

# Atmen ohne Risiko bei der Stickstoffherzeugung

Leitlinien für eine sichere Arbeitsumgebung



ENGINEERING YOUR SUCCESS.

## Atmen ohne Risiko bei der Stickstoffherzeugung

In diesem Whitepaper beschreibt Phil Green, Industrial Gas Generation Applications Manager der Parker Hannifin Manufacturing Ltd, die erforderlichen Schritte, um die Anwendung einer Stickstoffgasgenerator-Anlage von Parker zu verstehen und zu beurteilen sowie einer Sauerstoffab- oder -anreicherung in der Umgebungsluft vorzubeugen.

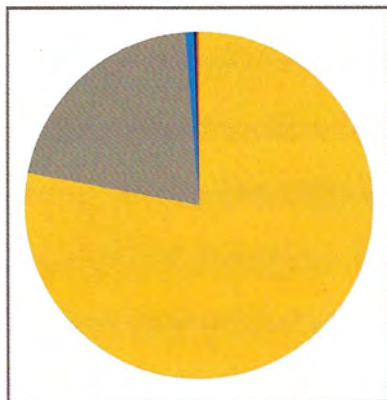
Dieses potenzielle Problem entsteht allgemein durch das Wissen daß das Funktionsprinzip eines Stickstoffgenerators darin besteht, Sauerstoff aus atmosphärischer Luft abzuscheiden und in einer bestimmten Phase des Prozesses zurück in die Umgebung abzuleiten.

Es ist weithin anerkannt, dass ein Parker Stickstoffgenerator-System in den meisten Fällen einen sicheren, bedarfsgesteuerten Stickstoffstrom erzeugt – ohne die Risiken traditioneller Versorgungsmethoden, wie z. B. die Lagerung großer Mengen potenziell erstickenden Stickstoffgases.

Bei der Auslegung eines Parker Stickstoffgenerator-Systems müssen einige einfache aber entscheidende Punkte beachtet werden, um sicherzustellen, dass sich die Anlage sicher warten und betreiben lässt.

### Sauerstoffgehalte in der Arbeitsumgebung

Auf Meereshöhe beträgt der natürliche Sauerstoffanteil in der Erdatmosphäre 20,9 Prozent, und an diesen Gehalt hat sich der menschliche Körper angepasst. Höhere oder niedrigere Sauerstoffkonzentrationen können die menschliche Gesundheit stark schädigen.



### Erdatmosphäre

- Stickstoff – 78 %
- Sauerstoff – 20,9 %
- Argon – 0,9 %
- Kohlendioxid – 0,038 %
- Andere „seltene“ Gase: Wasserstoff, Neon, Helium, Krypton, Xenon

Sauerstoffgehalt auf Meereshöhe (NN)	Auswirkungen auf durchschnittliche, gesunde Menschen in Ruhe
20,9 %	Normal
19 %	Auftreten einiger unerwünschten, jedoch nicht spürbaren physiologischen Effekte
16 %	Erhöhte Puls- und Atemfrequenz Einschränkung von Denkvermögen und Aufmerksamkeit Reduziertes Koordinationsvermögen
14 %	Abnorme Ermüdung unter Belastung Emotionale Instabilität Fehlerhafte Koordination Schlechtes Urteilsvermögen
12,5 %	Starke Verschlechterung des Urteilsvermögens und der Koordination Atembeschwerden, die zu einer dauerhaften Schädigung des Herzens führen können Übelkeit und Erbrechen
<10 %	Verlust der Bewegungsfähigkeit Bewusstlosigkeit Krämpfe Tod

Aufgrund dieser Auswirkungen sind für die Sauerstoffkonzentration am Arbeitsplatz gemäß der European Industrial Gases Association (EIGA) und der US Occupational Safety and Health Administration (OSHA) Grenzwerte von 19,5 % bis 23,5 % einzuhalten. Wenn bezüglich der Sauerstoffkonzentration in einem bestimmten Bereich Zweifel bestehen oder Sie sich nicht sicher sind, betreten Sie ihn nicht.



# Abgase und Technologien zur Stickstoffherzeugung

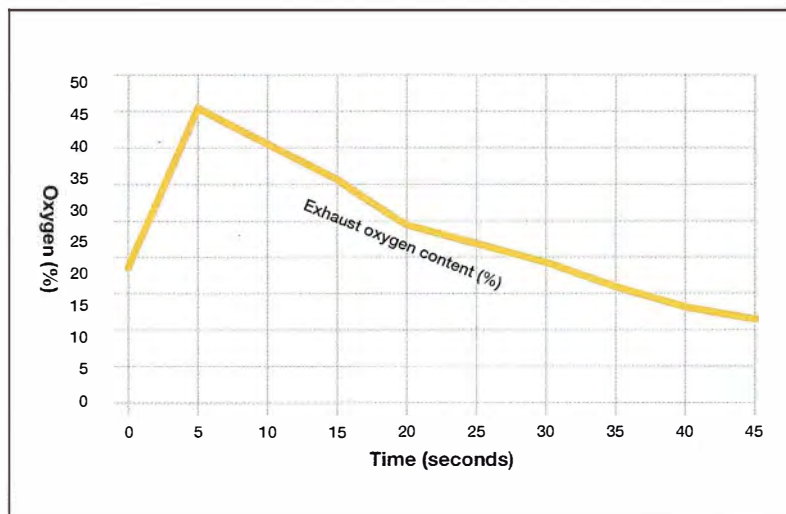
Die von Parker hergestellten Stickstoffgeneratoren – die HiFluxx und SmartFluxx Membranmodule oder NITROSource und MIDIGAS PSA-Technologien – nutzen Druckluft, um durch Entfernen des darin enthaltenen atmosphärischen Sauerstoffs Stickstoff zu erzeugen.

