	1535,9	
2	0,2	5,0	17,55	1,17	32,0	1,5	7,5	1,5	0,1	1,06	2,6	1538,4	
$\Delta p_{\text{Aq(FI)}}$											52,8	1591,3	
1/l	4,8	4,8	17,55	1,17	32,0	1,5	7,5	36,2	5,3	56,14	92,3	1683,6	
$\Delta p_{\text{geo}}$											1560,0	3243,6	
											$p_{\text{minWZ}}$	3243,6	

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

[GLEICHUNG 18]

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

$$p_{minWZ} = 488 \text{ hPa} + 143 \text{ hPa} + 53 \text{ hPa} + 1000 \text{ hPa} + 1560 \text{ hPa} = 3244 \text{ hPa}$$

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

$p_{minWZ}$	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)

## 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 sollen der Materialverbrauch, bezogen auf die Dimensionierung der Zirkulationsleitungen, und die Pumpendruckdifferenz abnehmen.

In Abbildung 55 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.

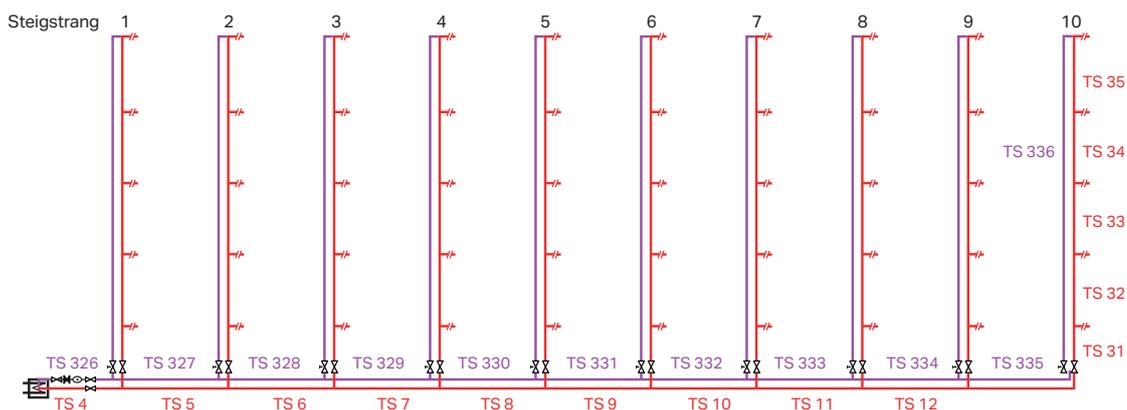


ABBILDUNG 55

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

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

$U_{R,w}$	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: $\vartheta_L = 10\text{ °C}$ Schacht, Vorwand oder abgehängte Decke in beheizten Räumen: $\vartheta_L = 25\text{ °C}$

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

GLEICHUNG 36

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

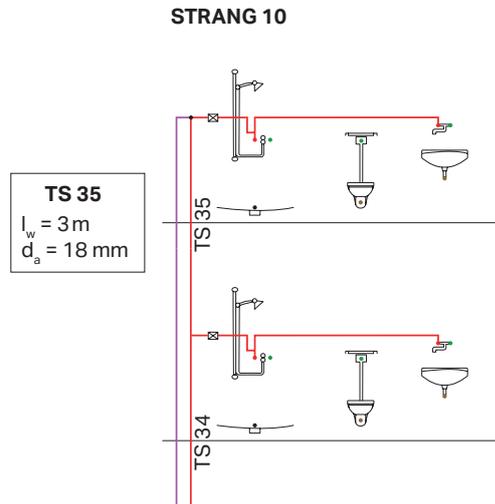
$\lambda_D$	Wärmeleitfähigkeit Dämmung (in W/(m·K))
$\alpha_a$	Äußerer Wärmeübergangskoeffizient (in W/(m²·K))
$D$	Außendurchmesser der gedämmten Rohrleitung (in m)
$d_a$	Außendurchmesser Rohrleitung (in m)

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 Wärmeübergangskoeffizienten kann  $\alpha_a = 10 \frac{W}{m^2 \cdot K}$  angenommen werden. Die zugrunde liegenden Dämmschichtdicken in Abhängigkeit von der Rohrdimensionen sind in Tabelle 13 angegeben (orange Umrandung).

Berechnung der Wärmeverluste für Teilstrecke 35:



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  $\dot{Q}_w$ :

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

TABELLE 13: ANGABEN ROHRLEITUNGSDÄMMUNG (ROHRAUSSENDURCHMESSER/DÄMMSCHICHTDICKE)<sup>14</sup>

Rohrdimensi- onen	Außen ø Da [mm]	DN	Rockwool 800		
			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	

2. Der Förderstrom der Zirkulationspumpe ergibt sich aus den Wärmeverlusten aller an der Zirkulation ange-bundenen PWH-Leitungen und der definierten Tempe-raturdifferenz  $\Delta\vartheta_w$  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

$$\Sigma \dot{Q}_w = 1439,8W$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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.

