

# ***WHITEPAPER***

*DRUCKLUFTVERBRAUCHSMESSUNG*

*UND LECKAGEORTUNG*

*EINSPARPOTENZIALE AUSSCHÖPFEN*

# **INHALTSVERZEICHNIS**

1 Einleitung .....	3
2 Funktionsweise von Strömungssensoren .....	3
3 Durchflussmessgeräte (Luftstromsensoren) .....	4
3.1 Einstichsensoren .....	4
3.2 Strömungssensoren mit integrierter Montagestrecke.....	7
3.3 Strömungssensoren mit Gleichrichter .....	8
4 Leckageortung .....	9
4.1 Leckagesuchgerät mit integrierter Kamera .....	10
4.1.1 Allgemeine Funktionsbeschreibung .....	10
4.1.2 Dokumentation und Datenverarbeitung .....	11

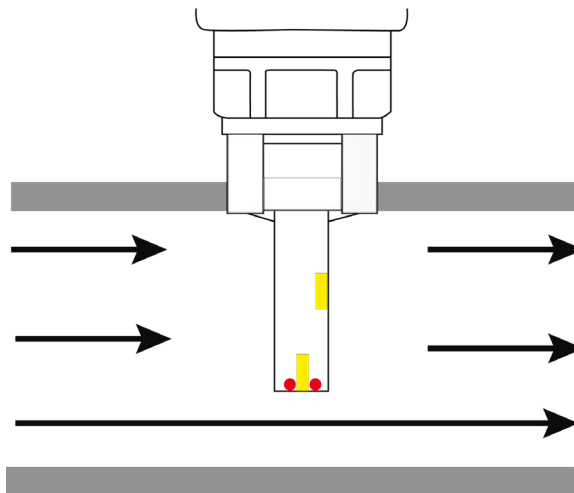
## 1 EINLEITUNG

Über den Verbrauch von Strom, Wasser oder Gas herrscht in jedem Betrieb in der Regel völlige Transparenz. Selbst Undichtigkeiten bspw. in Wasser-Leitungsnetzen sind zumeist für jeden erkennbar und lassen sich daher schnell beseitigen. Druckluft hingegen verpufft aufgrund von Leckagen im Verbrauchsnetz oftmals unbemerkt, bei permanentem Kompressorbetrieb selbst an Wochenenden oder auch dann, wenn sie gerade nicht für die Produktion benötigt wird. Dabei ist die zur Erzeugung von Druckluft benötigte Energiemenge enorm, denn immerhin entfallen rund 70 bis 80 Prozent der Gesamtkosten einer Druckluftanlage auf die Stromkosten.

Schon bei kleineren Anlagen können hier schnell Kosten in Höhe von 10.000 bis 20.000 Euro pro Jahr entstehen. Es mag daher niemanden verwundern, dass Druckluft zu den teuersten Energieformen in der Industrie gehört. Grund genug, sich diesem Thema schon allein im Hinblick auf mögliche Einsparungen bei Druckluft als auch den Stromkosten intensiver zu widmen. Nachfolgend werden verschiedene Lösungen für die Durchflussmessung vorgestellt, die Potenziale für eine optimale Auslegung von Druckluftleitungen sowie eine nachhaltige Reduzierung von Verbräuchen erschließen. Darüber hinaus soll gezeigt werden, wie man Leckagen in Druckluftnetzen sehr einfach und gezielt auf die Spur kommt, damit diese schnell beseitigt werden können, um in der Folge mitunter erhebliche Energiekosten einzusparen.

