

VELANI - Feinanalyse

Verfahren

VORBEREITUNG UND MESSUNG VON DRÜCKE

ZUSAMMENFASSUNG

1. Einleitende Bemerkungen	3
2. Bereiten Sie die Messungen gut vor	3
3. Druckmessungen an einer Pumpe	4
4. Druckmessungen an einem Ventilator	4
5. Installationsschema des Geräts und Messungen mit Pitotrohr	5
5.1 Messprinzip mit identischer Saug- und Druckstrecke	5
5.2 Messprinzip mit unterschiedlichen Ansaug- und Ausblasquerschnitten	6
6. Einige häufige Schwierigkeiten und Fehler	7
Anhang 1: Druckdifferenztheorie	9
Anlage 2: Druckkorrektur an den Kennlinien	10
Anlage 3: Anschlussmaße für Luftdruckentnahmestellen	12

1. Einleitende Bemerkungen

Das hier vorgestellte Verfahren ist ein Hilfsmittel zur Durchführung von Druckmessungen an Pumpen und Ventilatoren mit speziellen Sensoren.

Andererseits :

Dieses Dokument ist keine vollständige Beschreibung der verschiedenen Druckmessverfahren.

2. Bereiten Sie die Messungen gut vor

Der erste Schritt bei der Vorbereitung einer Messkampagne besteht darin, das System oder die Anlage, in die der zu messende elektrische Antrieb integriert ist, eingehend zu untersuchen und zu analysieren (Systemansatz). Nachdem der Umfang festgelegt und die Pumpe(n) und/oder der/die Ventilator(en) identifiziert wurden, muss der Umfang festgelegt werden:

Themen	Aufgaben
Umfang der Analyse, System und theoretische Vorbereitung	Legen Sie fest, welche Drücke 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. Auf diese Weise 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 (verantwortlich für Messungen)	Legen Sie die Positionen der Entnahmestellen für die Druckentnahmen fest Bestimmen Sie, ob das System abgeschaltet werden soll. Zum Beispiel bei Pumpen, wenn es kein Ventil am Manometer gibt und keine Pumpenredundanz vorhanden ist. Vorbereitung der Synchronisierung der Uhren der Messgeräte des Messdienstleisters und des Messstellenbetreibers (falls vorhanden).
Praktische Vorbereitung (Operator)	Vorbereitung und Anpassung der Installationen für den Einbau der verschiedenen Sensoren (Manometeranschluss oder Entlüftung für Pumpen, Bohrungen und Nippel für Ventilatoren).

Tab. 1 Vorbereitung der Durchflussmessungen.

3. Druckmessungen an einer Pumpe

Zur Messung des **Saug- und Drucks 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 ein Druckablass bei der Entlüftung zu ermöglichen (Entfernung von Luft und Schmutz).

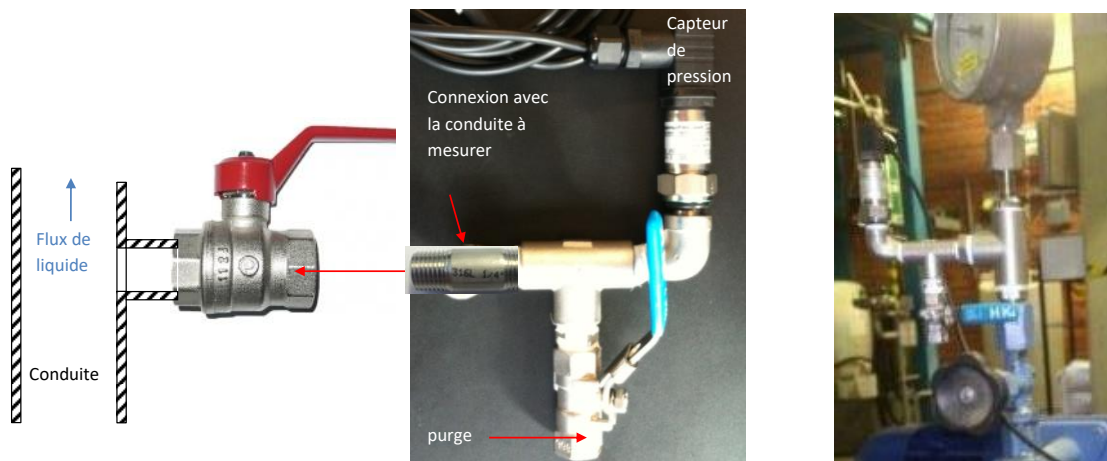


Abb. 1 Druckabgriff: Vorbereitung (g) und Einbau (d).

