

Dichtheitsprüfung

Flexible Verpackungen in der Nahrungs- und Arzneimittelindustrie

Hans-Peter Hart

1 Anforderungen an die Verpackung und deren Fehlerquellen

Bei vielen hochwertigen Lebensmitteln, wie Milchpulver für Säuglinge, Rohfleischsnacks oder auch Kaffee besteht die Forderung nach einer dichten Verpackung um das Eindringen von Luft, Sauerstoff oder Keimen zu verhindern. Dies gilt auch für Verpackungen in der pharmazeutischen Industrie, wie zum Beispiel Blister- oder Sachetverpackungen.

Ein durch umwelttechnische Einflüsse fehlerhaftes Produkt wird folglich zu Unbrauchbarkeit oder Ungenießbarkeit beim Verbraucher führen. Dies hat wiederum Auswirkungen auf den Erfolg des Produktes am Markt.

Eine konstante Qualität trägt einen erheblichen Anteil am Produkterfolg bei. Ferner muss aufgrund des Produkthaftungsgesetzes der Hersteller diese Qualität durch Prüfverfahren sicherstellen.

In den meisten Fällen ist der Sauerstoffanteil in der Verpackung für die Haltbarkeit des Produktes verantwortlich. Umso dichter die Verpackung, desto weniger Sauerstoff kann über einen bestimmten Zeitraum in die Verpackung eindringen, wodurch das Produkt länger haltbar wird.

Im Pharmasektor ist oftmals auch das Eindringen von Feuchtigkeit (z. B. Luftfeuchte) zu verhindern.

Wie entsteht eine Undichtigkeit der Verpackung?

- ▶ Fehler am Packstoff
- ▶ Verfahrensfehler beim Abpackprozess
- ▶ Undichte Siegelnaht

Die größte Fehlerrate liegt meist in einer undichten Siegelnaht. Hier kann man aber meist nicht von einer definierten Lochgröße sprechen, sondern die Undichtigkeit bei einer Naht zieht



Gegen Luft und Keime: verschiedene flexible Umverpackungen für Lebensmittel und Medikamente.

sich meist wie ein Labyrinth über einen Bereich von 5 und 15 mm entlang. Deshalb gilt auch die primäre Prüfung den Siegelnähten. Die Leckage an den Siegelnähten wird auch Laminarleckage bezeichnet.

Welche Leckarten gibt es bei Verpackungen?

- ▶ Porenlecks: Lecks die am Material entstanden sind.

- ▶ Lecks in nicht lösbaren und lösbaren Verbindungen/Dichtstellen
- ▶ Lecks die an den Nähten entstanden sind zum einem bei den nicht lösbaren Verbindungen wie beispielsweise bei den Peeling-Nähten.
- ▶ Permeation: Als Permeation bezeichnet man den Gastransport durch Materialien. Permeation kann nicht als Leck bezeichnet werden, da

ZUSAMMENFASSUNG

Die wachsenden Anforderungen, wie beispielsweise längere Haltbarkeit des verpackten Nahrungsmittels oder besserer Langzeitschutz vor Umwelteinflüssen, verändern auch die Ansprüche an Methoden zur zerstörungsfreien Dichtheitsprüfung für flexible Verpackungen. Flexible und damit fragile Verpackungen können meist ohnehin nur erschwert zerstörungsfrei dichtgeprüft werden.

Ein besonderes Augenmerk wird bei flexiblen Verpackungen primär auf die Prüfung der Siegelnaht gelegt da diese meist die Schwachstelle hinsichtlich Dichtigkeit darstellt.

