

ZU BEACHTENDE PUNKTE BEI DER WERKSABNAHMEPRÜFUNG VON DICHTHEITSPRÜFSYSTEMEN

Checkliste für die Werksabnahme

Bei einer Werksabnahmeprüfung handelt es sich um einen Qualitätssicherungsprozess, bei dem Maschinen, Systeme oder Geräte vor der Auslieferung an den Kunden in den Räumlichkeiten des Herstellers eingehend geprüft werden.

Der Fokus liegt auf der Überprüfung, ob die jeweilige Komponente alle vordefinierten Spezifikationen, Leistungskriterien sowie Kundenanforderungen gemäß Bestellung bzw. Vertrag erfüllt.

Werksabnahmeprüfungen umfassen in der Regel Funktions- und Leistungstests, die Überprüfung der Dokumentation, Sicherheitsprüfungen sowie die Überprüfung der Einhaltung einschlägiger Normen.



Damit ein Dichtheitsprüfsystem vom ersten Tag an einwandfrei funktioniert, ist zunächst eine gründliche Werksabnahmeprüfung erforderlich. Eine präzise und gut strukturierte Werksabnahmeprüfung unter realen Betriebsbedingungen bestätigt Genauigkeit, Wiederholbarkeit und Konformität und verhindert so kostspielige Überraschungen.

Dieser Leitfaden zeigt die wichtigsten Prüfpunkte auf, um die Qualität zu sichern, Risiken zu minimieren und eine sichere Abnahme des Systems vor der Installation zu gewährleisten.

Damit ein in der Qualitätskontrolle eingesetztes Dichtheitsprüfsystem die Anforderungen in Bezug auf Leistung, Genauigkeit und Konformität erfüllt, müssen bei der Werksabnahmeprüfung bestimmte Aspekte berücksichtigt werden. Drei Punkte sind von besonderer Bedeutung:

Klare Abnahmekriterien festlegen

- ✓ Detaillierte Abnahmekriterien festlegen, die sich an den erforderlichen Funktionen, der Genauigkeit, der Präzision sowie den Konformitätsstandards orientieren.
- ✓ Die Messunsicherheit, die Kalibrierstandards und die für den Verwendungszweck relevanten Umgebungsbedingungen angeben.

Detaillierten Prüfplan erstellen

- ✓ Umfassenden Prüfplan mit konkreten Messtests, Verfahren und den erwarteten Ergebnissen erstellen.
- ✓ Zur Überprüfung der Genauigkeit und Zuverlässigkeit des Messsystems Funktions- und Leistungstests durchführen, die reale Betriebsbedingungen simulieren.

Kalibrierung und Dokumentation

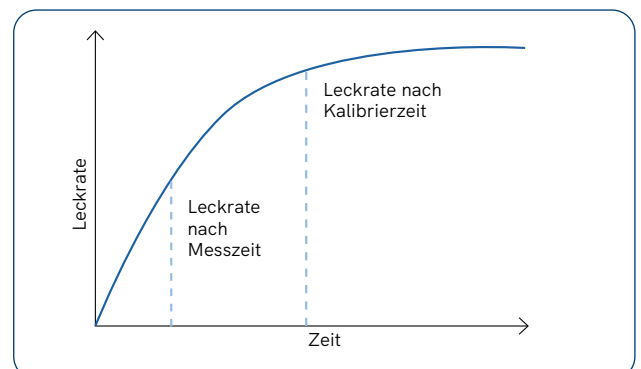
- ✓ Prüfen, ob alle bei der Werksabnahmeprüfung verwendeten Messgeräte ordnungsgemäß kalibriert sind und sich innerhalb ihrer Kalibrierungsgültigkeitsdauer befinden.
- ✓ Alle Kalibrierzertifikate dokumentieren und die Rückverfolgbarkeit zu nationalen oder internationalen Normen sicherstellen.

Ordnungsgemäße Kalibrierung sicherstellen

Die Kalibrierung eines Dichtheitsprüfsystems sollte unter denselben Parametern erfolgen wie die späteren Messungen. Dabei ist insbesondere auf Folgendes zu achten:

→ Bei der Kalibrierung dieselbe Messdauer verwenden wie bei den Messungen

Um kurze Zykluszeiten und einen hohen Durchsatz in automatisierten Dichtheitsprüfsystemen zu erreichen, werden die Messungen so früh wie möglich bei noch ansteigendem Signal des Dichtheitsprüfgeräts durchgeführt. Unterschiedliche Messzeiten führen zu unterschiedlichen Kalibrierungsfaktoren. Werden bei der Kalibrierung längere Messzeiten verwendet, werden zu hohe Leckraten angezeigt und die Empfindlichkeit des Systems wird überschätzt.