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

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

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 56. 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 Volumenstromaufteilung 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 m³/h)
$\dot{V}$	Volumenstrom (in m³/h)
$\dot{V}_a$	Abzweigstrom (in m³/h)
$\eta$	Beimischgrad

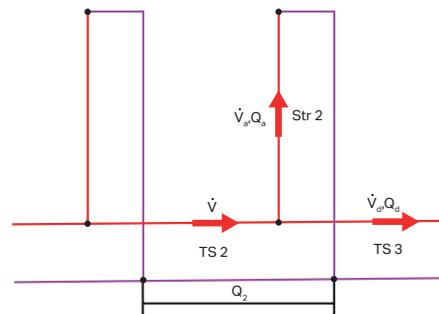


ABBILDUNG 56

Durchgangs- und Abzweigwege an einem Knotenpunkt.

Bezogen auf Abbildung 56 berechnet sich der Wärmeverlust im Durchgangsweg  $\dot{Q}_d$  wie folgt:

GLEICHUNG 40

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

$\dot{Q}_{d,TS3}$	Wärmeverlust im Durchgangsweg, Teilstrecke 3 (in W)
$\dot{Q}_{d,TS2}$	Wärmeverlust im Durchgangsweg, Teilstrecke 2 (in W)
$\dot{Q}_{w,TS2}$	Wärmeverlust der Teilstrecke 2 (in W)
$\dot{Q}_{a,Str2}$	Wärmeverlust im Abzweigweg, Strang 2 (in W)

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 4. Der entsprechende Knotenpunkt ist in Abbildung 57 dargestellt.

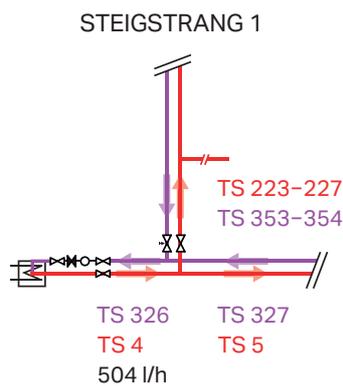


ABBILDUNG 57  
Knotenpunkt Steigstrang 1.

Aufteilung der Wärmeverluste am Knotenpunkt „Steigstrang 1“: Ausgehend von Teilstrecke 5 werden von den Wärmeverlusten des Gesamtsystems  $\sum \dot{Q}_w$  die Wärmeverluste der Teilstrecke 4 sowie des Steigstrangs 1 ( $\sum \dot{Q}_{w,TS223-TS227}$ ) abgezogen. Die Wärmeverlustberechnung der Teilstrecken ist in Tabelle 15 dargestellt.

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{d,TS5} &= \dot{Q}_{d,TS4} - \dot{Q}_{w,TS4} - \dot{Q}_{a,Str1} \\ &= \sum \dot{Q}_w - \dot{Q}_{w,TS4} - \dot{Q}_{a,Str1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{d,TS5} &= 1439,8 \text{ W} - 125,4 \text{ W} \\ &\quad - 97,9 \text{ W} = 1216,5 \text{ W} \end{aligned}$$

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

$$\dot{V}_{d,TS5} = \frac{\dot{V}_{TS4} \cdot \dot{Q}_{d,TS5}}{\dot{Q}_{a,Str1} + \dot{Q}_{d,TS5} + \eta \cdot \dot{Q}_z}$$

$$\dot{V}_{d,TS5} = \frac{504 \frac{1}{h} \cdot 1216,5 \text{ W}}{97,9 \text{ W} + 1216,5 \text{ W}} = 466,5 \frac{1}{h}$$

Der Volumenstrom im Steigstrang 1 ergibt sich aus der Differenz von Teilstrecke 4 zu Teilstrecke 5:

$$\dot{V}_{a,Str1} = \dot{V}_{TS4} - \dot{V}_{TS5}$$

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

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 58 ist die Volumenstromaufteilung ohne Beimischgrad ( $\eta = 0$ ) dargestellt.

4. Die Volumenströme  $\dot{V}$  in den Teilstrecken PHW 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 336:

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

$$v = \frac{\dot{V}_{TS336}}{A_{TS336}} = \frac{\dot{V}_{TS336}}{\frac{\pi}{4} \cdot d_i^2}$$

$$v = \frac{\left(\frac{69}{1000 \cdot 3600}\right) \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\frac{\pi}{4} (13 \cdot 10^{-3} \text{m})^2} = 0,14 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$\eta = 0$

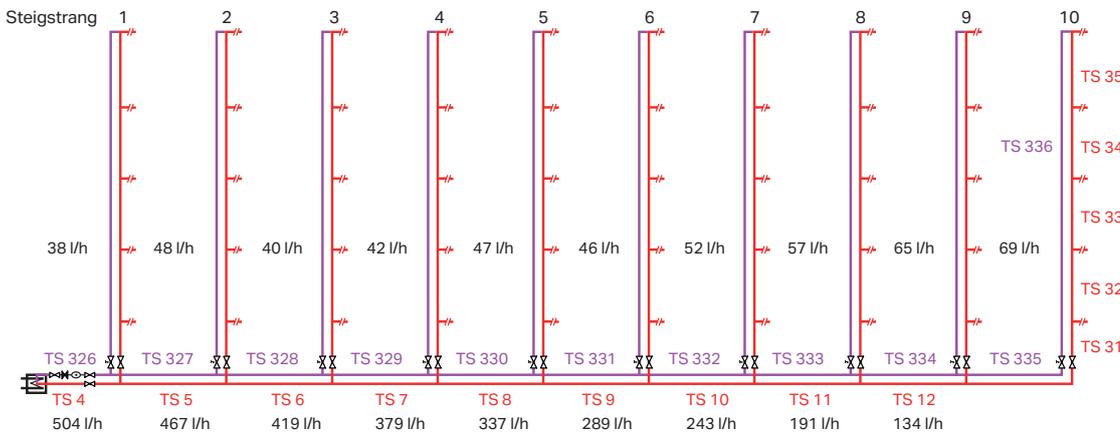


ABBILDUNG 58  
Volumenstromaufteilung bei  $\mu = 0$ .

