

Fotoakustischer Prüfgasnachweis bei der Lecksuche mit dem Integral- und Laserscanverfahren

Fachvortrag im Rahmen des
3. Fachseminars
Dichtheitsprüfung und Lecksuche
11. - 12. März 2003 im
DGZfP-Ausbildungszentrum Dortmund

Referent: Gerhart Schroff

GEMTEC Laseroptische Systeme GmbH
Otto-Hahn-Str. 3
D-71364 Winnenden

Telefon: 07195 / 911 2950
Fax: 07195 / 911 2959
email: info@gemtec-online.com
<http://www.gemtec-online.com>

Veranstalter:

Deutsche Gesellschaft für
Zerstörungsfreie Prüfung e.V.
Max-Planck-Str. 6
D-12489 Berlin

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

Fotoakustischer Prüfgasnachweis bei der Lecksuche mit dem Integral- und Laserscanverfahren

INHALT

1 Übersicht der Messverfahren

1.1 Prüfverfahren mit Luft

1.2 Testgas nachweisende Prüfverfahren

2 Fotoakustisches Gasnachweisverfahren

2.1 Optische Gasnachweissysteme zur integralen Dichtheitsprüfung

2.1.1 Optische Dichtheitsprüfung bei Umgebungs- oder Unterdruck

2.2 Optisches Laserscanverfahren

2.2.1 Funktionsprinzip des Laserscanverfahrens

2.2.2 Systemkonzept STS 400

3 Anwendungsbeispiele

3.1 Integrale optische Dichtheitsprüfung

3.2 Lecksuche mit dem Laserscanverfahren

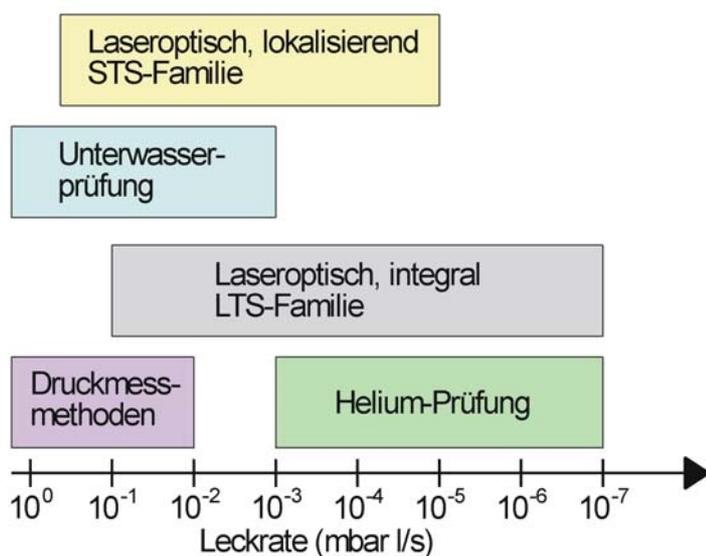
Dipl.-Phys. Gerhart Schroff, Dipl.-Ing. Michael Stetter

Fotoakustischer Prüfgasnachweis bei der Lecksuche mit dem Integral- und Laserscanverfahren

Die Dichtheitsprüftechnik ist ein wichtiger Aspekt in der industriellen Qualitätssicherung. Das Spektrum der zu prüfenden Erzeugnisse ist sehr breit. Genauso vielfältig wie die Produkte sind die Anforderungen an heutige Prüfsysteme. Für die Anwender ist es daher immer wichtiger das für die jeweilige Prüfaufgabe optimale Messverfahren zum Einsatz zu bringen.

1 Übersicht der Messverfahren

Um die Vielzahl der verschiedenen Anwendungsbereiche abdecken zu können, wurden im Laufe der Zeit viele verschiedene Verfahren entwickelt. Um die Einsatzmöglichkeiten der laseroptischen Messverfahren abschätzen zu können, ist es hilfreich, weitere gängige Verfahren zur Dichtheitsprüfung kurz anzusprechen.



Laseroptische Gasnachweissysteme kommen zum Einsatz, wenn:

- Druckänderungsverfahren nicht mehr eingesetzt werden können,
- Leckstellen berührungslos lokalisiert werden sollen.

Bild 1: Übersicht Dichtheitsprüfverfahren

1.1 Prüfverfahren mit Luft

Die einzelnen Verfahren zur integralen Dichtheitsprüfung lassen sich grundsätzlich in zwei Gruppen einteilen: Prüfungen mit oder ohne Testgas. Ohne Testgas kommen momentan Drucküberwachungsmethoden, Durchflussmethoden und Unterwasserprüfungen im großen Stil zum Einsatz. Alle Druck- und Durchflussmethoden setzen voraus, dass die zu prüfenden Prüflinge in der Prüfaufnahme ein konstantes Volumen einschließen. Ein mit Druck beaufschlagter Prüfling zeigt dann, aufgrund eines Lecks, einen Druckabfall über die Zeit, was als Maß für die Leckage verwendet wird. Im Gegensatz dazu wird bei der Durchflussmesstechnik versucht, den Druck im Prüfling konstant zu halten und die Menge der, infolge eines Lecks in den Prüfling nachströmenden Luft zu messen. Die Durchflussmethode kommt dabei hauptsächlich bei großen Leckagen zur Anwendung. Beide Verfahren stoßen an ihre Grenzen, sobald die Annahme des konstanten Volumens nicht mehr aufrecht erhalten werden kann. Manche Teile ändern ihr Volumen aufgrund der mechanischen Belastung durch den Prüfdruck so, dass sich auch ohne Leckagen Druckänderungen ergeben, bzw. bei konstant gehaltenem Druck Luft nachströmt. Ähnliche Effekte werden durch Temperaturänderungen der Prüflinge oder der Prüfluft während der Prüfung verursacht. Derartige Effekte haben zu verfeinerten Verfahren geführt, beispielsweise der Differenzdruckmethode, bei der gleichzeitig der Prüfling und ein dichtes Prüfobjekt mit Druck beaufschlagt werden und nur die Druckdifferenz zwischen beiden Prüflingen ausgewertet wird. Hierdurch lassen sich manche Temperatur- oder Volumeneffekte teilweise kompensieren. Derzeit werden Druckmethoden in der Industrie für Lecks bis ca. 10^{-2} mbar l/s eingesetzt. Druck- bzw. Durchflussmessgeräte sind am Markt derzeit für relativ wenig Geld erhältlich. Druckmethoden sind daher für vollautomatische Prüfanlagen bei Prüflingen mit mittleren bis großen Leckagen sehr ökonomisch.

Eine weitere, trotz ihrer Einfachheit oder gerade deswegen immer noch verbreitete Methode ist die Unterwasserprüfung. Wie beim Fahrradschlauch wird der Prüfling mit Druck beaufschlagt und unter Wasser gedrückt. Ein Beobachter sucht nach aufsteigenden Luftblasen. Diese sehr einfache Methode erlaubt es jedoch, noch relativ kleine Leckagen nachzuweisen (ca. 10^{-3} mbar l/s). Weitere Vorteile sind die relativ geringen Investitionskosten und die meist einfache Lokalisierbarkeit von Leckstellen. Dem stehen eine Reihe von Nachteilen gegenüber. Das Verfahren ist sehr personalintensiv, da nicht automatisierbar; die Ergebnisse sind subjektiv und die Prüflinge sind nach der Prüfung nass und müssen getrocknet werden.

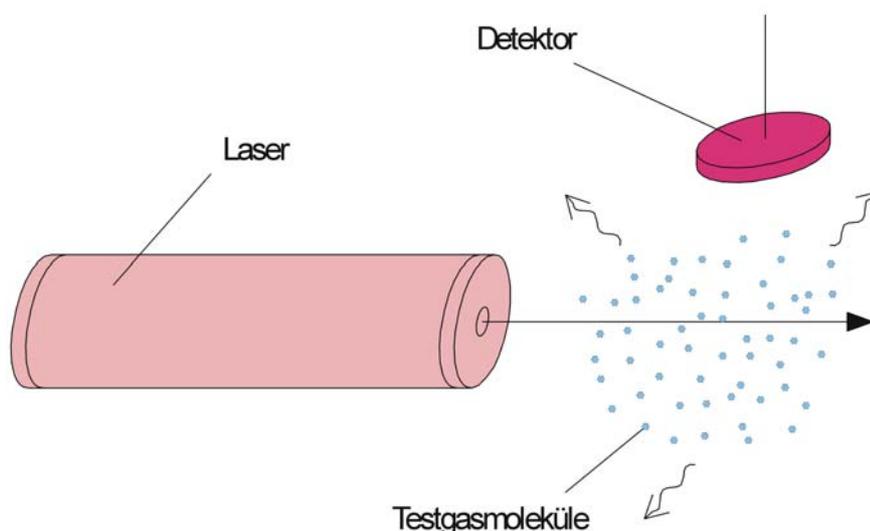
1.2 Testgas nachweisende Prüfverfahren

Die zweite Gruppe der Dichtheitsprüfverfahren bilden die Verfahren mit Testgas. Allen Verfahren gemeinsam ist, dass die Prüflinge mit einem Testgas bedrückt, die Testkammer zur schnelleren Verteilung des Testgases häufig evakuiert und die Umgebung der Prüflinge auf das Testgas hin untersucht wird. Als Testgase kommen Helium, Kältemittel oder auch Wasserstoff zum Einsatz. Hierzu werden beispielsweise bei Helium Massenspektrometer (Helium-Lecktester) eingesetzt. Die in das Massenspektrometer eingeleiteten Moleküle werden ionisiert und die Konzentration der Helium-Moleküle, welche als Maß für die zu messende Leckage verwendet wird, bestimmt. Theoretisch lassen sich auf diese Art und Weise