## 2 FUNKTIONSWEISE VON STRÖMUNGSENSOREN

Durchflussmessgeräte von ipf electronic arbeiten nach dem bewährten kalorimetrischen Messprinzip. Die vielfach in der Praxis erprobten Strömungssensoren verfügen über einen Messfühler, der zwei Temperatursensoren integriert (gelbe Elemente in der Abbildung) und im Massestrom des Mediums installiert ist. Der in der Fühlerspitze integrierte Temperatursensor wird mit Hilfe von Heizelementen (rotes Element in der Abbildung) von innen auf eine konstante Übertemperatur aufgeheizt. Der zweite Sensor im Messfühler misst die Temperatur des vorbeiströmenden Mediums. In der Folge stellt sich eine Temperaturdifferenz zwischen den beiden Sensoren ein. Diese Differenz ist umso kleiner, je höher die Strömungsgeschwindigkeit des Mediums ist. Grund dafür ist die kühlende Wirkung auf den beheizten Sensor durch den Massenstrom. Weder der Druck noch die Temperatur des Mediums haben bei dem beschriebenen Messprinzip Einfluss auf die Messergebnisse. Daher lassen sich die Durchflussmessgeräte bzw. Verbrauchszähler problemlos bei unterschiedlichen Drücken und Temperaturen ohne weitere Kompensation einsetzen. Die Durchflussmessgeräte von ipf electronic messen den aktuellen Durchfluss z. B. in m<sup>3</sup>/h oder l/min als auch den Verbrauch in m<sup>3</sup> oder l.



Funktionsweise von Strömungssensoren

■ : Temperatursensor

● : Heizelement

alle Bilder: ipf electronic

### **3 DURCHFLUSSMESSGERÄTE (LUFTSTROMSENSOREN)**

Undichtigkeiten in Verbrauchsnetzen treten häufiger auf, als im Allgemeinen bekannt ist. Daher empfiehlt sich grundsätzlich die Installation von Luftstromsensoren für kontinuierliche Druckluftverbrauchsmessungen, um abweichend hohe Verbräuche frühzeitig zu identifizieren und darüber hinaus generell besser erkennen zu können, wo sich mögliche Einsparpotenziale beim Einsatz von Druckluft ergeben. Je nach Anwendungsbereich und auch Einbausituation vor Ort stehen für die kontinuierliche Verbrauchsmessung von Druckluft verschiedene Lösungen zur Auswahl: Einstichsensoren, Geräte mit integrierter Montagestrecke und Kompaktlösungen mit Gleichrichter.



Mögliche Einsatzbereiche von verschiedenen Luftstromsensoren z. B. an Maschinen oder im unmittelbaren Umfeld des Kompressors.

#### **3.1 EINSTICHSENSOREN**

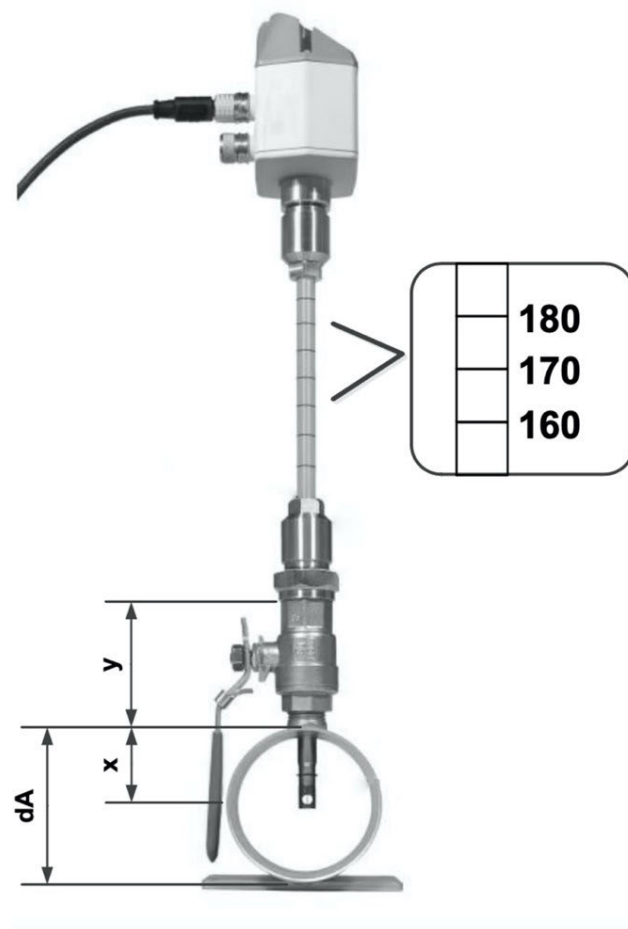
Sogenannte Einstichsensoren bieten sich aufgrund ihrer einfachen Installation und Handhabung in gewisser Weise als Einstiegslösung für die kontinuierliche Druckluftverbrauchsmessung an. Die programmierbaren Geräte mit TFT-Display lassen sich unter Druck, also bei laufendem Kompressor, über einen Kugelhahn installieren und erfassen die Messgrößen Durchfluss, Verbrauch und Geschwindigkeit.