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

4. Druckmessungen an einem Ventilator

Die Druckdifferenz über 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, Differenzdruck, Druckwandler/Konverter für Datenlogger.

Zwischen den Messgeräten oder Anschlüssen/Umformern und den Druckentnahmestellen am Kanal ist eine flexible Verbindung zum Luftkanal erforderlich, in der Regel ein flexibler Schlauch (häufig PVC oder Silikon). Es muss ein vorhandenes Loch verwendet oder ein solches hergestellt

werden, indem ein Loch in den Kanal oder das Ventilatorgehäuse gebohrt und ein Kunststoffnippel zum Anschluss an den Schlauch angebracht wird (Abb. 3).



Abb. 3 Hahn für statischen Druck (Nippel) und PVC- oder Silikonschlauch (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 der Fall, müssen Druckverluste und Höhenunterschiede berücksichtigt werden, um die Messdaten auf die Werte am Ventilator zurückzubringen¹.

Darüber hinaus wird empfohlen, den absoluten Druck außerhalb (Außenluft/Abluft) sowie innerhalb des Raumes (Zuluft/Abluft) zu messen, um die Druckverluste vor und hinter dem Ventilator zu charakterisieren.

5. Installationsschema des Geräts und Messungen mit Pitotrohr

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

Die verschiedenen Aufbauten für diese Druck- und Durchflusscharakterisierung sind im Folgenden dargestellt.

Hinweis: Das Pitot urohr wird vorzugsweise auf der Saugseite des Ventilators angebracht (auf der Saugseite ist der Flüssigkeitsstrom normalerweise weniger gestört als auf der Druckseite).

5.1 Messprinzip mit identischer Saug- und Druckstrecke

Das nachstehende Diagramm zeigt, wie ein Pitotrohr und ein Druckabgriff verwendet werden können, um einen Ventilator mit identischem Ein- und Auslassquerschnitt vollständig zu charakterisieren.

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

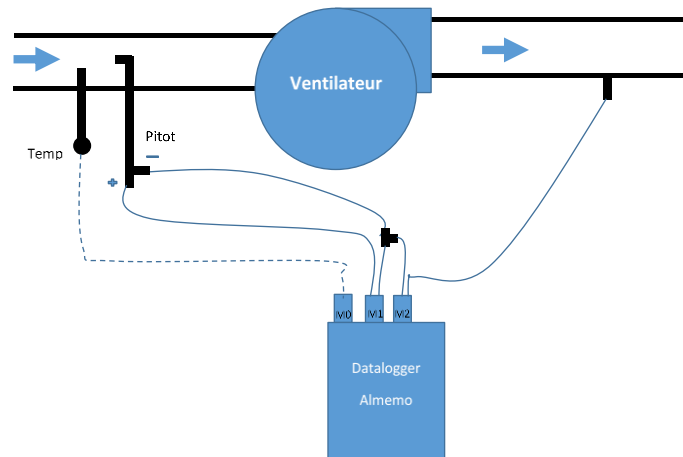


Abb. 4 Verwendung des Pitotrohrs (Durchfluss und Druckdifferenz), gleiche Querschnitte

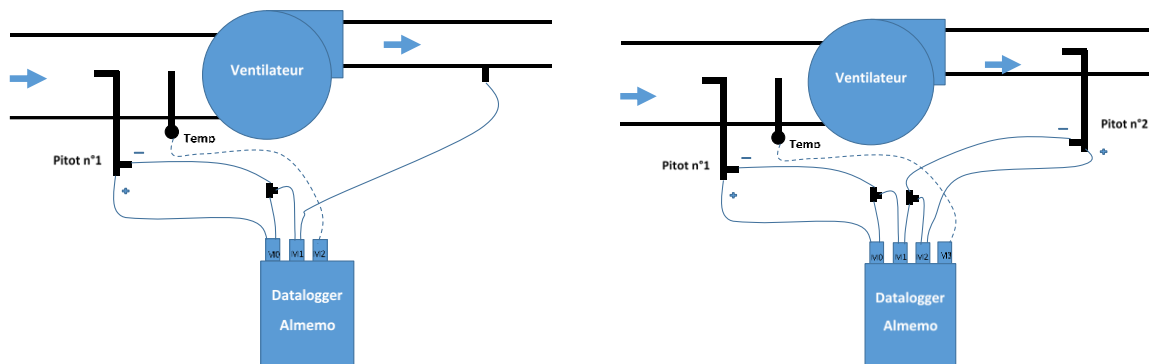
Die Terme des dynamischen Drucks sind identisch (gleiche Querschnittsfläche und Luftgeschwindigkeit) und heben sich in der Gesamtdruckdifferenzformel auf (siehe Anlage 1). Es bleiben nur die Terme für den statischen Druck übrig. Mit der oben beschriebenen Konfiguration werden die statischen Drücke an der Ansaugung (einer der Pitot-Auslässe) und am Auslass (spezieller Druckaufnehmer) sowie die Luftgeschwindigkeit (Rohr an der Stelle, an der die Geschwindigkeit dem Durchschnitt des Geschwindigkeitsprofils des Abschnitts entspricht) aufgezeichnet. 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:

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

5.2 Messprinzip mit unterschiedlichen Ansaug- und Ausblasquerschnitten

Bei unterschiedlichen Ansaug- und Druckquerschnitten heben sich die dynamischen Druckterme in der Druckdifferenzformel nicht mehr auf (siehe Anlage 1). Sie müssen dann in der Berechnung beibehalten werden.



Messung mit einem Staurohr

Messung mit zwei Staurohren

Abb. 5 Staurohrmessung in verschiedenen Abschnitten (s_1 , s_2).

Es sind zwei Messmethoden möglich:

- Messung mit einem Pitot-Rohr :
 - Verfügbare Größen während der Messung: Ansauggeschwindigkeit (v_1), dynamischer Ansaugdruck (p_{dyn1}), statische Druckdifferenz (Δp_{stat}) zwischen Ansaugung und Druck.
 - 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 Staurohren: 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 Berechnung der Luftleistung des Ventilators ist das Produkt aus der Differenz zwischen den Gesamtverlusten des Ventilators und seiner Luftleistung:

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

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

6. Einige häufige Schwierigkeiten und Fehler

In diesem Abschnitt werden einige Beispiele für typische Schwierigkeiten und Fehler aufgeführt, die während einer Druckmesskampagne auftreten können.

Schwierigkeiten oder Fehler	Vorausschauende oder korrigierende Maßnahmen
Wert der Druckdifferenz	Druck-/Saugdruckabnehmer zu weit von der Pumpe oder dem Ventilator entfernt
Druckwerte	Kalibrierung der Sonden: 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.

Tab. 2 Häufig auftretende Schwierigkeiten oder Fehler.

Anhang 1: Druckdifferenztheorie

Ein Ventilator und die Drücke sind wie folgt definiert:

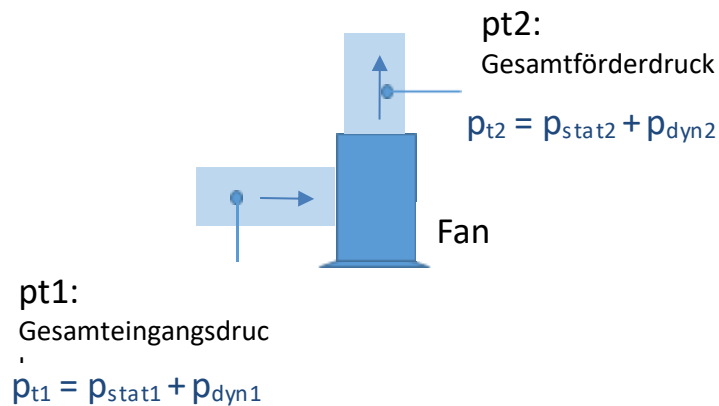


Abb. 6 Lüfterdiagramm

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) Identischer Rohrquerschnitt an Saug- und Druckseite

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

Die Gesamtdruckdifferenz ist also die statische Druckdifferenz:

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

Normalerweise mit einem negativen Wert für p_{stat1} und einem positiven Wert für p_{stat2} relativ 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, die dann für die Berechnung der Luftbehandlungskapazität verwendet wird.

b) Der Querschnitt der Rohre ist an der Ansaug- und an der Druckseite unterschiedlich, die Luftgeschwindigkeit ist unterschiedlich. Der dynamische Druck ist also nicht konstant, und es ist notwendig, mit dem Gesamtdruckunterschied zu arbeiten.

