

Dichtheits.- und Leckprüfung von Wärmetauscheranlagen mittels der Wasserstoffmethode

Autor: Ing. Alexander Fink ¹⁾

1.0 Vorwort

Bakterielle Rekontaminationen durch unerkannte Durchbrüche sind ein ernsthaftes Problem. Pasteurisiertes Produkt fließt im Gegenstrom gegen unerhitztes Rohprodukt bzw. Kühl.- oder Heißmedien. Eine der wesentlichen QS – Aufgaben des Betreibers von Wärmetauscheranlagen bleibt daher die zuverlässige und rechtzeitige Entdeckung von Wärmetauscherdurchbrüchen vor der mikrobiologischen Katastrophe (Abb.1)

Jahrelange thermische Wechselbeanspruchungen, Pulsationen, Druckschläge, aber auch aggressive Reinigungsmedien zerstören die dünnen Edelstahlplatten an Plattenwärmetauschern und Schweißnähte an Rohrbündel.- bzw. UHT Anlagen. Deshalb sind Plattenwärmetauscher überdurchschnittlich häufig von „Ermüdungsrissen“ betroffen. Nach Herstellerangaben werden ca. 20% aller installierten Plattenwärmetauscher unbemerkt defekt. Daher ist es naheliegend, dass man mithilfe von Differenzdrucksystemen (Druckerhöhungspumpen) bei Rissen im einstelligen μm Bereich mit 0,5 – 2 bar Überdruck einen Flüssigkeitsleckagestrom von der unpasteurisierten auf die pasteurisierte Seite zu verhindern versucht. Tatsache ist, dass bei Rissen in dieser Größenordnung Bakterienwanderungen, egal in welche Richtung, stattfinden. Differenzdrucksysteme sind somit keine 100% Garantie vor Vermischung zwischen past. und unpasteurisiertem Produkt. Keime können, im Gegensatz zu Wasser, dass nur mit hohem Druck durch μm große Löcher gepresst werden kann, auch gegen Flüssigkeitsströme wandern. Dabei haben Bakterien die Eigenschaft selbst durch einen immobilisierten Kapillarwassertropfen hindurch zu schwimmen, wenn nur der Durchmesser $> 0,2\mu\text{m}$ ist. Somit können Bakterien durch Plattendefekte, durch die schon lange keine Flüssigkeitsströmung mehr stattfindet hindurchschwimmen und so Mikroverkeimungen verursachen.

Damit ist auch bei der Erkennung dieser Mikrorisse ein Prüfsystem gefordert, mit dem man auch die entsprechenden Kleinstleckagen sicher detektieren kann.

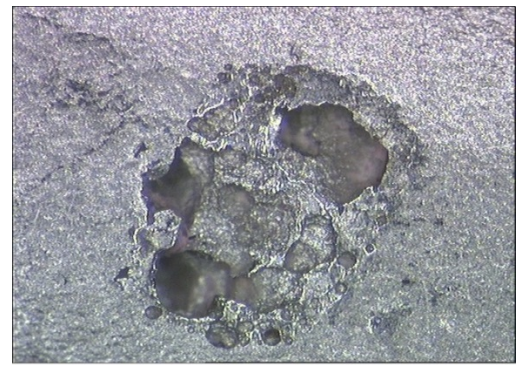


Abbildung 1 - Plattendefekt Vorderseite

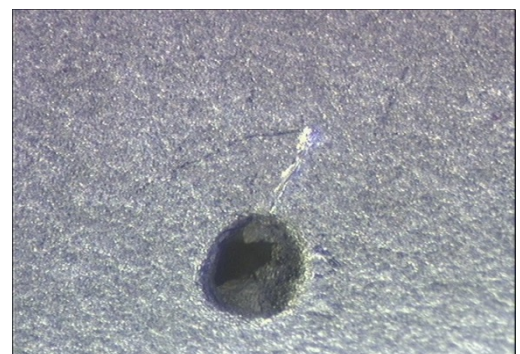


Abbildung 2 - Plattendefekt Rückseite

¹⁾ Resom GmbH, A – 8055 Graz



Abbildung 3 - Scheuerstellen an Berührungspunkten

Deshalb hat sich auch die Wasserstoffprüfgasmethode erfolgreich in der Flugzeug.- Pharma,- Chemie.- und Lebensmittelindustrie etabliert, da der Wasserstoff als kleinstes Molekül den hohen Anforderungen der Qualitätssicherung entspricht.

