PLAUSIBILITÄTSPRÜFUNG EINER DIN 1988-ROHRNETZ-BERECHNUNG

Prof. Dipl.-Ing. Bernd Rickmann

KEMPER

FORTSCHRITT MACHEN

INHALTSVERZEICHNIS

1 Problemstellung 4

2 Verbrauchsleitung 5
2.1 Mindestfließdruck an einer Entnahmearmatur 5
2.2 Gleichzeitigkeit der Wasserentnahme 5
2.3 Hydraulische Berechnungen 6
2.3.1 Grundsätzliche Anforderungen an die Dokumentation 6
2.3.2 Mindestversorgungsdruck des WVU 8
2.4.3 Apparatedruckverluste 9
2.4.4 Ermittlung der Rohrdurchmesser 10

3 Zirkulation 11
3.1 Austrittstemperaturen aus der Trinkwassererwärmungsanlage 11
3.2 Temperaturanforderungen an der Entnahmestelle 12
3.3 Temperaturhaltung im zirkulierenden Warmwassersystem 13
3.4 Wärmedämmung 13
3.5 Ermittlung der Rohrdurchmesser 14
3.6 Auslegung der Zirkulationspumpe 15
3.7 Hydraulischer Abgleich 16
3.7.1 Statisches Beimischverfahren 17
3.7.2 Dynamisches Beimischverfahren (Zirkulationssimulation) 18

4 Zusammenfassung 21

1 PROBLEMSTELLUNG

Neben einer Kontamination der Trinkwasser-Installation mit Krankheitserregern können auch Komfortaspekte, wie stark schwankende Fließdrücke vor den Entnahmearmaturen und damit verbundene Temperaturschwankungen des Mischwassers oder auch ein zu geringer Entnahmevolumenstrom usw. zu Beanstandungen/Mängelrügen führen. Die Vermutung liegt dann nahe, dass die Bemessung des Rohrnetzes und/oder der eingebauten Apparate an der mangelhaften bzw. unkomfortablen Funktion der Trinkwasser-Installation ursächlich beteiligt sein könnte. Zum Nachweis einer fach- und bedarfsgerechten Planung[1] wird in solchen Fällen u.a. die Vorlage einer Berechnung der Trinkwasser-Installation gefordert, die der Ausführung zu Grunde lag.

Den ausführenden Unternehmen ist dabei manchmal nicht bewusst, dass sie vor Ausführung der beauftragten Leistungen, die vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Planungsunterlagen und Berechnungen im Rahmen einer Plausibilitätsprüfung auf etwaige Unstimmigkeiten überprüfen müssen und damit auch für offensichtliche Fehler in der Rohrnetzberechnung mitverantwortlich sein können.

Die Prüfpflicht ergibt sich z.B. aus der VOB Teil C, DIN 18381:

Der Auftragnehmer hat bei der Prüfung der vom Auftraggeber gelieferten Planungsunterlagen und Berechnungen (…) u. a. hinsichtlich der Beschaffenheit und Funktion der Anlage insbesondere zu achten auf …, die Rohrleitungsquerschnitte, Pumpenauslegungen und Netzhydraulik, …[2]

In computergestützten Rohrnetzberechnungen wird jede Teilstrecke einer hydraulischen Berechnung unterzogen. Es können daher vom Planer für größere Trinkwasser-Installationen Berechnungsergebnisse ausgedruckt werden, die mehrere Ordner füllen. Es stellt sich dann sehr schnell die Frage, ob und ggfs. wie ein so vorgelegtes Konvolut an Berechnungsergebnissen auf Plausibilität geprüft werden kann.

Ohne Anspruch auf Vollständigkeit werden im folgenden Merkmale einer solchen Plausibilitätsprüfung beschrieben. Vor dem Hintergrund der normativen Regeln werden dazu beispielhaft die Ergebnisse einer hydraulischen Berechnung verwendet, die mit Dendrit-STUDIO 2.0 (2017/2018)[3] erstellt wurde.

01 DIN 1988-200:2012-05, 3.7 Trinkwasserhygiene \ Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen \ Teil 200: Installation Typ A (geschlossenes System) - Planung, Bauteile, Apparate, Werkstoffe; Technische Regel des DVGW \ Bei den kursiv gesetzten Texten handelt es sich um wörtliche Zitate aus den angegeben Quellen. Fettdruck und Unterstreichungen erfolgten durch die Verfasser
02 DIN 18381:2016-09, 3.1.3 VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen \ Teil C Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Gas-, Wasser- und Entwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden
03 Dendrit Haustechnik-Software GmbH, Dülmen \ Dendrit-STUDIO 2.0 (2017/2018), Trinkwasserinstallation

2 VERBRAUCHSLEITUNGEN

Aus ökonomischen, aber auch aus trinkwasserhygienischen Gründen, soll die Dimensionierung nur so große Rohrleitungsquerschnitte liefern, wie für die Bedarfsdeckung notwendig sind.

Ziel der Bemessung der Kalt- und Warmwasserleitungen ist es, bei Spitzenbelastung des Systems bei den kleinstmöglichen Innendurchmessern den Mindestdurchfluss an allen Entnahmestellen sicherzustellen[4].

Aus dieser Forderung resultieren Trinkwasser-Installationen mit geringem Wasserinhalt, kurzen Verweilzeiten des Trinkwassers in der Leitungsanlage, geringen inneren Rohroberflächen und relativ hohen Fließgeschwindigkeiten, mit hohen Scherkräften an den Rohrwandungen.

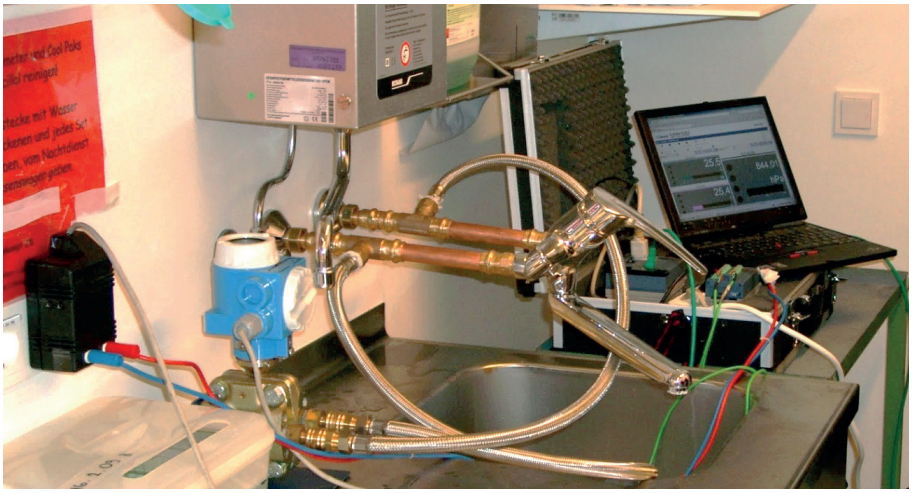


Bild 1: Messtechnischer Aufbau zur Ermittlung der Fließdrücke an einer Mischarmatur

2.1 Mindestfließdruck an einer Entnahmearmatur

Der Mindestdurchfluss, der die Gebrauchstauglichkeit einer Entnahmearmatur sicherstellt, ergibt sich bei dem vom Hersteller angegebenen Mindestfließdruck. In der Rohrnetzberechnung werden häufig „nur" die Referenzwerte[5] der DIN 1988-300 verwendet. Grundsätzlich sind aber die Angaben der Hersteller zu den Mindestfließdrücken und zu den Berechnungsdurchflüssen der Entnahmearmaturen zu berücksichtigen[6], da sie z.B. bei Zweigriffarmaturen ggfs. niedriger, bei Thermostatarmaturen dagegen höher als die Referenzwerte der Norm liegen können. Die Fehlfunktion einer Trinkwasser-Installation, bzw. ein Verstoß gegen die allgemein anerkannten Regeln der Technik, kann objektiv erst festgestellt werden, wenn im laufenden Betrieb der vom Hersteller einer Entnahmearmatur vorgegebene Mindestfließdruck im Armaturenanschluss unterschritten wird. Im Streitfall muss das regelmäßige Unterschreiten des Mindestfließdrucks durch eine Langzeitmessung des statischen Drucks an exponierten Entnahmestellen nachgewiesen werden (Bild 1).

2.2 Gleichzeitigkeit der Wasserentnahme

Die Gleichzeitigkeit der Wasserentnahme ist abhängig von der Art der Nutzung[7] des Gebäudes.

Für den Antrag auf Wasserversorgung beim WVU müssen u.a. Anzahl, Art und Nutzung der im Gebäude installierten Entnahmearmaturen bekannt sein. Eine entsprechend detaillierte Aufstellung ist mindestens für die Hausanschlussleitung erforderlich (Bild 2). Diese Aufstellung kann für Plausibilitätsprüfungen genutzt werden.

Prüfkriterien: Werden alle für die Ermittlung des Spitzendurchflusses relevanten Entnahmestellen berücksichtigt? Entspricht die in der Berechnung des Spitzendurchflusses unterstellte Gleichzeitigkeit der Wasserentnahme der vorgesehenen Nutzung des Gebäudes?

Berechnung Spitzendurchfluss Druckstufe 1

Anzahl	Benennung	Berechnungs-durchfluss PWC	Berechnungs-durchfluss PWH	Summen-durchfluss	Spitzen-durchfluss
		$\dot{V}_R$	$\dot{V}_R$	$\Sigma\dot{V}_R$	$\dot{V}_S$
Stck		l/s	l/s	l/s	l/s
48	Mischarmatur Dusche, DN 15	0,15	0,15	14,40	
48	Mischarmatur Waschtisch, DN 15	0,07	0,07	6,72	
48	Kombiarmatur Küchenspüle/Spülm., DN 15	0,14	0,14	13,44	
48	UP-Spülkasten Bet. v. vorne 6-9 l, DN 15	0,13	0,00	6,24	
1	367 01, FK-4 Systemtrenner-Auslaufventil BA, DN 15	0,45	0,00	0,45	
1	Entleerung, DN 15	0,00	0,00	0,00	
Nutzungsart: Wohngebäude				**41,25**	**2,06**
1	367 01, FK-4 Systemtrenner-Auslaufventil BA, DN 15	0,45	0,00	0,45	
Größter Verbraucher				**0,45**	**0,45**

Bild 2: Berechnung des Spitzendurchflusses in der Hausanschlussleitung für das Berechnungsbeispiel (Bild 3)

04 DIN 1988-300:2012-05, 1 Anwendungsbereich | Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen | Teil 300 Ermittlung der Rohrdurchmesser; Technische Regel des DVGW
05 DIN 1988-300, Tabelle 2 | Mindestfließdrücke und Mindestwerte für den Berechnungsdurchfluss gebräuchlicher Trinkwasserentnahmestellen
06 DIN 1988-300, 5.2.1 Berechnungsdurchfluss
07 DIN 1988-300:2012-05, 5.3 Spitzendurchfluss | Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen | Teil 300 Ermittlung der Rohrdurchmesser; Technische Regel des DVGW

2.3 Hydraulische Berechnung

Die hydraulischen Berechnungen zur Ermittlung der Rohrdurchmesser werden längs sogenannter Fließwege durchgeführt. Alle Fließwege in Verbrauchsleitungen beginnen an der Hausanschlussleitung (HAL) und enden jeweils an einer Entnahmearmatur. In einer vollständigen Rohrnetzberechnung für eine Trinkwasser-Installation muss für jeden dieser Fließwege der Nachweis geführt werden, dass die Summe aus dem Mindestfließdruck p_{minFl}, der geodätischen Druckdifferenz Δp_{geo} und den strömungsabhängigen Druckverlusten, wie den Druckverlusten in den Rohrleitungen $\Sigma(l \cdot R + Z)$, dem Druckverlust im Wasserzähler Δp_{WZ}, den Druckverlusten in Apparaten $\Sigma \Delta p_{App}$, dem Druckverlust in Rückflussverhinderern $\Delta p_{Rück}$, usw. nicht größer wird als der statische Druck p_{minV} am Anfang der Hausanschlussleitung.

Die Ergebnisse sind so zu dokumentieren, dass die Berechnung von Dritten lückenlos nachvollzogen werden kann[8].

Es ist zu dokumentieren, wie der hydraulisch ungünstigste Leitungsweg ermittelt … und mit welchen verfügbaren Druckgefällen die übrigen Leitungswege bemessen worden sind. Für diese Leitungswege ist jeweils ein Vergleich zwischen der verfügbaren und der durch die Bemessung der Rohrleitungen verbrauchten Druckdifferenz anzugeben[9].

Die Planungs- und Ausführungsunterlagen sollten mindestens bestehen aus: … Strangschemata; einer Ermittlung der Rohrdurchmesser; der schematischen Darstellung der Leitungsführungen mit eingetragenen Längen der Teilstrecken, Nennweiten …[10].

Eine vollständige und nachvollziehbare Dokumentation der Berechnungsergebnisse für eine Trinkwasserinstallation muss mindestens folgende Merkmale aufweisen:

// Verknüpfung des Strangschemas mit den Hydrauliklisten über identische Teilstreckenbezeichnungen und/oder Anzeige des Fließweges im Berechnungsstrangschema.
// Ermittlung des hydraulisch ungünstigsten Fließwegs (Bild 4)
// Druckbilanz für jeden einzelnen Fließweg, mit Berechnung der jeweiligen Apparatedruckverluste (Bild 9).
// Die teilstreckenbezogene Berechnung des Druckverlustes im Fließweg (Bild 6), getrennt nach den Druckverlusten in geraden Rohrleitungen $(l \cdot R)$ und in Einzelwiderständen (Z).
// Vergleich zwischen der im Fließweg verfügbaren und der durch die Bemessung der Rohrleitungen verbrauchten Druckdifferenz (Bild 9).

Prüfkriterien: Entsprechen die vorgelegten Hydrauliklisten den Dokumentationsanforderungen der DIN 1988-300[8 9 10 11]?

