

Hilfskreisläufe in der Verfahrenstechnik

Messtechnik auswählen und optimal auslegen

Autoren: Thomas Knapp, Produktmanager Temperatur; Florian Kraftschik, Marcom Manager

Abstract:

Die Auswahl der richtigen Messtechnik ist im Prozess von entscheidender Bedeutung für die Qualität der Erzeugnisse sowie für die Sicherheit der Anlage. Hilfskreisläufe sind von diesem Zusammenhang abgekoppelt, da sie „nur“ Wärme oder Kälte bereitstellen oder Luft bzw. andere Gase transportieren, die indirekt für den eigentlichen Prozess benötigt werden. Jedoch muss auch in Hilfskreisläufen ein gewisses Maß an Genauigkeit gewährleistet sein, da dem Prozess durch sie einerseits Energie zugeführt oder entzogen wird und außerdem die Verbrauchsmessung der teils sehr kostspieligen Hilfsmedien Anforderungen an die Messgenauigkeiten stellen. In diesem Whitepaper untersucht der Autor, welche Anforderungen in Hilfskreisläufen an die Messtechnik gestellt werden, welche Messverfahren sich für einzelne Anwendungen eignen und wie die Messtechnik optimal ausgelegt werden kann. Denn einerseits soll sie günstig in der Anschaffung, andererseits aber auch zuverlässig und präzise bei der Erfüllung der Aufgaben sein. Es geht um folgende Fragen: Welche Qualitätskriterien gelten für die Messtechnik in Hilfskreisläufen wie Wasser-, Heiz- und Kühlkreisläufen, Luftkreisläufe, Gaskreisläufen und Dampfkreisläufen? Wie kann Messtechnik optimal für Hilfskreisläufe ausgelegt werden? Welche Messprinzipien eignen sich für welche Hilfskreisläufe? Das Fazit fasst die Ergebnisse zusammen und stellt fest, wie die Messung von Hilfskreisläufen mit dem Portfolio von Endress+Hauser zuverlässig gelingen kann.

Inhalt

1	Einleitung	3
2	Wasser-, Heiz- und Kühlkreisläufe	3
2.1	Auslegung der Rohrleitungen und die Durchflussmessung in Wasserkreisläufen	4
2.2	Temperaturmessung in Wasserkreisläufen	5
2.2.1	Messfehler durch Leitungswiderstand – Kompensation durch Drei- bzw. Vierleitertechnik 5	
2.2.2	Einbaulänge, Stabilität und Messunsicherheit.....	6
2.2.3	Besonderheiten der Temperaturmessung in Heiz- und Kühlkreisläufen.....	7
2.3	Analysemessungen in Wasserkreisläufen.....	8
2.3.1	Konduktive und induktive Sensoren sowie deren Kalibrierung	8
2.3.2	Messumformer mit Memosens-Technologie.....	9
2.4	Druckmessung in Wasserkreisläufen.....	10
3	Luftkreisläufe	11
3.1	Durchflussmessung in Luftkreisläufen	11
3.2	Druckmessung in Luftkreisläufen	13
3.3	Temperaturmessung in Luftkreisläufen	13
4	Gaskreisläufe	14
4.1	Allgemeines zu Gaskreisläufen.....	14
4.2	Durchflussmessung in Gasen	14
5	Dampfkreisläufe	15
5.1	Sattdampf, überhitzter Dampf und Nassdampf	16
5.2	Auslegung und Genauigkeiten von Dampfmessungen.....	17
5.3	Durchflussmessung von Dampf	18
5.4	Druckmessung von Dampf	19
5.5	Temperaturmessung von Dampf	20
5.6	Dampfrechner	21
6	Fazit	22

1 Einleitung

In der Prozessverarbeitung von Medien wird zwischen dem eigentlichen Produktionskreislauf und den Hilfskreisläufen unterschieden. Während in den Rohrleitungen sowie in den Lager-, Misch- und Reaktorbehältnissen die eigentlichen Rohstoffe und die Produkte des Prozesses fließen, werden Hilfskreisläufe ausschließlich dazu genutzt, Hilfsmedien wie Wasser, Luft, Gas, Strom und Dampf zum Bestimmungsort zu transportieren. Entsprechend gelten für Hilfskreisläufe geringere Anforderungen als für die Prozessmedien, wie z.B. geringere hygienische Anforderungen in der Lebensmittelindustrie oder verminderte ATEX Anforderungen in der Chemie.

Lesen Sie in diesem Whitepaper, wie Sie die Messtechnik für Hilfskreisläufe auswählen und optimal auslegen können.

Die klassischen Hilfskreisläufe nach dem WAGES-Modell sind **Water** (Wasser), **Air** (Luft), **Gas**, **Electricity** (Elektrizität) und **Steam** (Dampf), behandelt werden hier die Hilfskreisläufe für Wasser, Luft, Gas und Dampf. Das Thema Elektrizität wird in diesem Artikel nicht behandelt. Hier gibt es Hersteller von Messgeräten von Strom und Spannung, wie z. B. die Firma Socomec oder die Firma Janitza, die ausgezeichnete Webseiten zum Thema elektrische Energieerfassung betreiben.

Zunächst werden **Wasser-, Heiz- und Kühlkreisläufe** beschrieben, da sie sehr häufig und in fast allen Industrien zum Einsatz kommen. Als zweites widmet sich das Whitepaper **Luftkreisläufen**. Da Luft ein vergleichsweise teures und beim Messen auch sehr recht spezielles Medium ist, das unter hohem Energieeinsatz erzeugt wird, lohnt sich die Analyse dieser Kreisläufe auch im Hinblick auf Energieoptimierung. In vielfacher Hinsicht ähneln die als nächstes besprochenen **Gaskreisläufe** den Luftkreisläufen, hier gibt es jedoch einige Besonderheiten zu beachten. Abschließend werden Dampfkreisläufe betrachtet. Auch **Dampf** ist ein recht teures Medium, weshalb auch hier große Optimierungspotentiale bestehen.

Das Fazit am Ende fasst die wichtigsten Erkenntnisse kurz zusammen.

2 Wasser-, Heiz- und Kühlkreisläufe

Wasser wird in der Industrie häufig zum Reinigen, zum Kühlen oder zum Heizen verwendet. In der Lebensmittel- und Life-Sciences Industrie wird aufbereitetes Wasser auch in der Produktion verwendet, dementsprechend ist es dann auch im Endprodukt enthalten. Bei Wasser wird üblicherweise die **Durchflussmenge** und die **Temperatur** gemessen, auch **Analyse-** und **Druckmessungen** werden in den Hilfskreisläufen durchgeführt.

2.1 Auslegung der Rohrleitungen und die Durchflussmessung in Wasserkreisläufen

Damit die eine Anlage effizient funktionieren kann, ist es wichtig, dass die Rohrleitungen korrekt ausgelegt werden. Der bei normaler Belastung gemessene Normdurchfluss – Vorsicht: dies ist nicht der maximale Durchfluss – sollte auf eine Fließgeschwindigkeit zwischen 0,5 und 3 m/s ausgelegt sein. In diesem Geschwindigkeitsbereich arbeiten Pumpen i.d.R. gut bis sehr gut, außerdem ist eine präzise Durchflussmessung möglich. Bei höheren Strömungsgeschwindigkeiten kann es zu Störgeräuschen kommen und der Energieverbrauch für den Flüssigkeitstransport steigt überproportional an.