Es gibt verschiedene Prüfverfahren zur Dichtheitsprüfung von flexiblen Verpackungen wie Wasserbad, Druckdifferenzverfahren und Dichtheitsprüfung mit Tracergasen. Jedes der aufgezeigten Verfahren hat für den jeweiligen Anwendungsbereich

sowohl Vor- aber auch Nachteile. Die geforderte Leckrate bestimmt dabei maßgeblich welche Prüfmethode sich am besten eignet. Für die Erkennung sehr kleiner Leckagen ($<10 \mu$ oder 10^{-5} mbar l/s) oder sehr kurzen Prüfzeiten eignen sich zur Zeit nur Prüfverfahren mit Tracergasen. Der zusätzliche Nutzen bei dieser Methode ist, dass das Leck in einem zweiten Prüfschritt eindeutig lokalisiert werden kann. Schwachstelle an der Verpackung können so schnell und unkompliziert erkannt und damit anschließend entsprechende Maßnahmen in der Produktion zur Qualitätsverbesserung eingeleitet werden. Jedoch stellt das zur Prüfung notwendige Vakuum, und die damit verbundene mechanische Belastung auf die Verpackung, gerade bei flexiblen Verpackungen ein nicht unerhebliches Problem dar.

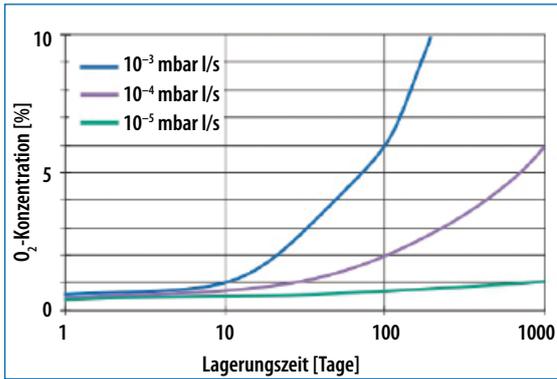


ABBILDUNG 1: Sauerstoffanstieg durch Leckage.

dieser Kennwert durch das Material gegeben ist. Dieser Kennwert muss jedoch bei sehr kleinen Lecks beachtet werden, damit dieser nicht größer ist als das festgelegte Grenzleck.

SUMMARY

Leakage Tests – Flexible packaging in food processing and pharmaceutical industry

Extended storage life for food products or better protection against environmental influences increases the demand for more accurate leak detection methods. Flexible, and therefore more fragile packaging is even more complicated when it comes to the commonly required non destructive leak testing.

The main focus when testing flexible packaging is on welded seams. They represent the weakest point in flexible packaging.

Today, there are several leak detection methods used to perform tests on flexible packaging. The most common ones are waterbath, pressure/vacuum decay and tracer gas based leak detection. All of which have their strength and weaknesses whereas the desired reject leak rate is mostly influencing the decision process. To measure very small leaks (<10 µ oder 10⁻⁵ mbar l/s) or to enable very short test cycles, tracer gas leak detection is the way to go. On top of high accuracy, tracer gas leak detection also allows the precise localization of the leak. Nevertheless, the mechanical stress applied to the flexible packaging due to the vacuum required for tracer gas testing is not an easy task to cope with.

Abschätzung von Lecks <-> Lochgrößen

Δp – 1013 mbar, Lochdurchmesser d – 1 cm
 Gasgeschwindigkeit = Schallgeschwindigkeit = 330 m/s

Volumen/Sekunde $330 \frac{m}{s} \cdot \frac{1^2 \cdot \pi}{4} \cdot cm^2 = 25,95 \cdot 10^{+3} \frac{cm^3}{s} = 25,95 \frac{\ell}{s}$
 Menge/Sekunde $1013 \text{ mbar} \cdot 25,95 \frac{\ell}{s} = 2,63 \cdot 10^{+4} \approx 10^{+4} \frac{\text{mbar} \cdot \ell}{s}$

Durchmesser cm	Leckrate mbar · ℓ/s
10 ⁻² m = 1,0 cm	10 ⁺⁴
10 ⁻³ m = 1,0 cm	10 ⁺²
10 ⁻⁴ m = 0,1 cm	10 ⁰ (= 1)
10 ⁻⁵ m = 0,01 cm	10 ⁻²
10 ⁻⁶ m = 1,0 µm	10 ⁻⁴
10 ⁻⁷ m = 0,1 µm	10 ⁻⁶
10 ⁻⁸ m = 0,01 µm	10 ⁻⁸
10 ⁻⁹ m = 1,0 nm	10 ⁻¹⁰
10 ⁻¹⁰ m = 1,0 Å	10 ⁻¹² (Nachweisgrenze He-Leckdetektor)

TABELLE 1: Lochgrößen und Leckageraten [1].