2.0 Warum Wasserstoff als Prüfgas

Wasserstoff besitzt eine Vielzahl von Vorteilen gegenüber anderen Prüfverfahren und zeichnet ihn somit als optimales Prüfgas aus.

Er hat eine sehr geringe Viskosität, das geringste Molekulargewicht und eine niedrige Hintergrundkonzentration (Abb.4), kommt also praktisch in der Umgebungsluft nicht vor. Außerdem ist H_2 umweltfreundlich, nicht korrosiv, ungiftig, leicht flüchtig und Lebensmittelzugelassen (E949), darf also als Prüfgas in der Lebensmittelindustrie eingesetzt werden. Bei der Wasserstoffprüfung ist auch kein zusätzlicher Wasserverbrauch nötig, (Umweltgedanke) und es kommt zu keinem Einsatz von giftigen Chemikalien.

	Luft	Wasserstoff	Helium
MOLEKULARGEWICHT	29 g/mol	2 g/mol	4 g/mol
DICHTE	1,2 g/l	0,09 g/l	0,18 g/l
VISKOSITÄT	18,3 10^{-6} Pa s	8,7 10^{-6} Pa s	19,4 10^{-6} Pa s
HINTERGRUND KONZENTRATION	100 %	0,5 ppm	5 ppm

Abbildung 4 - Physikalische Daten von Wasserstoff im Vergleich mit Helium und Luft

3.0 Methoden der Dichtheitsprüfung von Wärmetauscheranlagen

Prinzipiell kann man zwischen beweisenden und vorbeugenden Dichtheitsprüfverfahren unterscheiden, wobei die Differenzierung von der Nachweisgrenze der Leckagengröße abhängt (Abb.5)

Beweisende Prüfmethode:

- Druckhaltemethode mit Wasser
- Leitfähigkeitsmessung
- Tracer – Wassermethode
- Rot – Weiß Methode

Vorbeugende Prüfverfahren:

- Helium Prüfmethode
- Wasserstoff Prüfmethode

¹⁾ Resom GmbH, A – 8055 Graz

Vorteile des Wasserstoffgemischs gegenüber dem Prüfgas Helium:

Wasserstoff breitet sich deutlich schneller aus, dieser Effekt trägt dazu bei, dass bereits nach kurzer Zeit im Inneren eines Prüfteils eine gleichmäßige Konzentration erreicht ist. Die Hintergrundkonzentration von Wasserstoff ist im Vergleich zu Helium 10-mal geringer, somit kommt es zu wesentlich geringeren Fehlmessungen bei Prüfungen in Luftatmosphäre.

Zudem ist Wasserstoff leicht flüchtig und haftet nicht an der Oberfläche des Prüfobjekts. Man benötigt also keine zusätzliche Belüftung um das Prüfgas vom Prüfobjekt zu entfernen und hat somit keine weitere Fehlerquelle durch in der Luft befindliches Prüfgas. Wasserstoff vermischt sich sehr schnell mit anderen Gasen, was wichtig ist, um örtliche Konzentrationsanreicherungen, Brände oder Explosionen zu vermeiden. Das Gas verflüchtigt sich ökologisch nach der Prüfung. Außerdem ist Wasserstoff im Vergleich zu Helium eine erneuerbare Ressource, was sich besonders im Hinblick auf ein Umweltaudit nach ISO14001 und auf den Prüfgaspreis positiv auswirkt.

