



AUSWAHL DER IDEALEN LECKSUCH- METHODE FÜR IHRE ANWENDUNG

Professionelle Hilfe ist unentbehrlich

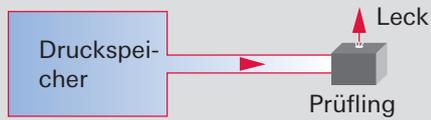
Jede Anwendung und jeder Produktionsprozess stellt ganz eigene Anforderungen an die Lecksuche. In unterschiedlichen Branchen gelten verschiedene Normen für Qualitätskontrolle und maximale Leckraten. Daher ist es von entscheidender Bedeutung, für jede einzelne Anwendung die am besten geeignete Lecksuchmethode auszuwählen.

In den letzten Jahren wurden im Bereich der elektronischen Lecksuche mit Luft oder Prüfgasen große Fortschritte gemacht. Neue Arbeitstechniken, verbesserte Empfindlichkeit und schnellere Prüfzyklen – zusammen haben diese technischen Weiterentwicklungen die Qualität und Zuverlässigkeit verschiedener Dichtheitsprüfverfahren erhöht. Nachfolgend

werden die Vor- und Nachteile dieser Methoden und deren Eignung für unterschiedliche Lecksuchanwendungen vorgestellt sowie professionelle Hilfestellung bezüglich der Auswahlkriterien gegeben.

Lecksuchverfahren – ein Überblick

Bevor wir Ihnen eine Orientierungshilfe zur Auswahl der für Ihre Anwendung am besten geeigneten Lecksuchmethode präsentieren, werden die in diesem Artikel behandelten unterschiedlichen Technologien zunächst in einer Gesamtübersicht vorgestellt:

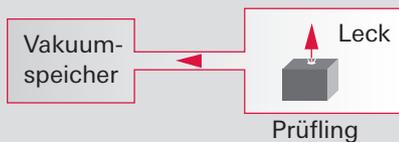


Luftweg: Behälter – Schlauch – Loch

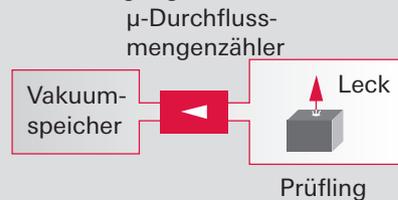


Messung mit Micro-Flow-Sensor:
Durchfluss eines Hilfsgases (AIR)

Abbildung 1: Luftdichtheitsprüfung mit Micro-Flow-Sensor unter Druckbedingungen



Luftweg: Prüfling – Kammer –
Vakuumspeicher



Messung mit Micro-Flow-Sensor:
Extrahiertes Gas (Masse)

Abbildung 2: Prüfmethode Massenextraktion (Vakuumpfung)

■ Luftdichtheitsprüfung mit Micro-Flow-Sensor unter Druckbedingungen

Diese Technologie basiert auf einem integrierten Mikrosensor, der mit einem beschleunigten Fluss arbeitet. Wenn aus der zu prüfenden Einheit oder Baugruppe Luft austritt, wird die ausgetretene Luft durch den Micro-Flow-Sensor aufgefüllt, um einen konstanten Druck aufrecht zu erhalten (siehe Abbildung 1). Der Luftverlust löst ein elektrisches Signal aus, das proportional zum Volumen bzw. zum Massenfluss ist. Hierzu arbeitet der Micro-Flow-Sensor mit einem Druckvorratsbehälter, in dem der Prüfling auf Normaldruck gehalten wird und der eine Empfindlichkeit von $5 \cdot 10^{-4}$ mbar · l/s aufweist. Für dieses Prüfverfahren sind üblicherweise nur einfache Vorrichtungen erforderlich.