Strömungssensor SL870020. Die blauen Pfeile auf dem Sensorgehäuse markieren die Strömungsrichtung für die Montage des Gerätes.

Da das kalorimetrische Messprinzip (Prinzip der thermischen Massenflussmessung) sehr empfindlich auf Strömungsstörungen reagiert, muss der Sensor zentrisch in einem geraden Rohrstück (die Messspitze befindet sich in der Mitte des Rohrquerschnitts, die folgende Abbildung zeigt die Berechnung der Einbautiefe) an einer Stelle mit ungestörtem Strömungsverlauf installiert werden. Ein ungestörter Strömungsverlauf wird durch eine ausreichend lange Rohrstrecke vor dem Sensor (Einlaufstrecke) und nach dem Sensor (Auslaufstrecke) erzielt. Die Ein- und Auslaufstrecken dürfen somit weder Kanten, Nähte, Krümmungen oder ähnliche Störstellen aufweisen.

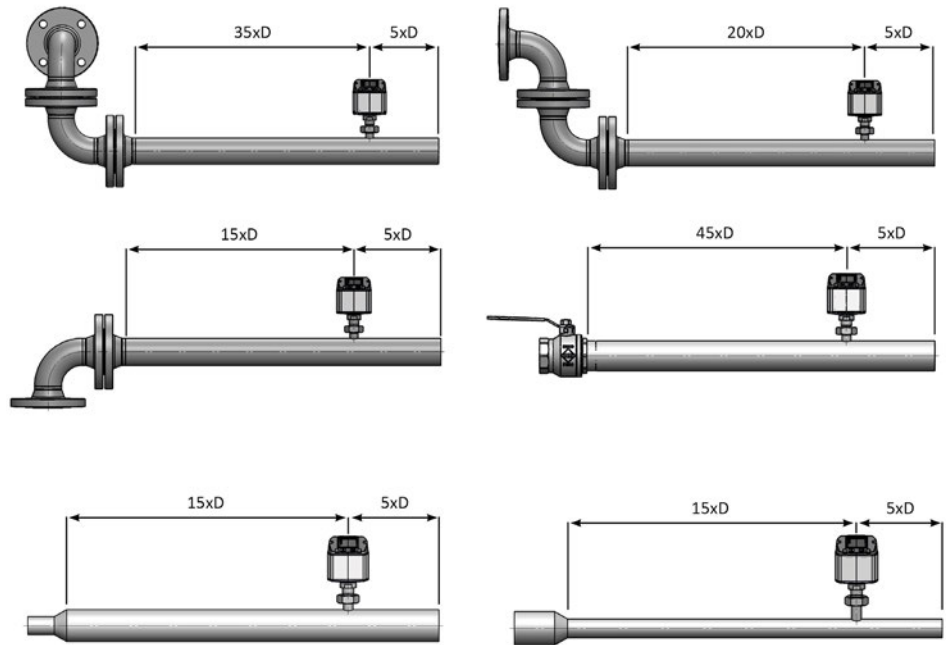
Befinden sich Strömungshindernisse vor der Messstrecke, muss je nach Art des Hindernisses eine Mindestlänge der Einlaufstrecke eingehalten werden, um verlässliche Messergebnisse zu erhalten, wie die folgenden zwei Abbildungen auf Seite 6 verdeutlichen. So muss z. B. die Mindestlänge der Einlaufstrecke bei einer geringen Krümmung (Bogen  $< 90^\circ$ ) vor der Messstrecke das 12-fache des Rohrdurchmessers entsprechen ( $12 \times D$ ), wobei die Mindestlänge der Auslaufstrecke  $5 \times D$  beträgt und im Grunde immer unverändert bleibt, wenn sich in diesem Bereich kein Strömungshindernis befindet. Die programmierbaren Einstichsensoren von ipf electronic liefern eine hohe Genauigkeit auch im unteren Messbereich und lassen sich daher für Leckagemessungen einsetzen. Darüber hinaus verfügen die Geräte über eine RS 485 Modbus RTU-Schnittstelle für den Anschluss z. B. an Energiemanagementsysteme, an die Gebäudeleittechnik, an eine SPS, ein SCADA-System, etc.



