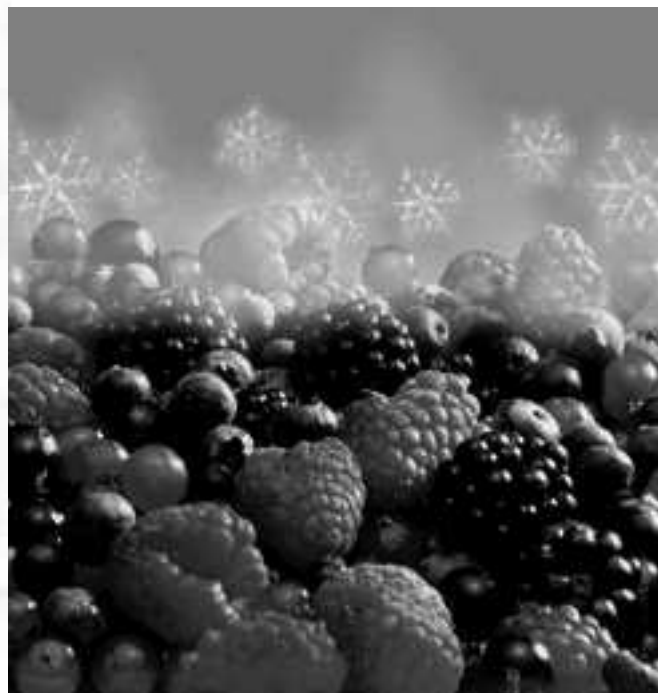


Schonend Frosten-  
mit kryogenen Gasen

## Schnelle Kälte

Das Augenmerk beim Tiefgefrieren liegt auf dem Tempo, mit dem das Gefriergut, ob Fleisch, Gemüse oder Backwaren, auf tiefe Temperaturen gebracht wird. Aus gutem Grund: Zieht sich der Gefrierprozess in die Länge, bleibt den im Lebensmittel enthaltenen Wassermolekülen genügend Zeit, sich zusammenzulagern und zu großen Eiskristallen heranzuwachsen. Sie können durch die Zellmembranen stoßen und das Gewebe beschädigen: Das Gefriergut verliert an Form und Struktur, Vitamine, Nähr- und Aromastoffe gehen verloren.



# Schonend Frostern mit kryogenen Gasen

Wird der Gefrierprozess mit großer Geschwindigkeit geführt, entwickeln sich Eiskristalle von vorwiegend geringer Größe, die das Zellmaterial nicht übermäßig strapazieren (Abb. 1).

## Kryogenes Frostern versus konventionelle Gefrierverfahren

Von Kühlen spricht man bei der Temperaturabsenkung eines Produkts bis kurz vor den Punkt, an dem es gefriert. Bei den meisten Lebensmitteln liegt dieser Punkt zwischen 0 °C und -2 °C. Als Frostern bezeichnet man das Abkühlen wasserhaltiger Lebensmittel von der Umgebungstemperatur (z. B. +20 °C) auf mindestens -15 °C. Die Leistungsfähigkeit eines Gefrierverfahrens wird über die mittlere Gefriereschwindigkeit (angegeben in cm/h) definiert. Die physikalisch korrekte Gleichung lautet:

$$\bar{w} = d_0 / z_0$$

Hierbei entspricht  $d_0$  dem kürzesten Abstand vom Kern des Produkts zu seiner Oberfläche;  $z_0$  ist die Zeit, in der der Produktkern von 0 °C auf -10 °C abkühlt. Der Definition folgend lassen sich Gefrieranlagen klassifizieren: Eine Haushaltsgefriertruhe etwa besitzt eine mittlere Gefriereschwindigkeit  $\leq 0,1$  cm/h, was als langsames Gefrieren zu interpretieren ist. Gefrierzellen warten mit 0,1 – 0,5 cm/h auf. Schneller verläuft das Gefrieren im Kaltluftwirbelbett (0,5 – 5 cm/h). Geschwindigkeiten von 5 cm/h und größer lassen sich mit kryogenen Gefrierverfahren erzielen, auf denen etwa die Cryogen-Rapid®-Anlagen der Messer Gruppe basieren. Um mit Geschwindigkeiten von 5 cm/h oder schneller zu gefrieren, bedarf es allerdings mehr als nur eines hohen Temperaturgefälles (Abb. 2). Der Stickstoff muss dazu unmittelbar an der Oberfläche des Gefriererguts siedeln bzw. der CO<sub>2</sub>-Schnee sublimieren. Der Wärmeübergang erfolgt nach folgender Formel:

$$Q = \alpha \cdot A \cdot \Delta T$$

In Worte gefasst: Die pro Zeiteinheit an der vorgegebenen Produktoberfläche A (m<sup>2</sup>) übertragene Wärmemenge Q hängt ab vom Temperaturgradienten  $\Delta T$  (K) und dem

