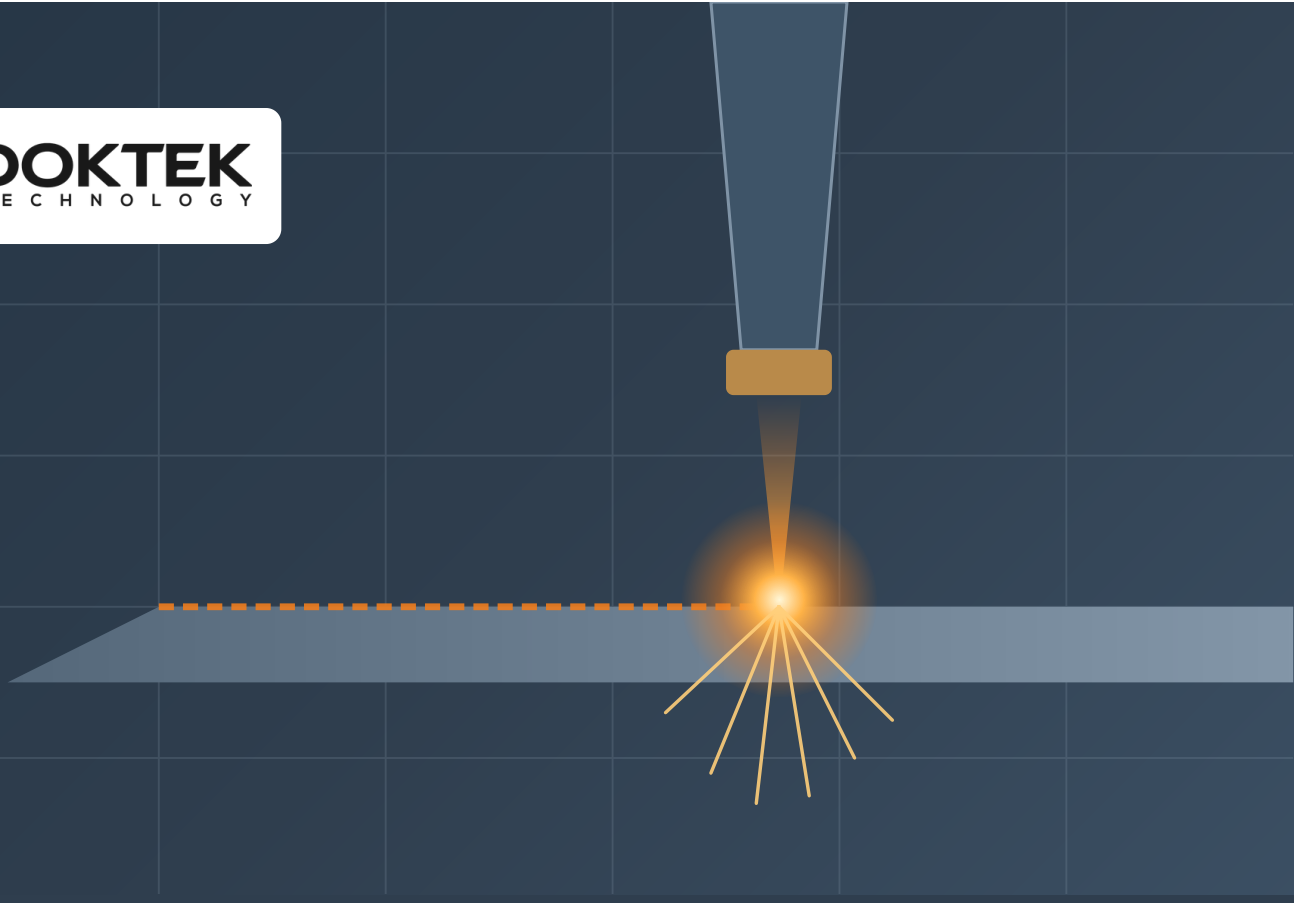


HANDBUCH FÜR BEDIENER UND ANWENDER

Leitfaden zum Faserlaserschneiden

Schneidgaswahl, Leistungs- und Geschwindigkeitstabellen, Fokus- und Düseneinstellung, Wartung, Sicherheit und Hilfe bei Schneidproblemen — von 1 kW bis 30 kW.

1 – 30 kW | Raycus | Max | IPG | Reci

Baustahl · Edelstahl · Verzinkter Stahl · Aluminium · Messing · Kupfer | Deutsch · DE

19
Kapitel und Anhänge

6
Werkstoffe

12
Leistungstabellen, 1 – 30 kW

Schritt für Schritt
Fehlerdiagnose

DOKTEK Technology
Akçeşme Mah. 2017 Sok. No: 15/A, 20020 Merkezefendi / Denizli
Salih Akkaya: +90 542 525 11 59 · İbrahim Küçükoğul: +90 530 891 44 04
info@doktek.com · doktek.com

Version 1.0
November 2026 · DE

Inhaltsverzeichnis

Die Seitenzahlen beziehen sich auf den Hauptteil nach dem Deckblatt.

00 So verwenden Sie diesen Leitfaden 3

0.1 Für wen ist der Leitfaden gedacht? Wo beginnen? 3
0.2 Symbole und Hinweisfelder 4
0.3 Verantwortung und Version 4
0.4 Woher stammen die Parametertabellen? 5

01 Sicherheit 6

1.1 Laserklasse 4 und Reflexionen 6
1.2 Brand, Rauch und Staub 8
1.3 Gase und Druckluft 9
1.4 Elektrizität, Bewegung und LOTO bei Wartungsarbeiten 10
1.5 Befugnisse, PSA und tägliche Sicherheitsprüfung 11

02 Lernen Sie Ihre Maschine kennen 13

2.1 Gesamtaufbau des Systems 13
2.2 Aufgaben der Komponenten und Bedienerprüfungen 15
2.3 Innerer Aufbau des Schneidkopfs 16
2.4 Köpfe mit manuellem und automatischem Fokus 17
2.5 Kühlaggregat: zwei Kreise, Temperatur und Kondensation 18
2.6 Tisch, Palette und Nebenanlagen 19

03 Einschalten, Referenzfahrt, Kalibrierung, Ausschalten 20

3.1 Sichere Einschaltfolge 20
3.2 Referenzfahrt: Maschinenreferenz bestimmen 21
3.3 Kapazitive Höhenkalibrierung 22
3.4 Ersteinrichtung und Düsenstrahlzentrierung 23
3.5 Trockenlauf und Rahmenprüfung 24
3.6 Ausschalten, Frostschutz und Wiederanlauf nach längerem Stillstand 25

04 Arbeitsablauf von der Zeichnung zum Schnitt 27

4.1 Planen Sie den gesamten Auftrag 27
4.2 DXF / DWG vorbereiten 28
4.3 Import, Layer und Parameter 29
4.4 Anschnitt- und Auslaufwege 30
4.5 Schnittspaltkompensation und Mikrostege 31
4.6 Schneidreihenfolge, Blechplatzierung und Kantenerkennung 32
4.7 Simulation, Start und Fortsetzen nach Unterbrechung 33
4.8 Teileentnahme, Erstteilprüfung und Dokumentation 34

05 Verschachtelung (Nesting) 35

5.1 Ziel der Verschachtelung und Begriffe 35
5.2 Automatische und manuelle Verschachtelung 35
5.3 Teileabstand, Randabstand und Richtung 36
5.4 Gemeinsame Schnittkante und Teil im Ausschnitt 37
5.5 Schneidfolge und gute Verschachtelung 37
5.6 Restbleche erfassen und wiederverwenden 38
5.7 Restgitter teilen und Ausnutzung berechnen 38
5.8 Verschachtelungssoftware und Abschlussprüfung 39

06 Schneidtechniken 40

6.1 Anschnitt und Auslauf wählen 40
6.2 Mikrostege und Brücken 40
6.3 Eckenbearbeitung und Leistungs-Geschwindigkeits-Kurve 41
6.4 Kleine Löcher 41
6.5 Flycut 42
6.6 Leapfrog 43
6.7 Voreinstechen, Kühlpunkte und Reihenfolge 43
6.8 Neue Technik einführen 44
6.9 Kurzer Hinweis zum Rohrschneiden 44

07 Schneidgaswahl 45

7.1 Wie wirken Sauerstoff, Stickstoff und Druckluft? 45
7.2 Reinheit und Druckluftaufbereitung 45
7.3 Gasversorgung wählen 47
7.4 Schneidgas nach Werkstoff wählen 48
7.5 Gasvorströmzeit und Leitungsspülung 49
7.6 Gaskosten bewerten 49
7.7 Prüfung zu Schichtbeginn 50

08 Leistung wählen 51

8.1 Zusammenhang zwischen Leistung, Dicke und Geschwindigkeit 51
8.2 Übersicht der maximalen Dicken lesen 51
8.3 Leistung und Maschinendynamik bei Dünnblech 52
8.4 O_2 und Strahlstruktur bei dickem Baustahl 52
8.5 Checkliste zur passenden Leistung 53
8.6 Arbeiten mit 12–30 kW 53

09 Schneidparametertabellen 55

9.0 Tabellen richtig lesen 55
9.1 1 kW (1000 W) 57
9.2 1,5 kW (1500 W) 59
9.3 2 kW (2000 W) 61
9.4 3 kW (3000 W) 63
9.5 4 kW (4000 W) 65
9.6 6 kW (6000 W) 67
9.7 8 kW (8000 W) ★ 69
9.8 10 kW (10000 W) ★ 71
9.9 12 kW (12000 W) 73
9.10 15 kW (15000 W) 76
9.11 20 kW (20000 W) ★ 79
9.12 30 kW (30000 W) 81

10 Werkstoffspezifische Hinweise 83

10.1 Baustahl: S235 und S355 83
10.2 Edelstahl: 304, 316 und Schutzfolie 83
10.3 Verzinkter Stahl: Zinkschicht berücksichtigen 84
10.4 Aluminium: Oberflächenoxid und Grat 84

10.5 Messing und Kupfer: Rückreflexion 85
10.6 Beschichtetes und lackiertes Blech 85

11 Fokus, Düse und Höhe 87
11.1 Fokusvorzeichen: + / 0 / − 87
11.2 Fokustest durchführen 87
11.3 Autofokus und Linsenbrennweite 88
11.4 Düsentyp und Durchmesser 89
11.5 Zentrierung mit Klebebandtest 89
11.6 Düsenhöhe und kapazitiver Sensor 90
11.7 Abweichungen unterscheiden und dokumentieren 91

12 Einstechen 92
12.1 Einstechverfahren wählen 92
12.2 Höhe, Dauer, Frequenz und Tastgrad 93
12.3 Spritzer und Voreinstechen bei dickem Blech 93
12.4 Übergang vom Einstechen zum Schneiden 94
12.5 Tabelle der Einstechprobleme 94
12.6 Einstechparametersatz dokumentieren 95

13 Schnittqualität und Fehlerdiagnose 96
13.1 Checkliste zur Qualitätsprüfung 96
13.2 Grat und Kantenfehler — Diagnosetabelle 98
13.3 Ein-Parameter-Regel und Schrittgrößen 99
13.4 Fotobeispiele von Schnittfehlern 101

14 Laserquellen 102
14.1 Was macht die Laserquelle? 102
14.2 Leistung, Kerndurchmesser und Strahlqualität 102
14.3 Raycus, Maxphotonics (Max), IPG und Reci 104
14.4 Einzelmodul- und Mehrmodulaufbau 104
14.5 Parameter auf eine andere Quelle übertragen 105
14.6 Umgebung und Quellenwartung 105
14.7 Leistungsmessung und Leistungsüberwachung 106
14.8 Quellenprotokoll für Garantie und Service 106

15 Softwareleitfäden 107
15.1 Gemeinsamer Arbeitsablauf und Begriffe 107
15.2 CypCut 109
15.3 CypOne 110
15.4 CypNest und HypCut 111
15.5 Raytools XC3000-Serie 112
15.6 Ermaksan Fibermak 113
15.7 Durma HD-FL — Siemens 114
15.8 Weitere Software und Dateifluss vom CAM zur Maschine 115

16 Wartung 117
16.1 Wartungsplan und Zuständigkeiten 117
16.2 Düse wechseln 118
16.3 Keramikring wechseln 118
16.4 Schutzglas prüfen, reinigen und wechseln 119
16.5 Fokus-/Kollimationslinsen und Prüfung nach Wartung 120
16.6 Kühlaggregat warten 121
16.7 Gas- und Druckluftleitungen warten 122
16.8 Mechanik warten: Führungen, Zahnstangen, Riemen und Tisch 123
16.9 Rauchabsaugung und Schaltschrank 124

17 Fehlerbehebung 125
17.0 Symptomverzeichnis 125
17.1 Schneidet nicht / durchtrennt das Material nicht 126
17.2 Kein Einstechen 127
17.3 Kopfkollision / Höhensensorwarnung 127
17.4 Schutzglas verschmutzt schnell / verbrennt 128
17.5 Teil stellt sich auf / kippt 129
17.6 Maßfehler / Formversatz 129
17.7 Laserquellenalarme 130
17.8 Kühlaggregatalarme 131
17.9 Gasdruckalarme 131

90 Anhänge 133
Anhang A — Schnellreferenz an der Maschine 133
Anhang B — Tägliches Prüfformular: 7 Wochentage 134
Anhang C — Formular für Parameteränderungen 135
Anhang D — Glossar: Deutsch–Englisch 136
Anhang E — Erforderliche Serviceangaben 138
Anhang F — Quellenverzeichnis 138

00

So verwenden Sie diesen Leitfaden

Nutzen Sie diesen Leitfaden an der Maschine, um sie sicher vorzubereiten, einen Auftrag von der Zeichnung zum fertigen Teil umzusetzen und gezielte Versuche durchzuführen.

0.1 Für wen ist der Leitfaden gedacht? Wo beginnen?

Dieses Handbuch richtet sich an Kunden, die eine Faserlaserschneidmaschine von DOKTEK erworben haben, und an geschulte Bediener. Auch Betriebsverantwortliche, Wartungsteam und Qualitätssicherung können dieselben Prüfkriterien nutzen. Beginnen Sie beim ersten Einsatz nicht allein anhand der Parametertabelle mit dem Schneiden. Lesen Sie zuerst die Kapitel zu Sicherheit, Maschinenkomponenten und Einschaltfolge.

Ihr Bedarf	Lesepfad	Erwartetes Ergebnis
Erstschulung / neuer Bediener	01 → 02 → 03 → 04; anschließend Übung unter Aufsicht	Lernen Sie Not-Halt, Schutzbereich und sicheres Starten kennen.
Neuer Werkstoff / neue Dicke	07 → 08 → 09 → 10 → 11 → 12	Prüfen Sie Schneidgas, Parametersatz und Einstechverfahren.
Teilequalität verschlechtert	13; anschließend 11, 12 und 17	Gehen Sie vom sichtbaren Fehler zum kontrollierten Versuch.
Schichtbeginn / Schichtende	Prüfformulare in 03, 16 und 90	Bereiten Sie die Maschine stets in derselben Reihenfolge vor. Dokumentieren Sie den Zustand.
Software sieht anders aus	15 und das Softwarehandbuch Ihrer Maschine	Finden Sie die entsprechende Funktion in Ihrer Version.

Die große Zahl am Kapitelanfang kennzeichnet das Hauptthema. Das Inhaltsverzeichnis führt Kapitel und Unterabschnitte auf. Die Seitennummerierung beginnt nach dem Deckblatt bei 1. Ein Link führt zum zugehörigen Unterabschnitt. Suchen Sie in der gedruckten Ausgabe die Nummer im Inhaltsverzeichnis.

Lesen Sie diese drei Informationen zusammen

Beschreibung erläutert die Aufgabe des Bauteils. **Verfahren** gibt die Arbeitsschritte vor. **Achtung** kennzeichnet die Bedingung, bei der Sie den Vorgang stoppen müssen. Der Absatz „Warum?“ erklärt, welchen Fehler die Prüfung verhindert.

Ermitteln Sie vor der Verwendung eines Tabellenwerts Laserquellenleistung, Faserkern, Schneidkopfmodell und Optikverhältnis Ihrer Maschine. Schätzen Sie keine Eigenschaften eines Bauteils, dessen Typenschild Sie nicht lesen können. Nutzen Sie das Inbetriebnahmeprotokoll oder die Angaben des DOKTEK-Service.

Die gestrichelten Flächen anstelle von Fotos sind Platzhalter für Fotos oder Bildschirmaufnahmen einer DOKTEK-Maschine. Die SVG-Skizzen erläutern die Funktion. Sie sind keine maßstäblichen Fertigungszeichnungen realer Produkte. Bildschirmanordnung und Menünamen können je nach Version abweichen.

0.2 Symbole und Hinweisfelder

Zeichen	Bedeutung	Ihr Vorgehen
★	Von DOKTEK abgeleiteter Wert oder Zwischenwert	Nicht als Herstellermessung betrachten. Durch Probeschnitt bestätigen.
◆	Versuchswert des Herstellers	Nicht als Parametersatz für die Serienfertigung verwenden.
◯ S	Einschichtdüse	Prüfen Sie Durchmesser und Kompatibilität mit dem Schneidkopf zusammen.
◎ D	Doppelschichtdüse	Auch bei gleichem Durchmesser keine Gleichwertigkeit mit S voraussetzen.
+ / – / 0	Fokus: über der Oberfläche / im Werkstoff / auf der Oberseite	Vergleichen Sie die Vorzeichenrichtung der Software mit der Herstellerdefinition.
O_2	Orange: Sauerstoff	Halten Sie die Sauerstoffleitung frei von Öl und Fett.
N_2	Blau: Stickstoff	Beachten Sie die Erstickungsgefahr in geschlossenen Räumen.
Druckluft	Grau: Druckluft	Prüfen Sie, ob die Versorgung trocken, ölfrei und gefiltert ist.

Die Gasfarben dienen nur der Lesbarkeit dieses Handbuchs. Sie geben keine Flaschenfarbe, Rohrleitungsnorm oder Schlauchanschlusscodierung vor. Identifizieren Sie das Gas vor Ort anhand von Kennzeichnung und Anlagenbeschreibung. Die Farbe allein reicht zur Identifikation nicht aus.

! Achtung

Kennzeichnet Bedingungen, die Verletzungen, Brände oder Maschinenschäden verursachen können. Beseitigen Sie zuerst die Gefahr.

✓ Tipp

Hilft Ihnen, Arbeiten zuverlässiger auszuführen. Ersetzt keine Sicherheitsprüfung.

i Information

Erklärt Unterschiede bei Ausstattung, Begriffen oder Anwendung. Verweist bei mehreren zulässigen Verfahren auf die maßgebliche Anleitung.

