

Gase für die Füllung von Isolierglaseinheiten

Zur besseren thermischen Isolierung gegen die beträchtlichen Wärmestrahlungsverluste durch das Glas hindurch nutzen Isolierglaseinheiten seit einigen Jahrzehnten spezielle Beschichtungen, während gegen die gleichfalls bedeutenden Wärmeleitungs- und Konvektionsstrom-Verluste in hochwertigen Doppel- oder Mehrfachscheiben zusätzlich eine homogene Befüllung mit wärmedämmenden Gasen wirksam zum Einsatz kommt.

Hierzu kommen aus praktischen Gründen nur völlig ungiftige, ökologisch unproblematische, geruchs- und geschmacksneutrale, nicht explosive, leicht entzündliche oder brennbare, und nur farblose und durchsichtige Gase ohne Schlierenbildung oder Doppelbrechung in Frage, die so reaktionsträge sind, dass sie sich auch auf Dauer nicht zersetzen oder das Glas, die Dichtstoffe oder den Abstandshalter angreifen oder Ausdünstungen aus diesen Stoffen fördern, die mittel- oder langfristig zu störenden Ablagerungen auf dem Glas führen könnten.

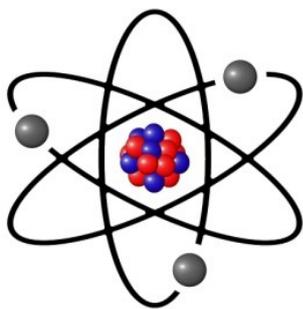
Diese Anforderungen erfüllen die Edelgase **Argon, Krypton, Xenon** und ihre Mischungen, denn ihre Wärmeleitfähigkeit ist ganz deutlich niedriger als bei Luft. Die Edelgase Helium und Neon haben dagegen bessere Wärmeleitfähigkeiten als Luft und scheiden daher für Anwendungen zur thermischen Isolierung aus. Das Edelgas Radon ist extrem selten, teuer und radioaktiv, so dass es für diese Anwendung ebenfalls nicht zum Einsatz kommen kann.

EDELGASE	Dichte [g/L]		Siedepunkt [°C]	Wärmeleitfähigkeit [Wm ⁻¹ K ⁻¹]	
	bei 20 °C	bei 0°C	bei 1 bar	bei 300 K	bei 0°C
Helium	0.17	0.178	-268.93	0.1567	0.141
Neon	0.84	0.899	-246.08	0.0541	0.0488
Argon	1.66	1.784	-185.8	0.0179	0.0162
Krypton	3.43	3.749	-153.22	0.00949	0.0086
Xenon	5.49	5.897	-108.0	0.00569	0.0051
Radon 	9.23	9.73	-61.8	0.00364	0.0033
Luft	1.161	1.292	Gemisch	0.0262	0.0241

Bei Raumtemperatur und Umgebungsdruck liegen diese 3 Elemente atomar und gasförmig vor, und kondensieren erst bei sehr niedrigen Temperaturen oder hohem Druck.

Argon, Krypton und Xenon kommen in der Atmosphäre unserer Erde in Mengen vor, die Ihre Gewinnung durch Luftverflüssigungsanlagen wirtschaftlich möglich macht. Speziell Argon ist kein exotischer oder gar bedrohlicher Stoff, sondern ein Gas, von dem wir ohnehin täglich in einer Konzentration etwa im Prozentbereich umgeben sind:

Zusammensetzung von trockener Luft in der Troposphäre	Vol. - %
Stickstoff	78,08
Sauerstoff	20,95
Argon	0,934
Neon	0,0018
Helium	0,0005
Krypton	0,0001
Xenon	0,000009



Natürliches Argon und Xenon aus Luftzerlegungsanlagen enthalten nur geringste Spuren von beigemengten, seltenen radioaktiven Isotopen. Auch die Radioaktivität von Krypton ist - abhängig von der Art der Anreicherung - im Regelfall derartig gering, dass die von Gasflaschen und -batterien oder von gasgefüllten Isolierglaseinheiten ausgehende oder aus Füllverlusten resultierende Strahlung erheblich unter der natürlichen Hintergrundstrahlung liegt und daher auch von Umweltverbänden als unbedenklich eingestuft wird.