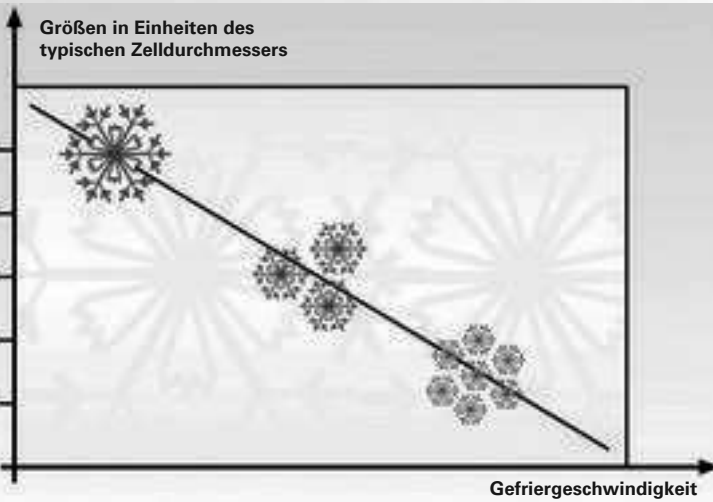


Abb. 1: Die tiefen Temperaturen von Stickstoff und Trockeneis sichern hohe Gefriereschwindigkeiten und kleine Eiskristalle.

Die erforderliche Gefriereschwindigkeit beträgt wenigstens 5 cm/h und lässt sich mittels kryogener Gefrierverfahren erreichen, die die Kälte der kryogenen, das heißt tiefkalt verflüssigten Gase Stickstoff und Kohlendioxid nutzen. Beide Gase sind natürliche Bestandteile der Luft und in der EU als Lebensmittelgase zugelassen.

Das Funktionsprinzip der kryogenen Anwendungen: Unmittelbar in einen Froster gesprüht, siedet der Stickstoff beziehungsweise sublimiert der Kohlendioxidschnee. Das Gefriergut liefert die erforderliche Wärmeenergie, kühlt dabei selbst in Minutenschnelle ab und gefriert.

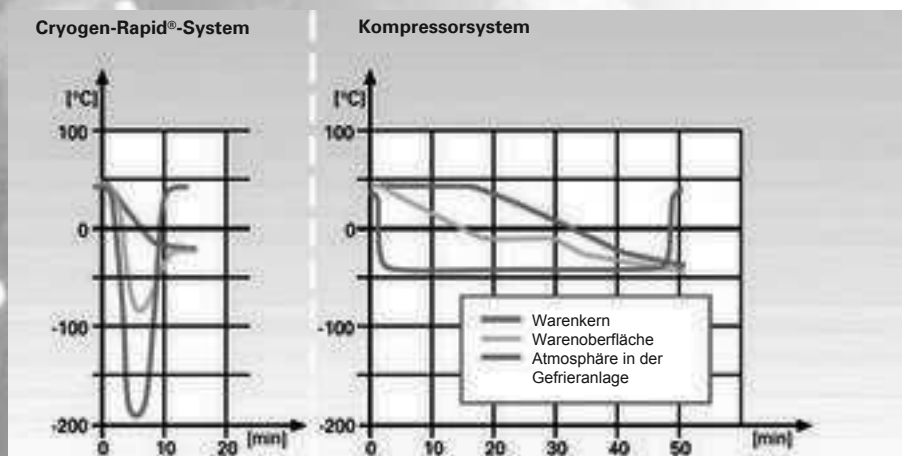


Abb. 2: Typischer Temperaturverlauf in einem Cryogen-Rapid®-System und einem vergleichbaren Kaltlufttunnel (Kompressorsystem)