Leckagen bis ca. 10^{-11} mbar l/s nachweisen. Im industriellen Einsatz lassen sich Leckagen bis ca. 10^{-6} mbar l/s nachweisen. Voraussetzung hierfür sind allerdings saubere und trockene Prüflinge, was im Wesentlichen mit dem notwendigen Hochvakuum (ca. 10^{-5} mbar) für das Massenspektrometer und (ca. 0,01 - 1 mbar) für die, den Prüfling umgebende, Testkammer zusammenhängt. Derart niedrige Drücke lassen sich nur durch relativ aufwendige Vakuumpumpen erzeugen. Aufgrund des niedrigen Drucks im Massenspektrometer muss ein versehentliches Fluten durch entsprechende konstruktive Maßnahmen in der Prüfanlage vermieden werden. Die integrale Dichtheitsprüfung mit Massenspektrometern ist daher relativ aufwendig und teuer. Eine interessante Alternative bilden laseroptische Dichtheitsprüfsysteme.

2 Fotoakustisches Gasnachweisverfahren

Die laseroptischen Dichtheitsprüfsysteme von GEMTEC arbeiten optisch mittels Laserstrahlung. Als Testgas wird bei diesen optischen Gasnachweissystemen häufig das Inertgas Schwefelhexafluorid (SF_6) verwendet, als Laser ein darauf abgestimmter CO_2 -Wellenleiterlaser.

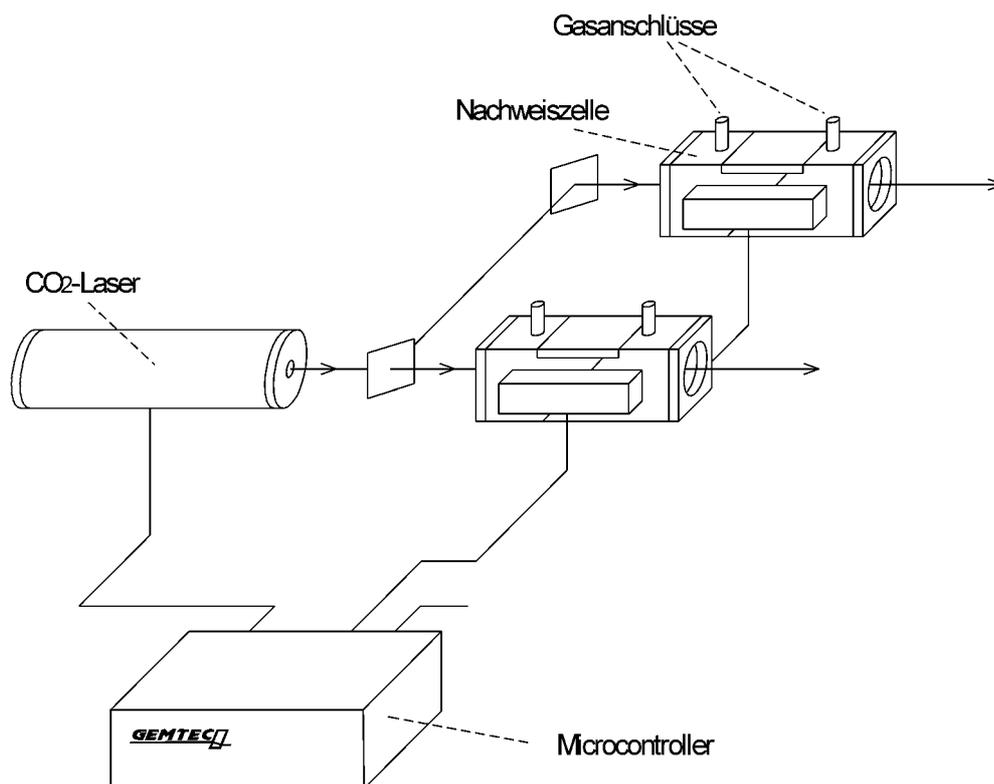


- Bestimmung der Testgaskonzentration in der Gasphase (Anlagerungseffekte an Oberflächen werden vermieden).
- Testgaskonzentration kann in einem weiten Druckbereich (10 - 1000) mbar bestimmt werden.
- Hohe Nachweisempfindlichkeit auch bei rauen Umgebungsbedingungen.

Bild 2: Laseroptisches Messprinzip

2.1 Optische Gasnachweissysteme zur integralen Dichtheitsprüfung

Wie bei allen integralen Gasnachweissystemen wird Gas aus der Umgebung des mit dem Testgas bedrückten Prüflings entnommen und durch die Gasanschlüsse in die Nachweiszelle verbracht. Die Nachweiszelle verfügt über Fenster, durch die Laserstrahlung eindringen kann. Bei Vorhandensein des Testgases in der Nachweiszelle kann mittels des fotoakustischen Effektes dessen Konzentration bestimmt und daraus dann die Leckrate berechnet werden.

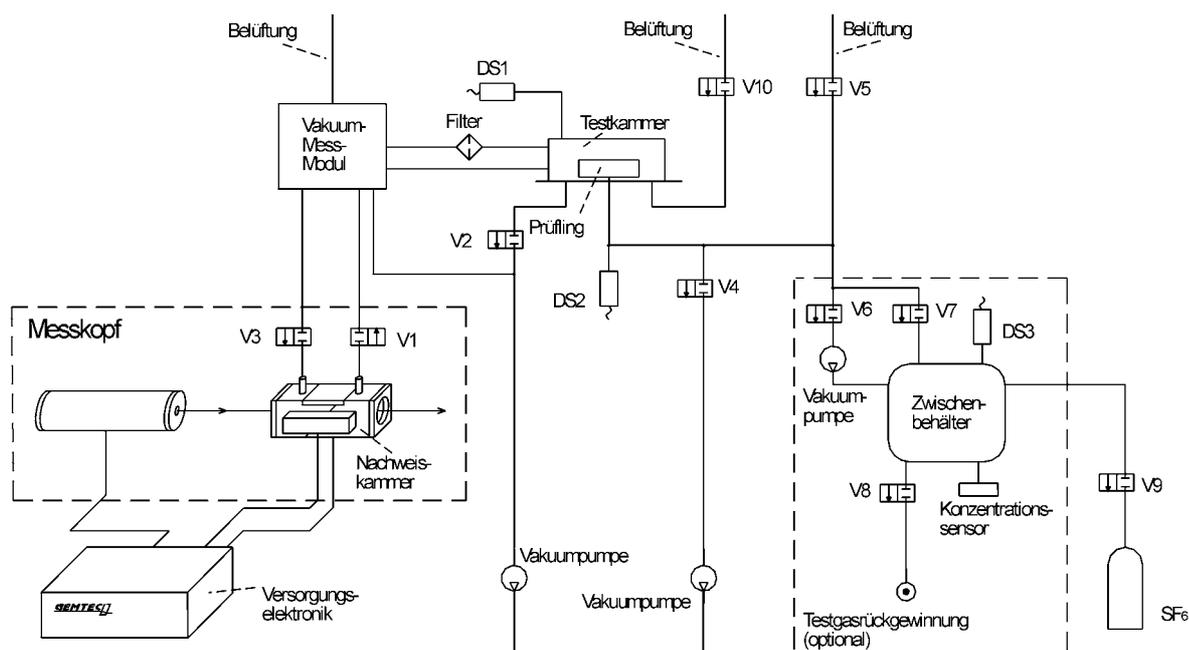


- Kompakter, robuster optischer Aufbau.
- Mit bis zu zwei unabhängig betreibbaren Nachweiszellen.
- Einfache Anbindung an Prüfanlagen durch in der Pneumatik übliche Komponenten.

Bild 3: Prinzipschema integraler Prüfsysteme

2.1.1 Optische Dichtheitsprüfung bei Umgebungs- oder Unterdruck

Ein wesentlicher Vorteil fotoakustischer Dichtheitsprüfsysteme besteht darin, dass die Messung der Testgaskonzentration auch bei Atmosphärendruck stattfinden kann und die Messwerte weder von der Temperatur noch von dem Prüflingsvolumen abhängen. Wird die den Prüfling umgebende Testkammer evakuiert, so ist hierfür bereits ein Vakuum von ca. 10 - 20 mbar, das einfach und schnell erreicht werden kann, ausreichend.

