

Making our world more productive



# Der Laserschneidprozess

LASERLINE<sup>®</sup>: Global laser gas solutions

# Inhalt

## 03 Einleitung

## 04 Laser für das Schneiden

CO<sub>2</sub>-Laser  
Festkörperlaser

## 05 Der Laserschneidprozess

Prozessvarianten

## 06 Parameter beim Laserschneiden

Laserstrahlleistung und Intensität  
Die Brennweite der Fokussierlinse  
Absorption der Laserstrahlung durch verschiedene Metalle  
Brewsterwinkel  
Schnittfrontwinkel

## 09 CO<sub>2</sub>-Laser und Faserlaser im Vergleich

Schneiden von dünnen Stahlblechen mit Stickstoff  
Schneiden von dicken Stahlblechen mit Stickstoff  
Laser-Plasma-Schneiden mit Stickstoff  
Zusammenfassung: Stickstoffschneiden  
Zusammenfassung: Sauerstoffschneiden

## 12 Reinheit entscheidet

Sauerstoffreinheit beim Laserschneiden  
Sauerstoffverunreinigungen  
Stickstoffreinheit beim Laserschneiden  
Herausforderungen bei Ihren Stickstoff- und Sauerstoffreinheiten meistern

## 14 Gasdurchflussmengen beim Laserschneiden

Durchflussmenge von Sauerstoff beim Laserschneiden  
Durchflussmenge von Stickstoff beim Laserschneiden

## 15 Stickstoffversorgung beim Laserschneiden

Versorgungslösungen für Ihre benötigten Durchflussmengen

# Einleitung



Das Laserstrahlschneiden (im Folgenden Laserschneiden genannt) hat sich in den letzten Jahren in der Fertigungsindustrie zu einem Standardverfahren entwickelt. Schätzungen gehen von mehr als 40.000 Schneidanlagen aus, die weltweit zum Schneiden von Metallen und Nichtmetallen mit hohen Laserstrahlleistungen eingesetzt werden. Diese Zahl ist noch wesentlich größer, wenn das Laserschneiden mit geringer Leistung von z. B. Kunststoffen und Papier hinzugerechnet würde.

Beeindruckende Beispiele von modernen Anwendungen des Laserschneidens sind:

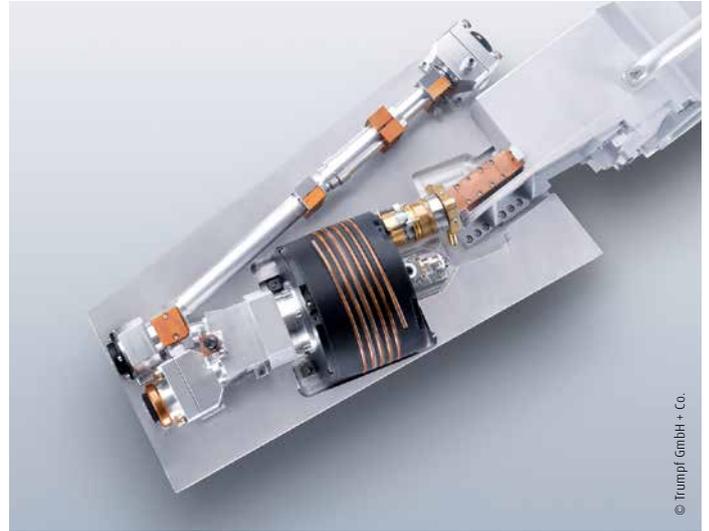
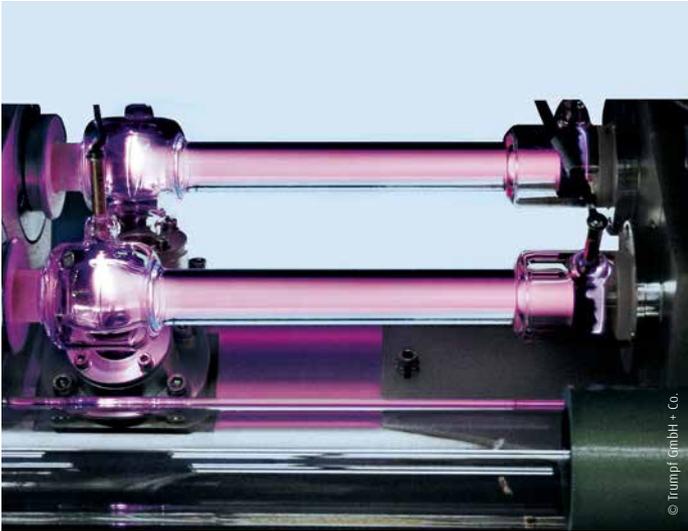
- Schneiden von Innen-Hochdruck-Umgeformt (IHU)-Teilen und -Rohren
- Hochgeschwindigkeitsschneiden von Werkstoffen geringer Materialstärke
- Schneiden von Grobblechen

Die Entwicklungen der letzten Jahre zielten bei den Strahlerzeugern im Wesentlichen auf die Erhöhung der Laserstrahlleistung unter Beibehaltung einer hohen Strahlqualität. Bei der Entwicklung der Laseranlagen lag der Schwerpunkt in der Verbesserung der Antriebstechnik und der Werkstückhandhabung.

Das Laserschneiden wird aufgrund der zunehmenden Schneidgeschwindigkeiten, des geringen Werkzeug- und Ersatzteilbedarfs sowie der nahezu grenzenlosen Einsatzflexibilität immer mehr konkurrierende Verfahren verdrängen. Vorhersagen gehen sogar von einer Verdoppelung der Anzahl der Flachbett-Laserschneidanlagen in den nächsten 10 Jahren aus. Die rasante Verbreitung von fasergeführten Lasern wird darüber hinaus die Attraktivität von Lasern für das Schneiden und Schweißen weiter erhöhen.

Die Gase, die zur Erzeugung des Laserstrahls und zum Austrieb von Werkstoffschmelze und -schlacke eingesetzt werden, sind entscheidende Hilfsstoffe beim Laserschneiden. Sie beeinflussen die Lebensdauer der optischen Elemente und sind mitbestimmend für die erzielbare Schneidgeschwindigkeit und Schnittqualität. Damit üben sie einen unmittelbaren Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit des Laserschneidens aus. Zielsetzung dieses technischen Leitfadens ist es daher, mögliche Anwender des Laserschneidens mit der Technologie vertraut zu machen und Hinweise für den bestmöglichen Einsatz von Schneidgasen zu geben.

# Laser für das Schneiden



## CO<sub>2</sub>-Laser

Die ersten Laser, die für das Schneiden und Schweißen von Metallen eingesetzt wurden, waren Kohlenstoffdioxidlaser (CO<sub>2</sub>-Laser). Ihr Name ist darauf zurückzuführen, dass zur Erzeugung der Laserstrahlung Kohlenstoffdioxid – gemischt mit Helium und Stickstoff – verwendet wird.