Die Parker Membrantechnologie erzeugt einen konstanten Strom Permeatgas mit einem maximalen Sauerstoffgehalt von bis zu 40 %.

Die Parker PSA-Technologie erzeugt ca. alle 60 Sekunden einen intermittierenden Abgas-Spitzenfluss, der bis zu 46 % Sauerstoff enthalten kann.

Ein Sauerstoffgehalt von 46 % in Abgasen klingt möglicherweise alarmierend, dies sind jedoch Spitzengehalte. In der folgenden Grafik sehen wir, dass sich der Sauerstoffgehalt während des Halbzyklus eines Parker PSA-Systems die meiste Zeit auf einem sicheren Niveau befindet.

Typischer Abgas-Sauerstoffgehalt in % – Parker PSA-Halbzyklus



## Warum fällt der Gehalt unter die atmosphärische Sauerstoffkonzentration von 20,9 %?

Da die Spülgasfunktion des Systems einen Teil des erzeugten Stickstoffs über das regenerierende Bett leitet, um die letzten Spuren von eingeschlossenem Sauerstoff zu entfernen, kann das durch den Abluftschalldämpfer geleitete Gas einen höheren Stickstoffgehalt als Luft haben.

## Was ist ein Halbzyklus?

Ein Halbzyklus ist die Zeit, die ein Säulensatz für die Druckbeaufschlagung, Gaserzeugung und Druckentlastung benötigt. Ein vollständiger Zyklus, in dem beide Säulensätze mit Druck beaufschlagt werden, Gas erzeugen und den Druck wieder ablassen, dauert ca. zwei Minuten. In jedem Halbzyklus wird der Druck aus einem Säulensatz abgelassen und sauerstoffhaltiges Abgas abgeleitet.

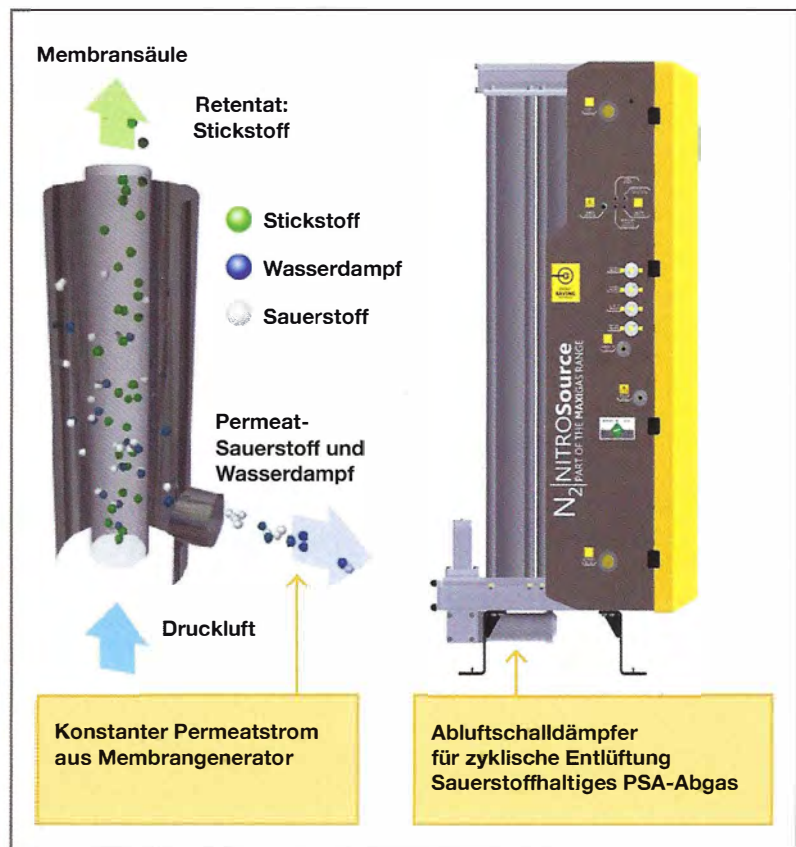


# Überlegungen zur Vermeidung von Sauerstoffab- oder anreicherungen

## Wie Abgas- und Permeatströme den Sauerstoffgehalt in Arbeitsumgebungen beeinflussen können

Die sauerstoffreichen Abgas- oder Permeatströme wie in den nachstehenden Bildern gezeigt sowie der Stickstoffausgangsstrom bedeuten, dass in der Umgebung der Anlage oder an der Verwendungsstelle eine Veränderung der Sauerstoffkonzentration potenziell möglich ist – was potenziell zu hypoxischen, sauerstoffarmen Bedingungen führen kann. Dies kann wie folgt geschehen:

1. Das Abgas oder Permeat enthält Sauerstoff, der im Rahmen des normalen Stickstofferzeugungsprozesses an die Atmosphäre abgeleitet wird, was die Sauerstoffkonzentration in der Umgebung erhöht.
2. Stickstoff kann aus Puffer- oder Prozessbehältern und Leitungen im Bereich der Anlage austreten, was die Sauerstoffkonzentration in der Umgebung reduziert.
3. Die automatische oder manuelle Ableitung von „nicht spezifikationsgemäßem“ Stickstoff während der Inbetriebnahme oder Reinheitskontrolle kann die Sauerstoffkonzentration in der Umgebung reduzieren.
4. Sicherheitsüberdruckventile an Druckbehältern können bei Überdruck Stickstoff ablassen, was die Sauerstoffkonzentration in der Umgebung reduziert.
5. An der Verwendungsstelle kann Stickstoff als normaler Bestandteil der Anwendung oder des Prozesses in die Arbeitsumgebung abgeleitet werden, was die Sauerstoffkonzentration in der Umgebung reduziert.
6. Die Druckentlastung oder Entlüftung von Stickstoffbehältern während Wartungsarbeiten oder Inspektionen kann die Sauerstoffkonzentration in der Umgebung reduzieren.





# Die Bedeutung ordnungsgemäßer Belüftung

Obwohl die Sauerstoffkonzentration in der Umgebungsluft sich in jedem der umseitigen Szenarios verändern und unter die Sicherheitsgrenzwerte abfallen kann, kommt dies in einer adäquat belüfteten Umgebung aufgrund von Diffusion normalerweise nicht vor.

Als Diffusion wird die Vermischung von Gasmolekülen bezeichnet, die bewirkt, dass sich Sauerstoff und Stickstoff nicht in sauerstoffreichen oder -armen Umgebungsluftschichten oder Tassen absetzen. Stattdessen wird in Kombination mit der normalen Luftbewegung in einem Gebäude auf Meereshöhe die perfekte Mischung der Gase wiederhergestellt: 20,9 % Sauerstoff und 78 % Stickstoff.

Diese Vermischung findet statt, weil beide Gase ähnliche Dichten aufweisen (Sauerstoff 1,331 kg/m<sup>3</sup> und Stickstoff 1,165 kg/m<sup>3</sup> bei 20 °C, 1013 mbar abs.). Dies führt dazu, dass die Diffusion zwischen beiden Gasen äußerst schnell erfolgt.

Der Diffusionsprozess ist seit Jahren allgemein bekannt. Einer der wichtigen Faktoren für die Vermeidung einer sauerstoffangereicherten oder sauerstoffarmen Atmosphäre ist die Verfügbarkeit von ausreichend Verdünnungsgas, d. h. Umgebungsluft, damit eine vollständige Diffusion mit der Sauerstoff- oder Stickstoffgaskonzentration erfolgen und somit das Gleichgewicht von 20,9 % Sauerstoff wiederhergestellt werden kann.

Daher ist es äußerst wichtig, eine adäquate Belüftung vorzusehen, um ausreichend frische Luft bereitzustellen und eine Sauerstoffkonzentration oder -abreicherung vollständig auszuschließen.

## Die EIGA gibt Folgendes vor:

“Die Belüftung von Gebäuden ist so auszulegen, dass eine mögliche Ansammlung von Produkt- oder Abgasen vermieden wird. Es ist eine ausreichende Belüftung vorzusehen, um die örtliche Entstehung von sauerstoffarmen oder -reichen Atmosphären zu verhindern. Als Leitlinie sollte die Luft in einem Gebäude mindestens sechs Mal pro Stunde vollständig ausgetauscht werden.”





# Raumgröße und Luftvolumenwechsel



Im Normalbetrieb sollte ein Parker Stickstoffgenerator keine signifikanten Mengen an Sauerstoff oder Stickstoff an die Umgebung der Anlage abgeben, wenn der Bereich ordnungsgemäß dimensioniert ist und ausreichend belüftet wird.