■ Luftdichtheitsprüfung mit Massenextraktion (Vakuumbedingungen)

Eine besondere Form der Micro-Flow-Sensortechnologie ist die sogenannte Massenextraktionstechnik. Das Grundprinzip ähnelt der Micro-Flow-Methode. Um jedoch eine höhere Empfindlichkeit zu erreichen, wird die Prüfung unter Vakuumbedingungen durchgeführt. Bei dieser Methode kommen Sensoren zum Einsatz, die unter Kontinuumsströmungs-/Gleitströmungsbedingungen (Feinvakuum) und Übergangsströmungs-/Molekularströmungsregimes (Hochvakuum) funktionieren. Diese Technologie kann für die Dichtheitsprüfung geschlossener Behälter wie Verpackungen oder Gehäuse für Elektronik verwendet werden. Der Prüfling wird in einer Vakuumkammer mit einem Druck von 1 mbar oder weniger positioniert. Nachdem die Kammer evakuiert wurde, wird der verbleibende Durchfluss zwischen der Kammer und dem Druckvorratsbehälter zur Bestimmung der Leckrate des Prüflings benutzt

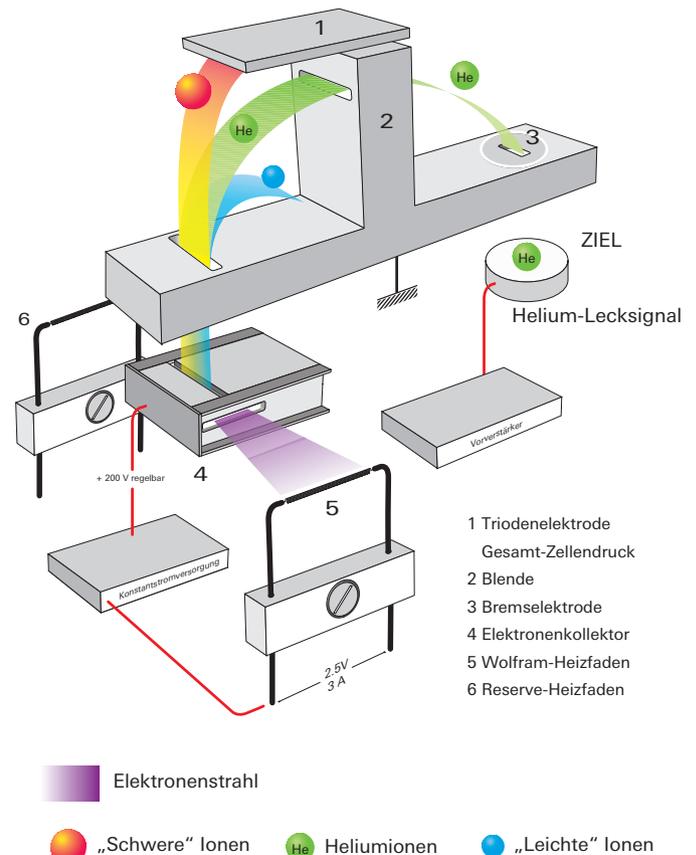
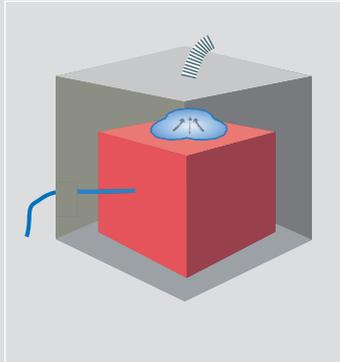
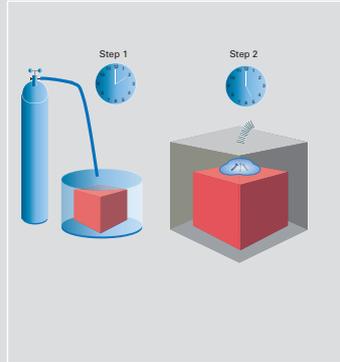


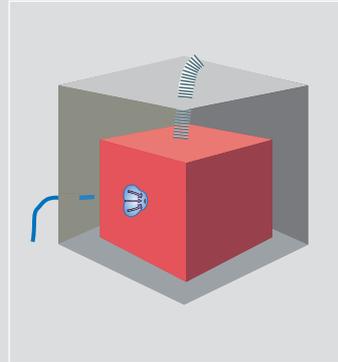
Abbildung 3: Funktionsprinzip eines Sektorfeld-Massenspektrometers