Die Laserstrahlung wird mithilfe einer elektrischen Entladung im Gas erzeugt. Während die Kohlenstoffdioxidmoleküle die Laserstrahlung abgeben, sorgen Stickstoff und Helium für einen stabilen und effizienten Prozess.

Der Laserstrahl hat eine Wellenlänge von 10,6 µm. Da diese im infraroten Bereich des Lichtspektrums liegt, ist er nicht sichtbar. Damit der Laserstrahl ungehindert zur Fokussierlinse im Schneidkopf gelangt, wird er über den Strahlengang, der mit einem sauberen, trockenen Gas gespült wird, übertragen. Zur Strahlumlenkung werden speziell beschichtete und gekühlte Kupferspiegel verwendet, die sorgfältig ausgerichtet werden müssen.

Die Wellenlänge des CO<sub>2</sub>-Lasers ermöglicht das Schneiden der meisten Metalle. Ausnahmen sind Metalle, die im infraroten Bereich des Spektrums einen hohen Reflexionsgrad aufweisen, wie zum Beispiel Gold oder Kupfer. Die infrarote Wellenlänge wird auch von vielen Polymeren wie beispielsweise Acryl sehr gut absorbiert. Diese können daher sehr effektiv und sauber mit einem CO<sub>2</sub>-Laser geschnitten werden.

## Festkörperlaser

Festkörperlaser umfassen eine Reihe von Lasern, zum Beispiel Faser- und Scheibenlaser. Die ersten Faserlaser wurden am Ende des 20. Jahrhunderts in der Telekommunikation entwickelt. Es stellte sich schnell heraus, dass die für Kommunikationen notwendigen niedrigen Leistungen erheblich gesteigert werden können. Dies führte zu Faserlasersquellen, die bezüglich ihrer Leistungsfähigkeit mit CO<sub>2</sub>-Lasern mithalten können oder sie sogar übertreffen. Zudem wurden auch Alternativen wie Scheibenlaser entwickelt.

Faserlaser sind Festkörperlaser, haben keine beweglichen Teile und erfordern kein Laserresonatorgas.

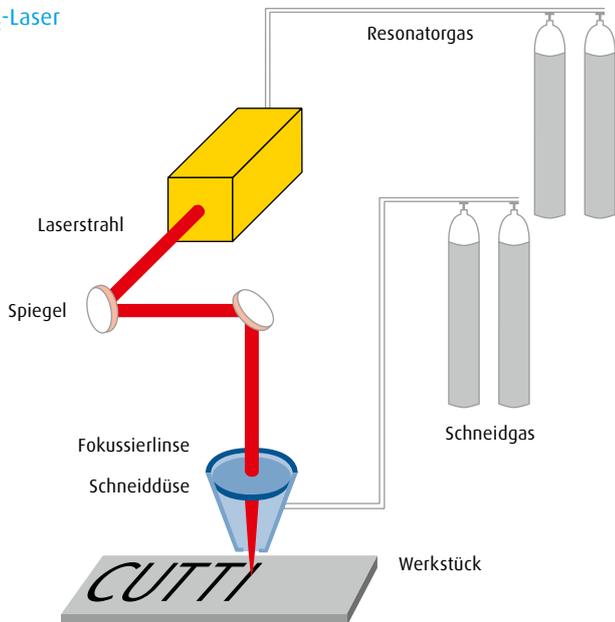
Die Wellenlänge von Faserlasern ist um einiges kürzer als die von CO<sub>2</sub>-Lasern. Sie liegt bei ungefähr 1 µm im nahinfraroten Bereich und ist damit geradeso nicht sichtbar. Aufgrund der kürzeren Wellenlänge ergeben sich einige wichtige Unterschiede zu CO<sub>2</sub>-Lasern:

1. Die kürzere Wellenlänge ermöglicht es, den Laserstrahl über eine Lichtleitfaser zu übertragen. Faserlaser sind daher ideal geeignet für 3D-Schneid- und Schweißverfahren, da kein Strahlengang mit Spiegeln benötigt wird.
2. Stahl hat bei der Wellenlänge von Faserlasern einen deutlich kleineren Brewsterwinkel. Faserlaser können daher Bau- und Edelmetalle sehr viel effizienter schneiden als CO<sub>2</sub>-Laser. Beim Schneiden von dicken Blechen erzeugen sie allerdings etwas unsauberere Schnittkanten.
3. Im Gegensatz zur Strahlung eines CO<sub>2</sub>-Lasers wird die Strahlung eines Faserlasers durch Wasser übertragen und stellt daher ein direktes Risiko für die Netzhaut des Auges dar. Schneid- und Schweißanlagen mit Faserlaser müssen daher immer mit einer lichtdichten Abdeckung ausgestattet sein.

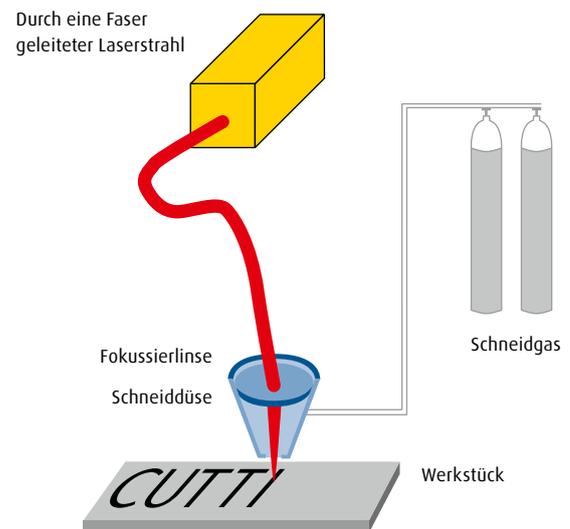
# Der Laserschneidprozess

Bild 1: Prinzipieller Aufbau einer Laserstrahlschneidanlage

## CO<sub>2</sub>-Laser



## Faserlaser



## Prozessvarianten

Der Strahlerzeuger produziert einen sich nahezu parallel ausbreitenden und in den meisten Fällen unsichtbaren Laserstrahl. Dieser wird mit Spiegeln zum Schneidkopf geleitet und mit einer darin befindlichen Linse auf einen kleinen Brennfleck fokussiert. Der Brennfleck wird auf der Werkstückoberseite oder im Werkstück platziert (Bild 1).

Die hohe Intensität im Fokus heizt den Werkstoff schnell auf Schmelztemperatur und darüber auf. Das Schneidgas wird dann zugeführt, um die Fokussieroptik zu kühlen und zu schützen und außerdem um den geschmolzenen Werkstoff aus der Schnittfuge zu blasen. Je nachdem, welches Schneidgas verwendet wird, lassen sich folgende Prozessvarianten unterscheiden:

Beim Laserschneiden mit Sauerstoff wird der auf Entzündungstemperatur aufgeheizte Werkstoff verbrannt. Die Reaktion von Sauerstoff und Werkstoff ist exotherm und führt dem Prozess somit zusätzlich Verbrennungsenergie zu, die den Schneidprozess fördert. Das flüssige Eisenoxid, das eine sehr niedrige Viskosität hat, wird durch den Sauerstoffdruck aus der Schnittfuge entfernt.