1 · 10 ⁻¹ mbar · l/s	= 1 cm ³ in 10 sec.	bei Atmosphärendruck gegen Vakuum
1 · 10 ⁻³ mbar · l/s	= 3 cm ³ pro Stunde	bei Atmosphärendruck gegen Vakuum
1 · 10 ⁻⁵ mbar · l/s	= 1 cm ³ pro Tag	bei Atmosphärendruck gegen Vakuum
1 · 10 ⁻⁶ mbar · l/s	= 1 cm ³ in 2 Wochen	bei Atmosphärendruck gegen Vakuum
1 · 10 ⁻⁷ mbar · l/s	= 3 cm ³ pro Jahr	bei Atmosphärendruck gegen Vakuum
1 · 10 ⁻⁹ mbar · l/s	= 1 cm ³ in 30 Jahren	bei Atmosphärendruck

TABELLE 2: Leckraten bezogen auf den Volumenausritt pro Zeiteinheit.

2 Grundlagen Lecks und Leckraten

Definition:

Formel:
 $q = \frac{\Delta(p \cdot V)}{\Delta t}$

Die Leckrate ist ein Maß für die aus einem Körper austretenden Volumen- oder Masse-Einheiten. (Wikipedia)

q = Leckrate p = Druck
 V = Volumen t = Zeit

Die Leckrate wird meist mit Q oder Q(L) bezeichnet und hat folgende Formel und Einheit:

Einheit:
 $1 \frac{(Pa \cdot m^3)}{s} = 10 \frac{(mbar \cdot l)}{s} = 7,5 \frac{(Torr \cdot l)}{s}$

Begriff/Kriterium	Bemerkung	Q _L (mbar · l/s)	relevante Teilchengröße
wasserdicht *)	tropfen	Q _L < 10 ⁻²	
dampfdicht	schwitzen	Q _L < 10 ⁻³	
bakteriendicht*)		Q _L < 10 ⁻⁴	Ø ≈ 1 µm Ø ≈ 0,5 – 1 µm, 2 – 10 µm lang
öldicht		Q _L < 10 ⁻⁵	
virendicht *)		Q _L < 10 ⁻⁶	Ø ≈ 3 · 10 ⁻⁷ m
– Vaccine z. B. Pocken		Q _L < 10 ⁻⁸	Ø ≈ 3 · 10 ⁻⁸ m
– kleinste Viren, Bakteriophagen		Q _L < 10 ⁻¹⁰	Ø ≈ 1 · 10 ⁻⁹ m (Fäden)
– Viroide, RNA			
gasdicht		Q _L < 10 ⁻²	
„absolut dicht“	technisch	Q _L < 10 ⁻²	

*) Im Gegensatz zu Dampf muss bei Flüssigkeiten zwischen hydrophilen und hydrophoben Festkörpern unterschieden werden. Das gilt auch für Bakterien und Viren, da sie hauptsächlich in Lösungen transportiert werden.

TABELLE 3: Kriterien der Dichtheit [1].

