

**Verfahren zur Bestimmung eines restlichen Leervolumens, Verfahren zur Vor-Ort
Kalibrierung eines Füllstandsmessgeräts und Vor-Ort Kalibriermodul**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung eines restlichen Leervolumens in einem zur
5 Aufnahme eines Prozessmediums vorgesehenen und druckdicht verschließbaren Behälter, ein
Verfahren zur Vor-Ort Kalibrierung eines Füllstandsmessgeräts, sowie ein Vor-Ort Kalibriermodul.

Füllstandsmessgeräte kommen als Feldgeräte in industriellen Prozessanlagen der
Automatisierungstechnik zum Einsatz. Als Feldgeräte werden im Prinzip alle Messgeräte zur
10 Bestimmung und/oder Überwachung von Prozessgröße bezeichnet, die prozessnah eingesetzt
werden und prozessrelevante Informationen liefern oder verarbeiten. Derartige Feldgeräte werden
von der Endress+Hauser Gruppe in den unterschiedlichsten Ausgestaltungen hergestellt und
vertrieben und in der Automatisierungstechnik zur Bestimmung und/oder Überwachung von
Prozessgrößen eines Prozessmediums eingesetzt. Bei dem Prozessmedium handelt es sich
15 beispielsweise um ein fließfähiges Medium, insbesondere ein Fluid im Falle eines flüssigen und/oder
gasförmigen Prozessmediums.

Bei dem Füllstandsmessgerät handelt es sich beispielsweise um ein Laufzeit-Füllstandsmessgerät.
Bei Laufzeit-Füllstandsmessgeräten wird zur Ermittlung des Füllstands eines Mediums in einem
20 Behälter ein Sendesignal von einem Sender ausgesendet und durch Reflektion des Sendesignals an
der Oberfläche des Mediums ein Echosignal gebildet, das von einem Empfänger empfangen und
ausgewertet wird. Die Laufzeit von Sende- und Echosignal ist dabei ein Maß für den Füllstand.
Bekannt sind beispielsweise Laufzeit-Füllstandsmessgeräte, die mit Mikrowellen (bsp. Radar) oder
mit anderen elektromagnetischen Wellen arbeiten. Weiterhin bekannt sind mit Ultraschallwellen
25 arbeitende Laufzeit-Füllstandsmessgeräte.

Alternativ handelt es sich bei dem Füllstandsmessgerät beispielsweise um ein mit dem
hydrostatischen Druck arbeitendes Füllstandsmessgerät, welches mittels zweier an
unterschiedlichen Höhen des Behälters angebrachter Druckmessgeräte den Füllstand des
30 Prozessmediums bestimmt. Weitere aus dem Stand der Technik bekannte Füllstandsmessgeräte
und im Rahmen der Erfindung relevante Füllstandsmessgeräte umfassen bsp. mit Wägezellen
arbeitende Füllstandsmessgeräte oder kapazitiv und/oder konduktiv arbeitende
Füllstandsmessgeräte.

35 Derartige Füllstandsmessgeräte sind in einer Vielzahl von Patentanmeldungen der Anmelderin
beschrieben.

Aus dem mit dem Füllstandsmessgerät ermittelten Füllstand des Prozessmediums in dem Behälter wird oftmals das Volumen des in dem Behälter aufgenommenen Prozessmediums bestimmt. Dieses stellt bsp. eine für die Prozesssteuerung und/oder -regelung relevante Steuer- und/oder Regelgröße dar.

5

Eine Möglichkeit besteht darin, das Volumen des Prozessmediums aus dem Füllstand anhand einer vorgegebenen Behältergeometrie zu bestimmen. Diese Methode ist allerdings in ihrer Genauigkeit dadurch beschränkt, dass z.B. Einbauten im Behälter wie etwa Rührwerke das vom Medium tatsächlich einnehmbare Volumen beeinflussen. Insbesondere in der pharmazeutischen,

10

chemischen und/oder lebensmittelverarbeitenden Industrie ist aufgrund von hohen

Sicherheitsanforderungen oftmals eine sehr genau Kenntnis über das tatsächlich im Behälter vorliegende Volumen des Prozessmediums vonnöten. Daher wird hier, in der Regel vor

Inbetriebnahme des Prozesses, ein Testmedium mit bekanntem Volumen in den Behälter

eingeströmt, ein vom Füllstandsmessgerät angezeigter Messwert bestimmt und mit dem bekannten

15

Volumen korreliert. Anhand der Korrelation unterschiedlicher derartiger Volumen/Füllstand-

Wertepaare wird eine Kalibrierkurve $V_{med}(L)$ ermittelt und bsp. in einer Regel-/Auswerteeinheit

hinterlegt, um im späteren Betrieb den vom Füllstandsmessgerät ermittelten Füllstand anhand der

Kalibrierkurve $V_{med}(L)$ in ein Volumen umzurechnen. Das Einströmen des Testmediums und das

Erstellen einer derartigen Kalibrierkurve wird im Stand der Technik oftmals als sog. „Linearisierung“

20

bezeichnet, wobei der Zusammenhang zwischen Füllstand und Volumen je nach Behältergeometrie und/oder Ausgestaltung von Behälter-Einbauten selbstverständlich auch nicht-linear sein kann.

Aufgrund der hygienischen Anforderungen in den vorstehend genannten Industrien wird als

Testmedium bei der Linearisierung in der Regel besonders gereinigtes Wasser, bsp. Wasser für

Injektionszwecke (englisch: Water for injection, kurz: WFI,) verwendet.