→ **Die Kalibrierung mit derselben Prüfgaskonzentration durchführen wie im normalen Prüfbetrieb**

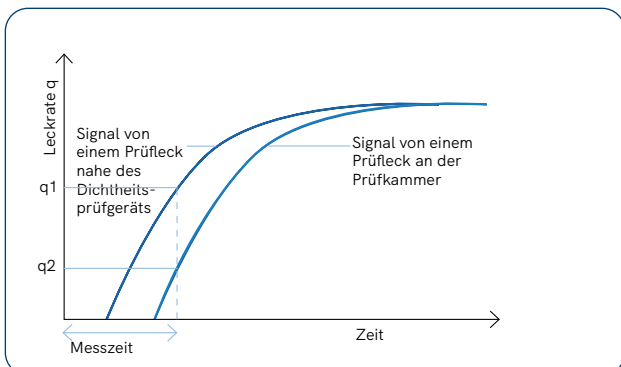
Wenn eine Kalibrierung mit 100 % Helium durchgeführt wird, das System später jedoch mit einer geringeren Heliumkonzentration betrieben wird, bleiben kleine Lecks unbemerkt. Wenn das verwendete Prüfleck mit 100 % Prüfgas befüllt ist, die Komponenten jedoch mit einer geringeren Konzentration, kann ein Korrekturfaktor auf die Prüfleckrate angewendet werden.

→ **Das Prüfleck in der Prüfkammer installieren**

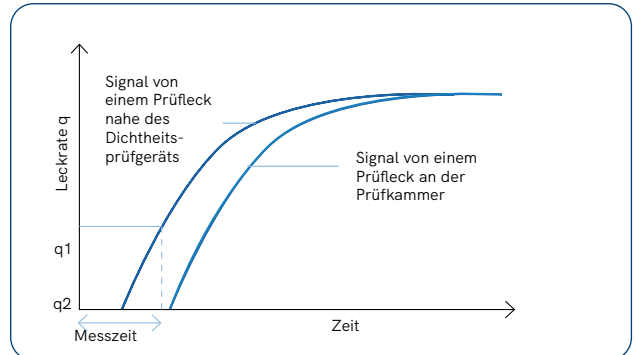


Prüfleck an der Prüfkammer

Die Position des Prüflecks beeinflusst den Kalibrierungsprozess aufgrund unterschiedlicher Ansprechzeiten bei langen Gasflusswegen. Ein Prüfleck nahe des Einlasses des Dichtheitsprüfgeräts (oder sogar ein internes Prüfleck) weist jeweils eine höhere Leckrate auf als ein Prüfleck an der Prüfkammer.



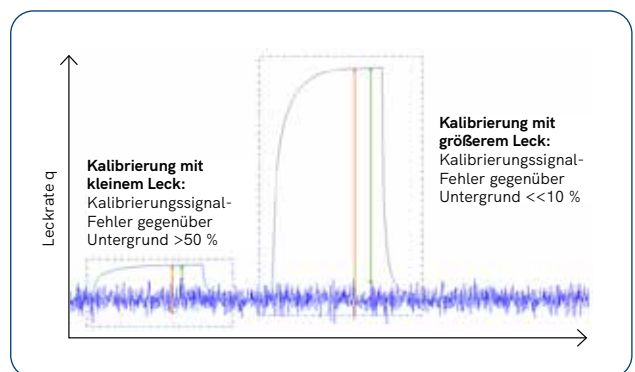
Im ungünstigsten Fall wird ein Leck in der Nähe des Dichtheitsprüfgeräts erkannt, während ein Leck an der Prüfkammer innerhalb der vorgegebenen Messzeit überhaupt nicht entdeckt wird.



Die Verwendung eines internen Lecks (integriert im Dichtheitsprüfgerät) birgt ein weiteres Risiko: Um schnelle Abpumpzeiten zu erzielen, werden manchmal sehr große Pumpen an der Kammer installiert, wodurch nur ein Teilstrom aus der Kammer zum Dichtheitsprüfgerät gelangt. In diesem Fall gelangt im Betriebsmodus nur ein Teil des aus dem Leck austretenden Gases zum Dichtheitsprüfgerät, während bei der Kalibrierung die Gesamtleckrate verwendet wird.