Methode	Nachweisgrenze [mbar l/s]	Prüfdauer	zerstörungsfrei	Applikation
Wasserbad	$10^{-3} - 10^{-4}$	10 – 100 s	(ja) / nass	MAP Schlauchbeutel
Einlagerung	$10^{-2} - 10^{-3}$	10 – 72 h	ja	Kaffee
Farbindikation	10^{-2}	10 – 60 min	nein	Pharma
Druckdifferenz	5×10^{-3}	2 – 10 s	ja	
Kraft-/Weg-Messung	10^{-1}	1 – 5 s	ja	Vakuum, Kaffee
Prüfgas Helium	$< 10^{-7}$	15 s	ja	MAP, Schlauchbeutel, Tiefziehpackung
Prüfgas Helium	$< 10^{-7}$	15 s	nein	Vakuum, Kaffee

TABELLE 4: Übersicht über Dichtprüfmethoden und deren Anwendungsgebiete.

1 Blase ~3 mm Ø	in 1 s	=	$\sim 2 \cdot 10^{-2}$	mbar · l/s
1 Blase ~3 mm Ø	in 10 s	=	$\sim 2 \cdot 10^{-3}$	mbar · l/s
1 Blase ~3 mm Ø	in 30 s	=	$\sim 7,2 \cdot 10^{-4}$	mbar · l/s
1 Blase ~3 mm Ø	in 120 s	=	$\sim 1,8 \cdot 10^{-5}$	mbar · l/s
1 Blase ~1,6 mm Ø	in 1 s	=	$\sim 2,1 \cdot 10^{-3}$	mbar · l/s
1 Blase ~0,8 mm Ø	in 1 s	=	$\sim 2,7 \cdot 10^{-4}$	mbar · l/s
1 Blase ~0,4 mm Ø	in 1 s	=	$\sim 3,4 \cdot 10^{-5}$	mbar · l/s

TABELLE 5: Leckraten beim Blasentest

Wobei die in Deutschland am meisten verbreitete Einheit für die Leckrate ist: $\frac{\text{mbar} \cdot \text{l}}{\text{s}}$

Speziell im Bereich der Verpackungsindustrie ist jedoch die Angabe von Lecks gemäß Ihrer Lochgröße/ Durchmesser gängig. In Tab. 1 wird der Zusammenhang zwischen einem Lochdurchmesser und einer Leckrate am Beispiel einer Folie (Lecklänge wird vernachlässigt) beschrieben (Abschätzung durch Luft).

Um diese, oben genannten Angaben weiter zu verdeutlichen, und was sie in der Praxis bedeuten, zeigt Tab. 2 die aus den genannten Lochgrößen resultieren, idealisierten Volumenverluste.

Diese bedeutet, dass bei einer Leckrate von $1 \cdot 10^{-9}$ mbar · l / s eine Verpackung 1 cm³ Gas bei Atmosphärendruck gegen Vakuum in 30 Jahren verlieren würde bzw. es könnte 1 cm³ Gas in 30 Jahren in die Verpackung eindringen.

Dicht ist dabei ohnehin ein irrenführender Ausdruck da es „dicht“ absolut nicht gibt. Gemeinhin wird eine Leckrate von $1 \cdot 10^{-10}$ mbar · l / s als „technisch dicht“ betrachtet und stellt damit derzeit im industriellen Umfeld die untere Messgrenze dar (Tab. 3). Selbst Stahl oder Stein ist durchlässig für verschiedene Gase. Diese Diffusion ist jedoch

derart gering, dass eine daraus resultierende Wechselwirkung im produktiven Umfeld meist zu vernachlässigen ist.

Für flexible Lebensmittelverpackungen mit den aktuell höchsten Anforderungen ist eine Grenzleckrate $< 1 \cdot 10^{-5}$ mbar · l/s üblich. Für die Prüfung dieser Dichtheit ist die Auswahl eines passenden Prüfverfahrens speziell im Hinblick auf eine Umsetzung im Produktionsumfeld oftmals nicht einfach.