Bild 5 zeigt die Summe aller Druckkomponenten im Fließweg, jeweils berechnet für das Ende einer Teilstrecke. Diese Summen entsprechen an jedem Berechnungspunkt immer genau dem Mindestversorgungsdruck. Mit Auftreten des rechnerischen Spitzendurchflusses darf der Fließdruck am Ende eines Fließwegs den geforderten Mindestfließdruck an der Entnahmearmatur nicht unterschreiten. Positivlisten (Bild 8) im Verlauf einer Berechnung und eine Druckbilanz für jeden Fließweg in den Hydrauliklisten (Bild 9) ermöglichen die Plausibilitätsprüfung.

// 2.3.1 Grundsätzliche Anforderungen an die Dokumentation

Die Ergebnisse einer hydraulischen Berechnung für eine Trinkwasserinstallation werden gemäß DIN 1988-300 in der Regel in einem beschrifteten Strangschema (Berechnungsstrangschema) in Verbindung mit sogenann-

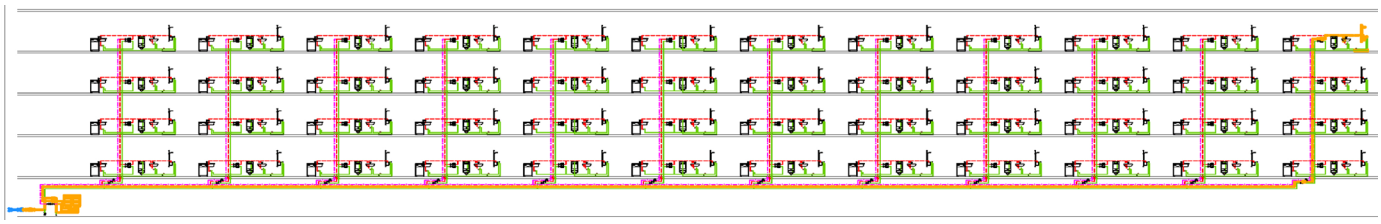


Bild 3: Im Berechnungsstrangschema markierter Fließweg von der Hausanschlussleitung (HAL) bis zur Entnahmearmatur

Fließwege

DS -	Nr. -	* -	l_{ges} m		NE	$p_{min,V}$ hPa	Δp_{HAL} hPa	Δp_{WZ} hPa	$p_{min,WZ}$ hPa	h_{geo} m	Δp_{geo} hPa	$\Sigma\Delta p_{App}$ hPa	$\Sigma\Delta p_{St\text{-}Te}$ hPa	$\Sigma\Delta p_{Rück}$ hPa	p_{minFl} hPa	p_{Fl} hPa	p_{Ruhe} hPa	Δp_v hPa	$\Sigma(l \cdot R + Z)$ hPa	R_m hPa/m
1	1		110,75	PWH	-	4000	0	382	3618	12,00	1177	706	0	63	1000	1011	2823	735	661	6,6
1	2		109,05	PWH	-	4000	0	382	3618	11,60	1138	706	0	63	1000	1026	2862	774	685	7,1
1	3		103,10	PWH	-	4000	0	382	3618	12,00	1177	706	0	63	1000	1011	2823	735	661	7,1
1	4		110,15	PWH	-	4000	0	382	3618	11,40	1118	706	0	63	1000	1044	2882	793	686	7,2
1	5		101,40	PWH	-	4000	0	382	3618	11,60	1138	706	0	63	1000	1026	2862	774	684	7,6

Bild 4: Ermittlung des hydraulisch ungünstigsten Fließwegs, mit Nachweis der verfügbaren und der durch die Bemessung der Rohrleitungen verbrauchten Druckdifferenz (s.a. Bild 9)

08 DIN 1988-300, 7 Dokumentation der Berechnungsergebnisse
09 DIN 1988-300, 7.2 Kalt- und Warmwasserleitungen
10 DIN 1988-200, 3.8.2 Art der Unterlagen
11 DIN 1988-300, Anhang B (informativ) Darstellung der Berechnungsgrundlagen

ten Hydrauliklisten dokumentiert. Beide Dokumente müssen auf demselben Berechnungsergebnis basieren. Das Datum der maßgebenden Berechnung sollte daher sowohl auf dem Strangschema als auch auf den Hydrauliklisten vermerkt sein. Ferner sollte der Softwarehersteller und die Versionsnummer des Berechnungsprogramms bekannt sein, mit dessen Unterstützung die Rohrnetzberechnung durchgeführt wurde.

Prüfkriterien: Ist das Berechnungsstrangschema eindeutig mit den Berechnungsergebnissen in den Hydrauliklisten verknüpft?

Für eine Plausibilitätsprüfung ist es meistens ausreichend, wenn in jeder Druckstufe die Hydrauliklisten für den jeweils ungünstigsten Fließweg im kalten und warmen Trinkwasser und im ungünstigsten Zirkulationskreis zur Verfügung stehen.

Die Teilstrecken im Strangschema und in der Hydraulikliste müssen für die Prüfung über eine eindeutige Teilstreckenbezeichnung miteinander verbunden sein (Bild 6, Bild 7 und Bild 9).

Die normativ geforderten kleinstmöglichen Innendurchmesser werden erreicht, wenn der Fließdruck möglichst genau dem Mindestfließdruck entspricht (Bild 5 und Bild 9). Grenzen für den geforderten hydraulischen Abgleich[12] werden durch Maximalgeschwindigkeiten und Mindestinnendurchmesser gesetzt. In hydraulisch günstigeren Situationen ist daher der Fließdruck ggfs. deutlich höher als der Mindestfließdruck.

Der *Ruhedruck* ist der statische Druck, der sich einstellt, wenn keine Wasserentnahme stattfindet. Der Ruhedruck im Armaturenanschluss darf aus Gründen des Schallschutzes 5000 hPa nicht überschreiten. Je nach Lage im Rohrnetz variieren sowohl die Ruhe- als auch die Fließdrücke vor den Entnahmearmaturen. Je geringer die Differenz, einerseits zwischen Ruhe- und Fließdruck und andererseits zwischen PWC- und PWH-Anschluss einer Entnahmearmatur ist, umso geringer ist der Einfluss anderer Wasserentnahmen im Netz auf den Durchfluss. Temperaturschwankungen an Mischarmaturen ohne thermostatische Temperaturregelung können so reduziert werden.

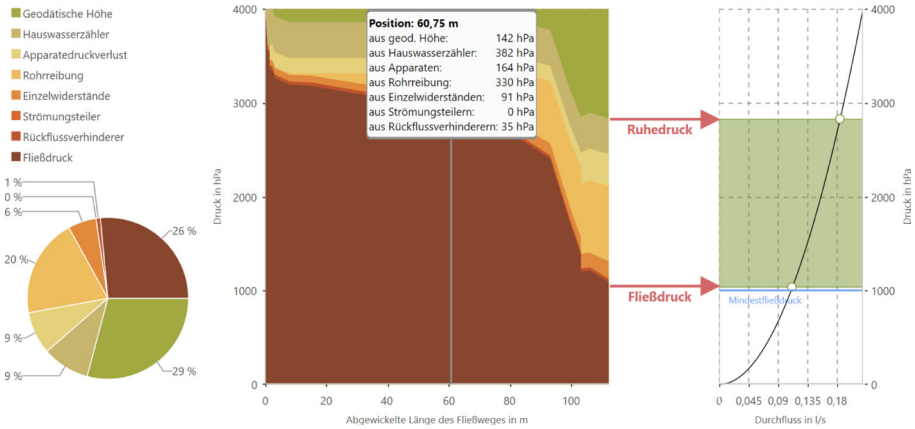


Bild 5: Verlauf der jeweiligen Druckkomponenten längs des hydraulisch ungünstigsten Fließwegs

TS-Nr. -	l m	TS-Typ -	DN -	d_i mm	D %	$\dot{V}_S+\dot{V}_D$ l/s	v m/s	R hPa/m	l·R hPa	Σζ -	Z hPa	l·R+Z hPa
1	0,80	Hausanschlussleitung	50	51,4	0	2,06	1,0	2,2	1,7	11,4	56,4	58,2
2	0,40	Verteilungsleitung	50	51,0	222	2,06	1,0	2,2	0,9	0,0	0,0	36,3
3	0,20	Verteilungsleitung	50	51,0	222	2,06	1,0	2,2	0,4	0,1	0,5	0,9
4	0,90	Verteilungsleitung	50	51,0	222	2,06	1,0	2,2	2,0	1,5	7,7	9,6
5	0,80	Verteilungsleitung	50	51,0	222	2,05	1,0	2,2	1,8	1,2	5,9	7,7
6	1,80	Verteilungsleitung	50	51,0	222	1,60	0,8	1,4	2,5	1,5	4,6	35,2
7	0,20	Verteilungsleitung	50	51,0	222	1,60	0,8	1,4	0,3	1,4	4,3	4,6
8	6,30	Verteilungsleitung	50	51,0	102	1,60	0,8	1,1	7,0	2,2	6,8	13,8
9	7,55	Verteilungsleitung	50	51,0	102	1,56	0,8	1,1	8,0	0,2	0,6	8,6
10	7,55	Verteilungsleitung	40	39,0	109	1,52	1,3	3,7	27,6	0,3	2,5	30,0

Bild 6: Auszug aus einer Hydraulikliste für den hydraulisch ungünstigsten Fließweg mit Angabe der Teilstreckennummerierung (TS-Nr. 1-10).

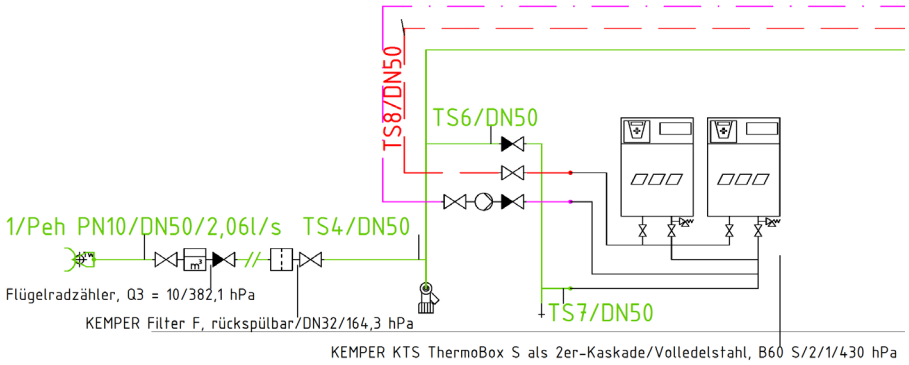


Bild 7: Auszug aus einem Berechnungs-Strangschema mit Angabe der Teilstreckennummerierung

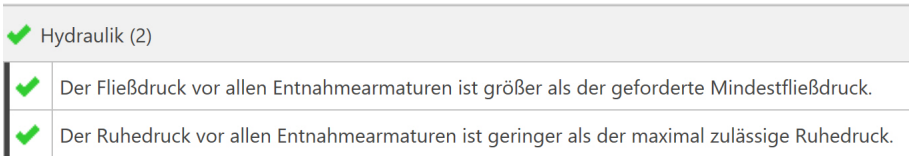


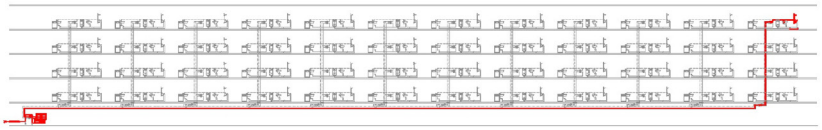
Bild 8: Positivliste im Verlauf einer Berechnung

12 *DIN 1988-300, 5.6 Strangabgleich über Anpassung der Rohrdurchmesser für die hydraulisch günstigeren Fließwege*

Prüfkriterien: Ist vor jeder Entnahmearmatur der Fließdruck größer als der Mindestfließdruck und der Ruhedruck geringer als 5000 hPa?

Für die Bemessung der Rohrdurchmesser sind die Angaben der Hersteller zu verwenden. Sie haben die ZetaWerte (ζ) und die Rohrreibungsdruckgefälle R … anzugeben[13].

Insbesondere bei öffentlichen Ausschreibungen werden produktneutrale Leistungsbeschreibungen gefordert. Damit ein neutraler Vergleich von Rohrleitungssystemen mit unterschiedlichen Werkstoffen durchgeführt werden kann, wurden dazu im informativen Anhang der DIN 1988-300 Referenzrohrreihen definiert. In der Regel weichen sowohl die Innendurchmesser als auch die Widerstandsbeiwerte der Form- und Verbindungsstücke der Referenzrohrreihen von denen der zur Ausführung gelangenden realen Rohrsysteme ab. In solchen Fällen muss die Trinkwasser-Installation vor der Ausführung mit den Herstellerdaten nachberechnet werden. Auch ein Wechsel der Rohrsysteme durch das ausführende Unternehmen im Verlauf einer Ausführungsplanung macht ggfs. eine Nachberechnung erforderlich.



