

KRYOGENE KÄLTE FÜR INDUSTRIELLE ANWENDUNGEN

Leistungsfähige Systemkomponenten von Messer Griesheim

Stickstoff kommt in zahlreichen industriellen Prozessen zum Einsatz. Das Gas wird in großen Mengen durch Abkühlen auf Temperaturen unter -190 °C verflüssigt, um beispielsweise Transport und Lagerung zu vereinfachen. Tieftemperaturverflüssigt dient Stickstoff dann in vielen Bereichen als Kältequelle. Seine herausragenden Merkmale sind dabei die große Kältekapazität auf sehr niedrigem Temperaturniveau und die inertisierende Wirkung.

Die Handhabung von flüssigem Stickstoff ist im Prinzip einfach. Für einen optimalen Einsatz sind allerdings je nach Anwendung spezielle Geräte erforderlich. Dieser Beitrag stellt verschiedene von Messer entwickelte Komponenten für den Einsatz von Stickstoff als Kälteüberträger vor (Abb. 1).

Abb. 1: Flüssiger Stickstoff ist für die unterschiedlichsten Kühlaufgaben nutzbar: Hier z.B. das Kühlen einer Gewebebahn (95.70.140.a)





Abb. 2: Flexible (links) und starre (unten) vakuum-superisolierte Transferleitungen von Messer Cryotherm (95.70.53f-15 / 95.70.78p)

FLÜSSIGER STICKSTOFF: EIGENSCHAFTEN UND VORTEILE

Stickstoff ist mit ca. 78 Vol.% Hauptbestandteil unserer Atemluft. Die erste Verflüssigung von Luft gelang bereits 1877 L. Cailletet und R. P. Pictet. Der Durchbruch für die Verwendung von Stickstoff als inertes Kältemittel kam in den 50er und 60er Jahren durch den Bau großer, leistungsstarker Tieftemperatur-Luftzerlegungsanlagen. Stickstoff stand damit kostengünstig und in großen Mengen für eine Vielzahl von Verfahren zur Verfügung. Wichtige Vorzüge von Flüssigstickstoff (LN₂) als Kälte Träger sind:

- Gute Dosierbarkeit
- flexible Anpassung an den Kältebedarf
- guter Wärmeübergang
- chemische Reaktionsträgheit
- Doppelnutzung möglich

Abb. 3: Verdampfungsverluste von flüssigem Stickstoff in einer Transferleitung (Durchmesser 14 mm) bei einem Zwei-Schicht-Betrieb (GP.201.7)

Durch den guten Wärmeübergang sind kleine Wärmeaustauschflächen realisierbar. Die chemische Reaktionsträgheit erlaubt den direkten Kontakt zwischen Stickstoff und Kühlgut. Die Doppelnutzung spart Kosten, da der Stickstoff sowohl zum Kühlen als auch zum Inertisieren eingesetzt werden kann. Letztere Eigenschaft verhindert z.B. Brände, Verpuffungen und Explosionen.

SYSTEMKOMPONENTEN FÜR DEN UMGANG MIT FLÜSSIGEM STICKSTOFF

Für den Einsatz von flüssigem Stickstoff sind spezielle Geräte erforderlich, da neben der tiefen Temperatur auch die große Volumenzunahme des Stickstoffs beim Verdampfen zu berücksichtigen ist: Aus einem Liter flüssigem Stickstoff

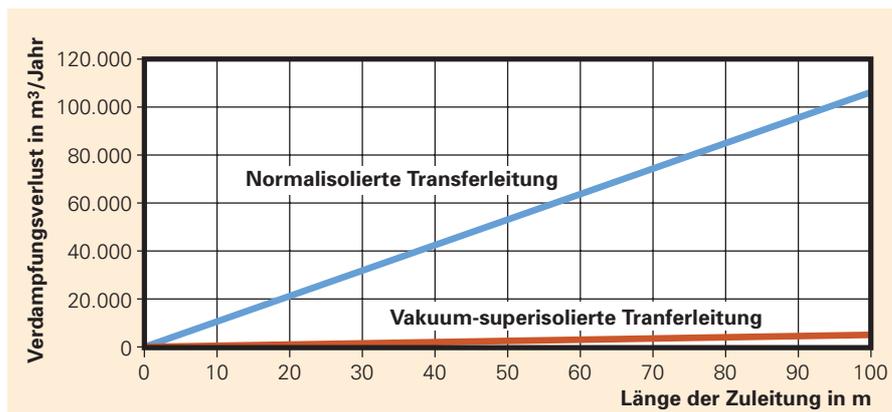
entsteht bei Umgebungsdruck ein Gasvolumen von ca. 700 Litern.