25

Da ein Füllstandsmessgerät alterungsbedingt einem Driftprozess unterliegt, muss es nach einer

vorgegebenen Einsatzdauer kalibriert, verifiziert und/oder justiert werden, bsp. in regelmäßigen

vorgegeben Abständen zur Einhaltung von vorgegebenen Sicherheitsanforderungen in den

vorstehend genannten Industrien. Unter dem Kalibrieren versteht man dabei üblicherweise das

30

Feststellen einer Abweichung eines von dem Füllstandsmessgerät gemessenen ersten Messwerts

von einem alternativ ermittelten und als korrekt angenommenen Referenzwert. Das Verifizieren

umfasst zusätzlich das Ermitteln der Abweichung und deren Einschätzung bzw. Bewertung. Unter

dem Justieren versteht man das Anpassen des Füllstandsmessgerät der Weise, dass dessen

angezeigter Messwert mit dem als korrekt angenommenen Referenzwert übereinstimmt. Zum

35

Kalibrieren, Verifizieren und/oder Justieren muss im Stand der Technik das oftmals fest am Behälter angebrachte Füllstandsmessgerät ausgebaut werden. Alternativ oder zusätzlich wird, wie bei der

vorstehend genannten Linearisierung, ein bekanntes Volumen eines Testmedium in einen

vollständig geleerten Behälter eingeströmt, der angezeigte Füllstand des Füllstandsmessgeräts

- abgelesen und mit der anfänglich ermittelten und hinterlegten Kalibrierkurve ein Volumen des Testmediums ermittelt. Je nach Industrie wird als Testmedium oftmals das bereits erwähnte WFI-Wasser verwendet, welches in der Regel sehr teuer ist. Der Vergleich zwischen dem bekannten Volumen des Testmediums und dem mit dem Füllstandsmessgerät ermittelten Volumen wird dann
- 5 zum Kalibrieren, Verifizieren und/oder Justieren des Füllstandsmessgeräts verwendet. Nachteilig ist, dass beide Methoden zum Kalibrieren, Verifizieren und/oder Justieren mit sehr langen Standzeiten einhergehen. Diese verursachen durch die damit einhergehenden Produktionsausfälle in der Regel hohe Kosten.
- 10 Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Möglichkeit zum Kalibrieren, Verifizieren und/oder Justieren eines Füllstandsmessgeräts mit verkürzter Standzeit anzugeben.
- Die Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren zur Bestimmung eines restlichen Leervolumens, ein Verfahren zur Vor-Ort Kalibrierung eines Füllstandsmessgeräts, sowie durch ein Vor-Ort
- 15 Kalibriermodul.
- Hinsichtlich des Verfahrens zur Bestimmung eines restlichen Leervolumens wird die Aufgabe gelöst durch ein Verfahren, mit dem das restliche Leervolumens in einem zur Aufnahme eines Prozessmediums vorgesehenen und druckdicht verschließbaren Behälter bestimmt wird, wobei es
- 20 sich bei dem restlichen Leervolumen um ein restliches, von einem Medium, insbesondere dem Prozessmedium oder einem Reinigungsmedium, einnehmbares Volumen des Behälters handelt, umfassend zumindest die Schritte:
- Messen eines in dem Behälter anfänglich vorliegenden ersten Drucks p_0 ;
 - Einströmen eines gasförmigen Druckerhöhungsmediums durch einen Zulauf in den Behälter, wobei
 - 25 das in den Behälter eingeströmte Druckerhöhungsmedium das restliche Leervolumen einnimmt und der anfänglich vorliegende Druck auf einen erhöhten Druck erhöht wird;
 - Messen des erhöhten Drucks p_h ;
 - Bestimmung der durch das Einströmen des Druckerhöhungsmediums verursachten Druckerhöhung $\Delta p = p_h - p_0$;
 - 30 - Ermittlung eines Volumens des in den Behälter eingeströmten Druckerhöhungsmediums;
 - Messen einer in dem Behälter vorliegenden Temperatur;
 - Bestimmung des restlichen Leervolumens anhand der Druckerhöhung Δp , des Volumens des Druckerhöhungsmediums und der Temperatur.
- 35 In einer Ausgestaltung des Verfahrens wird das restliche Leervolumen wie folgt aus der Druckerhöhung, dem Volumen des Druckerhöhungsmediums, der Temperatur, sowie aus einer vorgebbaren Bezugstemperatur und einem vorgebbaren Bezugsdruck bestimmt:

$$V_{\text{leer}} = V_{\text{Mtest}} \cdot \frac{T + T_n}{T_n} \cdot \frac{p_n}{\Delta p + p_n}$$

- In obiger Formel bezeichnet V_{leer} das restliche Leervolumen, Δp die Druckerhöhung, V_{Mtest} das Volumen des Druckerhöhungsmediums und T die Temperatur. Bei T_n handelt es sich um die vorgebbare
- 5 Bezugstemperatur und bei p_n um den vorgebbaren Bezugsdruck, bsp. eine Normtemperatur und einen Normdruck. Beispiele für eine Normtemperatur und einen Normdruck sind 273,15° Kelvin bzw. 1013,25 Hektopascal (hPa).

In einer Weiterbildung des Verfahrens umfasst dieses die Schritte:

- 10 - Kontinuierliches Messen eines Volumen-Durchflusses des Druckerhöhungsmediums während des Einströmens des Druckerhöhungsmediums durch den Zulauf in den Behälter mittels eines an dem Zulauf angebrachten Durchfluss-Messgeräts, insbesondere mittels eines Coriolis-Durchfluss-Messgeräts;
- 15 - Bestimmung des Volumens des in den Behälter eingeströmten Druckerhöhungsmediums mittels des gemessenen Volumen-Durchflusses beim Einströmen.