Wird Wasser mit einer Leitfähigkeit $> 5 \mu\text{S}/\text{cm}$ gemessen, so sind Magnetisch induktive Durchflussmessgeräte wegen ihrer hohen Messgenauigkeit sowie ihrem relativ günstigen Preis die erste Wahl (vgl. Abb. 1: Picomag). Diese funktionieren jedoch nicht bei Wasser mit einer niedrigeren Leitfähigkeit – hier werden alternative Messverfahren wie die Coriolis Massedurchflussmessung, Vortex-Wirbeldurchflussmessung oder thermische Massemessverfahren eingesetzt.

Einige Geräte bieten über die reine Durchflussmessung hinaus auch Multiparametermessungen an, d. h., mit ihnen können zusätzlich noch die Parameter Temperatur oder sogar Leitfähigkeit erhoben werden. Die Daten können z. B. zum Energiemanagement einer Anlage eingesetzt werden.



Abb. 1: Das magnetisch-induktive Durchflussmessgerät Picomag (v.l.n.r. DN 15, DN 50) ist konzipiert für die Anwendung in Hilfskreisläufen

Für die korrekte Auslegung der Durchflussmessgeräte in Hilfskreisläufen bietet Endress+Hauser mit dem Applicator Sizing Flow eine einfache Hilfe an. Unter www.de.endress.com/applicator finden Sie ein einfach zu bedienendes Tool zur Auslegung von Durchflusssensoren (vgl. Abb. 2: Applicator). Wählen Sie hierzu den Punkt „Auslegung Durchfluss“.

Prozessdaten		Referenzdaten			
	minimal	nominal	maximal	Einheit	
Erf. Durchfluss	0	10	15	m3/h	
Druck		6		bar_a	
Temperatur		25		°C	
Dichte		997.27		kg/m3	
Viskosität		0.88996		cP	
Druck (min/max)	6		6	bar_a	
Temp. (min/max)	25		25	°C	
Dampfdruck	0.0317	0.0317	0.0317	bar_a	

Arbeitsbereich Messgerät	
Messbereichwert min.	0.06 m3/h
Messbereichwert max.	18 m3/h

Berechnungsergebnisse				
	minimal	nominal	maximal	Einheit
Erf. Durchfluss	0	10	15	m3/h
Durchflussgeschw.	0	6.14	9.21	m/s
Messfehler Volumen	n.a.	0.53	0.52	%
Reynoldszahl	0	165 135	247 702	
DGRL	Anwendung entspricht DGRL (Art.4.3)			mehr Info DGRL
Geräte-Nennweite	DN 25	-	+	Vergleichen

Sensor / Rohr	
Material	Polyamid

Abb. 2: Einfache Auslegung von Durchflussmessung und Rohnennweiten mit dem Applicator

2.2 Temperaturmessung in Wasserkreisläufen

Wasser wird häufig als Energieträger zum Heizen oder Kühlen verwendet. In der Regel liegt die Temperatur des Wassers in Hilfskreisläufen zwischen -20° und 200° C. In diesem Temperaturbereich ist eine optimale Messung mit PT100 oder PT1000 Widerstandsthermometern möglich.

Einige Regeln zur Instrumentierung:

- Wichtig: Nur Inlinemessungen sind genau! Anlegefühler bringen hingegen Messwertverfälschungen, gerade in Heiz- und Kühlkreisläufen kann es hier zu erheblichen Messfehlern kommen.
- Der Anschluss sollte immer in Drei- oder besser in Vierleitertechnik erfolgen. Hier wird der Fehler des Leitungswiderstandes kompensiert und die Messung wird genauer.
- Die Eintauchtiefe sollte mindestens 80 mm betragen, um Messwertverfälschungen durch Abkühlereffekte an den Wänden zu eliminieren.

2.2.1 Messfehler durch Leitungswiderstand – Kompensation durch Drei- bzw. Vierleitertechnik

In der Heizungstechnik werden oftmals PT1000 Thermometer in Zweileitertechnik genutzt, da der Einfluss des Leitungswiderstands im Verhältnis zum Messwiderstand geringer ist.

Kommt z. B. eine Kupferleitung mit 0,5 mm² zum Einsatz, beträgt der spezifische Leitungswiderstand ca. 50 Ohm/km. Bei einer Leitungslänge von 10 m beträgt der Messfehler also 10 Ohm. Dies entspricht

einer Temperaturdifferenz von 0,25° C, bei einem PT100 Thermometer gar 2,5° C. Mag diese Differenz für die Regelung einer Heizung ausreichend sein, so ist sie es nicht mehr, wenn auch eine Wärmemengenabrechnung durchgeführt werden soll – hierbei ist der Berechnungsfehler zu groß.

Eine Installation in Dreileiter- oder besser Vierleitertechnik verschafft hier Abhilfe, da hiermit der Leitungswiderstand kompensiert wird. PT100 Thermometer sind in der industriellen Temperaturmessung der Standard, deshalb ist auch in Hilfskreisläufen der PT100 Sensor zur Reduzierung der Typenvielfalt zu bevorzugen.

2.2.2 Einbaulänge, Stabilität und Messunsicherheit

Die Einbaulänge sollte bei Temperatursensoren mindestens 80 mm betragen. Sind die Rohrleitungen hierfür zu klein, ist ein Schrägeinbau oder der Einbau in einen Rohrbogen möglich.

Der Endress+Hauser Easytemp TMR31 bietet hier eine Besonderheit: Durch seinen speziellen Sensor, der in die Spitze eingelötet ist, kann die Mindesteintauchtiefe auf 30 mm reduziert werden, ohne dass es zu einer Beeinflussung des Messwerts kommt. Zusätzlich bietet dieser Sensor eine extrem schnelle Ansprechzeit von unter 1,5 s.

Bei Rohrleitungen mit größeren Durchmessern wird der Sensor oft in die Mitte platziert, was in langen Fühlern resultieren kann. Diese sind jedoch empfindlicher gegen Seitenbelastung und bringen speziell bei höheren Fließgeschwindigkeiten Nachteile. Um die Länge des Temperaturfühlers gering zu halten, ist es deshalb sinnvoll, den Temperaturfühler 100 bis 150 mm von der Wandung entfernt zu platzieren. Dies ist mehr als die oben empfohlenen 80 mm, da der Temperaturfühler nicht in den Verwirbelungen am Rand des Rohrs liegen soll. Denn dort verwirbelt Wasser, das Kälte der Rohrwandung zum Sensor tragen könnte, was das Messergebnis wiederum verfälscht.

Speziell bei Kreisläufen, in die längere Fühler eingesetzt werden oder höhere Drücke im System vorhanden sind, sollte die Eignung des Temperatursensors inkl. des Schutzrohrs kritisch überprüft werden. Gefährlich für das Messgerät sind sowohl hohe Seitenkräfte oder Resonanzschwingungen. Diese können im Extremfall zum Abriss des Schutzrohrs führen, dann könnte Prozesswasser über den Kopf austreten. Dies ist bei heißem Wasser einerseits gefährlich für Personen, andererseits jedoch auch für die Anlage. Beispielsweise kann das Wasser über falsch installierte Leitungen bis in den Schaltschrank eindringen und dort erhebliche Schäden anrichten. Für die korrekte Auslegung der Messtechnik im Sinne der Risikominimierung hilft hier auch der Applicator unter www.de.endress.com/applicator unter dem Punkt „Auslegung Temperatur“. Im Softwaretool wird über eine Ampelfunktion (grün – gelb – rot) dargestellt, ob Sensoren und Schutzrohre für die Applikation geeignet sind.

Viele Anwender neigen dazu, aus vermeintlichen Sicherheitsgründen überdimensionierte Schutzrohre einzusetzen. Dies bringt bei der Messtechnik jedoch erhebliche Nachteile: Die Ansprechzeiten der Messung steigen gewaltig an – im Extremfall von einigen Sekunden auf einige Minuten. Hierdurch käme es bei Messwertänderungen über längere Zeiträume zu falschen Messwerten, Regelungen sind wesentlich träger oder überhaupt nicht zu realisieren.