In der Praxis wird ein handelsübliches Formiergas (5% H₂ und 95% Stickstoff) verwendet, dass nach ISO10156 als nicht brennbares Gas klassifiziert ist.

		Detektierbarkeit - Methoden Matrix					
		Plattenbruch	Micro Leakage > 30µm	Micro Leakage < 30µm	Korrosion	Materialermüdung	Dichtungszustand
Methode	Druckhaltemethode	X	O	O	O	O	O
	Leitfähigkeitsmessung	X	O	O	O	O	O
	Tracer-Wassermethode	X	X	O	O	O	O
	Einsprühverfahren Rot/Weiß	X	X	X	O	O	O
	Helium Testmethode	X	X	X	X	O	O
	HLD 600automatic mit Wasserstoff	X	X	X	X	X	X

Abbildung 5 - Detektierbarkeitsgrenzen unterschiedlicher Prüfverfahren

4.0 Wasserstofflecksuchgerät HLD600automatic

Das neu entwickelte Messsystem HLD600automatic ist eine logische Weiterentwicklung der bereits vielfach erprobten und geschätzten manuellen Version HLD400. Dabei garantiert das neue Prüfsystem eine absolut präzise und vollautomatische Dichtheitsprüfung von Wärmetauschern in zusammengebautem Zustand. (Abb.6)

Zusätzlich besitzt das Messgerät auch eine interne Kalibriereinrichtung, mit der man vor jeder Prüfung die Kalibrierung des Messsensors problemlos durchführen kann. Dazu wird ein Kalibrier-gas mit einer definierten Wasserstoffkonzentration gemischt in synthetischer Luft verwendet. Durch die schnelle und einfache Kalibrierung (Dauer pro Kalibrierung ca. 1min.) wird somit garantiert, dass der sichere Einsatz des Messsystems gewährleistet ist und damit Fehlmessungen ausgeschlossen werden können.