Fl.-Nr.					
1	**AP-Dusche**	p_{minFL}		**1000,0**	**hPa**
TS-Nr.	Benennung	Bez.		Wert	Einheit
	Mindestversorgungsdruck bzw. Mindestdruck hinter DEA / Druckminderer	$p_{min,V}$		4000,0	hPa
	Druckverlust in der Hausanschlussleitung	Δp_{HAL}	-	0,0	hPa
1	Druckverlust im Hauswasserzähler	Δp_{WZ}	-	382,1	hPa
	Mindestdruck hinter dem Hauswasserzähler	$p_{min,WZ}$	=	**3617,9**	**hPa**
	Druckverlust aus geodätischem Höhenunterschied	Δp_{geo}	-	1176,8	hPa
	Druckverlust in Apparaten				
3	Filter	Δp_{FIL}	-	164,3	hPa
7	KTS ThermoBox 2er-Kaskade	Δp_{D-TE}	-	430,2	hPa
24	Wasserzähler	Δp_{WZ}	-	112,0	hPa
27	Mindestfließdruck an der Entnahmearmatur	p_{minFL}	-	1000,0	hPa
	verfügbare Druckdifferenz im Fließweg	Δp_v	=	**734,6**	**hPa**
	Länge des Fließweges	l_{ges}		110,75	m
	mittleres verfügbares Druckgefälle	R_m	=	**6,6**	**hPa/m**
	Druckverlust aus Rohrreibung	$\Sigma(l \cdot R)$	+	479,2	hPa
	Druckverlust aus Einzelwiderständen	ΣZ	+	181,5	hPa
	Druckverlust aus Strömungsteilern	$\Sigma\Delta p_{St-Te}$	+	0,0	hPa
	Druckverlust aus Rückflussverhinderern und KFR-Ventilen	$\Sigma\Delta p_{Rück}$	+	63,4	hPa
	Druckverlust im Fließweg	Δp	=	**724,0**	**hPa**
27	Fließdruck an der Entnahmearmatur	p_{FL}		1010,7	hPa
	Nicht zirkulierendes Volumen			1,48	l
	Ausstoßzeit für nichtzirkulierendes PWH			8	s
	Komfortklasse nach VDI 6003			II	

Bild 9: Anzeige des Fließwegs im Berechnungsstrangschema und die zugehörige Druckbilanz, mit Nachweis des Fließdrucks an der Entnahmearmatur im Berechnungsfall

In einer vergleichenden Berechnung liefern z.B. die Referenzrohrreihen der DIN 1988-300 „Edelstahl/PEX" ein Rohrnetz mit einem Gesamtwasserinhalt von 563 l, während eine Berechnung der gleichen Rohrnetzstruktur (Bild 3) für die reale Werkstoffkombination „Mapress (Edelstahl)/Mepla" des Rohrsystemherstellers Geberit nur 498 l liefert (Bild 10). Durch die realitätsnähere Rohrnetzberechnung reduziert sich im gegebenen Fall der Wasserinhalt der Trinkwasserinstallation bereits um ca. 12%. Durch eine Nachberechnung unter Berücksichtigung der Herstellerangaben wird *sichergestellt, dass mit der Ausführung aus hydraulischer, wirtschaftlicher und trinkwasserhygienischer Sicht die optimalen Rohrdurchmesser realisiert werden[14].*

Teilstreckentyp	Rohrfolge	ϑ_L °C	Dämmung	λ_D W/(m·K)	s_D mm	s_D %
PWC						
Hausanschlussleitung	Neutral - PEH	15,0	Ungedämmt	0,000	0,00	0
Verteilungsleitung	Geberit - Mapress 1.4401	15,0	Steinwolle - Aluminiumkaschiert	0,037		100
Steig-/Fallleitung	Geberit - Mapress 1.4401	25,0	Schlauchdämmung	0,040		100
Stockwerks-Verteilungsleitung	Geberit - Mapress 1.4401	27,0	Schlauchdämmung	0,040		100
Stockwerksleitung	Geberit - Mepla	24,0	Schlauchdämmung	0,040		100
Einzelzuleitung	Geberit - Mepla	24,0	Schlauchdämmung	0,040		100
Stockwerks-Ringleitung	Geberit - Mepla	24,0	Schlauchdämmung	0,040		100

Bild 10: Nachweis der in den Teilabschnitten einer Trinkwasserinstallation verwendeten Rohrsysteme (PWC)

Prüfkriterien: Entsprechen die Rohrsysteme in der zu prüfenden hydraulischen Berechnung denen der Ausführung? Ist eine Nachberechnung erforderlich?

// 2.3.2 Mindestversorgungsdruck des WVU

Nach AVBWasserV[15] ist das Wasserversorgungsunternehmen zur Wasserlieferung unter dem Druck verpflichtet, der für eine einwandfreie Deckung des üblichen Bedarfs in dem betreffenden Versorgungsgebiet erforderlich ist. Das

13 DIN 1988-300, 4 Berechnungsgrundlagen
14 F.-J. Heinrichs, B. Rickmann u.a. | Kommentar zu DIN 1988-300 und DIN EN 806-3, 1. Auflage 2013 | Ermittlung und Berechnung der Rohrdurchmesser, Differenziertes und vereinfachtes Verfahren | Beuth Verlag GmbH Berlin, Wien, Zürich
15 Verordnung über Allgemeine Bedingungen für die Versorgung mit Wasser

zuständige Wasserversorgungsunternehmen legt den Übergabepunkt und die Messstelle für den Mindest-Versorgungsdruck fest. Übergabepunkte können sein:

// Anschlussvorrichtung an der Versorgungsleitung
// Hauptabsperreinrichtung
// hinter der Wasserzähleranlage

Der Mindestversorgungsdruck ist die maßgebliche Größe bei der Ermittlung der erforderlichen Durchmesser für die Verbrauchsleitungen.

Für die Berechnung ist der vom WVU genannte Mindestdruck (Fließdruck) … maßgebend[16].

Prüfkriterien: Entsprechen der in der Rohrnetzberechnung verwendete Mindestversorgungsdruck und der Anfangspunkt für die Berechnung des Rohrnetzes (an der Ventilanbohrschelle, hinter der Hauptabsperreinrichtung (HAE) bzw. hinter dem Wasserzähler) den Vorgaben des Wasserversorgungsunternehmens (WVU)?

// 2.3.3 Apparatedruckverluste

Unter dem Oberbegriff „Apparate" werden Filter, Enthärtungs-, Dosier-, Entsalzungsanlagen sowie die Wärmetauscher von Durchfluss-Trinkwassererwärmern usw. zusammengefasst. Wegen des großen Einflusses der Apparatedruckverluste auf die Ergebnisse einer Rohrnetzberechnung müssen die Druckverluste in Apparaten unter Verwendung der Herstellerangaben „differenziert" berechnet werden (Bild 9). Grundsätzlich gilt die Regel, dass die Druckverluste in Apparaten gering sein müssen, damit eine möglichst große Druckdifferenz für die Bemessung der Rohrleitungen zur Verfügung steht (Bild 9). Nur mit dieser Zielsetzung können aus *hydraulischer, wirtschaftlicher und trinkwasserhygienischer Sicht die optimalen Rohrdurchmesser realisiert werden.*

Die Überlastung eines fehlbemessenen Apparates kann schnell zu unzulässig hohen Druckverlusten führen, verbunden mit Unterschreitungen des Mindestfließdruckes an kritischen Entnahmearmaturen. So kann z.B. der Druckverlust im Wärmetauscher einer Durchfluss-Trinkwassererwärmungsanlage mit Auftreten einer Verbrauchsspitze erheblich werden. Damit bereits bekanntgewordene Fehlfunktionen vermieden werden, muss der in einer Durchfluss-Trinkwassererwärmungsanlage zu erwartende Druckverlust als Apparatedruckverlust bei Spitzendurchfluss der DIN 1988-300 bzw. DIN EN 12831-3[17] „differenziert" ermittelt und bei der Dimensionierung des Rohrnetzes berücksichtigt werden (Bild 9 und Bild 11).

Im gleichen Maße wie die Apparatedruckverluste zunehmen, wird die für die Bemessung des Rohrnetzes verfügbare Druckdifferenz reduziert. Die Dimensionierung der Trinkwasser-Installation aus Bild 3, mit einem Apparatedruckverlust für die Durchfluss-Trinkwassererwärmungsanlage von 764,8 hPa gegenüber 430,2 hPa (Bild 11), liefert aus diesem Grund bereits einen um mehr als 30% größeren Wasserinhalt, verbunden mit entsprechend hohen Erstellungskosten für das Rohrnetz! Wird der Druckverlust in einer Durchfluss-Trinkwassererwärmungsanlage noch größer, ist i.d.R. eine Druckerhöhungsanlage erforderlich, damit überhaupt ein rechnerischer Nachweis geführt werden kann, der den Regeln zur Ermittlung der Rohrdurchmesser gemäß DIN 1988-300 noch genügt.

Der nachträgliche Einbau einer Druckerhöhungsanlage, wegen Unterschreitungen des Mindestfließdrucks an der Entnahmestelle, verursacht durch vermeidbare Strömungswiderstände im Rohrnetz, widerspricht dem Grundgedanken der allgemein anerkannten Regeln der Technik.

Druckerhöhungsanlagen sind nur dann notwendig, wenn der Mindest-Versorgungsdruck kleiner ist als die Summe aus Druckverlust in der Trinkwasser-Installation, Druckverlust aus dem geodäti-

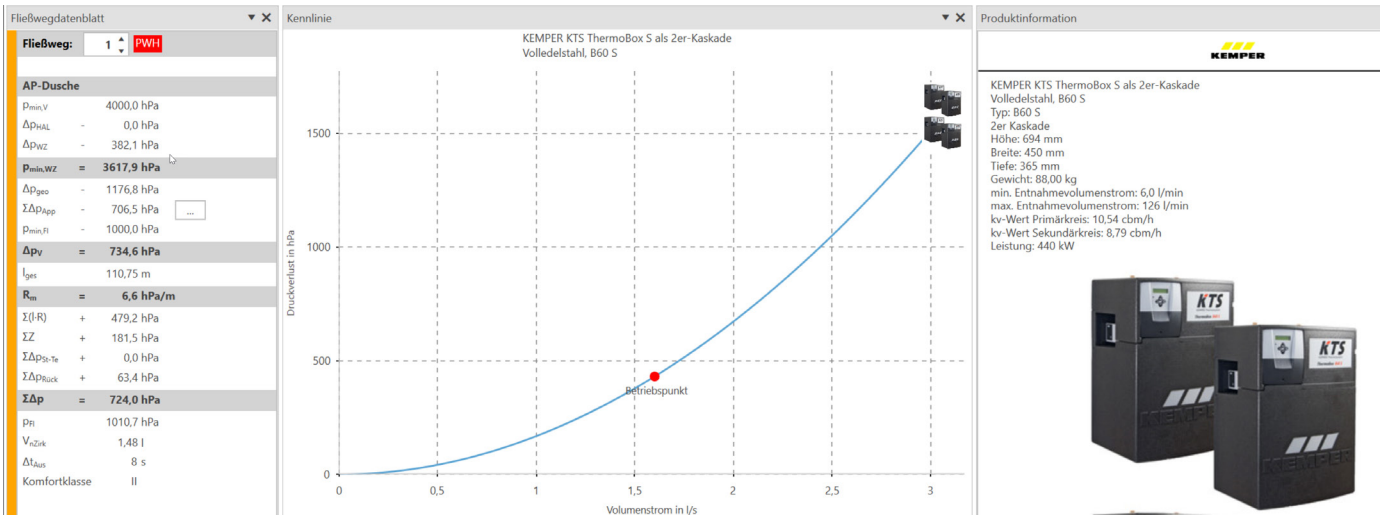


Bild 11: Differenziert berechneter Druckverlust in einer Durchfluss-Trinkwassererwärmungsanlage unter Berücksichtigung der Herstellerdaten (Kennlinie)

16 DIN 1988-300, 5.5.4 Mindestversorgungsdruck
17 DIN EN 12831-3:2017-09, (informativ): Bemessung des Wärmetauschers I Energetische Bewertung von Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast - Teil 3: Trinkwassererwärmungsanlagen, Heizlast und Bedarfsbestimmung
18 DIN 1988-500:2011-02, 4 Planungsgrundlagen I Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen I Druckerhöhungsanlagen mit drehzahlgeregelten Pumpen; Technische Regel des DVGW

schen Höhenunterschied und Mindestfließdruck. Der Nachweis ist durch eine differenzierte Berechnung der Druckverluste zu erbringen, …[18]

In druckkritischen Situationen muss durch eine differenzierte Berechnung nachgewiesen werden, dass der Mindestversorgungsdruck nicht mehr ausreichend ist, um das Gebäude ohne Druckerhöhungsanlage versorgen zu können. Im Rahmen dieses rechnerischen Nachweises müssen druckverlustarme Wasserzähler und Apparate sowie Entnahmearmaturen mit geringen Mindestfließdruckforderungen verwendet werden. Der Druckverlust in Wasserzählern und Apparaten muss jeweils differenziert berechnet werden[19].

Apparatedruckverluste haben ggfs. einen sehr viel größeren Einfluss auf die Funktionalität, die trinkwasserhygienischen Parameter und auch auf die Erstellungskosten einer Trinkwasserinstallation als z.B. die Zeta-Werte eines Rohrleitungssystems.

Weichen die Apparatedruckverluste der einzubauenden Apparate von denen der zu prüfenden hydraulischen Berechnung ab, ist eine Nachberechnung des Rohrnetzes erforderlich! Die Pflicht zu einer Nachberechnung besteht auch dann, wenn ein Produktwechsel durch das ausführende Unternehmen im Verlauf einer Ausführungsplanung vorgenommen wurde. Die Apparatedruckverluste müssen vom Hersteller des Apparates im Sinne der DIN 1988 ggfs. auch der DIN EN 12831-3 nachvollziehbar und prüfbar angegeben werden (z.B. Bild 11).

Prüfkriterien: Entsprechen die Druckverluste der geplanten Apparate denen der Ausführung? Liegen entsprechende Herstellerdaten vor? Ist ggfs. eine Nachberechnung erforderlich?

// 2.3.4 Ermittlung der Rohrdurchmesser

Der Druckverlust einer Teilstrecke wird neben dem Rohrdurchmesser maßgeblich von der Länge der Leitung und den darin enthaltenen Einzelwiderständen bestimmt. Je besser die Datenerfassung die zu berechnende Trinkwasser-Installation beschreibt, umso verlässlicher sind die Ergebnisse einer hydraulischen Berechnung. Die Rohrleitungslängen und auch die Anzahl der Winkel und Bögen werden mit einer sogenannten Standard-Datenerfassung i.d.R. aus einer 2D-Darstellung des Rohrnetzes (Berechnungsstrangschema) ermittelt. Die Ergebnisse entsprechen in diesem Bearbeitungsstadium nur in einer allerersten Näherung der Realität. Die Teilstreckendaten der Standarderfassung müssen nacheditiert werden, damit sie der Realität möglichst nahekommen. Für die Nacherfassung stehen komfortable Funktionen zur Verfügung, mit denen eine Vielzahl gleichartiger Bauteile oder auch Teilstrecken insgesamt oder in einer Bereichsauswahl mit „einem Klick" geändert werden können.

Für eine Plausibilitätsprüfung sollte die ausgedruckte Dokumentation der hydraulischen Berechnungen Hinweise auf die Qualität der Datenerfassung enthalten. Z.B. wie folgt:

„XX% aller Teilstrecken wurden in Bezug auf Länge und/oder Anzahl der Strömungsumlenkungen editiert."