$V_{Pumpe} = 504 \text{ l/h}$        $\Delta P_{Pumpe} = 65 \text{ hPa}$

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 336:

Wärmedurchgangskoeffizient  $U_{R,w}$ :

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

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

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

Wärmeverlust  $\dot{Q}_w$ :

$$\dot{Q}_w = 14,3 m \cdot 0,154 \frac{W}{m \cdot K} \cdot (60 - 25) K$$

$$= 77,1 W$$

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 Volumenstromverteilung 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 °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

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

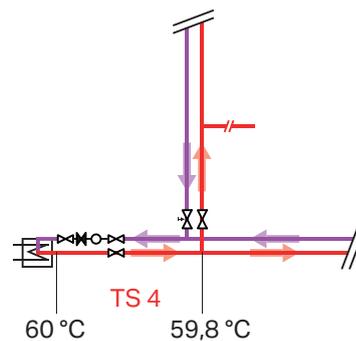


ABBILDUNG 59

Temperaturverlauf der PWH-Teilstrecke 4.

**Betrachtung der Teilstrecke 4**

Dichte bei 60 °C:

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

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.

$$\Delta\theta_{\text{TS}} = \frac{\dot{Q}_{w,\text{TS4}}}{\rho \cdot c_w \cdot \dot{V}_{\text{TS4}}}$$

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

Ausgehend vom Trinkwassererwärmer ergibt sich am Ende der Teilstrecke 4 die folgende Temperatur:

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

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 Rohrleitungsdimensionierung PWH aus Kapitel 6.2.

Der Gesamtdruckverlust für Strang 10 als den hydraulisch ungünstigsten Zirkulationskreis beläuft sich auf  $\sum(l \cdot R + Z) = 44,4 \text{ hPa}$ .

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

GLEICHUNG 42

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

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

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

$\Delta p_{\text{Pumpe}}$	Förderdruck der Zirkulationspumpe (in hPa)
$l$	Rohrleitungslänge (in m)
$R$	Rohrleitungsdruckgefälle (in hPa/m)
$Z$	Druckverlust durch Einzelwiderstand (in hPa)
$\Delta p_{\text{ZRV}}$	Druckverlust Zirkulationsreguliertventil bei voller Öffnung (in hPa)
$\Delta p_{\text{RV}}$	Druckverlust Rückflussverhinderer (in hPa)
$\Delta p_{\text{Ap}}$	Druckverlust Apparat (in hPa)

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

Druckverlust im statischen Zirkulationsregulier-ventil 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:

$$\dot{V}_{TS\ Z\ 326} = \dot{V}_{Pumpe} = 504 \frac{\text{l}}{\text{h}} \approx 0,5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

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

Förderdruck der Zirkulationspumpe:

$$\Delta p_{Pumpe} = 44,4 \text{ hPa} + 18 \text{ hPa} + 0,2 \text{ hPa}$$

$$= 62,6 \text{ hPa}$$

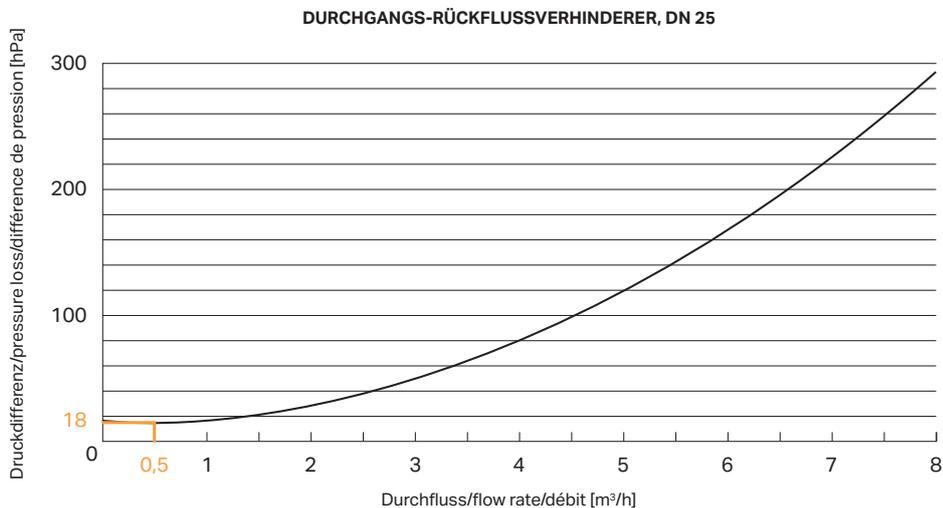


ABBILDUNG 60

Durchflussdiagramm eines Durchgangs-Rückflussverhinderers (KEMPER, DN 25).