→ **Für die Kalibrierung ein Prüfleck verwenden, dessen Größe mindestens eine Dekade über dem Untergrundwert liegt**

Für eine stabile Kalibrierung empfiehlt es sich stets, die Kalibrierung mit einer Leckrate durchzuführen, die mindestens eine Dekade über dem Untergrundwert liegt, damit das Dichtheitsprüfgerät klar zwischen Untergrund- und Prüfsignalen unterscheiden kann. Auf diese Weise haben etwaige Schwankungen des Untergrundsignals nur einen geringen Einfluss auf das Kalibrierungssignal. Ein größeres Prüfleck ermöglicht eine genauere Kalibrierung. Insbesondere bei der Erkennung kleiner Lecks sollte die für die Kalibrierung verwendete Leckrate größer sein als die Rückweisleckrate.



→ **Dokumentation und Rückverfolgbarkeit gewährleisten**

Leckstandards werden mit einem Kalibrierzertifikat geliefert, in dem die kalibrierte Leckrate, die Messunsicherheit sowie die Rückführbarkeit auf nationale Standards angegeben sind. Kalibrierzertifikate sind in der Regel ein Jahr lang gültig. Nach Ablauf dieses Zeitraums müssen die Leckstandards erneut zertifiziert werden. Lecks ohne gültige Zertifizierung sind für die Kalibrierung ungeeignet und stellen einen Verstoß gegen die Vorschriften dar.

Ordnungsgemäße Detektionsfähigkeit überprüfen

→ Kleinste nachweisbare Leckrate entsprechend der Rückweisleckrate überprüfen

Um zu überprüfen, ob die Abnahmekriterien erfüllt sind, ein Prüfleck verwenden, dessen Leckrate der Rückweisleckrate entspricht (abweichend vom Prüfleck). Die Überprüfung kann entweder mit einem an der Prüfkammer angebrachten Leck oder mit einem Dummy-Bauteil erfolgen, das dieselbe Rückweisleckrate aufweist. Wird ein Prüfleck an der Kammer verwendet, dieses an der Stelle anbringen, die am weitesten vom Detektor entfernt ist.



Auswahl an Einschraublecks – erhältlich mit einer individuell angepassten Leckrate entsprechend der Rückweisleckrate

Dieselben Parameter wie im Normalbetrieb (Messzeit, Prüfgaskonzentration) verwenden und überprüfen, ob das Prüfleck korrekt erkannt wird. Bei einstellbaren Einschraublecks ist darauf zu achten, dass der Fülldruck dem normalen Betriebsdruck entspricht.

→ Durch statistische Analyse ausreichende Wiederholbarkeit sicherstellen

Eine Messsystemanalyse (MSA) ist eine statistische Methode, mit der bewertet wird, wie genau, konsistent und zuverlässig ein Messsystem ist. Sie identifiziert Abweichungen, die durch Messgeräte, Verfahren, Bediener oder Umgebungsfaktoren verursacht werden, um sicherzustellen, dass die Messungen für die Qualitätskontrolle zuverlässig sind.

Gauge Repeatability & Reproducibility (GR&R)

Die GR&R gibt an, wie viel der Variation auf die Messgeräte (Repeatability – Wiederholbarkeit) und wie viel auf unterschiedliche Bediener (Reproducibility – Reproduzierbarkeit) zurückzuführen ist. Sie zeigt an, ob das Messsystem für die Qualitätskontrolle geeignet ist, indem sie den Anteil der Gesamtvariation angibt, der auf Messfehler zurückzuführen ist. Generell gelten Systeme mit einer GR&R unter 30 % als akzeptabel, während Systeme mit einer GR&R unter 10 % als sehr gut eingestuft werden.

Bei der Dichtheitsprüfung werden im Rahmen der GR&R mehrere Messungen an zehn Testteilen durch drei Bediener durchgeführt, um die Messschwankungen zu bewerten. Wenn Komponenten keine konsistenten Leckraten liefern können (z. B. Batteriezellen mit flüssigen Elektrolyten), können stattdessen zertifizierte Prüflecks verwendet werden. Da die Verwendung von Komponenten mit Leckraten, die sich über mehrere Dekaden erstrecken, aufgrund unterschiedlicher absoluter und relativer Fehler zu irreführenden Ergebnissen führen kann, sollten die Komponenten Leckraten aufweisen, die nahe an den Dichtheitskriterien liegen.