Messer hat für den wirtschaftlichen Einsatz von flüssigem Stickstoff eine Vielzahl an Komponenten entwickelt, von denen im Folgenden die wichtigsten vorgestellt werden.

VAKUUM-SUPERISOLIERTER TRANSFERLEITUNGEN

Der beim Anwender in flüssigem Zustand im Tank gelagerte Stickstoff gelangt über eine Rohrleitung zur Verwendungsstelle. Jeder Wärme-Eintrag in das System führt dabei zur Verdampfung und damit zu Kälteverlusten, die möglichst gering sein sollten. Daher muss diese Leitung sehr gut isoliert sein. Neben der normalisierten Leitung (mit Mineralwolle und/oder PU-Schaum ummantelt) hat sich heute die höherwertige vakuum-superisolierte Leitung durchgesetzt. Hier gibt es neben der üblichen starren Rohrleitung auch flexible vakuum-superisolierte Schläuche für besondere Anwendungen (Abb. 2).

Abb. 3 veranschaulicht die sehr gute Isolierwirkung der vakuum-superisolierten Transferleitung. Zugrunde gelegt wurden die üblichen Zirka-Werte für die Verdampfungsraten von flüssigem Stickstoff: Normalisierte Leitung 0,3 kg/m·h und vakuum-superisolierte Leitung 0,015 kg/m·h (zum Vergleich: die Verdampfungsrates eines flexiblen vakuum-superisolierten Schlauchs beträgt ca. 0,03 kg/m·h). Das Diagramm zeigt die jährlichen Verluste durch Verdampfen in



einer Zuleitung in Abhängigkeit von der Leitungslänge. Die Werte gelten für eine Leitung mit einem Durchmesser von 14 mm bei einem Zwei-Schicht-Betrieb.

GASPHASENABSCHIEDER

Trotz optimaler Isolierung verdampft immer ein - wenn auch geringer - Teil des flüssigen Stickstoffs. Besonders bei langen Leitungswegen kann dann der Gasphasenanteil für bestimmte Anwendungen bereits zu hoch sein. Dies ist z.B. der Fall, wenn unmittelbar nach dem Start einer Anwendung die maximale Menge an flüssigem Stickstoff zur Verfügung stehen muss. So ist z.B. beim Kühlen von geblasenen Kunststoffflaschen direkt nach dem Einschalten der Produktionsanlage die maximale Kühlleistung erforderlich, da der einzelne Kühlvorgang hier insgesamt nur wenige Sekunden dauert. In diesen Fällen wird daher unmittelbar vor der Verwendungsstelle des Stickstoffs ein Gasphasenabscheider installiert.

Ein solches Gerät ist im Wesentlichen ein vakuum-superisolierter Behälter, in den der Stickstoff aus der Transferleitung strömt. Am Boden dieses Behälters kann über einen Stutzen gasfreier flüssiger Stickstoff entnommen werden; der Gasanteil verlässt den Behälter im oberen Teil. Der Zulauf in den Behälter

wird über eine Niveauregelung gesteuert, die von Fremdenergie unabhängig ist (Abb. 4).