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	$\phi_{WV}$
°C	kg/m³	mm²/s	mm	°C
58,75	983	0,48	0,015	60
TS	Länge	$\Sigma$ (Länge)	$\dot{Q}_d$	$\dot{Q}_w$
	m	m	W	W
Ausgang TWE		0,0		
4	17,5	17,5	1440	125
5	5,1	22,6	1217	37
6	2,5	25,1	1059	18
7	8,2	33,2	943	59
8	2,0	35,2	785	14
9	6,1	41,4	662	44
10	8,2	49,5	519	59
11	1,1	50,7	362	8
12	4,9	55,6	248	31
Str 10	17,4	73,0	112	112
30+31 (Str 10)	5,4	Hier nur Berechnung der Druckverluste der Teilstrecken!		
32 (Str 10)	3,0	Str 10 = TS 31 bis TS 35		
33 (Str 10)	3,0	$\dot{V}_{d,Str} = \dot{V}_{d,TS}$		
34 (Str 10)	3,0			
35 (Str 10)	3,0			
Z 336 (Str 10)	14,3	58,7		77
Z 335 (Str 10)	3,1	55,6		17
Z 334 (12)	4,9	50,7		29
Z 333 (11)	1,1	49,5		7
Z 332 (10)	8,2	41,4		55
Z 331 (9)	6,1	35,2		41
Z 330 (8)	2,0	33,2		13
Z 329 (7)	8,2	25,1		51
Z 328 (6)	2,5	22,6		16
Z 327 (5)	5,1	17,5		32
Z 326 (4)	17,5	0,0		110

$\vartheta_{MR}$	$c_w$	$\eta$																
°C	kJ/(kg·K)		$\dot{Q}_a$	$\dot{Q}_z$	$\dot{Q}_d - \dot{Q}_a - \dot{Q}_z$	$V_d$	$\dot{Q}_a - \dot{Q}_z$	$\dot{V}_a$	$\Delta\vartheta_{fs}$	$\vartheta_w$	$d_i$	$v$	$R$	$I \cdot R$	$\Sigma Z$	$Z$	$I \cdot R + Z$	$\Sigma (I \cdot R + Z)$
57,5	4,18	0	W	W	W													
										60,0								
						504			0,22	59,8	32,0	0,2	0,1	2,5	2,30	0,3	2,8	2,8
98	32	1086	467	130	38	0,07	59,7	32,0	0,2	59,7	32,0	0,2	0,1	0,6	0,10	0,0	0,6	3,5
120	16	924	419	136	48	0,04	59,7	32,0	0,1	59,7	32,0	0,1	0,1	0,3	0,10	0,0	0,3	3,7
99	51	793	379	150	40	0,14	59,5	32,0	0,1	59,5	32,0	0,1	0,1	0,7	0,10	0,0	0,7	4,5
99	13	673	337	112	42	0,04	59,5	32,0	0,1	59,5	32,0	0,1	0,1	0,1	0,10	0,0	0,1	4,6
109	41	512	289	150	47	0,13	59,4	32,0	0,1	59,4	32,0	0,1	0,1	0,3	0,10	0,0	0,3	4,9
99	55	366	243	154	46	0,21	59,2	32,0	0,1	59,2	32,0	0,1	0,0	0,3	0,10	0,0	0,3	5,3
99	7	256	191	106	52	0,04	59,1	32,0	0,1	59,1	32,0	0,1	0,0	0,0	0,10	0,0	0,0	5,3
105	29	114	134	135	57	0,20	58,9	25,6	0,1	58,9	25,6	0,1	0,0	0,2	0,10	0,0	0,2	5,5
105	94	-87	69	199	65	1,42	57,5											
			69								25,6	0,0	0,0	0,0	2,90	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				0,98	56,5	13,0	0,1	0,3	4,7	2,70	0,3	5,0	11,3		
			69				0,21	56,3	13,0	0,1	0,3	1,0	1,70	0,2	1,2	12,5		
			134				0,19	56,1	16,0	0,2	0,4	1,9	2,90	0,5	2,4	14,9		
			191				0,03	56,1	16,0	0,3	0,7	0,8	2,90	1,0	1,8	16,7		
			243				0,20	56,0	19,6	0,2	0,4	3,4	2,80	0,7	4,0	20,8		
			289				0,12	55,9	19,6	0,3	0,6	3,4	2,80	1,0	4,4	25,2		
			337				0,03	55,9	19,6	0,3	0,7	1,5	2,80	1,3	2,8	28,0		
			379				0,12	55,8	25,6	0,2	0,3	2,0	2,70	0,6	2,6	30,6		
			419				0,03	55,8	25,6	0,2	0,3	0,7	2,70	0,7	1,4	32,0		
			467				0,06	55,7	25,6	0,3	0,4	1,9	2,70	0,8	2,7	34,7		
			504				0,19	55,5	25,6	0,3	0,4	7,2	6,70	2,4	9,7	44,4		
															$\Sigma (I \cdot R + Z)$		44,4	
															$\Delta p_{RV}$		18,0	
															$\Delta p_{ZRV}$		0,2	
															$\Delta p_{Pumpe}$		62,6	

