

Dichtheitsprüfung mit Laser

Robust und sicher

Dipl.-Phys. Gerhart Schroff, Dipl.-Ing. Michael Stetter

Die Anwendungsmöglichkeiten des optischen Dichtheitsprüfsystem ODS machen deutlich, wie flexibel automatisierte Qualitätskontrolle sein kann. Konzipiert für die industrielle Fertigung bietet das System die Möglichkeit des Nachweises sehr kleiner, bisher nur mittels Unterwasser- oder Helium-Dichtheitsprüfung feststellbarer Leckagen, bei gleichzeitig hoher Betriebssicherheit.

Bei dem optischen Dichtheitsprüfsystem ODS (Abb. 1) kommt das Prinzip der trockenen Dichtheitsprüfung (Patent angemeldet) zum Einsatz. Eine innerhalb des Meßkopfes angebrachte und mit dielektrisch beschichteten Fenstern versehene Nachweiszelle wird über einen CO₂-Wellenleiter-Laser geeignet beleuchtet. Wird die abgesaugte Umgebungsluft, die im Falle eines undichten Prüflings das aus diesem austretende Testgas enthält, in die Nachweiszelle gepumpt, so finden aufgrund der Anwesenheit des Testgases verschiedene Absorptionsprozesse statt. Stimmt man nun die Betriebsart sowie das Emissionsspektrum des verwendeten CO₂-Lasers auf das eingesetzte Testgas ab, so erlaubt diese Anordnung bei geeignet gewähltem Beleuchtungsstrahlengang eine eindeutige, hochempfindliche Konzentrationsbestimmung des Testgases.

Im Gegensatz zur konventionellen Absorptionsspektroskopie, bei der Verschmutzungen der Nachweiszelle und deren optischen Bauteilen durch Spuren von Staub, Feuchtigkeit oder Lösemitteln in der Praxis zu Fehlern bei der Konzentrationsbestimmung führen, ermöglicht das ODS einen robusten und sicheren Betrieb unter industriellen Bedingungen. Da zum Entstehen eines Signals innerhalb der Nachweiszelle mehrere Relaxationsprozesse im Gasgemisch ablaufen müssen, und da diese Relaxationsprozesse nur bei Vorhandensein von Testgas in geeigneter Weise zusammenspielen können, ist es mög-

lich – im Unterschied zur Absorptionsspektroskopie – eine beginnende Verschmutzung der Nachweiszelle zu erkennen und in weiten Bereichen bei der Konzentrationsbestimmung zu berücksichtigen. Somit haben Verschmutzungen nahezu keinen Einfluß auf die erzielten Meßwerte. Sollte dennoch einmal die Verunreinigung der Nachweiszelle zu stark ansteigen, wird dies dem Benutzer rechtzeitig angezeigt, so daß in der Regel durch diese Vorwarnung ein plötzlicher Ausfall des Systems verhindert werden kann. Dieses testgas-spezifische Meßprinzip ermöglicht bei Verwendung des inerten Testgases Schwefelhexafluorid (SF₆) eine eindeutige Detektion bis hin zu sehr geringen Konzentrationen von ca. 10 ppb (parts per billion; 10⁻⁹).

Das Ausgangssignal des Sensors ist annähernd proportional zur Testgaskonzentration in der Nachweiszelle und umfaßt mehrere Größenordnungen. Um diesen großen Dynamikbereich des Ausgangssignals der Nachweiszelle mit elektronischen Mitteln verarbeiten zu können, wurden programmierbare Verstärker und ein synchrones Detektionsverfahren (Lock-In-Technik) eingesetzt. Nur

so ist es gelungen, ein gutes Signal-Rausch-Verhältnis im gesamten Dynamikbereich von über 1 000 zu gewährleisten. Die jeweils notwendige Systemempfindlichkeit wird bei der Kalibrierung des Prüflings von einem Microcontroller automatisch eingestellt.

Systemkonzept

Das ODS besteht im wesentlichen aus zwei Einheiten: Dem Meßkopf und einer separaten Versorgungs- und Steuer-Elektronik. Abbildung 2 zeigt schematisch den prinzipiellen Aufbau des ODS. Im Meßkopf wurden der luftgekühlte CO₂-Laser, die von diesem beleuchtete Nachweiskammer sowie der empfindliche Meßverstärker des Detektors zu einer Einheit zusammengefaßt. Die Gasanschlüsse dienen dem Befüllen der Nachweiszelle mit dem zu untersuchenden Gasgemisch, das üblicherweise aus einer Prüfglocke (Testkammer), unter der sich der Prüfling befindet, abgesaugt wird. Der Laser und die Nachweiszelle werden von einem zentralen Microcontroller-Modul angesteuert.