¹⁾ Resom GmbH, A – 8055 Graz

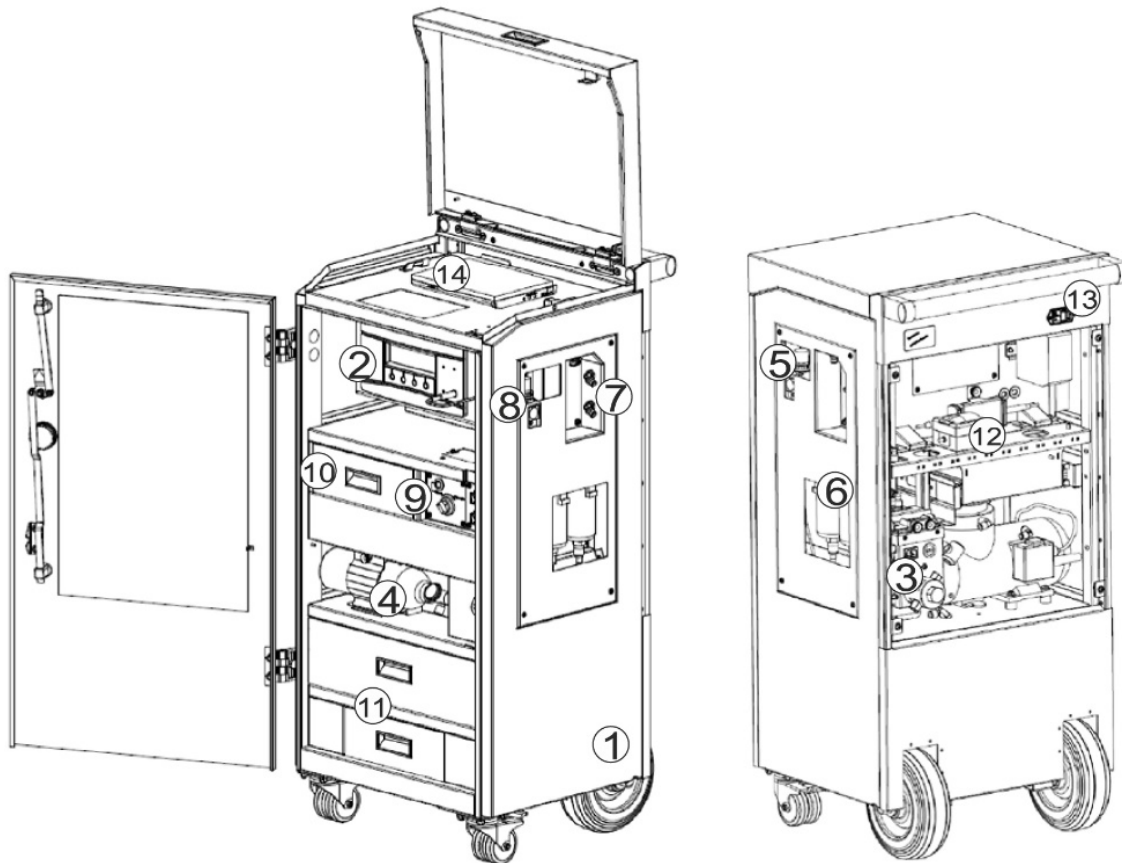


Abbildung 6 - Resom HLD600automatic Wasserstofflecksuchgerät

4.1 Funktionsweise und Aufbau

Das hochempfindliche Wasserstoffmesssystem erkennt kleinste Undichtheiten und Materialschwächen. Es detektiert die Diffusion von H_2 – Molekülen durch das Metall und erkennt so vorzeitig Materialermüdung – noch bevor Leckagen entstehen. Außerdem können auch schlecht eingebaute bzw. bereits spröde Dichtungen punktgenau detektiert werden.

Die vollautomatische Steuerung des neuen Systems schließt eine falsche Bedienung des Gerätes aus und vermeidet so eine Vielzahl an Fehlerquellen, was die Arbeit des Prüfers nicht nur wesentlich einfacher, sondern auch sicherer macht. Gleichzeitig speichert die integrierte Software HLDsoft sämtliche anlagenrelevanten Daten. Der Vergleich von Messresultaten wird somit erheblich vereinfacht. Das bei jeder Messung automatisch erstellte Prüfprotokoll gibt einen schnellen Überblick über alle relevanten Parameter und erleichtert die lückenlose Dokumentation für das Quality Management. (Abb.7)



1	Gehäuse	8	Anschluss für Betriebsdruckluft
2	HLDetector	9	Kalibriervorrichtung
3	Messzelle mit Zweiwegeventil	10	Lade mit manuellem Messsensor
4	Kalibriergasvorrichtung	11	Werkzeug- und Zubehörladen
5	Regelbarer Luftfilter	12	Steckerleiste
6	Wasserabscheider I und II	13	Spannungsanschluss
7	Luftanschlüsse für Wärmetauscher	14	PC / Notebook

Abbildung 7 - Aufbau Messsystem HLD600automatic

4.2 Dichtheitsprüfung von Plattenwärmetauschern

Prinzipiell wird ein Plattenwärmetauscher immer nach innen und nach außen auf Schadstellen geprüft. Das bedeutet, dass der Anspruch an ein Dichtheitsprüfsystem sowohl die Erkennung von Plattendefekten als auch von Dichtungsprobleme sein muss.

Mit der Wasserstoffmethode ist eine solche Prüfung problemlos möglich, da der Wasserstoff nach dem Einbringen in den Wärmetauscher aufgrund seiner bereits beschriebenen physikalischen Eigenschaften sowohl durch Plattendefekte hindurch, aber auch aus spröden Dichtungen nach außen treten und mittels Gassensoren detektiert werden kann.