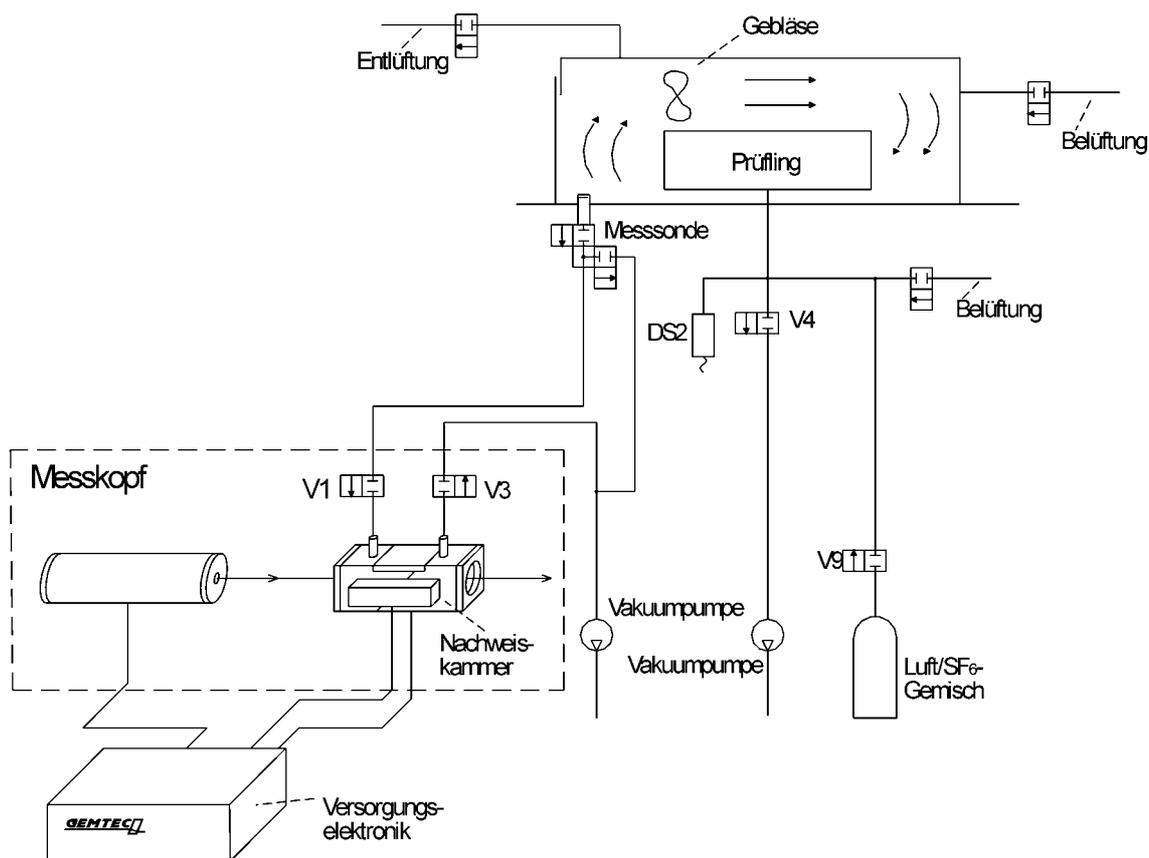


- Einfacher, robuster Anlagenbau.
- Hohe Nachweisempfindlichkeit bei gleichzeitig kurzen Taktzeiten.
- Geringe Anforderungen an die Vakuumtechnik (Druck in Testkammer > 10 mbar).

Bild 4: Prinzipieller Aufbau zur Dichtheitsprüfung mit Vakuum

Bei einer Prüfung bei Atmosphärendruck wird, zur schnelleren Verteilung des Testgases, die in der Testkammer befindliche Umgebungsluft mittels einfacher Gebläse verwirbelt. Bei einer Nachweisempfindlichkeit von 10 ppb ($= 10^{-8}$) können unter rauen industriellen Bedingungen noch Leckagen bis ca. 10^{-6} mbar l/s sicher detektiert werden.

Laseroptische Dichtheitsprüfsysteme sind letztendlich auf Grund des völlig unkritischen Vakuumendrucks bzw. der Möglichkeit auch bei Atmosphärendruck das Nachweissystem betreiben zu können, sehr ökonomisch und robust gegenüber verschmutzten oder feuchten Prüflingen. Die gesamte Prüfanlage kann üblicherweise mit normalen Pneumatik-Artikeln wie Ventilen und Kunststoff-Schläuchen aufgebaut werden. Zum Abdichten genügen gewöhnliche O-Ringe, als Vakuum-pumpe ist in der Regel eine einfache ölgedichtete Drehschieberpumpe ausreichend. Auch brauchen keine aufwendigen Vorkehrungen gegenüber Groblecks getroffen werden, da die Nachweiskammer des Lasersystems sehr schnell und effektiv bei Atmosphärendruck gespült werden kann.



- Einfachster, robuster Anlagenbau.
- Bietet die Möglichkeit, vor allem große Prüflinge mit geringem Aufwand auf Dichtheit zu überprüfen.
- Hohe Nachweisempfindlichkeit, auch bei nicht vakuumfesten Prüflingen.

Bild 5: Prinzipieller Aufbau zur Dichtheitsprüfung bei Atmosphärendruck

2.2 Optisches Laserscanverfahren

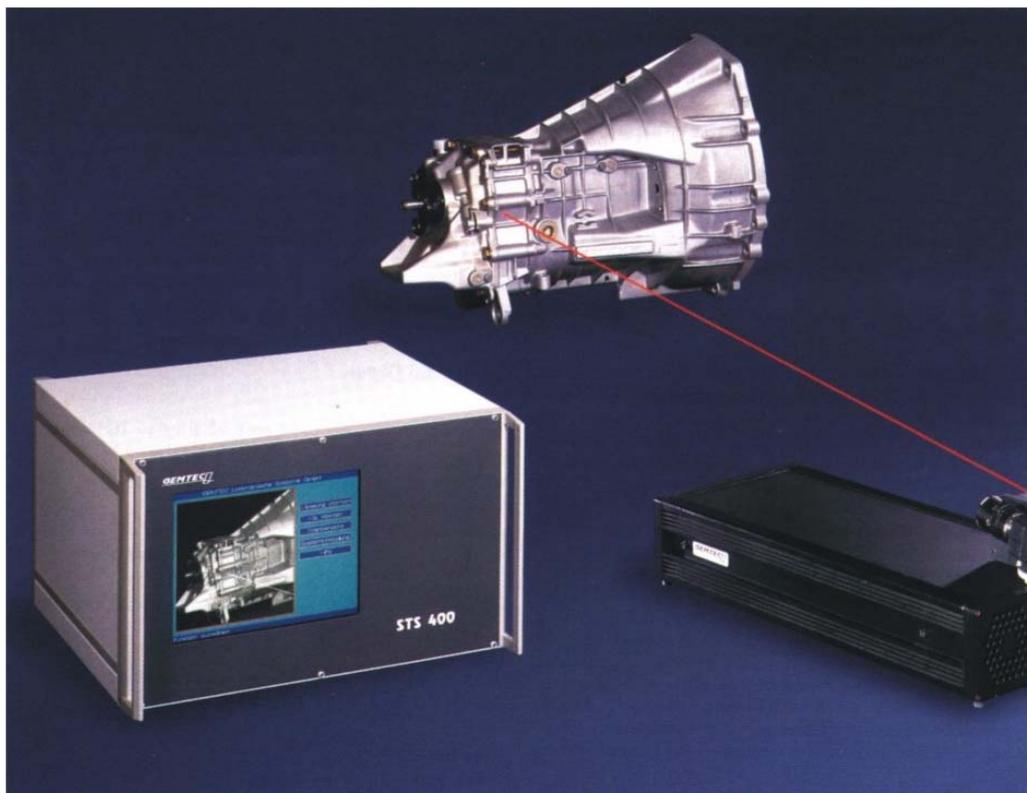
Preiswerte Massenprodukte die durch eine integrale Dichtheitsprüfung als undicht erkannt worden sind, werden in aller Regel nicht nachgearbeitet. Bei aufwendigen Produkten, wie beispielsweise PKW-Motoren, kann natürlich nicht so verfahren werden. Es besteht die Notwendigkeit, den genauen Ort der Leckstellen ausfindig zu machen um diese Lecks dann beheben zu können.

Bei allen bisher bekannten lokalisierenden Verfahren werden die Prüfobjekte mittels Luft oder Testgas mit Druck beaufschlagt. Ein einfaches Verfahren zur Lokalisierung ist die Unterwasserprüfung. Ist diese nicht möglich oder nicht gewünscht, so kann der unter Druck stehende Prüfling mit einer seifenartigen Flüssigkeit besprüht werden, so dass die Leckstellen durch Blasenbildung sichtbar werden.