Berechnung der Einbautiefe: Einbautiefe =  $x + y$ .  $d_A$  = Rohraußendurchmesser,  $x = d_A / 2$

Strömungshindernis vor der Messstrecke	Mindestlänge (Einlaufstrecke)	Mindestlänge (Auslaufstrecke)
Geringe Krümmung (Bogen < 90°)	12 x D	5 x D
Reduktion (Rohr verengt sich zur Messstrecke) Erweiterung (Rohr erweitert sich zur Messstrecke) 90° Bogen oder T-Stück	15 x D	5 x D
2 Bögen á 90° in einer Ebene	20 x D	
2 Bögen á 90° 3-dimensionale Richtungsänderung	35 x D	5 x D
Absperrventil	45 x D	5 x D

Tabelle der Ein- und Auslaufstrecken bei Strömungshindernissen vor der Messstrecke



Die Abbildungen zeigen, welche Mindestlängen der Einlaufstrecken bei verschiedenen Strömungshindernissen vor der Messstrecke einzuhalten sind.

### 3.2 STRÖMUNGSENSOREN MIT INTEGRIERTER MONTAGESTRECKE

Strömungssensoren mit integrierter Montagestrecke wurden für die einfache Integration in bereits vorhandene Rohrleitungen konzipiert. Hierfür stehen verschiedenste Lösungen für Rohrgrößen von R 1/4" bis R 2" bereit. Da die Funktionsweise dieser Sensoren identisch zu den Einstichsensoren ist, müssen bei der Montage ebenfalls die in der Abbildung auf Seite 6 angegebenen Mindestlängen für die Ein- und Auslaufstrecken eingehalten werden. Bei der Berechnung dieser Längen ist auch die integrierte Montagestrecke (Ein- und Auslauf) zu berücksichtigen.



Programmierbarer Strömungssensor SL900020 mit integrierter Montagestrecke für den R 1/2"-Rohranschluss.

Wie bei den Einstichsensoren erfolgt die Einstellung dieser Strömungssensoren über zwei kapazitive Tasten am TFT-Display. Eine Modbus RTU Schnittstelle für die Datenübertragung ist ebenfalls vorhanden. Zu den weiteren Besonderheiten beider Gerätereihen gehören zudem ein frei skalierbarer Analogausgang (4...20mA) und ein galvanisch isolierter Impulsausgang. Über eine Software lassen sich außerdem weitere Einstellungen vornehmen sowie die Servicedaten auslesen und eine Sensordiagnose durchführen. Die Druckluftverbrauchsmessgeräte (Einstichsensoren und Geräte mit integrierter Montagestrecke) sind für einen Betriebsdruck von 16bar ausgelegt. Die Genauigkeit beträgt  $\pm 1,5\%$  vom Messwert und  $\pm 0,3\%$  vom Endwert.

### **3.3 STRÖMUNGSENSOREN MIT GLEICHRICHTER**

In einer Reihe an Applikationen, z. B. innerhalb von Maschinen, in unmittelbarer Anlagennähe oder hinter einer Wartungseinheit, ist die Integration der unter 3.1 und 3.2 beschriebenen Strömungssensoren schwierig oder gar nicht möglich, da z. B. der Montageaum für solche Geräte aufgrund der beengten Platzverhältnisse nicht ausreicht. Hinzu kommt, dass in solchen Fällen oftmals auch der erforderliche Einbauraum für die Ein- und Auslaufstrecke fehlt, wodurch die jeweils notwendigen Mindestlängen für die Strecken nicht eingehalten werden können. Für solche Anwendungen eignen sich die äußerst kompakten Lösungen mit Strömungsgleichrichter.

Die Geräte mit Anschlussgewinde G 1/2" bis 2" benötigen zur Beruhigung der Medienströmung (laminare Strömung) keine Ein- und Auslaufstrecke, da der Gleichrichter (Messblock aus Aluminium) völlig unabhängig von der jeweiligen Einbausituation stets eine optimale Anströmung der integrierten Sensorelemente sicherstellt. Ausgenommen ist der Strömungssensor der Reihe mit Messblock für den 1/4"-Anschluss, der keinen Gleichrichter besitzt.



