

Die Herausforderung der korrekten Installation von Durchflusssensoren im Hinblick auf Durchflussstörungen



Im Bereich der Wasser- und Wärme-/Kältezähler ist es allgemein bekannt, dass die Genauigkeit der Durchflussmessung durch Komponenten in der Anlage wie Rohrbögen, Rohrkanten, Pumpen und Ventile, die in unmittelbarer Nähe des Durchflusssensors montiert sind, beeinflusst werden kann.

Diese Installationskomponenten beeinflussen die Durchflussgeschwindigkeitsverteilung in der Rohrleitung, hauptsächlich stromabwärts aber auch stromaufwärts. Dies kann, abhängig von der Messtechnik, einen Einfluss auf die Genauigkeit des Durchflusssensors haben. Theoretische Vorhersagen darüber, wie sich diese Komponenten tatsächlich auf den Durchfluss auswirken, sind jedoch oft unzutreffend oder nicht für alle möglichen Fälle vorhanden. Systematische Kenntnisse darüber, wie sich die verschiedenen Durchflussgeschwindigkeitsverteilungen auf die Messgenauigkeit des Durchflusssensors auswirken, sind noch seltener. Der Einfluss der Durchflussstörungen auf die Genauigkeit eines Durchflusssensors wird normalerweise nur auf eine begrenzte Anzahl von durchflussstörenden Installationselementen oder genormten Störkörpern hin geprüft.

Diese Leitlinien sind für Sie, wenn Sie mehr über Folgendes wissen wollen:

- Was sind Durchflussstörungen?
- Wie stellt Kamstrup konstruktiv die Messrichtigkeit der Durchflusssensoren bei Durchflussstörungen sicher?
- Wie prüft Kamstrup die Durchflusssensoren im Hinblick auf Durchflussstörungen?
- Welche Erfahrungen hat Kamstrup im Bereich der Durchflusssensoren und Durchflussstörungen, neben den allgemeinen Empfehlungen in der technischen Dokumentation von Kamstrup?

