

Messung von Drucken



Inhaltsverzeichnis

1. Einleitende Bemerkungen	2
2. Vorbereiten der Messungen	3
3. Messen	4
4. Häufige Schwierigkeiten und Fehler	6
Anhang 1 – Viskositätswerte von Glykolwasser in Abhängigkeit von Temperatur und Glykolanteil	7
Anhang 2 – Wärmekapazität von Wasser	8

1. Einleitende Bemerkungen

Das hier vorgestellte Vorgehen versteht sich als Hilfestellung für Druckmessungen an Pumpen und Ventilatoren mit speziellen Sensoren.

Dieses Dokument ist keine vollständige Beschreibung der verschiedenen Druckmessverfahren.

2. Vorbereiten der Messungen

Zunächst ist das System oder die Anlage, in die der zu messende elektrische Antrieb integriert ist, eingehend zu untersuchen und zu analysieren (Systemansatz). Ist der Umfang festgelegt und sind die Pumpe(n) und/oder der/die Ventilator(en) identifiziert, muss noch folgendes präzisiert werden:

Themen	Aufgaben
Umfang der Analyse, System und theoretische Vorbereitung	– Legen Sie fest, welche Drucke gemessen werden sollen, insbesondere dann, wenn zwischen der Produktion (Pumpe oder Ventilator) und den Verbrauchern druckbrechende Bauteile vorhanden sind. In diesem Fall können die Messungen sowohl beim Erzeuger als auch beim Verbraucher vorgenommen werden. So ist es möglich, den erzeugten und nutzbaren Druck zu bestimmen. – Definieren Sie den Messzeitraum (Beginn und Dauer, Häufigkeit der Probenahme), um alle Situationen abzudecken.
Praktische Vorbereitung (Messverantwortliche/r)	– Legen Sie die Positionen der Entnahmestellen für die Druckmessungen fest – Bestimmen Sie, ob das System abgeschaltet werden soll (z. B. bei Pumpen, wenn kein Ventil am Manometer vorhanden ist und keine Pumpenredundanz besteht) – Bereiten Sie die verschiedenen Messgeräte (eigene und jene des Betreibers, falls vorhanden) für die Synchronisation der Uhren vor.
Praktische Vorbereitung (Betreiber)	– Anlagen für den Einbau der verschiedenen Sensoren vorbereiten und anpassen (Manometeranschluss oder Entlüftung für Pumpen, Bohrungen und Nippel für Ventilatoren)

3. Druckmessungen an einer Pumpe

Zur Messung des **Drucks bei Ein- und Auslass einer Pumpe** müssen die vorhandenen Anschlüsse angepasst werden (Entlüftung oder Demontage eines Manometers), damit der Drucksensor eingesetzt werden kann.

Idealerweise wird eine 3-Wege-Struktur vor dem Sensor platziert, um den Druckablass bei der Entlüftung zu ermöglichen (Entfernung von Luft und Schmutz).