Beim Laserschneiden mit Gasen, die nicht mit dem Werkstoff reagieren, wie z. B. Stickstoff oder Argon, muss die gesamte Werkstückdicke vom Laserstrahl geschmolzen werden. Die kinetische Energie des Gasstrahls treibt dann die Schmelze aus der Schnittfuge. Im Gegensatz zum Sauerstoffschneiden ist die Entfernung der Schmelze der einzige aktive Prozess und es ist eine höhere Laserstrahlleistung und ein höherer Gasdruck erforderlich – auch da der geschmolzene Werkstoff im Vergleich zu flüssigem Eisenoxid eine relativ hohe Viskosität hat. Da keine Reaktion stattfindet, wird auch keine zusätzliche Energie zugeführt. Die benötigte Laserstrahl-

leistung ist deshalb bei gleicher Blechdicke wesentlich höher als die beim Sauerstoffschneiden. Das Schneiden mit nicht reagierenden Gasen wird wegen der benötigten Gasdrücke auch Hochdruckschneiden genannt und oft eingesetzt, wenn metallisch blanke Schnittflächen erzielt werden sollen.

Beim Laserschneiden mit Stickstoff kann die Schneidgeschwindigkeit durch die Erhöhung des Stickstoffdrucks gesteigert werden. Diese Beschleunigung ist durch den Kühlungseffekt von Gasströmen mit hohem Druck begrenzt. Bei dicken Bau- und Edelmetallen liegt der ideale Druck im Bereich von 10 und 15 bar – oder auch höher, wenn die leistungsstärksten Laser auf dem Markt verwendet werden.

Auch beim Laserschneiden mit Sauerstoff kann der Druck prinzipiell erhöht werden, um die Entfernung der Schmelze zu verbessern. Diese Erhöhung ist allerdings nicht durch den vom Gas verursachten Kühlungseffekt begrenzt, sondern durch die verstärkte seitliche Verbrennung, die auf die erhöhte Sauerstoffkonzentration zurückzuführen ist. Dies kann zu einer schlechten Schnittqualität mit erheblicher Schlackebildung oder einem komplett misslungenen Schnitt führen.

Der maximale Sauerstoffdruck hängt hauptsächlich von der Blechdicke ab. Bei dünnen Blechen bis zu 2 oder 3 mm sind bis zu 20 bar möglich. Der Einfluss des Verbrennungsprozesses ist dabei von untergeordneter Bedeutung und die Entfernung der Schmelze geschieht, ähnlich wie beim Hochdruckschneiden, hauptsächlich über den Gasdruck.

Bei dicken Blechen ist der maximal anwendbare Sauerstoffdruck deutlich niedriger. Bei Dicken über 20 mm liegt er kaum über 1 bar.

# Parameter beim Laserschneiden



## Laserstrahlleistung und Intensität

Laser werden üblicherweise nach der bereitgestellten Laserstrahlleistung unterschieden wie z. B. 1.000-W- oder 6-kW-Laser. Die Laserstrahlleistung beschreibt dabei die abgegebene Energie pro Sekunde in Form von Strahlung. Die Intensität eines Laserstrahls ist gleich seiner Leistung geteilt durch die Fläche, auf die er einwirkt.

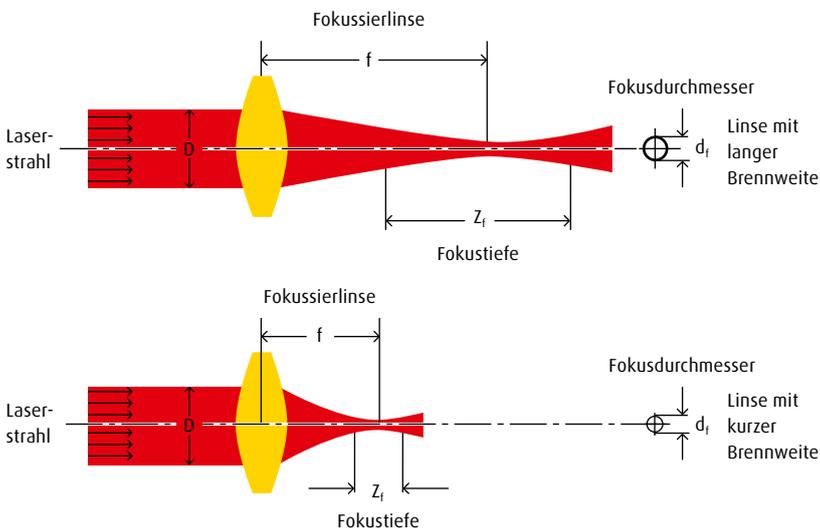
Beispiel: Wird ein Laserstrahl von 1.000 W auf einen Brennfleck von 0,1 mm im Durchmesser fokussiert, beträgt die Intensität der Laserstrahlung 125.000 W/mm<sup>2</sup>.

Eine hohe Intensität bedeutet eine schnelle Erwärmung der Schneidstelle, sodass nur wenig Energie in den umliegenden Werkstoff abfließen kann. Damit lassen sich die lasertypisch hohen Schneidgeschwindigkeiten und die außerordentlich gute Schnittqualität erzielen.

Die Intensität der Laserstrahlung ist außerdem für die schneidbare Blechdicke maßgeblich: Je dicker der Werkstoff, desto höher die benötigte Intensität. Die Intensität wiederum hängt von der Höhe der Laserstrahlleistung ab und wird durch die optischen Eigenschaften der Linse verändert. Ein kleiner Brennfleck hoher Intensität lässt sich zum Beispiel mit einer kurzen Brennweite der Linse erzielen, die dazugehörige geringe Fokustiefe (Rayleighlänge) ist jedoch für dickere Werkstoffe weniger gut geeignet.