Genaue Massenauszüge sind nicht nur für die Ausschreibung von Bauleistungen erforderlich, sondern sind darüber hinaus leistungsfähige Hilfsmittel für die Arbeitsvorbereitung bei der Ausführung der Installationsarbeiten.

Prüfkriterien: Beschreibt die Datenerfassung die zu berechnende Trinkwasser-Installation in ausreichendem Maße? Ist ggfs. eine Nacherfassung erforderlich?

19 F.-J. Heinrichs, J. Klement, B. Rickmann u.a. \ Kommentar zu DIN 1988-500, 1. Auflage 2011 \ Druckerhöhungsanlagen mit drehzahlgeregelten Pumpen \ Beuth Verlag GmbH Berlin, Wien, Zürich

3 ZIRKULATION

Eine Kontamination des erwärmten Trinkwassers mit Krankheitserregern kann in den meisten Fällen auf eine unzureichende Zirkulation des erwärmten Trinkwassers zurückgeführt werden. Zum Nachweis einer fach- und bedarfsgerechten Planung[1] wird auch in solchen Fällen u.a. die Vorlage einer Berechnung der Trinkwasser-Installation gefordert, die der Ausführung zu Grunde lag (s.a. Abschnitt 1).

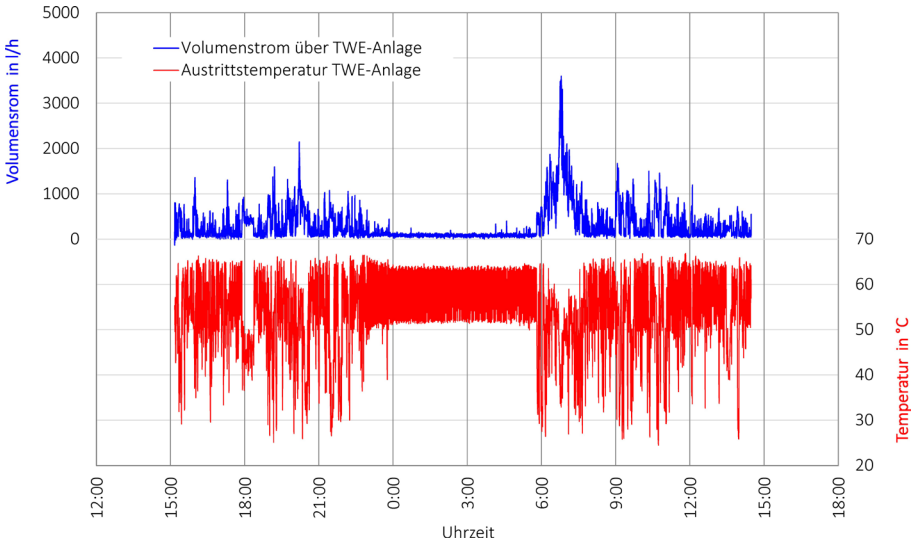


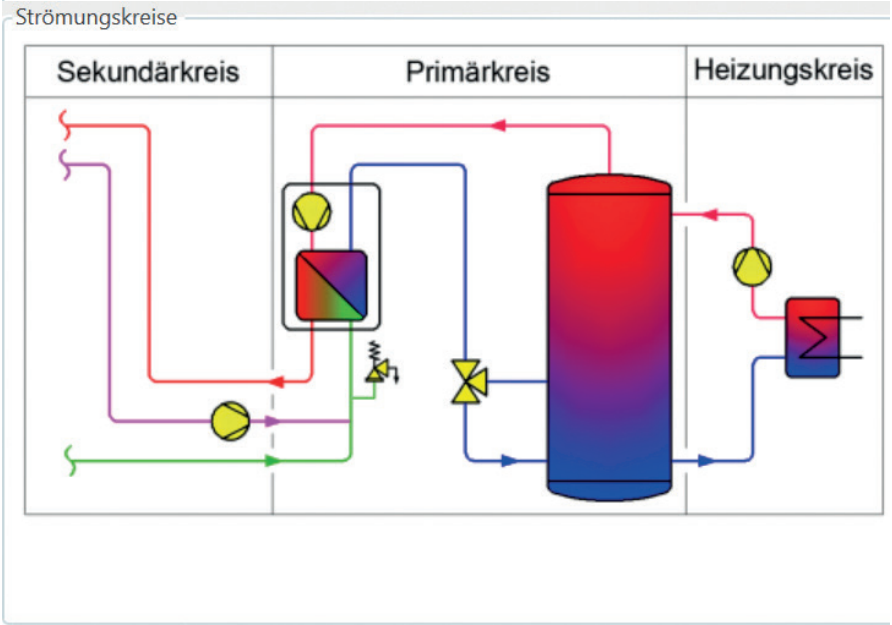
Bild 12: Austrittstemperaturen aus einer Trinkwassererwärmungsanlage mit unzulässigen Schwankungen zwischen 30 und 65 °C

3.1 Austrittstemperaturen aus der Trinkwassererwärmungsanlage

Zur Sicherstellung der Anforderungen der Hygiene an die Technik wird der Warmwassertemperatur im Speicher und in der Leitungsanlage besondere Bedeutung beigemessen. *Zentrale Trinkwassererwärmer … müssen so geplant, gebaut und betrieben werden, dass am Austritt aus dem Trinkwassererwärmer die Trinkwassertemperatur ≥ 60 °C beträgt*[20].

Werden für den hydraulischen Abgleich thermostatische Zirkulationsregulierventile (ZRV) verwendet, ist es auch aus technischen Gründen erforderlich, dass die Austrittstemperatur näherungsweise konstant bei 60 °C liegt. Es muss daher vom Hersteller der Trinkwassererwärmungsanlage ausgewiesen werden, dass die Austrittstemperaturen bei den zu erwartenden Lastverhältnissen bei 60 °C gehalten werden können. Dass das nicht selbstverständlich ist, zeigen Messwertaufschreibungen aus größeren Trinkwasser-Installationen. Im konkreten Fall (Bild 12) schwanken die Austrittstemperaturen aus der TWE-Anlage unter Last in extremer Weise zwischen 30 und 65 °C.

Mit Auftreten eines Spitzendurchflusses (DIN 1988-300) darf zwar grundsätzlich die Austrittstemperatur aus



Sekundärkreis

Bedarfsspitze aus Summenlinie	172	kW
Volumenstrom (PWH / PWH-C)	58	l/min
Mischtemperatur PWC / PWH-C	17	°C
PWH-Temp. Spitzenvolumenstrom DIN 1988-300	60	°C
Sek. Druckverlust bei Spitzenvolumenstrom DIN 1988-300	444	hPa

Bild 13: Nachweis der Warmwassertemperatur mit Auftreten des Spitzendurchflusses (DIN 1988-300)

20 DIN 1988-200:2012-05, 9.7.2.2 Zentrale Trinkwassererwärmer | Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen | Installation Typ A (geschlossenes System) - Planung, Bauteile, Apparate, Werkstoffe; Technische Regel des DVGW

Speicher- oder Durchflusssystemen im Minutenbereich unterschritten werden. Die Warmwassertemperatur darf dabei aber nicht so weit abfallen (z.B. unter 45 °C), dass die Gebrauchstauglichkeit der Warmwasserversorgung nicht mehr gegeben ist.

Bei Entnahme von Spitzenvolumenströmen ist mit einem Temperaturabfall im Speicher zu rechnen. Kurzzeitige Absenkungen der Speicheraustrittstemperatur im Minutenbereich sind daher tolerierbar ...[20]

Für die zur Ausführung vorgesehene Trinkwassererwärmungsanlage muss durch Rechnung nachgewiesen werden, dass mit Auftreten des Spitzendurchflusses nach DIN 1988-300 bzw. DIN EN 12831-3 die Temperatur nicht unter einen vorgegebenen Wert (z.B. 45 °C) abfällt. Im konkreten Fall der Beispielberechnung (Bild 13) kann mit der gewählten Anlage (Bild 11) auch der Spitzenvolumenstrom der DIN 1988-300 auf 60 °C erwärmt werden.

Thermostatventile reagieren konstruktionsbedingt träge, so dass ein Temperaturabfall im Minutenbereich keine Auswirkungen auf den hydraulischen Abgleich des Zirkulationssystems hat.

Prüfkriterien: Ist die geplante Trinkwassererwärmungsanlage in der Lage, die Austrittstemperatur unter den zu erwartenden Lastverhältnissen bei 60 °C zu halten? Ist sichergestellt, dass mit Auftreten des Spitzendurchflusses nach DIN 1988-300 bzw. DIN EN 12831-3 die Temperatur nicht unter einen vorgegebenen Wert (z.B. 45 °C) abfällt!

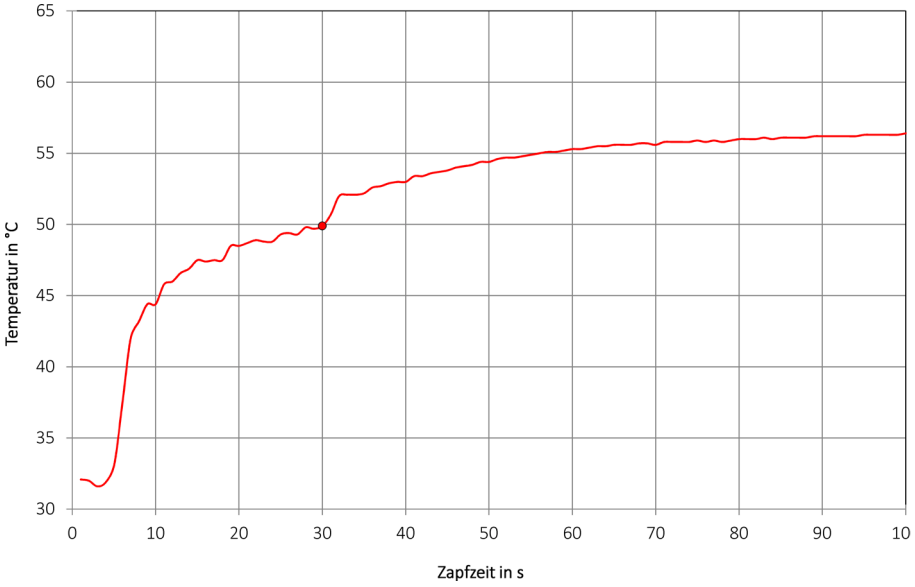


Bild 14: gemessenes PWH-Zapfprofil bei einer Zirkulation über die Stockwerksleitungen

3.2 Temperaturanforderungen an der Entnahmestelle

Eine erste Beurteilung der Betriebsverhältnisse einer trinkwasserhygienisch auffällig gewordenen Trinkwasser-Installation erfolgt i.d.R. auf der Grundlage sogenannter Zapfprofile. Unter einem Zapfprofil wird der zeitliche Verlauf der Kalt- bzw. Warmwassertemperatur bei Wasserentnahme an einer Entnahmestelle im laufenden Betrieb verstanden. Zapfprofile ermöglichen auf einfachem Wege eine Einschätzung, ob eine Trinkwasser-Installation gemäß den allgemein anerkannten Regeln der Technik betrieben werden kann oder nicht. Bewertungskriterien für die grundsätzliche Gebrauchstauglichkeit sind in DIN 1988-200 und in der VDI-Richtlinien 6023[21] und - sofern vertraglich vereinbart – in der VDI-Richtlinie 6003[22] enthalten.

Bei bestimmungsgemäßem Betrieb darf maximal 30 s nach dem vollen Öffnen einer Entnahmestelle die Temperatur des Trinkwassers kalt 25 °C nicht übersteigen und die Temperatur des Trinkwassers warm muss mindestens 55 °C erreichen[23].

Bei Rohrleitungsinhalten von > 3 l sind Zirkulationsleitungen … einzubauen[24].

Bild 14 zeigt das PWH-Zapfprofil einer Entnahmearmatur nach einer Stagnationsphase. Der Temperaturverlauf lässt auf eine Störung der Zirkulation im größeren Umfange schließen, da eine Warmwassertemperatur >55 °C erst nach Ablauf von deutlich mehr als 30 Sekunden an der Entnahmestelle zur Verfügung steht. Bei einer einwandfreien Funktion der Zirkulation müssten innerhalb weniger Sekunden die Zapftemperaturen oberhalb von 55 °C liegen.

Die Dokumentation der Berechnungsergebnisse sollte mindestens eine Aussage über die Einhaltung der 30-Sekunden-, der 3-Liter-Regel an jeder Entnahmestelle für erwärmtes Trinkwasser treffen und bestenfalls auch noch die Komfortstufe gemäß VDI-Richtlinie 6003 ausweisen (Bild 9, unten). Zur Vermeidung gravierender Fehlfunktionen ist es sinnvoll, mit der Rohrnetzberechnung für jede Entnahmearmatur ein Zapfprofil zu berechnen. Für die grundsätzliche Beurteilung der zu erwartenden Funktionalität einer Trinkwasser-Installation ist es ausreichend, wenn die Berechnung des Zapfprofils nur in einer ersten Näherung erfolgt, d.h. ohne Berücksichtigung der instationären Wärmeübergänge während des Zapfvorgangs. Bild 15 zeigt, dass die Ausstoßzeit für nicht ausreichend erwärmtes Trinkwasser an der betreffenden Entnahmearmatur 8 Sekunden beträgt. Der nicht zirkulierende Wasserinhalt umfasst 1,48 l (Bild 9 unten). Damit wird auch die 3-Liter Regel eingehalten. Die höchste

21 Richtlinie VDI/DVGW 6023 - Hygiene in Trinkwasser-Installationen; Anforderungen an Planung, Ausführung, Betrieb und Instandhaltung
22 VDI-Richtlinie VDI 6003 Trinkwassererwärmungsanlagen - Komfortkriterien und Anforderungsstufen für Planung, Bewertung und Einsatz
23 DIN 1988-200, 3.6 Betriebstemperatur
24 DIN 1988-200, 9 Verteilung von Trinkwasser warm

Komfortstufe III der VDI Richtlinie 6003 wird im gegebenen Fall allerdings nicht erreicht.

Prüfkriterien: Werden in der geplanten Trinkwasser-Installation an den Entnahmearmaturen für erwärmtes Trinkwasser die 30-Sekunden- und die 3-Liter-Regel eingehalten?