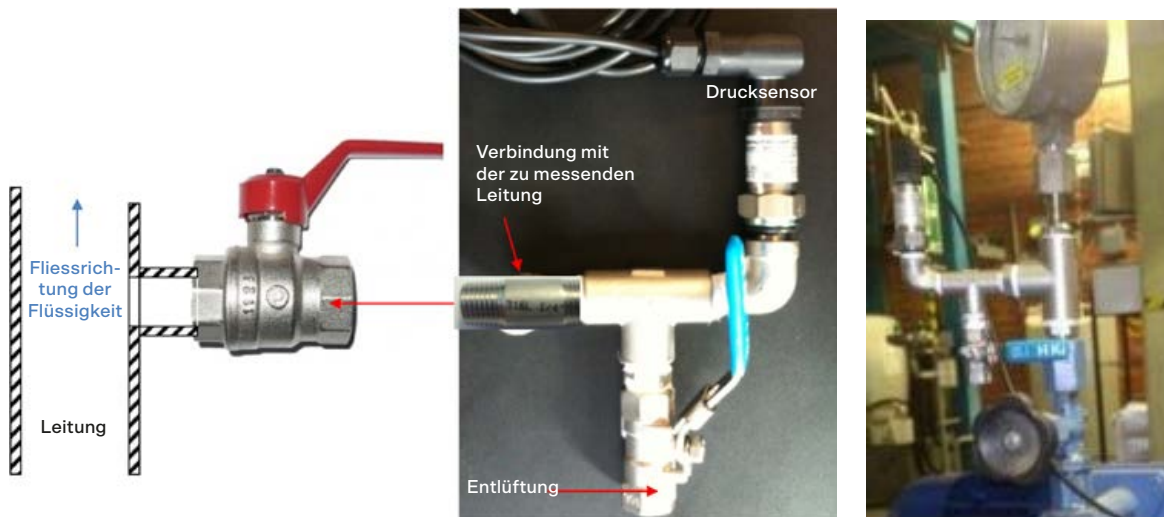


Abb. 1 Druckabgriff: Vorbereitung (l) und Einbau (r).

Für die Charakterisierung einzelner Pumpen sollten die Sensoren so nah wie möglich an der Ansaug- und Druckseite angebracht werden. Ist dies nicht möglich, müssen Druckverluste und statische Höhenunterschiede berücksichtigt werden, die Werte der Pumpe aus den Messdaten abzuleiten.

4. Druckmessungen an einem Ventilator

Die Druckdifferenz an einem Ventilator kann mit verschiedenen Geräten gemessen werden, z. B. mit einem Staurohr (Pitot) und/oder mit Druckwandlern, die in Messgeräte (Konverter und Schreiber) integriert sind.



Abb. 2 Verschiedene Druckmessgeräte (von links nach rechts): Pitot-Rohr, Differenzdruckgerät, Druckwandler/Konverter für Datenlogger.

Zwischen den Messgeräten oder Anschlüssen/ Konvertern und den Druckentnahmestellen an der Leitung braucht es eine flexible Verbindung zum Luftkanal, in der Regel ein Schlauch (häufig PVC oder Silikon). Es muss ein vorhandenes Loch verwendet oder ein solches hergestellt werden. Dafür wird ein Loch in die Leitung oder das Ventilatorgehäuse gebohrt und ein Kunststoffnippel angebracht, an den der Schlauch angeschlossen wird (Abb. 3).



Abb. 3 Hahn für statischen Druck (Nippel) und PVC- oder Silikon-schlauch (an der Luftleitung).

Die Abmessungen dieser Druckentnahmenippel sind in Anlage 3 zu finden. Für die Druckmessung mit dem Pitotrohr siehe Kapitel 5.

In jedem Fall sollten die Sensoren so nahe wie möglich am Ein- und Auslass angebracht werden. Ist dies nicht möglich, müssen Druckverluste und Höhenunterschiede berücksichtigt werden, um die Werte des Ventilators aus den Messdaten abzuleiten.

Darüber hinaus wird empfohlen, den absoluten Druck ausserhalb (Frischluft/ Abluft) und innerhalb des Raumes (Zuluft/Abluft) zu messen, um die Druckverluste vor und hinter dem Ventilator zu bestimmen.

¹ Bei Monoblöcken gibt es eine Reihe von Bauteilen im Gehäuse, die einen hohen Druckverlust verursachen, wie Filter, Schalldämpfer oder Batterien.

5. Installationsschema des Geräts und Messungen mit Pitotrohr

Die Druckmessung mit Pitot-Rohren ermöglicht auch die Bestimmung des Gebläsedurchsatzes. So kann der Ventilator vollständig beschrieben und seine Luftleistung bestimmt werden.

Bringen Sie das Staurohr vorzugsweise auf der Saugseite des Ventilators an, da hier der Flüssigkeitsstrom normalerweise weniger gestört ist als auf der Druckseite.

Im Folgenden sind die verschiedenen Einrichtungen für diese Druck- und Durchflussmessungen dargestellt.

5.1 Messen bei identischer Ein- und Auslassstrecke

Das nachstehende Darstellung zeigt die Verwendung eines Pitotrohrs und eines Druckabgriffs, um die Eigenschaften eines Ventilators mit identischem Ein- und Auslassquerschnitt vollständig zu beschreiben.