KAPITEL SIEBEN

# ANHANG

## ZUM BERECH- NUNGSBEISPIEL PFLEGEHEIM



TABELLE 15: TEILSTRECKEN-DATEN DER ZIRKULIERENDEN PWH-ROHRLEITUNGEN

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	
4	17,5	35	32	60	25	30	95	0,035	10	0,205	7,2	125,4	<b>Kellerverteilleitung</b>
5	5,1	35	32	60	25	30	95	0,035	10	0,205	7,2	36,8	
6	2,5	35	32	60	25	30	95	0,035	10	0,205	7,2	17,8	
7	8,2	35	32	60	25	30	95	0,035	10	0,205	7,2	58,5	
8	2,0	35	32	60	25	30	95	0,035	10	0,205	7,2	14,4	
9	6,1	35	32	60	25	30	95	0,035	10	0,205	7,2	44,0	
10	8,2	35	32	60	25	30	95	0,035	10	0,205	7,2	58,5	
11	1,1	35	32	60	25	30	95	0,035	10	0,205	7,2	8,2	
12	4,9	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	30,9	
233	3,3	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	20,9	
224	3,0	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	18,9	
225	3,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1	
226	3,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1	
227	3,0	18	16	60	25	20	58	0,035	10	0,170	6,0	17,9	
128	6,9	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	46,0	
129	3,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1	
130	3,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1	
131	3,0	18	16	60	25	20	58	0,035	10	0,170	6,0	17,9	
132	3,0	15	13	60	25	20	55	0,035	10	0,154	5,4	16,2	
140	3,4	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	21,1	
141	3,0	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	18,9	
142	3,0	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	18,9	
143	3,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1	
144	3,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1	
93	3,4	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	21,1	
94	3,0	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	18,9	
95	3,0	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	18,9	
96	3,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1	
97	3,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1	
64	4,9	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	30,5	
65	3,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1	
66	3,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1	
67	3,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1	
68	3,0	18	16	60	25	20	58	0,035	10	0,170	6,0	17,9	

FORTSETZUNG TABELLE 15: TEILSTRECKEN-DATEN DER ZIRKULIERENDEN PWH-ROHRLEITUNGEN

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Bezeichnung der Teilstrecke	Länge der Teilstrecke	Außendurchmesser	Innendurchmesser	Wassertemperatur	Lufttemperatur	Dicke der Dämmschicht	Außendurchmesser Dämmung	Wärmeleitfähigkeit	Äußerer Wärmeübergangskoeffizient	Wärmedurchgangskoeffizient	Spezifischer Wärmeverlust	Wärmeverlust der Teilstrecke	
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	
55	3,4	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	21,1	<b>Strang 6</b>
56	3,0	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	18,9	
57	3,0	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	18,9	
58	3,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1	
59	3,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1	
40	3,4	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	21,1	<b>Strang 7</b>
41	3,0	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	18,9	
42	3,0	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	18,9	
43	3,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1	
44	3,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1	
20	4,6	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	28,7	<b>Strang 8</b>
21	3,0	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	18,9	
22	3,0	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	18,9	
23	3,0	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	18,9	
24	3,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1	
13	4,3	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	26,9	<b>Strang 9</b>
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	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1	
17	3,0	18	16	60	25	20	58	0,035	10	0,170	6,0	17,9	
31	5,4	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	34,1	<b>Strang 10</b>
32	3,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1	
33	3,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1	
34	3,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	20,1	
35	3,0	18	16	60	25	20	58	0,035	10	0,170	6,0	17,9	
											Σq <sub>w</sub>	1439,8	<b>W</b>

TABELLE 16: TEILSTRECKEN-DATEN DER PWH-C-ROHRLEITUNGEN

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Bezeichnung der Teilstrecke	Länge der Teilstrecke	Außendurchmesser	Innendurchmesser	Wassertemperatur	Lufttemperatur	Dicke der Dämmschicht	Außendurchmesser Dämmung	Wärmeleitfähigkeit	Äußerer Wärmeübergangskoeffizient	Wärmedurchgangskoeffizient	Spezifischer Wärmeverlust	Wärmeverlust der Teilstrecke	
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/(m²·K)	W/(m·K)	W/m	W	
Z 354	15,3	15	13	60	25	20	55	0,035	10	0,154	5,4	82,6	Strang 1
Z 353	0,3	15	13	60	25	20	55	0,035	10	0,154	5,4	1,6	
Z 350	18,9	15	13	60	25	20	55	0,035	10	0,154	5,4	102,0	Strang 2
Z 349	0,3	15	13	60	25	20	55	0,035	10	0,154	5,4	1,6	
Z 352	10,4	15	13	60	25	20	55	0,035	10	0,154	5,4	56,1	Strang 3
Z 351	0,3	15	13	60	25	20	55	0,035	10	0,154	5,4	1,6	
Z 348	10,4	15	13	60	25	20	55	0,035	10	0,154	5,4	56,1	Strang 4
Z 347	0,3	15	13	60	25	20	55	0,035	10	0,154	5,4	1,6	
Z 346	16,9	15	13	60	25	20	55	0,035	10	0,154	5,4	91,2	Strang 5
Z 345	0,3	15	13	60	25	20	55	0,035	10	0,154	5,4	1,6	
Z 344	10,4	15	13	60	25	20	55	0,035	10	0,154	5,4	56,1	Strang 6
Z 343	0,3	15	13	60	25	20	55	0,035	10	0,154	5,4	1,6	
Z 342	10,4	15	13	60	25	20	55	0,035	10	0,154	5,4	56,1	Strang 7
Z 341	0,3	15	13	60	25	20	55	0,035	10	0,154	5,4	1,6	
Z 340	16,6	15	13	60	25	20	55	0,035	10	0,154	5,4	89,6	Strang 8
Z 339	0,3	15	13	60	25	20	55	0,035	10	0,154	5,4	1,6	
Z 338	16,3	15	13	60	25	20	55	0,035	10	0,154	5,4	87,9	Strang 9
Z 337	0,3	15	13	60	25	20	55	0,035	10	0,154	5,4	1,6	
Z 336	14,3	15	13	60	25	20	55	0,035	10	0,154	5,4	77,2	Strang 10
Z 335	3,1	15	13	60	25	20	55	0,035	10	0,154	5,4	16,8	
Z 334	4,9	18	16	60	25	20	58	0,035	10	0,170	6,0	29,3	Kellersammelleitung
Z 333	1,1	18	16	60	25	20	58	0,035	10	0,170	6,0	6,8	
Z 332	8,2	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	54,6	
Z 331	6,1	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	41,1	
Z 330	2,0	22	19,6	60	25	20	62	0,035	10	0,191	6,7	13,5	
Z 329	8,2	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	51,2	
Z 328	2,5	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	15,6	
Z 327	5,1	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	32,2	
Z 326	17,5	28	25,6	60	25	30	88	0,035	10	0,180	6,3	109,8	