- Das Volumen des in den Behälter eingebrachten Druckerhöhungsmediums wird anhand der Bilanzierung des durch den Zulauf in den Behälter geströmten Druckerhöhungs-mediums mittels des Durchflussmessgeräts bestimmt. Die Genauigkeit des Verfahrens zur Bestimmung des restlichen
- 20 Leervolumens wird durch die Genauigkeit der Messung der Temperatur, des Drucks und des Volumens des Druckerhöhungsmediums beeinflusst. Die Verwendung eines Coriolis-Messgeräts als des Durchflussmessgerät ist aufgrund seiner hohen Genauigkeit vorteilhaft. Selbstverständlich ist im Rahmen der Erfindung die Verwendung anderer aus dem Stand der Technik bekannter Durchflussmessgeräte, bsp. Ultraschall- Durchflussmessgeräte, thermische Durchflussmessgeräte,
- 25 magnetisch-induktiver Durchflussmessgeräte etc. auch möglich.

In einer Ausgestaltung des Verfahrens umfasst dieses die Schritte:

- Vorgabe eines vorgebbaren Soll-Drucks und/oder einer vorgebbaren Soll-Druckerhöhung;
- Übermittlung des gemessenen, anfänglich vorliegenden ersten Drucks an eine zum
- 30 Ansteuern einer Ventileinheit ausgestalteten Regel-/Auswerteeinheit;
- Im Wesentlichen kontinuierliches Messen während des Einströmens des dabei vorliegenden, erhöhten zweiten Drucks und Übermittlung des gemessenen erhöhten zweiten Drucks an die Regel-/Auswerteeinheit;
- Ansteuern der Ventileinheit durch die Regel-/Auswerteeinheit derart, dass das
- 35 Druckerhöhungsmedium solange in den Behälter einströmt, bis der erhöhte zweite Druck den vorgegebenen Soll-Druck und/oder bis die Druckerhöhung die vorgegebene Soll-Druckerhöhung erreicht.

Die Ventileinheit umfasst insbesondere zumindest ein von der Regel-/Auswerteeinheit ansteuerbares Ventil. In diesem Fall handelt es sich also um eine Druck-geregelte Regelung. Sobald der Soll-Druck und/oder die Soll-Druckerhöhung erreicht ist, wird von der Ventileinheit der Zulauf verschlossen. Die von der Regel-/Auswerteeinheit ansteuerbare Ventileinheit ist hierzu

- 5 beispielsweise angrenzend zu dem Durchflussmessgerät angeordnet, vorzugsweise in Bezug auf die Einströmrichtung des Druckerhöhungsmediums vor dem Durchflussmessgerät. Dadurch wird Druckerhöhungsmedium, welches das Durchflussmessgerät durchströmt und damit bei der Bilanzierung des Volumens des Druckerhöhungsmediums berücksichtigt ist, in jedem Fall auch in den Behälter geleitet

10

Alternativ ist es auch möglich, eine Volumen-gesteuerte Regelung des Verfahrens vorzunehmen. In einer alternativen Ausgestaltung des Verfahrens umfasst dieses daher die Schritte:

- Vorgabe eines vorgebbaren Soll-Volumens des Druckerhöhungsmediums;
- Im Wesentlichen kontinuierliches Übermitteln des vom Durchflussmessgerät gemessenen
- 15 Volumen des eingeströmten Druckerhöhungsmediums an die Regel-/Auswerteeinheit während des Einströmens;
- Ansteuern der Ventileinheit durch die Regel-/Auswerteeinheit derart, dass das Druckerhöhungsmedium solange in den Behälter einströmt, bis das gemessenen Volumen das vorgebbare Soll-Volumen erreicht.

20

In einer Weiterbildung des Verfahrens werden die Schritte des Verfahrens mit einem Behälter durchgeführt, in dem sich ein Medium, insbesondere ein Reinigungsmedium oder das Prozessmedium, befindet, so dass das restliche Leervolumen (V_{leer}) für den mit Medium gefüllten Behälter bestimmt wird, und wobei das Volumen des Mediums in dem Behälter (V_{med}) anhand

25 einer Differenz zwischen einem von einem Medium, insbesondere von dem Prozessmedium oder von einem Reinigungsmedium, einnehmbaren Gesamtleervolumen (V_{gesleer}) in dem leeren Behälter und dem restlichen Leervolumen (V_{mleer}) für den mit Medium gefüllten Behälter bestimmt wird:

30

$$V_{\text{med}} = V_{\text{gesleer}} - V_{\text{mleer}}$$

- Das Volumen des Mediums V_{med} in dem mit Medium gefüllten Behälter entspricht dem restlichen Leervolumen V_{mleer} - bis auf das Vorzeichen und eine konstante Verschiebung durch ein von dem Medium einnehmbares Gesamtleervolumen. Um das Volumen des Mediums V_{med} in dem Behälter
- 35 zu erhalten, wird also von dem Gesamtleervolumen das restliche Leervolumen V_{mleer} abgezogen. Der große Vorteil dieser Weiterbildung ist, dass das Volumen des Mediums in dem Behälter bestimmt wird, ohne dass dieses aus dem Behälter ausgeleitet werden muss.

Die konstante Verschiebung lässt sich bsp. einmalig, insb. bei Inbetriebnahme des Füllstandmessgeräts, bestimmen. In einer Weiterbildung des Verfahrens werden die Schritte des Verfahrens mit einem leeren Behälter durchgeführt, wobei das dabei bestimmte restliche Leervolumen des leeren Behälters als das von einem Medium, insbesondere von dem

5 Prozessmedium oder von einem Reinigungsmedium, einnehmbare Gesamtleervolumen in dem leeren Behälter bestimmt wird.

Hinsichtlich des Verfahrens zur Vor-Ort Kalibrierung eines Füllstandsmessgeräts wird die Aufgabe gelöst durch ein Verfahren zur Vor-Ort Kalibrierung eines Füllstandsmessgeräts, dass zur