0.3 Verantwortung und Version

Die Werte dienen der Information. Die Herstellertabelle Ihrer Maschine und die Empfehlung des DOKTEK-Service haben Vorrang. Materialcharge, Gasqualität, Optikzustand, Software und mechanische Einstellung beeinflussen das Ergebnis. Die Parametertabelle ersetzt weder Sicherheitsschulung noch betriebliche Gefährdungsbeurteilung oder autorisierte Wartungsanweisung.

Version 1.0 · Deutsch · November 2026. Vermerken Sie in der an der Maschine verwendeten Ausgabe Seriennummer, Steuerungssystem und die vor Ort für Parametersätze verantwortliche Person. Speichern Sie erfolgreiche Einstellungen mit Datum und Materialangaben. Überschreiben Sie den freigegebenen Parametersatz nicht mit ungeprüften Änderungen.

0.4 Woher stammen die Parametertabellen?

Unterscheiden Sie zwei Ansätze. Beim Modell einer geschlossenen Herstellerbibliothek liefert TRUMPF an der Maschine erprobte Lasertechnologietabellen (LTT) und eine geführte Optimierung. Die Tabelle in der Amada-AP100-Hilfe enthält schreibgeschützte Referenzdaten; die Bearbeitung erfordert einen besonderen Zugang. Ob Anwender TRUMPF-Tabellen überschreiben können, erläutert die Quelle nicht. Beim offenen Modell können Sie in CypCut Schichtparameter bearbeiten und in einer Materialbibliothek speichern; Raytools XC3000 bietet Import/Export in einem Baum Material → Dicke.

Lesen Sie die Voraussetzungen jeder Tabelle zusammen: Herausgeber und Dokumentdatum, Modell/Leistung der Laserquelle, Faserkerndurchmesser, Kopfmodell sowie Brennweiten der Kollimations- und Fokussieroptik. Werkstoff, Gasreinheit/-druck und Düse gehören zum selben Bedingungssatz. Unterstellen Sie bei fehlenden Angaben keine Gleichwertigkeit; fragen Sie beim Hersteller nach. Gleiche Leistung bedeutet nicht gleiche Optik.

Raycus nennt die folgenden Standardkerne der Ausgangsfaser. Sie beschreiben weder alle Raycus-Modelle noch die Ausrüstung hinter jeder Tabelle dieses Handbuchs; maßgeblich ist die Dokumentation des eingebauten Modells.

Leistung	Kerndurchmesser laut Raycus-Hinweis
≤1 kW	25 µm
1,5 / 2 / 3 kW	50 µm
4–20 kW	100 µm
30 kW	200 µm; Option 150 µm

Behalten Sie den Herstellervorbehalt „nur als Referenz“ bei. Bodor verlangt eine Anpassung an die tatsächlichen Schneidergebnisse; CypCut weist auf Unterschiede je nach Laserquelle und Gaskonfiguration hin. Eine Tabelle garantiert keinen Serienbetrieb auf Ihrer Maschine.

Speichern Sie auf Ihrer Maschine erprobte Rezepte als separate Einträge in Ihrer eigenen Materialbibliothek. Halten Sie Werkstoff/Dicke, Gas, Kopf/Optik und Düse zusammen mit dem Ergebnis fest. Bewahren Sie die Ausgangstabelle auf; prüfen Sie vor erneuter Nutzung einer erfolgreichen Einstellung die Bedingungen. Menünamen können je nach Version abweichen.

TRUMPF LTT · Amada AP100 · CypCut V6.5 · Raytools XC3000 · Raycus · Bodor

01

Sicherheit

Berücksichtigen Sie gemeinsam die Gefahren durch Laser, Bewegung, Elektrizität, Gas und heißes Metall. Starten Sie die Produktion nicht, wenn Schutzeinrichtungen nicht funktionieren.

1.1 Laserklasse 4 und Reflexionen

Die Schneidlaserquelle erzeugt eine Gefährdung der Laserklasse 4. Die Nahinfrarotstrahlung industrieller Faserlaserschneidsysteme bei etwa 1064–1080 nm ist unsichtbar. Das sichtbare rote Markierungslicht ist nicht der Schneidstrahl selbst. Fehlende sichtbare Helligkeit bedeutet nicht, dass kein Strahl vorhanden ist. Direkte Strahlung, spiegelnde Reflexionen und gefährliche Streustrahlung können Augen oder Haut schwer schädigen.

Nach IEC 60825-1 kann eine geprüfte Maschine mit geschlossener, verriegelter Kabine im Normalbetrieb Klasse 1 sein; die Laserquelle im Inneren ist Klasse 4. Beim Öffnen der Kabine oder bei Servicearbeiten ändern sich die Zugangsbedingungen. Prüfen Sie den Strahl nicht durch Blick auf Schneidbereich, Düse oder reflektierende Flächen.

Umhausung und Vorhang unterscheiden

ISO 11553-1:2020 behandelt die Sicherheit vor Laserstrahlung an Laserbearbeitungsmaschinen; diese Normenreihe löste EN 12626 ab. Legen Sie IEC 60825-4:2022 für die Schutzumhausung des Bearbeitungsbereichs zugrunde. EN-12254-Vorhänge sind auf höchstens 100 W mittlere Leistung oder 30 J je Impuls begrenzt; verwenden Sie sie an einer kW-Schneidmaschine nicht als primären Schutz. ISO 11553-1:2020 deckt andere Gefahren wie Rauch und Brand nicht ab; behandeln Sie diese gesondert in der betrieblichen Risikobeurteilung.



Schematische Darstellung. Richtung und Stärke tatsächlicher Reflexionen können sich beim Schneiden ändern.

Augen- und Hautschutz

Die optische Dichte (OD) allein genügt nicht. Verwenden Sie eine nach EN 207:2017 gekennzeichnete Laserschutzbrille. Die Kennzeichnung nennt Wellenlänge, Betriebsart und LB-Schutzstufe; D 1064 nm LB6 ist ein Beispiel einer Produktkennzeichnung für Dauerstrichbetrieb (D), keine Auswahlempfehlung für jede Maschine. Lassen Sie die passende LB-Stufe für die tatsächliche Wellenlänge, Betriebsart und Expositionsbewertung vom Laserschutzbeauftragten bestätigen. Setzen Sie gewöhnliche getönte Brillen, Schweißmasken oder Sonnenbrillen nicht gleich. Prüfen Sie Kratzer, Risse, Verschmutzung und Sitz.

Ersetzen Sie das Kabinensichtfenster nicht durch gewöhnliches Glas oder Kunststoff. Wellenlängengerechter Schutz sowie einwandfreier Rahmen und Dichtheit sind gemeinsam erforderlich. Melden Sie Schäden, Verfärbungen oder unlesbare Kennzeichnungen des Fensters der verantwortlichen Person. Servicearbeiten mit offenem Strahl darf nur das autorisierte Team in einem festgelegten Bereich ausführen.

Türen und Verriegelungen

Umgehen Sie keine Tür-, Wartungsklappen- oder Sicherheitsverriegelungen und keinen Schutz des Palettenbereichs. Täuschen Sie Verriegelungen nicht mit Schlüsseln, Magneten, Klebeband oder Softwareeingriffen. Stoppen Sie die Maschine bei einer Verriegelungsstörung und informieren Sie den autorisierten Service.

Warum? Das menschliche Auge kann auf unsichtbare Strahlung nicht rechtzeitig mit einer Abwehrreaktion reagieren. Technische Schutzmaßnahmen haben Vorrang vor persönlicher Schutzausrüstung.

1.2 Brand, Rauch und Staub

Behandeln Sie gefährliche Stoffemissionen aus Rauch in der Risikobeurteilung mit EN 1093 und ISO 14123-1/-2 sowie die Prüfung des Abscheidegrades von Absauggeräten mit ISO 21904-2:2020; nutzen Sie die Verweise in Anhang F.

Der Laser erzeugt heißes Metall, Funken und Schlacke. Halten Sie ölige Bleche, unbekannte Beschichtungen, Karton, Verpackungen und Reinigungstücher vom Schneidbereich fern. Prüfen Sie Tischunterseite und Schlackenbehälter nach Schichtplan. Angesammelte Gemische aus feinem Metall, Öl und Staub können lange heiß bleiben und nach Arbeitsende schwelen.

Nehmen Sie Aluminiumstaub und andere brennbare Metallstäube nicht mit einem gewöhnlichen Werkstattsauger auf. Absaugung und Filter müssen für die Brand- und Explosionsrisiken des zu schneidenden Werkstoffs geeignet sein. Beachten Sie beim Materialwechsel die Anweisungen des Filterherstellers zu gemischten Metallstäuben und Funken. Verwenden Sie Nassabscheider nur bei geeigneter Auslegung und nach Herstelleranleitung.

Quelle	Risiko	Prüfung
Öl, Beschichtung, Schutzfolie	Flammen, starker Rauch, unbekannte Zersetzungsprodukte	Prüfen Sie die Materialsicherheitsinformationen und die Lasereignung der Folie.
Verzinkter Stahl / Zink	Zinkoxidrauch; Metalldampffieber	Verwenden Sie eine gefilterte Absaugung an der Entstehungsstelle. Atmen Sie den Rauch nicht ein.
Edelstahl	Gefährliche Metallverbindungen einschließlich Chrom VI können entstehen	Sorgen Sie für geeignete Absaugung, Filterung und Expositionsbeurteilung.
Kupfer und Kupferlegierungen	Metallrauch und Legierungselemente	Klären Sie die Materialzusammensetzung. Verlassen Sie sich nicht auf die allgemeine Belüftung.
Heiße Schlacke und Filter	Verzögerter Brand	Vermeiden Sie Ansammlungen. Befolgen Sie das Verfahren zum Abkühlen und zur Abfallentsorgung.

Erste Maßnahmen bei einem Brand

Ziel: Schützen Sie Menschen und verhindern Sie die Ausbreitung. **Benötigt:** Betrieblicher Brandschutzplan, freier Fluchtweg und geeigneter Feuerlöscher.

1. Stoppen Sie das Schneiden. Betätigen Sie bei Gefahr den Not-Halt. Warnen Sie umstehende Personen.
2. Trennen Sie, sofern sicher möglich, Gas- und Energieversorgung an der im Betriebsplan festgelegten sicheren Stelle. Betreten Sie den Gefahrenbereich nicht.
3. Lösen Sie den Brandalarm aus. Verlassen Sie den Bereich, wenn Sie nicht geschult sind oder der Fluchtweg nicht sicher ist.
4. Nur geschulte Personen dürfen Entstehungsbrände mit einem geeigneten Feuerlöscher bekämpfen.

! Wählen Sie die Löschmittelklasse passend zum Werkstoff

Für brennbare Metallbrände ist ein geeignetes Löschmittel der Klasse D erforderlich. Nicht jedes D-Löschmittel eignet sich für jedes Metall. Für Öl und brennbare Flüssigkeiten, Feststoffe sowie elektrische Geräte gelten unterschiedliche Eignungen. Halten Sie gemäß betrieblicher Gefährdungsbeurteilung gekennzeichnete Geräte bereit. Setzen Sie bei Metallbränden nicht wahllos Wasser oder Universallöscher ein.

Warum? Das Öffnen der Tür kann die Sauerstoffzufuhr erhöhen und Rauch im Arbeitsbereich verteilen. Beim Schneiden mit defekter Absaugung kann Rauch aus der Kabine zu den Beschäftigten gelangen.

Stoppen Sie bei Halsreizungen, Kopfschmerzen, fieberartigen Beschwerden oder starker Rauchexposition die Arbeit. Gehen Sie in einen unbelasteten Bereich und befolgen Sie das betriebliche medizinische Notfallverfahren. Tun Sie Beschwerden nicht als Gewöhnungssache ab.

1.3 Gase und Druckluft

O_2 ist nicht brennbar, verstärkt aber die Verbrennung. Öl, Fett und ungeeignete Materialien in Kontakt mit Sauerstoff können sich entzünden und schwere Brände oder Explosionen verursachen. Halten Sie Sauerstoffdruckminderer, Ventile, Anschlüsse und Handschuhe frei von Öl. Das Schmieren der Sauerstoffleitung und das Reinigen von Teilen mit Sauerstoff sind verboten.

N_2 ist geruchlos. Ein Leck kann in geschlossenen Räumen oder Vertiefungen den Sauerstoffgehalt senken. Verlassen Sie sich nicht darauf, dies beim Atmen zu bemerken. Für Bereiche mit Stickstofflagerung oder -versorgung müssen nach betrieblicher Beurteilung Belüftung und gegebenenfalls Sauerstoffüberwachung eingerichtet werden. Betreten Sie einen verdächtigen Bereich nicht ungeschützt zur Rettung eines Kollegen. Rufen Sie den Rettungsdienst.

Prüfpunkt	Vorgehen
Gasflasche	Sichern Sie die Flasche aufrecht mit geeigneten Halterungen. Verwenden Sie beim Transport einen geeigneten Wagen und Ventilschutz. Rollen Sie die Flasche nicht und heben Sie sie nicht am Druckminderer an.
Druckminderer	Verwenden Sie einen gewarteten Druckminderer für Gasart und Versorgungsdruck. Erzwingen Sie keinen unpassenden Anschluss mit einem Adapter.
Schlauch / Rohr	Prüfen Sie auf Schnitte, Brandstellen, Aufblähungen, Scheuerstellen und lose Anschlüsse. Ziehen Sie keine Muttern unter Druck nach.
Dichtheitsprüfung	Verwenden Sie ein für das Gas geeignetes Lecksuchmittel oder ein freigegebenes Verfahren. Suchen Sie Lecks nicht mit einer Flamme oder der Hand.
Ventil	Öffnen Sie langsam in der Herstellerreihenfolge. Stehen Sie nicht vor dem Druckminderer. Wenden Sie bei einem festsitzenden Ventil keine Gewalt an.
Druckluft	Prüfen Sie Kompressor, Trockner und Filter gemeinsam. Überschreiten Sie den zulässigen Druck der Gas- oder Druckluftleitung nicht.

Arbeiten an der Gasleitung

Ziel: Öffnen Sie den Anschluss im energiefreien Zustand. **Benötigt:** Berechtigung, passende Gasausrüstung und betrieblicher Gasabsperrplan.

1. Stoppen Sie das Schneiden. Deaktivieren Sie die Laseremission und fahren Sie in eine sichere Parkposition.
2. Schließen Sie das betreffende Versorgungsventil. Sichern Sie es gegen unbefugtes Öffnen.
3. Entlasten Sie die Leitung sicher an der vorgesehenen Entlüftungsstelle. Prüfen Sie am Manometer den Nullstand und stellen Sie sicher, dass sich kein neuer Druck aufbaut.
4. Montieren Sie geeignete Ausrüstung. Öffnen Sie nach Abschluss die Gaszufuhr kontrolliert und führen Sie die freigegebene Dichtheitsprüfung durch.

> **! Reinigen Sie nicht mit Druckgas**
>
> Richten Sie Luft oder Gas nicht auf Ihren Körper, Ihre Kleidung oder andere Personen. Druckluft schleudert Partikel weg, verletzt die Haut und wirbelt Staub auf. Bauen Sie vor dem Öffnen einer Leitung den Restdruck ab.

Warum? Das Schließen des Ventils baut die gespeicherte Energie im Schlauch nicht ab. Ein mit Sauerstoff unverträgliches Material kann aus einem kleinen Leck einen schweren Zwischenfall machen.

1.4 Elektrizität, Bewegung und LOTO bei Wartungsarbeiten

Schaltschrank, Laserquelle, Servoantriebe und Kompressor dürfen nur befugte Fachkräfte öffnen. Auch bei ausgeschaltetem Hauptschalter kann in Kondensatoren Energie gespeichert sein. Das messtechnische Feststellen der Spannungsfreiheit und das Einhalten der Entladezeit des Herstellers sind Aufgabe der Elektrofachkraft. Bediener dürfen weder Sicherungen überbrücken noch im Schaltschrank nach Fehlern suchen.

Die Schutzerdung ist für die Maschinensicherheit erforderlich. Der Kontakt zwischen Blech und Tisch beeinflusst die kapazitive Messung. Er ersetzt nicht die Schutzerdung der Elektroinstallation. Stoppen Sie bei lockerer Erdung, beschädigten Kabeln, Brandgeruch oder spürbaren Stromschlägen die Maschine und informieren Sie die zuständige Fachkraft.

Portal, Z-Achse, Palettenwechsler sowie hydraulische und pneumatische Mechanismen bilden Quetsch- und Klemmstellen. Greifen Sie nicht in den Schutzbereich. Niemand darf sich unter der Palette aufhalten. Verwenden Sie für schwere Bleche und Restgitter geeignete Hebezeuge. Nutzen Sie den Schneidtisch nicht als Personenplattform.

Verriegeln und Kennzeichnen: LOTO

Ziel: Verhindern Sie bei Wartungsarbeiten unerwarteten Anlauf und die Freisetzung gespeicherter Energie. **Benötigt:** Betrieblicher Energieisolationsplan, befugtes Wartungspersonal, persönliche Schlösser und Kennzeichnungen sowie Prüfmittel.

1. Legen Sie die Arbeit fest. Ermitteln Sie Energiequellen durch Laser, Strom, Gas, Pneumatik/Hydraulik, Schwerkraft und heiße Oberflächen. Informieren Sie betroffene Personen.
2. Stoppen Sie die Maschine in der normalen Reihenfolge. Trennen Sie die betreffenden Energien an den tatsächlichen Trennstellen.
3. Bringen Sie persönliche Schlösser und Kennzeichnungen an. Wenden Sie bei gemeinsamer Wartung das betriebliche Gruppen-LOTO-Verfahren an.
4. Bauen Sie Druck ab. Sichern Sie bewegliche oder absturzgefährdete Teile mit geeigneten mechanischen Stützen. Lassen Sie heiße Teile abkühlen.
5. Prüfen Sie den energiefreien Zustand mit dem autorisierten Verfahren. Stellen Sie vor einem kontrollierten Startversuch sicher, dass die Umgebung sicher ist. Stellen Sie die Steuerung danach wieder auf Aus.
6. Beenden Sie die Wartung. Entfernen Sie Werkzeuge und Stützen in der vorgegebenen Reihenfolge, montieren Sie Schutzeinrichtungen und weisen Sie Personen aus dem Bereich.
7. Entfernen Sie Schlösser nur mit festgelegter Befugnis und nach Verfahren. Schalten Sie die Energie kontrolliert zu und prüfen Sie die Schutzeinrichtungen.