Nachfolgend sind die meist genutzten Verfahren für die Dichtheitsprüfung von Verpackungen beschrieben

Auf die drei meist genutzten Verfahren soll im Folgenden eingegangen werden:

- ▶ Wasserbad (auch mit Vakuum, Druck oder Ultraschallscanner)
- ▶ Druckdifferenz
- ▶ Dichtheitsprüfung mit Spürgas

Wasserbad:

Beim Wasserbadverfahren, das sicherlich zu den ältesten Dichtheitsprüfverfahren zählt, wird die Verpackung unter Wasser gebracht um die Undichtigkeit mittels aufsteigender Luftblasen zu erkennen. Bei den gängigsten Anlagen wird der Luftraum über der Flüssigkeit evakuiert und die Verpackung bläht sich

dadurch auf. Die dabei über vorhandenen Leckagen entstehenden Luftblasen müssen vom Prüfer visuell oder vollautomatisch mittels Ultraschallsensoren erkannt werden. Diese Verfahren hat in ersterem Fall den erheblichen Nachteil, dass es stark subjektiv ist. Der Mensch trifft die Entscheidung über dicht oder undicht. Beide Verfahren bedingen jedoch die Kontamination des Prüflings mit Wasser.

Hier sind auch theoretisch Leckagen bis min. $1 \cdot 10^{-5}$ mbar l/s zu erkennen. In der Praxis entspräche diese Leckrate jedoch einem aufsteigenden Luftbläschen mit Ø 3 mm alle 120 Sekunden bzw. mit Ø 0,4 mm jede Sekunde.

Daraus ist schon zu erkennen, dass dieses Verfahren bei Umsetzung mit einem Prüfer unter Produktionsbedingungen bei kleinen Leckageraten nicht sehr praktikabel ist. Erkennbar ist bei idealen Bedingungen allenfalls eine Blase mit Ø 3 mm alle 10 Sekunden, sprich einer Leckrate im Bereich $1 \cdot 10^{-3}$ mbar · l/s. Das bedeutet es ist weder eine Viren noch eine Bakteriendichtheit gegeben, Wasserdampf kann eindringen und auch die Sauerstoffkonzentration wird in wenigen Wochen auf über 10 % steigen. (siehe Tab.1)

Gerade bei Hinterschnitten oder durch Siegelnähte entstehenden Falten ist der Gasaustritt und damit die visuelle Detektion weiters deutlich erschwert. Dies gilt dann meist auch für die automatisierten Systeme. Damit stellt die o.g. Grenzleckrate auch wirklich für die



ABBILDUNG 3: Prüfkammer

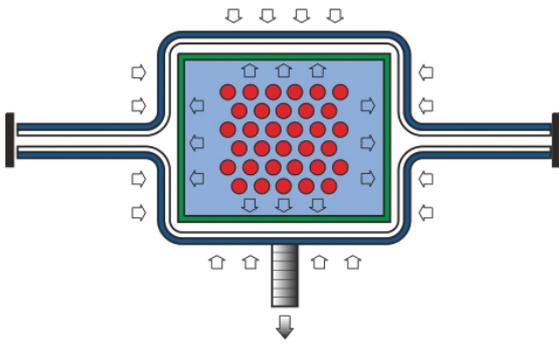


ABBILDUNG 4: Prinzip der Folienkammer-Lecksuche.

Praxis das Minimum im Bereich flexibler Verpackungen dar. Der aufgrund aktueller Qualitätsnormen geforderte, eindeutige und vor allem prüferunabhängige, protokollierter Nachweis ist nur bei sehr aufwändigen, vollautomatisierten Systemen mit Ultraschall-Erkennungstechnologie möglich.

Druckdifferenzverfahren:

Bei diesem Verfahren wird der Prüfling mit Druck beaufschlagt und anschließend der bei Vorhandensein eines Lecks auftretende Druckabfall gemessen. Alternativ kann eine den Prüfling umgebende Kammer evakuiert werden und der darin bei Vorhandensein eines Lecks auftretende Druckanstieg zur Auswertung herangezogen werden.