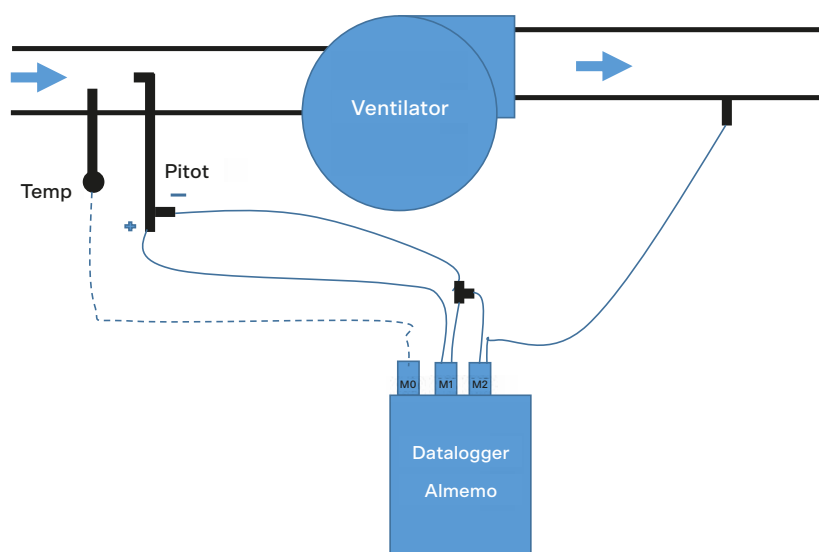


Abb. 4: Verwendung des Staurohrs (Durchfluss und Druckdifferenz) bei identischen Querschnitten – am Beispiel eines Almemo-Dataloggers.

Die Terme des dynamischen Drucks sind identisch und heben sich in der Formel für die Gesamtdruckdifferenz auf (siehe Anhang 1). Übrig bleiben nur die Terme für den statischen Druck. Mit der obigen Anordnung werden die statischen Drucke am Einlass (über einen der Pitot-Auslässe) und am Auslass (über

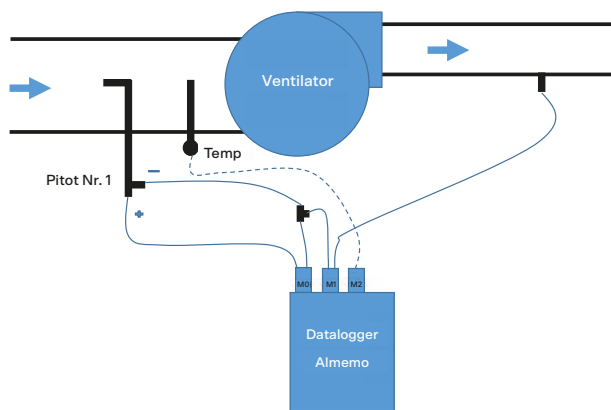
einen speziellen Druckaufnehmer) sowie die Luftgeschwindigkeit aufgezeichnet. Dabei wird das Rohr an jener Stelle platziert, an der die Geschwindigkeit dem Durchschnitt des Querschnittsgeschwindigkeitsprofils entspricht). Der Durchfluss ist dann das Produkt aus der Querschnittsfläche und der Geschwindigkeit.

Die Berechnung der Luftstromkapazität des Ventilators ist das Produkt aus der statischen Druckdifferenz des Ventilators und seiner Förderleistung:

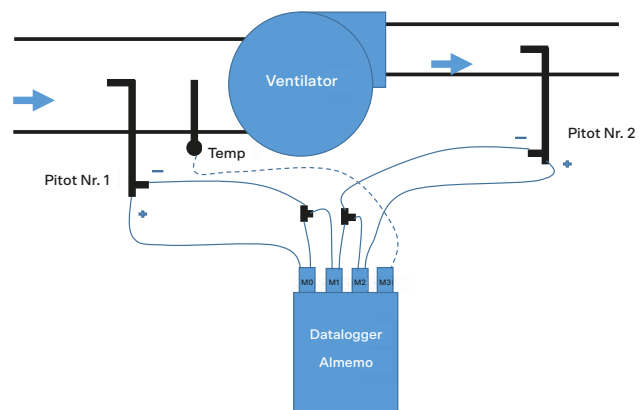
$$P_{a\acute{e}r} = \Delta p_{st} * Q_v$$

5.2 Messen bei unterschiedlichen Ein- und Auslassstrecken

Bei unterschiedlichen Querschnitten für Ein- und Auslass heben sich die dynamischen Druckterme in der Formel für die Druckdifferenz nicht mehr auf (siehe Anhang 1). Sie müssen dann in der Berechnung beibehalten werden.