> **Not-Halt ist keine Energietrennung**
>
> Not-Halt stoppt Bewegungen oder gefährliche Vorgänge. Er ist weder Haupttrenneinrichtung noch persönliches Schloss. Auch die Softwareanzeige „Strahl aus“ genügt allein nicht für Wartungsarbeiten. Entfernen Sie ein Schloss nicht eigenmächtig im Namen einer anderen Person.

Warum? Alarmquittierung, Fernbefehl oder Automatikzyklus können unerwartete Bewegungen auslösen. Das Prüfen des energiefreien Zustands umfasst mehr als einen Tastendruck.

1.5 Befugnisse, PSA und tägliche Sicherheitsprüfung

Nur geschulte und autorisierte Bediener dürfen die Maschine betreiben. Die Schulung muss normales Schneiden, Gaswechsel, Verhalten bei Alarm, Not-Halt, Brandschutzplan und verbotene Serviceeingriffe umfassen. Neue Bediener müssen die ersten Arbeiten unter Aufsicht ausführen. Halten Sie Besucher im gekennzeichneten sicheren Bereich.

PSA	Auswahl / Verwendung	Grenzen
Augenschutz	Geeignete Schutzbrille gegen mechanische Einwirkungen beim Entnehmen und Entgraten; bei autorisierten Arbeiten mit Laserzugang eine EN-207-gekennzeichnete Laserschutzbrille mit passender Wellenlänge, Betriebsart und LB-Stufe; OD allein genügt nicht	Beide Schutzarten ersetzen einander nicht. Produzieren Sie nicht bei geöffneter Kabine.
Schnittschutzhandschuhe	Geeignete Schutzklasse beim Umgang mit Blechen und Restgittern; bei heißen Teilen zusätzlich geeigneter Wärmeschutz	Erlauben keine Annäherung an bewegliche Mechanismen.
Sicherheitsschuhe	Zehen- und Sohlenschutz; zum Boden passende Rutschhemmung	Ersetzen nicht das sichere Heben schwerer Bleche.
Arbeitskleidung	Geeignete geschlossene Kleidung; keine weiten Ärmel, Schmuckstücke oder herabhängenden Teile	Beachten Sie die Gefährdungsbeurteilung für Funken und heißes Metall.
Gehörschutz	Entsprechend gemessenem Lärm und betrieblichem Plan	Die Arbeitsorganisation muss das Wahrnehmen von Warnungen ermöglichen.
Atemschutz	Nach Expositionsbeurteilung, mit geeignetem Filter und Maske, Dichtsitzprüfung und Schulung	Schneiden Sie nicht weiter, um eine defekte Absaugung durch Atemschutz auszugleichen.

Tägliche Sicherheitsprüfung

Ziel: Beginnen Sie die Schicht mit funktionsfähigen Schutzeinrichtungen. **Benötigt:** Schichtformular, Berechtigung und Sicherheitsprüfverfahren des Herstellers.

1. Halten Sie Fluchtwege, Zugang zu Feuerlöschern und Schutzbereich frei. Prüfen Sie unter dem Tisch auf brennbare Ablagerungen und noch heiße Schlacke.
2. Prüfen Sie Türen, Sichtfenster, Verriegelungen und Palettenbereich visuell. Führen Sie Funktionsprüfungen nur nach Herstellerverfahren, ohne Laserstrahlerzeugung und unter sicheren Bedingungen durch.
3. Prüfen Sie die Erreichbarkeit der Not-Halt-Taster. Führen Sie Prüfung und Wiederinbetriebnahme nach Herstellerplan durch. Prüfen Sie Schutzfunktionen nicht durch einen Schneidversuch.
4. Prüfen Sie Absaugung und Filter, Kühlaggregat sowie Gas- und Druckluftleitungen. Dokumentieren Sie Lecks, Alarme und beschädigte Anschlüsse.
5. Stellen Sie sicher, dass sich niemand im Maschinenumfeld befindet, keine Wartungssperre gesetzt ist und keine offenen Arbeiten der Vorschicht bestehen.
6. Unterschreiben Sie die Prüfung. Melden Sie Mängel der verantwortlichen Person. Beginnen Sie erst nach Beseitigung gefährlicher Mängel mit dem Schneiden.

Nach einem Not-Halt

Prüfen Sie zuerst Personen und die Gefahrenursache. Das Entriegeln und Rücksetzen des Not-Halt-Tasters erlaubt noch keinen Neustart. Prüfen Sie Kopf- und Blechposition, Achsreferenz, Palette und Restprogramm. Führen Sie erforderliche Referenzfahrten und Kalibrierungen durch.

Warum? Eine unterschriebene Prüfung ist nur als Nachweis einer tatsächlich durchgeführten Kontrolle sinnvoll. Gewohnheitsmäßiges Rücksetzen wiederkehrender Sicherheitsstörungen macht die Gefahr unsichtbar.

Wenden Sie diese Sicherheitsmaßnahmen zusammen mit den Sicherheitsanweisungen der Maschine, der betrieblichen Gefährdungsbeurteilung, den Angaben des Gaslieferanten und den Verfahren des autorisierten Service an.

Rechtsvorschriften und Konformität

Die Maschinenverordnung (EU) 2023/1230 gilt für Maschinen, die ab dem 20. Januar 2027 in der EU in Verkehr gebracht werden. In Türkiye wurde die Maschinensicherheitsverordnung im Amtsblatt vom 16. Oktober 2026, Nr. 33402, veröffentlicht; die meisten Bestimmungen treten am 20. Januar 2027 in Kraft. Bestätigen Sie die anwendbaren Anforderungen anhand des Inverkehrbringungsdatums und der Änderungshistorie Ihrer Maschine mit dem Hersteller/der zuständigen Stelle.

Nach der türkischen Verordnung müssen digitale Anleitungen druckbar oder herunterladbar sein und mindestens 10 Jahre online bleiben. Auf Nutzeranfrage ist innerhalb eines Monats eine kurze Papierfassung kostenlos bereitzustellen. Eine Leistungserhöhung oder Änderung der Schutzeinrichtungen kann eine wesentliche Veränderung darstellen. Dieser Kasten ist keine rechtliche Konformitätsentscheidung; bestätigen Sie Bereitstellung der Anleitung und Konformitätsbewertung nach Änderungen mit dem Hersteller/der zuständigen Stelle.

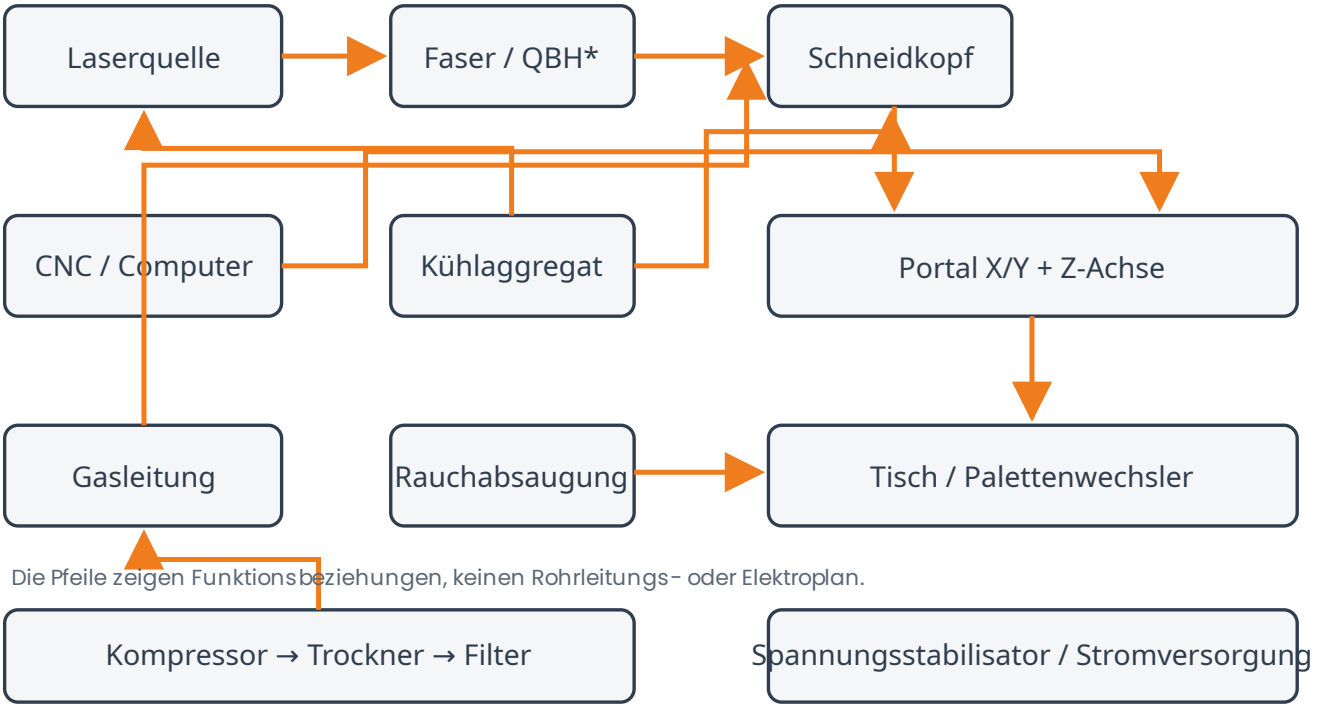
02

Lernen Sie Ihre Maschine kennen

Schneiden ist das Zusammenspiel mehrerer Geräte. Strahl, Bewegung, Kühlung, Gas und Absaugung müssen gleichzeitig richtig arbeiten.

2.1 Gesamtaufbau des Systems

Die Laserquelle erzeugt das Licht. Die Transportfaser leitet es zum Schneidkopf. Der Kopf fokussiert den Strahl und führt das Schneidgas zum Schneidbereich. Die Portalachsen X/Y folgen dem Zeichnungspfad. Die Z-Achse regelt den Abstand der Düse zur Blechoberfläche. Die Steuerung stimmt Bewegung, Strahl, Gas und Einstechzeiten aufeinander ab.



Die Pfeile zeigen Funktionsbeziehungen, keinen Rohrleitungs- oder Elektroplan.

*QBH ist ein verbreiteter Faseranschlusstyp. Der tatsächliche Anschluss kann abweichen. Bediener dürfen daran keine Arbeiten ausführen.

Die im Schema aufeinanderfolgenden Kästen stehen räumlich nicht unbedingt hintereinander. Das Kühlaggregat kühlt Quelle und Kopf. Die Gasleitung ist mit dem Kopf verbunden. Die Absaugung zieht Rauch unter dem Tisch ab. Ein vorhandener Spannungsstabilisator regelt die Stromversorgung. Der Kompressor kann neben dem Druckluftschneiden auch pneumatische Maschinenfunktionen versorgen. Prüfen Sie den Herstellerplan.

Erstellen Sie einen Maschinensteckbrief

Notieren Sie Maschinenmodell und Seriennummer, Marke und Leistung der Laserquelle, Kopfmodell, Steuerungsversion, Kühlaggregatmodell und Art der Gasversorgung. Äußerlich gleiche Maschinen können unterschiedliche Quellen oder Köpfe besitzen.



DOKTEK-Maschine mit Schneidkopf und Steuerungscomputer im Überblick.

2.2 Aufgaben der Komponenten und Bedienerprüfungen

Komponente	Aufgabe	Was prüft der Bediener?
Laserquelle	Erzeugt den Schneidstrahl und verwaltet Emissionsfreigabe und Alarme.	Bereitschaft, Alarm, Kühlbedingungen; Gehäuse nicht öffnen.
Transportfaser / QBH	Leitet den Strahl zum Kopf.	Äußere Quetschungen, starke Biegung, Zugbelastung; Anschluss nicht lösen.
Schneidkopf	Übernimmt Kollimation/Fokussierung, Schutzoptik und Gasführung.	Alarm, Fokus, Glas- und Düsenzustand, Gasdichtheit.
Portal X/Y	Folgt der Kontur in der horizontalen Ebene.	Freier Fahrweg, ungewöhnliche Geräusche, Bewegungsalarm.
Z-Achse / kapazitiver Sensor	Überwacht die Düsenhöhe und folgt dem Blech.	Kalibrierung, Keramik und Düse, Blechkontakt und Kollisionsspuren.
Tisch / Auflagelamellen	Trägt das Blech; Strahl und Schmelze gelangen nach unten.	Schlackenablagerungen, verbogene Lamellen, Kippgefahr kleiner Teile.
Palettenwechsler	Wechselt zwischen Belade- und Schneidtisch.	Verriegelung, Position, freier Bereich und Lastverteilung.
CNC / Computer	Wandelt die Zeichnung in Bewegungs- und Prozessbefehle um.	Richtige Datei, Maße, Layer, Nullpunkt, Parameter und Alarme.
Kühlaggregat	Hält Quelle und Kopf im geeigneten Temperaturbereich.	Füllstand, Temperatur, Durchfluss/Alarm und Lecks; geeignetes Kühlmittel.
Gasleitung	Liefert Schneidgas mit geeignetem Druck und Volumenstrom.	Gasart, Vorrat, Lecks, Fließdruck.
Rauchabsaugung / Filter	Erfasst Schneidrauch an der Entstehungsstelle.	Absaugleistung, Filter/Alarm, Funken- und Staubmanagement.
Kompressor / Trockner / Filter	Liefert Luft mit erforderlichem Druck und erforderlicher Qualität.	Kondensatablass, Trockner- und Filterzustand.
Spannungsstabilisator / Versorgung	Hält die Stromversorgung innerhalb der Maschinenanforderungen.	Alarm und Versorgungszustand; Messung und Reparatur durch Fachpersonal.

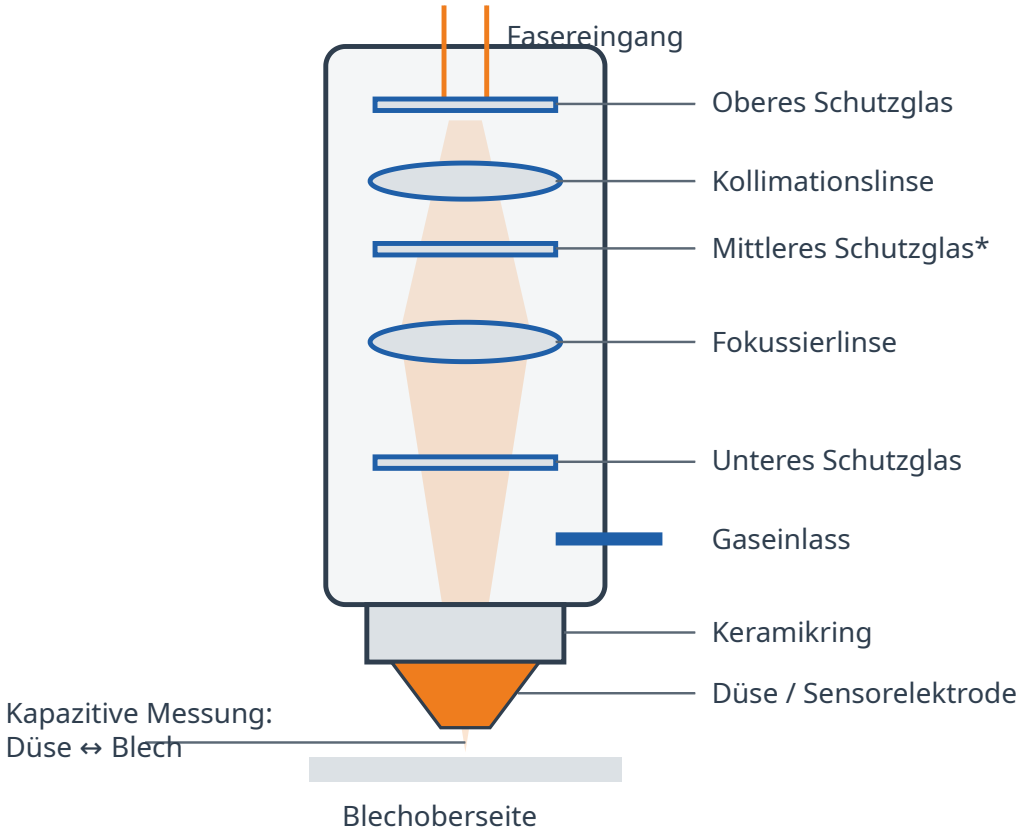
Ordnen Sie einen Alarm nicht vorschnell nur einem Bauteil zu. „Quelle nicht bereit“ kann auf die Kühlung zurückgehen, ein Höhenfehler auf schlechten Blechkontakt und ein Gasdruckabfall auf unzureichenden Leitungsdurchfluss. Notieren Sie Symptom, Beginn und gleichzeitig auftretende Alarme.

Lesen Sie das Typenschild. Schätzen Sie nicht.

Die Marke der Laserquelle ist nicht die Marke des Schneidkopfs. Das Optikverhältnis beschreibt die Brennweiten von Kollimations- und Fokussierlinse. Der Faserkern ist eine andere Eigenschaft. Nutzen Sie diese Angaben bei der Tabellenzuordnung getrennt.

2.3 Innerer Aufbau des Schneidkopfs

Der Schneidkopf bündelt den Strahl auf einen kleinen Punkt und führt das Gas auf derselben Achse zur Blechoberfläche. Die folgende Zeichnung zeigt einen Funktionsquerschnitt. Anzahl, Position und Bezeichnung oberer, mittlerer und unterer Schutzgläser unterscheiden sich je nach Modell. Manche Köpfe haben keine drei getrennten Gläser. Bestellen Sie keine Teile anhand dieser Zeichnung.



*Schematisches Modell. Teileanordnung und Servicezugang richten sich nach dem jeweiligen Kopfhandbuch.

Kollimationslinse richtet das aus der Faser austretende Strahlenbündel aus. **Fokussierlinse** bündelt den Strahl im Schneidbereich. **Schutzglas** schützt die teure Optik vor Staub und Spritzern. Verschmutzt kann es Strahlung absorbieren und sich erhitzen. Verwenden Sie zerkratzte oder verbrannte Gläser nicht weiter.

Keramikring isoliert den Düsenanschluss elektrisch und bietet modellabhängig mechanischen Schutz. Risse oder lockere Keramik können die Höhenregelung destabilisieren. **Düse** formt den Gasstrom und dient zugleich als Elektrode der kapazitiven Erfassung. Beschädigte Spitzen, Grat oder falsches Anziehen stören Strömung und Messung.

! Das Öffnen des Strahlwegs ist Servicearbeit

Demontieren Sie obere Linsen oder Faseranschluss nicht für Routineprüfungen. Greifen Sie nur mit entsprechender Schulung und nach Herstellerverfahren auf das Schutzglas zu. Stellen Sie dabei einen sicheren Energiezustand und eine saubere Umgebung her.