$$\text{Intensität} = \frac{\text{Laserleistung}}{\text{beleuchtete Fläche}}$$

Bild 2: Fokussierbarkeit von Laserstrahlung



### Die Brennweite der Fokussierlinse

Die Fokussierlinse bündelt den Laserstrahl abhängig von der Brennweite der Linse unterschiedlich stark. Die Größe des Brennflecks ( $d_f$ ) hängt dabei von der Wellenlänge des Laserlichts ( $\lambda$ ), der Intensitätsverteilung im Laserstrahl ( $K$ ) und dem Durchmesser des unfokussierten Laserstrahls an der Linse ( $D$ ) ab, entsprechend der Formel:

$$d_f = \frac{4 \lambda}{\pi} \times \frac{f}{D} \times \frac{1}{K}$$

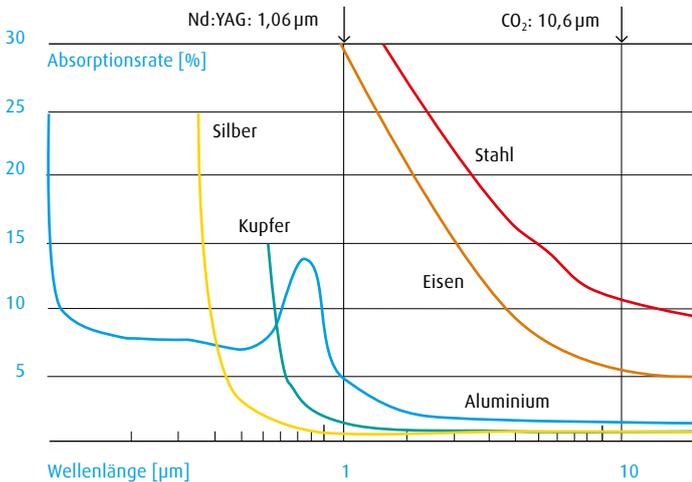
Ein kleiner Brennfleck ergibt sich bei:

- kurzer Brennweite der Linse ( $f$ )
- gleichmäßiger Intensitätsverteilung im Strahl ( $K$ )  
(optimal: gaußförmige Verteilung,  $K = 1$  bzw.  $1/M^2 = 1$ )
- kurzer Wellenlänge des Laserlichts ( $\lambda$ )
- großem Strahldurchmesser an der Linse ( $D$ )

Die Fokustiefe  $Z_f$  (Rayleighlänge) ist ein Maß dafür, wie schnell sich der Strahl hinter dem Brennpunkt wieder aufweitet. Eine große Fokustiefe lässt mehr Spielraum bei der Positionierung des Fokus zu und ermöglicht das Schneiden größerer Blechdicken. Die Fokustiefe wird durch die gleichen Parameter beeinflusst wie die Brennweite. Grundsätzlich bedeutet eine kurze Brennweite auch eine kurze Fokustiefe und umgekehrt.

Eine Linse kurzer Brennweite erzeugt somit auch einen kleinen Brennfleck und eine kurze Fokustiefe. Damit ermöglicht sie hohe Schneidgeschwindigkeiten und gute Schnittqualität bei dünnen Werkstoffen. Der Arbeitsabstand ist jedoch wegen der kurzen Fokustiefe möglichst konstant zu halten. Für größere Werkstückdicken muss die Fokustiefe entsprechend angepasst werden (Bild 2). Eine größere Fokustiefe bedeutet aber wiederum einen größeren Brennfleck mit verringerter Intensität, der eine höhere Laserleistung erfordert, um eine vergleichbar hohe Schneidgeschwindigkeit zu ermöglichen.

**Bild 3: Absorptionsrate in Abhängigkeit von der Wellenlänge für unterschiedliche Werkstoffe (bei 20°C)**



### Absorption der Laserstrahlung durch verschiedene Metalle

Unterschiedliche Metalle absorbieren die Strahlung von CO<sub>2</sub>-Lasern und Faserlasern auch in unterschiedlichem Ausmaß. Dies liegt an den grundlegenden physikalischen Eigenschaften der Metalle (Bild 3).

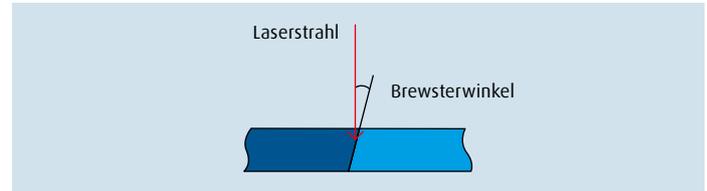
Die lange Wellenlänge von CO<sub>2</sub>-Lasern macht ihre Anwendung bei hoch reflektierenden Metallen wie Kupfer, Silber und Aluminium sehr schwierig – obwohl die natürlich schnelle Oxidation von Aluminium eine dünne Oxidschicht bildet, die den Laserstrahl ausreichend absorbiert, um geschnitten werden zu können. Eine Rückstrahlung des Laserstrahls in den Laserstrahlerzeuger kann eine schwerwiegende Beschädigung des Lasers verursachen.

Aufgrund seiner um einiges kürzeren Wellenlänge ist der Faserlaser für das Schneiden von Kupfer und Silber geeignet. Dennoch muss vorsichtig gearbeitet werden, um eine Rückstrahlung zu verhindern, da diese auch bei einigen Faserlasertypen zu großen Schäden führen kann.

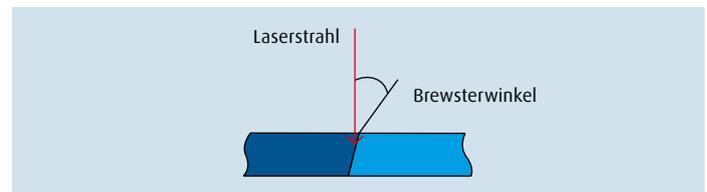
### Brewsterwinkel

Die unterschiedlichen Wellenlängen von CO<sub>2</sub>-Lasern und Faserlasern verändern das Werkstoffverhalten nicht nur bezüglich der Absorptionsintensität, sondern auch bezüglich des Einfallswinkels, bei dem die Absorption des Laserstrahls am höchsten ist. Dieser Winkel wird Brewsterwinkel genannt und ist von Metall zu Metall unterschiedlich.

**Bild 4: Intensitätsverteilung im Laserstrahl**



Optimale Schnittfront CO<sub>2</sub>-Laser für max. Effizienz (nicht maßstabsgerecht)



Optimale Schnittfront Faserlaser für max. Effizienz (nicht maßstabsgerecht)

Bei Bau- und Edelstählen, welches die am häufigsten geschnittenen Metalle sind, ist der Brewsterwinkel bei der Strahlung eines CO<sub>2</sub>-Lasers hoch: 87 Grad aus der Vertikalen (d. h. nahezu parallel zur Schnittfront). Bei einem Faserlaser ist der Winkel mit 78 Grad aus der Vertikalen sehr viel flacher.

Diese Abweichung führt zu bemerkenswerten Unterschieden zwischen CO<sub>2</sub>-Lasern und Faserlasern, wenn Stickstoff als Schneidgas verwendet wird und die Schnittfront nicht oxidiertes Metall ist. Beim Sauerstoffschneiden hingegen ist die Schnittfront immer oxidiert und der Schneidprozess hängt vor allem vom Verbrennungsprozess und nicht vom Brewsterwinkel ab.