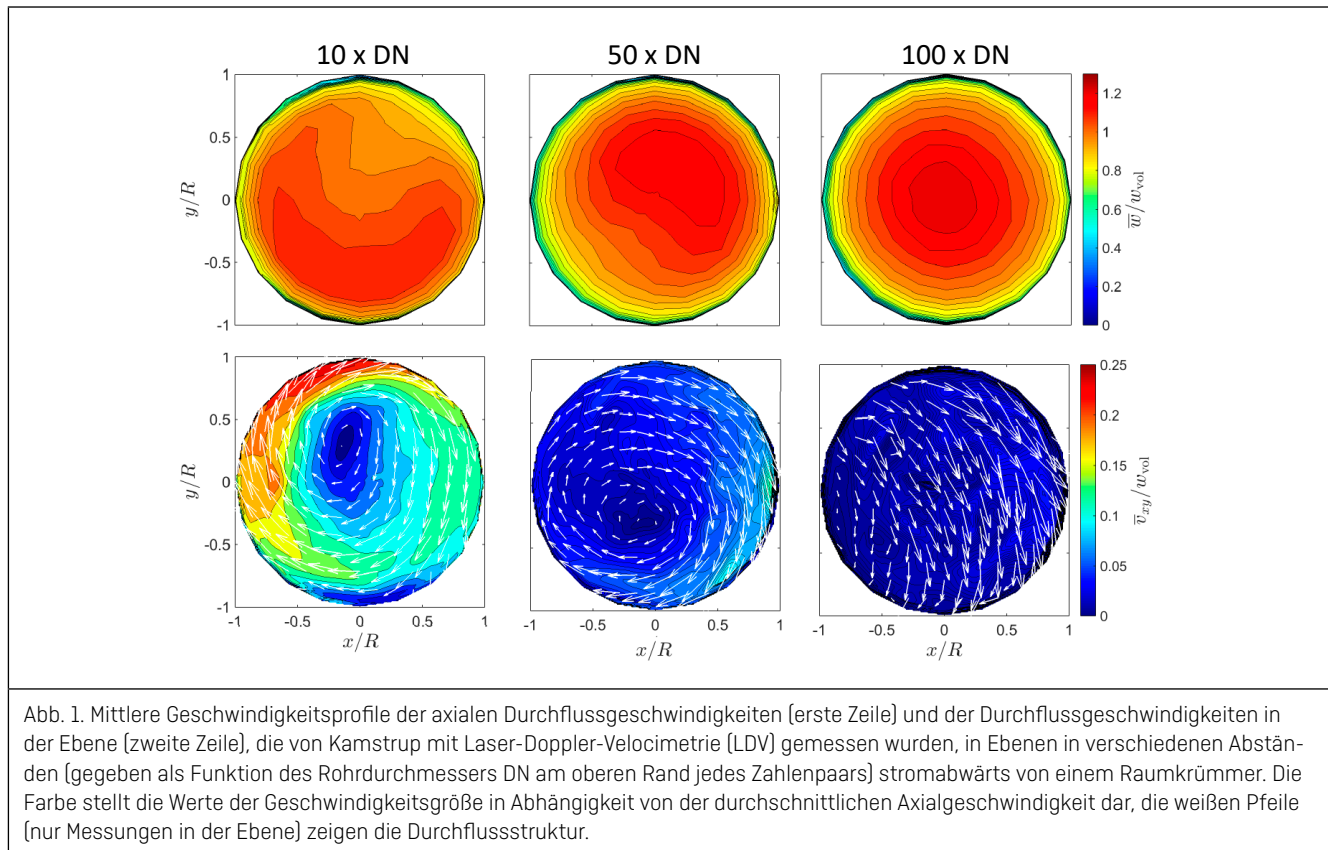
Definition von Durchflussstörungen

Der Wasserdurchfluss durch ein Rohrsystem quantifiziert durch eine durchschnittliche Durchflussmenge, z. B. in l/h oder m³/h, sagt nichts über die tatsächliche Inhomogenität der Durchflussgeschwindigkeitsverteilung im Rohr aus. Theoretische Durchflussgeschwindigkeitsverteilungen sind nach EN 1434 die Hagen-Poiseuille-Verteilung für den laminaren Durchfluss und Gersten & Herwig/Schlichting für den turbulenten Durchfluss. Deshalb ist der Durchfluss durch Durchflussprofile gekennzeichnet und ist somit ein dreidimensionales Phänomen. Beispielsweise ist die Durchflussgeschwindigkeit entlang der Mitte des Rohres sowohl beim laminaren als auch beim turbulenten Durchfluss maximal, während die Durchflussgeschwindigkeit an den Rohrwänden gleich Null ist. Die erwähnten Bezugsprofile für den sogenannten voll ausgebildeten Durchfluss werden in langen geraden Rohren mit einer homogenen Temperaturverteilung im Rohr beobachtet. Jede Abweichung von diesen Bedingungen führt zu verzerrten Durchflussprofilen.

Als Beispiel zeigt [1], dass der Dralldurchfluss stromabwärts des symmetrischen Drallgenerators nach EN 1434:2015 etwa 100 x DN

benötigt, um wieder eine homogene Verteilung zu erreichen. Durchflussprofile können durch Werte wie Profilsymmetrie und Turbulenzfaktor sowie Drallwinkel [2] gekennzeichnet werden, die zusätzlich experimentell, z. B. mit laseroptischen Verfahren, bestimmt werden können. Jede Abweichung von den charakteristischen Werten des voll ausgebildeten Durchflusses kann als eine Durchflussstörung betrachtet werden. Drall und Asymmetrie können hiermit als zwei Hauptarten von Durchflussstörungen betrachtet werden.

Kamstrup untersucht die Durchflussprofile und ihre Auswirkungen auf die Messrichtigkeit, sowohl numerisch als auch experimentell. Abb. 1 zeigt ein Beispiel für interne Geschwindigkeitsmessungen, die in verschiedenen Abständen 10 x DN, 50 x DN und 100 x DN stromabwärts von einem Raumkrümmer durchgeführt wurden. Der Durchfluss entlang der Rohrachse wird in der ersten Zeile dargestellt (primärer Durchfluss), während der Durchfluss in der Ebene in der zweiten Zeile dargestellt wird (sekundärer Durchfluss). Pfeile zeigen die Durchflussstruktur des sekundären Durchflusses an.