Sofern Komfortanforderungen auf der Grundlage der VDI Richtlinie 6003 vertraglich vereinbart wurden:

Wird die geforderte Komfortstufe für die betreffenden Entnahmearmaturen erreicht bzw. mit dem Planungsstand nachgewiesen?

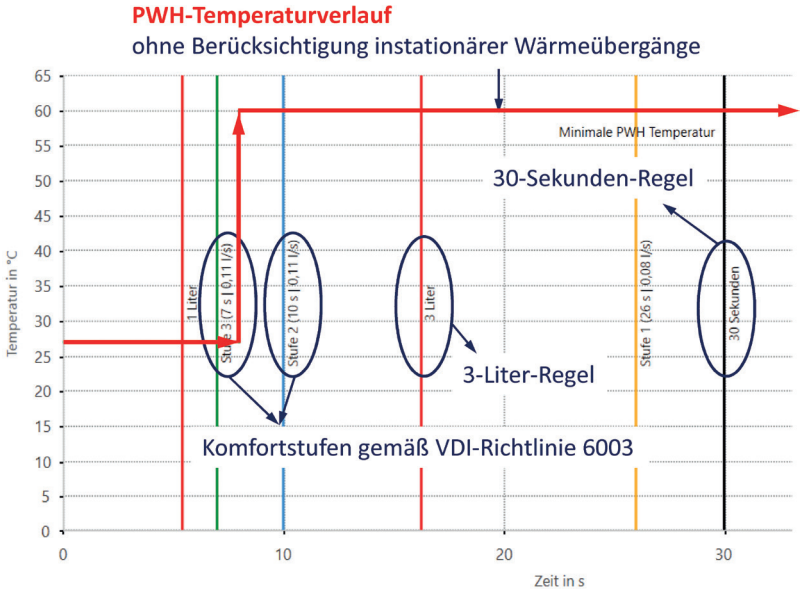


Bild 15: Berechnetes PWH-Zapfprofil für die hydraulisch ungünstigste Entnahmearmatur (Bild 3)

3.3 Temperaturhaltung im zirkulierenden Warmwassersystem

In zirkulierenden Trinkwasser-Installationen darf ein Temperaturabfall von 5 K nicht überschritten werden[24]. Durch ein geeignetes Zirkulationssystem muss dafür gesorgt werden, dass bei einer Austrittstemperatur aus der Trinkwassererwärmungsanlage von 60 °C die Temperatur in allen Leitungen, in denen das erwärmte Trinkwasser zirkuliert, die Warmwassertemperatur nicht unter 55 °C absinkt (Bild 24).

3.4 Wärmedämmung

Die zur Temperaturhaltung erforderlichen Zirkulationsvolumenströme $\dot{V}_Z$ (Bild 17) müssen aus den Wärmeverlusten der PWH-Leitungen (Bild 16) und der erforderlichen Temperaturdifferenz des erwärmten Trinkwassers zwischen dem Austritt aus der Trinkwassererwärmungsanlage und dem Anschluss der Zirkulation ermittelt werden.

Zur Begrenzung der Wärmeabgabe von Trinkwasserleitungen warm, ..., sind diese mit Dämmschichtdicken nach Tabelle 9 zu dämmen[25]. Mit der Dokumentation der Berechnungsergebnisse einer hydraulischen Berechnung muss nachgewiesen werden, dass mit den vorgesehenen Dämmstoffen und Dämmschichtdicken die Mindestanforderungen der DIN 1988-200 bzw. der EnEV[26] erreicht werden können. Wird die Mindestanforderung aus den vorgenannten Regelwerken mit einem Dämmungsgrad D = 100% definiert, kann ein Dämmungsgrad für die zur Ausführung kommende Dämmung berechnet werden. Wird entsprechend verfahren, muss der Dämmungsgrad „D" in den Hydrauliklisten immer größer oder gleich 100% sein (Bild 17).

Prüfkriterien: Entsprechen die in der Planung vorgesehenen Dämmmaßnahmen für die Warmwasser- und Zirkulationsleitungen in Bezug auf Dämmschichtdicke und Wärmeleitfähigkeit den zur Ausführung kommenden Dämmmaterialien? Werden die Mindestanforderungen an die Dämmung (DIN 1988-200 bzw. EnEV) erfüllt? Ist ggfs. eine Nachberechnung mit Herstellerdaten erforderlich?

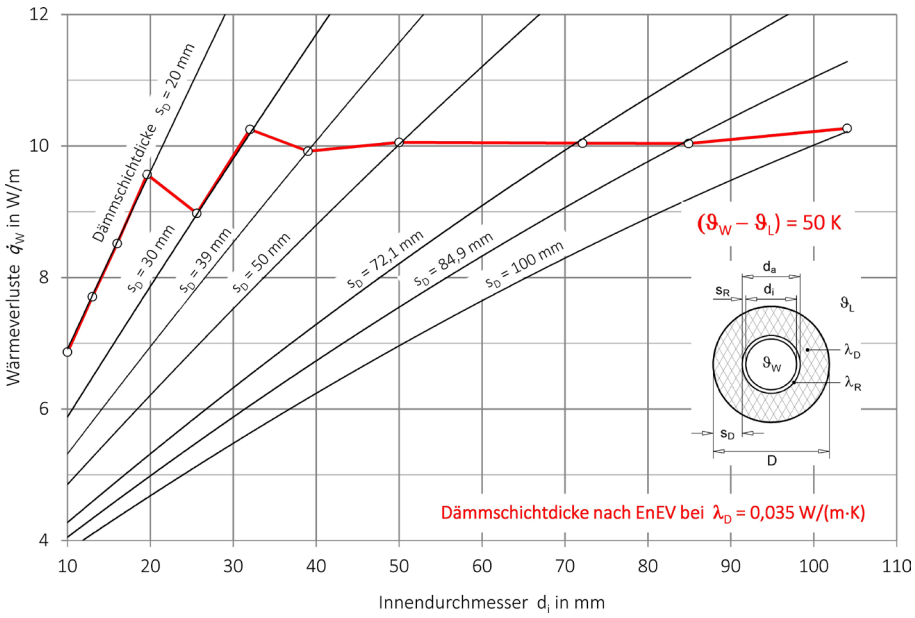


Bild 16: Wärmeverluste gedämmter Rohrleitungen aus Kupfer oder Edelstahl (Dämmschichtdicke gemäß DIN 1988-200, Tabelle 9), bei einer Übertemperatur von 50 °C

25 DIN 1998-200, 14.2.7 Dämmung von Trinkwasserleitungen warm sowie Armaturen
26 Energieeinsparverordnung (EnEV)

3.5 Ermittlung der Rohrdurchmesser

Mit einer Rohrnetzberechnung nach DIN 1988-300 zur Bemessung der Zirkulationsleitungen wird das Ziel verfolgt, für eine vorgegebene Volumenstromverteilung ein optimales Rohrnetz zu gestalten. Im Zirkulationssystem soll damit sichergestellt werden, dass mit einem minimalen Einsatz an Energie, die Temperaturen des erwärmten Trinkwassers oberhalb der geforderten 55 °C gehalten werden können.

Aus wirtschaftlichen und betriebstechnischen Gründen wird die Strömungsgeschwindigkeit in den Zirkulationsleitungen mit 0,2 m/s bis 0,5 m/s angenommen. Sie darf maximal 1,0 m/s betragen, …[27]

Die Druckdifferenz (der Förderdruck) der Zirkulationspumpe Δp_P ist durch eine Druckverlustberechnung für den hydraulisch ungünstigsten Zirkulationskreis zu ermitteln (Bild 17 und Bild 21). In Verbindung mit einem Berechnungsstrangschema sind die Berechnungsergebnisse in Hydrauliklisten zu dokumentieren.

TS-Nr. -	l m	TS-Typ -	DN -	d_i mm	D %	$\dot{V}_Z$ l/h	v m/s	R hPa/m	l·R hPa	Σζ -	Z hPa	l·R+Z hPa
8	6,30	Verteilungsleitung	50	51,0	102	607	0,08	0,02	0,1	2,2	0,1	0,2
9	7,55	Verteilungsleitung	50	51,0	102	580	0,08	0,02	0,1	0,2	0,0	0,2
10	7,55	Verteilungsleitung	40	39,0	109	551	0,13	0,06	0,5	0,3	0,0	0,5
11	7,55	Verteilungsleitung	40	39,0	109	522	0,12	0,06	0,4	0,2	0,0	0,4
12	7,55	Verteilungsleitung	40	39,0	109	490	0,11	0,05	0,4	0,2	0,0	0,4
13	7,55	Verteilungsleitung	40	39,0	109	456	0,11	0,05	0,3	0,2	0,0	0,4
14	7,55	Verteilungsleitung	32	32,0	118	419	0,14	0,10	0,8	0,4	0,0	0,8
15	7,55	Verteilungsleitung	32	32,0	118	379	0,13	0,08	0,6	0,3	0,0	0,7
16	7,55	Verteilungsleitung	32	32,0	118	335	0,12	0,07	0,5	0,3	0,0	0,5
17	7,55	Verteilungsleitung	32	32,0	118	284	0,10	0,05	0,4	0,3	0,0	0,4
18	7,55	Verteilungsleitung	25	25,6	118	223	0,12	0,10	0,7	0,4	0,0	0,8
19	9,60	Verteilungsleitung	25	25,6	118	144	0,08	0,05	0,4	2,7	0,1	0,5
20	0,85	Steig-/Fallleitung	25	25,6	107	144	0,08	0,05	0,0	0,0	0,0	0,0
21	2,90	Steig-/Fallleitung	25	25,6	107	144	0,08	0,05	0,1	0,2	0,0	0,1
22	2,90	Steig-/Fallleitung	25	25,6	107	144	0,08	0,05	0,1	0,2	0,0	0,1
23	2,90	Steig-/Fallleitung	25	25,6	107	144	0,08	0,05	0,1	0,2	0,0	0,1
824	9,90	Steig-/Fallleitung	12	13,0	110	144	0,30	1,11	11,0	1,7	0,7	11,8
823	9,25	Verteilungsleitung	12	13,0	130	144	0,30	1,11	10,3	2,9	1,3	11,6
822	7,55	Verteilungsleitung	15	16,0	130	223	0,31	0,89	6,7	1,0	0,5	7,2
821	7,55	Verteilungsleitung	20	19,6	130	284	0,26	0,52	3,9	1,0	0,3	4,3
820	7,55	Verteilungsleitung	20	19,6	130	335	0,31	0,69	5,2	1,0	0,5	5,7
819	7,55	Verteilungsleitung	20	19,6	130	379	0,35	0,86	6,5	1,0	0,6	7,1
818	7,55	Verteilungsleitung	20	19,6	130	419	0,39	1,02	7,7	1,0	0,7	8,5
817	7,55	Verteilungsleitung	20	19,6	130	456	0,42	1,19	9,0	1,0	0,9	9,8
816	7,55	Verteilungsleitung	20	19,6	130	490	0,45	1,35	10,2	1,0	1,0	11,2
815	7,55	Verteilungsleitung	20	19,6	130	522	0,48	1,50	11,4	1,0	1,2	12,5
814	7,55	Verteilungsleitung	20	19,6	130	551	0,51	1,66	12,5	1,0	1,3	13,8
813	7,55	Verteilungsleitung	20	19,6	130	580	0,53	1,81	13,7	1,0	1,4	15,1
812	6,80	Verteilungsleitung	20	19,6	130	607	0,56	1,96	13,3	2,4	3,7	17,0

Bild 17: Auszug aus einer Hydraulikliste für den hydraulisch ungünstigsten Zirkulationskreis im Berechnungsbeispiel (Bild 3).

… Die Dokumentation *für jede Teilstrecke* muss *die folgenden Informationen ausweisen: Teilstreckennummer; Werkstoff; Länge der Teilstrecke; Außendurchmesser der Rohrleitung; Wandstärke der Rohrleitung, Dämmstärke; Lufttemperatur; spezifischer Wärmeverlust je Meter Rohrleitung; Wärmeverlust der Teilstrecke; …*[28]

Die in der Norm geforderte teilstreckenbezogene Dokumentation aller Vorgabedaten und Berechnungsergebnisse der Rohrleitungsdimensionierung ist sehr umfangreich. Auf größeren Bildschirmen (4K) können gerade noch alle geforderten Daten in einer gemeinsamen Liste dargestellt werden (Bild 17). Für den Papierausdruck sind reduzierte Listen praxisüblich, die nur die wichtigsten Daten enthalten.

Anmerkung: Wegen der Vielzahl der normativ zu dokumentierenden Daten wurde die Bildschirmliste zur besseren Lesbarkeit nach dem Wärmeverlust der Teilstrecke ($\dot{Q}_W$) abgeschnitten (Bild 18).

Prüfkriterien: Entspricht die Dokumentation der Berechnungsergebnisse für die Ermittlung der Durchmesser der Zirkulationsleitungen den Anforderungen der DIN 1988-300? Entsprechen die Rohrsysteme in der zu prüfenden hydraulischen Berechnung denen der Ausführung? Wird die maximal zulässige Strömungsgeschwindigkeit eingehalten? Ist eine Nachberechnung erforderlich?

DS -	Nr. -	l m		Teilstreckentyp -	Werkstoff -	DN -	d_a mm	s_R mm	d_i mm	s_D mm	D mm	J_L °C	$\Delta\vartheta_{TS}$ K	ϑ_W °C	λ_R W/(m·K)	λ_D W/(m·K)	$\dot{q}_{W,e}$ W/m	$\dot{Q}_{W,e}$ W
1	22	2,9	O	Steig-/Fallleitung	Mapress Edelstahl Systemrohr 1.4401	25	28,0	1,2	25,6	32,0	92,0	25,0	0,1	57,7	15,00	0,035	5,7	16,5
1	23	2,9	O	Steig-/Fallleitung	Mapress Edelstahl Systemrohr 1.4401	25	28,0	1,2	25,6	32,0	92,0	25,0	0,1	57,6	15,00	0,035	5,7	16,4
1	824	9,9	O	Steig-/Fallleitung	Mapress Edelstahl Systemrohr 1.4401	12	15,0	1,0	13,0	22,0	59,0	25,0	0,3	57,3	15,00	0,035	4,8	47,5
1	823	9,2	O	Verteilungsleitung	Mapress Edelstahl Systemrohr 1.4401	12	15,0	1,0	13,0	30,0	75,0	10,0	0,4	56,9	15,00	0,037	6,4	59,3

Bild 18: Auszug aus einer vollständigen Hydraulikliste (Bildschirmdarstellung) für den hydraulisch ungünstigsten Zirkulationskreis im Berechnungsbeispiel (Bild 3).