2.4 Köpfe mit manuellem und automatischem Fokus

Dieses Handbuch beschreibt die physische Fokuslage bezogen auf die Blechoberseite: + darüber, – im Material. Die Raytools-Kopf/CypCut-Steuerungskonfigurationen hinter den Tabellen beziehen den Fokuswert jedoch auf die Düsenspitze; der Raytools-Klebebandtest legt dort Null fest. Mit dieser Vorzeichenregel gilt **Fokus relativ zur Oberfläche ≈ Steuerungswert + Düsenabstand**. Steuerungswert 0 bei 1 mm Abstand bedeutet Fokus ≈1 mm über dem Blech; -1 mm bei 1 mm Abstand bedeutet Fokus auf der Oberfläche. Prüfen Sie Bezugspunkt und Vorzeichen im Handbuch Ihrer Steuerung. Düsenabstand und interne optische Fokusverstellung sind getrennte Einstellungen.

Raytools BM115 · Friendess CypCutPro

Merkmal	Manueller Fokus	Automatischer Fokus
Einstellung	Über Ring- und Skalenmechanismus des Herstellers.	Ein Motor fährt die innere Optik auf den Wert des Parametersatzes.
Materialwechsel	Der Bediener prüft und dokumentiert die Einstellung.	Layer oder Prozessparametersatz können unterschiedliche Fokuswerte aufrufen.
Referenz	Skala und Fokusnullpunkt prüfen.	Motorreferenz, Softwarevorzeichen und mechanischen Nullpunkt prüfen.
Fehlermöglichkeiten	Falsche Skala, lockere Arretierung, Ablesefehler	Falscher Parametersatz, Referenzverlust, Bewegungs- oder Alarmproblem
Gemeinsame Voraussetzung	Richtige Düse, zentrierter Strahl, intakte Keramik, sauberes Glas und kapazitive Kalibrierung	

Fokussystem für den Auftrag vorbereiten

Ziel: Setzen Sie den Tabellenfokus mit dem richtigen Mechanismus um. **Benötigt:** Kopfmodell, Kopfhandbuch und freigegebener Parametersatz.

1. Ermitteln Sie anhand des Kopfmodells, ob der Fokus manuell oder automatisch eingestellt wird. Entscheiden Sie nicht nach dem Aussehen.
2. Versetzen Sie den Laser bei manuellem Fokus in einen sicheren Zustand. Verwenden Sie die Einstellskala nach Herstellerverfahren und prüfen Sie die Arretierung.
3. Prüfen Sie beim Autofokus Bereitschaft, Referenzstatus und Sollwert. Erzwingen Sie bei einem Alarm keine Fortsetzung.
4. Prüfen Sie die Vorzeichenrichtung. In diesem Handbuch bedeutet + oberhalb und – innerhalb des Materials. Bei anderer Softwaredefinition verwenden Sie die Umrechnung des Herstellers.
5. Prüfen Sie den Schnitt an einem geeigneten Probestück. Speichern Sie die Einstellung im Parametersatz.

Fokusnullpunkt und kapazitiver Nullpunkt sind verschieden

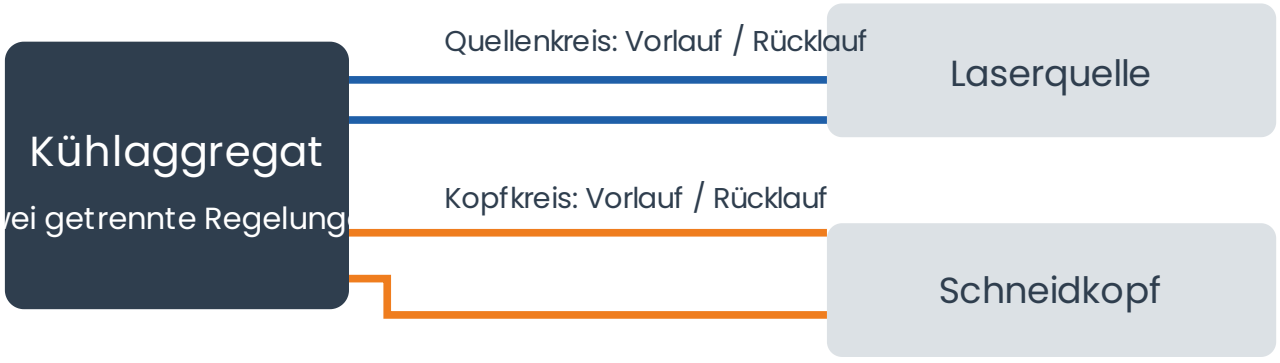
Die kapazitive Kalibrierung erfasst den Abstand zwischen Düse und Blech. Sie korrigiert den optischen Fokusnullpunkt nicht automatisch. Eine saubere Blechverfolgung beweist keinen richtigen optischen Fokus.

Warum? Ein falscher Fokus verändert Energieverteilung und Schnittspalt. Eine falsche Düsenhöhe beeinflusst dagegen den Gaseintritt in die Schnittfuge und das Kollisionsrisiko.

Foto: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **Skala des manuellen Fokus und Typenschild eines Autofokuskopfs; im sicheren Energiezustand**

2.5 Kühlaggregat: zwei Kreise, Temperatur und Kondensation

Das Kühlaggregat (Chiller) kühlt die Laserquelle und die dafür vorgesehenen Teile des Schneidkopfs. Viele Systeme haben zwei getrennte Kreise für Quelle und Kopf. Temperaturen, Durchflüsse und Kühlmittelanforderungen müssen nicht gleich sein. Beachten Sie die Schlauchkennzeichnungen. Vertauschen Sie Quellen- und Kopfkreis nicht.



Die Kreise sind schematisch dargestellt. Gemeinsame oder getrennte Behälter sind herstellerabhängig.

Taupunktist die Temperatur, bei der Luftfeuchtigkeit an einer Oberfläche zu Wasser kondensiert. Sinkt die Temperatur des Kühlwassers oder der Kopfoberfläche unter den Umgebungstaupunkt, kann Kondensation entstehen. Stellen Sie besonders in warmen, feuchten Werkstätten keine zu niedrige Temperatur ein. Berücksichtigen Sie Umgebungstemperatur und Luftfeuchtigkeit zusammen mit dem zulässigen Betriebsbereich des Herstellers.

Dieses Handbuch gibt keine allgemeingültige Kühlaggregattemperatur vor. Verwenden Sie eine von Quellen-, Kopf- und Kühlaggregathersteller gemeinsam zugelassene Einstellung. Senken Sie die Temperatur nicht wahllos für stärkere Kühlung. Beginnen Sie bei Kondensation am Kopf auch dann nicht mit dem Schneiden, wenn das Kühlaggregat bereit meldet.

Kühlung zu Schichtbeginn prüfen

Ziel: Sorgen Sie vor der Emission für stabile, dichte Kühlung. **Benötigt:** Füllstands- und Temperaturvorgaben des Herstellers, richtiges Kühlmittel und Prüfformular.

1. Prüfen Sie bei sicherem Maschinenzustand Füllstand, Schläuche, Anschlüsse und Boden.
2. Schalten Sie das Kühlaggregat ein. Warten Sie, bis die Kreise ihre Sollwerte erreicht haben und der Durchfluss stabil ist.
3. Stellen Sie sicher, dass keine Alarme, Lecks an Vor- und Rücklauf oder Feuchtigkeit an Kopf und Faser vorliegen.
4. Dokumentieren Sie die Werte. Setzen Sie Durchfluss- oder Temperaturalarme nicht zurück, um das Schneiden zu erzwingen. Beseitigen Sie die Ursache.

Mischen Sie keine ungeeigneten Flüssigkeiten

Wasserqualität, Zusätze und Wechselintervalle legt der Hersteller fest. Fügen Sie weder Kfz-Frostschutz noch unbekannte Chemikalien hinzu. Befolgen Sie für Frostschutz und längere Stillstände die Schritte in Abschnitt 3.6.

Warum? Falsche Flüssigkeiten können Korrosion und Verstopfungen verursachen. Unzureichender Durchfluss und Kondensation können Optik und Elektrik beschädigen.

2.6 Tisch, Palette und Nebenanlagen

Die Auflagelamellen tragen das Blech. Ihre Zwischenräume lassen Strahl, Gas und Schmelze nach unten passieren. Mit Schlacke gefüllte oder verbogene Lamellen halten das Blech nicht eben. Ausgeschnittene kleine Teile können kippen und im Fahrweg des Kopfes liegen bleiben. Unebenheiten der Blechoberfläche lassen sich nicht immer durch die Höhenregelung ausgleichen.

Der Palettenwechsler verringert die Vorbereitungszeit durch den Wechsel zwischen Schneid- und Beladepalette. Bewegungsbereich, Palettenverriegelungen und Zugangsschutz unterscheiden sich je nach Maschine. Ein sichtbarer Positionssensor oder eine Bildschirmanzeige beweist allein nicht, dass der Bereich personenfrei ist.

Palettenwechsel vorbereiten

Ziel: Wechseln Sie Blech und Palette ohne Kollision. **Benötigt:** Palettenwechselverfahren des Herstellers, autorisierter Bediener und geeignete Hebezeuge.

1. Beenden Sie den Schnitt oder stoppen Sie sicher nach Herstellerverfahren. Fahren Sie Kopf und Portal in die vorgesehene Palettenwechselposition.
2. Stellen Sie sicher, dass sich weder auf der Belade- noch auf der Schneidseite Personen befinden. Unter dem Tisch und im Palettenfahrweg dürfen keine Werkzeuge oder Restgitter liegen.
3. Prüfen Sie, dass das Blech nicht übersteht, gekippte Teile entfernt sind und die Last richtig verteilt ist.
4. Schließen Sie die Schutzeinrichtungen. Geben Sie den Wechselbefehl in der Herstellerreihenfolge. Betreten Sie den Bereich während der Bewegung nicht.
5. Prüfen Sie Endposition und Verriegelung der Palette. Prüfen Sie für das neue Blech Werkstücknullpunkt und Kantenerkennung.

> **Schieben Sie eine klemmende Palette nicht an**
>
> Versuchen Sie nicht, die Bewegung mit Muskelkraft, Gabelstapler oder durch Betreten des Schutzbereichs zu vollenden. Stoppen Sie, stellen Sie einen sicheren Energiezustand her und veranlassen Sie die autorisierte Wartung.

Warum? Bewegt sich die Palette, bevor der Kopf sicher positioniert ist, können Kopf, Blech und Portal kollidieren. Eine unklare Palettenposition kann auch die Werkstückkoordinaten ungültig machen.

Betrachten Sie Druckluft und Absaugung gemeinsam

Neben der Kompressorleistung bestimmen Trockner, Filter, Behälter und Rohrleitungen Druck und Volumenstrom beim Schneiden. Der im Leerlauf angezeigte Druck kann beim Schneiden abfallen. Ein Wasserabscheider allein reicht für trockene Luft möglicherweise nicht aus. Prüfen Sie Trockner und Kondensatablass. Verstopfte Filter oder geschlossene Zonenklappen verteilen Schneidrauch in der Kabine.

Prüfen Sie Druckverlust, Trocknerwahl und ISO-8573-1-Klassentripel im Kasten zur Luftschneidversorgung in Abschnitt 7.2.

Foto: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **Palettenschutzbereich, Kühlkreisbeschriftungen und Reihenfolge Kompressor–Trockner–Filter**

03

Einschalten, Referenzfahrt, Kalibrierung, Ausschalten

Halten Sie in jeder Schicht dieselbe Reihenfolge ein. Gibt die Inbetriebnahmeanleitung Ihrer Maschine eine andere Folge vor, hat die Herstellerfolge Vorrang.

3.1 Sichere Einschaltfolge

Ziel: Nehmen Sie die Quelle erst bei betriebsbereiter Kühlung und bereiten Nebenanlagen in Betrieb. **Benötigt:** Maschine mit abgeschlossener täglicher Sicherheitsprüfung, ausreichend Gas und Druckluft, geeignetes Kühlmittel und autorisierter Bediener.

1. **Spannungsstabilisator / Hauptschalter:** Prüfen Sie den Arbeitsbereich. Beginnen Sie bei gesetzter Wartungssperre nicht mit der Arbeit. Schalten Sie einen vorhandenen Spannungsstabilisator und danach die Maschinenhauptversorgung nach Herstellerfolge ein.
2. **Kühlaggregat:** Prüfen Sie Füllstand und Dichtheit. Starten Sie das Kühlaggregat. Warten Sie, bis Quellen- und Kopfkreis die geforderten Temperatur- und Durchflussbedingungen erfüllen.
3. **Kompressor und Gas:** Machen Sie Trockner, Filter und Absaugung betriebsbereit. Öffnen Sie die passende Gasversorgung und die Maschinenventile in der festgelegten Reihenfolge. Stoppen Sie bei Lecks oder unzulässigem Druck.
4. **Laserquellenschalter:** Schalten Sie die Quelle bei bereiter Kühlung ein. Einschalten und Freigabe der Schneidemission sind verschiedene Vorgänge. Lassen Sie den Strahl bis zum erforderlichen Arbeitsschritt deaktiviert.
5. **CNC / Computer:** Starten Sie die Steuerung. Lesen Sie die Startmeldungen. Starten Sie keinen verbliebenen Automatikauftrag der Vorschicht.
6. **Software:** Öffnen Sie die zur Maschine gehörende Konfiguration und die richtige Auftragsdatei. Prüfen Sie Verbindungs-, Achs- und Sicherheitsstatus.
7. **Servofreigabe:** Stellen Sie sicher, dass der Bereich frei ist. Geben Sie Bewegungen nach Herstellerverfahren frei. Stoppen Sie bei unerwarteter Bewegung oder Alarm.
8. **Referenzfahrt:** Abschnitt 3.2 beschreibt die Reihenfolge der Referenzfahrt.
9. **Kalibrierung:** Prüfen Sie Düse, Keramik und Zentrierung. Führen Sie die erforderliche kapazitive Kalibrierung und weitere Einschaltprüfungen des Herstellers durch.

> **! Keine Strahlfreigabe vor Betriebsbereitschaft**
>
> Führen Sie keinen Schneidversuch durch, wenn Kühlung, Gas, Absaugung, Schutzeinrichtungen oder Achsreferenz nicht stimmen. Akzeptieren Sie wiederkehrende Alarme nicht als normale Startbegleiterscheinung.

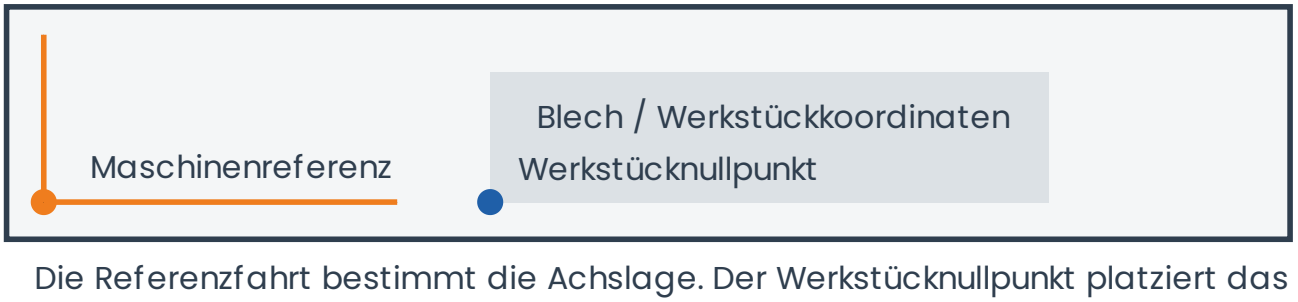
Warum? Eine laufende Schneidsoftware bedeutet nicht, dass die Nebenanlagen bereit sind. Dieselbe Schrittfolge macht unvollständige Vorbereitung früh erkennbar.

Voraussetzung zum Fortfahren	Prüfung
Quelle bereit	Kühlbedingungen erfüllt; kein ungeklärter Quellenalarm.
Bewegung bereit	Bereich frei, Servostatus korrekt, Referenzfahrt abgeschlossen.
Prozess bereit	Richtiges Gas, Absaugung, Schutzeinrichtungen und freigegebener Parametersatz gewählt.

Diese Folge ist ein allgemeiner Bedienablauf. Namen von Schützen, Schaltern und Softwaremenüs können je nach Maschine und Version abweichen.

3.2 Referenzfahrt: Maschinenreferenz bestimmen

Bei der Referenzfahrt (Homing) bestimmt die Maschine anhand der Referenz- und Ursprungssensoren sowie der Positionsinformationen der Steuerung die absolute Maschinenposition der Achsen neu. Der Werkstücknullpunkt ist davon getrennt. Eine Blechecke als Werkstücknullpunkt festzulegen erzeugt keine Achsreferenz.



Prüfen Sie beide Koordinatensysteme getrennt. Die Pfeilrichtungen dienen nur der Erläuterung.

Softwaregrenzen, sicherer Fahrbereich und Palettenpositionen hängen von der richtigen Referenz ab. Bei Referenzverlust kann die angezeigte Entfernung von der realen mechanischen Entfernung abweichen. Die Referenzfahrt ist ein Bestandteil des Kollisionsschutzes. Sie garantiert allein weder Hinderniserkennung noch einen sicheren Bereich.

Wann?	Zusatzprüfung
Bei jedem Einschalten	Prüfen Sie die herstellerspezifische Anzeige für eine abgeschlossene Referenzfahrt.
Nach einem Not-Halt	Beseitigen Sie zuerst die Stoppursache. Stellen Sie die erforderliche Referenz wieder her.
Bei Servo- / Encoderalarm	Beseitigen Sie die Alarmursache. Setzen Sie die Positionszuverlässigkeit nicht voraus.
Nach einer Kollision	Lassen Sie Düse, Keramik, Kopfbefestigung und Achsen prüfen.
Nach mechanischen Eingriffen	Warten Sie, bis die autorisierte Wartung Referenz und Grenzen geprüft hat.

Ziel: Ordnen Sie die Bewegungsgrenzen den richtigen Maschinenkoordinaten zu. **Benötigt:** Intaktes Achssystem, freier Fahrweg und Referenzfahrtfolge des Herstellers.

1. Räumen Sie Tisch und Portalfahrweg frei. Prüfen Sie auf hochstehendes Blech, gekippte Teile, Werkzeuge und Spannmittel.
2. Fahren Sie die Z-Achse nach Herstellerverfahren sicher nach oben. Bewegen Sie einen Kopf mit unbekannter Position nicht horizontal über das Blech.
3. Schließen Sie die Schutzeinrichtungen und starten Sie die Referenzfahrt. Achsfolge und Referenzrichtung sind herstellerabhängig. Schätzen Sie diese nicht.
4. Beobachten Sie die Bewegung von einem sicheren Standort. Stoppen Sie bei falscher Richtung, Hindernissen, ungewöhnlichen Geräuschen oder Grenzalarm.
5. Prüfen Sie den Abschlussstatus. Prüfen Sie Werkstücknullpunkt und Palettenposition zusätzlich.