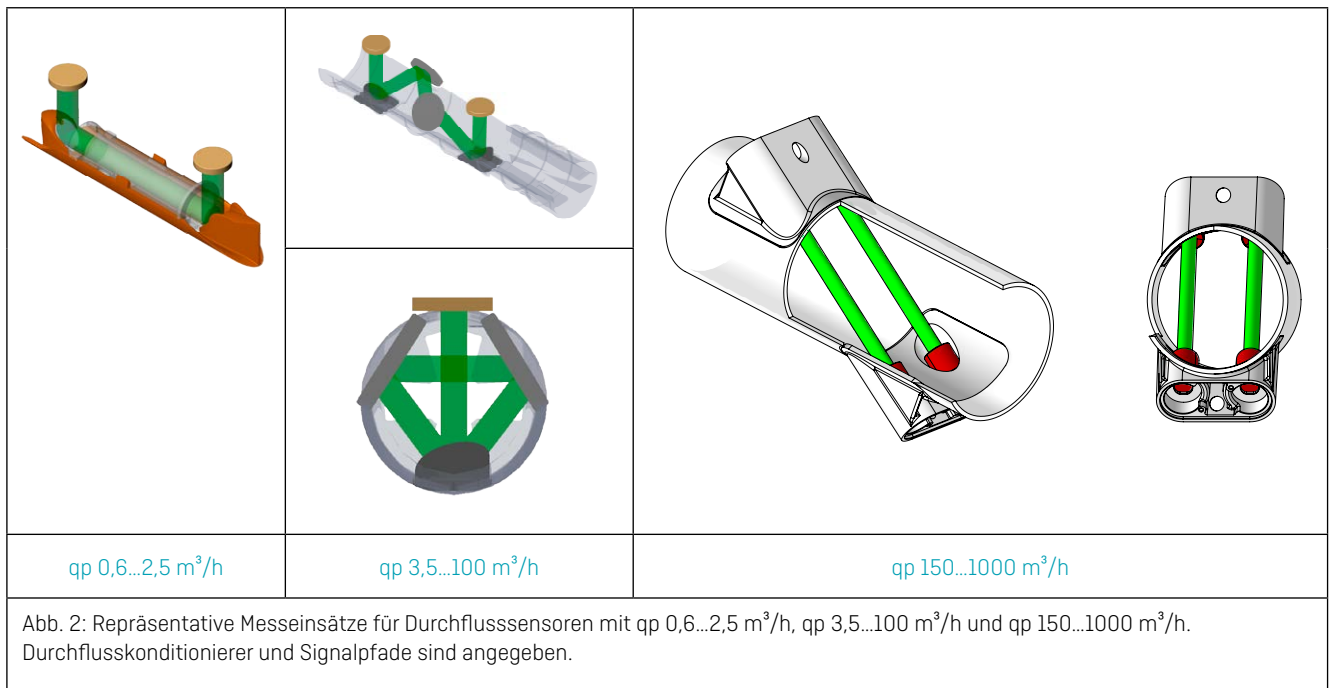
[1] Th. Eichler, Th. Lederer; Flow Measurement and Instrumentation 42, 2015, 89-97

[2] Richtlinie zur strömungstechnischen Validierung von Kalibrier-Prüfständen im Rahmen der EN 1434 (Deutschland, Oktober 2009). Arbeitsgruppe Laseroptische Strömungsdiagnostik PTB-METAS-BEV-OPTOLUTION-ILA