27 DIN 1988-300, 6.2.2 Durchmesser der Zirkulationsleitungen und Förderdruck der Pumpe

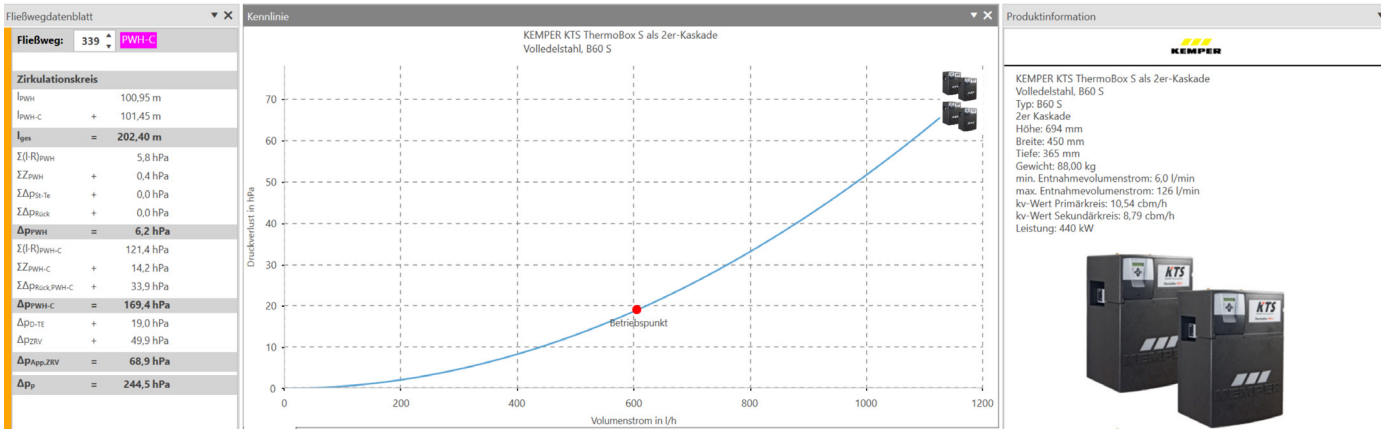


Bild 19: Differenziert berechneter Druckverlust in der Durchfluss-Trinkwassererwärmungsanlage unter Berücksichtigung der Herstellerdaten (Kennlinie)

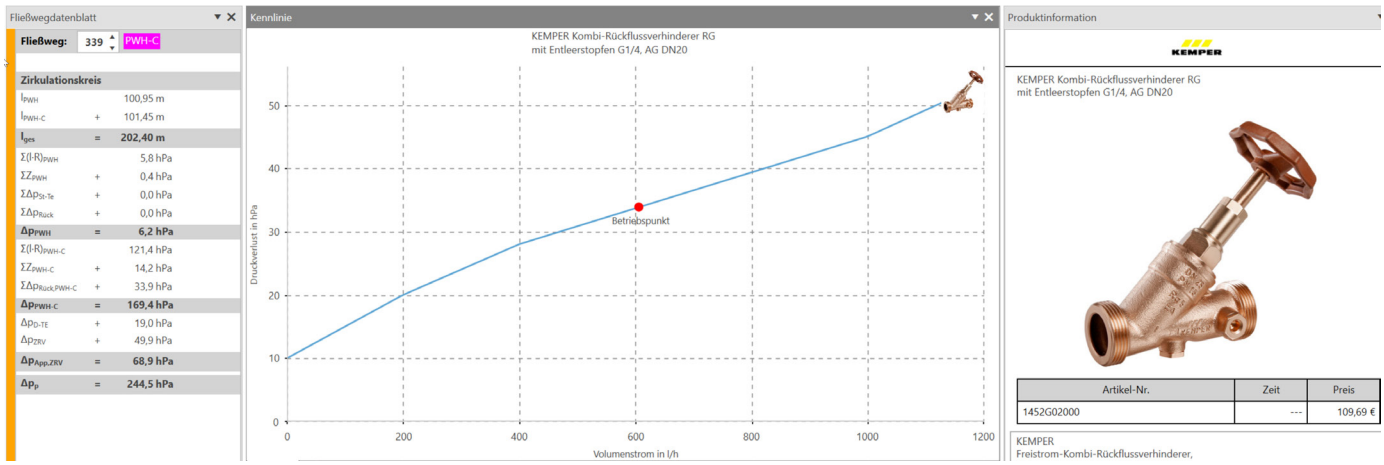


Bild 20: Differenziert berechneter Druckverlust im Rückflussverhinderer unter Berücksichtigung der Herstellerdaten (Kennlinie).

3.6 Auslegung der Zirkulationspumpe

…, Auslegungsdaten (Förderstrom und Förderdruck) für die Zirkulationspumpe bei Normal- und bei Desinfektionsbetrieb[28].

Die Eckdaten für die Auslegung der Zirkulationspumpe (Förderstrom und Förderdruck) ergeben sich aus den hydraulischen Berechnungen für den ungünstigsten Zirkulationskreis (Bild 17, Bild 21 und Bild 22).

In gleicher Weise wie bei der Dimensionierung der Verbrauchsleitungen müssen auch hier die Druckverluste in Rückflussverhinderern und Apparaten besonders beachtet werden. Der Apparatedruckverlust von Durchfluss-Trinkwassererwärmungsanlagen im Zirkulationsfall wird häufig unterschätzt und kann dann Ursache eines gravierenden Temperaturabfalls im Zirkulationssystem sein. Wie bei den Verbrauchsleitungen müssen auch für den Zirkulationsfall die Apparatedruckverluste unter Verwendung der Herstellerdaten differenziert berechnet werden (Bild 19). Gleiches gilt für die Druckverluste in Rückflussverhinderern. Rückflusshinderer mit einem Öffnungsdruck << 50 hPa sind für den Einbau in Zirkulationssystemen geeignet (Bild 20). Rückflussverhinderer mit höheren Öffnungsdrücken sind generell ungeeignet.

Prüfkriterien: Entsprechen die Druckverluste der geplanten Apparate und Rückflussverhinderer denen der Ausführung? Wurden die Apparatedruckverluste unter Berücksichtigung der Herstellerdaten ermittelt. Ist ggfs. eine Nachberechnung erforderlich?

Selten wird in Deutschland eine Trinkwasser-Installation so gebaut, wie sie geplant wurde. Selbst bei bester Qualität der Datenerfassung in der Planungsphase müssen daher Reserven in der Pumpenauslegung für unvorhergesehene Strömungswiderstände und zur Sicherstellung der thermischen Desinfektion vorgesehen werden. In größeren Zirkulationssystemen sollten aus diesen Gründen drehzahlgeregelte Hocheffizienzpumpen mit Konstantdruckregelung bevorzugt werden. Eine Einregulierung des Zirkulationssystems mit thermostatischen Zirkulationsregulierventilen kann in gewissen Grenzen Abweichungen zwischen Planung und Ausführung automatisch ausgleichen, so dass die geforderten Temperaturen trotz der Differenzen eingehalten werden können. Größere Abweichungen zwischen Planung und Ausführung machen eine Nachberechnung erforderlich!

28 DIN 1988-300, 7 Dokumentation der Berechnungsergebnisse

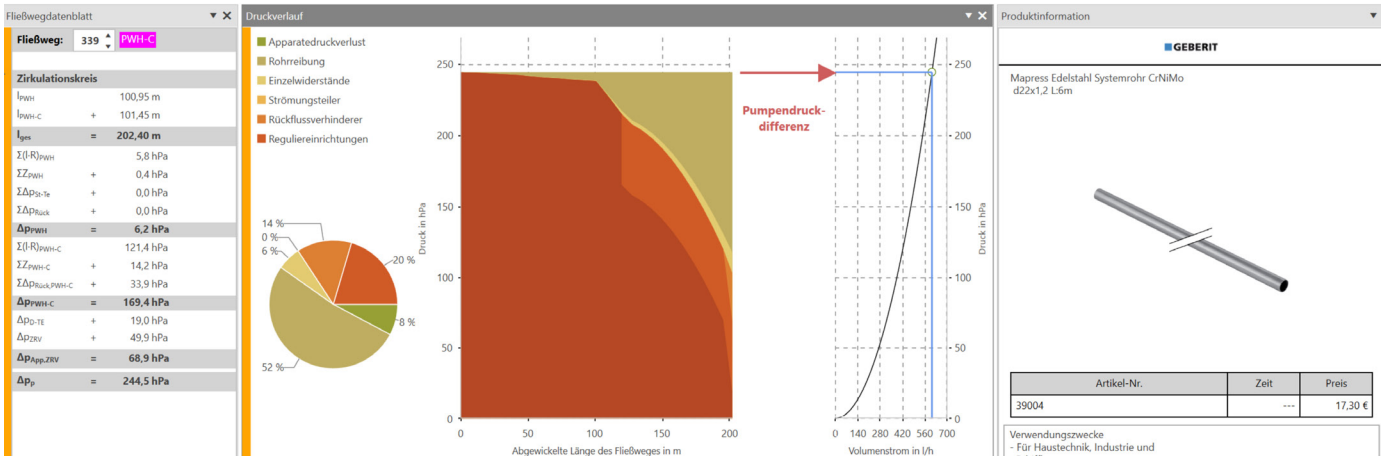


Bild 21: Rohrnetzkennlinie, Pumpendruckdifferenz, Druckverlauf im ungünstigsten Zirkulationskreis

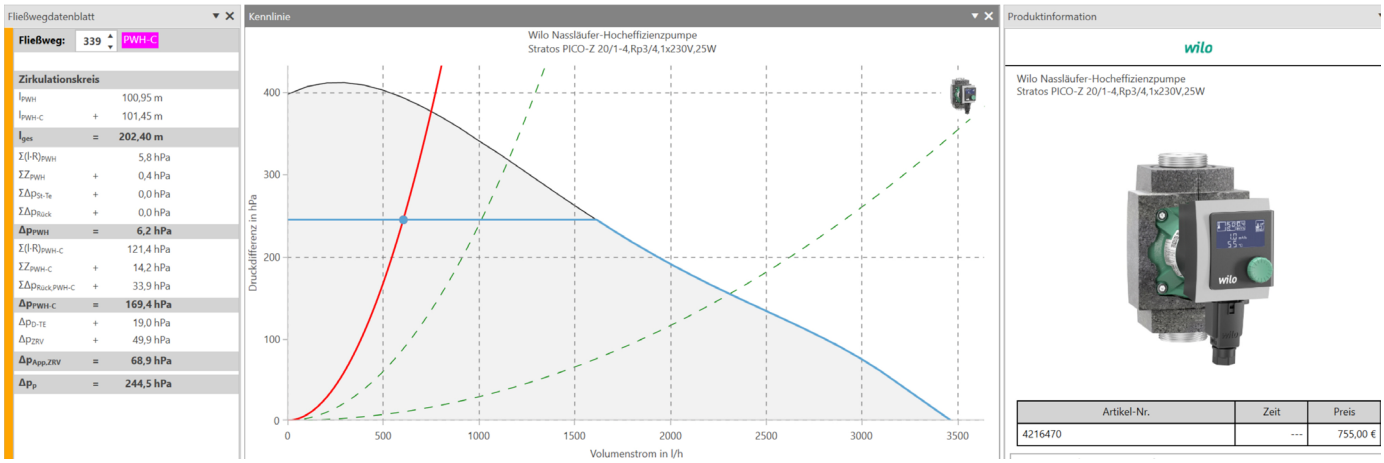


Bild 22: Auswahl der Zirkulationspumpe unter Verwendung von Herstellerdaten (Wilo, Dortmund)

Prüfkriterien: Wurde die Zirkulationspumpe so ausgelegt, dass mit der in der Trinkwasser-Installation eingebauten Reguliertechnik auch eine thermische Desinfektion möglich ist? Liegt eine Rohrnetzberechnung für den Desinfektionsfall vor?

3.7 Hydraulischer Abgleich

Um den Abgleich des Zirkulationssystems zu erleichtern, kann es sinnvoll sein, die pumpennahen Leitungen mit höheren Geschwindigkeiten um 0,5 m/s bis hin zu 1,0 m/s, die pumpenfernen Leitungen mit kleineren Geschwindigkeiten um 0,3 m/s und kleiner zu bemessen[27].