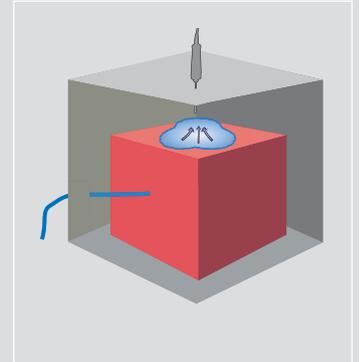
Integrale Vakuumprüfung



**Vakuumprüfung:
Drucklagerungsprüfung**



**Integraltest von
geschlossenen Gegenständen
unter Vakuum**



**Schnüffellecksuche:
Integraltest bei
Atmosphärendruck**

Abbildung 4: Verschiedene Lecksuchmethoden im Überblick

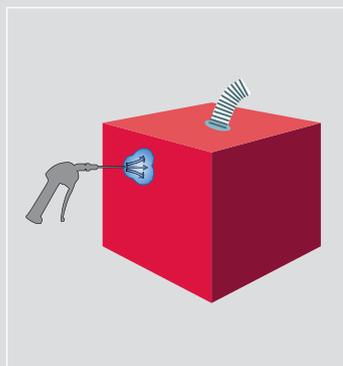
(siehe Abbildung 2). Mit dieser Methode kann eine Empfindlichkeit von bis zu $6,7 \cdot 10^{-7}$ mbar · l/s erreicht werden.

■ **Helium-Lecksuche**

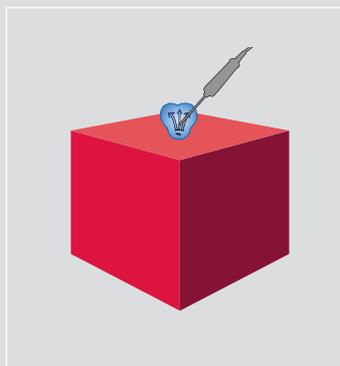
Aufgrund ihres vergleichsweise einfachen und robusten Designs werden Sektorfeld-Massenspektrometer für die Lecksuche mit Prüfgas eingesetzt. Die Gasmoleküle werden üblicherweise auf eine Detektionsmasse von 4 u für Helium kalibriert und in einer Ionenquelle durch Elektronenbeschuss ionisiert. Danach werden sie mithilfe von elektrischer Spannung in ein Magnetsektorfeld beschleunigt. Alternativ kann für diese Lecksuchmethode auch Wasserstoff mit einer Masse von 2 u verwendet werden.

Die Helium- bzw. Wasserstoffmoleküle können durch einen hierfür vorgesehenen Schlitz zum Detektor gelangen. Alle anderen vorhandenen Moleküle können diesen Schlitz nicht passieren und werden somit reneutralisiert. Der gemessene Ionenstrom verhält sich proportional zum Gas-Partialdruck. Die Heliumempfindlichkeit in einer Vakuumumgebung beträgt $5 \cdot 10^{-12}$ mbar · l/s.

Für die Helium-Lecksuche stehen andere Verfahren zur Durchführung der Messung zur Verfügung. Darüber hinaus können diverse Prüfrichtungen angewandt werden (siehe Abbildung 4). Die empfindlichste Prüfmethode darunter ist die integrale Vakuumprüfung. Hierbei wird der Prüfling in einer Vakuumkammer positioniert, die zunächst evakuiert und dann mit Helium gefüllt wird.



**Vakuumprüfung:
Sprühprüfung**



Schnüffellecksuche

Abbildung 5: Prinzip der Lecksuchmethoden mit Sprüh- und Schnüffellecksuche

Zur Lokalisierung eines Lecks sind die Helium-Sprühmethode oder die Schnüffelmethode am besten geeignet. Bei Verwendung der Sprühmethode ist der Prüfling an ein Lecksuchgerät angeschlossen und es wird ein Vakuum aufgebaut, während der Prüfling von außen mit Helium besprüht wird.