Die genauen Vorschriften zum Strahlenschutz weichen in jedem Land leicht voneinander ab und sprengen z.B. in einer detaillierten Zusammenstellung der Lagerungsvorschriften den Rahmen dieser Übersicht. Bitte wenden Sie sich daher der Ordnung halber unbedingt an die für Sie zuständige Stelle (Berufsgenossenschaft, Gewerbeaufsichtsamt etc.), um die für Sie gültigen Vorschriften zum Umgang, zur Lagerung und zur Beförderung von Krypton zu erhalten, wenngleich das Ergebnis Ihrer Recherchen dann voraussichtlich Freigrenzen des genehmigungs- und anzeigefreien Umgangs mit Krypton bietet, die ganz erheblich über der typischen Menge liegen, die in Isolierglasbetrieben verwendet bzw. gelagert werden.

Ebenfalls über den Rahmen dieser Zusammenstellung hinaus geht eine gesellschafts- oder industriepolitische Würdigung des ökologischen Fußabdrucks und anderer Bewertungsmethoden von gasgefüllten Isolierglaseinheiten bei Verwendung von Krypton und Xenon. Während der isolierende Nutzen der mit diesen Gasen gefüllten Produkte unstrittig ist, können ökologische Aspekte der teilweise energieintensiven Gewinnung dieser Gase die positive Bewertung dieser Produkte im Architekturglasbereich verändern. Stellungnahmen der Isolierglashersteller und ihrer Verbände zu diesem Themenkreis sind in der Vergangenheit mit unterschiedlichsten Ergebnissen erfolgt, wobei die marketing-technischen und kommerziellen Aspekte die umweltorientierten Aussagen sehr offensichtlich überlagert haben. Die auch aus ökologischer Sicht sehr positive Wertung und weltweite Förderung einer Befüllung von Isolierglaseinheiten mit Argon gilt aktuell dagegen bei keiner relevanten Interessengruppe mehr als strittig.

Obwohl Edelgase nicht giftig sind, ist zu beachten, dass eine reduzierte Sauerstoff-Konzentration innerhalb kurzer Zeit zur Bewusstlosigkeit oder zum Tode führen kann. In geschlossenen Räumen sind daher hohe Konzentrationen dieser Gase zu vermeiden:

Sauerstoff, Vol.-%	Maßnahmen und Symptome
< 18	Oft unbemerkt, aber dennoch signifikanter Rückgang der körperlichen und geistigen Leistungsfähigkeit
< 10	Schnelle Bewusstlosigkeit, auch ohne warnende Vorzeichen
< 6	Fast sofortige Bewusstlosigkeit mit möglicher Todesfolge

Der bewusst herbeigeführte, Stimmlage-verändernde Effekt nach dem Einatmen von Schwergasen wie Krypton und Xenon oder andererseits leichtem Helium mag zwar amüsant und unterhaltsam sein, kann aber dadurch sehr gefährlich bzw. tödlich werden, dass diese Gase umgehend erstickend wirken, wenn sie nicht wieder vollständig aus der Lunge ausgeatmet werden können. Bei schweren oder auch sehr leichten Gasen besteht lage-abhängig hierin eine sehr realistische Gefahr. Krypton und Xenon sind etwa 3 bzw. 5 mal so schwer wie Luft und verbleiben dadurch gefährlich lange in der Lunge, falls der Oberkörper nicht zum Ausatmen wieder nach unten gebeugt wird.