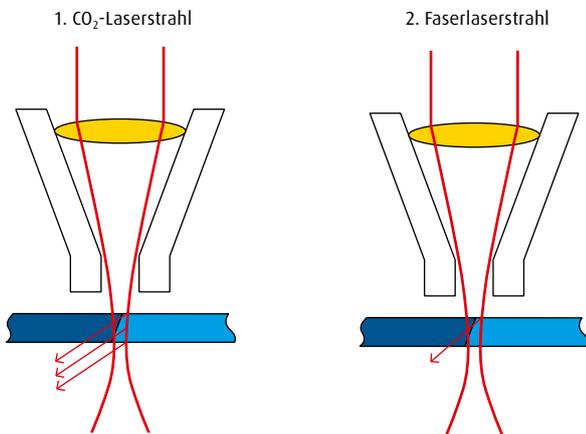
### Schnittfrontwinkel

Der Schnittfrontwinkel hängt von vielen Faktoren ab. Generell kann aber gesagt werden, dass die Schnittfront bei niedrigen Schneidgeschwindigkeiten nahezu vertikal ist und sie sich mit steigender Geschwindigkeit neigt.

Hier spielt der Brewsterwinkel eine entscheidende Rolle: CO<sub>2</sub>-Laser sind ideal geeignet, wenn die Schnittfront nahezu vertikal ist, zum Beispiel beim Schneiden von sehr dünnen Blechen bei niedriger Geschwindigkeit. Wenn die Schnittfront eher geneigt ist, zum Beispiel beim Schneiden von dünnen Blechen bei hoher Geschwindigkeit (Bild 4), sind hingegen Faserlaser besser geeignet.

# CO<sub>2</sub>-Laser und Faserlaser im Vergleich

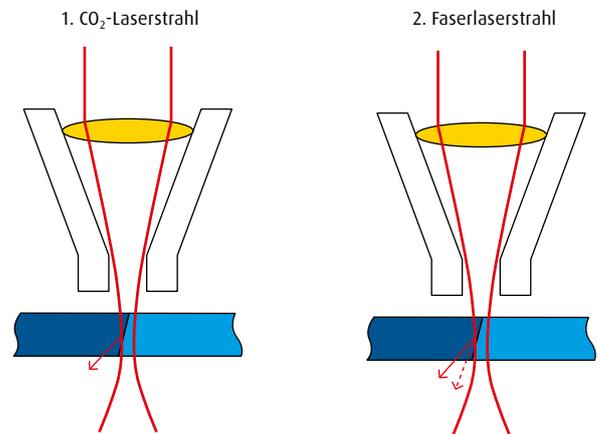
Bild 5: Schneiden von dünnen Stahlblechen mit Stickstoff



1. Schnittfrontwinkel weit vom Brewsterwinkel entfernt, stark reflektierend

2. Schnittfrontwinkel nahe am Brewsterwinkel, sehr schwache Reflexion

Bild 6: Schneiden von dicken Stahlblechen mit Stickstoff



1. Schnittfrontwinkel nahe am Brewsterwinkel, sehr schwache Reflexion

2. Schnittfrontwinkel weit vom Brewsterwinkel entfernt, mehrfache Reflexion

## Schneiden von dünnen Stahlblechen mit Stickstoff

Dünne Stahlbleche (weniger als 3–4 mm) können mit sehr hohen Geschwindigkeiten geschnitten werden – bis zu 20 oder 30 m/min. Bei diesen Geschwindigkeiten ist die Schnittfront gegenüber der Vertikalen stark geneigt. Der Einfallswinkel des Laserstrahls liegt daher bei der Wellenlänge des Faserlasers näher am Brewsterwinkel als bei der Wellenlänge des CO<sub>2</sub>-Lasers.

Die Strahlung eines Faserlasers wird aus diesem Grund effektiver absorbiert als die Strahlung eines CO<sub>2</sub>-Lasers, bei der ein erheblicher Anteil durch Reflexion an der Schnittfront verloren geht.

Die Schneidleistung bei dünnen Stahlblechen ist deshalb mit Faserlasern deutlich höher als mit CO<sub>2</sub>-Lasern. Mit der gleichen Laserstrahlleistung schneiden Faserlaser bis zu dreimal schneller als CO<sub>2</sub>-Laser (Bild 5).

## Schneiden von dicken Stahlblechen mit Stickstoff

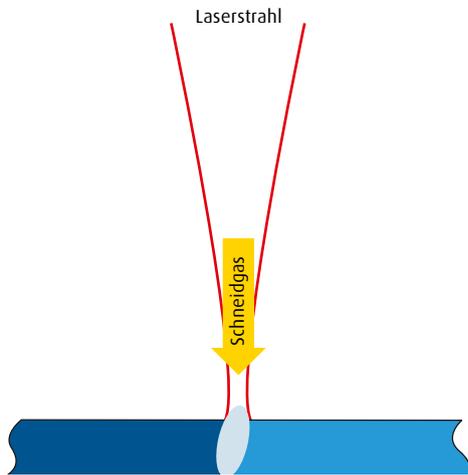
Beim Laserschneiden von dicken Blechen mit Stickstoff kann ein effizienter und sauberer (nicht oxidierter) Schnitt nur mit einem hohen Stickstoffdruck und einer hohen Durchflussmenge erzielt werden. Der Prozess ist langsam und die Neigung der Schnittfront ist daher gering, d. h. beinahe vertikal.

Diese Bedingungen begünstigen den Einsatz eines CO<sub>2</sub>-Lasers, da der Einfallswinkel des Lasers auf die Schnittfront nahe am Brewsterwinkel des Metalls bei der Wellenlänge eines CO<sub>2</sub>-Lasers liegt. Der Schneidprozess verläuft daher mit optimaler Effizienz und nur wenig Strahlung geht durch Reflexion verloren. Zudem wird auch eine gute Schnittqualität erreicht.

Im Fall eines Faserlasers liegt der Einfallswinkel weit entfernt vom Brewsterwinkel, sodass keine optimalen Schneidbedingungen vorliegen. Ein erheblicher Anteil der Laserstrahlenergie wird am oberen Teil der Schnittfront reflektiert. Diese reflektierte Energie geht nicht verloren, aber sie dringt in den unteren Teil der Schnittfront ein, wo sich der Prozess wiederholen kann.

Auch wenn der Prozess beinahe so effizient ist wie mit einem CO<sub>2</sub>-Laser, kann die Schnittqualität sehr schlecht sein – mit einer Oberflächenrauheit auf der Schnittkante von bis zu einigen Millimetern. Diese ist eine unmittelbare Folge der mehrfachen Reflexion des Laserstrahls (Bild 6).