Abb. 3: TMR31 mit schneller Ansprechzeit und kleiner Einbaulänge für Temperaturmessungen bis 200° C



2.2.3 Besonderheiten der Temperaturmessung in Heiz- und Kühlkreisläufen

Für die Erfassung der Wärme- oder Kältemenge ist eine präzise Temperaturmessung unerlässlich. Wird die reine Wärmemenge erfasst, reicht es, die oben beschriebenen Punkte zu beachten. Meist wird jedoch eine Wärmemengendifferenz, d. h., der Unterschied der abgehenden und ankommenden Wärme, erfasst. Hier gelten folgende Faustregeln:

- Zur Wärmemengendifferenzmessung muss an zwei Punkten eine Temperaturmessung durchgeführt werden, außerdem muss die Durchflussmenge des zu messenden Mediums mittels Durchflussmessgerät erhoben werden. Ist die Temperaturdifferenz an zwei Messstellen **größer als 20° C**, kommt der Fehler bei der Temperaturmessung in Relation zum Fehler bei der Durchflussmessung (konstant ca. 0,5 % vom Messwert) weniger stark zum Tragen und ist in der Gesamtrechnung zu vernachlässigen.
- Ist die Temperaturdifferenz hingegen **kleiner als 20° C**, fällt der Fehler aus der Temperaturmessung stärker ins Gewicht und die ermittelten Energiemengenwerte verlieren an Aussagekraft. Um dieser Ungenauigkeit entgegenzuwirken, empfiehlt es sich, gepaarte Temperaturfühler einzusetzen. Diese Temperaturfühler entsprechen in ihrer absoluten Genauigkeit dem Standard Klasse A, sind aber ab Werk so miteinander gepaart, dass der relative Fehler zueinander möglichst klein ist. D. h., die Abweichung zueinander ist kleiner als 0,1 K bzw. 0,025 K. Je kleiner die Abweichung zueinander ist, desto genauer wird das Messergebnis der Temperaturdifferenzmessung, desto teurer werden aber auch die Fühler.
- Eine weitere Möglichkeit, den Fehler bei der Temperaturdifferenzmessung zu minimieren, bietet der RH33. Bei diesem werden Temperaturfühler elektronisch über die Calendar Van Dusen Koeffizienten gepaart. Hier werden bei der Kalibrierung die CVD Koeffizienten ermittelt und in den RH33 eingegeben. Die elektronische Paarung optimiert nicht nur den Fehler der Messgeräte zueinander, sondern auch deren absolute Fehler. Außerdem muss beim Ausfall eines Sensors nur ein einzelner

Sensor ausgetauscht werden, während bei gepaarten Fühlern immer beide ausgetauscht werden müssen. (vgl. hierzu www.de.endress.com/rh33)

2.3 Analysemessungen in Wasserkreisläufen

In bestimmten Wasserkreisläufen werden auch Analyseparameter erhoben, z. B. bei entionisiertem Wasser. Die am häufigsten erhobenen Parameter sind Leitfähigkeit und pH-Wert. Bei der Messung der Leitfähigkeit hängt die Auswahl des Sensors von der Anwendung und vom Leitfähigkeitsbereich ab.

2.3.1 Konduktive und induktive Sensoren sowie deren Kalibrierung

- **Konduktive Sensoren** werden zur Messung niedriger Leitfähigkeiten z. B. in reinem oder ultrareinem Wasser genutzt.
- **Induktive Sensoren** eignen sich für Medien mit hoher Leitfähigkeit wie Milch, Bier, Basen, Säuren oder Solen.

Die Kommunikation zwischen den Sensoren und dem Messumformer findet bei Geräten von Endress+Hauser über das digitale Memosens-Protokoll statt. Hierbei wird das Signal noch im Sensor digitalisiert und digital an den Messumformer übertragen. Die Kalibrierdaten sind direkt im Sensor gespeichert und werden beim Anschluss an einen Messumformer direkt an diesen übertragen.

Leitfähigkeitssensoren werden kalibriert ausgeliefert und müssen nicht nachkalibriert werden. Jedoch ist eine regelmäßige Reinigung sowohl bei konduktiver als auch bei induktiver Messung zu empfehlen.

Induktive Sensoren können direkt und ohne zusätzliche Armatur in Rohrleitungen eingebaut werden. Damit ein Sensor bei einem Ausfall oder zur Reinigung aus der Anlage ausgebaut werden kann, müssen Absperrarmaturen vorhanden sein.

Bei der pH-Messung ist die Auswahl des Sensors für Wasseranwendungen denkbar einfach. Der CPS11D ist für beinahe alle Anwendungen geeignet, lediglich bei hochreinem Wasser muss eine Elektrode mit KCL Nachführung verwendet werden. Die CPS11D besitzt ein Ringdiaphragma, das sich selbst reinigt und somit sehr breit einsetzbar ist. Anders als für den Einbau von Sonden zur Leitfähigkeitsmessung muss bei pH-Sonden eine Einbauarmatur verwendet werden. Da pH-Messstellen regelmäßig kalibriert werden müssen, empfiehlt sich die Verwendung einer Armatur, die den Ausbau der Elektrode im laufenden Betrieb erlaubt. Wie oft eine Messstelle derweil kalibriert werden muss¹, hängt stark vom Medium ab, aber auch in reinen Wasseranwendungen sollte eine Elektrode alle 3 Monate kalibriert werden. Der Kalibriervorgang gelingt mit der Memosens-Technologie ohne größeren Aufwand: Der Sensor wird einfach ausgetauscht und ins Labor gebracht, wo die Kalibrierung unter Laborbedingungen stattfindet. Da die Kalibrierdaten im Kopf des Sensors gespeichert werden, kann dieser direkt nach erfolgter Kalibrierung eingebaut werden und der Messumformer liest die gespeicherten Daten automatisch aus. Praktisch zu wissen: CPS11D Sensoren verfügen immer über ein integriertes PT100 Thermometer und können ebenfalls zur Temperaturmessung benutzt werden.



Abb. 4: Messumformer CM14 mit Memosens Sensoren für pH, Leitfähigkeit und Sauerstoff

2.3.2 Messumformer mit Memosens-Technologie

Da alle Analyseparameter auf ein einheitliches Protokoll geführt werden, ist es nicht mehr notwendig, analysespezifische Messumformer zu verwenden. Für einfache Anwendungen ist der CM14 bestens

¹ Vgl. hierzu das Whitepaper „So ermitteln Sie das richtige Kalibrierintervall“ unter <https://www.de.endress.com/de/pages/Kalibrierintervalle-LSI>, das exemplarisch an der Lebensmittelindustrie aufzeigt, wie das korrekte Kalibrierintervall ermittelt werden kann.

geeignet. Sensoren und Messumformer werden zusammen mit dem passenden Kabel als Paket [angeboten](#). Sollen mehrere Parameter gemessen werden, muss ein Messumformer gewählt werden, der für mehrere Sensoren ausgelegt ist, wie z. B. der [Liquiline](#) CM442 (bis zu 2 Sensoren) oder der CM448 (bis zu 8 Sensoren). Hier „lernt“ der Messumformer für jeden Kanal, für welchen Parameter er zuständig ist, sobald der Sensor per Kabel eingesteckt wird.

