



## Lasertechnologie und Prozessüberwachung: Garant für präzise Bipolarplatten in der Brennstoffzellenproduktion

In der heutigen Industrie wird Wasserstoff zunehmend als unverzichtbarer Energieträger für verschiedene Sektoren anerkannt. Besonders im Kontext der Energieerzeugung, -speicherung und -verteilung spielt Wasserstoff eine entscheidende Rolle, da er eine saubere und flexible Alternative zu fossilen Brennstoffen darstellt. Durch seine hohe Energiedichte und die Möglichkeit, ihn aus erneuerbaren Quellen zu gewinnen, ist Wasserstoff der Schlüssel zu einer nachhaltigeren industriellen Produktion.

Von der Laserquelle zur Brennstoffzelle

Die folgenden Seiten zeigen die Rolle der Laserquellen und Prozesskontrolle bei der Herstellung von Bipolarplatten.

Besonders die Chemie-, Stahl- und Halbleiterindustrie setzen vermehrt auf Wasserstoff als CO<sub>2</sub>-freien Brennstoff und als Ausgangsmaterial für die Herstellung wichtiger Produkte wie Ammoniak und Methanol. Auch die Verwendung in der Stahlproduktion, wo er als Reduktionsmittel zur Herstellung von Stahl ohne CO<sub>2</sub>-Emissionen dient, stellt einen bedeutenden Fortschritt dar. Diese industriellen Anwendungen zeigen, wie Wasserstoff als Energieträger die industrielle Landschaft revolutionieren kann, indem er dazu beiträgt, die Klimaziele zu erreichen.

Die Bedeutung von Wasserstoff für die Industrie wächst stetig, da Unternehmen weltweit nach innovativen Lösungen suchen, um ihre Produktionsprozesse nachhaltiger zu gestalten. Um diese Transformation jedoch effektiv umzusetzen, sind zuverlässige und effiziente Technologien erforderlich – insbesondere bei der Herstellung und Verarbeitung von Bauteilen wie Bipolarplatten, die in Brennstoffzellen eine zentrale Rolle spielen.

## Brennstoffzellen und Bipolarplatten

Brennstoffzellen sind eine Schlüsseltechnologie für die Nutzung von Wasserstoff in industriellen Anwendungen. Sie wandeln Wasserstoff in elektrische Energie um, indem sie eine elektrochemische Reaktion zwischen Wasserstoff und Sauerstoff nutzen. Dieser Prozess erfolgt ohne Verbrennung und ist daher eine umweltfreundliche Methode zur Energieerzeugung, die besonders für industrielle Anwendungen, wie in der Chemie- oder Stahlindustrie, von großem Interesse ist.

Die Bipolarplatte spielt in diesem Zusammenhang eine zentrale Rolle. Sie erfüllt eine Dreifach-Funktion: Sie sorgt für die Gasversorgung, die Kühlung und die elektrische Anbindung der Brennstoffzelle. In einer Mehrfachzellen- oder Stapel-Konfiguration verbindet die Bipolarplatte die Anode einer Zelle mit der Kathode der benachbarten Zelle, sowohl physikalisch als auch elektrisch. Dadurch wird die Funktionalität der Brennstoffzelle gewährleistet.



Bipolarplatten aus Edelstahl

### Anforderungen

- Chemische Stabilität
- Gasdichtigkeit
- Gute Planparallelität
- Hohe elektrische Leitfähigkeit
- Niedrige Materialkosten
- Niedrige Fertigungskosten

Darüber hinaus leitet die Bipolarplatte die Reaktionsgase – Wasserstoff auf der einen Seite und Luft auf der anderen – in die Reaktionszone der Zelle.

Ein besonders wichtiger Aspekt ist das Strömungsprofil (Flowfield) in den Bipolarplatten. Auf beiden Seiten der Platte sind spezifische Kanäle gefräst oder eingepresst, die das Strömen der Gase regulieren und dafür sorgen, dass die Brennstoffzelle effizient betrieben wird. Diese Kanäle leiten den Wasserstoff an die Anode und die Luft an die Kathode, wodurch eine gleichmäßige Reaktion ermöglicht wird.