## KAPITEL ACHT

# FORMELZEICHEN

$A$	Querschnittsfläche (m <sup>2</sup> )	$p_{\min FL}$	Mindestfließdruck (hPa)
$a$	Anteil der Druckverluste durch Einzelwiderstände (%)	$p_{\min FL}$	Mindestfließdruck an der Entnahmemarmatur (hPa)
$\alpha_a$	Äußerer Wärmeübergangskoeffizient (in W/(m <sup>2</sup> ·K))	$p_{\min HAL}$	Druckverlust in der Hausanschlussleitung (hPa)
$a, b, c$	Konstanten für den Spitzendurchfluss	$p_{\min V}$	Mindestversorgungsdruck (hPa)
$c_w$	Spezifische Wärmekapazität des Wassers (kJ/(kg·K))	$p_{\min WZ}$	Mindestdruck nach dem Hauswasserzähler (Pa)
$D$	Außendurchmesser der gedämmten Rohrleitung (in m)	$\dot{Q}_a$	Wärmeverlust im Abzweig (W)
$d$	Durchmesser (mm)	$\dot{Q}_d$	Wärmeverlust im Durchgangsweg (W)
$d_a$	Außendurchmesser Rohrleitung (in m)	$\dot{Q}_w$	Wärmeverlust der Teilstrecke (W)
$d_i$	Innendurchmesser (mm)	$\dot{Q}_z$	Wärmeverlust in der Zirkulationsteilstrecke nach dem Mischpunkt (in W)
$g$	Erdbeschleunigung (m/s <sup>2</sup> )	$R$	Rohrreibungsdruckgefälle (hPa/m)
$h$	Geodätische Höhe (m)	$Re$	Reynoldszahl
$k$	Rohrrauigkeit (mm)	$R_v$	Verfügbares Druckgefälle (in hPa/m)
$k_v$	Durchflusskoeffizient (m <sup>3</sup> /h)	$R_{verf}$	Verfügbares Rohrreibungsdruckgefälle (hPa/m)
$l$	Rohrleitungslänge (in m)	$t$	Zeit (s)
$l_{ges}$	Länge des Fließweges (m)	$TS$	Teilstrecke
$l_w$	Länge einer PWH-Teilstrecke (m)	$U_R$	Wärmedurchgangskoeffizient für das Rohr (W/(m·K))
$l_w$	Länge der entferntesten PWH-Leitung (m)	$U_{R,w}$	Wärmedurchgangskoeffizient der PWH-Teilstrecke (in W/(m·K))
$l_z$	Länge der entferntesten PWH-C-Leitung (m)	$v$	Geschwindigkeit (m/s)
$NE$	Nutzungseinheit	$\nu$	Kinematische Viskosität (m <sup>2</sup> /s)
$\eta$	Beimischgrad	$\dot{V}$	Volumenstrom (in m <sup>3</sup> /h)
$\rho$	Dichte (kg/m <sup>3</sup> )	$\dot{V}_a$	Volumenstrom im Abgang (T-Stück) (l/h)
$p$	Statischer Druck (in Pa)	$\dot{V}_D$	Dauerverbrauch (l/s)