2.4 Druckmessung in Wasserkreisläufen

Die Anforderungen an die Druckmessung sind in Wasser-Hilfskreisläufen relativ gering. Die Genauigkeit der Messwerte spielt eine eher untergeordnete Rolle, da der Druck in Hilfskreisläufen anders als im Prozess kein qualitätsrelevanter Parameter ist. Der Messbereich reicht meist von 3-10 bar absolut. Die Messung in Rohrleitungen sollte immer als Absolutdruckmessung – d. h., die Differenz zum absoluten Vakuum – geführt werden, während dieser in Behältern i. d. R. relativ zum Umgebungsdruck angegeben wird, da der Umgebungsdruck auf die Wassersäule drückt und dieser bei der Relativdruckmessung abgezogen wird.

Endress+Hauser bietet für dieses Segment zwei verschiedene Arten von Druckmessungen an:

- **Metallische piezoresistive Messzelle**

Diese Art von Messzelle ist mit einem kleinen Ölvolumen gefüllt, die Prozessmembran wird aus Edelstahl gefertigt. Mit piezoresistiven Messzellen lassen sich sowohl kleine als auch große Messbereiche bis hin zu Drücken von 600 bar abdecken.

- **Keramische kapazitive Messzelle (vgl. Abb. 5)**

Diese Messzelle ist trocken, besitzt also keine Ölfüllung. Es lassen sich eher kleinere Messbereiche bis max. 40 bar abdecken. Der große Vorteil der keramischen Messzelle liegt in ihrer Überlastfestigkeit: Sie ist sehr unempfindlich gegenüber Druckschlägen, selbst wenn der maximal zulässige Messwert bis zu 100-fach überstiegen wird.



Abb. 5: PMC21 mit keramischer Messzelle zur Messung von Relativ- und Absolutdruck

Der Anschluss der Drucksensoren an die Rohre ist genormt, er erfolgt über ein G1/2“ Gewinde. Ein möglicher Standardsensor für Wasserkreisläufe wäre z. B. der [PMC21](#) (vgl. Abb. 5). Dieser wird bei Bestellung auch kostenfrei auf den benötigten Messbereich voreingestellt, damit das 4..20 mA-Signal immer den optimalen Messbereich abdeckt.

3 Luftkreisläufe

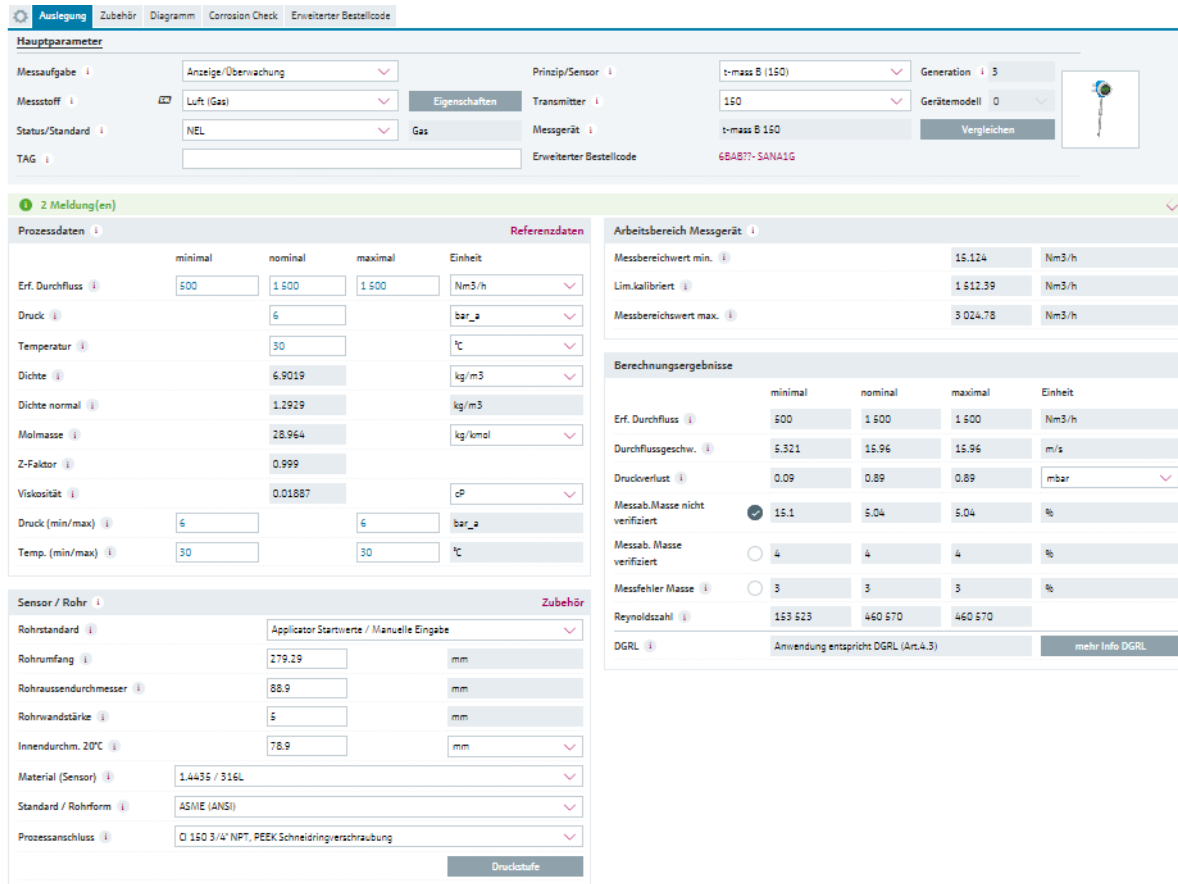
Druckluft ist eines der energieintensivsten und somit teuersten Hilfsmedien. Sie wird erzeugt, indem Luft durch einen Kompressor verdichtet und auf hohen Druck gebracht wird. Die Luft muss hierbei sehr trocken sein, da sonst Feuchtigkeit als Kondensat ausfällt, was die Leitungen entweder beeinträchtigen oder gar verstopfen kann, was zum Ausfall der Druckluftherzeugung führt. Die drei wichtigsten Parameter in Luftkreisläufen sind Durchflussmenge (vgl. 2.1), Druck (vgl. 2.2) und Temperatur (vgl. 2.3).

3.1 Durchflussmessung in Luftkreisläufen

Bei der Durchflussmessung von Luft ist es entscheidend, ob diese trocken und sauber ist, oder ob sie feucht ist und ggf. Verunreinigungen in sich trägt.

- **Trockene Luft:**

Für die Durchflussmessung in trockener Luft eignet sich das thermische Verfahren sehr gut, da dieses direkt Werte für Masse bzw. Normvolumen liefert. Meist wird mit zwei Temperaturfühlern gemessen, wobei einer davon geheizt wird, sodass er 2-4° C wärmer als der andere ist. Die für das Heizen benötigte Energie ist ein direktes Maß für Normvolumen bzw. Masse der Luft, abhängig von deren Wärmeleitfähigkeit. Da dieser Wert bei trockener Luft konstant ist, kann mit einem relativ einfachen Messsystem wie dem T-Mass 150 gearbeitet werden. Auch hier bietet es sich an, die Auslegung der Messstellen mit Hilfe des [Applicators](#) (vgl. Abb. 6) zu berechnen.