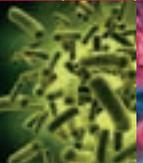
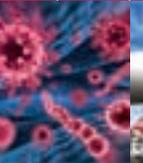
Bei der Schnüffellecksuche wird der Prüfling unter Druck mit Helium beaufschlagt und an der Außenseite mit einer Schnüffelsonde abgetastet, die an das Lecksuchgerät angeschlossen ist (siehe Abbildung 5).

Auswahl des richtigen Verfahrens

Bei der Auswahl der optimalen Lecksuchmethode für eine spezifische Anwendung müssen zunächst die zu erfüllenden Dichtigkeitskriterien – d.h. die maximale Leckrate – festgelegt werden. Eine große Herausforderung hierbei ist die Tatsache, dass zur Definition der Leckraten verschiedene Einheiten zur Verfügung stehen (Tabelle 1).

	Pa m ³ s ⁻¹	mbar · l s ⁻¹	Torr · l s ⁻¹	atm cm ³ s ⁻¹	sccm	slm	Moleküle s ⁻¹
Pa m ³ s ⁻¹	1	10	7,5	9,87	5,92 · 10 ²	5,92 · 10 ⁻¹	2,651 · 10 ²⁰
mbar · l s ⁻¹	1 · 10 ⁻¹	1	7,5 · 10 ⁻¹	9,87 · 10 ⁻¹	5,92 · 10 ¹	5,92 · 10 ⁻²	2,651 · 10 ¹⁹
Torr · l s ⁻¹	1,33 · 10 ⁻¹	1,333	1	1,32	7,89 · 10 ¹	7,89 · 10 ⁻²	3,535 · 10 ¹⁹
atm cm ³ s ⁻¹	1,01 · 10 ⁻¹	1,01	7,5 · 10 ⁻¹	1	5,98 · 10 ¹	5,98 · 10 ⁻²	2,679 · 10 ¹⁹
sccm	1,69 · 10 ⁻³	1,69 · 10 ⁻²	1,27 · 10 ⁻²	1,67 · 10 ⁻²	1	1 · 10 ⁻³	4,486 · 10 ¹⁷
slm	1,69	1,69 · 10 ¹	1,27 · 10 ¹	1,67 · 10 ¹	1 · 10 ³	1	4,486 · 10 ¹⁴
Moleküle s ⁻¹	3,77 · 10 ⁻²¹	3,77 · 10 ⁻²⁰	2,83 · 10 ⁻²⁰	3,72 · 10 ⁻²⁰	2,23 · 10 ¹⁶	2,23 · 10 ¹⁹	1

Tabelle 1: Bei Leckdurchflussmessungen gebräuchliche Einheiten und deren Umrechnung

Methode / Detektor	Prüfgas	Geprüftes Objekt unter Überdruck	Geprüftes Objekt unter Vakuum	Quantitative Prüfung	Lokalisierung	mbar · l s ⁻¹											
						10 ⁰	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹
Beschreibung																	
Leckdurchmesser						100 µm	30 µm	10 µm	3 µm	0,8 µm	0,1 µm						
Entweichzeit einer Blase mit 1 cc						10 s	> 15 Min.	> 1 Tag	> 100 Tage	> 30 Jahre	> 1000 Jahre						
Blasenlecktest	nein	+	-	- ¹⁾	+												
Schall- oder Ultraschallsensor	nein	+	-	-	+												
Ultraschall-Blasenerkennung	nein	+	-	+	+												
Druckanstieg	nein	-	+	+	-												
Druckabfall	nein	+	-	+	-												
Micro-Flow	verschiedene	+	-	+	-												
Massenextraktion	verschiedene	-	+	+	-												
Optische Emissions-spektroskopie	verschiedene	-	+	+	-												
Magnetsektorfeld-Massenspektrometer, Schnüffeln	Prüfgas ⁴ He, ³ He, H ₂	+	-	+	+ ²⁾												
Magnetsektorfeld-Massenspektrometer, Vakuum	Prüfgas ⁴ He, ³ He, H ₂	-	+	+	+												