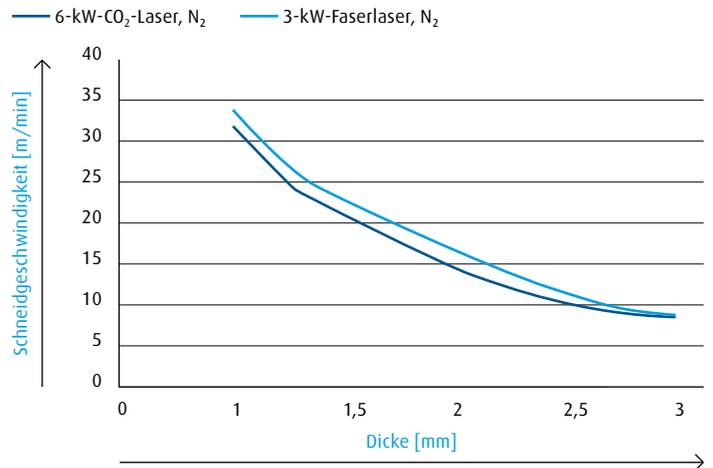
Bild 7: Laser-Plasma-Schneiden mit Stickstoff



### Laser-Plasma-Schneiden mit Stickstoff

Traditionell wurde bei allen Baustählen das Laserbrennschneiden mit Sauerstoff eingesetzt, um die bei der Verbrennung des Stahls zusätzlich entstandene Wärme zur Erreichung der höchstmöglichen Schneidgeschwindigkeit zu nutzen. Mit dem Aufkommen von CO<sub>2</sub>-Lasern mit einer Leistung von 4 kW und mehr stellte sich schnell heraus, dass dünne Baustähle mit Stickstoff sogar noch schneller als mit Sauerstoff geschnitten werden können. Dies liegt daran, dass der Verlust der Verbrennungswärme durch die zusätzliche Laserstrahlenergie mehr als kompensiert wird.

Die entscheidende Innovation in diesem Bereich ist die Bildung eines Plasma-Stichlochs im Schnitt. Dieses absorbiert einen Anteil der CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung, der ansonsten durch die Reflexion an der Schnittfront verloren gehen würde, und verringert dadurch die Abhängigkeit des Prozesses vom Brewsterwinkel. Die zusätzliche Wärmeübertragung des Plasmas wirkt auf den Schneidprozess ein und erhöht die Schneidgeschwindigkeit. Aufgrund der Wirkungseigenschaften von Plasma erhält der Schnitt aber eine charakteristische raue Kante.

Bild 8: Vergleich der Schneidleistung eines Festkörperlasers mit der eines CO<sub>2</sub>-Lasers bei dünnen Blechen

In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass Plasma in Stickstoff nur die CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung, aber nicht die Strahlung eines Faserlasers absorbiert. Schneiden mit Plasma ist daher nicht mit einem Faserlaser möglich. Schneiden mit Faserlasern ist aber dennoch zweimal so effizient wie das Schneiden mit CO<sub>2</sub>-Lasern und Plasma.

Bild 9: Unterschiede zwischen Sauerstoff und Stickstoff beim Schneiden mit CO<sub>2</sub>- und Faserlasern

	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
1–4 mm Dicke	Zwei- bis dreimal so schnell mit Faserlasern Vergleichbare Schnittqualität von CO <sub>2</sub> - und Faserlasern	Schneidgeschwindigkeit mit CO <sub>2</sub> - und Faserlasern fast gleich Schnittqualität mit CO <sub>2</sub> - und Faserlasern auch fast gleich
4–20 mm Dicke	Gute Schnittqualität nur mit CO <sub>2</sub> -Lasern	

### Zusammenfassung: Stickstoffschneiden

Faserlaser können dünne Bleche (bis zu ungefähr 4 mm) zwei- bis dreimal so schnell schneiden wie CO<sub>2</sub>-Laser mit der gleichen Leistung. Grund dafür ist der unterschiedliche Brewsterwinkel von Stahl bei der Wellenlänge von Faserlasern. Bei dickeren Werkstoffen erzielen Faserlaser eine ähnliche Geschwindigkeit wie CO<sub>2</sub>-Laser, aber die Schnittkante hat aufgrund einer mehrfachen Reflexion eine raue Oberfläche. Diese mehrfache Reflexion tritt bei der Wellenlänge eines CO<sub>2</sub>-Lasers nicht auf.

### Zusammenfassung: Sauerstoffschneiden

Infolge des Verbrennungsprozesses entstehen eine konstant fließende Schicht aus flüssigem Eisenoxid und eine große Menge an zusätzlicher Wärme. Der Schneidprozess wird nicht vom Brewsterwinkel des Metalls, sondern durch die komplexe Dynamik des Verbrennungsprozesses und den Fluss des Eisenoxids bestimmt. Beim Schneiden von Baustählen mit Sauerstoff erzielen CO<sub>2</sub>- und Faserlaser fast identische Ergebnisse.

# Reinheit entscheidet



Sauerstoffreinheit 99,5 %  
Schneidgeschwindigkeit 0,85 m/min

Sauerstoffreinheit 99,5 %  
Schneidgeschwindigkeit 1,10 m/min

Sauerstoffreinheit 99,95 %  
Schneidgeschwindigkeit 1,10 m/min

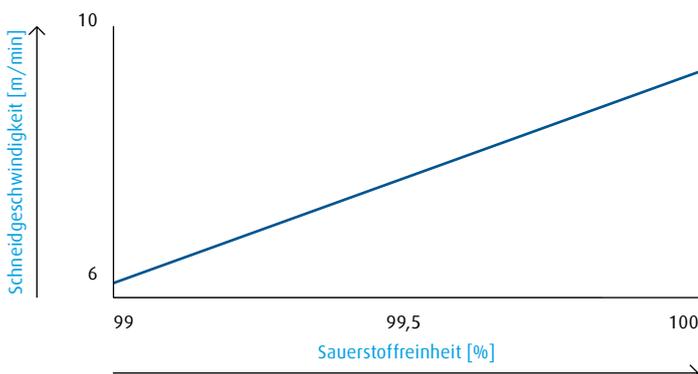
## Sauerstoffreinheit beim Laserschneiden

Die Reinheit des Sauerstoffs spielt eine entscheidende Rolle für die optimale Leistung beim Laserschneiden.

So ist die maximale Geschwindigkeit beim Laserschneiden beispielsweise mit herkömmlichem Sauerstoff mit einer Reinheit von 99,5 % um bis zu 30 % geringer als beim Einsatz von Sauerstoff mit 99,95 %.

Es gibt aber noch weitere Vorteile der Reinheit von 99,95 % gegenüber 99,5 %. Dies wird deutlich, wenn man dicken Baustahl am oberen Ende der Kapazität der Schneidmaschine schneidet. Der Sauerstoff mit der höheren Reinheit toleriert eine größere Abweichung der Schneidparameter (wie Druck), bevor der Prozess abgebrochen wird und die Maschine neu eingerichtet werden muss. Ebenso ermöglicht die höhere Reinheit den Wechsel von einem Stahllieferanten zu einem anderen (mit leicht veränderten Spezifikationen), ohne eine Wiedereinrichtung der Maschine.