Nachfolgende Tabelle (Abb. 8) zeigt die Detektierbarkeit des Wasserstoffs am Beispiel eines PWT-schers mit 180 L Volumen bei atmosphärischen Druck (1bar).

Zur Veranschaulichung: $10\mu\text{m} \rightarrow 1\text{cm}^3$ in 100sec $\rightarrow$ 5,4ml Gas übergetreten nach 9min **ohne** Druck.

Leckagen Größe	Beschreibung	Gas Übertritt/9min	Detektierbarkeit Wassermethode	Detektierbarkeit HLD600 _{automatic}	Messwert in ppm
100 μm	Wasserübertritt möglich	540mL	J	J	3000
30 μm	Grenze für Wasserübertritt	54mL	J	J	300
10 μm	Wasserdicht	5,4mL	N	J	30
3 μm	Dampfdicht	0,6mL	N	J	3,25

Abbildung 8 - Zusammenhang zwischen Leckagegröße und Wasserstoffkonzentration in ppm (parts per million)

4.2.1 Plattenprüfung

Bei der Plattenprüfung oder auch integrale Druckprüfung genannt, wird ein bestimmter Prüfdruck abhängig von dem maximal zulässigen Betriebsdruck der zu prüfenden Anlage aufgesetzt. Danach werden alle anlagenrelevanten Parameter wie Anlagenbezeichnung, Hersteller, Seriennummer, Anlagenvolumen, Anzahl der Abteilungen etc. in die Software eingetragen. Ein Rechenprogramm ermittelt abhängig vom Volumen und der Pumpenleistung die optimale Zirkulationszeit für die einzelnen Probenahmen. Über ein integriertes 2 – Wege Ventil werden entsprechend der errechneten Prüfzeiten, Probenahmen aus dem Luftstrom am Wärmetauscher entnommen und an einem integrierten Wasserstoffsensoren vorbeigeführt. Dieser misst die entsprechenden Wasserstoffkonzentrationen und die so ermittelten Werte werden automatisch in ein Diagramm übertragen. Abhängig von der Konzentration und der Messzeit kann nach beendeter Messung eine Aussage über den Ist – Zustand der geprüften Plattenpakete getroffen werden. (Abb. 9)



Abbildung 9 - Prüfaufbau bei der Plattenprüfung

4.2.2 Dichtungsprüfung

Die Dichtungsprüfung oder auch Leckortung genannt, wird zur Ermittlung der äußeren Undichtheiten aufgrund defekter oder spröder Dichtungen verwendet. Dazu wird der Plattenwärmetauscher auf den max. Prüfgasdruck aufgespannt, und mittels Handwasserstoffsensoren außen, entlang der Dichtungen abgefahren. Somit können Leckagen punktgenau detektiert und behoben werden. Da es sich bei äußeren Undichtheiten zumeist um versprödete Dichtungen handelt, kann das Spannmaß gegebenenfalls weiter angezogen werden. Eine nochmalig Prüfung zeigt rasch aufgrund der im besten Fall reduzierten Wasserstoffkonzentrationen eine Verbesserung des Dichtungsproblems. (Abb.10)



Abbildung 10 - Prüfaufbau bei der Dichtungsprüfung

4.2.3 Diverse Schadensbilder an Plattenwärmetauschern aus der Praxis

Nachfolgende Plattenbeschädigungen konnten mit Hilfe der Wasserstoffprüfung aufgespürt werden.