Was geschieht ohne Referenzfahrt?

Falsche Softwaregrenzen, Bewegungen über den Blechrand, falsche Palettenpositionen und Kollisionen können entstehen. Betreiben Sie eine Achse ohne erfolgreiche Referenzfahrt nicht durch Umgehen von Grenz- oder Sensorschutz.

Warum? Werkstückkoordinaten stimmen nur bei zuverlässigen Maschinenkoordinaten. Eine Alarmquittierung beweist nicht die physische Richtigkeit der Referenz.

3.3 Kapazitive Höhenkalibrierung

Der kapazitive Sensor erfasst den Abstand anhand der elektrischen Beziehung zwischen Düse und Blech. Bei Höhenreglern wie BCS100 lernt die Kalibrierung diese Beziehung. Sie entspricht weder einer optischen Fokuseinstellung noch einer X/Y-Referenzfahrt.

Bewerten Sie den Kalibrierbedarf nach Düsen- oder Keramikwechsel, Kollisionsprüfung, deutlichen Material- oder Temperaturänderungen und bei beginnender Höhenabweichung neu. Entnehmen Sie tägliche Häufigkeit und Akzeptanzkriterien den Anweisungen des Kopf- bzw. Höhenreglerherstellers. Versuchen Sie nicht, gerissene Keramik oder eine lockere Düse durch Kalibrierung auszugleichen.

Ziel: Sorgen Sie für eine stabile Blechverfolgung im richtigen Abstand. **Benötigt:** Intakte, saubere Düse und Keramik; ebenes, sauberes Blech mit gutem elektrischem Tischkontakt; korrekt referenzierte Maschine und Herstelleranleitung.

1. Deaktivieren Sie die Schneidemission. Prüfen Sie den korrekten Einbau von Düse und Keramik sowie intakte Kabel und Anschlüsse.
2. Legen Sie sauberes Blech eben auf geeignete Auflagen. Beeinflussen Rost, Öl, Schlacke, dicke Beschichtung oder Folie die Messung, verwenden Sie das geeignete Herstellerverfahren zur Kalibrierung.
3. Positionieren Sie den Kopf über einem ebenen Blechbereich, entfernt von Kanten und Löchern. Darunter dürfen weder eine Aussparung noch kleine kippgefährdete Teile liegen.
4. Starten Sie die Kalibrierfunktion der Höhenregelung. Menünamen können je nach Version abweichen. Meist ist die Sensor- bzw. Kapazitätskalibrierung eine eigene Funktion.
5. Beobachten Sie die automatische Annäherung. Stoppen Sie bei unerwartetem Kontakt, anhaltender Schwingung oder ungewöhnlichem Absenken.
6. Prüfen Sie Ergebniskurve und Qualitäts- bzw. Konsistenzanzeige des Herstellers. Das Ergebnis muss gleichmäßig und wiederholbar sein. Akzeptieren Sie keine Unterbrechungen, Sprünge oder Fehlermeldungen.
7. Führen Sie die sichere Höhenprüfung des Herstellers aus. Prüfen Sie an mehreren ebenen Blechstellen die stabile Verfolgung und stellen Sie sicher, dass die Düse nicht schleift. Dokumentieren Sie das Ergebnis.

Bei fehlgeschlagener Kalibrierung

Prüfen Sie zuerst elektrischen Blechkontakt, Düsenreinheit, Keramik, Sensorkabel und stabile Umgebungsbedingungen. Speichern Sie keine fehlerhafte Kurve. Setzen Sie die Produktion nicht durch bloßes Anheben des Kopfes fort.

Warum? Eine falsche Messung kann den Kopf zu nah oder zu weit vom Blech führen. Das beeinflusst das Schneidgas und erhöht die Kollisionsgefahr.

Bildschirmaufnahme: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **erfolgreiche Kalibrierkurve und Versionsangabe bei BCS100 oder dem verwendeten Höhenregler**

3.4 Ersteinrichtung und Düsenstrahlzentrierung

Ersteinrichtung: Aufgabe des autorisierten Service

Ziel: Bauen Sie Bewegungs- und Nachführeinstellungen auf einer zuverlässigen mechanischen Grundlage auf.
Benötigt: Autorisiertes Inbetriebnahmepersonal, maschinenspezifische FSCUT/BCS100-Handbücher und richtige Version/Konfiguration.

1. Der Service muss mechanische Montage und elektrische Anschlüsse sowie Servorichtung, Encoder, Grenz- und Referenzsensoren prüfen.
2. Er muss die erste Servokalibrierung bzw. geeignete Einstellung nach autorisiertem Verfahren abschließen. Bediener dürfen Verstärkung und Motorparameter nicht versuchsweise ändern.
3. Er muss Referenzfahrt und Maschinenkoordinaten in der Herstellerreihenfolge prüfen.
4. Er muss die kapazitive Kalibrierung mit intakter Düse und geeignetem Blech abschließen.
5. Er muss die von der BCS100/FSCUT-Version geforderte automatische Abstimmung unter sicheren Bedingungen ausführen und Nachführung sowie Bewegung prüfen.

> **! Die Reihenfolge kann je nach Version abweichen**
>
> „Servoeinstellung → Referenzfahrt + kapazitive Kalibrierung → automatische Abstimmung“ beschreibt die allgemeinen Abhängigkeiten. Genaue Befehle und Voraussetzungen stehen im jeweiligen FSCUT/BCS100-Handbuch. Dieser Absatz ist keine Serviceanweisung zur Inbetriebnahme.

Warum? Eine automatische Abstimmung auf fehlerhafter Mechanik oder Sensorik kann ein falsches Ergebnis dauerhaft übernehmen.

Düsenstrahlzentrierung: Klebebandtest

Ziel: Prüfen Sie mit dem freigegebenen Herstellerverfahren, dass der Strahl mittig durch die Düsenöffnung läuft.
Benötigt: Aufgabenspezifische Schulung, freigegebenes Testmaterial und energiearmes Zentrierverfahren des Kopfherstellers; funktionsfähige Kabine und Verriegelungen.

1. Stellen Sie einen sicheren Emissionszustand her. Parken Sie den Kopf in der freigegebenen Testposition. Prüfen Sie Düse, Keramik und korrekten Anzug.
2. Bringen Sie das empfohlene Klebeband bzw. Testmaterial unter der Düse an. Während des Anbringens muss die Strahlerzeugung ausgeschlossen sein.
3. Stellen Sie sicher, dass der Bereich frei ist, und schließen Sie die Kabine. Verwenden Sie ausschließlich den vorgegebenen kurzen Testimpuls mit niedriger Energie. Wählen Sie Leistung und Dauer nicht wahllos.
4. Stellen Sie erneut einen sicheren Emissionszustand her und entfernen Sie erst dann das Band. Prüfen Sie die Lochlage zur Düsenkontur.
5. Korrigieren Sie Versatz in kleinen Schritten mit der im Kopfhandbuch erlaubten Zentriereinstellung. Wiederholen Sie bei jeder Prüfung: sicher anbringen, geschlossen testen, sicher entfernen.
6. Entfernen Sie bei stabiler Zentrierung das Testmaterial vollständig. Prüfen Sie die Düse auf Rückstände. Führen Sie die erforderliche Höhenkalibrierung durch.

> **! Kein Testimpuls bei offener Tür**
>
> Blicken Sie beim Testimpuls nicht unter die Düse. Umgehen Sie keine Verriegelungen. Stoppen Sie bei unregelmäßigem oder großem Brandfleck, anhaltendem Zentrierversatz oder erreichter Einstellgrenze und kontaktieren Sie den Service.

Warum? Zentrierversatz macht den Gasstrom ungleichmäßig und kann einseitigen Grat und Düsenüberhitzung verursachen. Der Test erlaubt keine Arbeit mit offenem Strahl.

3.5 Trockenlauf und Rahmenprüfung

Die Rahmenprüfung (Frame) prüft durch Abfahren die äußere Auftragsgrenze auf dem Blech. Der Trockenlauf folgt dem Programmpfad ohne Laserstrahl. Die Simulation prüft Pfad und Reihenfolge am Computer. Sie beantworten unterschiedliche Fragen: „Ist das Programm richtig?“, „Liegt der Auftrag auf dem Blech?“, „Ist der reale Fahrweg frei?“



Prüfen Sie Schutzeinrichtungen und Fahrbereich bei jedem Schritt.

Bewerten Sie bei Änderung von Auftragsdatei oder Werkstücknullpunkt die bisherigen Prüfungen neu.

Ziel: Erkennen Sie Platzierungs- und Bewegungsfehler vor dem ersten Strahl. **Benötigt:** Referenzierte und kalibrierte Maschine, gesichertes Blech, richtige Datei und Testmodus mit nachweislich deaktivierter Emission.

1. Prüfen Sie reale Programmmaße, Blechabmessungen und Werkstücknullpunkt. Führen Sie bei Bedarf Kantenerkennung und Winkelkorrektur durch.
2. Prüfen Sie in der Simulation Innenkonturreihenfolge, Anschnitte, Mikrostege, Einstechpunkte und Eilbewegungen.
3. Fahren Sie den Kopf auf die vorgeschriebene sichere Höhe. Berücksichtigen Sie Hindernisse auf dem Blech, aufgewölbte Kanten und Spannmittel.
4. Starten Sie die Rahmenfunktion ohne Strahl. Prüfen Sie, dass der gesamte Auftrag innerhalb von Blech und sicheren Fahrgrenzen liegt.
5. Führen Sie den Trockenlauf mit sicherer Testgeschwindigkeit aus. Gas- und Nachführfunktionen können sich je nach Version anders verhalten. Prüfen Sie zusätzlich, dass die Emission ausgeschaltet ist.
6. Korrigieren Sie bei Fehlern Datei oder Nullpunkt und wiederholen Sie die betreffende Prüfung. Bereiten Sie nach erfolgreicher Prüfung das erste Probestück zum Schneiden vor.

! Auch im Trockenlauf entstehen Bewegungen

Bei ausgeschaltetem Strahl bleiben die Gefahren durch Portal, Z-Achse und Palette bestehen. Greifen Sie nicht in Kabine oder Fahrbereich. Beginnen Sie bei Abweichungen zwischen erwartetem und realem Pfad nicht mit dem Schneiden.

Warum? Die Simulation erkennt weder die reale Blechwölbung noch Werkzeuge auf dem Tisch. Auch die Rahmenprüfung beweist allein nicht die Sicherheit aller inneren Bewegungen.

Bildschirmaufnahme: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **Auftragsgrenze, Werkstücknullpunkt und Anzeige des strahlfreien Testmodus in der verwendeten Software**

3.6 Ausschalten, Frostschutz und Wiederanlauf nach längerem Stillstand

Normales Ausschalten

Ziel: Bringen Sie Auftrag und Nebenanlagen kontrolliert zum Stillstand. **Benötigt:** Auftragsaufzeichnungen, Herstellerfolge zum Ausschalten und geeigneter Bereich für heiße Teile.

1. Beenden Sie den Schnitt oder das Programm durch sicheres Stoppen. Prüfen Sie heiße Teile und Schlacke. Halten Sie den erforderlichen Absaugnachlauf ein.
2. Deaktivieren Sie die Laseremission. Fahren Sie Kopf und Portal in die Herstellerparkposition. Lassen Sie die Palette sicher positioniert.
3. Dokumentieren Sie Auftrags- und Parameteränderungen, Alarme und Restarbeiten. Beenden Sie Software und CNC/Computer ordnungsgemäß.
4. Schalten Sie die Laserquelle nach Herstellerfolge aus. Falls das Kühlaggregat danach noch kurz weiterlaufen muss, **beachten Sie das Herstellerhandbuch**. Legen Sie keine unbegründete feste Dauer fest.
5. Schließen Sie die Gasversorgung und schalten Sie Kompressor sowie Nebenanlagen nach Betriebsplan ab. Entlasten Sie erforderlichen Leitungsdruck mit sicherem Verfahren.
6. Schalten Sie Kühlaggregat und danach Maschinenhauptversorgung bzw. Spannungsstabilisator in der festgelegten Folge aus. Behandeln Sie Versorgungen, die für Kühlung, Frostschutz oder Absaugung eingeschaltet bleiben müssen, nach Herstellervorgabe.
7. Prüfen Sie das Umfeld auf Schwelbrände, Lecks und offene Arbeiten. Übergeben Sie das Schichtformular.

> **Ein Not-Halt ist ein eigener Fall**
>
> Versuchen Sie bei Gefahr nicht, die normale Ausschaltfolge zu Ende zu führen. Wenden Sie Not-Halt und betrieblichen Notfallplan an. Auch normales Ausschalten ersetzt kein LOTO bei der Wartung.

Warum? Abruptes Trennen des Steuerungscomputers kann Auftragsdaten verlieren lassen. Zu frühes Abschalten der Kühlung bei laufender Quelle kann Hardware beschädigen.

Winter / Frostschutz

Ziel: Verhindern Sie das Einfrieren von Wasser im stillstehenden System. **Benötigt:** Gemeinsam von Quellen-, Kopf- und Kühlaggregathersteller freigegebenes Winterverfahren.

1. Bewerten Sie die niedrigste Umgebungstemperatur und die Wahrscheinlichkeit eines Stromausfalls.
2. Wählen Sie die empfohlene Raumheizung, Umwälzung, geeignete Flüssigkeit oder Entleerung. Fügen Sie kein unverträgliches Frostschutzmittel hinzu.
3. Ist eine Entleerung nötig, verwenden Sie das autorisierte Verfahren einschließlich innerer Hohlräume von Quelle und Kopf. Blasen Sie nicht unkontrolliert mit Druckluft aus.
4. Kennzeichnen Sie die getroffene Maßnahme. Starten Sie die Quelle erst nach vollständigem Wiederbefüllen und Entlüften.

> **Bei Frostverdacht nicht starten**
>
> Starten Sie die Quelle nicht zum Auftauen. Lassen Sie autorisiertes Personal auf Risse, Lecks und Durchflussverlust prüfen.

Warum? Auch wenn äußere Schläuche leer erscheinen, kann in inneren Kanälen Flüssigkeit verbleiben.

Einschalten nach längerem Stillstand

Ziel: Stellen Sie die Zuverlässigkeit des Systems wieder her. **Benötigt:** Stillstandsprotokoll und Wartungsplan.

1. Prüfen Sie Flüssigkeit, Schläuche, Filter, Gasleitung sowie Mechanik und Elektrik von außen. Entfernen Sie Lagerungsschutz nach Herstellervorgabe.
2. Machen Sie die Kühlkreise bereit. Prüfen Sie auf Lecks, Kondensation und Alarme.
3. Führen Sie normales Einschalten, Referenzfahrt, Zentrierung und erforderliche kapazitive Kalibrierung durch. Kehren Sie nach Trockenlauf und Probeschnitt zur Produktion zurück.

> **Der alte Parametersatz allein reicht nicht**
>
> Material, Gas und Optikzustand können sich verändert haben. Beginnen Sie erst nach Vermessung des ersten Teils mit der Serienfertigung.

Warum? Während des Stillstands können Feuchtigkeit, Verschmutzung und Lecks entstehen. Ein zuvor erfolgreicher Auftrag schließt dies nicht aus.

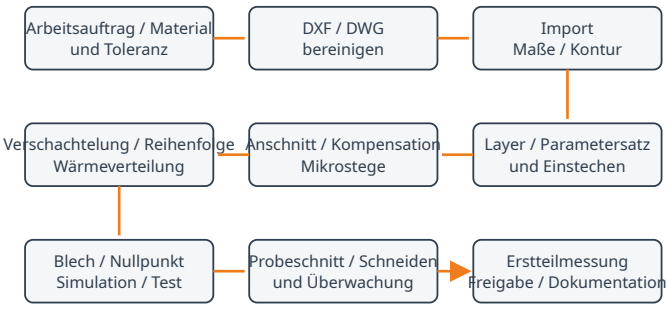
04

Arbeitsablauf von der Zeichnung zum Schnitt

Bereinigen Sie zuerst die Zeichnung und erstellen Sie danach den Schneidpfad. Prüfen Sie eine am Bildschirm richtig erscheinende Form zusätzlich an der Maschine.

4.1 Planen Sie den gesamten Auftrag

Ein Schneidauftrag ist mehr als eine DXF-Datei. Werkstoff, tatsächliche Dicke, Stückzahl, Maßtoleranz, Kantenanforderung und Folgeprozesse bestimmen den Parametersatz. Lackierte und zu verschweißende Teile können unterschiedliche Kantenanforderungen haben. Klären Sie Unklarheiten im Arbeitsauftrag mit der verantwortlichen Person. Lösen Sie diese nicht erst durch Versuche während des Schneidens.



Eine Korrektur kann Folgeschritte beeinflussen. Prüfen Sie nach Änderungen an Maßstab, Kontur oder Verschachtelung den Pfad erneut.

Vor Arbeitsbeginn	Zu dokumentieren
Technische Zeichnung	Revision, kritische Maße, Toleranz und Kantenanforderung
Material	Art/Güte, Dicke, Charge, Beschichtung/Folie, Oberflächenzustand
Maschine / Parametersatz	Quelle, Kopf, Gas und Kennung der freigegebenen Parameter
Plan	Stückzahl, Verschachtelung, Teileausrichtung, Heben und Restgitterhandhabung

✓ Planen Sie Platz für das erste Teil ein

Beginnen Sie einen neuen Auftrag nicht mit dem Schneiden des gesamten Blechs. Planen Sie ein Probestück oder Erstteil für Maß- und Kantenprüfungen ein. Speichern Sie Datei- und Parameterrevision gemeinsam.

4.2 DXF / DWG vorbereiten

Die Zeichnungsdatei muss die Schneidgeometrie eindeutig und konsistent abbilden. Maßlinien, unsichtbare Kopien und offene Enden können zusätzliche Fahrwege oder unerwünschtes Einstechen erzeugen. Nutzen Sie neben der vergrößerten Ansicht auch die Geometrieprüfung.