10 Bestimmung und/oder Überwachung eines Füllstands eines Mediums in dem Behälter, insbesondere eines Prozessmediums oder Reinigungsmediums, ausgestaltet ist, wobei es sich insbesondere um ein berührungslos arbeitendes Füllstandsmessgerät handelt, umfassend zumindest die Schritte:

- Ermitteln des Volumens des Mediums in dem Behälter über das erfindungsgemäße
- 15 Verfahren zur Bestimmung des restlichen Leervolumens;
- Messen des Füllstands des Mediums in dem Behälter mit dem Füllstandsmessgerät;
- Ermittlung eines Volumens des Mediums in dem Behälter mit dem Füllstandsmessgerät anhand einer, insbesondere anfänglich bestimmten, hinterlegten Relation zwischen dem mit dem Füllstandsmessgerät gemessenen Füllstand und einem vom Füllstand abhängigen
- 20 Volumen des Mediums in dem Behälter;
- Feststellen, Dokumentieren und/oder Anzeigen zumindest des Unterschieds zwischen dem durch das Füllstandsmessgerät ermittelte Volumen des Mediums in dem Behälter und dem über das Verfahren zur Bestimmung des restlichen Leervolumens ermittelten Volumen des Mediums in dem Behälter.

25 Bei dem Verfahren zur Vor-Ort Kalibrierung des Füllstandsmessgeräts wird also das Volumen des Mediums in dem Behälter ein erstes Mal anhand des Verfahrens zur Bestimmung eines restlichen Leervolumens ermittelt und als Referenzvolumen für das Volumen des Mediums in dem Behälter verwendet, und ein zweites Mal mit dem Füllstandsmessgerät ermittelt. Beim Kalibrieren,

30 Verifizieren und/oder Justieren des Füllstandsmessgeräts wird anschließend das mit dem Füllstandsmessgeräts ermittelte Wert mit dem Referenzvolumen verwendet.

Zur Umrechnung des von dem Füllstandsmessgerät angezeigten Füllstands in ein Volumen wird die vorstehend genannte anfänglich bestimmte, insb. in der Regel-/Auswerteeinheit hinterlegte, Relation

35 $V_{med}(L)$ zwischen dem mit dem Füllstandsmessgerät gemessenen Füllstand und dem vom Füllstand abhängigen Volumen des Mediums in dem Behälter verwendet. Diese Relation wird insbesondere wie vorstehend erwähnt dadurch anfänglich bestimmt, dass ein Testmedium mit bekannten Volumen in den Behälter gebracht wird, bsp. vor Inbetriebnahme des

Füllstandsmessgeräts, um den vom Füllstandsmessgerät angezeigten Füllstand (anfänglich als korrekt angenommen) mit dem bekannten Volumen zu korrelieren und daraus eine Kalibrierkurve zu ermitteln. Diese Kalibrierkurve wird als konstant angenommen, so dass eine im späteren Betrieb auftretende Abweichung zwischen dem mit dem Füllstandsmessgerät bestimmten Volumen und dem mit dem Verfahren zur Bestimmung des restlichen Leervolumens in dem Behälter bestimmten Volumen einer Drift des Füllstandsmessgeräts zugerechnet wird.

Die Vorteile des Verfahrens zur Vor-Ort Kalibrierung des Füllstandsmessgeräts sind die folgenden:

- 10 - Wie vorstehend genannt kann bei der Bestimmung des Volumens des Mediums das Medium in dem Behälter verbleiben kann. Dadurch ist das Verfahren zur Vor-Ort-Kalibrierung des Füllstandsmessgeräts sehr einfach in einen bestehen Prozess integrierbar. Das Volumen des Mediums in dem Behälter kann z.B. während einer vergleichsweise kurzen Unterbrechung des Prozesses bestimmt werden. Dies insbesondere im Vergleich zu einer Unterbrechung, bei der zur Kalibrierung des Füllstandsmessgeräts der Behälter über einen Zulauf geleert werden muss, um anschließend ein Testmedium mit einem bekannten Volumen in den Behälter zu leiten, bsp. über ein an dem Zulauf angebrachtes Durchflussmessgerät.
- 15 - Eine Drift des Füllstandsmessgeräts kann ohne dessen Ausbau bestimmt werden. Das Füllstandsmessgerät kann somit zum Kalibrieren, Verifizieren und/oder Justieren in seiner prozessnahen Anordnung verbleiben, z.B. für den Fall, dass es an dem Behälter angebracht ist, in seiner Einbaulage.
- 20 - Im Stand der Technik wird wie oben bereits erwähnt das relativ teure WFI-Wasser auch als Testmedium bei der Re-Kalibrierung des Füllstandsmessgeräts verwendet. Das erfindungsgemäße Verfahren zur Vor-Ort Kalibrierung des Füllstandsmessgeräts benötigt kein derartiges Testmedium, sondern nur das Druckerhöhungsmedium. An dieses liegen weniger strenge Anforderungen vor, so dass im erfindungsgemäßen Verfahren wesentlich günstigere Medien als Druckerhöhungsmedium verwendet werden können, je nach Ausgestaltung bsp. CO₂ oder sogar Umgebungsluft.

30 In einer Ausgestaltung des Verfahrens zur Vor-Ort Kalibrierung des Füllstandsmessgeräts umfasst dieses den Schritt;

- Justierung des Füllstandsmessgeräts, wobei der Messwert des Füllstandsmessgeräts derart angepasst wird, dass das mit dem Füllstandsmessgerät ermittelte Volumen des Mediums in dem Behälter mit dem durch das Verfahren zur Bestimmung des restlichen Leervolumens ermittelten Volumens des Mediums in dem Behälter übereinstimmt.