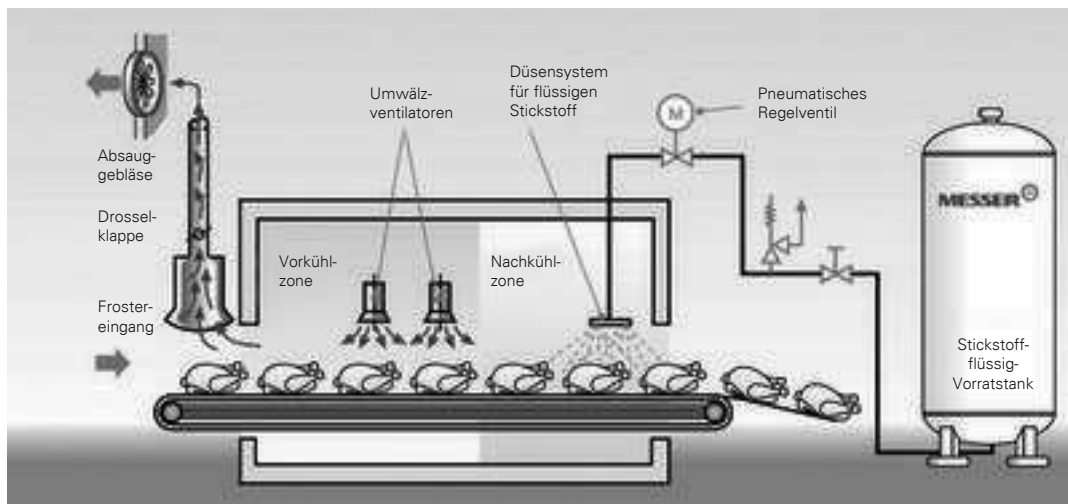


Abb. 3: Verfahrensablauf bei einem kontinuierlich arbeitenden Stickstoff-Langtunnel

Wärmeübergangskoeffizienten  $\alpha$  ( $W/m^2K$ ). Nur bei sehr hohen Gefriereschwindigkeiten (über 5 cm/h) kristallisiert das Zellwasser so schnell, dass Eiskristalle von überwiegend geringer Größe entstehen (Abb. 4), die das Zellmaterial schonen:

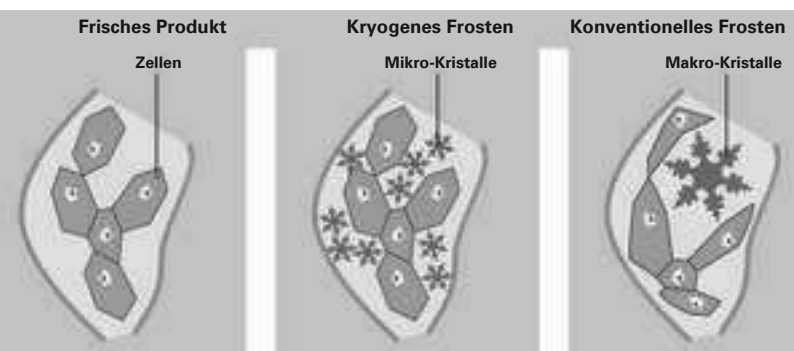


Abb. 4: Beim kryogenen Frosten bleiben die Eiskristalle klein und schonen die Zellwände. Ergebnis: Das aufgetaute Produkt ist appetitlich frisch.

Tropfverluste, die bei konventionellen Anlagen bis zu fünf Prozent betragen können, liegen beim kryogenen Gefrieren unter einem Prozent. Produkte, die kryogen gefroren wurden, sind nach dem Auftauen optisch ansprechend und appetitlich. Die hohe Gefriereschwindigkeit kryogener Froster spart Zeit und reduziert den Platzbedarf.

Die Kälteleistung konventioneller Gefrieranlagen ist meist nur für eine bestimmte Leistung ausgelegt. Die mit flüssigem Stickstoff oder flüssigem Kohlendioxid betriebenen Gefrieranlagen haben dagegen eine große Leistungsbandbreite, sind bei vergleichsweise geringen Anschaffungskosten flexibel einsetzbar und können in bereits vorhandene Produktionslinien integriert werden. Sie sind zudem kleiner als vergleichbare konventionelle Systeme. Besondere bauliche Maßnahmen (z. B. ein Maschinenhaus mit ent-

sprechend großer elektrischer Leistung) sind nicht erforderlich. Cryogen-Rapid®-Anlagen sind nicht platzgebunden und leicht zu transportieren. Die erforderlichen Speicherbehälter für das Kältemittel stehen im Freien. Weiterer Nutzen: Cryogen-Rapid®-Anlagen kommen ohne Wärmetauscher aus, die vereisen können. Durch die tiefen Temperaturen im Froster genügen geringste Feuchtigkeitsspuren, um die Atmosphäre zu sättigen: Lebensmittel trocknen während des Gefrierens kaum aus, erhalten so ihr Gewicht und ihr appetitliches Aussehen.