Fähigkeitsindizes für Prozess- und Messsysteme

Der Prüfmittelfähigkeitsindex (C_g) misst die Leistungsfähigkeit des Messsystems. Ein höherer C_g -Wert (in der Regel $\geq 1,33$) weist auf ein zuverlässiges Messgerät mit guter Genauigkeit hin. Der Index wird anhand der folgenden Formel berechnet:

$$C_g = \frac{0,2 \cdot T}{6\sigma}$$

Dabei ist T die Toleranz (zulässiger Schwankungsbereich) und σ die Standardabweichung. Der zugehörige Index C_{gk} berücksichtigt den Bias (Genauigkeit) des Messsystems und ermöglicht so eine umfassendere Beurteilung der Messfähigkeit. Dabei gilt Folgendes:

$$C_{gk} = \frac{0,1 \cdot T - |\bar{x}_g - x_m|}{3\sigma}$$

Hier bezeichnet \bar{x}_g den Messmittelwert und x_m den Prüfleckwert. Sowohl C_g als auch C_{gk} sollten bei einem voll funktionsfähigen System größer als 1,33 sein. Für eine ausführlichere Beschreibung verweisen wir auf die verfügbare Literatur.

→ Auf Drift und Rekalibrierungshäufigkeit (Langzeitwiederholbarkeit) prüfen

Zwar liefert die MSA einen guten Maßstab zur Beurteilung der kurzfristigen Wiederholbarkeit, doch ist es wichtig, auch die langfristige Wiederholbarkeit zu bewerten. Wenn das Signal des Dichtheitsprüfsystems im Laufe der Zeit langsam driftet, mag die kurzfristige Wiederholbarkeit zwar sehr gut sein, doch kann die Signalabweichung innerhalb einer Arbeitsschicht dennoch zu erheblichen Fehlern führen.

Bei der Überprüfung des Systems sollte darauf geachtet werden, dass die Leistung über mindestens eine Schicht hinweg überprüft wird, besser noch über einen oder zwei Tage. Dabei wird eine bekannte Leckrate in festgelegten Zeitabständen, z. B. alle zwei Stunden, gemessen. Das Maß der festgestellten Abweichung bestimmt, wie oft das Dichtheitsprüfsystem kalibriert werden muss. Ein System, das weniger häufig rekalibriert werden muss, ist benutzerfreundlicher und zudem zuverlässiger im Betrieb.

→ Ordnungsgemäße Wiederherstellung nach Groblecks sicherstellen

Das Erkennen eines Groblecks erhöht den Untergrund des Systems und kann in den folgenden Leckprüfzyklen zu einer eingeschränkten Detektionsleistung führen. Häufig wird vor dem Befüllen der Komponente mit Prüfgas eine Grobleckprüfung mittels Druckabfall durchgeführt.

Um das Verhalten des Prüfsystems zu bewerten, sollte ein Grobleck in der Größe der im Vortest ermittelten Nachweisgrenze für Groblecks an das System angelegt werden (was dem Worst-Case-Szenario entspricht). Anschließend sollte ein Prüfleck gemessen werden, um sicherzustellen, dass nach einem zuvor aufgetretenen Grobleck keine Lecks übersehen werden.

Bereit?



Ordnungsgemäße Kalibrierung sicherstellen

- Bei der Kalibrierung dieselbe Messdauer verwenden wie bei den Messungen
- Die Kalibrierung mit derselben Prüfgaskonzentration durchführen wie im normalen Prüfbetrieb
- Das Prüfleck in der Prüfkammer installieren
- Für die Kalibrierung ein Prüfleck verwenden, dessen Größe mindestens eine Dekade über dem Untergrundwert liegt
- Dokumentation und Rückverfolgbarkeit gewährleisten

Ordnungsgemäße Detektionsfähigkeit überprüfen

- Kleinste nachweisbare Leckrate entsprechend der Rückweisleckrate überprüfen
- Durch statistische Analyse ausreichende Wiederholbarkeit sicherstellen
- Auf Drift und Rekalibrierungshäufigkeit (Langzeitwiederholbarkeit) prüfen
- Ordnungsgemäße Wiederherstellung nach Groblecks sicherstellen