Design von Kamstrup-Durchflusssensoren in Bezug auf Durchflussstörungen

Ultraschaldurchflusssensoren von Kamstrup basieren auf dem Laufzeitdifferenzverfahren, d. h. die Differenz der Laufzeit eines Ultraschallsignals wird mit oder gegen den Durchfluss gemessen, um eine gemittelte Durchflussgeschwindigkeit zu bestimmen, und durch Zeitintegration wird das Volumen festgestellt, das zu einem bestimmten Zeitpunkt durch den Durchflusssensor gelaufen ist. Die festgestellte Laufzeitdifferenz ist ein Ergebnis der Überlagerung der Ultraschallwelle und der Durchflussgeschwindigkeit entlang des gesamten Ultraschallpfads. Abhängig vom ausgewählten Ultraschallpfad, der durch das jeweilige Design des Durchflusssensors vorgegeben ist, können verschiedene Durchflussgeschwindigkeitsverteilungen in der Messstrecke theoretisch zu verschiedenen Ergebnissen der Laufzeit und dabei des gemessenen Volumens führen. Um die Genauigkeit der Durchflusssensoren zu gewährleisten, verwendet Kamstrup jedoch verschiedene Gestaltungsprinzipien. Durchflusskonditionierer werden beispielsweise verwendet, um bei einem bestimmten durchschnittlichen Durchfluss ausreichend reproduzierbare Durchflussprofile in der Messstrecke zu liefern. Zusätzlich deckt der Ultraschallpfad mit einer bestimmten Anzahl von Wandlern so große Teile des Durchflussprofils in der Messstrecke wie möglich ab.

Abb. 2 zeigt repräsentative Beispiele für Messeinsätze für Kamstrup-Durchflusssensoren mit q_p 0,6...2,5 m^3/h , q_p 3,5...100 m^3/h und q_p 150...1000 m^3/h . Durchflusssensoren mit q_p 0,6...100 m^3/h beinhalten Durchflusskonditionierer, und die Messrohre haben eine konische Form. Bei Durchflusssensoren mit q_p 0,6...2,5 m^3/h hat sich ein einziger Ultraschallpfad für die erforderliche Genauigkeit als ausreichend erwiesen. Bei den größeren Durchflusssensoren mit q_p 3,5...100 m^3/h wird immer noch ein Ultraschallpfad von Reflektoren entlang eines Dreiecks geleitet, um wesentliche Teile der dreidimensionalen Durchflussgeschwindigkeitsverteilung abzudecken. Die großen Durchflusssensoren von Kamstrup mit q_p 150...1000 m^3/h verwenden 4 Wandler, was zwei separate Ultraschallpfade ergibt. Beide Ultraschallwandlerpaare werden im Durchfluss platziert, um diagonale Pfade durch die Messstrecke zur Verfügung zu stellen. Die Ergebnisse der Messungen von beiden Wandlerpaaren werden bei der endgültigen Durchflussberechnung berücksichtigt.



Prüfung von Kamstrup-Durchflusssensoren im Hinblick auf Durchflussstörungen

Typprüfung – Durchflussstörungen stromaufwärts (bei Raumkrümmern)

Kamstrup-Durchflusssensoren für Wärme- und Kältezähler sind nach EN 1434:2015 und EN 1434:2022 hinsichtlich Durchflussstörungen typgeprüft. Auf der Grundlage dieser Typprüfungen sind die Durchflusssensoren von Kamstrup qualifiziert, weder eine gerade Einlaufstrecke noch eine gerade Auslaufstrecke zu erfordern, um die Messgeräterichtlinie (MID) 2014/32/EU, OIML R75:2002 und EN 1434:2015, wie in der technischen Dokumentation von Kamstrup dargelegt, einzuhalten. Die Typprüfungen sollen eine Installation direkt hinter einem Raumkrümmer nachahmen.

Die Prüfung nach EN 1434:2022 verwendet jedoch einen asymmetrischen Drallgenerator (ASG), der scheinbar den Durchfluss stromabwärts einen wirklichen Raumkrümmer noch besser nachahmt als der symmetrische Drallgenerator. Im Allgemeinen setzt der ASG den Durchflusssensor einem Drall und einem asymmetrischen Durchfluss aus. Unterschiedliche relative Orientierungen und zusätzlicher

Durchflusspunkte werden geprüft. Aus dieser Perspektive kann die neue Prüfung als noch schwerwiegender angesehen werden. Kamstrup bietet Durchflusssensoren ab q_p 0,6 bis 1000 m^3/h an, die diese neue Prüfung bereits bestanden haben.