Abbildung 12 - Kontaktkorrosion an den Abstützungspunkten durch Resonanzen im Plattenpaket



Abbildung 11 - Beschädigung unter einem Lichtmikroskop

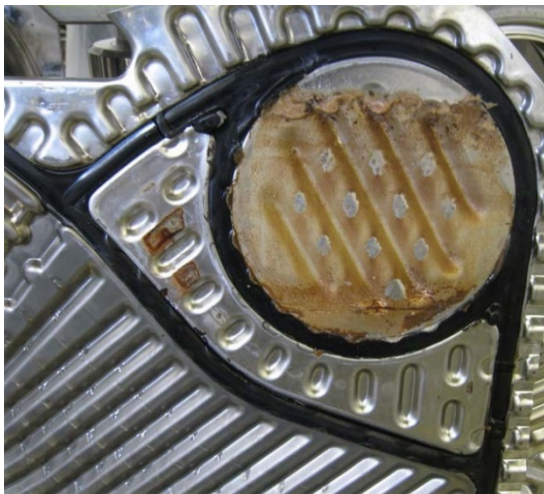


Abbildung 13 - Plattenbruch in Umlenkplatte. Dadurch entstehende Produktablagerungen werden von der Reinigung CIP nicht erfasst



Abbildung 14 - Plattenbruch in Wendegruppe mit Produktabsetzung

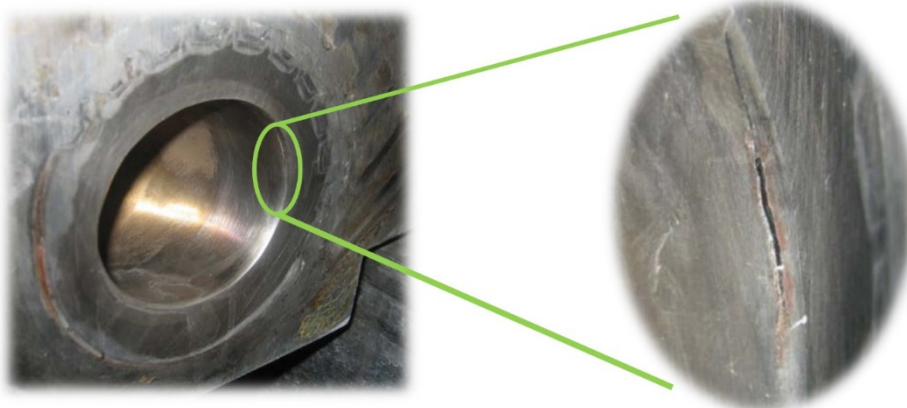


Abbildung 15 - Spannungsriß in der Kopfplatte. Produkt konnte sich dadurch in der Kopfplatte sammeln und infizierte das pasteurisierte Endprodukt



Abbildung 16 - Dichtungsauflösung aufgrund zu aggressiver Reinigungsmittel



Abbildung 17 - Dichtungsdefekt aufgrund von Druckschlägen

4.3 Dichtheitsprüfung an Röhrenwärmetauschern und UHT Anlagen

Bei der Dichtheitsprüfung an Röhren- oder UHT Anlagen sind die häufigste Schadensfälle Haarrisse oder aufgebrochenen Schweißnähte an den Kopfplatten der Rohrbündel. Diese Bruchstellen, meistens im μm Bereich entstehen durch extreme thermische Beanspruchungen bzw. durch hohe Produktionsdrücke und damit verbundene Druckstöße bzw. Resonanzen.

Mit der automatisierten Wasserstoffprüfung können diese Schadstellen punktgenau lokalisiert werden. Dabei wird das Prüfgas mit einem der Anlage entsprechenden Prüfdruck in die Mantelseite eingebracht. Die Luftzirkulation erfolgt in den Rohrbündeln. Aufgrund der automatisierten Messung werden Bedienerunabhängig zu festgesetzten Prüfzyklen gleich wie bei der Plattenprüfung Probenahmen aus dem Luftkreislauf entnommen und ausgewertet. Die so erhaltenen Wasserstoffkonzentrationen zeigen ein sofortiges Schadensbild der Rohrbündel.