Vorbereitung	Maßnahme	Prüfung
Einheit / Maßstab	Erstellen Sie die Zeichnung in mm und in Originalgröße.	Messen Sie ein bekanntes Außenmaß und einen Lochdurchmesser.
Einzelne Linie	Definieren Sie jede Schneidkante nur einmal.	Prüfen Sie, dass die Linienstärke keine zusätzliche geschlossene Kontur bildet.
Geschlossene Kontur	Schließen Sie Teile- und Lochgrenzen.	Suchen Sie Endpunkte und kleine offene Lücken.
Doppelte / überlagerte Linie	Entfernen Sie kopierte Geometrie und deckungsgleiche Segmente.	Prüfen Sie Konturzahl und wiederholte Durchläufe in der Simulation.
Schrift	Wandeln Sie zu schneidende Schrift in Konturen um.	Prüfen Sie nötige Stege, damit Buchstabeninnenflächen nicht herausfallen.
Spline	Wandeln Sie mit der von der Steuerung geforderten Toleranz in Bögen und Linien um.	Prüfen Sie auf zu kurze Segmente, Ecken und Maßabweichungen.
Kleine Lücke	Verbinden Sie Endpunkte mit freigegebener Verbindungstoleranz.	Schließen Sie keine konstruktiv vorgesehenen Abstände versehentlich.
Hilfsobjekt	Entfernen Sie Bemaßung, Schraffur, Rahmen und Erläuterungen aus der Schneidgeometrie.	Nach dem Import dürfen keine unerwarteten Layer oder Konturen verbleiben.

Verfahren zur Zeichnungsbereinigung

Ziel: Erstellen Sie eindeutige, geschlossene Konturen für die Maschine. **Benötigt:** Freigegebene Zeichnung, CAD-Datei und Sicherungskopie.

1. Prüfen Sie die Dateirevision und öffnen Sie eine Arbeitskopie. Prüfen Sie Einheit und bekanntes Maß.
2. Trennen Sie nicht zu schneidende Objekte ab. Wandeln Sie Blöcke und Objekte in ein von der Steuerungssoftware unterstütztes Format um.
3. Entfernen Sie doppelte Linien. Finden Sie offene Konturen und schließen Sie diese entsprechend der Konstruktion.
4. Wandeln Sie Schrift und Splines um. Prüfen Sie, dass kleine Bögen und Buchstabeninnenflächen erhalten bleiben.
5. Speichern Sie in einer geeigneten DXF/DWG-Version. Öffnen Sie erneut und messen Sie nach.

> **Automatische Korrektur kann die Konstruktion verändern**
>
> Erhöhen Sie Verbindungs- oder Glättungstoleranzen nicht, um alle Warnungen zu beseitigen. Eine kleine Öffnung kann ein funktionaler Schlitz sein. Lassen Sie kritische Formänderungen von der zeichnungsverantwortlichen Person freigeben.

Warum? Doppellinien erhitzen dieselbe Stelle erneut. Offene Konturen können falsche Innen-/Außenzuordnung oder unvollständige Teile verursachen.

4.3 Import, Layer und Parameter

Eine fehlerfrei geöffnete Datei ist noch nicht schneidbereit. Prüfen Sie Maße, Teilezahl, Innen-/Außenkonturbeziehungen und Layeraufgaben erneut. Die Bildschirmfarbe bestimmt nicht das reale Gas. In den meisten Programmen kennzeichnet sie nur den Prozesslayer.

Ziel: Weisen Sie jeder Kontur den richtigen Prozess und Parametersatz zu. **Benötigt:** Bereinigte Datei, Arbeitsauftrag, Materialdaten und ein nach Abschnitt 9.0 gewählter und freigegebener Parametersatz.

1. Importieren Sie die Datei in die Steuerungssoftware. Menünamen können je nach Version abweichen. Import und Geometrieprüfung sind meist getrennte Funktionen.
2. Messen Sie Gesamtbreite, Gesamthöhe und ein bekanntes Loch. Prüfen Sie Teilezahl sowie Drehung und Spiegelung.
3. Prüfen Sie offene, geschlossene und innere Konturen. Die Aufgabe jedes Zeichnungsobjekts muss klar sein.
4. Weisen Sie Schneiden, Markieren und weitere unterstützte Prozesse getrennten Layern zu. Verwenden Sie keine ununterstützte Funktion allein wegen einer vorhandenen Layerfarbe.
5. Weisen Sie jedem Schneidlayer Material, Gas, Druck, Düse, Höhe, Fokus, Leistung und Geschwindigkeit gemeinsam korrekt zu. Prüfen Sie den Einstechparametersatz gesondert.
6. Stellen Sie sicher, dass nicht zu schneidende Hilfslayer deaktiviert sind. Prüfen Sie Layerliste und Konturzahlen.
7. Speichern Sie die Datei unter neuem Auftragsnamen mit Revision. Verändern Sie den freigegebenen Parametersatz nicht unkontrolliert durch Versuchseinstellungen.

> **Prüfen Sie Maschinengrenzen und Einheiten**
>
> Die Software kann Leistung in W oder Prozent und Geschwindigkeit in unterschiedlichen Einheiten anzeigen. Gleichen Sie die Tabellenwerte in W und m/min mit den Bildschirmeinheiten ab. Wenden Sie Werte erst nach Umrechnung und Prüfung an. Ändern Sie keine autorisierte Maschinenkonfiguration.

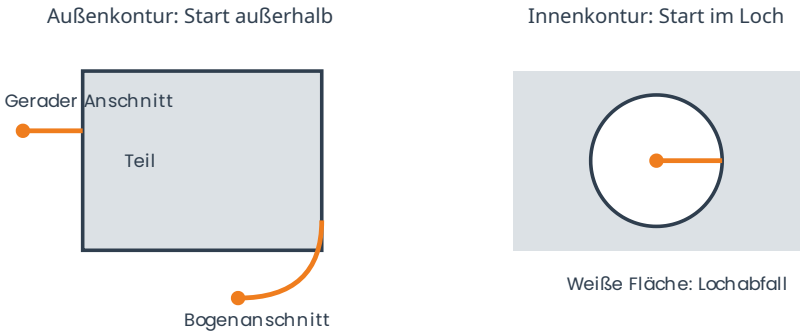
Warum? Das Verschieben derselben Geometrie auf einen anderen Layer kann neben der Farbe auch Gas, Einstechen und Bewegungsbedingungen verändern.

Abschlussprüfung	Frage
Geometrie	Richtige Revision? Stimmen Außenmaße und Löcher?
Layer	Ist jedem Objekt ein eindeutiger Prozess zugeordnet? Sind Hilfslinien deaktiviert?
Parametersatz	Sind Gas und alle Zeilenwerte gemeinsam übernommen? Ist das Einstechverfahren geeignet?
Dokumentation	Sind Auftragsdatei und Parameterrevision nachvollziehbar?

Bildschirmaufnahme: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **importiertes Teil, Maßprüfung und Prozesslayer**

4.4 Anschnitt- und Auslaufwege

Der Anschnitt (Lead-in) führt vom Einstechpunkt zur eigentlichen Kontur. Der Auslauf (Lead-out) führt bei unterstützten Abläufen am Konturende von ihr weg. Der Anschnitt liegt überwiegend im Abfall, damit Einstechspuren und instabiler Schnittbeginn die Teilekante nicht beschädigen.



Orange Linien zeigen Anschnittbeispiele. Tatsächliche Länge und Radius werden durch Schneidversuche bestimmt. Die Zeichnung ist nicht maßstäblich.

Auswahl	Wann erwägen?	Was prüfen?
Gerader Anschnitt	Bei genügend Abfallfläche und geeignetem Anschlusspunkt	Keine Kerbe oder Eckenspur beim Konturanschluss
Bogenanschnitt	Wenn ein sanfterer Richtungswechsel nötig ist	Bogen ragt nicht in Nachbarteile oder enge Lochgrenzen
Dickes Blech	Wenn Einstechen und Übergang zum stabilen Schnitt mehr Platz brauchen	Start außerhalb des Fertigteils mit genügend Abfallfläche
Kleine Innenkontur	Bei wenig Platz für den Anschnitt	Einstechkrater erreicht keine Maßfläche
Nahe einer Ecke	Wenn Konstruktion oder Folgeprozess dies ausdrücklich erfordern	Verzögerung, Wärmestau und Anschlussmarke

Anschnitt platzieren

Ziel: Halten Sie Einstech- und Beschleunigungsspuren auf der Abfallseite. **Benötigt:** Teil mit erkannten Innen- und Außenkonturen und geeigneter Einstechparametersatz.

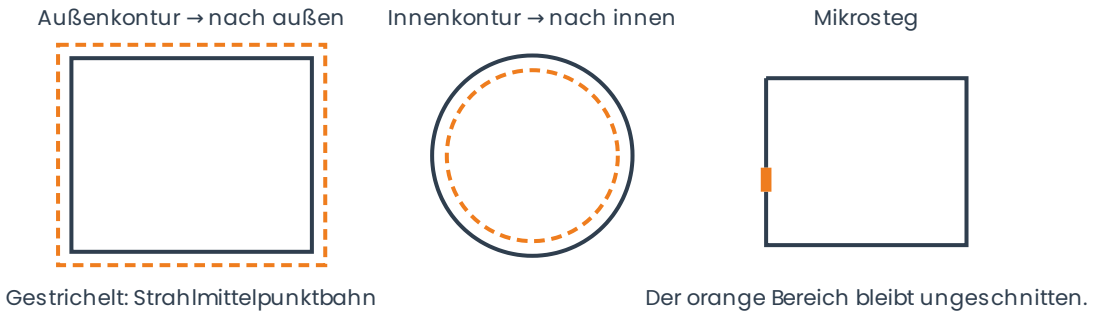
1. Bestimmen Sie Fertigteil- und Abfallseite. Fahren Sie Außenkonturen von außen und Innenkonturen aus dem Loch an.
2. Wählen Sie einen für Maß und Aussehen unkritischen Anschlusspunkt. Beginnen Sie nicht standardmäßig an einer scharfen Ecke.
3. Wählen Sie Gerade oder Bogen und die Länge nach Werkstoff, Dicke und freiem Platz. Verwenden Sie keine allgemeingültige feste Länge.
4. Prüfen Sie in der Simulation, dass Einstechspur, Anschnitt und gegebenenfalls Auslauf keine Nachbarteile erreichen.
5. Prüfen Sie die Anschlussmarke am Erstteil. Korrigieren Sie bei Bedarf jeweils nur eine Variable und dokumentieren Sie die Änderung.

> **Ein langer Anschnitt ist nicht immer besser**
>
> Bei enger Verschachtelung kann der Anschnitt ein anderes Teil schneiden. Ein unnötig langer Auslauf kann ein bereits gelöstes Teil erneut erhitzen. Ist ein Start an der Ecke zwingend, bestätigen Sie das Verfahren durch einen Versuch.

Warum? Einstechen ist noch kein stabiler Schnitt. Ein Startpunkt abseits der Fertigkante verringert Krater- und Kerbenrisiko.

4.5 Schnittspaltkompensation und Mikrostege

Der Schnittspalt (Kerf) ist die Breite des vom Strahl entfernten Kanals. Die Kompensation versetzt den Strahlmittelpunkt zur Abfallseite, um das Fertigmaß einzuhalten. Bei Außenkonturen verläuft die Mittellinie weiter außen, bei Innenkonturen weiter innen zum Lochzentrum hin. Vergrößern Sie nicht die CAD-Maße zusätzlich zur Softwarekompensation.



Die Kompensation ist überhöht dargestellt. Bestimmen Sie den tatsächlichen Schnittspalt durch Messung am Probestück.

Kompensation prüfen

Ziel: Bringen Sie Teile- und Lochmaße an die Zeichnungsvorgaben heran. **Benötigt:** Messmittel, sauberes Probestück und nur an einer Stelle angewendete Kompensation.

1. Prüfen Sie CAD-Nennmaß und bereits vorhandene Kompensation.
2. Prüfen Sie Innen-/Außenzuordnung und wählen Sie die passende Kompensationsrichtung.
3. Schneiden Sie das Probestück, lassen Sie es abkühlen und messen Sie an einer gratunbeeinflussten Fläche.
4. Vergleichen Sie Außen- und Lochmaße getrennt. Ändern Sie nur die Kompensation kontrolliert und messen Sie erneut.

! Verdecken Sie Geometriefehler nicht mit Kompensation

Ovale Löcher, Konizität oder richtungsabhängige Maßabweichungen müssen nicht allein durch Kompensationsfehler entstehen. Prüfen Sie Düsenstrahlzentrierung, Mechanik und Parametersatz.

Warum? Eine falsche Kompensationsrichtung kann das Außenteil verkleinern und das Loch vergrößern. Doppelte Kompensation verschiebt das Maß zweimal.

Mikrostege planen

Mikrostege (Micro joints) verbinden das Teil über kleine ungeschnittene Bereiche mit dem Restgitter. Sie verringern Kippen, Aufstellen und Kollisionen kleiner Teile mit dem Kopf. Breite und Anzahl hängen von Werkstoff, Dicke, Form, Auflage und späterem Trennen ab. Dieses Handbuch gibt keine allgemeine Größe vor.

Ziel: Halten Sie das Teil bis zum Schnittende stabil. **Benötigt:** Verschachtelung, Entnahmeplan und zulässiger Oberflächenbereich.

1. Ermitteln Sie kipp- und absturzgefährdete Teile.
2. Wählen Sie Stegpositionen abseits kritischer Maße, Löcher, Sichtflächen und scharfer Ecken.
3. Bestimmen Sie Größe und Anzahl durch Versuche. Vermeiden Sie zu schwache Stege und unnötig hohe Trennkräfte.
4. Prüfen Sie in Simulation und Erstteil, dass die Stege tatsächlich ungeschnitten bleiben.

! Reißen Sie das Teil nicht heraus

Verwenden Sie ein geeignetes Trenn- und Entgratverfahren, ohne dünne Teile zu verbiegen. Das Restgitter kann sich durch anhängende Teile unerwartet bewegen.

Warum? Stege können die Schneidsicherheit erhöhen. Falsche Positionen können jedoch Maße oder Aussehen beeinträchtigen.

4.6 Schneidreihenfolge, Blechplatzierung und Kantenerkennung

Die allgemeine Reihenfolge geht von innen nach außen: zuerst Löcher und kleine Innenkonturen, dann die Außenkontur. Eine zuerst geschnittene Außenkontur lockert das Teil. Beim anschließenden Innenschnitt können Lage und Auflage verloren gehen. Von klein nach groß ist oft ebenfalls sinnvoll. Bewerten Sie aber die gesamte Verschachtelung hinsichtlich Wärme, schmaler Verbindungen und Kippgefahr.

Direkt aufeinanderfolgende Schnitte benachbarter kleiner Teile stauen Wärme im selben Bereich. Verteilen Sie die Schneidfolge auf verschiedene Bereiche und beobachten Sie Aufstellen und Verzug des Blechs. Kurze Leerwege sind nicht das einzige Ziel. Verwenden Sie gemeinsame Schnittkanten (Common line) oder Flycut nur mit geeigneter Software- und Maschinenfunktion sowie geprüftem Parametersatz. Einzelheiten finden Sie in Abschnitt 06.

Entscheidung	Prüfung
Von innen nach außen	Wird das Teil vor Abschluss der Innenkonturen frei?
Von klein nach groß	Kippt ein kleines Teil frühzeitig und blockiert spätere Wege?
Wärmeverteilung	Häufen sich aufeinanderfolgende Einstechungen und Schnitte auf engem Raum?
Auflage	Liegt das Teil nach dem Schnitt auf Lamellen auf? Sind Mikrostege nötig?
Leerfahrt	Fährt der Kopf über gekippte Teile oder aufgestelltes Restgitter?

Kantenerkennung und Blechwinkelkorrektur

Ziel: Platzieren Sie das Programm innerhalb der realen Blechgrenzen und im richtigen Winkel. **Benötigt:** Referenzierte und kalibrierte Maschine, eben aufgelegtes Blech und unterstütztes Kantenerkennungsverfahren.

1. Legen Sie das Blech auf geeignete Auflagen. Prüfen Sie Sicherung und Oberfläche. Versuchen Sie nicht, schräges, loses oder aufgewölbtes Blech per Software zu korrigieren.
2. Prüfen Sie Maschinenkoordinaten und Werkstücknullpunktwahl. Übernehmen Sie den Nullpunkt des vorherigen Blechs nicht ungeprüft.
3. Starten Sie die Herstellerfunktion zur Kantenerkennung. Auf dem Messpfad dürfen keine Löcher, unterbrochenen Kanten oder Spannmittel liegen.
4. Vergleichen Sie berechneten Blechwinkel und Rand mit der erwarteten Lage. Akzeptieren Sie keine verkehrte Richtung oder überraschenden Winkel.
5. Aktualisieren Sie die Platzierung. Prüfen Sie durch Rahmenfahrt, dass der ganze Auftrag auf dem Blech liegt.

! Kantenerkennung ist keine Referenzfahrt

Eine Blechwinkelkorrektur beseitigt keine falsche Maschinenreferenz. Prüfen Sie bei neuem Blech, Paletten- oder Nullpunktwechsel die Fahrgrenzen erneut.

Warum? Schon eine kleine Winkelabweichung kann den Auftrag an der entfernten Ecke über den Blechrand führen. Eine Softwaretransformation ist nur bei richtiger Messung zuverlässig.

Bildschirmaufnahme: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **Blechkantenmessung, ermittelter Winkel und Auftragsplatzierung innerhalb der realen Blechgrenzen**

4.7 Simulation, Start und Fortsetzen nach Unterbrechung

Schneiden starten

Ziel: Starten Sie den geprüften Auftrag mit einem kontrollierten ersten Schnitt. **Benötigt:** Freigegebene Datei und Parameter, geeignetes Blech, Schutzeinrichtungen, Gas, Kühlung und Absaugung.

1. Prüfen Sie in der Simulation abschließend Reihenfolge, Einstechungen, Anschnitte, Ausläufe, Kompensation und Mikrostege.
2. Führen Sie Rahmenprüfung und Trockenlauf ohne Strahl in der Reihenfolge aus Abschnitt 3.5 durch.
3. Prüfen Sie, dass Kabine und Palettenbereich frei bzw. geschlossen sind. Prüfen Sie die richtige Gaswahl sowie Bereitschaft von Versorgung unter Durchfluss und Absaugung.
4. Starten Sie den Schnitt nach Herstellerverfahren. Beobachten Sie erstes Einstechen und Kante nur durch freigegebene Sichtfenster oder Kameras.
5. Stoppen Sie bei ungewöhnlichen Funken nach oben, anhaltendem Nichtdurchtrennen, Rauchansammlung, Kollision oder Alarm. Vergrößern Sie den Fehler nicht durch Weiterarbeiten.
6. Entnehmen Sie das erste Teil zu einem sicheren Zeitpunkt und führen Sie die Prüfung aus Abschnitt 4.8 durch. Beginnen Sie die Serienfertigung erst nach Freigabe.