Strömungssensor **SL920021** mit integriertem Gleichrichter für die platzsparende Montage z. B. an Maschinen oder hinter Wartungseinheiten.

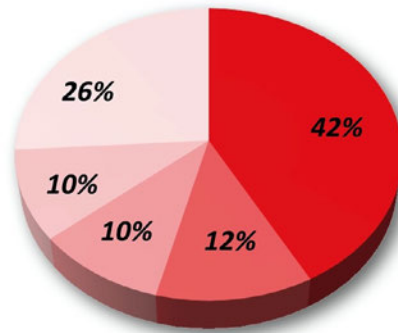
Die für einen Betriebsdruck bis 16bar ausgelegten Strömungssensoren erfassen die Messgrößen Durchfluss, Geschwindigkeit und Verbrauch, wobei das Display gleichzeitig den momentanen Verbrauch als auch den Gesamtverbrauch anzeigen kann. Die Geräte mit Anschlussgewinde G 1/2" bis 2" eignen sich außerdem für Luftstrommessungen innerhalb von Schlauchleitungen. Darüber hinaus bietet die Reihe spezifische Geräte, die zusätzlich zum Druckluftverbrauch auch den Systemdruck messen können.

Strömungssensoren sind in jedem Fall eine sinnvolle Investition, da die kontinuierliche Verbrauchsmessung in Kombination mit geeigneten Maßnahmen zumeist zu geringeren Druckluftverbräuchen und damit spürbaren Energiekosteneinsparungen führen kann. Werden dennoch auffällig abweichend hohe Verbräuche in einem Druckluftnetz gemessen, empfiehlt es sich, Leckagen als mögliche Ursache gezielt zu identifizieren und somit schnell zu beseitigen.



**4 LECKAGEORTUNG**

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, bleibt die Verschwendung von Druckluft aufgrund von Leckagen in Verbrauchsnetzen jedoch häufig unbemerkt. Wenn überhaupt, lässt sich zur Ortung das Geräusch der aus einer Leitung entweichenden Luft in Folge einer Undichtigkeit nur über das Gehör wahrnehmen. Derlei Anzeichen werden aber zumeist schon allein durch die lauten Umgebungsgeräusche in Industriebetrieben erst gar nicht registriert. Dabei bietet das Auffinden und die Beseitigung von Leckagen die höchsten Einsparpotenziale, wie das Diagramm zeigt.



Einsparpotenziale bei der Druckluftherzeugung.  
 42%: Identifizierung und Beseitigung von Leckagen.  
 12%: Auslegung des Pneumatiksystems einschließlich eines Mehrdruck-Leitungsnetzes.  
 10%: Wärmerückgewinnung. 10%: Kompressoren mit variabler Motordrehzahl.  
 26%: sonstige Maßnahmen.

Noch deutlicher wird die Verschwendung von Druckluft als wertvolle Ressource, wenn man sich einmal konkrete Zahlen zu den möglichen jährlichen Kosten vor Augen führt, die durch ein Leck entstehen können. Ist ein Druckluftnetz bspw. rund um die Uhr in Betrieb und werden durchschnittliche Kosten von 1,9 Cent je Normkubikmeter (Nm³) zugrunde gelegt, dann entstehen bei einer Leckagegröße von 3mm bei 3bar Systemdruck bereits Kosten in Höhe von rund 3.250 Euro im Jahr. Die gleiche Undichtigkeit verursacht bei 6bar Druck schon Kosten von zirka 5.600 Euro und bei 8bar rund 7.300 Euro pro Jahr. Und das sind allein die Energiekosten, die dafür aufzubringen sind, dass ein Kompressor den Druckverlust in einer Leitung ausgleichen muss.