Insbesondere bei großen Prüflingen und kleinen Leckagen kommen die sogenannten Schnüffelverfahren zum Einsatz. Dabei wird manuell, oder auch mittels

eines Roboters, eine Schnüffelsonde, d.h. eine Kapillare, durch die Gas eingesaugt wird, an die vermuteten Leckstellen des Prüflings gehalten. Bei vorhandenem Leck wird das aus dem Leck austretende Testgas mit eingesaugt und durch einen Detektor nachgewiesen. Als Detektor kommen Massenspektrometer, laser-optische Gasnachweissysteme oder Halbleitersensoren zum Einsatz. Dementsprechend können als Testgas unter anderem Helium, SF₆, Wasserstoff oder verschiedene Kältemittel verwendet werden.

Die lokalisierende Dichtheitsprüfung mittels des optischen Laserscanverfahrens von GEMTEC ermöglicht eine flexible automatisierte Qualitätskontrolle.



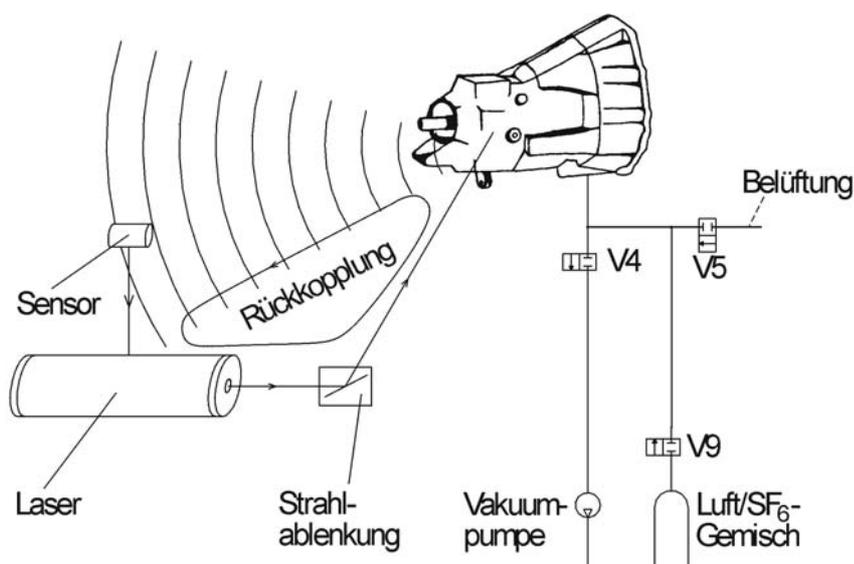
- Ersatz für Unterwasserprüfung
- Quantifizierung der Leckraten
- Visualisierung des Messprozesses

Bild 6: Lecklokalisierungssystem STS 400

Integriert in industrielle Fertigungsprozesse eröffnen diese optischen Leckortungssysteme gerade bei einer breiten Produktvielfalt künftig völlig neue Perspektiven in der industriellen Qualitätssicherung.

2.2.1 Funktionsprinzip des Laserscanverfahrens

Bei dem optischen Laserscanverfahren kommt ein neuartiges optisches Rückkopplungsprinzip zur lokalisierenden Dichtheitsprüfung (Patent angemeldet) zum Einsatz. Zur Detektion von Leckagen wird das Prüfobjekt mit einem Laserstrahl abgerastert. Der Strahl wird, in analoger Weise zu dem Elektronenstrahl einer Bildröhre, über das Prüfobjekt oder Teilbereiche des Prüfobjektes geschwenkt. Das an den Leckstellen des Prüfobjektes austretende Testgas wird nun genau dann das Licht des Laserstrahls absorbieren, wenn der Laserstrahl eine Leckstelle beleuchtet. Die so optisch angeregten Testgasmoleküle verlieren diese aufgenommene Energie allerdings sehr schnell wieder und treten somit mit Ihrer Umgebung in direkte Wechselwirkung. Hierzu können die unterschiedlichsten Relaxationsprozesse, wie etwa die der Fluoreszenzstrahlung oder die der Fotoakustik zugrundeliegenden beitragen. Das beleuchtete Testgas kann nun so auf das optische Dichtheitsprüfsystem rückkoppeln, dass sich das Testgas sicher und schnell detektieren lässt.



- Physikalisches Messprinzip: Fotoakustik
- Rückkopplungsprinzip ermöglicht die eindeutige Detektion des verwendeten Testgases auch bei starken Hintergrundgeräuschen.
- Großer Arbeitsabstand (bis zu 2,5 m) möglich.

Bild 7: Prinzipschema Laserscanverfahren

Im Gegensatz zu konventionellen spektroskopischen Gasnachweisverfahren, bei welchen etwa Hintergrundstrahlung oder auch elastische Streuvorgänge an Staubpartikeln, am Prüfling, oder sonstigen Oberflächen zu Fehlern bei der Testgasdetektion führen können, ermöglicht das im STS 400 verwirklichte

optische Rückkopplungsprinzip einen robusten und sicheren Betrieb unter industriellen Bedingungen.

Da zum Entstehen einer Rückkopplung auf das optische System ganz bestimmte, testgasspezifische Relaxationsprozesse in dem von dem Laserstrahl beleuchteten Untersuchungsvolumen ablaufen müssen, kann aus dem Auftreten dieser Rückkopplung sicher zwischen dem zu detektierenden Testgas und der, das Laserlicht ebenfalls teilweise absorbierenden Prüfobjektoberfläche unterschieden werden. Der Rückkopplungskreis beinhaltet die zur Beleuchtung des Untersuchungsvolumens notwendige Strahlquelle, bestehend aus dem Laser und der zum Verschwenken des von dem Laser erzeugten Laserstrahls notwendigen Strahlableitungseinheit, einen empfindlichen Detektor (im Falle des STS 400 ein spezielles, entsprechend empfindliches Mikrofon) und eine Regeleinheit. Wird nun bei dem Verschwenken des Laserstrahls über das Prüfobjekt das aus einem Leck am Prüfobjekt ausgetretene Testgas beleuchtet, so entstehen testgasspezifische Signale. Der Detektor registriert diese Signale zusammen mit den immer vorhandenen Hintergrundsignalen. Die Regeleinheit liefert ein Ausgangssignal, welches sich immer dann ändert, wenn in den von dem Detektor registrierten Signalen charakteristische Merkmale enthalten sind, welche die in den Testgasmolekülen ablaufenden Abregungsprozesse auszeichnen. Dies geschieht in der Art, dass ein abgeändertes - beispielsweise vergrößertes - Ausgangssignal den Betriebszustand der Strahlquelle so abändert, dass bei Vorhandensein solcher testgasspezifischer Signalanteile die Analyse der von dem Detektor gelieferten elektrischen Signale durch die Regeleinheit zu einem weiter abgeänderten - also weiter vergrößerten - Ausgangssignal führt, was dann wiederum zu einem noch weiter geänderten Betriebszustand der Strahlquelle führt und dadurch eine noch weitere Abänderung - noch weitere Vergrößerung - des Ausgangssignals der Regeleinheit nach sich zieht, usw..

Dieses im STS 400 verwirklichte Rückkopplungsverfahren ist, abstrakt gesehen, sehr eng mit der Erkenntnis verknüpft, dass das Vorhandensein eines Lautsprechers im Erfassungsbereich eines Mikrophons sehr leicht dadurch erkannt werden kann, indem der Lautsprecher von dem verstärkten Ausgangssignal des Mikrophons angesteuert wird, was zu einer dann akustischen Rückkopplung führt, wobei sich üblicherweise ein "Pfeifton" einstellt. Dieser Effekt ist beispielsweise aus öffentlichen Veranstaltungen oder aus Rundfunksendungen mit telefonischer Beteiligung der Hörer allgemein bekannt. Übertragen auf das optische Rückkopplungsverfahren bedeutet dies dann, dass, hervorgerufen durch Intensitätsänderungen des Laserlichtes, an dem aus dem Leck austretenden Testgas Abregungsprozesse induziert werden. Diese von dem Detektor registrierten Signale beeinflussen dann die Intensitätsänderung des Laserlichtes, was wiederum, bei vorhandenem Leck, zu charakteristischen Signalen am austretenden Testgas führt, so dass ein vom Laserstrahl beleuchtetes Leck zu einer Oszillation dieses Rückkopplungskreises führt. Da jedes aus der Physik bekannte optische Gasnachweisverfahren für ein solches Rückkopplungsverfahren zum Zwecke der Leckdetektion herangezogen werden kann, ist es im Prinzip möglich, nahezu jedes technisch relevante Gas nachzuweisen. Für den rauen industriellen Einsatz sind für die Dichtheitsprüfung vor allem das Inertgas SF_6 und das Gas C_2H_4 aufgrund ihrer hervorragenden Nachweisempfindlichkeit unter Verwendung des fotoakustischen Effektes als optisches Gasnachweisverfahren sehr gut geeignet.