Abb. 4: Außenansicht Gasphasenabscheider (95.70.78h)

Für verschiedene Anforderungen hat Messer entsprechende Gasphasenabscheider entwickelt (Abb. 5):

- Gasphasenabscheider, Systemdruck
- Gasphasenabscheider, druckgeregelt
- Gasphasenabscheider, drucklos

Gasphasenabscheider, Systemdruck

Dieser Gasphasenabscheider gibt nach dem Abscheiden der Gasphase den Leitungsdruk im Zulauf an die Anwendung

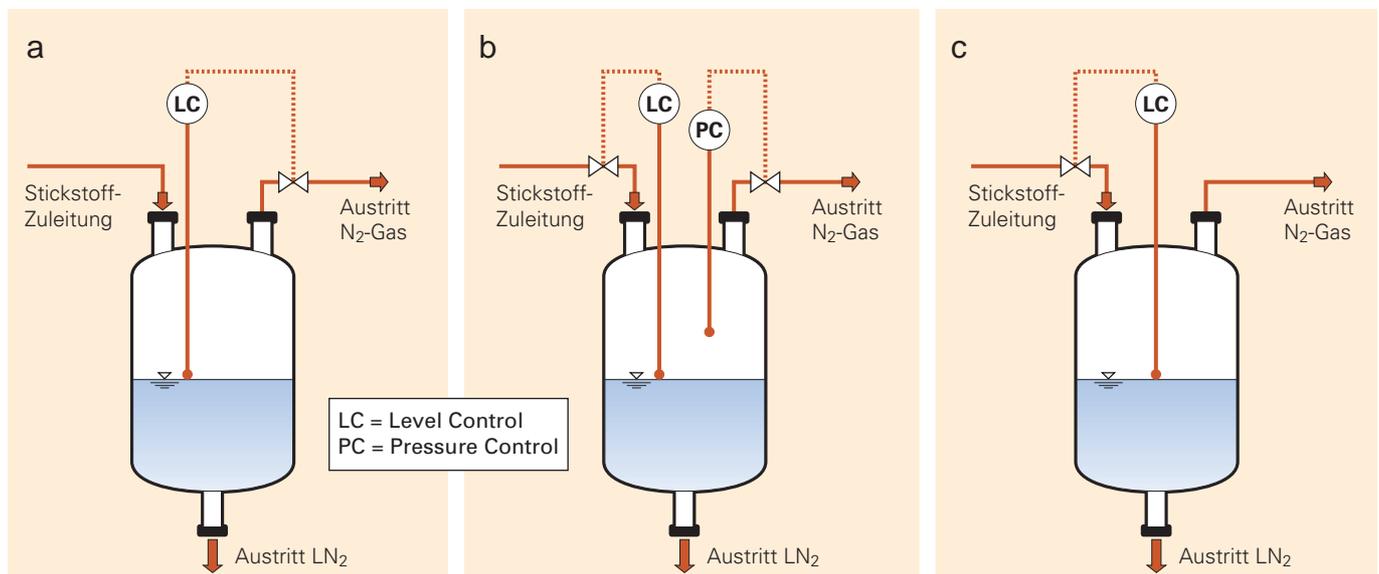
weiter (Abb. 5a). Er wird bei temperaturgeregelten Standard-Kühlaufgaben eingesetzt, bei denen die Anwendung Druckschwankungen zulässt.

Druckgeregelter Gasphasenabscheider

Eine Weiterentwicklung des zuvor beschriebenen Abscheiders ist der druckgeregelter Gasphasenabscheider (Abb. 5b). Hier steht am LN₂-Ausgang eine reine Stickstoff-Flüssigkeit mit einer dem vorher eingestellten Druck entsprechenden Siedetemperatur zur Verfügung. Damit ist der Eintrittszustand des flüssigen Stickstoffs unabhängig von anwenderspezifischen Parametern wie dem Tankdruck, der Verdampfung in der Zuleitung usw. Der Zulauf des flüssigen Stickstoffs wird hierbei abhängig vom Füllstand im Abscheider geregelt. Ein Druckhalteventil am Gasaustritt hält gleichzeitig den sich neu einstellenden Systemdruck konstant.

Dieser Abscheider kommt insbesondere dann zum Einsatz, wenn konstante Abnahmedrücke erforderlich sind und/oder das Druckniveau deutlich unterhalb des Tankdrucks liegt. Dies ist beispielsweise auch dann der Fall, wenn mehrere Abnahmestellen mit unterschiedlichen Drücken aus einem Tank versorgt werden.