Kosten pro Jahr						
Druck	Leckagegröße - Durchmesser (mm)					
	0,5mm	1,0mm	1,5mm	2,0mm	2,5mm	3,0mm
3bar	90€	361€	812€	1.444€	2.256€	3.248€
4bar	113€	451€	1.015€	1.805€	2.820€	4.061€
5bar	135€	541€	1.218€	2.166€	3.384€	4.873€
6bar	158€	632€	1.421€	2.527€	3.948€	5.685€
7bar	180€	722€	1.624€	2.888€	4.512€	6.497€
8bar	203€	812€	1.827€	3.248€	5.076€	7.309€

Jährliche Kosten durch Leckagen auf Basis von Druckluftkosten von 1,9 ct/Nm³ bei permanentem Kompressorbetrieb (24h/365 Tage).

Durch den Einsatz von Durchflusssensoren wie in Kapitel 3 beschrieben, lassen sich bereits unverhältnismäßig hohe Verbräuche erkennen, die auf Leckagen hindeuten. Um die hierdurch verursachten hohen Kosten frühzeitig zu vermeiden, sollten solche Leckagen sehr schnell beseitigt werden. Dies setzt jedoch deren gezielte Ortung voraus.

#### **4.1 LECKAGESUCHGERÄT MIT INTEGRIERTER KAMERA**

Primär für diese Aufgabe wurde das Leckagesuchgerät **UY000001** entwickelt, das sich zusätzlich an Gas- und Dampfleitungen sowie an Vakuumanlagen einsetzen lässt. Das Handheld-Gerät mit USB-Schnittstelle integriert u.a. ein Mikrofon, eine Kamera mit einem Farbdisplay und einen Laserpointer (Laserklasse 2), um bei der Leckagesuche eine optische Orientierung für den anvisierten Ortungspunkt zu erhalten. Zur weiteren Ausstattung des **UY000001** gehören ein Kopfhörer, ein Schalltrichter und ein Richtrohr. Eine Software für den Datenimport per USB-Stick auf einen PC komplettiert die Lösung. Optional erhältlich sind außerdem ein Schwanenhals- sowie ein Parabolspiegelmikrofon. Welche Möglichkeiten diese Ausstattungsmerkmale und das Zubehör für die Praxis bieten, wird in den folgenden Kapiteln näher beschrieben.



Das Leckagesuchgerät integriert u.a. ein Mikrofon und eine Kamera mit einem Farbdisplay. Hinzu kommen ein Kopfhörer, ein Schalltrichter und ein Richtrohr.

##### **4.1.1 ALLGEMEINE FUNKTIONSBESCHREIBUNG**

Beim Austritt von Druckluft aus Leckagen in Rohrleitungssystemen (z. B. durch undichte Schraubverbindungen, Korrosion, etc.) werden Geräusche im Ultraschallbereich erzeugt. Richtet man das Leckagesuchgerät über die Kamera und mit Unterstützung des Laserpointers als Zielpfeilung für eine genauere Lokalisierung auf einen Bereich, in dem eine Undichtigkeit vermutet wird, bündelt das Gerät die Ultraschallwellen der ausströmenden Druckluft mithilfe des Schalltrichters (Quantifizierungsabstand: 1 – 6m) und zeichnet diese über das Mikrofon auf. Aufgrund der Aufnahme im Ultraschallbereich werden andere, potenziell störende Umgebungsgeräusche hierbei vom Gerät weitestgehend nicht erfasst.

Das Leckagesuchgerät wandelt die Ultraschallwellen in hörbare Frequenzen und überträgt sie an den Kopfhörer, der zusätzlich eventuell störende Geräusche in der unmittelbaren Umgebung ausblendet. Darüber hinaus wird der erfasste Emissionspegel im Gerätedisplay angezeigt. In der Standardeinstellung befindet sich das Gerät in einem Auto-Modus, wodurch die Handhabung deutlich vereinfacht wird, da sich die Empfindlichkeit je nach Leckagegröße in verschiedenen Abstufungen innerhalb von 10db bis 100db selbständig reguliert. Um das akustische Verhalten des Gerätes bei einer spezifischen Leckagesuche beeinflussen zu können, lassen sich alternativ hierzu die Empfindlichkeitsstufen manuell anpassen und hierdurch der gültige Wertebereich entsprechend vergrößern oder verkleinern.