2.2.2 Systemkonzept STS 400

Das optische Leckortungssystem STS 400 setzt sich aus dem Messkopf und einer separaten Versorgungs- und Steuerelektronik zusammen. Der Messkopf umfasst einen luftgekühlten CO₂-Wellenleiterlaser sowie die zum Verschwenken des Laserstrahls notwendige Strahlableitungseinheit (Scanner). Dem für das menschliche Auge unsichtbaren Laserstrahl des CO₂-Lasers ist ein roter Laserstrahl überlagert, so dass das Abrastern des Prüfobjektes visuell nachvollzogen werden kann. Eine am Messkopf angebrachte CCD-Kamera erlaubt die Darstellung des Prüfobjektes auf einem Bildschirm.

Ein Mikrocontroller erfasst die bei einer Prüfung gewonnenen Daten und macht sie dem Anwender in Form eines "Leckstellenbildes" zugänglich. Dieses Leckstellenbild wird nun dem von der CCD-Kamera gelieferten Bild des Prüfobjektes überlagert. An den Stellen, an denen Leckagen erkannt wurden, wird das auf dem LCD-Bildschirm dargestellte Prüfobjekt farbig markiert. Dem Benutzer ermöglicht dies eine einfache visuelle Beurteilung des Prüfvorganges. Über eine Monitorbuchse kann dieses auf dem Bildschirm dargestellte Prüfergebnis beispielsweise über einen externen Video-Drucker als Prüfprotokoll für eine Nacharbeit ausgegeben werden.

Ergänzend zu dieser Möglichkeit der visuellen Inspektion der Leckstellen anhand des Leckstellenbildes erlaubt das System einen vollautomatischen Prüfbetrieb mittels einer seriellen RS232-Schnittstelle oder Profibus DP. Wesentlich für diese einfache Möglichkeit der Einbindung in einen automatisierten Produktionsablauf ist die Möglichkeit, für einen Einrichtbetrieb am Bildschirm verschiedene Scanbereiche durch das Aufziehen entsprechender Fenster definieren und durchnummerieren zu können. Für jeden so definierten Bereich findet dann eine getrennte IO/NIO-Bewertung statt. Es kann beispielsweise jeder einzelnen Dichtstelle ein separater Scanbereich zugeordnet werden. Diese Vorgehensweise führt somit auch zu einer deutlichen Reduzierung der Prüfzeit immer dann, wenn Teilbereiche des Prüfobjektes nicht abgescannt werden müssen, beispielsweise wenn diese bereits als Einzelteile vorab schon geprüft wurden.

Zur Systemkalibrierung kann in aller Regel ein Prüfling mit bekannten Leckagen verwendet werden. Es wird dann die Größe der das Testgas enthaltenden Bereiche ermittelt und automatisch dem entsprechenden Kalibrierleckwert zugeordnet. Dies ist notwendig, da sich je nach Größe des Prüflings, aber auch in Abhängigkeit der konkreten Vorgaben durch die Prüfanlage unterschiedlich große Testgas enthaltende Bereiche ergeben können. Unabdingbar für jedes in der industriellen Qualitätssicherung eingesetzte System ist heutzutage sowohl ein robustes Design, als auch eine einfache und übersichtlich gehaltene Bedienoberfläche. Im STS 400 sind ferner folgende Systemfunktionen realisiert: Ein integriertes Selbstdiagnosemodul, eine Master-Funktion, verschiedene Prüfparametersätze, galvanisch entkoppelte und überspannungsgeschützte Schnittstellen, eine interne Echtzeit-Uhr, eine Option zur Ferndiagnose sowie ein Fehlerspeicher. Hierdurch wird in der Regel ein einfacher und sicherer Betrieb, aber auch eine lückenlose Dokumentation aller internen Systemparameter sichergestellt.

3 Anwendungsbeispiele

3.1 Integrale optische Dichtheitsprüfung

Bild 8 zeigt die Testkammer mit Prüflingsaufnahme und Adaptionseinheit zur integralen Dichtheitsprüfung von zylindrischen Prüflingen. Die Nachweisgrenze lag bei 10^{-8} mbarl/s bei einem Testkammerdruck von 10 mbar und einem Testgasanteil von 30% (SF_6 in N_2) im Prüfling. Der Prüfling wurde für 10 Sekunden mit Druck beaufschlagt.

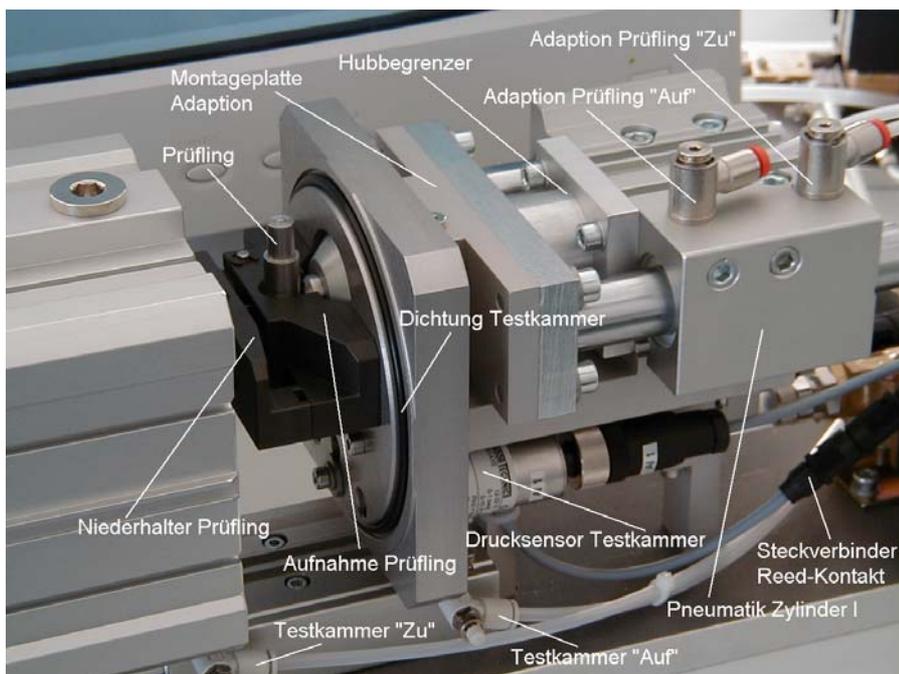


Bild 8: Testkammer mit Prüflingsaufnahme

Die Prüfvorrichtung wurde als einfacher Handarbeitsplatz ausgelegt. Bild 9 zeigt

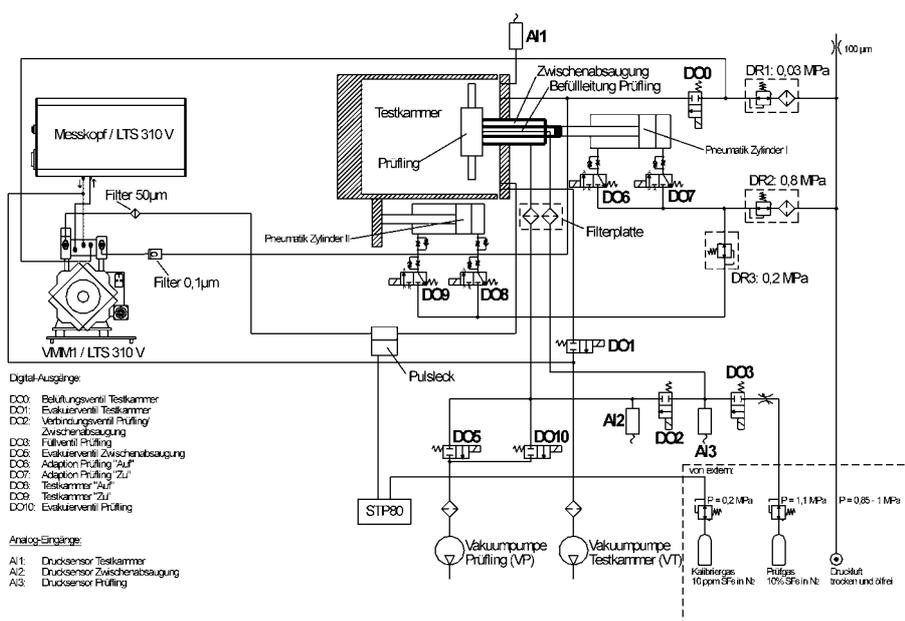


Bild 9: Pneumatikplan der Prüfeinrichtung

den Pneumatikplan der Prüfeinrichtung. Der Prüfablauf wurde über einen PC gesteuert und die Ergebnisse sowie der Prüfablauf dokumentiert.