**Bild 10: Wirkung der Sauerstoffreinheit auf die Schneidgeschwindigkeit**



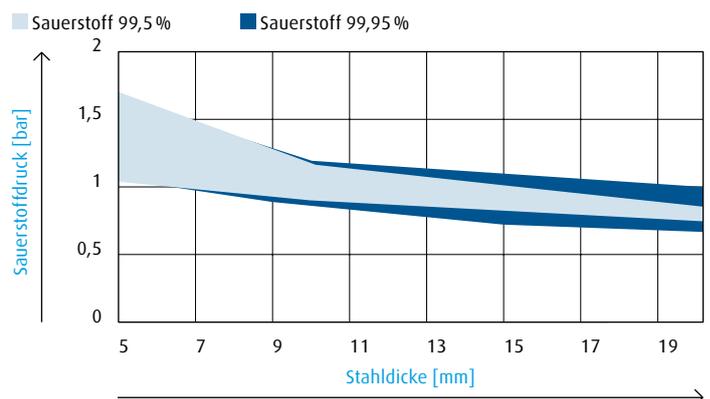
## Sauerstoffverunreinigungen

Bei der industriellen Herstellung von Sauerstoff ist das inerte Edelgas Argon die häufigste Verunreinigung. Ein höherer Argongehalt reduziert daher die Schneidleistungen.

Als inertes Gas verlangsamt Argon den Verbrennungsprozess nur minimal am oberen Rand der Schnittkante, aber auch – und das ist entscheidend – tief unten im Schnittbereich, wo der Sauerstoff durch den Verbrennungsprozess entfernt wird, sodass sich die Argonkonzentration erhöht und sich die Schneidgeschwindigkeit vermindert.

Je dicker der Werkstoff und je höher die anfängliche Argonkonzentration, desto schwerwiegender ist dieser Effekt. Für das Laserschneiden empfiehlt Linde eine Mindestreinheit von 99,95 %. Diese Spezifikation basiert auf dem Wissen, dass eine weitere Erhöhung der Reinheit nur eine geringe positive Auswirkung mit sich bringt.

**Bild 11: Toleranz beim Schneidprozess**





Stickstoffreinheit, 2 mm dicker Stahl

### Stickstoffreinheit beim Laserschneiden

Die Stickstoffreinheit ist dann wichtig, wenn eine saubere Schnittkante gefordert ist, z. B. beim Schneiden von Edelstahl oder Aluminiumlegierungen. Selbst kleinste Sauerstoffverunreinigungen im Zehntel- bis Hundertstel-Prozentbereich verursachen eine Gelbfärbung der Schnittkante bei Edelstahl aufgrund von Oxidation. Auch kann dadurch mehr Schlacke erzeugt werden, die nur schwer entfernt werden kann.

Der Sauerstoffgehalt in Stickstoff wird noch kritischer, wenn sehr dicke Bereiche bei Edelstahl geschnitten werden. Aufgrund der geringeren Schneidgeschwindigkeit kann dann der Werkstoff über einen längeren Zeitraum mit Sauerstoff reagieren.

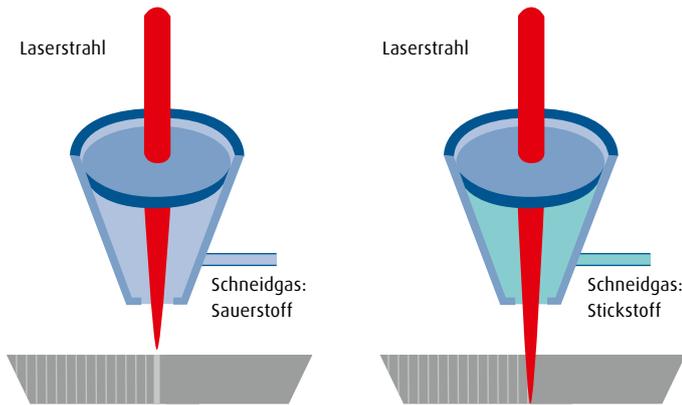
### Herausforderungen bei Ihren Stickstoff- und Sauerstoffreinheiten meistern

Durch die Entwicklung unserer LASERLINE® Prozessgase gehen wir auf Ihre Reinheitsanforderungen bei Sauerstoff und Stickstoff ein und unterstützen Sie dabei, Ihre Produktivität zu optimieren. Dank der engen Zusammenarbeit mit Laserherstellern gewährleisten wir, dass unsere LASERLINE® Gase den Anforderungen von OEMs in puncto Reinheit entsprechen. Die geringste Spezifikation für die Reinheit von Stickstoff beim Laserschneiden beträgt 99,999 % (Reinheit 5.0), bei Sauerstoff 99,95 % (Reinheit 3.5). Dies beruht auf dem Wissen, dass eine weitere Erhöhung der Reinheit nur eine geringe positive Auswirkung mit sich bringt.

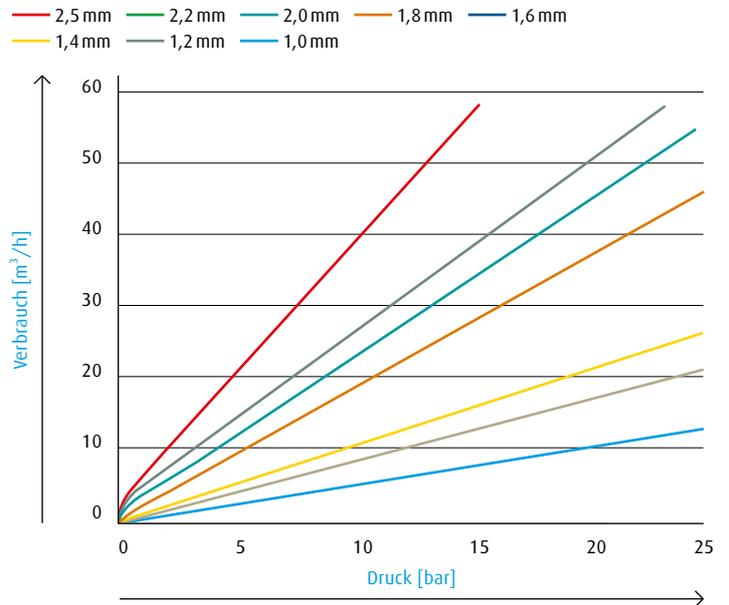
Unser LASERLINE® Programm geht jedoch weit über die Reinheitsanforderungen hinaus. Wir bieten eine umfassende Palette an Produkten und Services an, in der unser tiefgehendes Fachwissen sowie unsere langjährige Erfahrung bei Komplettlösungen in der Lasertechnologie zum Tragen kommen. Unser Servicespektrum reicht von der Prozessberatung über die Lagerung von Gasen und Versorgungstechnologien bis hin zum kompletten technischen Support. Das Ergebnis ist ein modernes, umfassendes Servicepaket, das sich individuell an Ihre Bedürfnisse anpassen lässt.