Folgende Empfindlichkeitsstufen stehen hierfür zur Verfügung:

0-60db:	höchste Empfindlichkeit bei kleinen Leckagen und ohne Störgeräusche
10-70db:	kleine Leckagen
20-80db:	mittelgroße Leckagen
30-90db:	große Leckagen
40-100db:	sehr große Leckagen, viele Störgeräusche (Heavy-Duty-Anwendung)

Die Handheld-Lösung versetzt den Anwender somit in der Lage, selbst kleinste, für das Gehör kaum wahrnehmbare und zudem nicht erkennbare bzw. nicht sichtbare Leckagen bereits aus mehreren Metern Entfernung zu orten. Im Farbdisplay wird hierbei der Druckluftverlust in l/min angezeigt. Wurden zuvor die Kosten pro Liter bzw. pro Kubikmeter Druckluft im Gerät hinterlegt, lassen sich zudem die Einsparpotenziale durch die Leckagebeseitigung im Display in einer frei wählbaren Währung ablesen. Bei Bedarf kann mit dem Richtrohr (Quantifizierungsabstand: 0 – 0,2m) als Zubehör eine punktgenaue Ortung kleinster Leckagen auf engstem Raum vorgenommen werden.

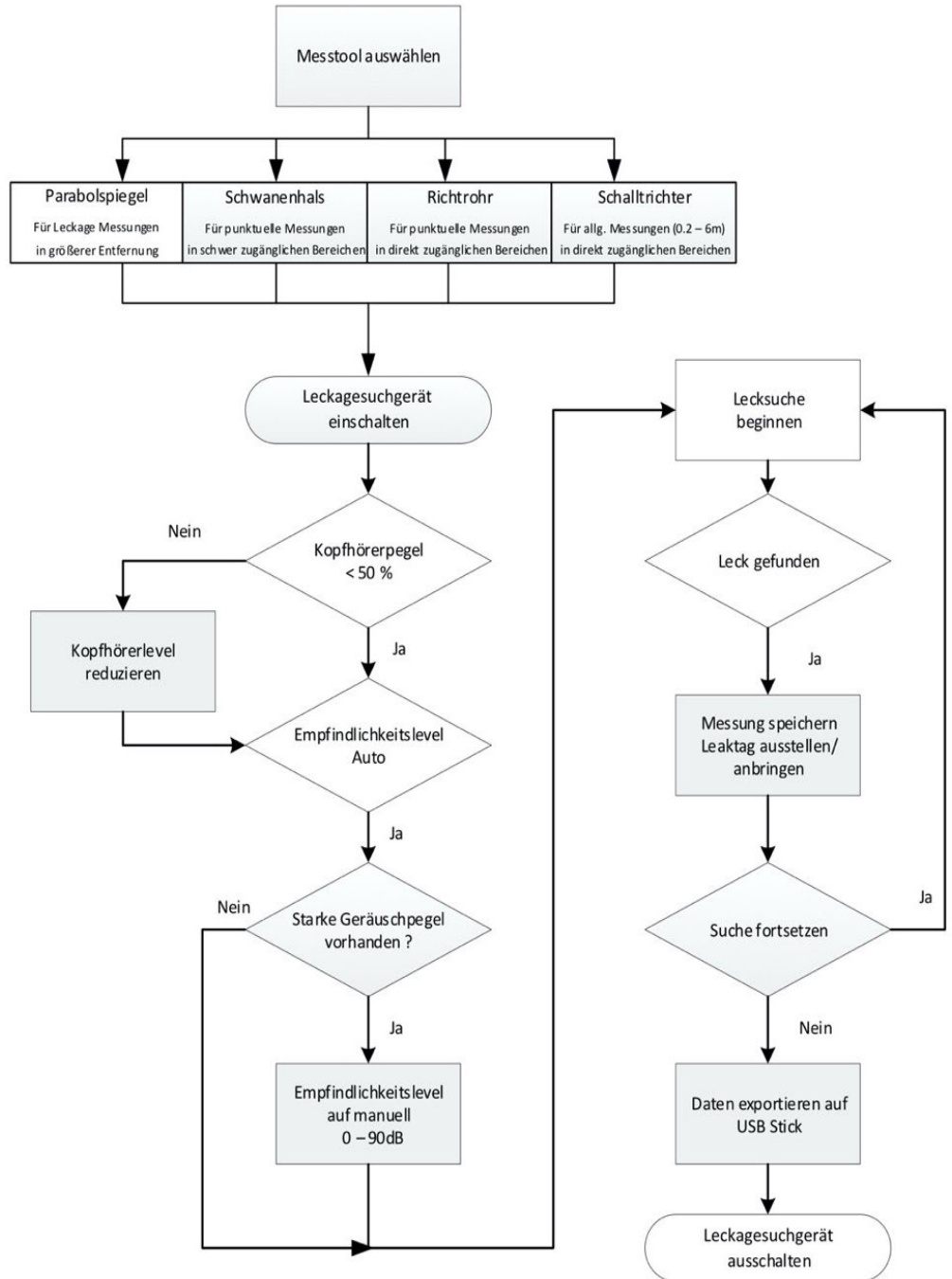
Optional stehen außerdem ein Schwanenhals- und ein Parabolspiegelmikrofon zur Verfügung. Während der Schwanenhalsvariante (Quantifizierungsabstand: 0 – 0,05m) eine zielgerichtete Ortung von Undichtigkeiten an schwer zugänglichen Stellen bei gleichzeitiger Ausblendung von Störgeräuschen ermöglicht, lässt sich das Parabolspiegelsystem, das bereits Kamera und Laserpointer integriert, zur Lecksuche aus großen Entfernungen (3 bis maximal 12 Meter) einsetzen. Die Abbildung auf Seite 12 verdeutlicht im Zusammenhang mit den bisherigen Ausführungen die Vorgehensweise bzw. einzelnen Schritte für Messungen bei der Leckagesuche.