#### Gefrieranlagen für jede Anforderung

Um die Stärken der kryogenen Gase Stickstoff und Kohlendioxid optimal nutzen zu können, setzt Messer für die unterschiedlichsten Anforderungen entsprechende Gefrieranlagen ein, die im Folgenden kurz vorgestellt werden.

Die Kaltgasführung des **Cryogen-Rapid®-Langtunnelfrosters** etwa eignet sich vor allem, wenn große Mengen Gefriergut zu bewältigen sind. Flüssiger Stickstoff beziehungsweise flüssiges Kohlendioxid wird temperaturgesteuert über ein Düsensystem in den Tunnelfroster gesprüht, wo das resultierende Kaltgas von Umwälzventilatoren an den Produktflächen verwirbelt wird (Abb. 3). Hat das Gas seine Kälte abgegeben, wird es abgesaugt. Rasch sinkt die Temperatur in tiefe Minusbereiche. Selbst geringste Spuren von Feuchtigkeit genügen, um die Atmosphäre zu sättigen. Die Ware trocknet nicht aus und behält ihr Gewicht. Die Anlage eignet sich insbesondere für hochwertige Fisch-, Fleisch- und Backwaren sowie Convenience Produkte. Konditoren nutzen sie auch, um Verzierungen zu stabilisieren, bevor sie Torten auf konventionelle Weise frosten. Förderbänder und produktberührte Bauteile lassen sich mühelos reinigen.

## N<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub> – die idealen Kältemittel

### Flüssiger Stickstoff

Stickstoff (N<sub>2</sub>) ist ein inertes reaktionshemmendes Gas, das in flüssiger Form durch Tieftemperatur-Luftzerlegung gewonnen wird; N<sub>2</sub> ist mit 78 Volumenprozenten Hauptbestandteil der Luft. Tiefkalter flüssiger Stickstoff (LIN) siedet unter Atmosphärendruck bei -196 °C. Bei 3 bar im Lagertank hat flüssiger Stickstoff eine Siedetemperatur von -185 °C. Auf die Produktoberfläche aufgetragen, verdampft LIN und nimmt rund 183 kJ/kg (Verdampfungsenthalpie) an Wärme auf. Die Wärmeaufnahme verdoppelt sich, wird das kalte Stickstoffgas im Zuge des Tiefgefrierens auf -20 °C erwärmt. Das heißt: Zum Kühlen steht theoretisch ein Energieinhalt von rund 363 kJ/kg zur Verfügung.

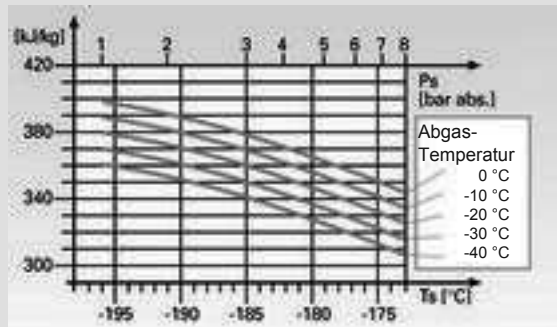


Abb. 5: Wärmeaufnahmevermögen von flüssigem Stickstoff in Abhängigkeit von Siedezustand und Temperatur des Stickstoff-Abgases

### Flüssiges Kohlendioxid

Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), handelsüblich auch als Kohlensäure bezeichnet, ist unter Normalbedingungen (0 °C, 1 bar) ein inertes, geruch-, geschmack- und farbloses, nicht brennbares Gas, das aus natürlichen Quellen oder industriell gewonnen wird. Verflüssigen lässt sich CO<sub>2</sub> erst bei einem Druck von 5,18 bar.