Bei einem Schadensfall werden anschließend die Rohrbögen demontiert und mit Hilfe des Handsensors jedes Rohr geprüft. Somit können defekte Rohre eindeutig gefunden und sofort vor Ort verschlossen werden um weitere Produktvermischungen zu vermeiden. (Abb.17)

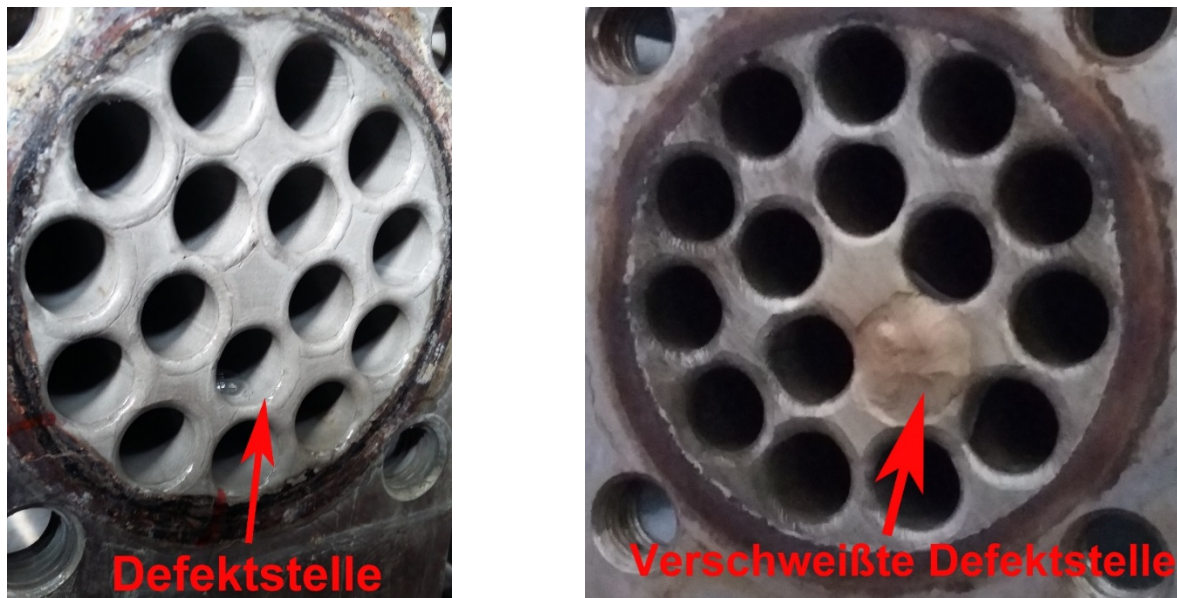


Abbildung 17 - Detektierte und anschließend verschweißte Defektstelle an einer UHT Anlage mit 40000l/h

Schlussbetrachtung:

Wärmetauscheranlagen sind eine kostengünstige Standarttechnologie zur produktschonenden Pasteurisation. Das Differenzdrucksystem stellt dabei keine geeignete technische Einrichtung dar, um 100%ige Erhitzer-interne Rekontaminationen zu vermeiden. Aus diesem Grund scheint es sinnvoll, diese Anlagen in regelmäßigen, auf erfahrungsbasierenden Risikoanalysen festgelegten Abständen, zu validieren.

Wasserstoff zur Leckageprüfung hat sich dabei industriell etabliert. Das kleinste Molekül mit der höchsten Molekülgeschwindigkeit garantiert die höchste Leckrate (5×10^{-7} mbarl/sec) die technisch, physikalisch möglich ist. Somit kann bei regelmäßiger Prüfung der Wärmetauscheranlagen eine frühzeitige Erkennung von Materialermüdungen, Haarrissen bzw. Plattenbrüchen garantiert und eine Produktkontamination vermieden werden.

¹⁾ Resom GmbH, A – 8055 Graz

Literatur

- 1) Wutz Adam – Theorie und Praxis der Vakuumtechnik
- 2) Raimund Kalinowski – Brauindustrie 08 / 2007