Hauptparameter

Messaufgabe: Anzeige/Überwachung | Prinzip/Sensor: t-mass B (150) | Generation: 3

Messstoff: Luft (Gas) | Eigenschaften | Transmitter: 150 | Gerätemodell: 0

Status/Standard: NEL | Gas | Messgerät: t-mass B 150 | Vergleichen

TAG: | Erweiterter Bestellcode: 6B4B??-SANA1G

2 Meldung(en)

Prozessdaten

	minimal	nominal	maximal	Einheit
Erf. Durchfluss	500	1 500	1 500	Nm ³ /h
Druck		6		bar _a
Temperatur		30		°C
Dichte		6.9019		kg/m ³
Dichte normal		1.2929		kg/m ³
Molmasse		28.964		kg/kmol
Z-Faktor		0.999		
Viskosität		0.01887		cP
Druck (min/max)	6		6	bar _a
Temp. (min/max)	30		30	°C

Referenzdaten

	minimal	nominal	maximal	Einheit
Erf. Durchfluss	500	1 500	1 500	Nm ³ /h
Durchflussgeschw.	5.321	15.96	15.96	m/s
Druckverlust	0.09	0.89	0.89	mbar
Messab. Masse nicht verifiziert	15.1	5.04	5.04	%
Messab. Masse verifiziert	4	4	4	%
Messfehler Masse	3	3	3	%
Reynoldszahl	153 523	460 570	460 570	

Arbeitsbereich Messgerät

Messbereichwert min.	15.114	Nm ³ /h
Lim.kalibriert	1 512.39	Nm ³ /h
Messbereichwert max.	3 024.78	Nm ³ /h

Berechnungsergebnisse

	minimal	nominal	maximal	Einheit
Erf. Durchfluss	500	1 500	1 500	Nm ³ /h
Durchflussgeschw.	5.321	15.96	15.96	m/s
Druckverlust	0.09	0.89	0.89	mbar
Messab. Masse nicht verifiziert	15.1	5.04	5.04	%
Messab. Masse verifiziert	4	4	4	%
Messfehler Masse	3	3	3	%
Reynoldszahl	153 523	460 570	460 570	

DGRL: Anwendung entspricht DGRL (Art.4.3) | mehr Info DGRL

Sensor / Rohr

Rohrstandard: Applicator Startwerte / Manuelle Eingabe

Rohrumfang: 279.29 mm

Rohraussendurchmesser: 88.9 mm

Rohrwandstärke: 5 mm

Innendurchm. 20°C: 78.9 mm

Material (Sensor): 1.4435 / 316L

Standard / Rohrform: ASME (ANSI)

Prozessanschluss: O 150 3/4" NPT, PEEK Schneldringverschraubung

Druckstufe

Abb. 6: Durchflussberechnung für Luft mit dem Applicator

■ Feuchte bzw. staubige Luft

Bei feuchter oder staubiger Luft ist das thermische Verfahren nicht zur Messung oder der Berechnung der Durchflussmasse geeignet, da die Wärmeleitfähigkeit des Gases sich nicht konstant verhält. Deshalb kommen hier optional zwei verschiedene Verfahren zum Einsatz:

■ Blende oder Staudrucksonde mit Differenzdruckmessung

Die Blende lässt sich so auslegen, dass der Druckverlust in der Leitung minimiert wird. Bei der Differenzdruckmessung ist die Messdynamik im Vergleich zu anderen Messverfahren beschränkt, da das Differenzdrucksignal quadratisch in Relation zur Durchflussmenge abnimmt. D. h., wenn die Durchflussmenge 10% des maximalen Messbereichs beträgt, beträgt das Messsignal nur noch 1%.

■ Vortex Wirbelzähler Durchflussmessgerät

Beim Messverfahren Vortex wird ein Staukörper in die Strömung eingebracht, an dem sich Wirbel ablösen, die dann gezählt werden. Die Anzahl der entstehenden Wirbel ist direkt proportional zum Gasdurchfluss. Der Staukörper resultiert auch in einem gewissen Druckverlust, jedoch ist die Messdynamik wesentlich größer als bei der Differenzdruckmessung. Dieses Messverfahren

benötigt eine gewisse Grundströmung, um überhaupt Messwerte zu liefern – ein Messen von Null an ist nicht möglich.

Beide beschriebene Messverfahren benötigen zur Bestimmung des Normvolumens bzw. des Masseflusses zusätzlich eine Druckmessung, optimal wäre zusätzlich auch noch eine Temperaturmessstelle. Das Betriebsvolumen lässt sich dann mit Hilfe eine Recheneinheit wie z.B. dem RMC621 berechnen.

Da die Messung von feuchter oder verschmutzter Luft wesentlich komplizierter ausfällt als bei reiner und trockener Luft, wird bei den meisten Anwendungen nach Möglichkeit erst in der trockenen Luft gemessen.

3.2 Druckmessung in Luftkreisläufen

Die Grundsätze der Druckmessung, die in Wasserkreisläufen gelten, gelten ebenso für Luftkreisläufe, vgl. hierzu Kap. 1.4. Für die Mengenermittlung bei Druckluft sowie zur Bestimmung des Leitungsdrucks wird der Luftdruck absolut gemessen. Bei der Überwachung von Luftströmen wird dagegen meist relativ gemessen, um die Leistung des Ventilators zu überwachen. Keramische Messzellen können ebenso wie metallische verwendet werden, auch hier bietet die keramische Messzelle wieder gewisse Vorteile bei kleinen Drücken.

3.3 Temperaturmessung in Luftkreisläufen

Auch zur Temperaturmessung in Luftkreisläufen gelten die gleichen Grundsätze wie in Wasserkreisläufen, vgl. hierzu Kap. 2.2.

Da Luft jedoch im Unterschied zu Wasser eine wesentlich geringere Wärmeübertragungskapazität besitzt, kommt der Wahl eines schnell ansprechenden Sensors eine große Bedeutung zu. Das Schutzrohr über dem Sensor sollte aus diesem Grund außerdem möglichst dünnwandig ausfallen, ggf. kann es auch ganz wegfallen. Nur so kann das Thermometer z. B. schnelle Temperaturänderungen registrieren. In diesem Einsatzfeld zeigt der TMR31 seine Stärke, sein Sensorelement ist mit einer gut leitenden Metallpaste in die Sensorspitze eingebracht und er hat eine Ansprechzeit von $T_{90} < 1,5 \text{ s}$ (vgl. Abb. 7).



Abb. 7: TMR31 mit schneller Ansprechzeit und kleiner Einbaulänge für Temperaturmessungen bis 200° C

4 Gaskreisläufe

4.1 Allgemeines zu Gaskreisläufen

Die Gase, die am häufigsten in Hilfskreisläufen transportiert werden, sind Stickstoff, Sauerstoff und Erdgas. Anders als bei Luft liegen diese Gase immer in Reinform vor und sind somit trocken und sauber. Bei den Messungen in Hilfskreisläufen handelt es sich um innerbetriebliche Erfassungen, daher ist eine Eichung nicht notwendig. Für die Druck- und Temperaturmessung von Gasen gelten die gleichen Richtlinien wie sie für die Luftmessung bereits beschrieben wurden, vgl. hierzu Kap. 3.2 und 3.3.

4.2 Durchflussmessung in Gasen

Wie oben ausgeführt, sind Gase immer sauber und trocken und können daher immer mit thermischen Massedurchflussmessgeräten erfasst werden. Die verschiedenen Gase besitzen jedoch unterschiedliche Wärmeleitfähigkeiten, weshalb ein System zur Erfassung der Messdaten variabel an die jeweils eingesetzten Gase angepasst werden muss. Besondere Vorsicht ist bei Erdgas geboten: Da es hierbei oft um ein Mischgas handelt, muss auf die Verwendung der korrekten Wärmeleitfähigkeit geachtet werden.

Für die thermische Durchflussmessung in Gasen ist der [t-Mass 65](#) (vgl. Abb. 8) mit seiner integrierten Gas Engine optimal geeignet. Hier sind die Werte der meisten Gase bereits hinterlegt und es können Mischgase mit bis zu 20 verschiedenen Komponenten verwendet werden. Auch hier hilft bei der Applicator bei der Auslegung der Durchflussmessung.