¹⁾ Möglich mit Blasenauffang und volumetrischer Analyse

²⁾ Nur Akkumulationstestmethode

Tabelle 2: Vergleich verschiedener Lecksuchmethoden

Anforderungen an die Leckrate [mbar · l s⁻¹]
Empfehlungen für integrale Lecksuchmethoden

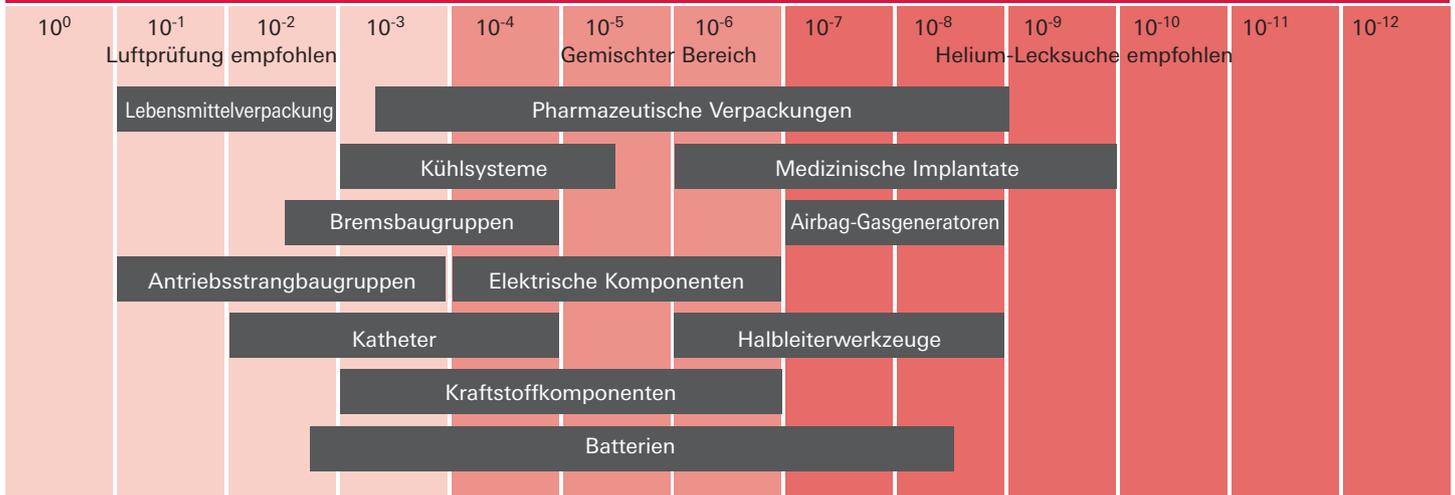


Tabelle 3: Übersicht der Prüfmethode nach benötigten Leckraten

Üblicherweise werden Leckraten in Einheiten der Durchflussmenge angegeben. Tabelle 1 enthält die gebräuchlichen Einheiten für die Durchflussmengenmessung und Informationen zu deren Umrechnung.

Eine andere Möglichkeit, die für eine Anwendung erforderliche Dichtigkeit zu definieren, ist die Bestimmung der maximalen Defektgröße (Stiftloch oder Mikrokanal). Die Lecksuche muss sicherstellen, dass dieser Wert nicht überschritten wird.

Wenn die Anwendung oder allgemeine Normen eine Dichtigkeit im Bereich $1 \cdot 10^{-7}$ mbar·l/s oder weniger erfordern, ist die Heliumlecksuche die beste Wahl. Keine andere kommerziell verfügbare Technologie erreicht vergleichbare Empfindlichkeiten.