$\dot{V}_d$	Volumenstrom im Durchgang (T-Stück) (l/h)	$\Delta p_{geo}$	Druckverlust aus geodätischem Höhenunterschied (hPa)
$\dot{V}_g$	Herstellerangabe zum Durchfluss in einem Apparat (l/s)	$\Delta p_{geod}$	Geodätische Druckdifferenz (hPa)
$\dot{V}_P$	Förderstrom der Zirkulationspumpe (l/h)	$\Delta p_{ges,v}$	Verfügbare Druckdifferenz (hPa)
$\dot{V}_{Pumpe}$	Förderstrom Zirkulationspumpe (in m <sup>3</sup> /h)	$\Delta p_{HAL}$	Druckverlust der Hausanschlussleitung (hPa)
$\dot{V}_R$	Berechnungsdurchfluss (l/s)	$\Delta p_P$	Pumpendruckverlust (hPa)
$\dot{V}_S$	Spitzendurchfluss (l/s)	$\Delta p_{Pumpe}$	Förderdruck der Zirkulationspumpe (in hPa)
$\dot{V}_{S,normal}$	Spitzenvolumenstrom aus Normalverbrauch (l/s)	$\Delta p_R$	Druckverlust durch Rohrreibung (hPa)
$\dot{V}_Z$	Zirkulationsvolumenstrom (l/h)	$\Delta p_{Ring}$	Druckverlust in der Ringleitung (hPa)
$Z$	Druckverlust aus Einzelwiderständen (hPa)	$\Delta p_{RV}$	Druckverlust im Rückflussverhinderer (hPa)
$\xi$	Widerstandsbeiwert	$\Delta p_{St}$	Druckverlust in Stockwerks- und Einzelzuleitungen (hPa)
$\lambda$	Rohrreibungszahl	$\Delta p_{verf}$	Verfügbare Druckdifferenz (hPa)
$\lambda_D$	Wärmeleitfähigkeit Dämmung (in W/(m·K))	$\Delta p_{wz}$	Druckverlust im Wasserzähler (hPa)
$\vartheta_L$	Lufttemperatur/Umgebungstemperatur (°C)	$\Delta p_{ZRV}$	Druckverlust Zirkulationsreguliertventil bei voller Öffnung (in hPa)
$\vartheta_W$	Temperatur PWH (°C)	$\Sigma \dot{V}_R$	Summendurchfluss (in l/s)
$\Delta \vartheta_{TE}$	Temperaturdifferenz PWH – PWH-C am Trinkwassererwärmer (4 K bis 5 K) (K)	$\Sigma \zeta$	Widerstandsbeiwerte der Teilstrecke
$\Delta \vartheta_W$	PWH-Temperaturdifferenz (K)	$\Sigma(l \cdot R + Z)$	Druckverlust aus Rohrreibung und Einzelwiderständen im Fließweg
$\Delta \vartheta_{W}$	Temperaturdifferenz des Warmwassers (K)	$\Sigma(l \cdot R + Z)_{PWH}$	Druckverlust Fließweg PWH (in hPa)
$\Delta p$	Druckdifferenz (hPa)	$\Sigma(l \cdot R + Z)_{PWH-C}$	Druckverlust Fließweg PWH-C (in hPa)
$\Delta p_{Ap}$	Druckverlust in Apparaten (hPa)		
$\Delta p_D$	Druckverlust über Ventil (hPa)		
$\Delta p_E$	Druckdifferenz der Einzelwiderstände (hPa)		
$\Delta p_g$	Herstellerangabe des Druckverlustes eines Apparates (hPa)		

KAPITEL NEUN

# ABBILDUNGS- VERZEICHNIS

Abb. 1	Ineinandergreifen der Parameter zur Sicherstellung der Trinkwassergüte	8	Abb. 16	Stromfaden zwischen Eintrittspunkt 1 und Austrittspunkt 2 bei stationärer inkompressibler und reibungsfreier Strömung	23
Abb. 2	Geschwindigkeitsprofil in einem Rohr – laminare (1) und turbulente (2) Strömung	13	Abb. 17	Prinzip des differenzierten Berechnungsverfahrens	24
Abb. 3	Moody-Diagramm	15	Abb. 18	Bezeichnungen in Trinkwasser-Installationen	25
Abb. 4	Rohrreibungsdruckgefälle entlang eines Rohrabschnittes	16	Abb. 19	Berücksichtigung der Verbrauchsstellen in einer Nutzungseinheit	28
Abb. 5	Rohrreibungsdruckgefälle für Kupferrohr, Medientemperatur = 60 °C	16	Abb. 20	Spitzendurchfluss in Abhängigkeit vom Summendurchfluss verschiedener Gebäudetypen	30
Abb. 6	Druckverlustdiagramm eines Einzelwiderstandes	17	Abb. 21	Vergleich der Gleichzeitigkeitskurve für Wohngebäude nach alter und neuer Norm	31
Abb. 7	Einteilung von Teilstrecken	18	Abb. 22	Wohnung mit drei Nutzungseinheiten	32
Abb. 8	Einteilung der Teilstrecken bei Stromvereinigung	18	Abb. 23	Mindestdruck nach dem Wasserzähler	35
Abb. 9	Druckverlust durch überlagerte Sekundärströmung im Rohrbogen	19	Abb. 24	Druckverluste in der Trinkwasser-Installation	36
Abb. 10	Druckverlust durch Totwasser in Umlenkungen	19	Abb. 25	Strangschema Wohngebäude	43
Abb. 11	Numerisch berechnete Geschwindigkeitsverteilung in einem Rohrwinkel (Quelle: Prof. Dipl.-Ing. B. Rickmann, FH Münster)	19	Abb. 26	Ergebnis der Zirkulationssimulation mit der Berechnungssoftware Dendrit STUDIO	43
Abb. 12	Totwassergebiete bei sprungartiger Querschnittsverengung	20	Abb. 27	Temperaturverlauf für einen Fließweg	44
Abb. 13	Zeta-Werte von T-Stücken (Durchgang) in Abhängigkeit von den Querschnittsflächen	20	Abb. 28	Schematische Darstellung des längsten Fließweges	45
Abb. 14	Totwassergebiet hinter einem Querschnittsprung	21	Abb. 29	Strangschema einer Steigstrang-Zirkulation mit thermostatischen Zirkulationsregulierventilen	49
Abb. 15	Stromfaden	23	Abb. 30	Strangschema einer Stockwerks-Zirkulation. In den Etagen kommen thermostatische Stockwerks-Regulierventile und in den Steigsträngen statische Zirkulationsregulierventile zum Einsatz	50