„Der Hintergrund dafür, dass die CEN/TC176/WG2-Arbeitsgruppe hinter EN 1434 eine Durchflussstörungsprüfung in der Typprüfung der Durchflusssensoren für Wärmezähler einbezogen hat, ist die Tatsache, dass Rohrbiegungen vor dem Zähler die einzigen Hindernisse sind, die sich im wirklichen Leben nicht vermeiden lassen. Die meisten anderen Hindernisse kurz vor dem Zähler können während der Installation vermieden werden (Hindernisse, die sich vor dem Zähler befinden, können nach dem Zähler platziert werden), und Ventile vor dem Zähler können in vollständig geöffneter Stellung plombiert werden, um die schweren Durchflussstörungen zu vermeiden, die wegen teilweise offener Ventilen auftreten können. [3].“

Typprüfung – Durchflussstörungen stromabwärts (z. B. durch montierte Temperaturfühler)

Kamstrups Durchflusssensoren mit q_p 0,6...10 m^3/h ermöglichen oft die direkte Montage eines Temperaturfühlers im Auslauf (M10x1-Verbindung). Dadurch sind sie potenziell Durchflussstörungen ausgesetzt, die stromaufwärts des montierten Temperaturfühlers entstehen können. Vergleichsprüfungen während der Typprüfung mit und ohne montierten Temperaturfühler im Auslauf des Durchflusssensors zeigten jedoch keine nennenswerten Unterschiede

im Fehler des jeweiligen Durchflusssensors. Beachten Sie, dass externe Installationskomponenten weiter entfernt von der Messstrecke montiert werden, d. h. in der Nähe des Durchflusssensors, aber nicht als Teil des Durchflusssensors. Dies zeigt zusammenfassend, dass Installationen, die stromabwärts des Durchflusssensors montiert sind, einen noch kleineren Effekt auf die Messrichtigkeit des Durchflusssensors haben werden.

Zusätzliche Prüfungen (z. B. Raumkrümmer, Rohrbögen, teilweise offene Ventile, Mischzonen)

Zusätzlich zu den (obligatorischen) Prüfungen für die Bauartzulassung wurden insbesondere unsere Durchflusssensoren der Gruppe q_p 0,6...2,5 m^3/h sowohl bei Kamstrup als auch bei einem renommierten deutschen Kalibrierlabor (MID-Cert) mit Erfolg sorgfältig auf Durchflussstörungen unterschiedlichster Art geprüft. Die Ergebnisse sind zum Teil veröffentlicht [4]. Auf Anfrage kann Kamstrup Ihnen die Prüfergebnisse von MID-Cert zur Verfügung stellen. Zusammenfassend zeigen sie, dass die beobachteten Fehler immer innerhalb des maximal zulässigen Fehlers der metrologischen Klasse 2 lagen. Unsere Durchflusssensoren sind daher ziemlich robust gegenüber

vielen schweren Durchflussstörungen, die durch verschiedene Arten von Installationskomponenten erzeugt werden, die vor den Durchflusssensoren montiert sind, z. B. Raumkrümmer, Rohrbögen, teilweise offene Ventile und Mischzonen, die von zwei eingebauten Rohren versorgt werden. Dadurch eignen sich diese Durchflusssensoren besonders für die Montage in kompakten Wärmeübergabe-/Fernkältestationen, in denen der Platz für lange gerade Ein- oder Auslaufstrecken oft begrenzt ist.

[3] Kurze Zusammenfassung der Diskussionen in der CEN/TC176/WG2-Arbeitsgruppe, zusammengefasst von Kamstrups Teilnehmer an dieser Gruppe.

[4] EuroHeat&Power English Edition Vol. 15 III/2018.

Erfahrungen mit Durchflussstörungen

Viele Aspekte der Installation von Durchflusssensoren, einschließlich Überlegungen zu Durchflussstörungen, werden z. B. in EN 1434-6, „Wärmezähler – Teil 6: Einbau, Inbetriebnahme, Überwachung und Wartung“ und CEN TR 13582, „Installation von Wärmezählern. Richtlinie für Auswahl, Installation und Betrieb von Wärmezählern“ behandelt. Richtlinie für Auswahl, Installation und Betrieb von Wärmezählern“.