Auch schon aus dem möglichen Umfallen von Gasflaschen resultieren Gefahren, so dass es allgemeine Regeln im Umgang mit Gasen gibt, die auf den jeweiligen Sicherheitsdatenblättern dieser Gase zusammengestellt sind, und die unbedingt zu beachten sind. Diese Sicherheitsdatenblätter sind auf Wunsch kostenlos vom Gaslieferanten zu beziehen und sollten nach Vorschriften der Berufsgenossenschaften stets in der Nähe des Arbeitsplatzes aufgehängt verfügbar sein.

Besonders zu beachten ist, dass speziell im Brandfall die Feuerwehr umgehend darauf hinzuweisen ist, wo welche Arten von Gasen gelagert oder verwendet werden. Näheres erläutert Ihnen auf Nachfrage gerne Ihre betriebliche Sicherheitsfachkraft. Die Gaslieferanten und Berufsgenossenschaften beraten ebenfalls umfassend zum Umgang und der Lagerung bei Druckbehältern.

Hilfreich bei der Gefahreneinstufung von Gasflaschen ist die europaweite Vereinheitlichung zur Kennzeichnung gemäß der EN 1089 Teil 3, die neben einer eindeutigen Beschriftung im Schulterbereich der Flasche auch eine Farbkennzeichnung vorschreibt. Industrielle Edelgase und ihre Mischungen untereinander und mit Druckluft sind demnach an der grauen Farbe der Flasche selbst mit einer leuchtend grünen Schulter zu erkennen, wobei speziell reines Argon eine dunkelgrüne Schulter aufweist. Bei speziell geprüften Gasflaschen mit besonderer Reinheit der Gase für die medizinische Verwendung ist der Flaschenkörper dagegen weiß. Außerhalb Europas gelten hierzu keine bindenden gesetzlichen Vorgaben.

Anders als die Art des Gases ist die Reinheitsstufe der angebotenen Gasqualitäten weitgehend ohne Bedeutung für den Isolierglashersteller, dem es bei der Gasfüllung üblicherweise um einen Gasfüllgrad von 88 – 96 % geht. Alle auf dem Markt verfügbaren Reinheitsstufen von Argon, Krypton oder Xenon haben eine ausreichende Reinheit und Trockenheit, um für Gasfüllungen von bis zu 97 % gut geeignet zu sein. Bei der Auswahl sollten daher Verfügbarkeit und Preis (inkl. Transport und Miete) ausschlaggebend sein.

Produktqualität	Reinheit (Vol. %)
Argon 3.0	> 99.9
Argon 4.0	> 99.99
Technisches Argon 4.6	> 99.996
Argon 4.8	> 99.998
Argon 5.0	> 99.999
Argon 6.0	> 99.9999

Bei den weltweit tätigen Herstellern von Industriegasen hat es in den letzten 10 Jahren einige Fusionen gegeben, nach denen nur noch 4 Konzerne, die LINDE/BOC/Praxair-Gruppe, die Mitsubishi/Taiyo Nippon Sanso-Gruppe, die Air Liquide/Messer/Airgas-Gruppe und die Gruppe AirProducts/Tyczka, den Weltmarkt an technischen Gasen inzwischen zu 80 % unter sich aufteilen. Im Resultat sind Preisgestaltung und Lieferfähigkeit bei Krypton und Xenon, aber auch bei Argon, wenig durchschaubar und sowohl regional als auch mittelfristig starken, aber wenig plausiblen Schwankungen unterworfen.

Beispielsweise schwankten die Einkaufspreise der deutschen Isolierglasbranche für Krypton in den letzten 10 Jahren teilweise um den Faktor 10; selbst bei stets gut verfügbarem Argon liegt die Schwankungsbreite der Gaskosten inklusive Handling-Gebühren und Mieten mengenabhängig, aber vor allem regional unterschiedlich ebenfalls bei einem Faktor jenseits von 10, der bei einem derartig einfach verfügbaren Produkt sehr überrascht. Es bietet sich daher an, beim Gaseinkauf mehrere Angebote einzuholen - speziell bei so teuren Produkten wie Krypton oder Xenon-, und ggf. eine Anlieferung aus dem nahegelegenen Ausland zu erwägen, um den teilweise monopolartigen Liefer-Strukturen nicht ausgeliefert zu sein.