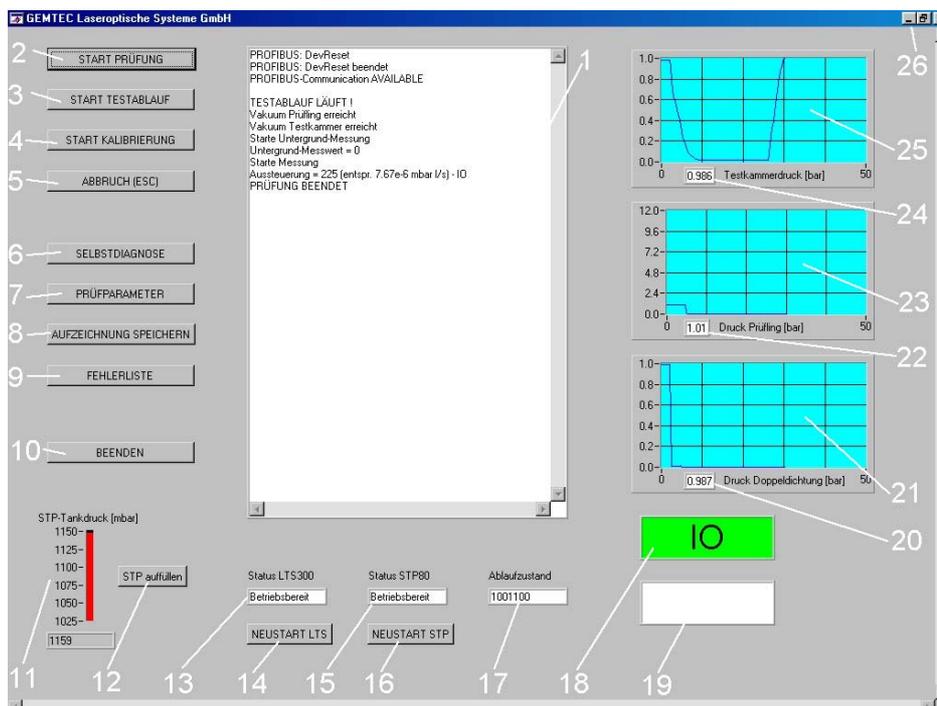


Bild 10: Bedienoberfläche

In Bild 10 ist die Bedienoberfläche abgebildet. Alle für den Betrieb notwendigen Größen wie etwa Druckverläufe oder der Zustand des Prüfablaufs werden angezeigt. Die für die Prüfung relevanten und dem Bediener zugänglichen Parameter sind in Bild 11 dargestellt.

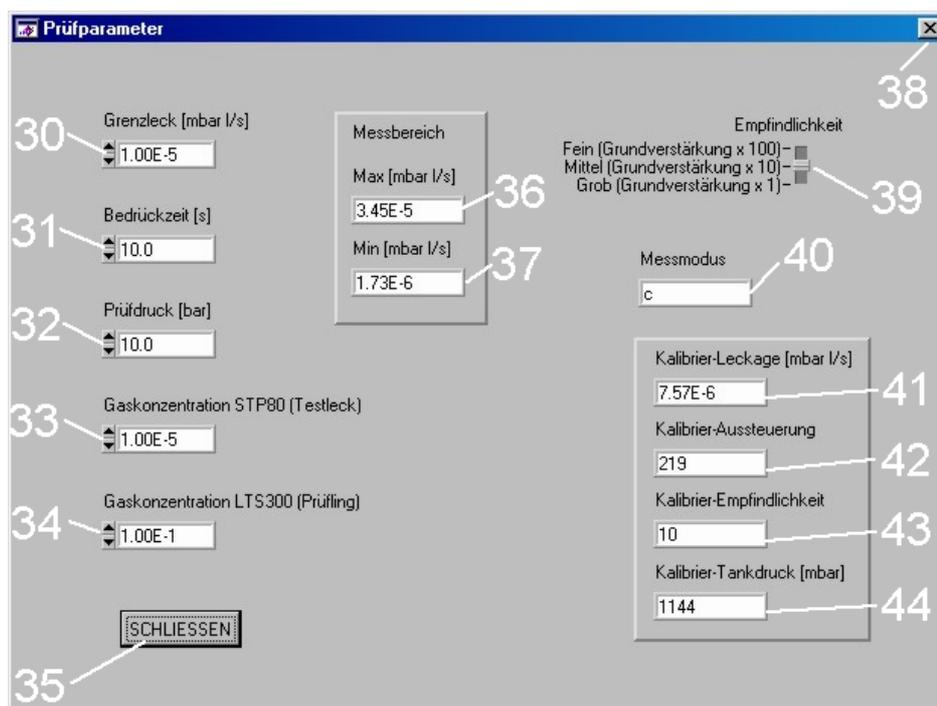


Bild 11: Bildschirm Prüfparameter

Bild 12 zeigt eine typische Messreihe mit einem Kalibrierleck. Das Kalibrierleck war bei den Messungen Nummer 1 bis 9 und 15 bis 23 zugeschaltet und bei den Messungen 10 bis 14 nicht zugeschaltet. Als Prüfling wurde ein dichter Dummy in die Prüfvorrichtung eingelegt (siehe auch Bild 8).

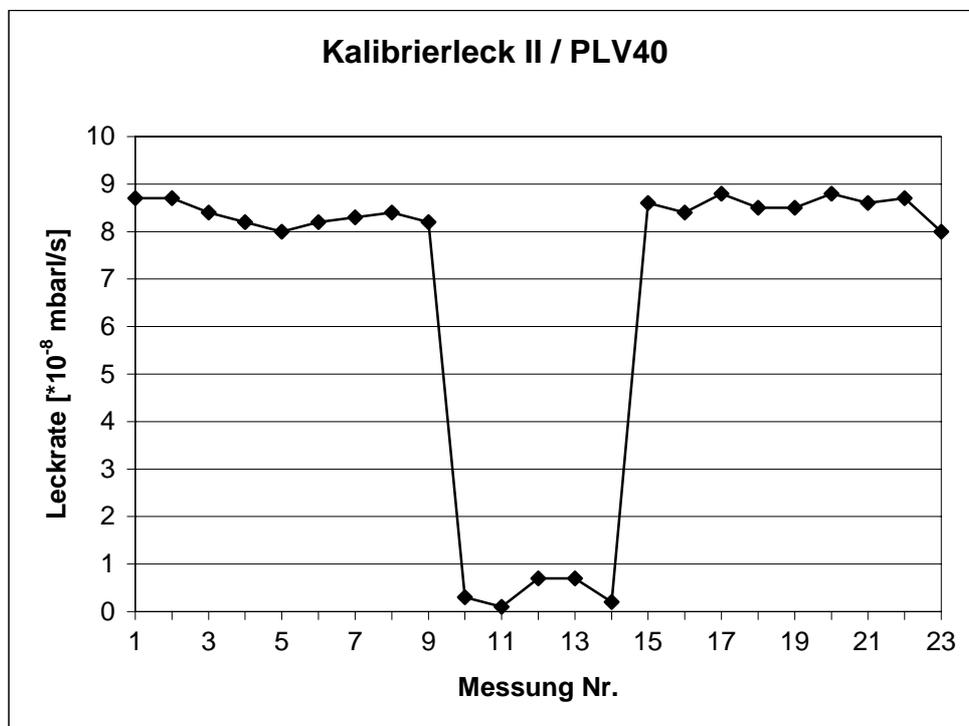


Bild 12: Messreihe mit Kalibrierleck

Die Prüflingsadaption war mit einer Zwischenabsaugung ausgestattet. Somit konnte von der Adaptionstelle kein Testgas in die Prüfkammer gelangen. Die Zwischenabsaugung wurde so dimensioniert, dass Leckraten von bis zu 1 mbarl/s an der Adaptionstelle sicher durch diese abgesaugt werden konnte.

3.2 Lecksuche mit dem Laserscanverfahren

Um an PKW-Motoren die Dichtheit der Kraftstoff führenden Komponenten am Kompletmotor mittels des Laserscanverfahrens durchführen zu können, wurde dem Kraftstoff (Diesel) das Testgas (SF_6) in einem Mischtank beigemischt und die Kraftstoff führenden Komponenten des Motors mit dem so präparierte Kraftstoff befüllt und auf Betriebsdruck (bis zu 1300 bar) gebracht. An einer undichten Stelle tritt dann der Kraftstoff aus und setzt das gelöste Testgas wieder frei. Die freigesetzte Menge an Testgas ist somit ein eindeutiges Maß für die Leckrate. Bild 13 zeigt die gewählte Scananordnung. Der Messkopf des STS 400 wurde oberhalb des Motors angeordnet, um einen einfachen Aufbau zu erhalten. Die Detektoren wurden über den Kraftstoff führenden Komponenten platziert.