Abb. 5: Schematische Darstellung der verschiedenen Gasphasenabscheider: unter Systemdruck (a), druckgeregelt (b) und drucklos (c) GP.201.8



Druckloser Gasphasenabscheider

Eine weitere Sonderausführung des Gasphasenabscheiders liefert flüssigen Stickstoff bei Umgebungsdruck (Abb. 5c). Das Einsatzgebiet hierfür sind Anwendungen, bei denen eine drucklose Flüssigkeit erforderlich ist oder wo ein sehr geringer Druck nur über die Höhe der Flüssigkeitssäule eingestellt werden soll. Dies bewirkt ein gegenüber der Atmosphäre offener Austritt der Gasphase, wobei auch hier der Füllstand den Zulauf des flüssigen Stickstoffs regelt.

UNTERKÜHLER

Die beschriebenen Gasphasenabscheider stellen siedenden flüssigen Stickstoff im physikalischen Gleichgewicht zur Verfügung. Die Siedetemperatur ist dabei abhängig vom Druck des Stickstoffs (Tab. 1). Einige Anwendungsfälle erfordern jedoch eine unterkühlte Flüssigkeit: wenn z.B. der Stickstoff zu Kühlzwecken durch ein heißes Werkzeug ohne ausreichend isolierte Zuleitung geführt werden muss und selbst eine geringe Wärmeaufnahme hier noch nicht zu einer Verdampfung führen darf. Dies ist z.B. der Fall, wenn das Werkzeug beim Aluminium-Strangpressen gekühlt wird.

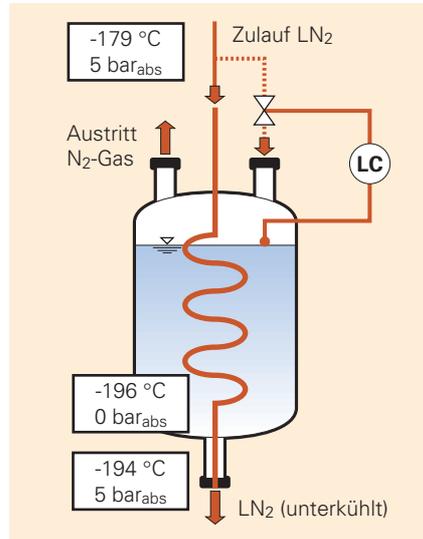


Abb. 6: Unterkühler (GP.201.9)

Mit einem Unterkühler (NUK 3/6,4) von Messer Griesheim lässt sich der Stickstoff ohne Fremdenergie unterkühlen (Abb. 6). Dazu wird der unter dem höheren Systemdruck von z.B. 5 bar_{abs} stehende flüssige Stickstoff (Siedetemperatur -179,1 °C) in einem Wärmetauscher im Inneren des Unterkühlers durch drucklosen flüssigen Stickstoff (Siedetemperatur -195,9 °C) deutlich unter seinen Siedepunkt auf ca. -194 °C abgekühlt. Das System steuert den Zulauf des drucklosen flüssigen Stickstoffs über eine Niveauregelung, die von Fremdenergie unabhängig ist.

In Verbindung mit dem bereits genannten Equipment lässt sich somit die Stickstoff-Versorgung hinsichtlich Druck, Temperatur und Menge genau einstellen. Das Ventil ist für den Tiefkälte-Einsatz mit einer Langspindel versehen, so dass eine Änderung des Ventilquerschnitts während des Betriebs möglich ist. Das Ventil ist in zwei verschiedenen Baugrößen verfügbar (Abb. 7).

KALTGASMISCHER

Der Kaltgasmischer ist eine kompakte Anlage zur Erzeugung von Kaltgas mit einer definierten Austrittstemperatur.