Abb. 31	Unterschiedliche Arten der Rohrleitungsführung bei Zirkulationssystemen	51	Abb. 46	Volumenströme und Wärmeverluste – Beimischverfahren	61
Abb. 32	Anordnung von Zirkulationsregulierventile	52	Abb. 47	Schnittdarstellung des Berechnungsbeispiels „Pflegeheim“	63
Abb. 33	Schematische Darstellung der gedämmten Zirkulationsleitung	53	Abb. 48	Grundriss Kellergeschoss	64
Abb. 34	Aufteilung der Zirkulationsvolumenströme in einem Knotenpunkt	54	Abb. 49	Grundriss Erdgeschoss	64
Abb. 35	Schematische Verteilung einer sinnvollen Geschwindigkeitsverteilung in einem Zirkulationssystem	55	Abb. 50	Grundrisse 1. OG bis 4. OG	65
Abb. 36	Schematische Darstellung des Zirkulationssystems	56	Abb. 51	Bewegungsflächen Bad/WC (behindertengerecht)	65
Abb. 37	Druckverluste im Zirkulationssystem	57	Abb. 52	Strangschema PWH – Pflegeheim	66
Abb. 38	Kurzschluss-Strömungen und Temperaturunterschreitungen aufgrund fehlender Regulierventile	57	Abb. 53	Durchflussdiagramm eines Durchgangs-Rückflussverhinderers (KEMPER, DN 25)	70
Abb. 39	Durchflussdiagramm eines Zirkulationsregulierventils (KEMPER Eta-Therm, DN 15)	58	Abb. 54	Strangschema mit hydraulisch ungünstigstem Fließweg	71
Abb. 40	Strangschema eines Zirkulationssystems mit oberer Verteilung	59	Abb. 55	Prinzipschaltbild der zirkulierenden Warmwasser-Installation	79
Abb. 41	Längenverhältnis bei einem Zirkulationssystem mit oberer Verteilung (Quelle: DIN 1988-300)	59	Abb. 56	Durchgangs- und Abzweigwege an einem Knotenpunkt	82
Abb. 42	Inliner-Zirkulation	60	Abb. 57	Knotenpunkt Steigstrang 1	83
Abb. 43	Querschnitt einer Inliner-Zirkulation	60	Abb. 58	Volumenstromaufteilung bei $\mu = 0$	84
Abb. 44	Prinzipieller Aufbau eines Zirkulationssystems mit Inliner	60	Abb. 59	Temperaturverlauf der PWH-Teilstrecke 4	85
Abb. 45	Beimischverfahren – Temperaturniveau	61	Abb. 60	Durchflussdiagramm eines Durchgangs-Rückflussverhinderers (KEMPER, DN 25)	87

KAPITEL ZEHN

# TABELLEN- VERZEICHNIS

Tabelle 1	Mindestfließdrücke und Mindestwerte für den Berechnungsdurchfluss gebräuchlicher Trinkwasserentnahmestellen (DIN 1988-300)	27	Tabelle 9	Berechnungsdurchfluss $\dot{V}_R$ und Mindestfließdruck $p_{\min FI}$ der Entnahmestellen	68
Tabelle 2	Konstanten für den Spitzendurchfluss nach Gleichung 16 (nach DIN 1988-300)	29	Tabelle 10	Längenangaben und Zeta-Werte der Teilstrecken PWH	69
Tabelle 3	Maximale rechnerische Fließgeschwindigkeiten bei zugeordnetem Spitzendurchfluss (DIN 1988-300)	34	Tabelle 11	Längenangaben und Zeta-Werte der Teilstrecken PWH-C	70
Tabelle 4	Referenzwerte für Druckverluste $\Delta p_{TE}$ von Gruppen-Trinkwassererwärmern (DIN 1988-300)	38	Tabelle 12	Darstellung der Berechnungsergebnisse für den hydraulisch ungünstigsten Fließweg	77
Tabelle 5	Darstellung der Rohrleitungslänge bei einem Leitungsvolumen von 3 Litern am Beispiel einer Rohrleitung aus nichtrostendem Stahl (Edelstahl)	45	Tabelle 13	Angaben Rohrleitungsdämmung (Rohraußendurchmesser/Dämmschichtdicke)	81
Tabelle 6	Komfortkriterien für eine Dusche nach VDI 6003	47	Tabelle 14	Berechnungsergebnisse für einen Beimischgrad von $\eta = 0$	88
Tabelle 7	Anzahl der Sanitärobjekte je Geschoss	65	Tabelle 15	Teilstrecken-Daten der zirkulierenden PWH-Rohrleitungen	91
Tabelle 8	Rohrtabelle DIN 1988-300	67	Tabelle 16	Teilstrecken-Daten der PWH-C-Rohrleitungen	93

---

# PROF. DR.-ING. CARSTEN BÄCKER

## BERUFLICHE TÄTIGKEITEN

- 2012 – HEUTE**     Professor für das Lehr- und Forschungsgebiet  
„Projektierung und Simulation gebäudetechnischer 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 Umwelt-  
verfahrenstechnik, 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  
Stegerwaldstraße 39  
48565 Steinfurt

**T** 02551 9-62421  
**E** cbaecker@fh-muenster.de

Für die inhaltliche Richtigkeit ist alleine der Autor verantwortlich.  
Eine Haftung von Geberit wird ausgeschlossen.





**Geberit Vertriebs GmbH**

Theuerbachstraße 1

88630 Pfullendorf

[www.geberit.de](http://www.geberit.de)