35

In einer Weiterbildung des Verfahrens zur Vor-Ort Kalibrierung des Füllstandsmessgeräts wird als Druckerhöhungsmedium Umgebungsluft oder ein hochreines Gas, insbesondere gereinigte Umgebungsluft oder CO₂ verwendet. Die Wahl des Druckerhöhungsmediums wird z.B. dadurch

bestimmt, und um welche Art von Medium es sich handelt. Handelt es sich bsp. um Reinigungsmedium, liegen im Wesentlichen keine Anforderungen an das Druckerhöhungsmedium vor. Handelt es sich um Prozessmedium, so sollte sichergestellt sein, dass das Druckerhöhungsmedium nicht mit dem Prozessmedium ungünstig wechselwirkt. In den vorstehend
5 genannten Industrien kann z.B. für eine Vielzahl von Prozessmedien als Druckerhöhungsmedium CO₂ verwendet werden.

In einer Ausgestaltung des Verfahrens zur Vor-Ort Kalibrierung des Füllstandsmessgeräts wird bei dem Einströmen des Druckerhöhungsmediums eine unter Druck stehende Gasflasche oder ein
10 Druckluftsystem einer Prozessanlage verwendet, in welcher das Vor-Ort Verfahren zur Kalibrierung eines Füllstandsmessgeräts durchgeführt wird. In der unter Druck stehenden Gasflasche ist dann z.B. das gewählte Druckerhöhungsmedium enthalten. Liegen- je nach Ausgestaltung des Verfahrens – im Wesentlichen kaum Anforderungen an die Reinheit des Druckerhöhungsmediums vor, kann vorteilhaft auch das oftmals bereits bestehende Druckluftsystem der Prozessanlage verwendet
15 werden, und gereinigte oder ungereinigte Umgebungsluft zu verwenden.

In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens zur Vor-Ort Kalibrierung des Füllstandsmessgeräts erfolgt die Vor-Ort Kalibrierung des Füllstandsmessgeräts nach einer Reinigung des Behälters mit einem Reinigungsmedium, wobei das Reinigungsmedium als das bei
20 der Vor-Ort Kalibrierung verwendete Medium dient, und wobei insbesondere nach der Vor-Ort Kalibrierung des Füllstandsmessgeräts eine Dampfsterilisation des Behälters erfolgt.

In dieser Ausgestaltung ist das Verfahren zur Vor-Ort Kalibrierung besonders vorteilhaft in bestehende Prozesse integriert, da in den vorstehend genannten Industrien ohnehin in
25 regelmäßigen Abständen derartige sog. Vor-Ort-Reinigungen (englisch „Cleaning-in-Place“ oder kurz: CIP-Reinigung) mit Reinigungsmedium erfolgen müssen. Für den Fall, dass anschließend zur Vor-Ort Kalibrierung eine Dampfsterilisation des Behälters erfolgt, liegen im Wesentlichen keine Einschränkungen an die Art des Druckerhöhungsmediums vor.

30 In einer weiteren Ausgestaltung des Verfahrens wird das Druckerhöhungsmedium anschließend wieder aus dem Behälter ausgeströmt, bsp. indem eine Ventileinheit an dem Behälter geöffnet wird. Dadurch wird der beim Verfahren zur Bestimmung des restlichen Leervolumens erzeugte erhöhte Druck zumindest teilweise wieder abgebaut.

35 In einer Ausgestaltung des Verfahrens wird ein unkomprimierbares Medium verwendet, welches also in dem Verfahren zur Vor-Ort Kalibrierung des Füllstandsmessgeräts auch unter dem erhöhten Druck sein Volumen beibehält. Ob dies der Fall ist, kann dadurch überprüft werden, ob der von dem

Füllstandsmessgerät angezeigte Füllstand während der Durchführung des Verfahrens im Wesentlichen konstant bleibt.

- Ändert sich während der Durchführung des Verfahrens der vom Füllstandsmessgerät angezeigte Füllstand, wird hingegen eine durch den erhöhten zweiten Druck bedingte Komprimierung des Mediums festgestellt. Eine durch das Druckerhöhungsmedium bedingte Komprimierung des Mediums wird durch das Füllstandsmessgerät als eine Änderung des Füllstands $L \rightarrow L'$ mitgemessen, wobei h' den Füllstand bei dem komprimierten Volumen bezeichnet. In diesem Fall kann zum Einen zunächst das komprimierte Volumen $V_{med}(L')$ des Mediums in dem Behälter bestimmt werden, dieses anschließend mit Hilfe der anfänglich hinterlegten Kalibrierkurve zu einem korrigierten, unkomprimierten Volumen $V_{med}(L)$ korrigiert werden und das unkomprimierte Volumen V und der unkomprimierte Füllstand L zur Kalibrierung, Verifizierung und/oder Justierung des Füllstandsmessgeräts verwendet werden. Diese Komprimierungs-Korrektur ist allerdings nicht unbedingt notwendig, da alternativ auch das komprimierte Volumen V' und der Füllstand L' bei dem komprimierten Volumen $V_{med}(L')$ zur Kalibrierung, Verifizierung und/oder Justierung des Füllstandsmessgeräts verwendet werden kann.

- Hinsichtlich des Vor-Ort Kalibriermoduls wird die Aufgabe gelöst durch ein Kalibriermodul, das zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahren zur Vor-Ort Kalibrierung eines Füllstandsmessgeräts ausgestaltet ist. Das Vor-Ort Kalibriermodul umfasst ein an dem Zulauf angeordnetes Durchflussmessgerät, ein zum Messen des anfänglichen Drucks und des erhöhten zweiten Drucks ausgestaltetes Druckmessgerät, ein zum Messen der Temperatur in dem Behälter ausgestaltetes Temperaturmessgerät, und eine Regel-/Auswerteeinheit.

- In einer Ausgestaltung des Vor-Ort Kalibriermoduls sind das Druckmessgerät und/oder das Temperaturmessgerät an dem Zulauf angeordnet. Alternativ können das Temperaturmessgerät und/oder das Druckmessgerät auch im Behälter angeordnet sein.