Wenn die erforderliche Leckrate über diesem Wert liegt, stehen mehrere Technologien zur Verfügung. Tabelle 2 gibt einen Überblick über verfügbare Lecksuchmethoden und ihre wichtigsten Eigenschaften. Wenn die Anforderungen der spezifischen Anwendung mehr als eine der aufgeführten Methoden zulassen, sollten bei der Auswahl der optimalen Lecksuchmethode die folgenden zentralen Aspekte berücksichtigt werden:

■ **Durchsatz und Zykluszeiten**

Wenn das Lecksuchverfahren in einer Produktionsumgebung stattfindet, in der 100 % der Teile leckgeprüft werden, sind der Durchsatz und die Zykluszeiten wichtige Parameter. Für Stichprobentests und Laboranwendungen sind Zykluszeiten jedoch ein weniger wichtiger Parameter.

■ **Lecksuchbedingungen**

In vielen Fällen bestimmen die Beschaffenheit des Produkts und die spezifische Dichtung die Anforderungen an den verwendeten Druck und das Lecksuchverfahren (innen oder außen am Teil). Einige Dichtungen eignen sich besser für Hochdruck und andere sind besser für Lecks unter Vakuum geeignet. Daher beinhalten Dichtheitsprüfungen häufig eine Druckbeaufschlagung des Teils bis zum maximalen Betriebsdruck, um die Integrität des Teils an den Grenzen der Einsatzbedingungen sicherzustellen.

■ **Umweltaspekte**

Umweltbedingungen können mehrere Lecksuchmethoden wie z.B. die Druckabfallprüfung beeinflussen. In diesem Zusammenhang sind Stabilisierungszeiten und Temperaturkontrolle für eine zuverlässige Messung von größter Wichtigkeit. Für die Prüfung von Produkten im heißen Zustand (z.B. nach Hartlöten/Schweißen) oder für die Durchführung von Prüfungen in einer Umgebung mit schnellen Temperaturänderungen eignen sich Vakuum-Luftprüfungen (Massenextraktion) oder Heliumprüfungen.

■ **Kosten**

Zu guter Letzt sind auch die ökonomischen Aspekte der Prüfmethode zu beachten. Es ist wichtig, nicht nur auf die Anschaffungskosten zu achten, sondern auch die unterschiedlichen, prozessbezogenen Gesamtkosten zu betrachten. Hierbei ist wiederum die Prüfdauer, die in direktem Zusammenhang mit der Kapazität eines Prüfstands steht, ein zentraler Punkt für die Entscheidungsfindung. Auch Stabilisierungs- und/oder Trocknungszeiten können berücksichtigt werden. Die Helium-Lecksuche ermöglicht hier die

kürzesten Prüfzeiten für industrielle Anwendungen. Auch die Micro-Flow-Technologie ist eine Alternative, wenn eine Luftprüfmethode verwendet werden soll oder muss. Dies gilt insbesondere für die Detektion größerer Lecks. Sie generiert niedrigere Anschaffungskosten als ein Heliumprüfsystem und bietet im Vergleich zu anderen Luftprüfmethode wie der Druckabfallprüfung dennoch kürzere Prüfzeiten.

Unterscheidung von Anwendungen

Wie zuvor erwähnt, kann die Definition von Richtlinien für die Auswahl der am besten geeigneten Lecksuchmethode eine Herausforderung darstellen. Tatsächlich gibt es einige Anwendungen, für die aufgrund der hohen Anforderungen an die Empfindlichkeit nur die Helium-Lecksuche verwendet werden kann. Bei diesen Anwendungen handelt es sich unter anderem um Halbleiterwerkzeuge, Airbag-Zünder, nukleare Einrichtungen und Werkzeuge sowie diverse medizinische Implantate. All diese Anwendungen stellen hohe Anforderungen an den Grad der Dichtheit.