Je nach Verbrauch bietet sich die Anlieferung von Gas in 10 l-, 20 l- oder 50 l-Flaschen an, oder erfolgt in Flaschenbündeln. Der Fülldruck dieser Druckbehälter beträgt im Regelfall 200 bar, wenngleich es auch 300 bar Flaschen gibt. Durch diese hohe Komprimierung ist es möglich, große Gasmengen raumsparend zu transportieren, auch wenn unsere Gasfüllgeräte mit erheblich geringerem Eingangsdruck auskommen.

Da das Handling von Gasschläuchen in diesem hohen Druckbereich nicht unproblematisch ist, wird der Druck direkt am Ausgang der Gaszylinder durch Verwendung eines geeigneten Druckminderers deutlich abgesenkt. **Wir empfehlen aus den vielfältigen Erfahrungen der letzten Jahrzehnte dringend die Verwendung der von uns kostenlos mitgelieferten Druckminderer, um Fehlfunktionen und Missverständnisse auszuschließen.**



Leider unterliegt die Art der Verschraubung an der Gasflasche unterschiedlichen nationalen Standards, wobei eine Internationalisierung der hier üblichen Normen auf absehbare Zeit nicht wahrscheinlich ist. Eine grobe Übersicht über diese Verschraubungen zeigt die folgende Zusammenstellung, wobei bei vielen Ländern keineswegs geregelt ist, welcher Standard gelten kann oder muss. Gerade im osteuropäischen oder asiatischen Raum kommen je nach Gaslieferanten italienische, französische, britische, spanische, zentraleuropäische oder ganz andere Normen zum Einsatz, Weltweit für nicht brennbare Gase einheitlich ist nur die Rechtshändigkeit des Gewindes.

Die Flaschendruckregler haben oft eine Überwurfmutter wie z.B. in Deutschland:

W 21.8 x 1/14" EXT RH (Deutschland, DIN 477-6) für Argon, Krypton und Xenon,
W 21.7 x 1/14" EXT RH (Spanien, ITC EP-6 Tipo C) für Argon, Krypton und Xenon,,
W 21.8 x 1/14" EXT RH (NL NEN 3268, RU 1) für Krypton und Xenon,
W 24.32 x 1/14" EXT RH (NL NEN 3268, RU 3) für Argon, Krypton und Xenon,
SI 21.7 x 1.814 EXT RH (Frankreich, AFNOR / NF - C) für Argon, Krypton und Xenon.

In vielen Ländern dagegen haben die Druckregler standardmäßig ein Außengewinde:

SI 21.7 x 1.814 INT RH (Italien UNI 11144-5 / 4409) für Krypton und Xenon,
W 24.51 - 1/14" INT RH (Italien UNI 11144-8 / 4412-1) für Argon,
G 5/8" INT RH (Großbritannien, BSI 341-3 und Australien, AS 2473.2),
BSP 5/8" INT RH (Argentinien, IRAM 2539 No. 3),
NGO 0,960"-14 INT RH (Brasilien, ABNT 245-1)
NGO 0,965"-14 INT RH (USA, CGA 580)

Auf Internationaler Ebene gibt es mit der ISO 5145-4 Versuche, sich bei Argon und Krypton auf das Gewinde W 24 x 2 13,3 - 14,7 EXT RH zu einigen, bei Xenon dagegen könnte es in Zukunft mit der ISO 5145-1 ein Gewinde W 24 x 2 11,2 - 16,8 EXT RH geben.