Gelagert wird flüssige Kohlensäure in wärmeisolierten Tanks. Entspannt ein Kilogramm flüssiges Kohlendioxid, das bei 17 bar und -25 °C gelagert wurde, auf Atmosphärendruck, entstehen rund 0,5 kg Trockeneis-Schnee und 0,5 kg Gas mit einem Kälteinhalt von rund 285 kJ. Beide CO<sub>2</sub>-Phasen erreichen durch das Entspannen eine Temperatur von -78,8 °C. Mit der vergleichsweise warmen Produktoberfläche in Verbindung gebracht, sublimiert der CO<sub>2</sub>-Schnee, geht also direkt in die Gasphase über. Wird das Gas auf -20 °C erwärmt, beträgt sein Gesamtenergieinhalt rund 330 kJ/kg.

Durch „Unterkühlen“ des CO<sub>2</sub> mit dem von Messer entwickelten Thermocool-Verfahren, lässt sich der Kälteinhalt um weitere 15 Prozent steigern. Für Lebensmittel ebenfalls von Bedeutung: CO<sub>2</sub> hat eine Bakterienhemmende Wirkung. (Alle Druckangaben als Absolutdrücke)

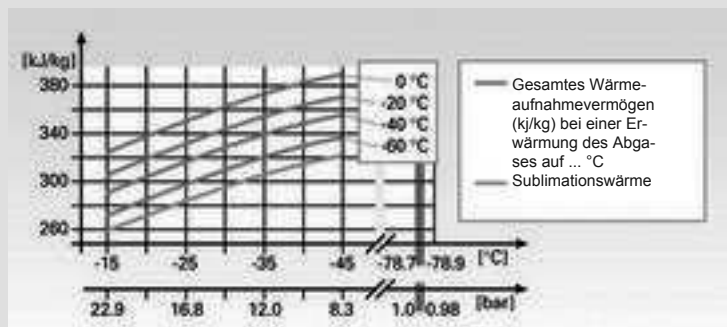


Abb. 6: Wärmeaufnahmevermögen von flüssigem Kohlendioxid in Abhängigkeit von Tankdruck und Temperatur des CO<sub>2</sub>-Abgases



Große Gefrierleistung auf engstem Raum erzielt man mit dem **Cryogen-Rapid®-Wendelband-tunnel** (Abb. 7). Bei 1000 kg/h beträgt die Kantenlänge des Frosters nur 5 m. Das Transportband wird nach dem Prinzip einer Wendeltreppe über mehrere Etagen geführt; Produktein- und -auslauf lassen sich den Platz- und Produktionsgegebenheiten anpassen.

Bei geringen Produktionsmengen beziehungsweise einer erwünschten chargenweisen Kühl- oder Gefrierleistung mit flüssigem Stickstoff oder Kohlendioxid, erweist sich der **Cryogen-Rapid®-Schrankfroster** als Mittel der Wahl. Ein Hordenwagen wird Etage für Etage mit dem Gefriergut bestückt und in den Schrankfroster geschoben. Ventilatoren drücken das Kaltgas zwischen die Etagen, der Wärmeübergang ist optimal, das Kühl- beziehungsweise Gefrierergebnis gleichmäßig (Abb. 8). Der Froster lässt sich bodengleich aufstellen, wodurch sich der Hordenwagen problemlos ein- und ausfahren lässt. Anwender, die den Froster als Doppelschrank betreiben, können die eingesetzte Kälteenergie optimal nutzen, wenn sie das Abgas des einen Frosters zum Vorkühlen des anderen verwenden. Der Schrankfroster lässt sich als Allround-Talent bezeichnen, der sich für alle hochwertigen Produkte einsetzen lässt, insbesondere für Wurst- Fleisch- und Backwaren.

Der kontinuierlich arbeitende **Cryogen-Rapid® -Drehrohrfroster** friert einzelne Fisch- und Fleischteile, Nudeln, Gemüse und Fertiggerichte in IQF-Qualität, wahlweise mit CO<sub>2</sub>-Schnee oder mit flüssigem Stickstoff. Ein Förderband führt die Produkte mit hoher Geschwindigkeit der Trommel zu. Hierbei handelt es sich um ein verlängertes, isoliertes, drehbar montiertes Rohr, das permanent rotiert und dadurch verhindert, dass Produkte verklumpen oder anfrieren.



Abb. 7: Hohe Gefrierleistung auf wenigen Quadratmetern – das ist der Vorteil des Wendelbandfrosters.