- In einer weiteren Ausgestaltung des Vor-Ort Kalibriermoduls ist das Vor-Ort Kalibriermodul als ein mobiles Vor-Ort Kalibriermodul ausgestaltet, welches insbesondere mit einer zweiten, an dem Behälter angeordneten Ventileinheit verbindbar ist. Über die zweite Ventileinheit ist das Vor-Ort Kalibriermodul reversibel mit dem Behälter verbindbar.

- In einer weiteren Ausgestaltung des Vor-Ort Kalibriermoduls ist das Vor-Ort Kalibriermodul an dem Behälter angeordnet und mit dem Behälter fest verbunden. Beispielsweise ist für mehrere Behälter in der Prozessanlage jeweils für jeden Behälter ein erfindungsgemäßes Vor-Ort Kalibriermodul vorgesehen und einem Behälter zugeordnet, dass jeweils ein Füllstandsmessgerät, ein Durchflussmessgerät, ein Temperaturmessgerät und eine Regel-/Auswerteeinheit umfasst.

Die Erfindung wird anhand der nachfolgenden, nicht maßstabsgetreuen Figuren näher erläutert, wobei gleiche Bezugszeichen gleiche Merkmale bezeichnen. Wenn es die Übersichtlichkeit erfordert oder es anderweitig sinnvoll erscheint, wird auf bereits erwähnte Bezugszeichen in nachfolgenden Figuren verzichtet. Es zeigt:

5

Fig. 1: Eine Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Bestimmung des restlichen Leervolumens; und

Fig. 2: Eine Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Vor-Ort Kalibrierung eines Füllstandsmessgeräts sowie eine Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Vor-Ort-Kalibriermoduls.

10

In Figur 1 ist eine Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Bestimmung des restlichen Leervolumens V_{leer} dargestellt. Das Verfahren wird in dieser Ausgestaltung bei einem leeren Behälter 1 durchgeführt, um damit das gesamte, im leeren Behälter 1 für ein Medium zur Verfügung stehende und von dem Medium einnehmbare Gesamtleervolumen V_{gesleer} zu ermitteln. Die Ermittlung des Gesamtleervolumens V_{gesleer} erfolgt einmalig, bsp. initial vor Inbetriebnahme eines Füllstandsmessgeräts 6 in einer Prozessanlage (siehe Fig. 2). Nicht näher dargestellt sind in dieser Ausgestaltung weitere Zu- und/oder Abläufe des Behälters 1, durch welche etwa ein Prozessmedium PM oder ein Reinigungsmedium RM zu- bzw. abgeleitet werden kann, sowie ggf. im Behälter 1 vorhandene Einbauten, bsp. Rührwerke oder weitere Feldgeräte. Um das restliche Leervolumen V_{leer} (in diesem Spezialfall: das Gesamtleervolumen V_{gesleer}) zu ermitteln, wird über einen Zulauf 2 ein Druckerhöhungsmedium Mtest in den Behälter 1 eingeströmt. Bei dem Druckerhöhungsmediums Mtest handelt es sich bevorzugt um ein gasförmiges Medium.

15

20

Das Druckerhöhungsmedium Mtest ist in dieser Ausgestaltung ggf. gereinigte Umgebungsluft, welche mittels eines in der Prozessanlage vorhandenen Druckluftsystems 11 in den druckdicht verschlossenen Behälter 1 eingebracht wird. Alternativ wird hierzu bsp. eine unter Druck stehende und das Druckerhöhungsmedium Mtest enthaltende Gasflasche 10 verwendet. Während das Druckerhöhungsmedium Mtest in den Behälter 1 einströmt, wird kontinuierlich der Volumendurchfluss des Druckerhöhungsmediums Mtest durch den Zulauf 2 ermittelt. Hierzu wird Durchfluss-Messgerät 3, bevorzugt ein sehr genaues Coriolis-Durchflussmessgerät, verwendet, mit dem das Volumen V_{Mtest} des gesamten in den Behälter 1 eingeströmten Druckerhöhungsmediums Mtest ermittelt und an eine Regel-/Auswerteinheit 5 übermittelt wird. Die Regel-/Auswerteinheit 5 dient der Auswertung der von den Messgeräten 3,7,8 übermittelten Messwerten und/oder zumindest der Regelung einer Ventileinheit 4. Die Ventileinheit 4 umfasst hier zumindest ein von der Regel-/Auswerteinheit 5 ansteuerbares und zur Absperrung des Zulaufs ausgestaltetes Ventil.

25

30

35

Vor bzw. während des Einströmens des Druckerhöhungsmediums Mtest in den Behälter 1 wird der in dem Behälter 1 anfänglich vorliegende Druck p0 bzw. eine durch das Einströmen des Druckerhöhungsmediums Mtest bedingte Druckerhöhung Δp und/oder der erhöhte Druck ph im Behälter 1 ermittelt. Hierzu ist an dem Zulauf 2 ein Druckmessgerät 7 angeordnet, welches die von ihm gemessenen Messwerte an die Regel-/Auswerteeinheit übermittelt. Das Druckerhöhungsmediums Mtest wird bei einer Druck-gesteuerten Regelung solange in den Behälter 1 eingeströmt, bis in dem Behälter 1 ein vorgebbarer erhöhter Soll-Druck phsoll vorliegt bzw. eine vorgebbare Soll-Druckerhöhung Δpsoll erreicht ist. Bei Erreichen der Soll-Druckerhöhung Δpsoll wird von der Regel-/Auswerteeinheit 5 die Ventileinheit 4 derart angesteuert, dass der Zulauf 2 verschlossen ist und kein weiteres Druckerhöhungsmediums Mtest mehr in den Behälter 1 strömt. Die Ventileinheit 4 ist hierzu in Bezug auf die Einströmrichtung des Druckerhöhungsmediums Mtest vor dem Durchfluss-Messgerät 3 angeordnet.