# Gasdurchflussmengen beim Laserschneiden

**Bild 12: Fokussierung beim Sauerstoffschneiden im Vergleich zum Hochdruck-Stickstoffschneiden**



**Bild 13: Stickstoffverbrauch in Abhängigkeit vom Gasdruck in der Düse und von der Düsendgröße (Durchmesser in mm)**



## Durchflussmenge von Sauerstoff beim Laserschneiden

Die Durchflussmenge von Sauerstoff ist aufgrund der Funktionsweise des Schneidprozesses mit Sauerstoff immer moderat, nicht ansteigend, und liegt in Größenordnungen bis  $10 \text{ m}^3$  pro Stunde. Beim Schneiden von sehr dickem Baustahl reduziert sich die Durchflussmenge auf  $1 \text{ m}^3$ , da der benötigte Druck beim Sauerstoffschneiden niedrig ist.

## Durchflussmenge von Stickstoff beim Laserschneiden

Im Gegensatz zum Laserschneiden mit Sauerstoff kann das Laserschneiden mit Stickstoff größere Gasmengen erfordern, besonders wenn dicker Edelstahl oder dickes Aluminium geschnitten werden. Hier erfordert z. B. ein 6-kW-Laser eine Durchflussmenge von bis zu  $90 \text{ m}^3$  pro Stunde beim Schneiden von 25 mm dickem Edelstahl.

Für diese hohe Durchflussmenge gibt es zwei Gründe. Zum einen erzeugt der Schneidprozess mit Stickstoff, im Gegensatz zu Sauerstoff, keine flüssigen Oxide mit sehr geringer Viskosität. Daher sind ein viel höherer Druck und eine viel höhere Durchflussgeschwindigkeit nötig, um den geschmolzenen Stahl aus der Schnittfuge zu entfernen. Beim Schneiden von dicken Bereichen muss daher die Durchflussgeschwindigkeit, sogar tief in der Schnittfuge, hoch genug sein. Dies erfordert dementsprechend hohe Drücke.

Zum anderen muss die Fokussierung des Laserstrahls beim Schneidprozess mit Stickstoff nahe an der Unterseite des Bleches liegen, um Schlackebildung zu vermeiden. Daher muss die Düse eine Öffnung besitzen, die breit genug ist, um den Laserstrahl durchzulassen.

Kunden, die vermehrt dicken Edelstahl und Aluminium mit Stickstoff schneiden, benötigen daher optimierte Lösungen für die Stickstoffversorgung.

# Stickstoffversorgung beim Laserschneiden



Einzelgasflaschenversorgung



Manuelle Umschaltung

Der Stickstoffverbrauch an einer einzelnen Laserschneidmaschine kann sich auf  $90\text{ m}^3$  pro Stunde oder mehr belaufen. Daher ist es notwendig, die Stickstoffversorgung für dieses Volumen auszulegen.

Verbundene Paletten mit Gasdruckflaschen, sogenannte Bündel, enthalten normalerweise rund  $120\text{--}180\text{ m}^3$  Stickstoff je nach Flaschendruck. Das ist grundsätzlich ausreichend für das Schneiden von dickem Edelstahl, erfordert aber je nach Schneidmenge häufige Bündelwechsel oder eine Bündelumschaltung.

Wenn höhere Gasmengen benötigt werden, können Flüssigstickstofftanks installiert werden. Ein  $30.000\text{-Liter-Tank}$  entspricht zum Beispiel rund  $13.500\text{ m}^3$  gasförmigem Stickstoff in kryogener, verflüssigter Form.

## Versorgungslösungen für Ihre benötigten Durchflussmengen

Unsere Anwendungstechniker entwickeln gemeinsam mit Ihnen eine individuelle Lösung für Ihre Laserschneidprozesse, die Ihren Anforderungen an das Sauerstoff- und Stickstoffvolumen sowie den entsprechenden Durchflussmengen entspricht. Wir legen das Gaseversorgungssystem exakt nach Ihren spezifischen Anforderungen vor Ort aus. Dies beinhaltet die Anzahl der eingesetzten Laser, die typischerweise bearbeiteten Werkstoffe und deren Dicke, die Sicherheitsanforderungen sowie Ihre Budgetvorgaben. Insbesondere wenn Sie große Mengen an dickem Edelstahl und Aluminium mit Stickstoff schneiden, sorgt unsere Stickstoffversorgung dafür, dass Sie dauerhaft hochwertige Schneidergebnisse erzielen.

# Innovation und nachhaltige Lösungen

Linde ist ein weltweit führendes Industriegase- und Engineering-Unternehmen mit über 140 Jahren Erfahrung und technischem Know-how. Gase von Linde werden in fast allen Ländern der Welt und in einer Vielzahl von Endmärkten eingesetzt, vor allem in den Bereichen Chemie & Raffinerien, Lebensmittel, Elektronik, Gesundheitswesen, Fertigung und Primärmetalle.

Das Sortiment reicht von lebensrettendem Sauerstoff für Krankenhäuser über hochreine Spezialgase für die Elektronikfertigung bis hin zu Wasserstoff für saubere Kraftstoffe. Die Optimierung unserer Prozesse und unseres Portfolios durch kontinuierliche Verbesserung sind für uns wesentliche Bestandteile unseres Handelns.

Wir leben unsere Mission, unsere Welt jeden Tag produktiver zu machen, indem wir hochwertige Lösungen, Technologien und Dienstleistungen anbieten, die unsere Kunden erfolgreicher machen. Wir streben danach, diesen wirtschaftlichen Erfolg mit Umweltschutz, Sicherheit und sozialer Verantwortung zu verknüpfen. Nachhaltigkeit dient zunehmend als Ausgangspunkt für neue Geschäftsmöglichkeiten. Deshalb werden Nachhaltigkeit und Innovation zu wesentlichen Treibern für Wirtschaftswachstum.

Wer im Wettbewerb von morgen mithalten will, braucht einen Partner an seiner Seite, für den höchste Qualität, Prozessoptimierung und gesteigerte Produktivität zum Tagesgeschäft gehören. Unter Partnerschaft verstehen wir jedoch nicht nur, für Sie da zu sein, sondern vor allem auch mit Ihnen – Seite an Seite – zu agieren. Denn gemeinsame Aktivitäten bilden den Kern des nachhaltigen Erfolgs.

Linde – making our world more productive

## Für Sie einheitlich erreichbar – bundesweit in Ihrer Nähe

Ihr Kundenservice in Deutschland

Telefon 0800 0530 530 0

E-Mail [kundenbetreuungszentrum.de@linde.com](mailto:kundenbetreuungszentrum.de@linde.com)

Linde GmbH

Gases Division, Seitnerstraße 70, 82049 Pullach, Deutschland

Telefon +49 89 7446-0, [www.linde-gas.de](http://www.linde-gas.de)

Linde ist ein Firmenname, der von Linde plc und den mit ihr verbundenen Unternehmen verwendet wird. Das Linde Logo, das Wort Linde und LASERLINE sind Marken oder registrierte Marken der Linde plc oder der mit ihr verbundenen Unternehmen. Copyright © 2017-2021. Linde plc.