Damit eine Bipolarplatte zuverlässig ihre Funktion in einer Brennstoffzelle erfüllen kann, muss sie bestimmte Anforderungen an ihre Eigenschaften erfüllen. Dazu gehören eine

hohe chemische Stabilität gegenüber feuchten, oxidierenden und reduzierenden Bedingungen, eine ausgezeichnete Gasdichtigkeit sowie eine hohe elektrische Leitfähigkeit. Zudem müssen Übergangswiderstände gering gehalten und eine präzise Planparallelität ( $<20\ \mu\text{m}$ ) gewährleistet werden. Schließlich sind auch niedrige Fertigungs- und Materialkosten entscheidend, um eine kosteneffiziente Produktion sicherzustellen.

Diese Eigenschaften sind entscheidend, um die Langlebigkeit und Leistungsfähigkeit der Brennstoffzelle sicherzustellen. Die präzise Fertigung der Bipolarplatten ist daher von größter Bedeutung, um ihre optimale Leistung im industriellen Einsatz zu garantieren.

## Effizientes Laserschweißen

Das Laserschweißen hat sich als eine der präzisesten und effizientesten Methoden zur Fertigung von Bipolarplatten in Brennstoffzellen herausgestellt. Aufgrund der hohen Anforderungen an Genauigkeit und Qualität bei der Herstellung von Bipolarplatten – insbesondere hinsichtlich der gasdichten Verbindungen und der strukturellen Integrität – bietet der Laser deutliche Vorteile gegenüber herkömmlichen Schweißmethoden.

Ein entscheidender Vorteil des Laserschweißens ist die hohe Präzision, die es ermöglicht, selbst kleinste Bauteile mit millimetergenauer Genauigkeit zu verbinden. Dies ist besonders wichtig, da eine geringe Abweichung bei der Herstellung von Bipolarplatten zu Leckagen und damit zu einem Verlust der Effizienz der Brennstoffzellen führen kann. Beim Laserschweißen entstehen Schweißnähte, die eine sehr geringe thermische Belastung für das Material verursachen, was die Gefahr von Verzug

oder anderen strukturellen Schäden minimiert.

Ein weiterer großer Vorteil des Laserschweißens ist die Performance. Der Laserstrahl kann mit hoher Geschwindigkeit durch die Bipolarplatte geführt werden, was zu einer schnellen Fertigung führt und gleichzeitig die Energieeffizienz des gesamten Prozesses erhöht. Dies ist besonders relevant, wenn man die Herstellungskosten und die Produktionszeit für die Massenproduktion von Brennstoffzellen in Betracht zieht. Darüber hinaus erlaubt das Laserschweißen eine flexible Anpassung an die unterschiedlichen Anforderungen von Bipolarplatten. Der Laser bietet die nötige Flexibilität, um unterschiedliche Designs und Materialeigenschaften zu berücksichtigen.

# Herausforderungen beim Laserschweißen von Bipolarplatten

Trotz der zahlreichen Vorteile des Laserschweißens bei der Fertigung von Bipolarplatten gibt es einige Herausforderungen, die bei der Prozessführung berücksichtigt werden müssen. Diese Herausforderungen sind vor allem auf die Materialeigenschaften der Bipolarplatten und die Komplexität der Schweißaufgabe zurückzuführen.

Ein häufiges Problem beim Laserschweißen von dünnen Materialien bei hohen Geschwindigkeiten ist der sogenannte Humping-Effekt. Dabei kommt es in periodischen Abständen zu einer Anhebung des Schmelzbades bzw. zum Nahteinfall. Dies kann dazu führen, dass die erforderliche Dichtheit und Stabilität der Schweißnaht beeinträchtigt wird. Der Humping-Effekt ist besonders problematisch, da er die Funktion der Bipolarplatte, vor allem ihre Gasdichtigkeit, gefährden kann – eine Voraussetzung für den einwandfreien Betrieb von Brennstoffzellen.