Greifen Sie nicht in den Schneidbereich ein

Drücken Sie während des Betriebs keine Teile nieder, entnehmen Sie keine gekippten Teile und räumen Sie nicht vor dem Kopf auf. Stoppen Sie wie erforderlich und stellen Sie sichere Zugangsbedingungen her.

Warum? Die ersten Konturen zeigen falsches Gas oder einen falschen Nullpunkt frühzeitig. Mit fortschreitendem Programm steigen Material- und Zeitkosten des Fehlers.

Pause und Wiederaufnahmepunkt

Die Wiederaufnahme (Breakpoint) setzt ein unterbrochenes Programm an einem gespeicherten Punkt fort. Welche Gas-, Einstech- und Bewegungszustände die Steuerung speichert, ist versionsabhängig. Pause, Not-Halt und Stromausfall erfordern unterschiedliche Wiederherstellungsverfahren.

Ziel: Setzen Sie den Restauftrag aus sicherer Position an der richtigen Kontur fort. **Benötigt:** Unveränderte Blech- und Teilelage, bekannte Stoppursache und Softwareverfahren zur Wiederaufnahme.

1. Ermitteln und beseitigen Sie die Stoppursache. Führen Sie bei Kollision oder Referenzzweifeln zuerst mechanische Prüfung, Referenzfahrt und erforderliche Kalibrierung durch.
2. Stellen Sie sicher, dass Blech, Palette und Teile unverändert liegen. Prüfen Sie Auftragsdatei, Werkstücknullpunkt, Winkel und Layer.
3. Prüfen Sie gespeicherten Wiederaufnahmepunkt sowie geschnittene und ungeschnittene Pfade. Wählen Sie Rückfahr- und Wiedereinstechstrecke nach Herstellerverfahren.
4. Halten Sie den Kopfrückweg frei. Prüfen Sie, dass erneutes Einstechen keine Fertigkante beschädigt und kein gelöstes Teil trifft.
5. Schließen Sie die Schutzeinrichtungen. Starten Sie mit dem vorgesehenen Fortsetzungsbefehl und beobachten Sie den ersten Wiederanschluss.

Ohne Positionsdaten nicht nach Schätzung fortsetzen

Verschobenes Blech oder verlorene Referenz gelten durch eine Bildschirmmarkierung nicht als korrigiert. Stoppen und planen Sie neu, wenn kein autorisiertes Neupositionierungsverfahren verfügbar ist.

Warum? Einige Schritte vor der Kontur fortzusetzen ist nicht unter allen Bedingungen sicher. Dabei kann ein bereits freies Teil erneut geschnitten werden.

4.8 Teileentnahme, Erstteilprüfung und Dokumentation

Teil und Restgitter sicher entnehmen

Ziel: Entladen Sie heißes, scharfes oder instabiles Material kontrolliert. **Benötigt:** Stopp- und Zugangsfreigabe, geeignete PSA, Hebezeuge und Ablagefläche.

1. Prüfen Sie, dass der Schnitt beendet, der Strahl sicher deaktiviert und Kopf sowie Portal geparkt sind. Nähern Sie sich erst nach Ende der Palettenbewegung.
2. Bewerten Sie die Abkühlung von Teilen und Schlacke. Fehlende Rotglut bedeutet nicht, dass sie kalt sind.
3. Prüfen Sie Mikrostege und ungeschnittene Stellen. Ziehen Sie Teile nicht gewaltsam heraus. Nutzen Sie das festgelegte Trennverfahren.
4. Verhindern Sie, dass kleine Teile zwischen die Lamellen fallen und sich das Restgitter zusammenbiegt. Wenden Sie bei schweren Teilen den geeigneten Hebe- und Transportplan an.
5. Heben Sie das Restgitter ausgewogen an. Prüfen Sie scharfe Kanten und darunter verhakte Teile. Reinigen Sie den Tisch im sicheren Stillstand.

Betreten Sie das Restgitter nicht

Schmale angeschnittene Verbindungen können unter Belastung brechen. Greifen Sie nicht zur Teileentnahme unter den Tisch. Verwenden Sie das geeignete Zugangs- und Energieisolationsverfahren.

Warum? Nach dem Schneiden ändert sich die Tragsteifigkeit des Blechs. Ein großes Restgitter kann sich bei geringer Bewegung zusammenfalten und scharfe Kanten bilden.

Erstteil freigeben

Ziel: Prüfen Sie Maß- und Kantenqualität vor der Serienfertigung. **Benötigt:** Technische Zeichnung, kalibriertes Messmittel, abgekühltes Teil und Protokoll.

1. Prüfen Sie richtiges Teil, Revision und Material. Bewerten Sie Grat oder Temperaturunterschiede, die die Messung beeinflussen.
2. Messen Sie kritische Außenmaße, Löcher, Lochpositionen und bei Bedarf Ecken. Entnehmen Sie Toleranzen der Zeichnung.
3. Prüfen Sie obere und untere Kante, Grat (Dross), Konizität, Riefen, Abbrand, Verfärbung und Anschnittspur.
4. Ordnen Sie den Fehler ein und führen Sie mithilfe von Abschnitt 13 Versuche mit jeweils einer veränderten Größe durch. Verwenden Sie stets dieselben Messbedingungen.
5. Dokumentieren Sie das freigegebene Ergebnis nach dem Verfahren der verantwortlichen Person. Setzen Sie erst danach die Serie fort.

Erhöhen Sie die Geschwindigkeit nicht zulasten der Qualität

Ein herausfallendes Teil allein ist kein ausreichendes Akzeptanzkriterium. Erfüllen Sie auch die Kantenanforderungen für Schweißen, Lackieren oder Montage.

Warum? Ohne gemeinsame Bewertung von Maß und Kante können maßhaltige, aber unbrauchbare Teile entstehen.

Protokollfeld	Inhalt
Auftrag / Material	Zeichnungsrevision, Dateiname, Charge, Art, Dicke und Oberfläche
Parametersatz	Gas, Druck, Düse, Höhe, Fokus, Leistung, Geschwindigkeit und Einstecheinstellung
Ergebnis	Maße, Kante/Grat, Versuchsänderung und Foto
Rückverfolgbarkeit	Maschine, Bediener, Datum, Parameterrevision und Freigabe

Der Vorbereitungsablauf berücksichtigt den allgemeinen Bearbeitungsansatz der FSCUT-Familie und die Schneidprüfpunkte von Linde. Maßgeblich sind die tatsächliche Softwareversion und die Anweisungen des Maschinenherstellers.

05

Verschachtelung (Nesting)

Bei der Verschachtelung werden die bestellten Teile in einer schneidbaren Anordnung auf dem Blech platziert. Nutzen Sie das Material gut und berücksichtigen Sie Wärme, Leerwege und Trennaufwand.

5.1 Ziel der Verschachtelung und Begriffe

Verschachtelung füllt nicht nur Lücken. Sie soll mehr Gutteile aus demselben Blech gewinnen, Verschnitt reduzieren und Einstechzahl sowie Schneidzeit senken. Schwer trennbare, gekippte oder thermisch beschädigte Teile zehren die Materialeinsparung auf. Bewerten Sie das Ergebnis anhand akzeptierter Teile und des gesamten Arbeitsaufwands.

Begriff	Bedeutung	Bedienerprüfung
Blech / Platte	Ausgangsmaterial für die Verschachtelung.	Prüfen Sie Werkstoff, Dicke, tatsächliche Maße und Oberfläche.
Teil	Zu fertigende geschlossene Außenkontur mit gegebenenfalls vorhandenen Innenkonturen.	Prüfen Sie Stückzahl, Revision und Löcher.
Teileabstand (Spacing)	Freiraum zwischen benachbarten Teilen.	Lassen Sie Platz für Anschnitt und Wärmeeinfluss.
Randabstand (Margin)	Abstand zwischen Blechrand und nächstem Teil.	Berücksichtigen Sie wellige Kanten, Spannbereiche und Auflagen.
Drehwinkel	Zulässige Drehrichtungen eines Teils in der Verschachtelung.	Halten Sie Vorgaben zu Faser-, Bürst- und Folienrichtung ein.
Gemeinsame Schnittkante (Common line)	Gemeinsame Grenze zweier Teile wird nur einmal geschnitten.	Prüfen Sie Maßkompensation und Schnittfolge der gemeinsamen Kante.
Teil im Ausschnitt (Part-in-part)	Ein Teil liegt im späteren Innenabfall eines größeren Teils.	Schneiden Sie das innere Teil, bevor der tragende Ausschnitt freigeschnitten wird.
Restgitter (Skeleton)	Zusammenhängendes Blechnetz nach der Teileentnahme.	Prüfen Sie, dass es beim Heben und Entladen nicht zerfällt.
Restblech (Remnant)	Für spätere Aufträge aufbewahrtes nutzbares Material.	Dokumentieren Sie Form, Richtung, Dicke und Bestandskennung.

Die Schnittspaltbreite hängt mit der Schnittspaltkompensation zusammen und ist nicht der Teileabstand. Prüfen Sie, ob die Software Abstände zwischen Nennkonturen oder kompensierten Schneidpfaden misst. Wenden Sie die Kompensation nicht zweimal in derselben Datei an.

5.2 Automatische und manuelle Verschachtelung

Die automatische Verschachtelung prüft schnell viele Anordnungen. Bei falschen Stückzahlen, Drehwinkeln, Blechmaßen, Abständen oder Randabständen liefert sie schnell falsche Ergebnisse. Manuelle Platzierung ist bei Einzelteilen, unregelmäßigen Restblechen und richtungsgebundenen Oberflächen nützlich. Eine manuelle Korrektur des automatischen Ergebnisses ist oft sinnvoll.

Ziel: Erstellen Sie eine sicher schneidbare Anordnung, die die Fertigungsanforderungen einhält.

Benötigt: Freigegebene Zeichnung, Teileliste, Blechmaße, Materialdaten und maschinengeeigneter Schneidparametersatz.

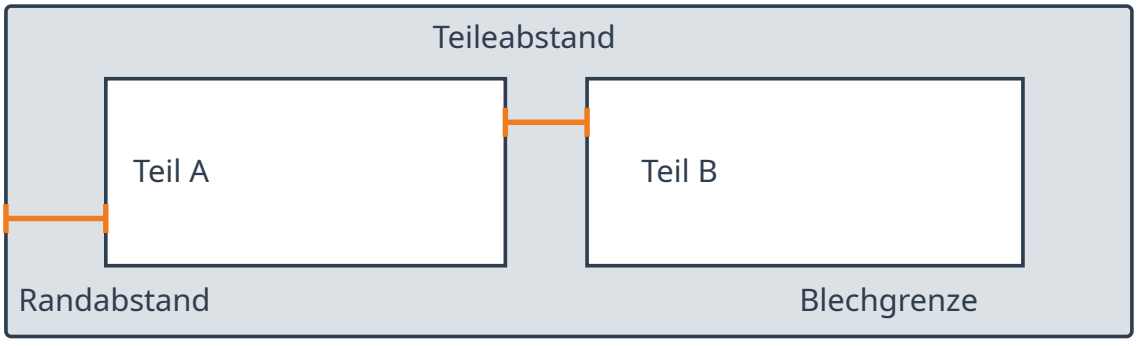
1. Prüfen Sie offene Konturen und überlagerte Linien. Verwenden Sie für den Arbeitsablauf Abschnitt 4.
2. Definieren Sie die tatsächliche Blechgrenze. Sperren Sie fehlerhafte, krumme und zum Spannen reservierte Bereiche.
3. Weisen Sie jedem Teil die richtige Stückzahl und zulässige Drehwinkel zu. Sperren Sie das Spiegeln, wenn es unzulässig ist.
4. Platzieren Sie zuerst große und richtungsgebundene Teile. Probieren Sie kleine Teile in den Restflächen aus.
5. Starten Sie die automatische Verschachtelung oder verschieben Sie Teile manuell. Prüfen Sie Anschnitte, gemeinsame Kanten und ineinanderliegende Teile.
6. Prüfen Sie Schnittfolge und Leerfahrten in der Simulation. Vergleichen Sie die tatsächliche Teilezahl mit dem Auftrag.

> **Achtung**
> Entfernen Sie keine Richtungssperre, Randabstände oder sicheren Abstände zur Erhöhung der Ausnutzung. Stellen Sie sicher, dass vermeintliche Freiflächen der Simulation an der Maschine nicht durch Spannmittel belegt sind.

Warum? Ein Verschachtelungsfehler betrifft das ganze Blech. Auch bei gutem Erstteil ändern sich Auflage- und Wärmebedingungen bei den letzten Teilen.

5.3 Teileabstand, Randabstand und Richtung

Planen Sie als Ausgangspunkt meist mindestens einen Teileabstand in Blechdicke ein. Bei dünnem Blech sind 1–3 mm ein häufig genutzter Planungsbereich. Das sind weder Schneidparameter noch allgemeine Mindestwerte. Anschnitt, Einstechkrater, Wärmestau und Teileauflage können größere Abstände erfordern. Übernehmen Sie Dünnblechabstände nicht direkt für dicke Bleche.



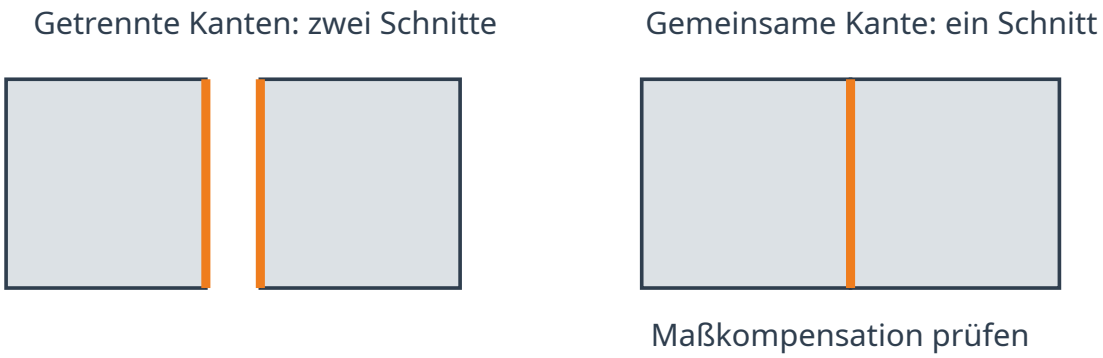
Schematische Maße. Definieren Sie Teile- und Randabstand getrennt.

Reservieren Sie am Blechrand Platz für Einstechen und Anschnitt. Betrachten Sie eine krumm geschnittene Kante nicht als nutzbare Grenze. Prüfen Sie statt eines festen Randwerts den realen Kantenzustand, Kopfweg und Maschinenarbeitsraum.

Erhalten Sie bei gebürstetem Edelstahl die Oberflächenrichtung, bei Biegeteilen die geforderte Walzrichtung und bei dekorativen oder folierten Blechen die Ansichtsrichtung. Begrenzen Sie Drehwinkel nach den Richtungsvorgaben der Zeichnung. Spiegeln ist nicht dasselbe wie Drehen.

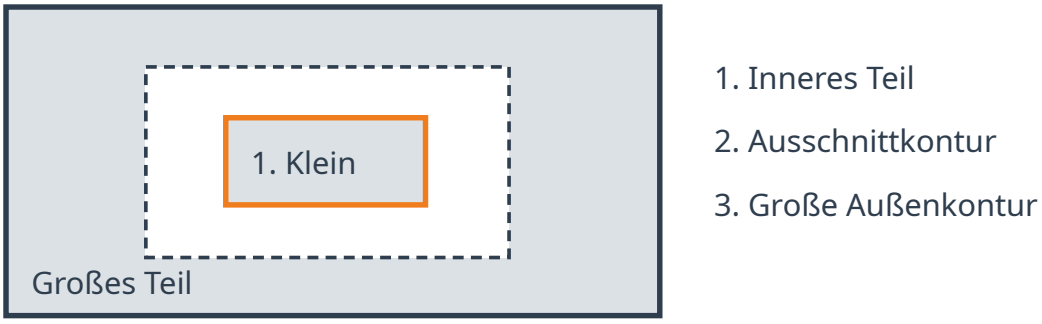
5.4 Gemeinsame Schnittkante und Teil im Ausschnitt

Gemeinsame Schnittkanten können bei dünnem Blech Schneidweg und Einstechzahl reduzieren. Legen Sie nicht einfach zwei unabhängige Linien übereinander. Verwenden Sie die entsprechende Softwarefunktion. Die Kompensation der gemeinsamen Linie muss zu beiden Teilemaßen passen. Messen Sie bei engen Toleranzen zuerst ein Muster.



Die orange Linie zeigt die Schnittkante. Bei dickem Blech stauen aufeinanderfolgende Nachbarschnitte Wärme im selben Bereich.

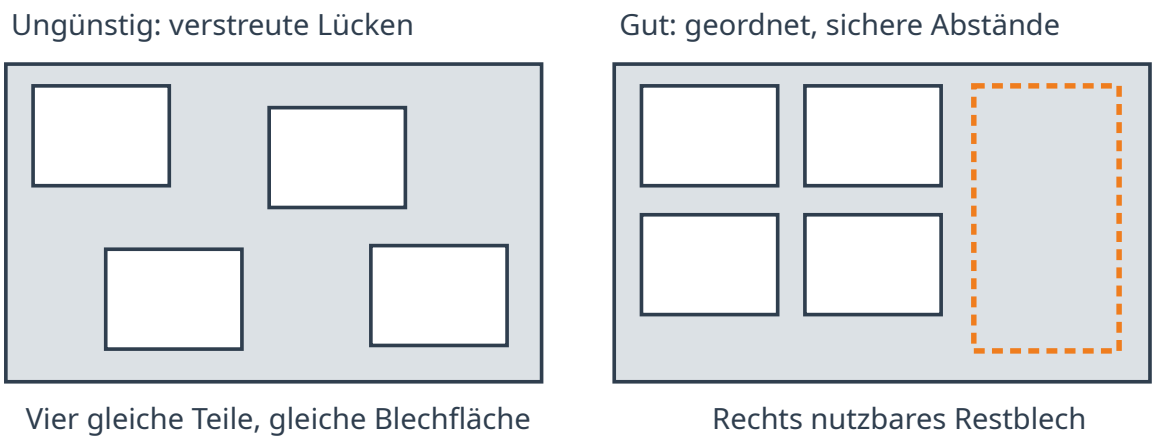
Bei dickem Blech steigen durch erneutes Erhitzen der gemeinsamen Linie die Risiken von Eckenabbrand und Maßänderungen. Vergleichen Sie den Materialgewinn mit Schnittqualität und Trennaufwand. Verwenden Sie nicht für alle Werkstoffe dieselbe Anordnung gemeinsamer Schnittkanten.