Die für den ungünstigsten Zirkulationskreis ermittelte Pumpendruckdif-

Nennweite	Außendurchmesser	Innedurchmesser	Wandstärke	Rauheit	Lieferlänge
DN	d_a	d_i	S_R	k	l
-	mm	mm	mm	mm	m
10	12,0	10,0	1,0	0,0015	6,0
12	15,0	13,0	1,0	0,0015	6,0
15	18,0	16,0	1,0	0,0015	6,0
20	22,0	19,6	1,2	0,0015	6,0
25	28,0	25,6	1,2	0,0015	6,0
32	35,0	32,0	1,5	0,0015	6,0
40	42,0	39,0	1,5	0,0015	6,0
50	54,0	51,0	1,5	0,0015	6,0
65	76,1	72,1	2,0	0,0015	6,0
80	88,9	84,9	2,0	0,0015	6,0
100	108,0	104,0	2,0	0,0015	6,0

Bild 23: Abmessungen der Rohrreihe Geberit-Mapress 1.4401

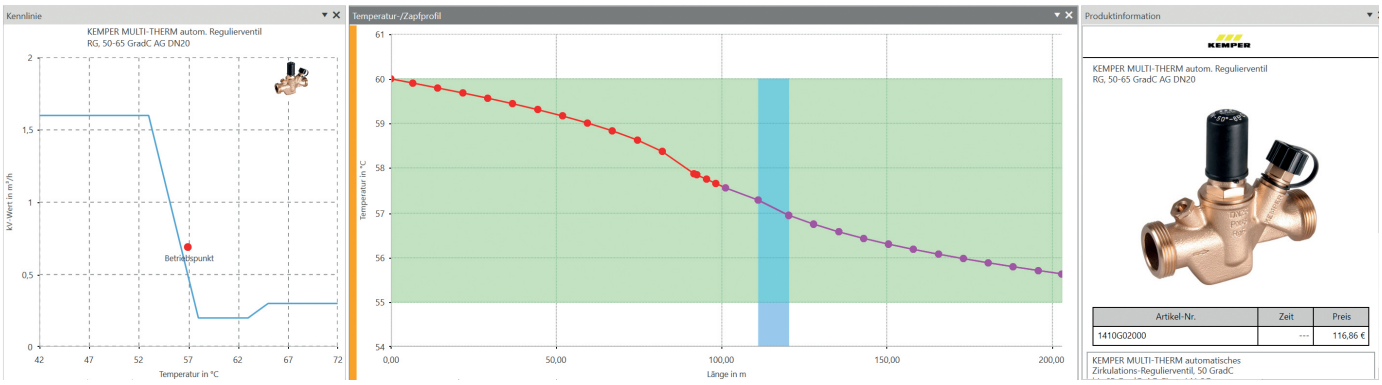


Bild 24: Kennlinie eines MultiTherm-Ventils DN 20 bei Werkseinstellung; der berechnete Betriebspunkt für den ungünstigsten Zirkulationskreis liegt noch nicht auf der Kennlinie

ferenz steht in allen anderen Zirkulationskreisen für die Überwindung von Druckverlusten zur Verfügung. Bei der Bemessung aller weiteren Zirkulationsleitungen wird vorrangig das Ziel verfolgt, die verfügbare Druckdifferenz der Pumpe gegen Druckverluste in den Rohrleitungen des Zirkulationskreises zu setzen. Die Auswahl geeigneter Durchmesser für die zu bemessenden Zirkulationsleitungen ist allerdings nach unten durch die vorgegebenen Innendurchmesser der gewählten Rohrreihe (Bild 23) und durch die Forderung nach Einhaltung von Mindestinnendurchmessern begrenzt.

Zur Sicherstellung eines Rohrleitungsbetriebes im wirtschaftlichen Optimum und zur Vermeidung von Erosionskorrosionen bei Kupferrohren, wird - je nach Lage der zu bemessenden Teilstrecke im Rohrnetz - die Einhaltung unterschiedlicher Fließgeschwindigkeiten empfohlen.

Ein hydraulischer Abgleich ausschließlich über die Druckverluste der Rohrleitungen ist aus den vorgenannten Gründen nur selten möglich. Bei der geplanten Volumenstromverteilung im Rohrnetz bleiben normalerweise in jedem Kreis nennenswerte Differenzen zwischen dem Pumpendruck und der Summe der Druckverluste in den Rohrleitungen, Rückflussverhinderern und Apparaten offen. Diese Abweichungen sind in den pumpennahen Teilstrecken besonders groß. Zur Sicherstellung des hydraulischen Abgleichs muss daher die noch fehlende Druckdifferenz Δp_{ZRV} punktuell in mindestens einem Regulierventil erzeugt werden.

Der so genannte hydraulische Abgleich wird nur erreicht, wenn bei einer vorgegebenen Volumenstromverteilung in jedem Zirkulationskreis der Pumpendruck und die Druckverluste im Gleichgewicht stehen. Wird der hydraulische Abgleich des Zirkulationssystems nicht erreicht, ist das Ergebnis „hydraulisch unbestimmt". Es fließen dann in den Teilstrecken unkontrolliert andere Zirkulationsvolumenströme als planerisch vorgesehen wurde! Die geforderte Temperaturhaltung in allen Leitungsteilen des Zirkulationssystems oberhalb von 55 °C ist dann nicht mehr sichergestellt. Der hydraulische Abgleich eines Zirkulationssystems ist daher die Grundvoraussetzung für eine trinkwasserhygienisch einwandfreie Funktion im Sinne der DIN 1988-200/-300. Zur Aufrechterhaltung einer Temperatur oberhalb von 55 °C müssen in den pumpennahen Zirkulationskreisen relativ große Druckdifferenzen bei kleinen Zirkulationsvolumenströmen aufgebaut werden, während in den pumpenferneren Kreisen verhältnismäßig große Volumenströme bei geringen Druckdifferenzen fließen müssen.
In der Vergangenheit führten maximale Drosselstellungen, berechnet nach DVGW Arbeitsblatt W 553[29] häufig zu unrealistisch kleinen kV-Werten für die Zirkulationsregulierventile nahe der Zirkulationspumpe. Das gipfelte in der Vorstellung einiger Anwender, man müsste hier ein statisches und ein thermostatisches Regulierventil in einer Teilstrecke direkt hintereinanderschalten, um entsprechende Berechnungsergebnisse bedienen zu können. In Zirkulationssystemen der Trinkwasser-Installation sind zwar kleinste kV-Werte auf der „letzten Rille" eines statischen Regulierventils theoretisch noch darstellbar. Je nach Wasserqualität kommt es bei solchen Einstellungen im praktischen Rohrleitungsbetrieb aber zu Kalkablagerungen am bzw. im Drosselquerschnitt. Zusätzlich können sich hier auch noch Schwebstoffe anlagern. Die Erfahrung hat gezeigt, dass statische Zirkulationsregulierventile mit solchen Regulierstellungen mehr oder weniger kurzfristig festsitzen und dadurch die Zirkulation unterbrochen wird. Die Temperaturhaltung bricht zusammen. Gleiches gilt für Thermostatventile, die mit Erreichen der Sollwerttemperatur vollständig schließen. Vor diesem Hintergrund wurden Zirkulationsregulierventile entwickelt, die mit Erreichen der Sollwerttemperatur eine maximale Drosselstellung des Ventils sicherstellen, dabei aber nicht vollständig schließen. Bei thermostatisch geregelten Ventilen ist das Zusetzen des Regelquerschnitts nicht zu erwarten, da mit Verringerung des Strömungsquerschnitts im laufenden Betrieb - und dem damit verbundenen Temperaturabfall - das Ventil automatisch wieder öffnet. Einige Ventile verfügen zusätzlich über eine integrierte Reinigungsfunktion[30], die mit Bewegung des Regulierkegels aktiv wird. Wegen der grundsätzlichen Bedeutung für die Funktion der Zirkulation hat der DVGW für solche Ventile

29 DVGW W 553:1998-12 | Bemessung von Zirkulationssystemen in zentralen Trinkwassererwärmungsanlagen
30 Kemper, Olpe | Hydraulischer Abgleich im Stockwerk – Das maßgeschneiderte Stockwerks-Regulierventil für den hydraulischen Abgleich
31 DVGW W 554 (P):2011-03 | Technische Prüfgrundlage, Geregelte Zirkulationsventile
32 DIN 1988-200, 6.4 Zirkulationsregulierventile
33 DIN 1988-300, 6.2.1 Wärmeverluste und Volumenstrom

Prüfanforderungen zur Erteilung eines Prüfzeichens aufgestellt[31].

Thermostatische Zirkulationsregulierventile müssen dem DVGW W 554 entsprechen[32].

Prüfkriterien: Verfügen die für die Ausführung vorgesehenen thermostatischen Zirkulationsregulierventile über ein Prüfzeichen gemäß DVGW W 554 (P).

Zur weiteren Verbesserung des hydraulischen Abgleichs in Zirkulationssystemen der Trinkwasser-Installation wurden mit dem sogenannten dynamischen Beimischverfahren (Zirkulationssimulation ab 2006) bzw. statischen Beimischverfahren (ab 2012) neue Berechnungsmethoden entwickelt und in die Planungspraxis eingeführt.

// 3.7.1 Statisches Beimischverfahren

Der Beimischgrad η liegt zwischen 0 und 1 und seine Wahl ermöglicht eine energetisch optimale Auswahl der Zirkulationspumpe[33].

In die Berechnungen zur Ermittlung der Zirkulationsvolumenströme wurde in DIN 1988-300 der sogenannte (statische) Beimischgrad aufgenommen. Gegenüber einer Berechnung gemäß DVGW Arbeitsblatt W 553 führt ein Beimischgrad $\eta > 0$ dazu, dass die Zirkulationsvolumenströme in den pumpennahen Kreisen etwas größer und in den pumpenferneren etwas geringer ausfallen. Dadurch ergeben sich in allen Bereichen des Zirkulationssystems realistischere Auslegungsbedingungen für die erforderliche Reguliertechnik. Die veränderte Volumenstromverteilung führt zusätzlich zu geringeren Pumpendruckdifferenzen und damit auch zu Energieeinspareffekten.

Nach einer Beimischrechnung liegen die berechneten Betriebspunkte noch nicht auf der Kennlinie der thermostatischen Zirkulationsregulierventile (Bild 24). Das Ergebnis ist daher noch hydraulisch unbestimmt! Damit sich die Zirkulationsvolumenströme aus einer statischen Beimischrechnung in der Realität einstellen, muss der Druckabfall über dem Zirkulationsregulierventil genau dem aus der hydraulischen Berechnung entsprechen. Zur Sicherstellung des sogenannten hydraulischen Abgleichs, muss daher jedes Ventil von Hand eingestellt werden. Bei einem Zirkulationssystem, dass mit einem statischen Beimischverfahren bemessen wurde, gilt diese Forderung ausdrücklich auch für die thermostatischen Zirkulationsregulierventile!

Prüfkriterien: Wurde das Zirkulationssystem mit dem Beimischverfahren ($\eta > 0$) gemäß DIN 1988-200 bemessen? Liegen für die zur Ausführung kommenden thermostatischen Zirkulationsregulierventile die Temperatureinstellwerte durch Rohrnetzberechnung vor?

// 3.7.2 Dynamisches Beimischverfahren (Zirkulationssimulation)

Werden Zirkulationsregulierventile eingesetzt, müssen die Sollwerte so eingestellt werden, dass … die nach DIN 1988-200 geforderten Temperaturen nicht unterschritten werden[34].

In der Praxis wird allerdings erwartet, dass sich bei der Verwendung von thermostatischen Zirkulationsregulierventilen ein so ausgestattetes Zirkulationssystem mit Einschalten der Zirkulationspumpe automatisch über die Temperatur einreguliert, ohne dass die Ventile von Hand eingestellt werden müssen.

Bei einer dynamischen Beimischrechnung wird davon ausgegangen, dass thermostatische Zirkulationsventile nicht mehr von Hand einreguliert werden müssen. Grundlage der Simulationsrechnung ist ein variabler Beimischgrad, der jeweils in Abhängigkeit von den werkseitig eingestellten Kennlinien der verwendeten Zirkulationsregulierventile ermittelt wird. Dazu wurde von KEMPER bereits im Jahre 2006 die sogenannte Simulationsrechnung für Zirkulationssysteme eingeführt. Damit kann für das fertig dimensionierte Zirkulationssystem und die vorgesehene Reguliertechnik der real zu erwartende Rohrleitungsbetrieb simuliert werden. Im Rahmen dieser Simulation werden mit einer Volumenstromverteilung, die thermostatische Zirkulationsregulierventile auf ihrer Armaturenkennlinie real einstellen können, die Temperaturen im gesamten System nachberechnet. Vor der Simulationsrechnung liegen die geforderten Betriebspunkte aus der Beispielberechnung noch neben den Kennlinien (Bild 27 und Bild 28, rote Punkte). Nach der Simulation befinden sich alle Betriebspunkte auf den Ventilkennlinien (Bild 27 und Bild 28, blaue Punkte). Damit wird der Nachweis geführt, dass das Zirkulationssystem auch bei Werkseinstellung der Ventile hydraulisch abgeglichen ist und im gegebenen Fall auch die Temperaturanforderungen gemäß DIN 1988-200 erfüllt. Im Rahmen einer Zirkulationssimulation können diese Nachweise nicht nur für den normalen Betriebsfall, sondern auch für den Desinfektionsfall geführt werden (Bild 25).

```
=====================================================
Thermische Desinfektion für das Rohrnetz an "TWE 1"
=====================================================

Pumpen auf höchste Leistung geschaltet.
Speicher Temperatur auf 75°C gesetzt.
Simulation gestartet...
Kleinste erreichte Temperatur von 70°C liegt in Teilstrecke 819 vor.


Die Desinfektionstemperatur von 70 °C wurde mit folgenden Parametern erreicht:
Pumpe "wilo - Stratos PICO-Z 20/1-4 / 230 / PN 10" auf Stellung 1.
Speichertemperatur = 75°C

Die kleinste Temperatur im Rohrnetz beträgt 70°C!
Die maximale Fließgeschwindigkeit im Rohrnetz beträgt 0,85 m/s!
```

Bild 25: Nachweis der Betriebsparameter für die thermische Desinfektion.