Diese Vielfalt der Normen ist in unserem Falle sehr ärgerlich, Sporttaucher kennen bei den Armaturen Ihrer Gasflasche dieses lästige Problem ebenfalls. Wir bedauern, dass es bei der Auslieferung der passenden Druckregler daher in Einzelfällen dazu kommt, dass die kundenseitig verfügbaren Gasflaschen nicht zum Druckregler passen. Wir bitten unsere Kunden daher zur Sicherheit, uns einen Kontakt mit dem geplanten Gaslieferanten zu vermitteln, um die Lieferung des passenden Druckreglers sicherzustellen.

Bei Flaschendruckreglern von Gaslieferanten vor Ort kommt es dagegen oft zu Problemen, indem von diesen nur sehr selten echte Druckregler angeboten werden, sondern die beim Argon zum Schweißen üblichen Durchflussregler, mit viel zu geringen Gasdurchflussmengen. Unsere Gasfüllgeräte werden dadurch in der Gaszufuhr zu stark begrenzt und zeigen mit einem Dauerton den Alarm an, dass die Gaszufuhr nur ungenügend ist.



Der Unterschied zwischen einem Druckregler und einem Durchflussregler ist am zweiten Manometer leicht zu erkennen. Bei beiden Systemen dient das erste, flaschenseitige Manometer der Überprüfung des Flaschendruck und damit des Füllzustands der Flasche. Bei einem Druckregler zeigt das ausgangsseitige Manometer den mit dem Drehknebel unten eingestellten Ausgangsdruck in der aufgedruckten Einheit **bar** bzw. **psi** an.

Bei einem Durchflussregler zeigt das zweite Instrument dagegen den maximalen Durchfluss in der aufgedruckten Einheit **l/min (Argon)** an.

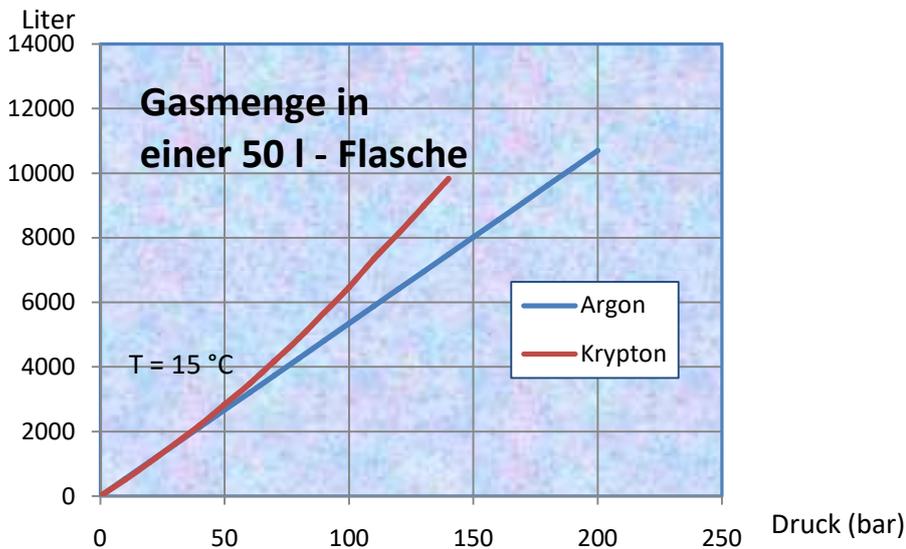
Das vor allem im anglo-amerikanischen Raum gebräuchliche **psi** rechnet sich dabei wie folgt in die in Deutschland noch immer oft verwendete Einheit **bar** um, die eigentlich durch die SI-Einheit **Pa** abgelöst wurde:

1 bar = 1000 mbar = 1000 hPa = 100.000 Pa = 14,5 psi (pound/square inch)

Vergessen Sie beim Betrieb des Druckreglers übrigens bitte nicht, das kleine schwarze Auslassventil des Flaschendruckreglers vollständig zu öffnen, um den maximalen Gasstrom nicht unnötig zu verringern. Auch diese Begrenzung in der Gaszufuhr zeigen unsere Gasfüllgeräte ggf. mit einem Dauerton-Alarm an, falls die Gaszufuhr nur ungenügend ist.