Dieses sehr preisgünstige und im Gegensatz zum Wasserbad ohne Kontamination des Bauteils auskommende Verfahren ist jedoch speziell bei flexiblen Verpackungen nur bedingt geeignet. Der nötige Druck, mit dem die Verpackung beaufschlagt bzw. der in der Messkammer erzeugt werden muss, kann schnell zur Zerstörung der Verpackung führen.

Mit einer Folienkammer (Prinzip wird im nächsten Abschnitt näher erläutert), die auf dem Druckdifferenzverfahren aufgebaut ist, kann man dem entgegenwirken. Hier sind Leckagen von minimal ca. $10 \mu\text{m}$ ($1 \cdot 10^{-3}$ mbar · l/s) möglich.

Allen auf dieser Methode basierenden Anwendungen gemein ist jedoch das Grundprinzip der volumetrischen Messung. Hierbei ist im speziellen der Temperatureinfluss als Hauptproblem zu nennen. Steigt oder fällt die Temperatur während der Messung kann dies auch einen Druckanstieg bzw. -abfall und damit ein „virtuelles“ Leck bedeuten. Daher ist bei diesen Anwendungen auf temperaturstabile Umfeld-Bedingun-

gen im Testbereich zu achten. Gerade in Produktionsumfeld ist dies oftmals nur mit hohem Aufwand darstellbar.

Dichtheitsprüfung mit Tracergasen (Helium, Wasserstoff, CO₂)

Mit Tracer Gasen wie Helium, Wasserstoff oder auch CO₂ ist die Prüfung von Verpackungen in weiten Bereichen und speziell auch bei hohen Anforderungen an die Dichtigkeit darstellbar.

Folgende Methoden sind gängig [2]:

► Überdruckverfahren:

Der Prüfling wird mit Helium oder einem Heliumgemisch gefüllt und dann verschlossen eventuell noch unter Druck gesetzt. Mit einer Schnüffelsonde wird das austretende Gas detektiert.

► Lecksuchverfahren im Vakuum (direkt):

Der Prüfling wird am Lecksucher angeschlossen und evakuiert. Dadurch wird ein Unterdruck von ca. 1 Bar erzeugt, welcher zu einem Gasstrom vom Umgebungsdruck in das Innere des Prüflings führt. Nun wird manuell Helium auf den Prüfling gesprüht und es können Leckagen durch den Lecksucher erkannt und durch den Bediener geortet werden.

► Lecksuchverfahren im Vakuum (Kammer):

Der mit Helium befüllte Prüfling wird in eine am Lecksucher angeschlossene Prüfkammer gelegt und diese evakuiert. Das aus dem Prüfling austretende Spürgas wird durch den Lecktester erkannt.

► Bombing

Dieses Verfahren wird bei Prüflingen, die aus einem gekapselten Gehäuse eingebaut sind und kein Gas von innen

zugeführt werden kann, angewandt. Der Prüfling wird in einer Druckkammer mit Helium mit hohem Druck über einen bestimmten Zeitraum beaufschlagt.

Das Testgas kann nun über eventuelle Leckagen in den Prüfling eindringen. Anschließend wird der Prüfling in eine Vakuumkammer gebracht, die mit dem Helium Lecktester direkt verbunden ist. Wird nun beim Vakuumziehen Helium gemessen, so muss ein Leck am Prüfling vorliegen.

Grundlage für diese Methoden ist jedoch, vergleichbar mit dem Druckdifferenzverfahren, die Erzeugung eines Druckabfalls über der Leckage um den nötigen Gasaustritt herbeizuführen. Hier besteht daher ebenfalls die Gefahr, dass die Verpackung bei der Prüfung durch die notwendige Druckdifferenz zerstört wird. Damit scheidet dieses Prüfverfahren in der ersten Betrachtung oftmals augenscheinlich aus.

Um diesem Problem speziell bei Anwendungen mit flexiblen Verpackungen entgegenzuwirken wurde in den 90er Jahren eine patentierte, flexible Prüfkammer entwickelt, welche dieses vornehmlich mechanische Problem erheblich reduziert (Abb. 3).