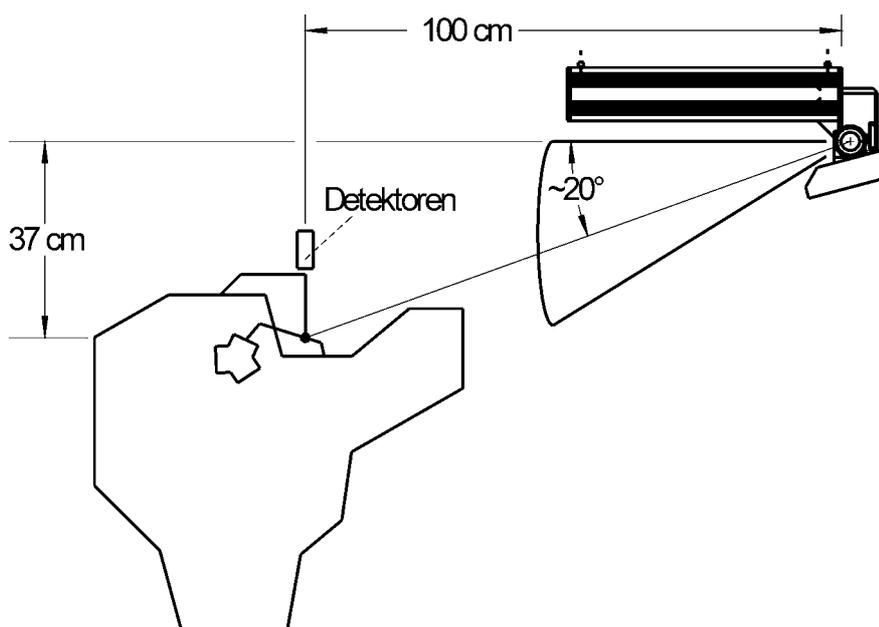


Bild 13: Scanposition STS 400 an PKW-Motor

Zum Nachweis der Machbarkeit dieses Prüfverfahrens wurden ausführliche Versuchsreihen an PKW-Motoren durchgeführt. Um ein Verwehen des an Leckstellen freigesetzten Testgases zu unterdrücken, wurde der Prüfling in eine Testkammer verbracht. Bild 14 zeigt eine typische Messreihe an einer undichten Verschraubung bei geschlossener Testkammer. Wie wichtig die richtige Auslegung und Dimensionierung der Testkammer ist, wird deutlich, wenn eine Seitenverkleidung der Testkammer entfernt wird. Diese Situation liegt der Messreihe in Bild 15 zugrunde. Obwohl die Luft in der Umgebung des Testaufbaus in Ruhe war, wurde die Messreihe durch die bei offener Testkammer kaum zu unterdrückende Konvektionsströmung deutlich sichtbar beeinflusst.

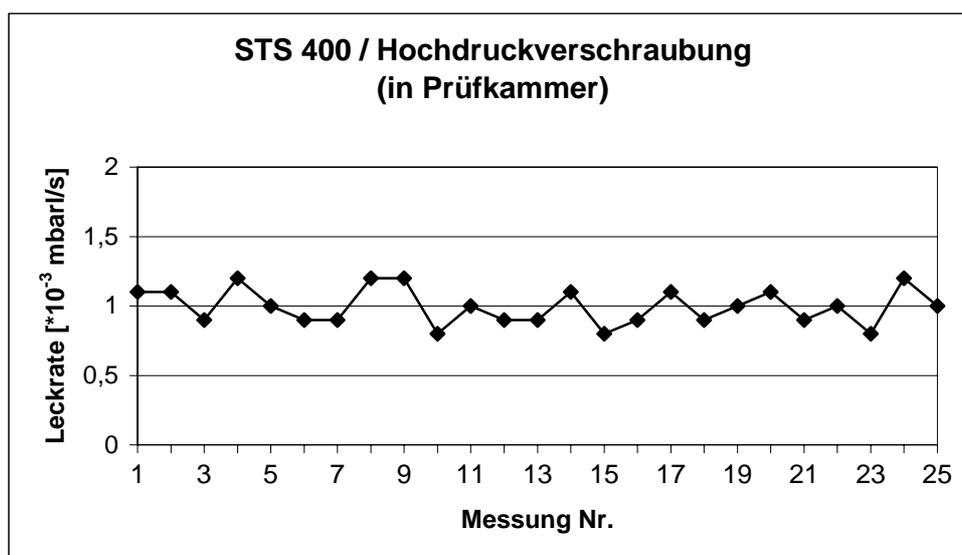


Bild 14: Messreihe mit geschlossener Testkammer

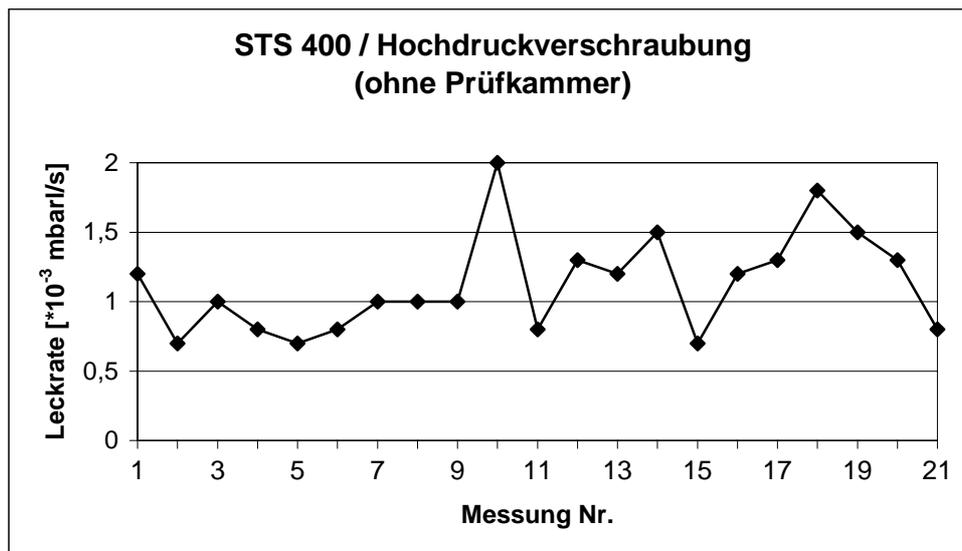
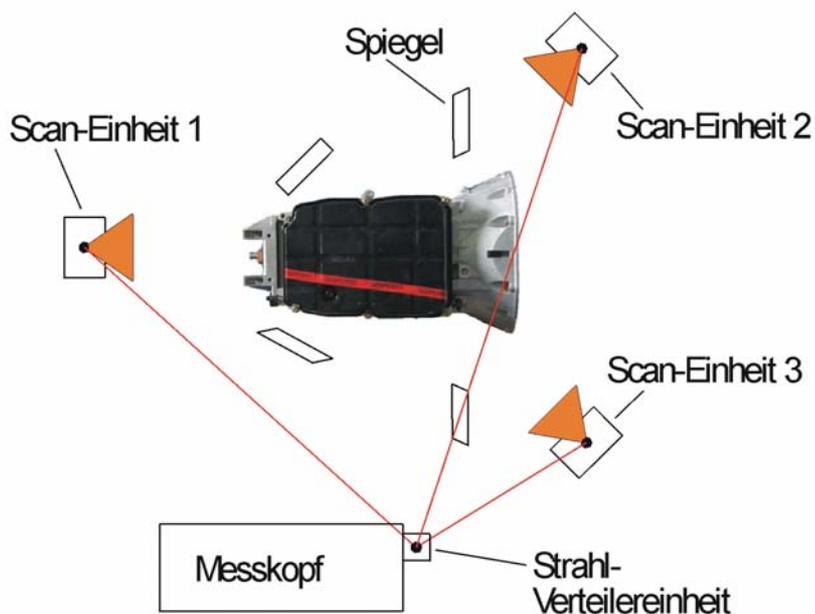


Bild 15: Messreihe mit offener Testkammer

Ein weiteres Anwendungsbeispiel, das ausführlich untersucht wurde, ist die lokalisierende Dichtheitsprüfung von PKW-Getrieben. Hierzu wird der Prüfling definiert mittels Testgas mit Druck beaufschlagt. Je nach Größe der zu detektierenden Leckagen kann zum Beaufschlagen des Prüflings mit Druck auch ein Gemisch aus beispielsweise Luft oder Stickstoff mit dem jeweiligen Testgas verwendet werden. Damit die Leckagen detektiert werden können, muss sichergestellt sein, dass das Testgas an die Prüflingaußenseite gelangt und dort mittels des Laserstrahls beleuchtet werden kann. Dies ist in der Regel durch ein hinreichend langes Bedrücken des Prüfobjektes mit Testgas einfach sicherzustellen. Für den Fall, dass nicht alle zu prüfenden Bereiche des Prüflings direkt aus einer Scan-Position mit dem Laserstrahl beleuchtet werden können und der Prüfling nicht so gedreht werden kann, dass alle zu prüfenden Bereiche nacheinander beleuchtet werden können, kann das optische Leckortungssystem STS 400 M eingesetzt werden.

Das STS 400 M unterscheidet sich von dem oben beschriebenen optischen Leckortungssystem STS 400 im Wesentlichen dadurch, dass die Scan-Einheit (in welcher die CCD-Kamera integriert ist) bei dem STS 400 M als separate Einheit frei im Raum um den Prüfling positioniert werden kann. Beim STS 400 ist die Scan-Einheit fest mit dem Messkopf verbunden. Das optische Leckortungssystem STS 400 M kann mit bis zu 16 Scan-Einheiten betrieben werden.