Alternativ zu der hier dargestellten Druck-gesteuerten Regelung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist eine Volumen-gesteuerte Regelung möglich. Bei letzterer wird solange das Druckerhöhungsmedium Mtest eingeströmt, bis das mithilfe des Durchfluss-Messgeräts 3 ermittelte Volumen V_Mtest des gesamten in den Behälter 1 eingeströmten Druckerhöhungsmediums Mtest mit einem vorgebbaren Soll-Volumen übereinstimmt.

Gleichzeitig wird mit einem an dem Zulauf 2 angeordneten Temperaturmessgerät 8 die im Behälter vorliegende Temperatur T ermittelt. Alternativ können das Druckmessgerät 7 und/oder das Temperaturmessgerät 8 auch im Behälter 1 angeordnet sein.

Es wird nun ein Bezugsdruck pn und eine Bezugstemperatur Tn vorgegeben. Vorzugsweise handelt es sich bei dem Bezugsdruck pn und der Bezugstemperatur Tn um einen bei Normbedingungen vorliegenden Umgebungsdruck von 1013,25 Hektopascal (hPa) bzw. um eine Umgebungstemperatur von 273,15° Kelvin. Das restliche Leervolumen V_leer wird folgendermaßen aus dem gemessenen Volumen V_Mtest des in den Behälter 1 eingeströmten Druckerhöhungsmediums Mtest, der ermittelten Druckerhöhung Δp und der gemessenen Temperatur T und Bezugsdruck pn bzw. -temperatur Tn ermittelt:

$$V_{leer} = V_{Mtest} \cdot \frac{T + Tn}{Tn} \cdot \frac{pn}{\Delta p + pn}$$

Das Gesamtleervolumen V_gesleer in dem Behälter wird anschließend als das derart mit dem leeren Behälter 1 ermittelte, restliche Leervolumen V_leer bestimmt.

- Ist in dem Behälter 1 nun Medium vorhanden (nicht dargestellt), wird völlig analog wie vorstehend erläutert das restliche Leervolumen in dem Behälter 1 mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens ermittelt. Befindet sich Medium in dem Behälter 1, entspricht das restliche Leervolumen V_{leer} bis auf eine Konstante dem Negativen des Volumens des Mediums V_{med} in dem Behälter 1, wobei es
- 5 sich bei der Konstanten um das oben beschriebene Gesamtleervolumen V_{gesleer} handelt. Daher lässt sich das Volumen des Mediums V_{med} in dem Behälter 1 folgendermaßen bestimmen.

$$V_{\text{med}} = V_{\text{gesleer}} - V_{\text{leer}}$$

- 10 In Figur 2 ist dargestellt, wie das Verfahren zur Bestimmung des restlichen Leervolumens in einem erfindungsgemäßen Verfahren zur Vor-Ort Kalibrierung eines Füllstandsmessgeräts 6 bzw. in einem erfindungsgemäßen Vor-Ort-Kalibriermodul eingesetzt wird.

- Bei dem Füllstandsmessgerät 6 handelt es sich in diesem Ausführungsbeispiel um das eingangs
- 15 erwähnte, auf dem Laufzeit-Verfahren basierende und mit Mikrowellen arbeitende Füllstandsmessgerät, wobei die Erfindung wie vorstehend erwähnt keineswegs auf derartige Füllstandsmessgeräte beschränkt ist.

- Das Füllstandsmessgerät 6 dient der Bestimmung und/oder Überwachung des Füllstands L eines
- 20 Prozessmediums PM in dem Behälter 1.
- Das Füllstandsmessgerät ist anfänglich kalibriert, d.h. zeigt einen als korrekt angenommenen Füllstand L an. Dieser Füllstand L wird im Stand der Technik mit dem Volumen V_{med} des Mediums in dem Behälter 1 korreliert, da dieses ist eine wichtige Steuer- bzw. Regelgröße, bsp. bei der Herstellung von z.B. Pharmazeutika, darstellt. Hierzu wird, in der Regel bei Inbetriebnahme des
- 25 Füllstandsmessgeräts 6, ein bekanntes Volumen eines Testmediums, bsp. hochreines WFI-Wasser in den Behälter geleitet. Anhand des bekannten Volumens des Testmediums und dem vom Füllstandsmessgerät 6 angezeigten Füllstands L wird im Rahmen einer sogenannten Linearisierung eine Kalibrierkurve $V_{\text{med}}(L)$ erstellt, mit der in einem späteren Messbetrieb der vom Füllstandsmessgerät 6 angezeigte Füllstand L in das Volumen V_{med} des Mediums in dem Behälter
- 30 1 umgerechnet wird. Ggf. wird schon im Rahmen dieser Inbetriebnahme das Volumen V_{med} des Testmediums in dem Behälter 1 wie bereits beschreiben über das Verfahren zur Bestimmung des restlichen Leervolumens V_{leer} bestimmt. Das vom Füllstandsmessgerät 6 ermittelte Volumen V_{med} des Testmediums in dem Behälter wird damit abgeglichen bzw. das über das Verfahren zur Bestimmung des restlichen Leervolumens V_{leer} ermittelte Volumen V_{med} des Testmedium wird
- 35 derart angepasst, dass es mit dem vom Füllstandsmessgerät angezeigten Volumen $V_{\text{med}}(L)$ übereinstimmen.