Messung mit einem Pitotrohr



Messung mit zwei Pitotrohren

Abb. 5 Staurohrmessung bei unterschiedlichen Querschnitten (s_1 , s_2).

Es sind zwei Messmethoden möglich:

Messung mit einem Pitotrohr:

Während der Messung sind folgende Größen verfügbar: Ansauggeschwindigkeit (v_1), dynamischer Ansaugdruck (p_{dyn1}), statische Druckdifferenz (Δp_{stat}) zwischen Ein- und Auslass.

Zu berechnende Variablen: dynamischer Druck am Austritt (p_{dyn2}), berechnet aus der Strömungsgeschwindigkeit am Eintritt

$$Q_v = Q_{v1} = Q_{v2} = s_1 v_1 = s_2 v_2 \rightarrow p_{dyn2} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \left[\left(\frac{s_1}{s_2} \right) \cdot v_1 \right]^2$$

Der Gesamtdruckunterschied kann dann wie folgt berechnet werden:

$$\Delta p_{tot} = \Delta p_{stat} + \Delta p_{dyn} = \Delta p_{stat} + (p_{dyn2} - p_{dyn1})$$

Messung mit zwei Pitotrohren:

Die Differenz der Gesamtdruckverluste wird direkt aus den von den Staurohren gemessenen statischen und dynamischen Verlusten ermittelt.

$$\Delta p_{tot} = \Delta p_{stat} + \Delta p_{dyn} = (p_{stat2} - p_{stat1}) + (p_{dyn2} - p_{dyn1})$$

Die Luftleistung des Ventilators ist das Produkt aus der Differenz zwischen den Gesamtverlusten des Ventilators und seiner Luftleistung:

$$P_{aér} = \Delta p_{tot} \cdot Q_v$$

Werden die Druckwerte bei einer anderen Temperatur gemessen als jener, bei der die Ventilator Kennlinie erstellt wurde (20°C), müssen diese Werte korrigiert werden, um sie in die Kennlinie übertragen zu können (siehe Anhang 2).

6. Einige häufige Schwierigkeiten und Fehler

Nachfolgend sind einige Beispiele für typische Schwierigkeiten und Fehler aufgeführt, die während einer Druckmesskampagne auftreten können.

Schwierigkeit oder Fehler	Vorausschauende Massnahmen oder Korrekturen
Wert der Druckdifferenz	– Druck-/Saugdruckabnehmer zu weit von der Pumpe oder dem Ventilator entfernt
Druckwerte	– Sonden kalibrieren: vor Beginn der Messungen müssen Referenzdrücke gemessen werden
Druckalarm (und/oder Ventilatorabschaltung)	– Einige vorhandene Messzugänge an den Rohrleitungen werden zur kontinuierlichen Messung des Drucks verwendet und mit einem Alarm verbunden, der im Falle einer Anomalie ausgelöst werden kann. – Um diese Ausgänge zur Druckmessung zu verwenden, ist ein T-Stück (Doppelausgang) erforderlich. Bei der Installation kann es notwendig sein, die Installation zu stoppen, um zu vermeiden, dass der Alarm ausgelöst wird (wenn sich der Druck zu schnell ändert). Sobald die Armatur angebracht ist, wird das System wieder eingeschaltet und die Druckmessung kann über den zweiten Ausgang erfolgen, ohne dass die Gefahr besteht, dass der Alarm ausgelöst wird. – Alternativ kann ein zweites Loch gebohrt werden, um die Druckmessung im Zusammenhang mit dem Alarm nicht zu stören.