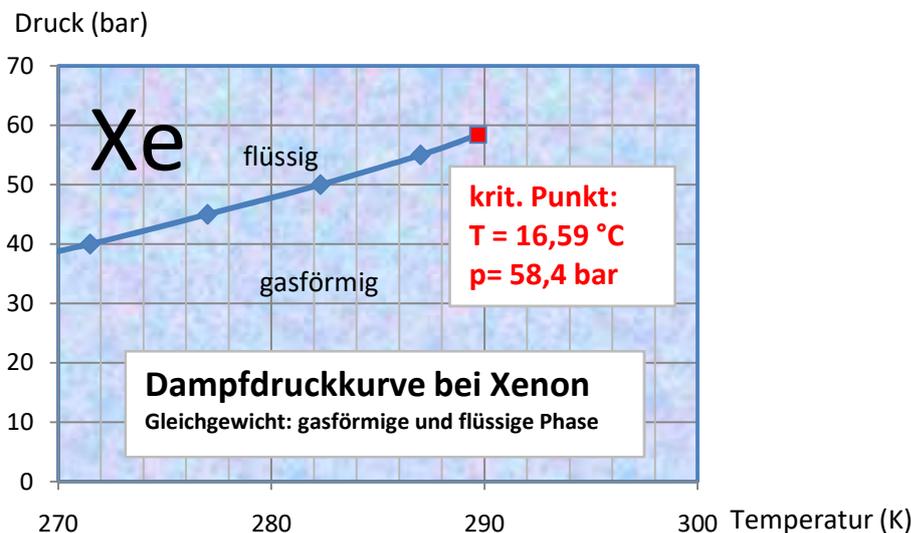
In grober Näherung ist das in der Flasche befindliche Gasvolumen - in Anwendung des idealen Gasgesetzes $p \cdot V = \text{const.}$ - bei Argon und Krypton etwa um den vom Flaschenmanometer in bar angezeigten Faktor größer als das Innenvolumen der Gasflasche.

Bei einer 50 l-Gasflasche mit einer Füllanzeige von 200 bar kann man also etwa von einer nutzbaren Gasmenge von $200 \times 50 \text{ l} = 10.000 \text{ l}$ ausgehen, was etwa dem Innenvolumen von 700 Isolierglaseinheiten von 1 qm Größe und einem 14 mm Abstandshalter entspricht.



Bei Argon unterschätzt man bei dieser einfachen Abschätzung die tatsächlich in der Flasche vorhandene Gasmenge um bis zu 7 %, bei Krypton um fast 30 %, da beide Gase in der Flasche bei Raumtemperatur zwar gasförmig sind, aber nur näherungsweise dem idealen Gasgesetz entsprechen. Noch stärker ist die Abweichung bei Xenon, bei dem diese Rechnung erst deutlich unterhalb von etwa 40 bar eine grobe Schätzung liefern kann.

Bei Xenon ist - auf Grund seiner speziellen Dampfdruckkurve – unterhalb seines kritischen Punktes bei 58,4 bar und 16,59 °C nur der obere Teil des Flascheninhalts gasförmig, der Rest unten in der Flasche ist Xenon in einem flüssigen Zustand.