Hier kommt als Methode das weltweit erprobte und angesehene Lecksuchverfahren im Vakuum zum Tragen. Dieses Verfahren ist zerstörungsfrei, temperaturunabhängig, eindeutig und durch die spezielle Folienkammertechnologie stressarm für die Verpackung. Normalerweise würden im Vakuum die Nähte aufplatzen können. Während des Evakuierungsvorganges drückt der Atmosphärendruck die elastischen Folien an die Verpackung. Der Innendruck der Verpackung entspricht nun dem At-



ABBILDUNG 5: Leckage mit der Schnüffelsonde orten.

mosphärendruck und es wirken kaum Kräfte aus Differenzdrücken auf den Prüfling ein (Abb. 4).

In der Verpackung befindet sich Helium, welches während des Fertigungsprozesses in reiner Form oder als Mischgas (min. 5%) der Verpackung zugeführt wurde. Der oder die Prüflinge werden manuell in flexible Folienkammer eingelegt. Diese wird dann auf einen Druck von ca. 1 mbar evakuiert.

Befindet sich ein Leck in den Prüflingen entweicht das Helium durch die undichte Stelle und wird mittels des angeschlossenen Massenspektrometers detektiert. Das Messergebnis liegt innerhalb von 10–15 Sekunden vor und wird optisch oder auch optional akustisch angezeigt. Die Leckrate wird in mbar·l/s angezeigt.

Anschließend kann man noch mit der Schnüffelsonde das aufgetretene Leck explizit lokalisieren, um so einen Rückschluss auf den Fertigungsprozess vornehmen zu können.

Verpackungsprozesse können auf diese Weise mit einem Helium Lecksu-

cher mit Folienkammer optimal verbessert werden. Durch die exakte Leckagenortung mit der Schnüffelsonde an der Verpackung (siehe Abb. 5) können sofort Qualitätsverbesserungsmaßnahmen abgeleitet werden und es kann ein sofort direkter Eingriff in den Verpackungsprozess vorgenommen werden. Dies führt zu einem stabileren und sicheren Produktionsprozess. Bei einer 100 % Prüfung ist eine detaillierte Stück und Chargenprotokollierung mit Rückverfolgbarkeit möglich.

Alle beschriebenen Verfahren werden heute noch in der Verpackungstechnik zur Dichtheitsprüfung eingesetzt. Jedes dieser Verfahren hat für bestimmte Anforderungen seine Daseinsberechtigung.

Bei jeder Verpackungsart muss festgelegt werden, welche Leckgrößen geprüft werden sollen und welche Beschaffenheit die Verpackung hat. Daraus resultierend ergeben sich meist mehrere Prüfmethode, aus denen dann die am besten geeignete für die jeweiligen Belange ausgewählt wer-

den muss. Ein weiterer Aspekt ist, ob eine Protokollierung erforderlich ist und die Ergebnisse der Leckprüfung zur Qualitätsverbesserung eingesetzt werden sollen. Dies schließt wiederum bestimmte Prüfverfahren aus.

[1] H. Rottländer, W. Umrath, G. Voss: Grundlagen der Lecksuchtechnik, Oerlikon Leybold Vacuum.

[2] Wutz: Handbuch Vakuumtechnik, herausgegeben von K. Jousten, 11. Auflage, Springer-Verlag, 2012.

AUTOR

Dipl. Wirtsch.-Ing (FH) Hans-Peter Hart

Jahrgang 1960, 1984 Abschluss Studium Wirtschaftsingenieurwesen an der Fachhochschule Würzburg-Schweinfurt.

Anschließend im Vertrieb im Bereich Automatisierungstechnik in leitender Position tätig.

Seit 2013 verantwortlich für den Vertrieb bei der LDS-Europe GmbH.



Hans-Peter Hart, LDS Europe GmbH, Lohenstrasse 4, 82166 Graefelfing, Email: hans-peter.hart@lds-europe.com www.lds-europe.com