Dabei sind jedoch einige Faktoren zu berücksichtigen, darunter:

- **Das freie Volumen des Bereichs, in dem das System installiert ist oder das Gas verwendet wird**
- **Potenziell sauerstoffreicher Abgas- oder Permeatfluss**
- **Mögliche Stickstoffableitungs- oder Leckagekapazität**
- **Austauschrate des Umgebungsluftvolumens**

Bei der Planung von Werkgebäuden und Fabriken werden Heizungs- und Belüftungsanlagen in der Regel nach den betrieblichen Anforderungen ausgelegt und installiert. Gemäß den Leitlinien sollte das Luftvolumen eines typischen Raums pro Stunde in den folgenden Intervallen ausgetauscht werden:

Kompressor-/Kesselräume	15 bis 20 Wechsel pro Stunde
Fertigungsstätten	10 bis 15 Wechsel pro Stunde
Maschinenwerkstätten	6 bis 12 Wechsel pro Stunde
Gießereien	15 bis 20 Wechsel pro Stunde





# Druckbehälter, Rohrleitungen und Anschlüsse

Die mangelnde Integrität von Gassystemen kann die Atmosphäre in der Umgebung der Anlagen erheblich beeinträchtigen – egal, ob dies durch kleine oder große Stickstoff- und Sauerstoffleckagen verursacht wird. Druckbehälter, Rohrleitungen, Anlagen und Anschlüsse sind während der Installation und danach regelmäßig zu prüfen, um sicherzustellen, dass das System vollständig gasdicht ist.

1. Rohrleitungen und leitungintegrierte Komponenten wie Filter und Durchflussmesser sind ausreichend abzustützen, um Belastungspunkte zu vermeiden, die zu Ermüdungsbrüchen oder dem Ausfall von Dichtungen führen könnten.
2. Alle Geräte und Rohrleitungen sind vor mechanischen Stößen durch Fahrzeuge wie Gabelstapler zu schützen und so zu platzieren, dass die Gefahr von Schäden jeglicher Art minimiert wird.
3. Die Anlagen sollten nur durch geschultes und zugelassenes Personal betrieben und gewartet werden.





# Permeatentlüftung, Sicherheitsventile und Entlüftung von Druckbehältern

## Permeatentlüftung

Unter bestimmten Umständen, vornehmlich in Bereichen ohne ausreichende Belüftung, besteht manchmal die Möglichkeit, das Abgas von der Anlage an einen geeigneten, gut belüfteten Ort abzuleiten.

Wenn dies der Fall ist, muss die Abluftleitung einen so großen Durchmesser und eine so geringe Länge wie möglich aufweisen, um zu vermeiden, dass Gegendruck die vollständige Regenerierung oder die Abscheidung von Restsauerstoff verhindert. Je näher sich die Anlage an einer Außenwand oder einem dafür vorgesehenen sicheren Bereich befindet, desto besser.

## Sicherheitsventile

Sicherheitsüberdruckventile an Druckbehältern müssen manchmal über Rohrleitungen mit dem Außenbereich verbunden werden. Um das Anbringen von Rohrleitungen zu erleichtern, werden dafür Überdruckventile verwendet, die über einen Auslassanschluss mit Gewinde verfügen. Je näher sich die Behälter an einem für die Entlüftung geeigneten Ort befinden, zu dem die Leitungen geführt werden können, wie z. B. eine Außenwand, desto besser.

## Entlüftung von Druckbehältern während der Inspektion und Wartung

Stellen Sie eine ausreichende Belüftung sicher und stellen Sie den Entlüftungsstrom aus dem Behälter so ein, dass kein Risiko einer Sauerstoffanreicherung besteht. Alternativ können Sie einen geeigneten flexiblen Schlauch mit dem richtigen Nenndruck am Ablassanschluss des Behälters anbringen und zur Entlüftung an einen sicheren Ort führen.





# Kennzeichnung und Warnhinweise

In Anlagenräumen sowie an Behältern und Rohrleitungen müssen gut sichtbar Warnschilder angebracht werden, um das Personal auf das mögliche Vorhandensein von Stickstoffgas hinzuweisen.

Diese Schilder sind an allen Anlagen, Behältern und Rohrleitungen so anzubringen, dass aus allen Richtungen erkennbar ist, dass Stickstoffgas vorhanden ist.

Dies beugt falschen Anschlüssen vor, die zu Kontaminierung oder potenziell gefährlicher oder tödlicher Verwendung des Gases führen könnten –z. B. beim Anschluss von Stickstoff an Atemluftsysteme.





# Sauerstoff- und Raumanalysatoren für Umgebungsluft

Eine einfache, aber effektive Möglichkeit, um die Sicherheit der Atmosphäre in Anlagenbereichen sicherzustellen, ist die Installation eines Raumanalysators für Umgebungsluft. Wenn keiner installiert ist, jedoch Zweifel bezüglich des Sauerstoffgehalts der Atmosphäre bestehen – insbesondere in beengten Räumen oder bei unbekannten Belüftungsstandards –, verwenden Sie einen persönlichen Sauerstoffanalysator für Umgebungsluft.

Diese Geräte verwenden fest installierte oder mobile atmosphärische Sensoren, die eine Sauerstoffanreicherung oder -abreicherung erkennen können. Wenn gefährliche Sauerstoff- oder Stickstoffkonzentrationen erkannt werden, wird der Benutzer durch einen Alarm informiert. Diese Alarme werden bei Raumanalysatoren außerhalb oder innerhalb des Raums und bei persönlichen Sauerstoffanalysatoren

für Umgebungsluft an der mobilen Einheit ausgegeben.