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

Anlage 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 Austritt 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 °C² erreicht, was nicht sehr wichtig ist.

Nach dem gleichen Beispiel ergeben sich für die Dichten von Luft die folgenden Ausdrücke:

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

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

Annahmen:

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

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

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

Wenn wir also das Δp_t direkt durch die Eingänge von p_{stat2} und p_{stat1} messen und einen Messwert des Δp_{tmes} von 3600 Pa erhalten, nehmen wir an, dass p_{stat1} -1800 Pa und p_{stat2} +1800 Pa ist. Wir haben dann die Dichtewerte am Einlass und am Auslass:

- Beim Ansaugen: $\rho_1 = (100000 - 1800) / (287 * (273,15 + 210)) = 0.708$
- Bei der Entlassung : $\rho_2 = (100000 + 1800) / (287 * (273,15 + 216)) = 0.725$

Hinweis: 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:

- Bei der Entladung würde p_{stat2} bei 20°C betragen:

$$p_{stat2-20} = p_{stat2-mes} \cdot \rho_2 / \rho_1 = 1800 \cdot 0,725 / 0,708 = 1800 \cdot 1,024 = 1843 \text{ Pa}$$
- Bei der Aspiration würde p_{stat1} bei 20°C betragen:

$$p_{stat1-20} = p_{stat1-mes} \cdot \rho_2 / \rho_1 = -1800 \cdot 0,725 / 0,708 = -1800 \cdot 1,024 = -1843 \text{ Pa}$$

Die Druckdifferenz bei 20°C würde also betragen:

$$\Delta p_{t-20} = 1843 - (-1843) = 3686 \text{ Pa}$$

Es wird deutlich, dass die Druckkorrektur in diesem Fall sehr wichtig ist (3686 Pa bei 20°C gegenüber 3600 Pa gemessen bei 200°C). Der Anteil des Temperaturunterschieds zwischen Einlass und Auslass bleibt dagegen sehr gering (2,5 %). In diesem Sinne ist bei einem Standardventilator (70 %

² Quelle: Abb. PB19, Handbuch Radialventilatoren Liste 17_1, Reitz Gruppe

Verfahren: Vorbereitung und Messung der Drücke

Wirkungsgrad) die durch den Ventilator verursachte Erwärmung erst ab einer Gesamtdruckdifferenz von etwa 3000 Pa sinnvoll.

Abschließend **muss für eine Übertragung auf die (für eine Temperatur von 20°C ermittelten) Kennlinien die tatsächliche Lufttemperatur berücksichtigt werden.**

Anlage 3: Anschlussmaße für Luftdruckentnahmestellen

Um den statischen Druck von den Lüftungsrohren zu nehmen, werden verschiedene Arten von Anschlüssen verwendet.

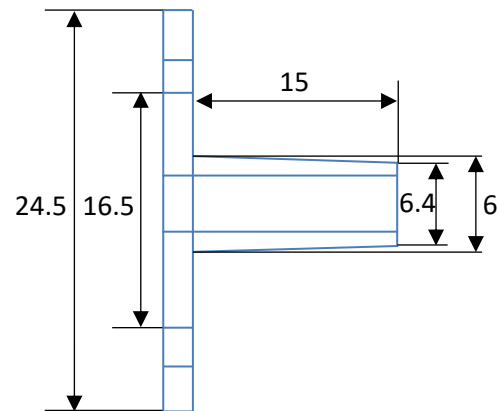


Abb. 7 Abmessungen eines gemeinsamen Nippels

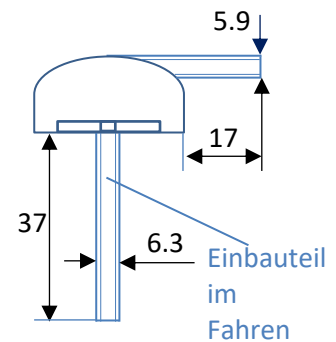
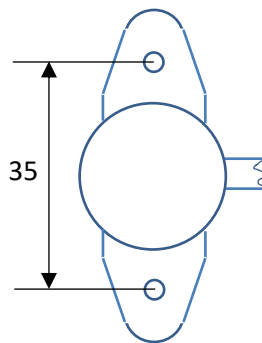


Abb. 8 Abmessungen eines in die Leitung eintretenden Druckhahns