Anhang 1

Druckdifferenztheorie

Ein Ventilator und die Drücke sind wie folgt definiert:

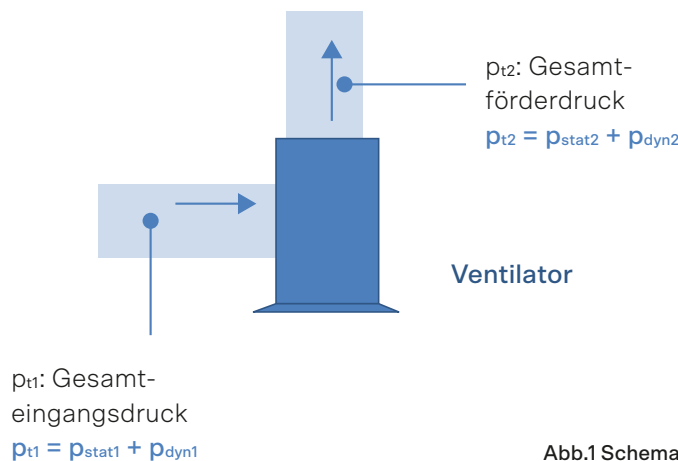


Abb.1 Schema eines Ventilators

Ein Gebläse erzeugt eine Erhöhung des Gesamtdrucks.
Diese Erhöhung wird wie folgt berechnet:

$$\Delta p_t = p_{t2} - p_{t1} = (p_{stat2} + p_{dyn2}) - (p_{stat1} + p_{dyn1}) = (p_{stat2} - p_{stat1}) + (p_{dyn2} - p_{dyn1}) = \Delta p_{stat} + \Delta p_{dyn}$$

Es gibt zwei mögliche Fälle:

a) Der Rohrquerschnitt ist bei Ein- und Auslass identisch

Die Luftgeschwindigkeit bleibt unverändert und damit auch der dynamische Druck:
Die dynamische Druckdifferenz wird aufgehoben ($p_{dyn2} = p_{dyn1}$).

Die Gesamtdruckdifferenz entspricht also der statischen Druckdifferenz:

$$\Delta p_t = (p_{stat2} - p_{stat1})$$

Normalerweise mit einem negativen Wert für p_{stat1} und einem positiven Wert für p_{stat2} im Vergleich zu einem Referenzdruck (z. B. p_{atm}).

Die gemessenen Werte der statischen Drücke können daher direkt für die Berechnung der Gesamtdruckdifferenz (Δp_t), herangezogen werden. Diese wird dann für die Berechnung der Luftförderleistung verwendet.

b) Der Rohrquerschnitt ist bei Ein- und Auslass unterschiedlich

Die Luftgeschwindigkeit ist beim Einlass und beim Auslass unterschiedlich, der dynamische Druck somit nicht konstant. Es ist deshalb notwendig, mit dem Gesamtdruckunterschied zu arbeiten.

$$\Delta p_t = \Delta p_{stat} + \Delta p_{dyn} = (p_{stat2} - p_{stat1}) + (p_{dyn2} - p_{dyn1})$$

Anhang 2

Druckkorrektur an den Kennlinien

Werden die Druckwerte bei einer anderen Temperatur gemessen als der, für die die Ventilator Kennlinie erstellt wurde (20°C), ist es notwendig, diese zu korrigieren, um sie in die Kennlinie übertragen zu können.

Es ist notwendig, die Luftdichten am Ein- und Ausstritt zu berechnen. Dazu müssen die Lufttemperatur an diesen beiden Stellen und der atmosphärische Druck bekannt sein.

Was die Temperatur anbelangt, so lässt sich der durch den Ventilator verursachte Temperaturanstieg grob abschätzen. Betrachtet man beispielsweise gemessene Δp_t -Werte von 3600 Pa und einen Ventilatorwirkungsgrad von etwa 50 %, so wird ein ΔT von etwa 6 °C erreicht, was nicht sehr wichtig ist.

Nach dem gleichen Beispiel ergibt sich für die Luftdichte:

$$\rho_1 = (p_{\text{atm}} - p_{\text{stat1}}) / R \cdot (273,15 + T_1).$$

$$\rho_2 = (p_{\text{atm}} + p_{\text{stat2}}) / R \cdot (273,15 + T_2).$$

Annahmen:

$$p_{\text{atm}} = 100\,000 \text{ Pa} ; R = 287 \text{ J/kg K}$$

Für eine Situation mit einer relativ hohen Prozesslufttemperatur (200°C) ergibt sich zum Beispiel:

$$T_1 = 210^\circ\text{C}, T_2 = 216^\circ\text{C} (\Delta T \text{ von } 6^\circ\text{C vom Ventilator})$$