Unabhängig davon, für welches System Sie sich entscheiden, müssen die Herstelleranweisungen während der Installation, des Betriebs und der Wartung vollständig befolgt werden, da Raum- und Sauerstoffanalysatoren kritische Sicherheitseinrichtungen sind.





# Beurteilung der potenziellen Zunahme des Sauerstoffgehalts in Verbindung mit den Parker Stickstoffgasgeneratoren mit PSA- und Membrantechnologie

Die PSA-Technologie gibt Gas mit einer Konzentration von bis zu 46 % Sauerstoff nach jedem ca. 60-sekündigen Halbzyklus ab, doch das Volumen und der Sauerstoffgehalt des Abgases hängen vom jeweiligen Modell ab.

Der Parker NITROSource PSA-Generator besteht aus extrudierten Aluminiumsäulen, die mit einem Kohlenstoffmolekularsieb versehen sind. Um das Abgasvolumen beim vorgeschriebenen Lufteinlassdruck zu schätzen, sind die Leervolumen dieser Säulen zu verwenden (bei Füllung mit einem Kohlenstoffmolekularsieb (CMS) in Kombination mit dem Volumen des oberen und unteren Verteilers).

Da die NITROSource Generatoren für eine Energiesparfunktion ausgelegt sind, die den Säulendruck vor der Umschaltung nach dem Halbzyklus ausgleicht, werden nur 50 % des geschätzten Volumens abgelassen, während der restliche Luftdruck an die regenerierten Säulen verteilt wird, bevor diese aktiviert werden. Dadurch werden die regenerierten Säulen mit Stickstoff und Druckluft vorbelegt, um Gas zu sparen, den Luftverbrauch zu senken und die Produktivität des CMS zu steigern.

## Parker NITROSource PSA

Ungefährs pro Minute abgeleitetes Sauerstoffvolumen bei 7 bar ü Ansaugluftdruck		
NITROSource Modell	Abgasvolumen in Litern	Sauerstoffgehalt in Litern
N2-20P	140	64
N2-25P	210	97
N2-35P	280	129
N2-45P	350	161
N2-55P	420	193
N2-60P	490	225
N2-65P	560	258
N2-75P	630	290
N2-80P	700	322

Die obenstehende Tabelle gibt die ungefähren Abgasvolumen und den möglichen Sauerstoffgehalt des Abgases an.

## Parker HiFluxx Membranmodul

Ungefährs pro Minute abgeleitetes Sauerstoffvolumen bei 7 bar ü Ansaugluftdruck		
Reinheit des HiFluxx Membranmoduls	Permeatvolumen in Litern/m³ des N <sub>2</sub> -Ausgangs	Sauerstoffgehalt in Litern/m³ des N <sub>2</sub> -Ausgangs
5 %	1600	640
4 %	2000	800
3 %	2500	1000
2 %	3300	1320
1 %	5000	2000
0,5 %	7500	3000

Parker Membranmodule stoßen einen konstanten Permeatstrom aus, während sie mit Druck beaufschlagt sind. Die obenstehende Tabelle gibt die Menge an Sauerstoff im Permeatstrom pro 1 m³ erzeugtes Stickstoffgas als Retentat an.

Wenn daher ein Modul 20 m³/h bei 5 % Reinheit erzeugt, wird der Sauerstoffgehalt im Permeatstrom mithilfe der obenstehenden Tabelle wie folgt berechnet: 640 Liter x 20 = 12.800 Liter/Stunde.



# Formeln zur Berechnung der potenziellen Sauerstoffab- oder -anreicherung

Betreiber von Stickstoffherstellungssystemen müssen in der Lage sein, die lokalen Sauerstoffgehalte zu berechnen und Risikobeurteilungen dafür durchzuführen, um die Sicherheit des Personals im Fall einer möglichen Gasfreisetzung zu gewährleisten. Abhängig von der Art der Freisetzung gibt es dafür eine Reihe von Formeln.

## Plötzlicher Gasaustritt

Glücklicherweise ist die Wahrscheinlichkeit einer plötzlichen Freisetzung eines großen Volumens an Stickstoffgas aus einem Speicherbehälter extrem gering. Diese Formel kann jedoch verwendet werden, um beispielsweise die Auswirkungen von katastrophalen Ausfällen in Speicherbehältern, Rohrbrüchen, offenen Hauptversorgungsventilen oder Sicherheitsüberdruckventilen zu berechnen.

$$Cr = \frac{100 * Vo}{Vr}$$

Cr = Sauerstoffkonzentration im Raum in %

Vo = Sauerstoffvolumen Vo = 0,209 (Vr – Volumen an freigesetztem Stickstoffgas pro m³)

Vr = m³ freies Raumvolumen ohne das Volumen massiver Objekte

## Beispiel-Risikobeurteilung

Wenn an einem Speicherbehälter mit einem Fassungsvermögen von 2000 Litern für Stickstoff mit einer Reinheit von 10 ppm das Sicherheitsventil ausfällt und der Inhalt sich schnell in einen Anlagenraum mit einem freien Volumen von 500 m³ entleert, wie hoch ist dann die Sauerstoffkonzentration in dem Raum?