Weitere Herausforderungen ergeben sich auch durch die hohen Prozessgeschwindigkeiten. Da Brennstoffzellenstacks aus einer Vielzahl

von Bipolarplatten bestehen und die Herstellungskosten dieser Platten einen erheblichen Teil der Produktionskosten ausmachen, ist eine schnelle Fertigung entscheidend. Hohe Schweißgeschwindigkeiten reduzieren die Produktionszeit pro Platte und senken somit die Gesamtkosten der Produktion. Darüber hinaus ermöglicht eine hohe Prozessgeschwindigkeit eine skalierbare Produktion, die notwendig ist, um die steigende Nachfrage nach Brennstoffzellen zu decken. Langsame Prozesszeiten würden die Produktionskapazität einschränken und die Wettbewerbsfähigkeit beeinträchtigen. Eine schnelle Fertigung ist auch erforderlich, um das Laserschweißen in automatisierte Fertigungslinien zu integrieren, was die Effizienz des gesamten Fertigungsprozesses steigert.



nLIGHT AFX programmierbarer Faserlaser

## Spezifikationen

- Wellenlänge: 1070 nm
- Maximale Leistung: 1500 W
- Leistungsabstimmung: 5 - 100 %
- Umschaltzeit für Strahlprofil: < 30 ms
- Leistungsschwankung, 8-Stunden:  $\leq 1\%$
- Modulationsfrequenz:  $\leq 100$  kHz
- Abmessungen: 445 x 677 x 177 mm

## Die AFX Laserquelle

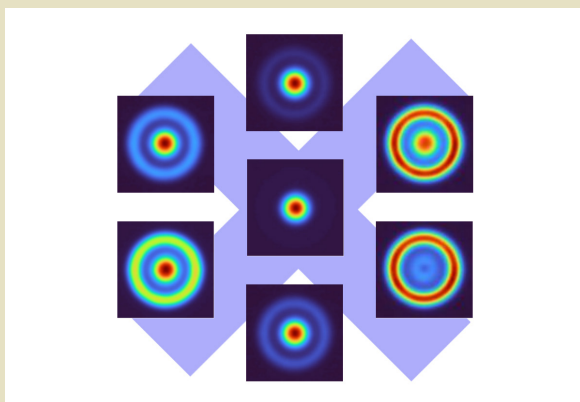
Die AFX Laserquelle von nLIGHT ist eine fortschrittliche Lösung für präzises Laserschweißen, die speziell für Anwendungen wie das Laserschweißen von Bipolarplatten in Brennstoffzellen entwickelt wurde. Der AFX Laser nutzt die Corona™ Technologie, die eine schnelle Anpassung der Strahlform und -größe direkt aus der Faser heraus ermöglicht. Diese Technologie bietet zahlreiche Vorteile gegenüber herkömmlichen Lasern und ist besonders in industriellen Anwendungen von großem Nutzen.

Ein herausragendes Merkmal der Corona™ Technologie ist die Fähigkeit, die Strahlform innerhalb von weniger als 25 ms zu wechseln. Dies ermöglicht eine on-the-fly Optimierung des Schweißprozesses, sodass jeder Arbeitsschritt genau auf die Anforderungen des Materials und der Geometrie abgestimmt werden kann. Diese schnelle Anpassung erhöht nicht nur die Prozessgeschwindigkeit, sondern sorgt auch für eine höhere Flexibilität und Stabilität im Schweißprozess.