Die Versorgungs- und Steuereinheit besteht neben dem Netzteil hauptsächlich aus einem speziell für das ODS entwickelten Microcontroller-Modul. Dieser Microcontroller überwacht ständig das Emissionsspektrum des Lasers, um das System jederzeit meßbereit zu halten.

Hierdurch wird gewährleistet, daß meist bereits eine Sekunde nachdem die Nachweiszelle mit Gas befüllt wurde, ein Meßwert vorliegt. Weiter werden über den Microcontroller die in der Qualitätssicherung immer wichtiger werdenden Eigenschaften, wie eine komfortable Bedienoberfläche, eine einfache Systemintegrationsfähigkeit durch Sy-



Abb. 1 Optisches Dichtheitsprüfsystem

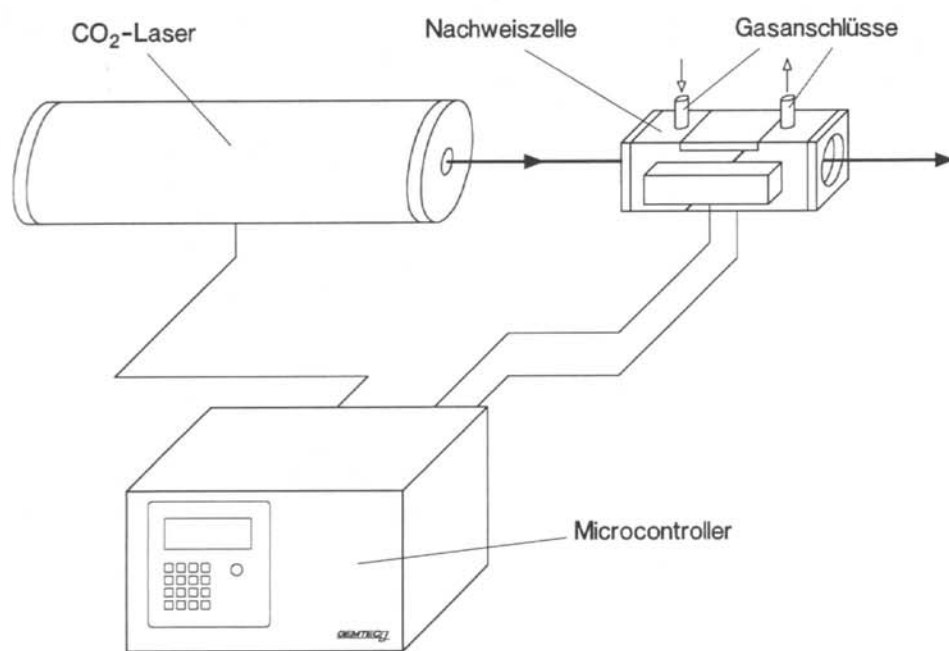


Abb. 2 Schematische Darstellung des ODS

stemschnittstellen, ein Selbstdiagnose-Modul sowie eine kontinuierlich geführte Störfall-Liste, realisiert.

Die Bedienung des ODS kann menügesteuert über eine Tastatur in Verbindung mit einer LCD-Anzeige direkt am Gerät erfolgen. Ein Schlüsselschalter gibt dabei die Master-Funktionen zur Systemkalibrierung bzw. Änderung von Systemparametern frei.

Alternativ hierzu kann das System über digitale 24-V-E/A-Leitungen, beispielsweise von einer SPS aus, oder über eine serielle RS232-Schnittstelle angesteuert werden. Um das ODS vor Überspannungen zu schützen, sind alle Systemschnittstellen galvanisch entkoppelt.

Da in der Praxis ein Dichtheitsprüfsystem schnell von einem auf andere Prüflinge umrüstbar sein muß, verfügt das ODS über 16 extern anwählbare Parametersätze, die entweder manuell editiert oder über die serielle Schnittstelle, beispielsweise von einem Rechner „heruntergeladen“ werden können. Bei der Kalibrierung des Systems mit einem Prüfling, dessen Leckage bekannt ist, bestimmt das System die Testgaskonzentration in der Nachweiszelle und ordnet sie automatisch dem entsprechenden Kalibrier-Leckwert zu.