Abb. 7: Laminar-Drosselventil vom Typ LDV 4,9 (95.70.140.b)

Druck des Stickstoffs [bar _{abs}]	Siedetemperatur [°C]
1	-195,9
3	-185,2
5	-179,1
10	-169,4

Tab. 1: Siedetemperatur von Stickstoff in Abhängigkeit vom Druck

LAMINAR-DROSSEL-VENTIL

In vielen Anwendungen sind insbesondere beim Einsatz von unterkühltem Stickstoff sehr kleine Mengen zu dosieren (0,1 bis 400 kg/h). Um solche Durchsätze zu realisieren, hat Messer Griesheim mit dem Laminar-Drosselventil ein speziell hierfür geeignetes Ventil entwickelt. Dabei sind neun exakt definierte Querschnitte einstellbar, so dass sich bei einem bekannten Vordruck ein definierter Durchsatz ergibt.

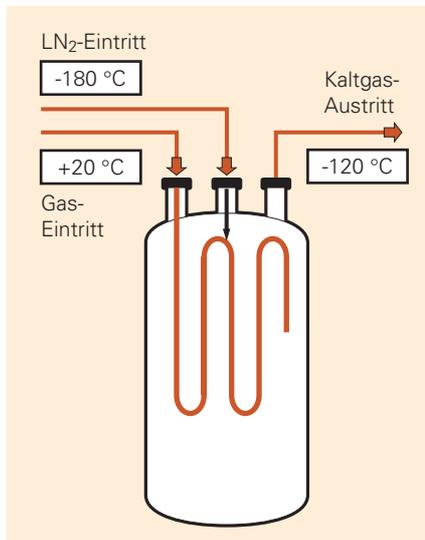


Abb. 8: Kaltgasmischer (GP.201.10)

Dazu mischt man gasförmigen Stickstoff oder getrocknete Luft mit entsprechenden Mengen an flüssigem Stickstoff, so dass ein Kaltgas mit Temperaturen zwischen etwa 0 und -150 °C hergestellt werden kann (Abb. 8). Ein typischer Anwendungsfall ist das Kühlen bei der Herstellung von Kraftstofftanks aus Kunststoff für Pkws.

DURCHFLUSS-MESSGERÄT FÜR FLÜSSIGEN STICKSTOFF

Mengenmessungen von flüssigem Stickstoff sind wegen des sehr tiefen Siedepunkts problematisch. Gasphasenanteile, die sich zwangsläufig durch Wärmeaufnahme in der Messleitung bilden, führen zu Fehlmessungen bei konventionellen Mengenmessgeräten für Flüssigkeiten.

Aus diesem Grund baut Messer Griesheim die Mess-Strecke in einen Gasphasenabscheider ein. Dadurch ist sichergestellt, dass die Mess-Strecke und die zu versorgende Anlage gasfreien flüssigen Stickstoff erhalten. Der Betriebsdruck innerhalb der Mess-Strecke entspricht dabei dem Systemdruck (Abb. 9).

Eine Messdatenerfassung außerhalb des Gasphasenabscheiders wertet die Signale der Mess-Strecke aus. Der Mengenstrom wird als Momentanwert und als kumulierter Wert permanent ange-

zeigt, es ist aber auch eine Datenfernübertragung über eine Schnittstelle möglich. Die Abweichungen dieses Messgeräts liegen unterhalb von 3 %, maximal können 6.000 kg Stickstoff /h erfasst werden.

FAZIT

Viele industrielle Prozesse erfordern eine intensive und schnelle Kühlung. Flüssigstickstoff hat sich hier als hervorragend geeigneter Kälte-träger bewährt. Mit einer konventionellen Stickstoffversorgung kann man jedoch schwierige Anforderungen nicht zufriedenstellend

lösen. Die Versorgung mit Stickstoff als Kältemedium lässt sich erst durch den Einsatz von speziellen, auf den jeweiligen Anwendungsfall abgestimmten Geräten optimieren. Von diesen wurden hier einige vorgestellt, die auf Basis jahrzehntelanger Erfahrung von Messer Griesheim entwickelt wurden und heute als Standard-Equipment verfügbar sind.

*Dipl.-Ing. Jürgen Busse,
Dipl.-Ing. Ulrich Thorwarth*



Abb. 9: Stickstoff-Mengenmessgerät (95.70.140.c)