Die AFX Laserquelle bietet eine große dynamische Reichweite und eine Vielzahl an verfügbaren Strahlformen, darunter Gaussian

(Einzelmode, SM) und Ring Mode. Diese Flexibilität ermöglicht es, den Laser optimal für verschiedene Anwendungen, einschließlich des Laserschweißens von dünnen Blechen, einzusetzen. Für die spezifischen Anforderungen beim Schweißen von Bipolarplatten wurde der AFX Laser mit einem Singlemode-Kern, der von einem Ring umgeben ist, ausgestattet. Der Laserstrahl kann nun zwischen dem Singlemodekern und dem Ring aufgeteilt werden, so dass das Strahlprofil zwischen echtem SM (Gauß) und einem Ring mit einer Vielzahl von Formen dazwischen abgestimmt werden kann.

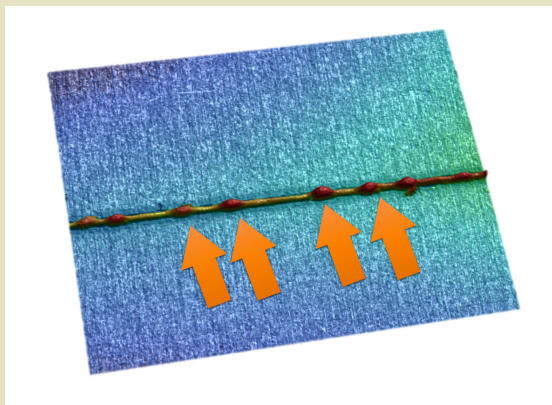
Der AFX Laser bietet zudem alle Standardvorteile der nLIGHT Faserlaser, wie die Hardware-basierte Rückreflexionssicherung, die eine ununterbrochene Bearbeitung hochreflektierender Materialien ermöglicht. Mit einer leistungsstabilen Modulation und der schnellsten Modulationsrate von 100 kHz ist der AFX Laser in der Lage, präzise Wellenformen zu erzeugen und sich perfekt mit externen Ereignissen oder mehreren Lasern zu synchronisieren.



nLIGHT AFX Corona Strahlprofile

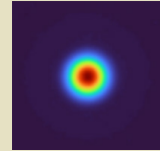
### Einstellmöglichkeiten

- Strahlprofil in 7 Stufen einstellbar
- Strahldurchmesser  
16 µm bis 47 µm
- Leistungsverteilung (Kern / Ring)  
95 / 5 bis 10 / 90 [%]



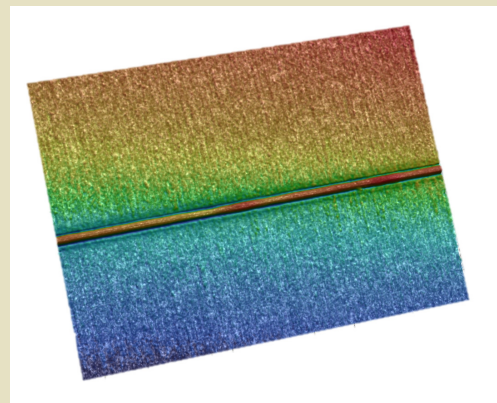
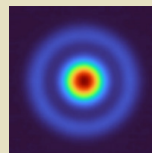
## Humping Effekt

- Verursacht durch die Dynamik zwischen Abkühlung und Erstarrung
- Material: Edelstahl
- Dicke: 2x 50  $\mu\text{m}$
- Vorschub: 1,3 m/s
- Laserleistung: 1 kW
- Strahlprofil: 100 % Leistung im Kern



## Kein Humping Effekt

- Optimiertes thermisches Profil verändert die Dynamik des Schmelzbades
- Material: Edelstahl
- Dicke: 2x 50  $\mu\text{m}$
- Vorschub: 1,3 m/s
- Laserleistung: 1 kW
- Strahlprofil: 65% / 35% (Kern / Ring)



## Onlineprozessüberwachung mit processobserver

Die Prozessüberwachung spielt eine entscheidende Rolle bei der Qualitätssicherung und Effizienzsteigerung in der Fertigung durch Laserschweißen. Insbesondere beim Schweißen von hochpräzisen Bauteilen wie Bipolarplatten ist es unerlässlich, den Schweißprozess in Echtzeit zu überwachen, um Fehler frühzeitig zu erkennen. Hier kommt der processobserver von nLIGHT plasmO ins Spiel – ein System, das speziell entwickelt wurde, um den gesamten Laserschweißprozess in Echtzeit zu überwachen und zu optimieren.