Am Messkopf ist hierzu bei dem optischen Leckortungssystem STS 400 M eine Strahl-Verteilereinheit angebracht, welche den aus dem Messkopf austretenden Laserstrahl auf die Scan-Spiegel der einzelnen separaten Scan-Einheiten lenkt. Soll ein Prüfling nun mit dem optischen Leckortungssystem STS 400 M auf Dichtheit geprüft werden, so müssen alle zu prüfenden Bereiche optisch einsehbar sein. D.h., es können um den Prüfling so viele Scan-Einheiten positioniert werden, dass jeder zu prüfende Bereich zumindest von einer Scan-Einheit aus mit dem Laserstrahl beleuchtet und damit abgerastert werden kann.



- Erlaubt den flexiblen Messeinsatz auch bei nur schlecht einsehbaren Prüfbereichen.
- Betrieb mit bis zu 16 Scan-Einheiten möglich.
- Es können auch mit Flüssigkeiten (Ölen) gefüllte Teile geprüft werden.

Bild 16: STS 400 M / Anordnung Getriebe

Die Prüfung läuft dann so ab, dass die einzelnen zu prüfenden Bereiche mit dem Laserstrahl jeweils von der Scan-Einheit mit dem Laserstrahl beleuchtet und abge-

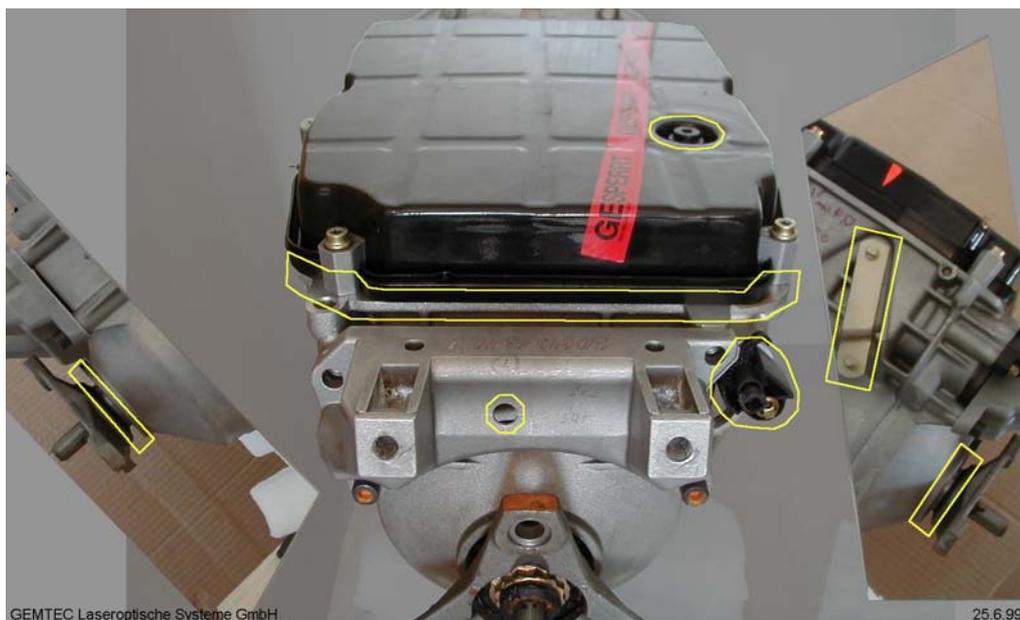


Bild 17: STS 400 M / Scan-Ansicht 1

rastert werden, von der aus der entsprechende Bereich am besten eingesehen werden kann. Der jeweils aktiven Scan-Einheit wird hierzu der Laserstrahl mittels der Strahl-Verteilereinheit zur Verfügung gestellt. D.h., der aus dem Messkopf austretende Laserstrahl wird über die Strahl-Verteilereinheit auf den Scan-Spiegel der entsprechenden Scan-Einheit gerichtet. Der eigentliche Scan-Vorgang einer Scan-Einheit verläuft dann völlig analog zu dem Scan-Vorgang bei dem STS 400.

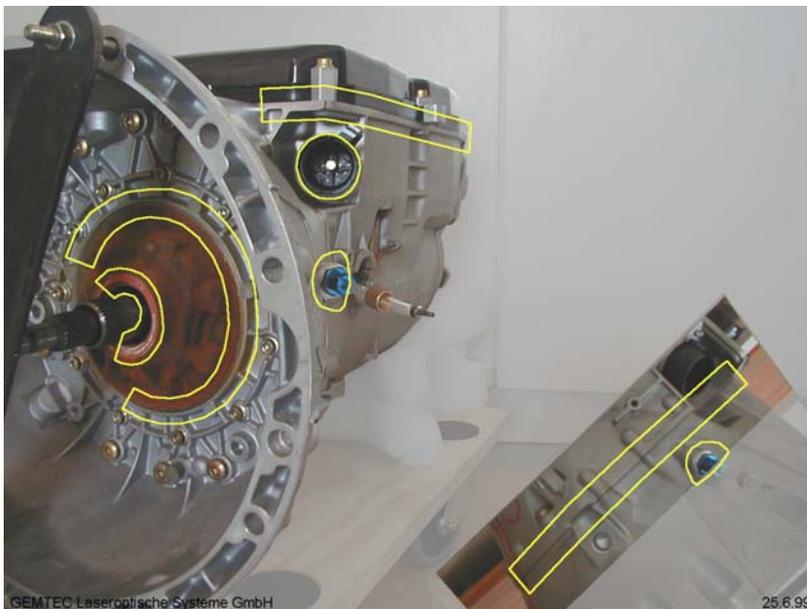


Bild 18: STS 400 M / Scan-Ansicht 2

Zur lokalisierenden Dichtheitsprüfung beispielsweise von PKW-Getrieben ist es dann mit dem STS 400 M möglich, mit einem Messkopf, einer Strahl-Verteilereinheit (welche in der Regel am Messkopf montiert ist) und mit drei Scan-Einheiten

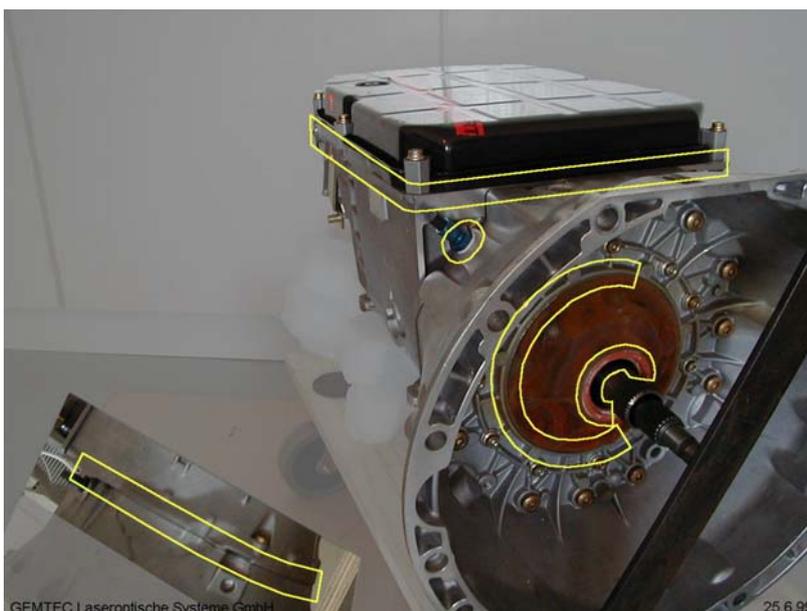


Bild 19: STS 400 M / Scan-Ansicht 3

alle für die Dichtheit eines Getriebes relevanten Bereiche einzusehen und abzurastern. Dieses kann dann natürlich leicht mittels der drei Scan-Ansichten der einzelnen Scan-Einheiten kontrolliert werden. Die zu scannenden Bereiche können wie beim STS 400 jeweils farblich markiert werden. Um die Anzahl der Scanner zu minimieren, können natürlich auch zusätzlich einzelne Bereiche über Spiegel mit dem Laserstrahl abgerastert werden. Diese werden dann so angeordnet, dass alle zu untersuchenden Stellen des Prüflings entweder direkt mittels einer der Scan-Einheiten oder über einen der Spiegel abgerastert werden können.

Es können somit sowohl komplexe, großvolumige Teile in der Endmontage -beispielsweise PKW-Motoren-, als auch kleine, in hoher Stückzahl produzierte Teile sicher auf Leckstellen überprüft werden. Der vollautomatische Einsatz ermöglicht gleichbleibend niedrige Rückweisungsrate, da im Gegensatz z.B. zur Unterwasser-Dichtheitsprüfung keine bedienerabhängigen Einflüsse vorliegen. Das Laserscanverfahren eignet sich daher insbesondere zur Qualitätssicherung und Fertigungskontrolle in der Produktion.