Um das Füllstandsmessgerät 6 nun nach einem Messbetrieb zu kalibrieren, verifizieren und/oder zu justieren, bsp. in vorgeschriebenen regelmäßigen Abständen, wird das Verfahren zur Bestimmung des restlichen Leervolumens V_{leer} angewandt. Vorteilhaft kann sich hierzu Medium in dem Behälter 1 befinden, und das Füllstandsmessgerät 6 muss nicht ausgebaut werden, sondern das
5 Druckerhöhungsmedium Mtest wird in den Behälter 1 mit darin befindlichen Medium, hier Reinigungsmedium RM, eingebracht.

Das Volumen V_{med} des Mediums in dem Behälter 1 wird nun einmal wie bereits beschreiben über das Verfahren zur Bestimmung des restlichen Leervolumens V_{leer} bestimmt und einmal mit dem
10 Füllstandsmessgerät 6 bestimmt, wobei zur Umrechnung die als konstant angenommene Kalibrierkurve $V_{\text{med}}(L)$ verwendet wird.
Aufgrund des oben beschriebenen Abgleichs lässt sich eine Abweichung zwischen dem über den Füllstand L ermittelten Volumen $V_{\text{med}} 1$ und dem mit dem über das Verfahren zur Bestimmung des restlichen Leervolumens V_{leer} ermittelten Volumen V_{med} auf eine Drift des Füllstandsmessgeräts
15 6 zurückführen.

Zur Anzeige zumindest des Unterschieds zwischen dem durch das Füllstandsmessgerät 6 ermittelte Volumen V_{med} und dem über das Verfahren zur Bestimmung des restlichen Leervolumens V_{leer} ermittelten Volumen V_{med} umfasst das Vor-Ort Kalibriermodul 12 ggf. Anzeigemittel, bsp eine mit
20 der Regel-/Auswerteeinheit 5 verbundene Anzeigeeinheit wie etwa ein Display. Alternativ kann die Anzeige auch über ein separates, ggf. mobiles, Endgerät erfolgen (etwa ein PC, ein Laptop, ein Smartphone, ein Tablet, eine Datenbrille etc.), mit dem die Regel-/Auswerteeinheit 5 mittels eines Kommunikationsnetzwerkes, insbesondere über einen Feldbus der Automatisierungstechnik und/oder über Ethernet, drahtgebunden und/oder drahtlos, kommuniziert.

25 Bei einer Justierung des Füllstandsmessgeräts 6 wird dieses zusätzlich derart angepasst, dass der angezeigte Füllstand L zu einem Volumen $V_{\text{med}}(L)$ führt, welches mit dem über das Verfahren zur Bestimmung des restlichen Leervolumens V_{leer} ermittelten Volumen V_{med} des Mediums in dem Behälter 1 übereinstimmt.

30 Bevorzugt wird das Verfahren zur Vor-Ort Kalibrierung eines Füllstandsmessgeräts 6 in bestehende Prozesse in der Prozessanlage derart integriert, dass eine Standzeit der Prozessanlage minimiert wird. Da in den vorstehend genannten Industrien der Behälter 1 nach der Herstellung einer sogenannten Charge bzw. Batch der Prozess zur regelmäßigen CIP-Reinigung ohnehin
35 unterbrochen werden muss, stellt diese einen bevorzugten Zeitpunkt zur anschließenden Vor-Ort Kalibrierung des Füllstandsmessgeräts 6 dar. Hierzu wird wie in Fig. 2 dargestellt das Verfahren mit dem im Behälter 1 befindlichen und bei der CIP-Reinigung benutzte Reinigungsmedium RM verwendet. Da hier oftmals anschließend an die CIP-Reinigung eine Dampfsterilisation des

Behälters 1 erfolgt, liegen zudem im Wesentlichen keine Einschränkungen an das dabei verwendete Druckerhöhungsmedium Mtest vor. Selbstverständlich ist im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens auch die Verwendung eines anderen Mediums anstelle des Reinigungsmediums RM möglich, insbesondere des Prozessmediums PM. Je nach Art des Prozessmediums PM ergeben
5 sich dabei dann ggf. Einschränkungen an die Art des Druckerhöhungsmediums Mtest.

Das Durchflussmessgerät 6, das Druckmessgerät 7, das Temperaturmessgerät 8, die Ventileinheit 5 und die Regel-/Auswerteeinheit 5 werden von einem Vor-Ort Kalibriermodul 12 umfasst. Dieses ist entweder mit dem Behälter fest verbunden, oder alternativ über eine zweite Ventileinheit als ein
10 mobiles Vor-Ort Kalibriermodul 12 mit dem Behälter 1 verbindbar, beispielsweise an eine am Behälter 1 angebrachte zweite Ventileinheit 9.

Bezugszeichen und Symbole

	1	Behälter
	2	Zulauf
5	3	Durchflussmessgerät
	4, 9	Ventileinheit, zweite Ventileinheit
	5	Regel-/Auswerteeinheit
	6	Füllstandsmessgerät
	7	Druckmessgerät
10	8	Temperaturmessgerät
	10	Gasflasche
	11	Druckluftsystem
	12	Vor-Ort Kalibriermodul
15	V_leer	restliches Leervolumen
	V_gesleer	Gesamtleervolumen
	PM	Prozessmedium
	RM	Reinigungsmedium
	Mtest	Druckerhöhungsmedium
20	V_Mtest	Volumen des Druckerhöhungsmediums
	V_Mtestsoll	vorgebbares Soll-Volumen
	Vmed	Volumen des Mediums in dem Behälter
	p0, ph	erster, zweiter Druck
	Δp	Druckerhöhung
25	pn	vorgebbarer Bezugsdruck
	phsoll	vorgebbarer Soll-Druck
	Δp_{soll}	vorgebbaren Soll-Druckerhöhung
	T	Temperatur
	Tn	vorgebbare Bezugstemperatur
30	L	Füllstand
	Vmed(L), Vmed'(L')	Relation zwischen Volumen und Füllstand