Der processobserver ermöglicht eine kontinuierliche Überwachung von Schlüsselparametern wie Laserleistung,

Strahlposition und Schweißnahtqualität. Das System nutzt fortschrittliche Sensoren und Algorithmen, um alle relevanten Prozessabweichungen sofort zu identifizieren. Dies ermöglicht nicht nur die Qualitätssicherung, sondern auch eine schnelle Reaktion auf unvorhergesehene Probleme im Fertigungsprozess.

Ein besonders wichtiger Aspekt der Onlineprozessüberwachung ist die Fähigkeit Schweißfehler zu detektieren, wie den Humping Effekt oder Schweißspritzer, die durch zu hohe Schweißleistung oder falsche Fokussierung des Laserstrahls entstehen und die Dichtheit der Schweißnaht gefährden.



nLIGHT plasmoprocessoobserver 6.0

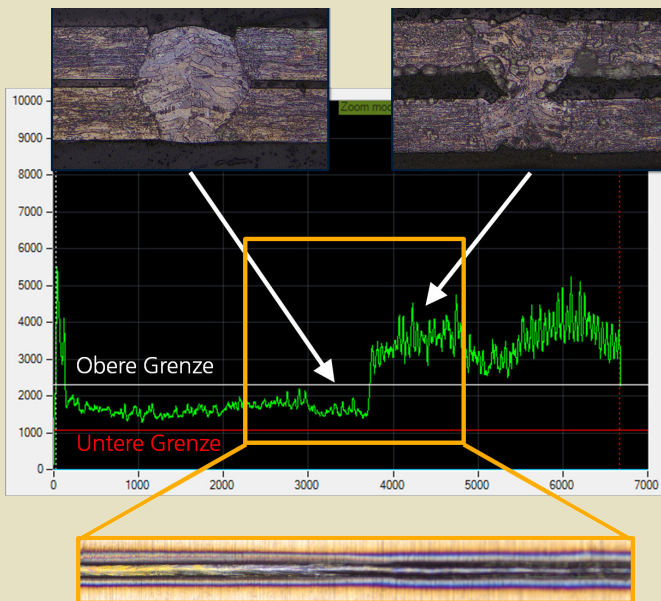
## Spezifikationen

- Wellenlängenspektrum: 400 - 1800 nm
- Samplefrequenz: 250 kHz
- Optische Sensoreingänge: 1
- Mehrere Sensoren kombinierbar für maximale Flexibilität
- Abmessung: 50 x 50 x 150 mm
- Gewicht: 450 g je Sensor

Ein zu großer Spalt zwischen den Bipolarplatten kann zu einer fehlerhaften Verbindung führen, die als "falscher Freund" bezeichnet wird – eine optisch perfekte, aber eine Schweißnaht ohne Anbindung.

Zudem trägt die Prozessüberwachung zur Optimierung des Schweißprozesses bei, indem sie eine detaillierte Analyse des Schweißprozesses ermöglicht. Mithilfe der gesammelten Daten können Unternehmen den Fertigungsprozess besser verstehen und kontinuierlich verbessern.