Abb. 8: t-Mass 651 zur einfachen Gasdurchflussmessung

Sizing Flow Auslegung von Durchflussmessgeräten

[Auslegung](#) [Zubehör](#) [Diagramm](#) [Erweiterter Bestellcode](#)

Messparameter

Messaufgabe: Anzeige / Überwachung | Prinzip/Sensor: t-mass | 651 | Generation: 2
 Messstoff: Erdgas (Gas) | Eigenschaften: | Transmitter: 65 | Gerätemodell: 0
 Status/Standard: NTL | Gas | Messgerät: t-mass 651 | Vergleichbar
 TAG: | Erweiterter Bestellcode: 651-2DA

2 Meldung(en)

1. Die Rohrarmmessungen sind Startdaten. Bitte überprüfen Sie diese, um eine korrekte Auslegung durchführen zu können. Sie können unter Rohrstandard die entsprechende Rohrtabelle aufrufen. Ist der Standard bereits selektiert, genügt das anklicken eines Feldes für Rohrarmmessungen, um die Rohrtabelle wieder zu öffnen.
 2. Bitte unter Zubehör die zur Montage notwendigen Bauteile auswählen, damit die notwendigen Montageabmessungen wie die Einsteckertiefe und Länge bestimmt werden kann, des weiteren die Überprüfung der Stutzenhöhe!

Prozessdaten	minimal	nominal	maximal	Einheit
Erf. Durchfluss	400	400	600	kg/h
Druck	1.3			bar_a
Temperatur	20			°C
Dichte		0.9232		kg/m3
Dichte normal		0.7123		kg/m3
Dichte standard		0.7317		kg/m3
Molmasse		17.264		kg/mol
Z-Faktor		0.9974		
Viskosität		0.01102		cP
Druck (min/max)	1.3		1.3	bar_a
Temp. (min/max)	20		20	°C

Arbeitsbereich Messgerät			Einheit
Messbereichwert min.		7.519	kg/h
Lim.kalibriert		751.905	kg/h
Messbereichwert max.		1.603.81	kg/h

Berechnungsergebnisse		minimal	nominal	maximal	Einheit
Erf. Durchfluss		400	400	600	kg/h
Durchflussgeschw.		24.62	24.62	36.92	m/s
Druckverlust		0.09	0.09	0.13	mbar
Messfehler Masse		1.6	1.6	1.6	%
Reynoldszahl		162.710	162.710	244.068	

DGR: Anwendung entspricht DGR, (Art. 3) [mehr Info DGR](#)

Sensor / Rohr Zubehör

Rohrstandard: Applicator Samverte / Manuelle Eingabe
 Rohrfumfang: 10.996 inch
 Rohraussendurchmesser: 3.6 inch
 Rohrwandstärke: 0.1969 inch
 Innendurchm. 20°C: 3.1063 inch
 Material (Sensor): SS 1.4404 / 316L
 Standard / Rohrform: ASME (ANSI)
 Prozessanschluss: O 150 1" NPT ASME 1.4404/316L Schneidringverschraubung

[Druckstufe](#)

Abb. 9: Applicator Sizing Flow zur Auslegung der Durchflussmessung in Gas

5 Dampfkreisläufe

Dampf ist nach Strom der am häufigsten benutzte Energieträger in der Industrie. Durch die hohe Verdampfungsenergie, die im Dampf gespeichert ist, ist der Energiegehalt ungefähr 500 mal so groß wie bei heißem Wasser. Da Dampf gleichzeitig ein relativ teures Hilfsmedium ist, wurden in den letzten

Jahren große Anstrengungen unternommen, um die Erzeugung und Verteilung von Dampf effizienter und vor allem auch energieeffizienter zu machen. Um die Energieeffizienz im gesamten Hilfskreislauf beizubehalten, ist eine kontinuierliche Messung der Energie im Detail nötig. Da mögliche Energieverluste an einzelnen Stellen meist sehr klein ausfallen, ist die hohe Genauigkeit der Messungen sehr wichtig.

Grundsätzlich können über die Dampfmengenerfassung verschiedene Werte berechnet werden:

- **Dampfwärmemenge**

Wenn der Dampf verbraucht wird und dementsprechend nicht als Kondensat im Kreislauf zurückbleibt und im Kreislauf an den Kessel zurückgesendet wird, ist eine Dampfmengenberechnung sinnvoll. Bei dieser wird der Wärmehalt bzw. die Masse an Dampf berechnet, die den Kessel verlässt.

- **Dampfwärmemengendifferenz**

Bei der Berechnung der Dampfwärmemengendifferenz wird von der Wärmemenge, die den Kessel verlässt, die zurückgeführte Energie des Kondensats abgezogen. Da bei der Berechnung davon ausgegangen wird, dass die Masse des Dampfes gleich der Masse des Kondensats ist, dürfen hier keine Prozesse beinhaltet sein, bei denen Dampf verloren geht.

Soll in einem Prozess, in dem auch Dampf verloren geht, die Dampfwärmemengendifferenz erfasst werden, müssen die Dampfwärmemenge und die Kondensatwärmemenge getrennt berechnet und voneinander abgezogen werden.

5.1 Sattdampf, überhitzter Dampf und Nassdampf

Meist wird in industriellen Hilfskreisläufen Sattdampf verwendet. In 30 % der Fälle wird jedoch auch überhitzter Dampf verwendet. Was bei der Messung nicht auftreten sollte, ist Nassdampf. Dieser bildet sich leider dennoch vor allem bei längeren Leitungen. Hier die verschiedenen Dampfarten im Überblick:

- **Sattdampf**

Dieser Dampf ist trocken und das Verhältnis von Druck und Temperatur ist festgelegt. Deshalb gilt es als ausreichend, den Druck von Sattdampf zu messen, um daraus seine Wärmemenge zu berechnen. Wird Sattdampf nur leicht abgekühlt, z. B. in einer Rohrleitung, so kommt es sofort zur Kondensatbildung – es entsteht Nassdampf. Damit dies nicht passiert, wird in der Praxis immer ein leicht überhitzter Dampf genutzt. Aus diesem Grund empfiehlt es sich, sowohl Druck als auch Temperatur des Dampfes zu messen, um daraus die Wärmemenge zu berechnen.

- **Überhitzter Dampf**

Dieser Dampf ist trocken, aber bei gleichem Druck heißer als Sattdampf. Um die Wärmemenge von überhitztem Dampf berechnen zu können, müssen Durchfluss, Druck und Temperatur erfasst werden, da alle Parameter voneinander unabhängig sind.

- **Nassdampf**

Liegt ein Dampf genau auf der Sattdampfkurve, besteht er aus einer Mischung von Wasser und Dampf. Die genaue Zusammensetzung ist dabei physikalisch nicht eindeutig, hier sind verschiedene Mengenverhältnisse möglich. Da Dampf 500-mal mehr Energie als Wasser beinhaltet, ist bei Nassdampf mit unklarer Zusammensetzung keine Berechnung der Wärmemenge möglich. Eine Ausnahme ist hier das Messgerät Prowirl F200, dieses erfasst neben der Dampfmenge auch die Kondensatmenge, hier ist dann eine Berechnung möglich.