Aus Gründen des Urheberrechts darf Kamstrup Ihnen diese Dokumente nicht direkt zur Verfügung stellen. Um CEN TR 13582 (und andere EN-Normen) zu erwerben, wenden Sie sich bitte z. B. an den Webshop der dänischen Normungsorganisation DS [hier](#).

Alternativ können Sie Ihre nationale Normungsorganisation [hier](#) finden.

Die technische Dokumentation von Kamstrup entspricht jedoch diesen allgemeinen Empfehlungen, und geeignete Richtlinien für die Installation sind hier ebenfalls verfügbar.

Sowohl die Durchflusscharakterisierung selbst als auch das Wissen über die Wechselwirkung von spezifischen Durchflussprofilen mit verschiedenen Durchflusskonditionierern und Signalpfaden machen genaue Vorhersagen und die Kategorisierung von Durchflussstörungen komplex. Empfehlungen werden daher oft nur qualitativ gegeben und können auch eher auf gemeinsamen Vereinbarungen beruhen, die durch den Wunsch nach einer Anforderung von Mindestanforderungen für alle Durchflusssensoren im Feld motiviert sind, als auf tatsächlichen Erkenntnissen. Quantitative Empfehlungen sind daher als Richtwerte zu betrachten, die auf langjährigen Erfahrungen beruhen, z. B. die Empfehlung, dass „ein gerades Einlaufrohr von mindestens 5 x DN und ein Auslaufrohr von 2 x DN in den gleichen Abmessungen wie der Durchflusssensor jeden Einfluss auf die Messabweichung, die durch das Durchflussprofil verursacht wird“, reduzieren. [5].

Es gelten die folgenden Faustregeln:

- Lange gerade Einlauf- und Auslaufrohre werden im Allgemeinen immer empfohlen, wenn dies möglich ist.
- Installationskomponenten, die stromabwärts des Durchflusssensors montiert sind, können als weniger kritisch angesehen werden als solche, die stromaufwärts in gleichem Abstand zum Durchflusssensor montiert sind. Daraus folgt, dass ein gerades Einlaufrohr normalerweise länger sein sollte als ein gerader Auslaufrohr.
- „Starke Durchflussstörungen“ sind insbesondere nach einem Raumkrümmer und in der Nähe von Regelventilen und Pumpen zu erwarten. Für Ventile und Pumpen hat Kamstrup die in Tabelle 1 auf der nächsten Seite beschriebenen Empfehlungen für seine Durchflusssensoren. Für weitere allgemeine Installationsempfehlungen beachten Sie bitte die entsprechenden Abschnitte in der technischen Dokumentation von Kamstrup.
- In der Norm EN 1434 wird ein Durchflusskonditioniererpaket vorgeschlagen, das aus einem Strömungsgleichrichter des Typs NEL (Spearman) gefolgt von einem geraden Rohrabschnitt von 5 x DN stromaufwärts des Durchflusssensors und einem geraden Rohrabschnitt von 3 x DN stromabwärts des Durchflusssensors besteht. Dieses Paket trägt dazu bei, starke Durchflussstörungen zu reduzieren und kann in Anlagen hilfreich sein, in denen der Platz für lange gerade Rohre begrenzt ist.

☛ Wenn Sie unsere Durchflusssensoren für die Lecküberwachung und die Permanente Betriebsüberwachung (PBÜ) einsetzen, d. h. in einer Situation, in der Sie die Ergebnisse von zwei separaten Durchflusssensoren in einer gemeinsamen Leitung vergleichen wollen, sind die Anforderungen an den geraden Einlauf strenger, um Einflüsse von Durchflussstörungen auf das Ergebnis der separaten Durchflusssensoren so weit wie möglich zu begrenzen. Es ist besonders wichtig, dass die Installationsbedingungen für beide Durchflusssensoren so ähnlich wie möglich sind.

Spezifische Anforderungen finden Sie in der jeweiligen technischen Dokumentation.