2000-Liter-Behälter mit 7 bar ü befüllt = 14.000 Liter oder 14 m³ Stickstoff

$Vo = 0,209 (500 - 14) = 101,6$

$Cr = 100 \times 101,6 / 500 = 20,32 \%$

Daher würde die Sauerstoffkonzentration in dem Raum innerhalb der Grenzwerte von 19,5 % bis 23,5 % bleiben.

In diesem Beispiel war der Behälter mit hochreinem Stickstoff gefüllt, was bedeutet, dass er keinerlei Sauerstoff enthielt. Wenn der Behälter mit Stickstoff mit geringer Reinheit und einem Rest-Sauerstoffgehalt von maximal 5 % gefüllt wäre, würde dies das in der Gleichung verwendete Volumen an Inertgas reduzieren.

Behälter mit 2000 Litern Fassungsvermögen, befüllt mit 7 bar ü = 14.000 Liter oder 14 m³

Stickstoffgehalt =  $14 \times 95 \% = 13,3 \text{ m}^3$ .

# Formeln zur Berechnung der potenziellen Sauerstoffab- oder -anreicherung

## Freisetzung von Stickstoffgas über einen festgelegten Zeitraum hinweg

Diese Formel kann verwendet werden, um die Auswirkungen von Prozessen oder Anwendungen zu berechnen, die über einen festgelegten Zeitraum hinweg Stickstoffgas verwenden, das an die Atmosphäre abgegeben wird.

$$C_t = 0.209 + \left[ \frac{0.209 n}{\frac{L}{V_r} + n} - 0.209 \right] * \left[ 1 - e^{\frac{-t}{m}} \right] * 100$$

**C<sub>t</sub>** = Sauerstoffgehalt im Raum in % über den festgelegten Zeitraum

**L** = Stickstoffleckage-/entlüftungsrate in m³/h

**n** = Austausch des Raumvolumens

**V<sub>r</sub>** = m³ freies Raumvolumen ohne massive Objekte

**t** = Zeit in Stunden

**e** = 2,718

**m** =  $\frac{V_r}{L + (n V_r)}$

## Beispiel-Risikobeurteilung

Stickstoff mit 5-%iger Reinheit wird mit einem Durchfluss von 40 m³/h verwendet, um in einem Raum mit einem freien Volumen von 500 m³ einen Behälter 3 Stunden am Tag zu spülen. Das Luftvolumen des Raums wird pro Stunde 3 mal ausgetauscht.

Berechnung des N<sub>2</sub>-Istvolumens: 40 m³/h x 0,95 = 38 m³/h

Berechnung des Werts „m“: 500 / ((3 x 500) + 38) = 0,325

$$\left[ \frac{0.209 n}{\frac{L}{V_r} + n} - 0.209 \right] = 0.209 \times 3 / ((38/500) + 3) - 0.209 = -0.0052$$

$$\left[ 1 - e^{\frac{-t}{m}} \right] = 1 - 2.718^{\frac{-3}{0.325}} = 0.999$$

$$C_t = (0.209 + (-0.0052 \times 0.999)) \times 100 = 20.3\%$$

Daher ist der Sauerstoffgehalt des Raumes sicher, da er nur um 0,6 % abfällt und innerhalb der Grenzwerte bleibt.



# Formeln zur Berechnung der potenziellen Sauerstoffab- oder -anreicherung

## Stetige Freisetzung von Stickstoffgas über einen kontinuierlichen Zeitraum hinweg

Diese Formel wird verwendet, um die Auswirkungen eines kontinuierlichen Freisetzung von Stickstoffgas zu berechnen – z. B. in einem Schutzbegasungsprozess, oder wenn eine Leckage in Ausrüstung in einem Anlagenraum oder in der Arbeitsumgebung auftritt.

$$C_{\infty} = \left( \frac{Vr * 0.209 * n}{(Vr * n) + L} \right) 100$$

$C_{\infty}$  = Sauerstoffgehalt im Raum in % über einen kontinuierlichen Zeitraum hinweg (Tage/Wochen)

$Vr$  = Raumvolumen in m<sup>3</sup>, ohne massive Objekte.

$n$  = Anzahl von Raumlufwechsels pro Stunde

$L$  = Stickstoff-Ausstoß-/Leckagerate in m<sup>3</sup>/h

## Beispiel-Risikobeurteilung

Eine Laserschneidanlage ist in einer Werkstatt mit einem freien Volumen von 4000 m<sup>3</sup> installiert.

Der Durchfluss des Stickstoff-Hilfsgases vom Schneidkopf beträgt durchschnittlich 60 m<sup>3</sup>/h bei 10 ppm maximalem Sauerstoff-Restgehalt und der Laser ist rund um die Uhr im Einsatz.