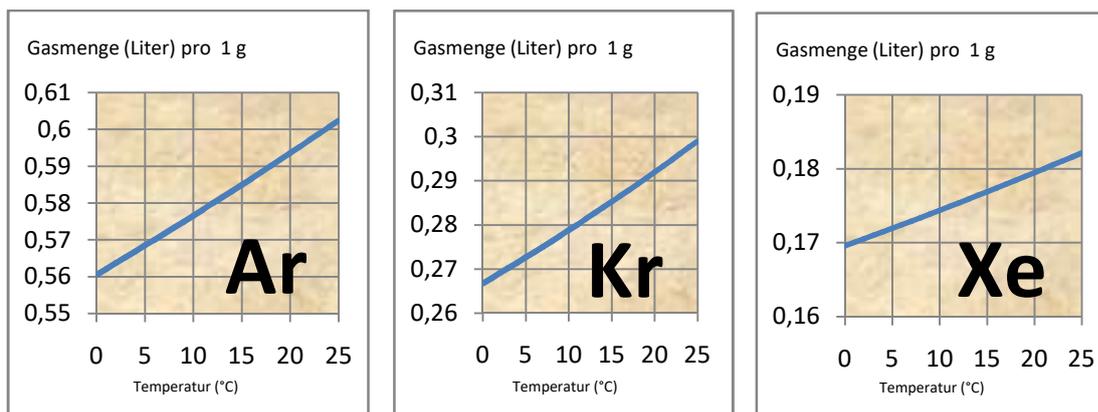
Bei einer Entnahme (Achtung: nur aus stehenden Flaschen, von oben, also aus der Gasphase !) verdunstet ein Teil des flüssigen Xenons, der Flaschendruck aber bleibt fast unverändert - bis der gesamte flüssige Anteil verdunstet ist. Bei einer Druckanzeige von über 50 bar kann daher nur grob abgeschätzt werden, dass noch mehr als das 50-fache des Flaschenvolumens in der Flasche vorhanden ist. Genaue Werte sind bei Xenon aus einer Flaschendruckmessung nicht abzuleiten.

Genauer lässt sich die in der Flasche befindliche Füllmenge bzw. die zu einer Scheibenfüllung effektiv genutzte Gasmenge der Edelgase mit einer Spezialwaage bestimmen, die wir Ihnen gerne zur Überwachung der Gasverluste beim Gasfüllen als Sonderzubehör anbieten können.



Die erreichbare Messgenauigkeit einer Volumen-Verbrauchsmessung durch Wägung (auf 1 g genau) liegt bei Argon im Bereich von 0,6 Liter, bei Krypton bei ca. 0,3 Litern und bei Xenon bei etwa 0,2 Litern, so dass über die Wägung der Gasflasche präzise Gasverlustmessungen möglich sind.

Die Temperaturabhängigkeit der Gasdichte ist hier besonders zu beachten:



Obige Bemerkungen gelten im Übrigen sinngemäß auch für die in Deutschland ebenfalls teilweise angebotenen 300 bar Gasflaschen, wobei es wenig verwundert, dass diese Gasflaschen in Deutschland notwendigerweise einen eigenen Verschraubungsstandard haben, der weltweit bisher keine Nachahmung gefunden hat.

Eine Alternative zur Belieferung mit Gasflaschen oder Gebinden besteht speziell bei Argon in der Verwendung von Tanks, die mit flüssigem Argon beliefert werden. Die Kapazität dieser Tanks liegt typisch bei 2.500.000 – 50.000.000 Litern Gas, wobei täglich der Inhalt von mindestens 1 - 10 typischen 50 l-Gasflaschen verdunstet und dann entweder verwendet oder ins Freie abgegeben werden muss.

Argon-Tanks eignen sich daher wirtschaftlich nur für Isolierglas-Hersteller mit einer regelmäßigen und durchschnittlichen Produktion von deutlich über 500 qm an Argon-gefüllten Doppelglasscheiben bzw. 250 qm an Argon-gefüllten Dreifachscheiben.

An den Gasentnahmestellen der Tank-basierten Rohrsysteme finden sich - analog zu den Gasflaschen und Flaschenbatterien - dann wieder normale Druckminderer, um den Gasdruck am Ausgang des Tanks auf den geeigneten, möglichst niedrigen Betriebsdruck unserer Gasfüllanlagen abzusenken.