5.2 Auslegung und Genauigkeiten von Dampfmessungen

Die Wärmemenge oder Wärmemengendifferenz wird nach dem IAPWS-Standard aus den Messdaten für Durchfluss, Druck und Temperatur berechnet. Da diese verschiedenen Parameter unterschiedliche Einflüsse auf die Genauigkeit des Energiewerts haben, ist es gar nicht so einfach, Aussagen über die Genauigkeit der Messung zu treffen. Hier hilft der Endress+Hauser Applicator mit dem Sizing Energy Tool (vgl. Abb. 10), das folgende Informationen bereitstellt:

- Genauigkeit der Messung unter idealen Bedingungen
- Wie kann die Genauigkeit verbessert werden? Hier sind z. B. Simulationen möglich, was der Austausch eines Drucksensors mit 0,5 % Messungenauigkeit v. M. mit einem Drucksensor mit lediglich 0,1 % Messungenauigkeit v. M. bringt.
- Wenn Dampfmasse, Druck und Temperatur bekannt sind, kann hieraus auf den Volumendurchfluss zurückgerechnet werden.
- Über den Absprung in das Sizing Flow Modul kann direkt die Rohrnennweite und die Genauigkeit der Durchflussmessung berechnet werden.

Eine optimal installierte Dampfmessung kann in der Praxis eine maximale Genauigkeit von ± 2 % v. M. erreichen.

Sizing Energy Auslegung von Energiemessstellen

Auslegung Erweitertes Bestellcode

Hauptparameter

Medium: Dampf, Überhitzt Eigenschaften Anwendung: Masse, Energie

Gerät: RMS621 Zustand Überhitzer Dampf IAPWS

TAG: Erweitertes Bestellcode: RMS621-

1 Warnungen

1. Hinweis: Die nominale Temperatur ist zu hoch für den gewählten Drucksensor. Bitte verwenden Sie ein Wasserrohr (Dampf) und/oder eine Wirkdruckleitung, zur Reduzierung der Mediumtemperatur auf zulässige Werte für das gewählte Druckmessgerät.

Durchfluss

Durchfluss Messgerät: Picoval F 200 (7928)

Unsicherheit: % auf Nominalwert 0,75 %

Druck

Druck Messgerät: Cerabar S P11CT1

Unsicherheit: % auf Skalierung 0,08 %


Temperatur

Temperatur Sensor: Pt100 class A

Prozessdaten / Skalierung

	LRV	nominal	URV	Einheit
Erf. Durchfluss	<input type="text"/> 0	<input type="text"/> 20	<input type="text"/> 20	<input type="text"/> m ³ /h
Druck	<input type="text"/> 0	<input type="text"/> 8	<input type="text"/> 12	<input type="text"/> bar_a
Temperatur	<input type="text"/> 0	<input type="text"/> 180	<input type="text"/> 200	<input type="text"/> °C

Anwendungsbild



Messunsicherheit der Einzelkomponenten (Nominal)

	Messgerät	Energierechner	
Durchfluss	0,15	0,002	m ³ /h
Druck	0,01	0,012	bar
Temperatur	0,61	0,3	°C

Kombinierte Messunsicherheit / Gesamtunsicherheit (Nominal)

	relative Unsicherheit	Nominalwert	Abs. Unsicherheit	
Wärmefluss	0,92 %	0,063	+/- 0,001	MW
Massefluss	0,918 %	80,912	+/- 0,743	kg/h
Enthalpie	0,06 %	2 792,44	+/- 1,676	kJ/kg
Dichte	0,305 %	4,046	+/- 0,012	kg/m ³

Abb. 10: Applicator Sizing Energy zur einfachen Auslegung von Dampf und Wärmemengensmessstellen

5.3 Durchflussmessung von Dampf

Es gibt mehrere Messverfahren, um den Dampfdurchfluss zu erfassen. Sehr oft werden Vortex Durchflussmessgeräte genutzt, die ohne Probleme mit hohen Temperaturen zurechtkommen, eine hohe Messdynamik aufweisen und auch preislich interessant sind.

Alternativ dazu werden auch Blenden eingesetzt. Diese werden klassisch auf einen bestimmten Dampfdurchfluss, eine bestimmte Temperatur und auf einen bestimmten Druck ausgelegt. Der entsprechende Differenzdruckmessumformer wird auf radizierend eingestellt und liefert dann ein normiertes Durchflusssignal. Bei Dampf kann es schon bei kleinen Schwankungen von 0,5 bar und 20° C in der Berechnung des Durchflusses zu Fehlern von bis zu 10% kommen. Hier existieren inzwischen viele Dampfrechner, wie z. B. den RMS621 von Endress+Hauser, die den Durchfluss von Blenden auch bei Schwankungen genau berechnen. Hierbei wird das Differenzdrucksignal linear an den Dampfrechner übergeben. Außerdem existieren Durchflussmessgeräte mit integrierter Druck- und Temperaturmessung, die direkt die Dampfwärmemenge ausgeben. Die Berechnung wird in diesen Geräten oft nach vereinfachten Verfahren und nicht nach dem IAPWS-Standard durchgeführt.



Abb. 11: Prowirl F200 Vortex Durchflussmessgerät mit innovativer Nassdampferkennung

5.4 Druckmessung von Dampf

Der Parameter Druck hat einen entscheidenden Einfluss auf die Gesamtgenauigkeit der Dampfmessung. Deshalb ist es sehr entscheidend, dass diese Messung möglichst genau ist. Da die Temperatur an der Messstelle jedoch sehr hoch ist, lässt sich die Druckmessung nicht direkt installieren. Ein Druckmittler würde jedoch über den Temperaturkoeffizienten die Messgenauigkeit verringern. Daher wird bei Dampf mit einem Temperaturentkopplungsstück gearbeitet, das umgangssprachlich wegen seiner Bauform auch als „Schweineschwänzchen“ bekannt ist. In diesem Rohrstück kondensiert das Wasser und bildet eine Dampfsperre, sodass der Dampf nicht direkt an den Sensor gelangt. Weil das System jedoch offen ist, beeinflusst die Dampfsperre die Messungenauigkeit nicht negativ. Durch die Länge des Entkopplungsrohrs wird die Temperatur am Sensor auf unter 80° C reduziert.

Über den Applicator Sizing Energy kann überprüft werden, ob ein höherwertiger Sensor die Gesamtmessunsicherheit merklich beeinflusst und ob sich ggf. ein Aufrüsten lohnt.

5.5 Temperaturmessung von Dampf


Die Temperaturmessung von Dampf stellt hohe Anforderungen an die Messtechnik, da Temperaturen bis 400° C und Drücke bis 20 bar vorherrschen können. Da beim Defekt eines Schutzrohrs außerdem heißer Dampf austreten kann, besteht bei Defekten Verletzungsgefahr – entsprechend sind Sicherheitskriterien zu beachten. Aus Vorsicht werden Schutzrohre deshalb oft überdimensioniert. Wichtig ist vor allem, dass Schutzrohre nicht zu lang sind. Eine Einbaulänge von 100 – 150 mm ist vollkommen ausreichend für eine genaue Messung. Aus Sicherheitsgründen werden oft Einschweißschutzhülsen verwendet, wobei einfachere Schutzrohre den Anforderungen durchaus auch genügen. Auch hier hilft zur Einschätzung das Applicator Tool Sizing Thermowell. Dieses zeigt an, ob ein Schutzrohr den Anforderungen der Dampfmesstelle entspricht (vgl. Abb. 12).