Die meisten Anwendungen können jedoch mit Luft- oder Heliumprüfmethode auf Dichtheit getestet werden. Typische Anwendungsbereiche in der Automobilindustrie sowie der Luft- und Raumfahrt sind Wärmetauscher, Komponenten für Klimaanlage, Batterien, Bremssysteme und deren Komponenten, Antriebsstrangsysteme und deren Komponenten, spanend bearbeitete Gussstücke sowie geschweißte Baugruppen und Gehäuse für Elektronik. In der medizinischen Industrie sind Implantate, Einwegprodukte wie Katheter und Verabreichungssysteme sowie wissenschaftliche Instrumente und Komponenten Beispiele für Anwendungen. In der pharmazeutischen Industrie wird die Helium-Lecksuche zur Bestimmung des maximal zulässigen Leckniveaus (MALL; Maximum Allowable Leak Level) in der Entwicklung von Verpackungen für Produkte wie Kanülen oder Glasampullen eingesetzt, bei denen Lecks das Risiko einer mikrobiellen Verunreinigung und von Veränderungen der Wirkeigenschaften bergen. Andere Anwendungsgebiete sind die Unterhaltungselektronik und Energieversorgung. Hier eingesetzte elektronische Systeme müssen diverse Wasserdichtheitsspezifikationen erfüllen (z.B. IPX7 für Wassereintritt in Smartphones).



Abbildung 6: Auszug aus dem Lecksuch-Portfolio von Pfeiffer Vacuum

Eine Kombination von Luft- und Helium-Lecksuche ist üblicherweise in Anwendungen mit sehr teuren Komponenten zu finden, in denen Lecks lokalisiert werden müssen, um das Teil zu reparieren oder Reparaturen einzuleiten. Gute Anwendungsbeispiele finden sich hier in Hydraulik-Systembaugruppen oder Kraftstoffsystemen der Luft- und Raumfahrt. Bei diesen Anwendungen ist die Lokalisierung von großer Wichtigkeit, da undichte Teile repariert werden können und nicht entsorgt werden müssen.

Tabelle 3 zeigt eine Zuordnung der Anforderungen an die Leckrate zu den unterschiedlichen Anwendungen. Diese Übersicht kann einen Ausgangspunkt für die Auswahl einer optimalen Prüfmethode für die jeweilige Anwendung darstellen. Zusätzlich sollten die oben aufgeführten Überlegungen beachtet werden.

Pfeiffer Vacuum bietet Know-How und Unterstützung
Bevor Sie die Entscheidung treffen, welche Technologie für Ihre spezifische Anwendung am besten geeignet ist, müssen diverse Fragen beantwortet werden. In den meisten Fällen erfordert das eine enge Zusammenarbeit mit Ihrem Lieferanten. Die Auswahl eines Dienstleisters für Lecksuche mit umfangreichem Wissen, großer Erfahrung und einem für Sie optimalen Produktportfolio ist vor allem in Bezug auf Kosteneinsparungen und die Implementierung einer zuverlässigen langfristigen Lösung von größter Wichtigkeit. Mit mehr als 50 Jahren Erfahrung auf dem Gebiet der Lecksuche ist Pfeiffer Vacuum Ihr idealer Partner für die Planung und Umsetzung individueller Lösungen für die Lecksuche. Unser umfangreiches Portfolio bietet nicht nur Lecksuchgeräte und Komponenten für jede erdenkliche Anwendung und Anforderung. Unsere Experten verfügen außerdem über fundiertes Know-How im Bereich der Lecksuchtechnologie und bieten Ihnen gern professionelle Unterstützung von der Planungsphase bis zur abschließenden Implementierung Ihrer Lösung.



VAKUÜMLÖSUNGEN AUS EINER HAND

Pfeiffer Vacuum steht weltweit für innovative und individuelle Vakuümlösungen, für technologische Perfektion, kompetente Beratung und zuverlässigen Service.

KOMPLETTES PRODUKTSORTIMENT

Vom einzelnen Bauteil bis hin zum komplexen System:

Wir verfügen als einziger Anbieter von Vakuumtechnik über ein komplettes Produktsortiment.

KOMPETENZ IN THEORIE UND PRAXIS

Nutzen Sie unser Know-how und unsere Schulungsangebote!

Wir unterstützen Sie bei der Anlagenplanung und bieten erstklassigen Vor-Ort-Service weltweit.

Sie suchen eine perfekte
Vakuümlösung?
Sprechen Sie uns an:

Pfeiffer Vacuum GmbH
Headquarters · Germany
T +49 6441 802-0

www.pfeiffer-vacuum.com

PFEIFFER  **VACUUM**