#### **4.1.2 DOKUMENTATION UND DATENVERARBEITUNG**

Wurde eine Undichtigkeit gefunden, kann über die integrierte Kamera ein Bild des Leckageortes inklusive aller zur Leckage gesammelten und im Display angezeigten Daten als Dokumentation angefertigt und mit zusätzlichen Informationen versehen werden. Folgenden Daten lassen sich hierbei neben der Abbildung des Leckageortes auf der Geräte-internen SD-Karte abspeichern:

- / Datum / Uhrzeit der Aufnahme
- / Firmenname / Abteilung / Bezeichnung Leckageort
- / Größe der Leckage in Liter/min (Einheit einstellbar)
- / Kosten der Leckage pro Jahr z. B. in Euro (Währung frei wählbar)
- / Kommentar

Außerdem ist es möglich, unmittelbar am Leckageort einen sogenannten „Leak Tag“ in Papierform mit allen wichtigen Informationen als Vor-Ort-Dokumentation, aber auch als Hinweis, z. B. für die Instandhaltung, anzubringen.



Vorgehensweise bei der Leckagesuche



Ein Bild des Leckageortes mit allen gesammelten Daten sowie zusätzlichen Informationen lassen sich zur Dokumentation im Gerät abspeichern und anschließend mit einem USB-Stick auf einen PC zur Weiterverarbeitung übertragen.

Nach dem Abspeichern vor Ort stehen sämtliche auf dem Leckagesuchgerät erfassten Daten und Informationen zur Weiterverarbeitung auf einen PC zur Verfügung. Die Übertragung vom Gerät auf einen PC erfolgt via USB-Stick. Eine Software zum Leckagesuchgerät ermöglicht nun u.a. die einfache Erstellung von ausführlichen Reports gemäß ISO 50001 zur Umsetzung eines systematischen Umweltmanagements oder aber bspw. für weitergehende Umwelt-Audits. Sämtliche Berichte lassen sich hierzu sowohl separat für einzelne Abteilungen als auch für das gesamte Unternehmen erstellen, wobei die Summenbildung am Ende eines Reports einen sehr guten Überblick über die Gesamtleckagemenge (in l/min) sowie die jährlichen Gesamtleckagekosten (bspw. in €) verschafft.

© ipf electronic gmbh: Dieses White Paper ist urheberrechtlich geschützt. Die Verwendung des Textes (auch in Auszügen) sowie der Bildmaterialien in diesem Dokument ist nur mit schriftlicher Genehmigung der ipf electronic gmbh gestattet.

**ipf electronic gmbh**  
info@ipf.de • www.ipf.de

Änderungen vorbehalten! Stand: April 2020