[5] CEN TR 13582, 8.3.2 Inlet and outlet pipes

Die Herausforderung der korrekten Installation von Durchflusssensoren im Hinblick auf Durchflussstörungen

Die Einhaltung allgemeiner Richtlinien durch die Festlegung empfohlener gerader Ein- und Auslaufrohre, wie in Tabelle 1 aufgeführt, wird die messtechnische Leistung des Durchflusssensors in der Anlage optimieren. In bestimmten Fällen können jedoch z. B. CFD-Simulationen (Computational Fluid Dynamics) oder experimentelle Tests zeigen, dass auch kürzere gerade Ein- und Auslaufrohre für die erforderliche messtechnische Leistung ausreichen können.

	Durchflusssensoren DN15...80	Durchflusssensoren DN100...300
Mindestabstand der Rohrleitung zu stromaufwärts montierten Raumkrümmern	0 x DN ¹⁾	0 x DN ¹⁾
Mindestabstand der Rohrleitung zu stromabwärts montierten Raumkrümmern	0 x DN	0 x DN
Mindestabstand der Rohrleitung zu stromaufwärts montierten, teilweise offenen Ventilen	20 x DN	40 x DN
Mindestabstand der Rohrleitung zu stromabwärts montierten, teilweise offenen Ventilen	5 x DN ²⁾	5 x DN ²⁾
Mindestabstand der Rohrleitung von der Druckseite die Pumpen (Pumpe stromaufwärts montiert)		
ohne Ausgleichsgefäß ³⁾	20 x DN	20 x DN
mit Ausgleichsgefäß	10 x DN	10 x DN
Mindestabstand der Rohrleitung von der Saugseite von Pumpen ⁴⁾ (Pumpe stromabwärts montiert)	3 x DN	3 x DN
Mindestrohrabstand nach „jeder Art von Strangbildung, die durch die Kombination zweier Durchflusskreisläufe mit unterschiedlichen Flüssigkeitstemperaturen entsteht“ [6]	10 x DN	10 x DN
Mindestabstand zwischen 2 Durchflusssensoren (zur Messung der Rückwärtsströmung) ⁵⁾	0 x DN	0 x DN

Tabelle 1: Allgemeine Richtlinien für gerade Ein- und Auslaufstrecken. Je nach Einzelfall können auch kürzere gerade Ein- und Auslaufstrecken ausreichend sein.

- 1) Gemäß EN 1434:2015 und EN 1434:2022 vom 04.2022. Wenn möglich, wird im Allgemeinen eine gerade Einlaufstrecke empfohlen.
- 2) Der Mindestabstand zu durchflussstörenden Hindernissen in der Anlage hängt davon ab, ob das Hindernis vor oder hinter dem Durchflusssensor montiert ist. Bei der stromabwärtigen Installation kann der Mindestabstand kleiner sein als bei der stromaufwärtigen Installation.
- 3) Bei Pumpen besteht die Gefahr, dass sie Druckpulsationen erzeugen, die durch geeignete Ausgleichsgefäße reduziert werden können.
- 4) Achten Sie auf den minimal erforderlichen statischen Druck (statischer Druck am Auslauf des Durchflusssensors).
- 5) Kamstrup-Durchflusssensoren messen keine Rückwärtsströmung. Mit 2 Durchflusssensoren, von denen einer immer in der Durchflussrichtung montiert ist, kann die Rückwärtsströmung jedoch auch gemessen werden. In Fällen, in denen zwei Durchflusssensoren in der Durchflussrichtung angebracht sind, von denen einer zur Steuerung verwendet wird, müssen die Einlaufbedingungen der Durchflusssensoren im Allgemeinen so ähnlich wie möglich sein.

[6] CEN TR 13582, 8.3.3 Influence of insufficient temperature mixing on measuring accuracy



Kamstrup A/S
 Havellandstraße 6b
 D-68309 Mannheim
 T: +49 621 321 689 60
 info@kamstrup.de
 kamstrup.com

Kamstrup Austria GmbH
 Handelskai 94 – 96
 Millennium Tower – 32. OG, TOP 321
 A-1200 Wien
 T: +43 1 9073 666
 info-at@kamstrup.com
 kamstrup.com

Kamstrup A/S, Schweiz
 Industriestrasse 47
 CH-8152 Glattbrugg
 T: +41 43 455 70 50
 info@kamstrup.ch
 kamstrup.com