Sizing Thermowell Auslegung von Temperaturschutzrohren

Auslegung Diagramme Erweiterter Bestellcode

Allgemeine Parameter

Produkt: TR15 Prozessanschluss: zum Einschweißen
 Schutzrohr: TW for TC15 and TR15 Rechnungsstandard: DIN 43772
 TAG: Erweiterter Bestellcode: TR15-A1B0



2 Meldung(en)

Schutzrohrgeometrie

Werkstoff: 316Ti, 1.4571

Prozessanschluss Größe: Zylindrisches Einschweißstück

Nominelle Eintauchlänge (L): 110=L Form 4

Außendurchmesser (D): 24 mm

Geometrieform: Reduziert L75

Nomineller Innendurchmesser: 6,6 mm

Tatsächliche Eintauchlänge: 110 mm


Bodendicke: 4 mm

Unbeströmte Länge: 60 mm

Tabelle Geometrie Abmessungen

Geometri...	D1	D2	d1	d2	L	Einheit
Zylindrisch	24	24	6,6		37	mm
Konisch	24	12,5	6,6		73	mm

Anwendungsbild



Prozessdaten

Medium: Dampf, Überhitzt

Prozesstemperatur: 200 °C
 Druck: 6 bar_a
 Dichte: 2.83997 kg/m³
 Viskosität: 0.01602 cP
 Durchflussgeschwindigkeit: 3.1438 m/s

Berechnung Durchflussgeschwindigkeit

Berechnungsergebnisse

✔ Schutzrohr hält den Beanspruchungen stand

Zulässige Materialfestigkeit: 1.37E+8 Pa
 Resultierende Spannung: 1.467.566.54 Pa
 Sicherheitsfaktor Beanspruchung: 66.35
 Eigenfrequenz des Schutzrohres: 2.082.03 Hz
 Anregungsfrequenz: 50.55 Hz

Abb. 12: Auslegung eines TR15 für Dampf mit dem Sizing Thermowell Tool

5.6 Dampfrechner

Dampfrechner berechnen aus Durchfluss, Druck und Temperatur die Dampfwärmemenge oder die Dampfwärmemengendifferenz. Bei den meisten Rechner erfolgt die Berechnung nach dem IAPWS-Standard. Im Folgenden werden drei Dampfrechner im Überblick vorgestellt:

- **Engycal RS33**

Der Engycal RS33 (vgl. Abb. 13) eignet sich dazu, eine Berechnung durchzuführen. Er ist einfach zu konfigurieren, alle Eingänge sind vordefiniert. Das Gehäuse ist zur Montage auf der Hutschiene, in der Schaltschranktür oder als eigenständiges Feldgehäuse geeignet. Der RS33 kann alle wichtigen Parameter aufzeichnen und abspeichern und er verfügt über eine Modbus TCP, eine Modbus RTU oder eine M Bus Schnittstelle. Eine Dampfwärmemengendifferenzmessung ist nur über die Eingabe einer konstanten Kondensattemperatur möglich.



Abb. 13: Energierechner RS33 für eine einfache Inbetriebnahme

- **RMS621 / RMC621**

Dieser Energiemanager kann bis zu drei Berechnungen parallel durchführen. Er ist modular erweiterbar und sehr variabel bei verschiedensten Anwendungen einsetzbar. Verglichen mit seiner Flexibilität gestaltet sich die Inbetriebnahme sehr einfach. Der RMS / RMC621 (vgl. Abb. 14) ist zur Hutschienenmontage geeignet und kann zusätzlich mit einem externen Display für den Schaltschalttafelbau erweitert werden. Er verfügt optional über eine M Bus, eine Modbus RTU oder eine Profibus DP Schnittstelle.



Abb. 14: Energierechner RMC621 mit bis zu drei parallelen Berechnungen

- **Datenmanager Memograph M RSG45**

Der Memograph M (vgl. Abb. 15) kann bis zu acht Rechnungen parallel in einem Gerät durchführen. Die Daten werden flexibel aufgezeichnet. Da der Memograph nur über zwei Analogausgänge verfügt, eignet er sich sehr gut für Busanwendungen. Optional ist er mit den Schnittstellen Profinet, Ethernet IP, Modbus RTU / TCP oder Profibus DP ausgestattet. Auf seinem großen Display kann er Prozessbilder graphisch darstellen.



Abb. 15: Datenmanager Memograph M RSG45 mit Energiepaket zur Erfassung von Energien

6 Fazit

Hilfskreisläufe für Wasser, Luft, Gas und Dampf haben eine große Bedeutung in der Industrie. Durch sie wird Energie transportiert, die für den Prozess benötigt wird. Da Hilfskreisläufe nur indirekt für die Qualität und die Sicherheit des Prozesses verantwortlich sind, sind die Anforderungen, die hier an die Messung und Erfassung der Medien gestellt werden, weniger hoch. Dennoch gibt es einiges bei der Auswahl und der Auslegung der Messtechnik zu beachten.

Wasserkreisläufe sollten aus Gründen der Wirtschaftlichkeit so ausgelegt sein, dass die Fließgeschwindigkeit zwischen 0,5 und 3 m/s liegt. Bei einem geringeren Wert wird die Messung schwierig, bei einem höheren Wert steigt der Energiebedarf für den Transport des Mediums stark an. Magnetisch-induktive Durchflussmessgeräte sind hier der quasi-Standard für leitfähige Medien, ansonsten kann auf Messverfahren wie Coriolis, Vortex oder thermische Massemesser zurückgegriffen werden. Bei der Temperaturmessung muss der Messfehler durch den Leitungswiderstand beachtet werden, gemessen wird mit PT100 oder PT1000 Thermometern. Die Einbaulänge sollte mindestens 80 mm betragen, zu lang darf das Schutzrohr jedoch nicht sein, um es vor starken Kräften des fließenden Wassers zu schützen. Die Analysemessung des Parameters Leitfähigkeit wird über konduktive Sensoren (geringe Leitfähigkeit) oder induktive Sensoren (Medien mit hoher Leitfähigkeit) abgedeckt. Die Memosens Technologie bietet bei pH-Messungen große Vorteile bei der Kalibrierung, da die gespeicherten Sensordaten direkt beim Anschluss an den Messumformer gesendet werden, was den Aufwand im Vergleich zu anderen Technologien deutlich verringert. Zur Druckmessung in

Wasserkreisläufen werden metallische piezoresistive Messzellen (Drücke bis 600 bar) oder keramische kapazitive Messzellen (kleiner Messbereich, Drücke bis 40 bar, hohe Überlastfestigkeit) eingesetzt.

Bei Luftkreisläufen ist entscheidend, ob die fließende Luft verunreinigt oder sauber ist. Trockene, saubere Luft kann mit dem thermischen Durchflussmessverfahren, verunreinigte Luft über Vortex Durchflussmessung erfasst werden. Bei der Temperaturmessung von Luft sollte ein Sensor mit schnellen Ansprechzeiten verwendet werden, um Messwertverfälschungen zu vermeiden.

Verglichen mit Luft sind Gase wie Stickstoff, Sauerstoff oder Erdgas stets rein und trocken. Deshalb kann zur Durchflussmessung das thermische Verfahren verwendet werden.

Recht anspruchsvoll ist die Messung von Dampf, da hier zwischen Sattdampf, überhitztem Dampf und Nassdampf unterschieden werden muss. Besonders bei der Energiemengenberechnung kommt es auf eine hohe Genauigkeit der Geräte an. Besonders das Vortex Messgerät Prowirl F200 mit Nassdampfberechnung spielt hier seine Vorzüge in Puncto Genauigkeit aus. Zur Energieberechnung in Dampfkreisläufen werden außerdem Energierechner eingesetzt, die teilweise die Messdaten sogar graphisch darstellen können.

Im Vergleich zur Auswahl und zur Auslegung von Messtechnik für den Prozess gestaltet sich diese Arbeit bei Hilfskreisläufen als deutlich weniger kompliziert, hier kann unter Beachtung einiger weniger Regeln viel Qualität erreicht werden.