Durch die Belüftung der Werkstatt wird das Volumen 4 Mal pro Stunde ausgetauscht.

$$C_{\infty} = \left( \frac{4000 * 0.209 * 4}{(4000 * 4) + 60} \right) 100$$

$$C_{\infty} = 20.82\%$$

Daher hat der Stickstoff-Hilfsgasstrom in den Raum nahezu keine Auswirkungen auf den Sauerstoffgehalt im Raum.

Wenn der Laser in einem deutlich kleineren Raum mit lediglich 300 m<sup>3</sup> freiem Volumen und einer Belüftung von 0,5 Volumenwechseln pro Stunde betrieben würde, wäre das Ergebnis wie folgt:

$$C_{\infty} = \left( \frac{300 * 0.209 * 0.5}{(300 * 0.5) + 60} \right) 100$$

$$C_{\infty} = 14.93\%$$

In diesem Beispiel ist die Sauerstoffkonzentration in dem Raum durch den Stickstoff-Hilfsgasstrom deutlich unter die sicheren Grenzwerte gefallen.

Die beiden obenstehenden Beispiele wurden mit hochreinem Stickstoff mit einem maximalen Sauerstoff-Restgehalt von 10 ppm berechnet, der als vollständig sauerstofffrei gilt.

Wenn Stickstoff mit einem höheren maximalen Sauerstoff-Restgehalt spezifiziert ist, könnte dies berechnet werden, um das Gesamt-Leckagevolumen zu reduzieren.

Wenn z. B. die Durchflussrate 60 m<sup>3</sup>/h bei einem maximalen Sauerstoff-Restgehalt von 5 % beträgt, beläuft sich das tatsächlich in den Raum abgegebene Stickstoffvolumen auf 60 m<sup>3</sup>/h x 0,95 = 57 m<sup>3</sup>/h.



# Formeln zur Berechnung der potenziellen Sauerstoffab- oder -anreicherung

## Sauerstoffanreicherung durch Abgas- oder Permeatfluss von Stickstoffgeneratoren

Für diese Berechnung kann die Formel für die kontinuierliche Sauerstoffabreicherung verwendet werden; anstatt jedoch die Gas-Ausstoßrate zu addieren, wird sie subtrahiert.

$$C_{\infty} = \left( \frac{Vr * 0.209 * n}{(Vr * n) - L} \right) 100$$

### Beispiel-Risikobeurteilung

Ein Parker N2-80P Stickstoffgenerator ist in einem Anlagenraum mit einem freien Volumen von 400 m<sup>3</sup> installiert. Durch die Belüftungsanlage wird das Umgebungsluftvolumen 4 Mal pro Stunde ausgetauscht.

Gemäß der Tabelle auf Seite 11 wird für dieses Generatormodell von einer Erzeugung von 322 Litern (0,322 m<sup>3</sup>) Sauerstoff pro Minute im Abgasstrom ausgegangen. Dies entspricht 19,32 m<sup>3</sup>/Stunde.

$$C_{\infty} = \left( \frac{400 * 0.209 * 4}{(400 * 4) - 19.32} \right) 100$$

$$C_{\infty} = 21.2\%$$

Das Ergebnis ist, dass der Generator den Sauerstoffgehalt im Raum nicht signifikant erhöht und deutlich innerhalb der erforderlichen Grenzwerte liegt.

## Die Kontrolle der Sauerstoffanreicherung und -abreicherung der Umgebungsluft ist eine wichtige Voraussetzung für den sicheren Betrieb der Stickstofferzeugungsanlagen von Parker.

In der Regel bieten ordnungsgemäß belüftete Räume oder Fabriken eine ideale Umgebung für ein Parker Stickstofferzeugungssystem.

Im Gegensatz zu traditionellen Versorgungsmethoden wie Hochdruck-Gasflaschen oder Flüssiglagertanks, die große Mengen erstickenden

Stickstoffgases enthalten können, erzeugen Parker Generatoren bedarfsorientiert nur die benötigte Gasmenge und erfordern keine Lagerung in größeren Mengen.

Wenn Sie dennoch Bedenken haben, kann Parker Sie im Hinblick auf die Erfordernisse für eine sichere Installation unterstützen

und beraten, einschließlich von ISO-Containern oder ähnlichen kleinen Anlagenräumen in Modulbauweise.