34 DIN 1988-300 6.5 Einregulierung des Systems
35 DIN EN 806-2:2005-06, 3.6 Betriebstemperatur \ Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen - Teil 2: Planung; Deutsche Fassung EN 806-2:200

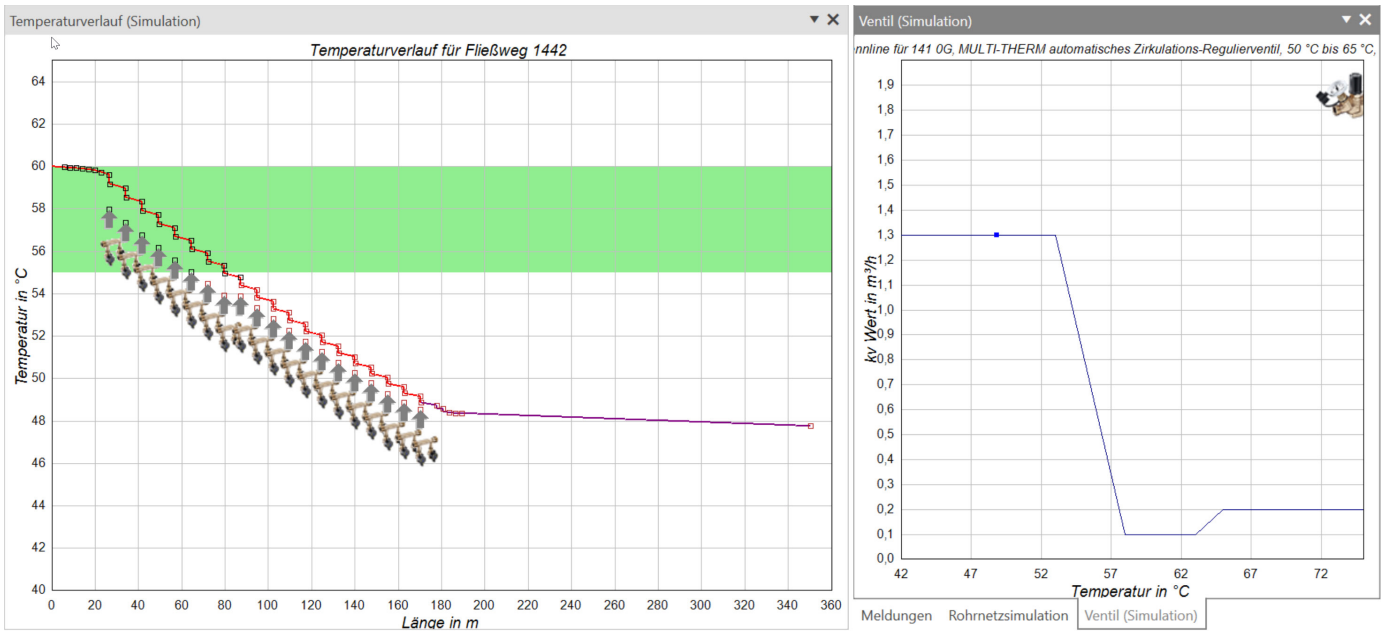


Bild 26: fehlbemessenes Zirkulationsregulierventil; Betriebspunkt (blau) liegt nicht auf der Regelflanke des Ventils

Zum Zwecke der thermischen Desinfektion sollte in Warmwassersystemen die Möglichkeit bestehen, auch an den entferntesten Entnahmestellen 70 C zu erreichen ... [35]

Weiterhin können mit diesem Verfahren auch beliebig vorgegebene Rohrnetze nachberechnet und so Fehler identifiziert werden, die sich aus einem ungeeigneten konstruktiven Aufbau des Rohrnetzes, fehlerhafter Bemessung der Rohrleitungen und/oder der Regulierteclnik (Bild 26), unzureichender Dämmung usw. ergeben.

Die langjährige Berechnungserfahrung mit Simulationsrechnungen auch für sehr große und stark verzweigte Zirkulationssysteme in Krankenhäusern, Hotels, Altenheimen usw. zeigt, dass sich die geforderten Temperaturen ≥55 °C mit der Werkseinstellung (richtig bemessener) Kemper Zirkulationsregulierventile „automatisch" einstellen. Die Berechnungsergebnisse einer Simulation zeigen darüber hinaus, dass der Einsatz von Thermostatventilen dazu führt, dass die Temperaturhaltung auch mit deutlich geringeren Pumpendruckdifferenzen, als nach DVGW-Arbeitsblatt W 553 bzw. DIN 1988-300 (η = 0) berechnet, möglich ist.

Prüfkriterien: Wurde das auszuführende Zirkulationssystem mit der Kemper -Simulationsrechnung überprüft. Liegen die Ergebnisse dazu vor? Entspricht die zur Ausführung gelangende Regulierteclnik den Vorgaben in der Simulation (Kemper Ventile mit Werkseinstellung)?

Es ist in der Fachwelt bekannt, dass ein Thermostatventil DN 15 mit Werkseinstellung nicht jeden Volumenstrom automatisch einstellen kann, der aus einer

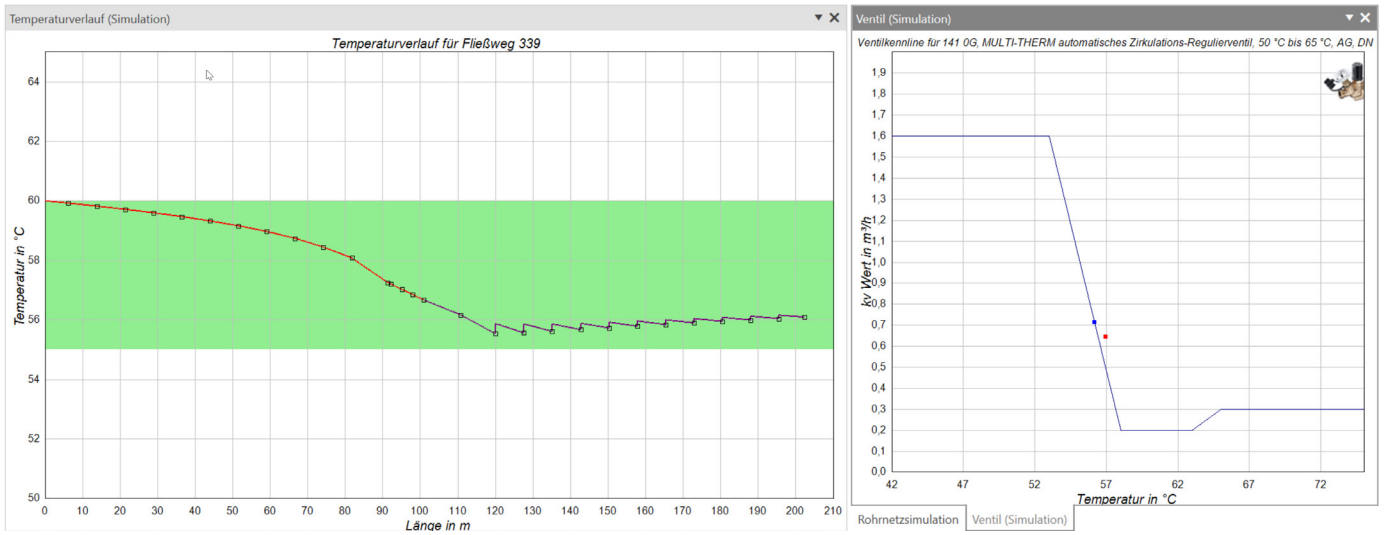


Bild 27: Kennlinie eines MultiTherm-Ventils DN 20 bei Werkseinstellung, im hydraulisch ungünstigsten Zirkulationskreis des Berechnungsbeispiels (Bild 3)

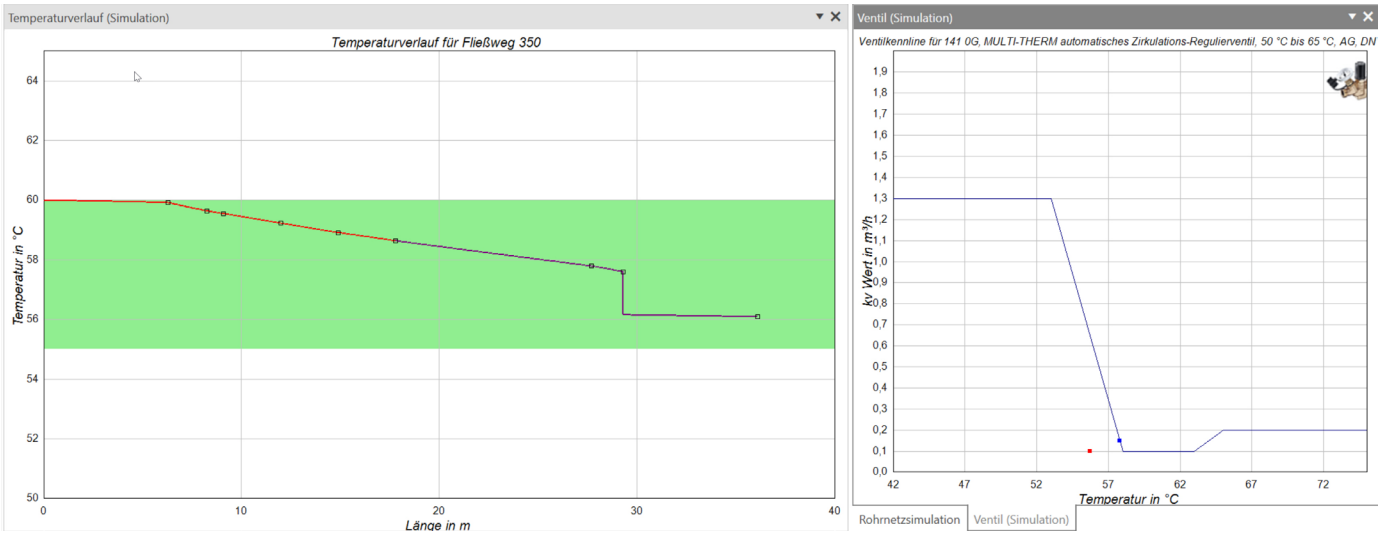


Bild 28: Kennlinie eines MultiTherm-Ventils DN 15 bei Werkseinstellung, im hydraulisch günstigsten Zirkulationskreis des Berechnungsbeispiels (Bild 3)

zunächst beliebigen Rohrnetzberechnung vorgegeben wird. Bei größer werdenden Zirkulationsvolumenströmen in den pumpenferneren Kreisen müssen aus diesem Grund Ventile mit größerer Nennweite z.B. DN 20 - oder gelegentlich auch DN 25 - eingesetzt werden, damit sich der Betriebspunkt auf der Regelflanke der Ventilkennlinie befindet. Im Berechnungsbeispiel (Bild 3 und Bild 24) ist z.B. im hydraulisch ungünstigsten Zirkulationskreis ein thermostatisches Zirkulationsventil der Nennweite DN 20 erforderlich. Dieser Nennweitenwechsel ist für die Funktion der gesamten Zirkulation von großer Bedeutung. Wird bei einer fehlerhaften Ventilauslegung an solchen Positionen ein zu kleines thermostatisches Zirkulationsregulierventil (ZRV) eingebaut, müssen gravierende Fehlfunktionen im gesamten Zirkulationssystem erwartet werden.

Bei der Ventilauslegung muss unbedingt darauf geachtet werden, dass sich alle Betriebspunkte auf der Regelflanke der jeweiligen Ventilkennlinie befinden. Ist das nicht Fall, liegt eine Fehlbemessung der Reguliertechnik vor!! Trotz geringer Warmwassertemperaturen können fehlbemessene Ventile dann nicht mehr so weit öffnen, dass die für die Temperaturhaltung erforderlichen Zirkulationsvolumenströme fließen können (Bild 26). Fehlbemessene Thermostatventile wirken dann nur noch als Strömungswiderstand. Dadurch wird die Rohrnetzkennlinie des Zirkulationssystems so steil, dass selbst eine erhebliche Erhöhung der Pumpendruckdifferenz häufig keine wesentliche Verbesserung der Temperaturverhältnisse mehr nach sich zieht. Werden die unplanmäßigen Strömungswiderstände beseitigt, funktioniert in der Folge die Zirkulation (i.d.R.) wie erwartet. Zur Vermeidung von Fehlerquellen bei der Bauausführung setzen erfahrene Planer/ausführende Unternehmen an den wenigen Stellen, an denen Thermostatventile DN 15 für die automatische Einregulierung ungeeignet sind, planmäßig statische Reguliertechnik ein.

Prüfkriterien: Liegen alle Betriebspunkte auf den Regelflanken der Multi- bzw. EtaTherm-Ventile? Liegen ggfs. die Einstellwerte für statische Regulierventile vor?

Es gehört (leider) auch zur Baustellenpraxis, dass die Zirkulationssysteme nur in Ausnahmefällen „wie geplant" in Betrieb genommen werden. In der Regel führen Veränderungen am Rohrnetz während der Bauphase auch zu veränderten Betriebsbedingungen im Zirkulationssystem. Die Veränderungen müssen dann nachträglich ausgeregelt werden. Das führt nicht selten dazu, dass zur Sicherstellung der Funktion eine höhere Pumpendruckdifferenz erforderlich ist als ursprünglich rechnerisch vorgesehen war. Diese Verhältnisse sprechen eher für eine „automatische" Einregulierung über Thermostatventile mit Werkseinstellung, sowie den Einsatz drehzahlgeregelter Pumpen und gegen eine extrem zeitaufwändige „punktgenaue Einstellung" aller Zirkulationsregulierventile von Hand. Da eine Einstellung der Zirkulationsregulierventile an der Baustelle von Hand vermutlich von den Praktikern weder akzeptiert noch geleistet werden kann, ist die Durchführung einer Simulationsrechnung zum Nachweis der in DIN 1988-200 geforderten Temperaturen empfehlenswert.

Prüfkriterien: Kommt eine drehzahlgeregelte Hocheffizienzpumpe zur Ausführung? Steht ggfs. ausreichend Leistungsreserve zur Verfügung? Kann mit der zur Ausführung gelangenden Pumpe die thermische Desinfektion sichergestellt werden?

4 ZUSAMMENFASSUNG

Damit die hydraulische Berechnung einer Trinkwasser-Installation auf Plausibilität geprüft werden kann, müssen zunächst alle Anforderungen der DIN 1988-300 an die Dokumentation erfüllt sein. Für eine erste Plausibilitätsprüfung ist es dann meistens ausreichend, wenn in jeder Druckstufe die Hydrauliklisten für den jeweils ungünstigsten Fließweg im kalten und warmen Trinkwasser und im ungünstigsten Zirkulationskreis zur Prüfung zur Verfügung stehen. Es gilt grundsätzlich die Regel, dass nicht die Menge des ausgedruckten Papiers die Qualität der hydraulischen Berechnungen definiert.

Die Hydrauliklisten für die zu prüfenden Fließwege müssen mit einem beschrifteten Berechnungsstrangschema (ggfs. auch mit Grundrisszeichnungen) über eine eindeutige Teilstreckenbezeichnung miteinander verbunden sein. Hydrauliklisten und die zeichnerische Darstellung des Rohrnetzes müssen auf demselben Berechnungsergebnis basieren.

Nur dann können sie von Dritten nachvollzogen und verantwortlich bewertet werden. Es muss bei der Prüfung eindeutig erkennbar sein, dass die zur Ausführung kommenden Rohrsysteme und alle Apparate einer differenzierten hydraulischen Berechnung nach den Regeln der DIN 1988-300 unterzogen wurden. Bei erkennbaren Abweichungen sollte das ausführende Unternehmen zum eigenen Schutz auf Korrektur und Nachberechnung der Trinkwasser-Installation bestehen.