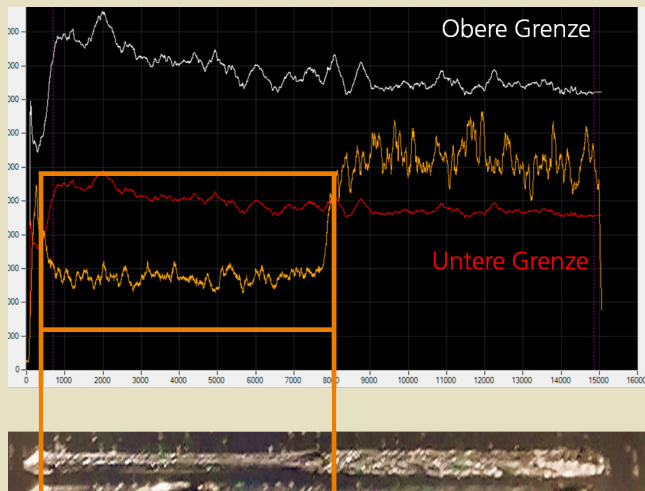
Durch die Integration des processobserver in den Fertigungsprozess können Hersteller sicherstellen, dass ihre Laserschweißverfahren nicht nur schnell und effizient, sondern auch qualitativ hochwertig und zuverlässig sind. Diese Art der Prozessoptimierung ist besonders wertvoll für die Massenproduktion von Bipolarplatten, da sie hilft, Produktionskosten zu senken und gleichzeitig die Konsistenz und Langlebigkeit der hergestellten Bauteile zu gewährleisten.



Auswertung mit nLIGHT plasmoprocessoobserver 6.0

## Fehlerfall: Spalt

- Prozessüberwachung mit nLIGHT plasmoprocessoobserver 6.0
- Material: Edelstahl
- Dicke: 2x 50 µm
- Vorschubgeschwindigkeit: 0,75 m/s
- Spalt: ≈ 20 µm
- Abtastrate processobserver: 250 kHz



Auswertung mit nLIGHT plasmoprozessobserver 6.0

## Fehlerfall: Falscher Freund

- Prozessüberwachung mit nLIGHT plasmoprozessobserver 6.0
- Material: Edelstahl
- Dicke: 2x 75 µm
- Vorschubgeschwindigkeit: 0,5 m/s
- Fehlerursache: Spalt  $\approx 30 \mu\text{m}$
- Abtastrate processobserver: 250 kHz

## Innovation und Präzision in der Bipolarplattenfertigung

Die Technologie des Laserschweißens hat sich als eine der besten Lösungen für die präzise und effiziente Herstellung von Bipolarplatten für Brennstoffzellen etabliert. Insbesondere die AFX Laserquelle von nLIGHT bietet eine herausragende Flexibilität und Präzision, die es ermöglicht, das Laserschweißen exakt auf die Anforderungen der Bipolarplattenfertigung abzustimmen. Durch die schnelle Anpassung der Strahlform und die außergewöhnliche Strahlqualität werden sowohl die Produktionsgeschwindigkeit als auch die Qualität der Schweißnähte optimiert.

Die Onlineprozessüberwachung mit dem processobserver ermöglicht es, den Schweißprozess in Echtzeit zu überwachen und Fehler wie Spalt, Schweißspritzer oder den "Falschen Freund" frühzeitig zu erkennen.

Die Kombination aus präzisiertem Laserschweißen und einer zuverlässigen Prozessüberwachung

stellt sicher, dass die hergestellten Bipolarplatten den hohen Anforderungen in der Brennstoffzellentechnologie gerecht werden. Dies ist ein wichtiger Schritt in der Weiterentwicklung der Wasserstofftechnologie und der nachhaltigen Energieerzeugung.

In Zukunft wird die kontinuierliche Verbesserung der Lasertechnologie und der Prozessüberwachung weiter zur Effizienzsteigerung und Kostensenkung in der Fertigung von Brennstoffzellen beitragen. Zudem werden neue Entwicklungen in der Materialwissenschaft und der Lasertechnik neue Möglichkeiten bieten, die Leistung und Langlebigkeit der Brennstoffzellen weiter zu erhöhen.



nLIGHT plasmO GmbH  
Dresdner Str. 81-85  
1200 Wien/Österreich  
phone +43 1 890 1366  
www.plasmO.eu

Email [plasmosales@plasmO.eu](mailto:plasmosales@plasmO.eu)

Produce **Quality.** Always.



Stand 2025. Technische Änderungen vorbehalten. nLIGHT plasmO GmbH