Messen wir Δp_t direkt durch die Eingänge von p_{stat2} und p_{stat1} und erhalten einen Messwert Δp_{tmes} von 3600 Pa, und unter der Annahme, dass p_{stat1} -1800 Pa und p_{stat2} +1800 Pa betragen, haben wir folgende Dichtewerte am Einlass und am Auslass:

$$\text{Einlass: } \rho_1 = (100\,000 - 1800) / (287 \cdot (273,15 + 210)) = 0.708$$

$$\text{Auslass: } \rho_2 = (100\,000 + 1800) / (287 \cdot (273,15 + 216)) = 0.725$$

Diese Werte sind Näherungswerte. Die Lieferanten weisen darauf hin, dass die Änderung der Dichte unterhalb eines Δp_t von 2500 Pa nicht signifikant ist.

Auf dieser Grundlage werden die auf 20°C bezogenen Grössen über das Verhältnis der Dichten bestimmt:

Am Auslass beträgt $p_{\text{stat}2}$ bei 20°C:

$$p_{\text{stat}2-20} = p_{\text{stat}2-\text{mes}} \cdot 1,205/0,725 = 1800 \cdot 1,205/0,725 = 2991 \text{ Pa}$$

Am Einlass beträgt $p_{\text{stat}1}$ bei 20°C:

$$p_{\text{stat}1-20} = p_{\text{stat}1-\text{mes}} \cdot 1,205/0,708 = -1800 \cdot 1,205/0,708 = -3063 \text{ Pa}$$

Die Druckdifferenz bei 20°C beträgt somit:

$$\Delta p_{t-20} = 2991 - (-3063) = 6054 \text{ Pa}$$

Es wird deutlich, dass die Druckkorrektur in diesem Fall sehr wichtig ist (6054 Pa bei 20°C gegenüber 3600 Pa gemessen bei 200°C). Der Temperaturunterschied zwischen Ein- und Auslass macht dagegen sehr wenig aus (2,5 %). Deshalb ist bei einem Standardventilator (mit einem Wirkungsgrad von 70%) die durch den Ventilator verursachte Erwärmung erst ab einer Gesamtdruckdifferenz von etwa 3000 Pa relevant.

Fazit: Für eine Übertragung auf die Kennlinien, die für eine Temperatur von 20°C ermittelt wurden, ist die tatsächliche Lufttemperatur zu berücksichtigen.

Anhang 3

Masse für die Anschlüsse zur Luftdruckentnahme

Es gibt verschiedene Arten von Anschlüssen, um den statischen Druck an Lüftungsrohren zu erfassen.

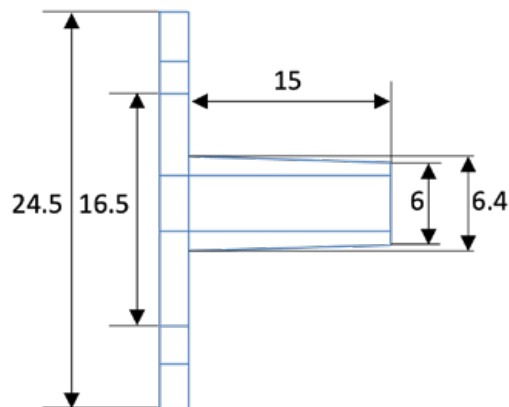


Abb. 7 Abmessungen eines gewöhnlichen Nippels

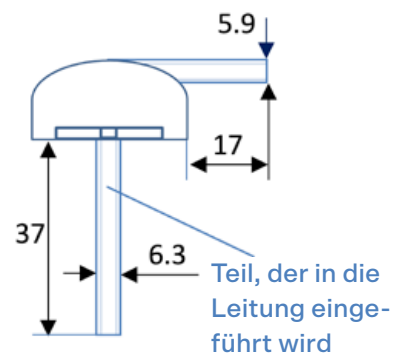
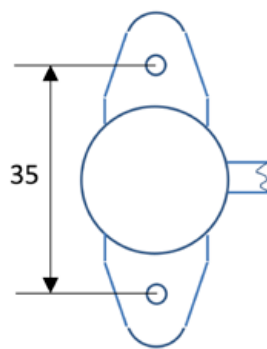


Abb. 8 Abmessungen eines Druckhahns, der in die Leitung eingeführt wird