Abb. 8: Für chargenweisen Betrieb und Frostleistungen von 100 bis 1000 kg/h: der Cryogen-Rapid®-Schranksfroster

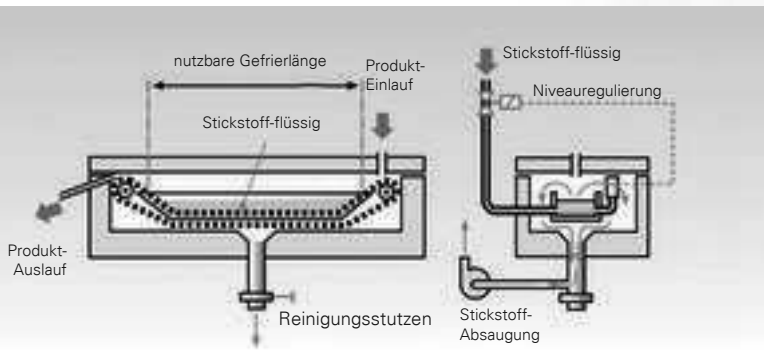


Abb. 9: Verfahrensprinzip eines Tauchbadfrosters

Der Drehrohrfroster sichert gleichmäßige, reproduzierbare Gefrierergebnisse; Einzelkomponenten für Komplettmenüs lassen sich behutsam gefrieren.

Frostzeiten von wenigen Sekunden lassen sich mit dem **Cryogen-Rapid®-Tauchfroster** realisieren (Abb. 9). Die Anlage nutzt den hohen Wärmeübergangskoeffizienten ( $2300 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) des siedenden Stickstoffs, mit dem das Produkt in Berührung kommt. Ein Transportband führt das Gefriergut durch das niveaugeregelte Stickstoffbad. Der Tauchbadfroster wird hauptsächlich anderen Frostern vorgeschaltet, um deren Leistung zu steigern. Durch den direkten Kontakt mit dem Kältemittel wird die Oberfläche des Produkts fixiert. In Abhängigkeit vom jeweiligen Froster sind Leistungssteigerungen von bis zu 300 Prozent möglich. Mit dem Tauchfroster gelingt es auch, Produkte mit geringer Wärmeleitfähigkeit oder hoher Eingangstemperatur auf tiefe Temperaturen zu gefrieren. Aus Extrudern austretende heiße Produkte werden zuverlässig, schnell und ohne Nachreaktionen, etwa Änderung der Farbe, tiefgefroren.

Zum Frosten von flüssigen und pastösen Produkten in Form leicht dosierbarer Pellets ist der Cryogen-Rapid®-Pelletizer prädestiniert: Pumpen fördern flüssigen Stickstoff auf eine Pelletierrinne, es bildet sich ein gleichmäßiger Stickstoffstrom. Das flüssige Produkt tropft hinein, seine Oberfläche wird fixiert und es bildet sich ein Pellet. Ein engmaschiges Förderband transportiert die gefrorene Kugel weiter, der unverbrauchte flüssige Stickstoff sickert hindurch und zurück in den Kühlkreislauf. So lassen sich zum Beispiel Enzyme, Fruchteis, Dessertzusätze, Fruchtsäfte, Molkereiprodukte und Saucen schockgefrieren.

Dipl.-Phys. Monika Lammertz,  
Messer Group, Krefeld (DE)



Sie arbeiten als Anwendungsexperte in der Industrie und haben spezifische Fragen zu diesem Fachartikel?

Ihre Ansprechpartnerin ist:

Dipl.-Phys. Monika Lammertz  
Senior Manager Food  
Tel.: +49 2151 7811-231  
Fax: +49 2151 7811-503  
[monika.lammertz@messergroup.com](mailto:monika.lammertz@messergroup.com)

Sie sind Journalist oder an weiteren Informationen über unser Unternehmen interessiert?

Wenden Sie sich bitte an:

Diana Buss  
Vice President Corporate Communications  
Messer Group GmbH  
Gahlingspfad 31  
D-47803 Krefeld  
Tel.: +49 2151 7811-251  
Fax: +49 2151 7811-598  
[diana.buss@messergroup.com](mailto:diana.buss@messergroup.com)  
[www.messergroup.com](http://www.messergroup.com)

**MESSER**   
Gases for Life

Messer Group GmbH  
Gahlingspfad 31  
47803 Krefeld  
Tel. +49 2151 7811-0  
Fax +49 2151 7811-501  
[info@messergroup.com](mailto:info@messergroup.com)  
[www.messergroup.com](http://www.messergroup.com)

Part of the **Messer** World ■■