Dies ist notwendig, da sich je nach Größe der Prüfanlage und damit des vorliegenden Totvolumens, der Taktzeit sowie der Kalibrier-Leckrate sehr unterschiedliche Testgaskonzentrationen ergeben können. Die jeweils automatisch ermittelte Leckrate der einzelnen Prüflinge sowie der Gesamtsystemzustand werden stets auf der LCD-Anzeige darge-

stellt und parallel dazu über die serielle Schnittstelle an einen angeschlossenen Protokoll-Drucker oder einen Rechner ausgegeben. Eine eingebaute Echtzeit-Uhr ermöglicht es, jede Prüfung mit einer „Zeitmarke“ zu versehen, so daß ein vollständiges Prüfprotokoll mit IO/NIO-Bewertung, Leckrate, Uhrzeit und Datum entsteht. Alle internen Systemfunktionen werden kontinuierlich vom Microcontroller überwacht. Insbesondere durch eine stetige Analyse des Laser-Emissionsspektrums können drohende Systemausfälle, beispielsweise hervorgerufen durch ein Verschmutzen der Nachweiszelle, wenn z. B. zu grobe Filter in den Zuleitungen der Nachweiszelle verwendet werden, bereits frühzeitig erkannt werden. Alle eventuell vorkommenden Fehler werden, wiederum zusammen mit Uhrzeit und Datum, gespeichert und sind nach Bedarf abrufbar.

Einfache Peripherie

Die integrale Dichtheitsprüfung wird eingesetzt, um beispielsweise die Dichtheit von Teilen von innen nach außen zu prüfen. Dies ist immer dann der Fall, wenn Behälter, Leitungssysteme oder auch Wärmetauscher getestet werden sollen, also Teile, die mit bestimmten Medien gefüllt sind, und es wichtig ist, daß diese Medien aus den jeweiligen Volumina nicht austreten können. Zur Dichtheitsprüfung mit dem ODS wird hierzu der Prüfling in eine Testkammer eingebracht und mit Druck beaufschlagt. Hierzu kann sowohl reines SF₆ als auch ein Gemisch aus Luft oder z. B. Stickstoff und SF₆ verwendet werden.

Die im Meßkopf enthaltene und mit der Testkammer über eine Leitung verbundene Nachweiszelle wird nun zusammen mit der Testkammer evakuiert.

Hierzu ist in den meisten Fällen ein über eine einstufige ölgedichtete Drehschieberpumpe leicht und schnell erreichbarer Absolutdruck von 10 bis 20 mbar ausreichend. Das bei Vorhandensein eines Lecks aus dem Prüfling austretende Testgas gelangt aufgrund des geringen Absolutdrucks sehr schnell in die Nachweiszelle und kann dort nach Belüften der Testkammer nachgewiesen werden.

Die Messung der Testgaskonzentration in der Nachweiszelle findet in der Regel bei Atmosphärendruck statt. Das Vakuum dient dazu, eine schnelle Diffusion des aus dem Prüfling austretenden Testgases zu ermöglichen. Durch die so erzielte hohe Diffusionsgeschwindigkeit wird sichergestellt, daß sich das aus dem Leck austretende Testgas homogen verteilt und somit der vom System ermittelte Leckagewert unabhängig sowohl vom Ort des Lecks als auch von der Geometrie des Prüflings ist.

Diese leicht erreichbaren Betriebseckdaten eines Dichtheitsprüfplatzes erlauben einen sicheren, präzisen und vor allem gut reproduzierbaren Prüfbetrieb. Da hierfür kein Hochvakuum notwendig ist, müssen auch nur mäßige Anforderungen an die Dichtheit des Prüfaufbaus (z. B. Testkammer usw.) gestellt werden.

Verbindungen der einzelnen Komponenten des Prüfaufbaus können somit meist mit in der Pneumatik eingesetzten Kunststoffschläuchen zusammen mit den dort üblichen Verschraubungen hergestellt werden.

Stellt man den Aufwand für einen mit einem ODS ausgerüsteten Dichtheitsprüfplatz vergleichend dem Aufwand eines herkömmlich betriebenen Prüfplatzes gegenüber, so werden die Vorteile des optischen Dichtheitsprüfsystems ODS gerade bei Leckagen von 10⁻² mbar l/s bis 10⁻⁶ mbar l/s sehr anschaulich deutlich.

Weitere Informationen KON 249