**Bitte wenden Sie sich wegen weiterer Informationen an unser Team.**



# Parker weltweit

## Europa, Naher Osten, Afrika

**AE – Vereinigte Arabische Emirate, Dubai**  
Tel: +971 4 8127100  
parker.me@parker.com

**AT – Österreich, St. Florian**  
Tel: +43 (0)7224 66201  
parker.austria@parker.com

**AZ – Aserbaidshan, Baku**  
Tel: +994 50 2233 458  
parker.azerbaijan@parker.com

**BE/NL/LU – Benelux, Hendrik Ido Ambacht**  
Tel: +31 (0)541 585 000  
parker.nl@parker.com

**BG – Bulgarien, Sofia**  
Tel: +359 2 980 1344  
parker.bulgaria@parker.com

**BY – Weißrussland, Minsk**  
Tel: +48 (0)22 573 24 00  
parker.poland@parker.com

**CH – Schweiz, Etoy**  
Tel: +41 (0)21 821 87 00  
parker.switzerland@parker.com

**CZ – Tschechische Republik, Klecany**  
Tel: +420 284 083 111  
parker.czechrepublic@parker.com

**DE – Deutschland, Kaarst**  
Tel: +49 (0)2131 4016 0  
parker.germany@parker.com

**DK – Dänemark, Ballerup**  
Tel: +45 43 56 04 00  
parker.denmark@parker.com

**ES – Spanien, Madrid**  
Tel: +34 902 330 001  
parker.spain@parker.com

**FI – Finnland, Vantaa**  
Tel: +358 (0)20 753 2500  
parker.finland@parker.com

**FR – Frankreich, Contamine s/Arve**  
Tel: +33 (0)4 50 25 80 25  
parker.france@parker.com

**GR – Griechenland, Piraeus**  
Tel: +30 210 933 6450  
parker.greece@parker.com

**HU – Ungarn, Budaörs**  
Tel: +36 23 885 470  
parker.hungary@parker.com

**IE – Irland, Dublin**  
Tel: +353 (0)1 466 6370  
parker.ireland@parker.com

**IL – Israel, Tel Aviv**  
Tel: +39 02 45 19 21  
parker.israel@parker.com

**IT – Italien, Corsico (MI)**  
Tel: +39 02 45 19 21  
parker.italy@parker.com

**KZ – Kasachstan, Almaty**  
Tel: +7 7273 561 000  
parker.easteurope@parker.com

**NO – Norwegen, Asker**  
Tel: +47 66 75 34 00  
parker.norway@parker.com

**PL – Polen, Warschau**  
Tel: +48 (0)22 573 24 00  
parker.poland@parker.com

**PT – Portugal, Lissabon**  
Tel: +351 22 999 7360  
parker.portugal@parker.com

**RO – Rumänien, Bukarest**  
Tel: +40 21 252 1382  
parker.romania@parker.com

**RU – Russland, Moskau**  
Tel: +7 495 645-2156  
parker.russia@parker.com

**SE – Schweden, Spånga**  
Tel: +46 (0)8 59 79 50 00  
parker.sweden@parker.com

**SK – Slowakei, Banská Bystrica**  
Tel: +421 484 162 252  
parker.slovakia@parker.com

**SL – Slowenien, Novo Mesto**  
Tel: +386 7 337 6650  
parker.slovenia@parker.com

**TR – Türkei, Istanbul**  
Tel: +90 216 4997081  
parker.turkey@parker.com

**UA – Ukraine, Kiew**  
Tel: +48 (0)22 573 24 00  
parker.poland@parker.com

**UK – Großbritannien, Warwick**  
Tel: +44 (0)1926 317 878  
parker.uk@parker.com

**ZA – Republik Südafrika, Kempton Park**  
Tel: +27 (0)11 961 0700  
parker.southafrica@parker.com

## Nordamerika

**CA – Kanada, Milton, Ontario**  
Tel: +1 905 693 3000

**US – USA, Cleveland**  
Tel: +1 216 896 3000

## Asien-Pazifik

**AU – Australien, Castle Hill**  
Tel: +61 (0)2-9634 7777

**CN – China, Schanghai**  
Tel: +86 21 2899 5000

**HK – Hong Kong**  
Tel: +852 2428 8008

**IN – Indien, Mumbai**  
Tel: +91 22 6513 7081-85

**JP – Japan, Tokyo**  
Tel: +81 (0)3 6408 3901

**KR – Korea, Seoul**  
Tel: +82 2 559 0400

**MY – Malaysia, Shah Alam**  
Tel: +60 3 7849 0800

**NZ – Neuseeland, Mt Wellington**  
Tel: +64 9 574 1744

**SG – Singapur**  
Tel: +65 6887 6300

**TH – Thailand, Bangkok**  
Tel: +662 186 7000

**TW – Taiwan, Taipei**  
Tel: +886 2 2298 8987

## Südamerika

**AR – Argentinien, Buenos Aires**  
Tel: +54 3327 44 4129

**BR – Brasilien, Sao Jose dos Campos**  
Tel: +55 800 727 5374

**CL – Chile, Santiago**  
Tel: +56 2 623 1216

**MX – Mexico, Toluca**  
Tel: +52 72 2275 4200

Europäisches Produktinformationszentrum  
Kostenlose Rufnummer: 00 800 27 27 5374  
(von AT, BE, CH, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, IE, IL, IS, IT, LU, MT, NL, NO, PL, PT, RU, SE, SK, UK, ZA)



**Parker Hannifin GmbH**  
Pat-Parker-Platz 1  
41564 Kaarst  
Tel.: +49 (0)2131 4016 0  
Fax: +49 (0)2131 4016 9199  
parker.germany@parker.com  
www.parker.com/gsf