Nach dem Ausschneiden und Herabfallen des Innenausschnitts können Sie das darin liegende Teil nicht mehr schneiden. Sorgen Sie auch für die Auflage des kleinen Teils auf dem Rost.

5.5 Schneidfolge und gute Verschachtelung

Schneiden Sie Innenlöcher in der Regel vor der Außenkontur. Verteilen Sie Schnitte über das Blech, statt benachbarte Bereiche nacheinander zu erhitzen. Geben Sie lange, schmale Teile nicht frühzeitig frei. Prüfen Sie gegen Herabfallen und Aufstellen kleiner Teile die Mikrostege aus Abschnitt 6.2.



Gleiche Teilefläche ergibt dieselbe unmittelbare Ausnutzung. Die Form der Restfläche beeinflusst den Nutzen im nächsten Auftrag. Das Schema zeigt keine Schneidfolge.

Der kürzeste Leerweg ist nicht immer der sicherste. Führen Sie den Kopf nicht über gelöste Teile. Abschnitt 6.6beschreibt Leapfrog. Diese Funktion macht aufgestellte Teile im Fahrweg nicht sicher. Bewerten Sie die Restgitterstabilität bis zum Schnittende.

5.6 Restbleche erfassen und wiederverwenden

Ziel: Lagern Sie nutzbare Restbleche als Bestand mit bekanntem Werkstoff und bekannter Grenze.

Benötigt: Restblechverwaltung oder Formular, Messmittel, dauerhafte Bestandskennzeichnung und sichere Transportmittel.

1. Lassen Sie das Blech nach dem Schneiden abkühlen. Trennen Sie den nutzbaren Bereich vom scharfen, instabilen Restgitter.
2. Dokumentieren Sie Werkstoffgüte, Dicke, Charge und Richtungsvorgaben. Bestimmen Sie Edelstahlgüten nicht nach dem Aussehen.
3. Messen Sie die äußere Restblechkontur. Erfassen Sie Aussparungen und Fehler. Beschränken Sie sich nicht auf ein umschließendes Rechteck.
4. Vergeben Sie dieselbe Kennung für physisches Etikett und Softwarebestand. Ergänzen Sie den Lagerort.
5. Prüfen Sie beim erneuten Beladen Richtung, Referenz, Auflagen und kapazitive Höhenerfassung. Führen Sie die Grenzprüfung bei ausgeschaltetem Laser aus.

> **Achtung**
> Verwenden Sie kleine oder verbogene Reste nicht allein deshalb, weil sie auf den Tisch passen. Schneiden Sie kein schwankendes Material, das entlang des Kopfwegs nicht ausreichend abgestützt ist.

Warum? Eine falsche Materialkennung gefährdet den nächsten Auftrag. Eine falsche Grenze kann Einstechen ins Leere und Kopfkollisionen verursachen.

5.7 Restgitter teilen und Ausnutzung berechnen

Restgittertrennschnitte (Scrap cuts) teilen das verbliebene Netz in transportierbare Stücke. Halten Sie Trennlinien von Fertigteilen und aufzubewahrenden Resten fern. Prüfen Sie Auflagen und Schnittfolge in der Software. Teilen Sie nicht so, dass das Restgitter vorzeitig zusammenbricht. Entnehmen Sie schwere Restgitter mit geeigneten Hebezeugen. Ziehen Sie bei laufender Maschine nicht am Blech.

> **Achtung**
> Das Restgitter kann heiß, scharf und instabil sein. Stoppen Sie Bewegungen, stellen Sie einen sicheren Laserzustand her und befolgen Sie das Entladeverfahren. Berücksichtigen Sie das Zurückfedern dünner Streifen, fallende Teile und Zerfallen beim Heben.

Flächenausnutzung (%) = gesamte Nettofläche akzeptierter Teile ÷ eingesetzte Blechfläche × 100. Ziehen Sie Löcher von der Nettoteilefläche ab, wenn dort kein Produktmaterial verbleibt. Verschnitt, Schnittspalt und ungenutzte Fläche bleiben im Nenner enthalten.

Rechenbeispiel: Ein Blech misst 1.000 × 2.000 mm. Seine Fläche beträgt 2.000.000 mm². Bei einer gesamten akzeptierten Nettoteilefläche ohne Löcher von 1.500.000 mm² beträgt die Ausnutzung 1.500.000 ÷ 2.000.000 × 100 = **75 %**. Betrachten Sie die verbleibenden 25 % nicht vollständig als Schrott. Erfassen Sie nutzbare Reste getrennt. Diese Zahlen dienen nur als Beispiel zur Flächenberechnung.

Verwendet die Software die Außenkonturfläche, kann die Anzeige höher als die Nettoausnutzung sein. Vergleichen Sie mit derselben Definition. Ergänzen Sie Materialausnutzung um Einstechzahl, gesamten Schneidweg, erwartete Zeit und Trennaufwand.

5.8 Verschachtelungssoftware und Abschlussprüfung

Software	Einsatz	Vor Auftragsübergabe
Verschachtelung in CypCut	Grundlegende Verschachtelung innerhalb der Schneidvorbereitung; Funktionen sind versions- und lizenzabhängig.	Prüfen Sie verfügbare Optionen zur automatischen Verschachtelung und zu gemeinsamen Schnittkanten.
CypNest	Separat kostenpflichtige Verschachtelungssoftware bzw. Erweiterung; automatische Verschachtelung und Vorbereitung gemeinsamer Schnittkanten.	Prüfen Sie Lizenz und Dateikompatibilität mit der CypCut-Version.
Lantek	Lösungen für Blechverschachtelung und Schneidprogrammierung.	Prüfen Sie die passende Ausgabeumwandlung für Ihre Maschine.
SigmaNEST	Teilegruppierung, Verschachtelung und Fertigungsvorbereitung.	Prüfen Sie Kompatibilität von Schneidtechnologie und Steuerung.
ProNest	Verschachtelungslösung für viele Maschinen einschließlich Durma bei geeigneter Konfiguration.	Markenunterstützung allein reicht nicht. Prüfen Sie den Postprozessor für Modell und Steuerung.

Menünamen können je nach Version abweichen. Einstellungen für Verschachtelung, Drehung und Abstand liegen meist in der Auftragsvorbereitung. Marken und Lizenzen bieten unterschiedliche Optionen. Erstellen Sie die Ausgabe mit einem maschinengeeigneten Postprozessor, der die Daten in ein für die Steuerung verständliches Programm umwandelt.

- Stimmen Stückzahl, Revision, Richtung und Material?
- Liegen Anschnitte im freien Bereich? Stimmt die Reihenfolge der Innenkonturen und gemeinsamen Kanten?
- Sind Kippgefahr und Endzustand des Restgitters geprüft?
- Sind Restblecherfassung und Entladeverfahren vorbereitet?

Grundlage: Umfang von Verschachtelung und Software entspricht der Arbeitsvorgabe. Bestätigen Sie Abstandsempfehlungen durch Probeschnitte. Verwenden Sie für Schneidparameter Abschnitt 9.

06

Schneidtechniken

Derselbe Parametersatz liefert bei anderem Anschnitt und anderer Schnittfolge andere Ergebnisse. Halten Sie das Teil zuerst stabil. Verringern Sie danach Einstech-, Leerfahr- und Eckzeiten. Prüfen Sie neue Techniken am Muster, bevor Sie sie auf das ganze Blech anwenden.

6.1 Anschnitt und Auslauf wählen

Der Anschnitt (Lead-in) hält die Einstechstelle von der Fertigkante fern und führt den Strahl zur Kontur. Der Auslauf (Lead-out) steuert den Übergang am Konturende. Den Weg von der Zeichnung zum Programm beschreibt Abschnitt 4. Wählen Sie hier die passende Art zur Teileform.

Art	Geeigneter Fall	Prüfpunkt
Gerader Anschnitt	Einfache Konturen mit großer Abfallfläche.	Spur eines harten Konturanschlusses und Abstand des Einstechkraters.
Bogenanschnitt	Teile mit gewünschtem sanftem Übergang zur Fertigkante.	Bogen bleibt im Abfall und überschneidet weder Nachbarteile noch enge Löcher.
Tangentialer Anschnitt	Kanten mit erforderlichem richtungsgleichem Konturanschluss.	Tangentiale Verlängerung trifft das Produkt nicht und erzeugt keine übermäßige Wärme.
Kurzer Anschnitt	Enge Innenausschnitte.	Einstechen vollständig; Krater erreicht keine Maßfläche.
Kein / kurzer Auslauf	Aufträge, bei denen das Teil beim Konturschluss frei wird.	Keine ungeschnittene Stelle oder erneut ausgebrannte Kerbe am Ende.
Bogen- oder Tangentialauslauf	Konturen, bei denen die Endspur in den Abfall verlegt werden kann.	Auslauf folgt nicht dem gelösten Teil und schneidet keine Nachbarkontur.

Bei Außenkonturen liegt der Anschnitt meist außerhalb des Teils, bei Innenkonturen im Lochabfall. Prüfen Sie Einstechpunkt und Konturanschlusspunkt getrennt. Legen Sie den Anschnitt nicht in enge Ecken, auf funktionale Maßflächen oder Mikrostege. Dickes Blech kann mehr Platz für Krater und Spritzer erfordern.

Bewerten Sie Anschnittlänge und -geschwindigkeit unabhängig vom Hauptschnitt. Unnötig lange Anschnitte erhöhen Zeit und Wärme. Zu kurze erreichen das Produkt vor stabilem Schnitt. Entnehmen Sie Zahlenwerte Abschnitt 9 und der Anschnitt-/Einstechtabelle Ihrer Maschine.

6.2 Mikrostege und Brücken

Mikrostege (Micro joints) halten das Teil am Restgitter, indem ein kleiner Konturbereich ungeschnitten bleibt. Verwenden Sie sie bei kleinen, langen schmalen oder zwischen Auflagen liegenden Teilen. Sie sollen Herabfallen und Aufstellen in den Kopfweg verhindern. Stegspuren an Sichtkanten erfordern Nacharbeit.

Eine Brücke (Bridge) kann je nach Software eine tragende Verbindung zwischen Teilen oder einen konturverbindenden Pfad bezeichnen. Verlassen Sie sich nicht auf den Namen. Prüfen Sie in der Simulation, wo Material stehen bleibt und wo geschnitten wird. Setzen Sie Brücken und Mikrostege nicht gleich.

Entscheidung	Ausgangsansatz	Akzeptanzkriterium am Muster
Steggröße	Wählen Sie die Maschinen- oder Softwareempfehlung nach Dicke, Materialfestigkeit und Teilegewicht.	Das Teil hebt sich beim Schneiden nicht und verbiegt sich beim Trennen nicht.

Entscheidung	Ausgangsansatz	Akzeptanzkriterium am Muster
Steganzahl	Halten Sie lange und instabile Teile an mehreren geeigneten Punkten.	Gasstrahl und letzter Schnitt reißen die Stege nicht ab.
Position	Bevorzugen Sie zugängliche gerade Kanten ohne Maß- oder Sichtanforderung.	Die Stegspur beschädigt keine Funktionsfläche.
Leichte Trennbarkeit	Bestimmen Sie am Muster die kleinste sichere Verbindung.	Das kalte Teil lässt sich mit geeignetem Werkzeug ohne Kantenausriss trennen.

Übertragen Sie keine feste Stegbreite auf alle Werkstoffe. Zu dünne Stege reißen früh, zu dicke erhöhen den Trennaufwand. Prüfen Sie auch Auflagepositionen. Ein Steg gleicht fehlende Auflage nicht immer aus.

Achtung

Brechen Sie Stege nicht bei laufender Maschine von Hand. Stellen Sie beim Entladen einen sicheren Laserzustand her, lassen Sie das Teil abkühlen und verwenden Sie Werkzeug mit geeigneten Handschuhen. Richten Sie die Trennbewegung von Ihrem Gesicht und anderen Personen weg.

6.3 Eckenbearbeitung und Leistungs-Geschwindigkeits-Kurve

Bleibt die Leistung beim Abbremsen an einer Ecke gleich, steigt die Energie je Wegstrecke. Die exotherme Sauerstoffreaktion kann die Ecke zusätzlich ausbrennen. Prüfen Sie bei Eckenabbrand, erweiterten Löchern oder Maßverlust nicht nur die Geradengeschwindigkeit.

Die Leistungs-Geschwindigkeits-Kurve (Power curve) regelt die Leistung bei sinkender Geschwindigkeit. Frequenzkurve und Pulseinstellung können separate Funktionen sein. Menünamen können je nach Version abweichen. Meist finden sich Eckenleistung und geschwindigkeitsabhängige Leistung in Layer- oder Technologieeinstellungen. Bleiben Sie im zulässigen Betriebsbereich der Quelle.

Eine Eckenschleife kann den Pfad in den Abfall verlängern und eine scharfe Richtungsänderung flüssiger machen. Prüfen Sie, dass die Schleife keine Nachbarteile oder Sollmaße beeinträchtigt. Stellen Sie bei Kühlfunktionen sicher, dass der Laser im Bewegungsstillstand aus ist und das Gasverhalten zum Parametersatz passt. Stillstand mit eingeschaltetem Laser erhöht die Wärme.

- Prüfen Sie zuerst Düse, Gas und Oberflächenbedingungen.
- Ist die gerade Kante gut, untersuchen Sie Leistung und Bewegung an der Ecke.
- Ändern Sie nur die Kurve und schneiden Sie dieselbe Ecke erneut.
- Runden Sie nur ab, wenn die Zeichnung dies erlaubt. Ändern Sie keine Toleranz.

6.4 Kleine Löcher

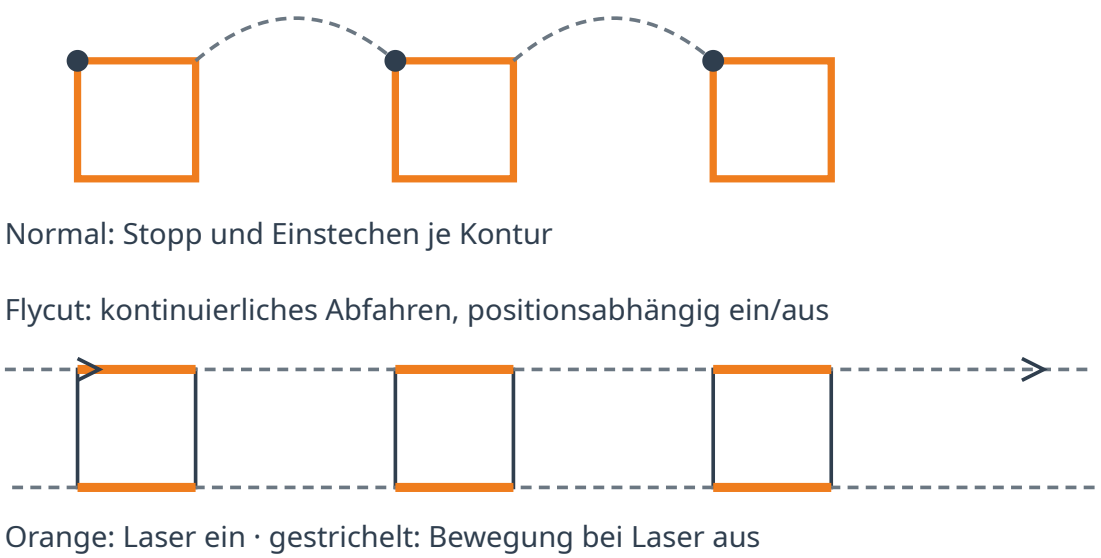
Bei Lochdurchmessern etwa in Blechdicke oder darunter werden runde, senkrechte und maßhaltige Löcher schwieriger. Dieses Verhältnis ist keine Leistungszusage. Einstechkrater, kurzer Fahrweg, Gasaustritt und lokale Energieansammlung wirken zusammen.

Pulsbetrieb und eine geeignete niedrige Geschwindigkeit können Teil einer freigegebenen Kleinlochtechnologie sein. Zu starkes Absenken der Geschwindigkeit allein kann das Loch ausbrennen und vergrößern. Bewerten Sie Leistung, Frequenz und Tastgrad zusammen mit der jeweiligen Technologie. Messen Sie den Innendurchmesser oben und unten. Dokumentieren Sie Ovalität und Konizität getrennt.

Fehlt innen Platz für den Anschnitt, erzwingen Sie kein Einstechen auf der Maßfläche. Prüfen Sie eine zeichnungskonforme alternative Fertigung. Pilotlöcher für späteres Bohren erfordern technische Freigabe. Vergrößern Sie Zeichnungsdurchmesser nicht eigenmächtig.

6.5 Flycut

Beim Flycut schaltet der Laser bei regelmäßig angeordneten Löchern und Rechtecken positionsabhängig ein und aus, ohne die Kopfbewegung anzuhalten. Bei geeigneten Dünnblechanwendungen entfallen einzelne Stopps und Einstechwartezeiten je Element. Das Einstechen muss während der Bewegung zuverlässig gelingen. Das Durchdringen des Blechs bleibt erforderlich.



Schema des Pfadprinzips. Unten sind nur horizontale Bahnen dargestellt. Weitere Bahnen zum Schließen der Rechtecke fehlen.

Bei dünnem Blech mit vielen regelmäßigen Öffnungen kann der Wegfall von Stopps viel Zeit sparen. Unterstellen Sie keinen festen Einsparprozentsatz. Vergleichen Sie den Gesamtzyklus desselben Auftrags. Berücksichtigen Sie auch Beladen, Kantenreinigung und Nacharbeit fehlerhafter Löcher.

Voraussetzung	Prüfung	Risiko bei Nichterfüllung
Regelmäßige Anordnung	Passen Teilung, Ausrichtung und Öffnungen zur Technik?	Ein-/Ausschaltpunkte verschieben sich; Kontur bleibt unvollständig.
Dünnes, ebenes Blech	Ist stabiles Einstechen während der Bewegung möglich?	Ungeschnittene Anfänge und Anhaftungen unten entstehen.
Maschinendynamik	Unterstützen Steuerung, Quellenansteuerung und Achsen diese Funktion?	Positions- und Maßfehler entstehen.
Geprüftes Einstechen	Sind alle Löcher einschließlich erster und letzter Reihe vollständig offen?	Wiederholungsfehler breiten sich über das ganze Blech aus.

Erzwingen Sie Flycut nicht bei zufällig verteilten Löchern, dickem Blech oder ununterstützten Programmen. Messen Sie die erste Reihe. Prüfen Sie Anfangs-/Endspuren und Grat. Beobachten Sie den Einfluss von Spritzern beim bewegten Einstechen auf das Schutzglas.

Unterscheiden Sie ähnlich aussehende Bewegungen

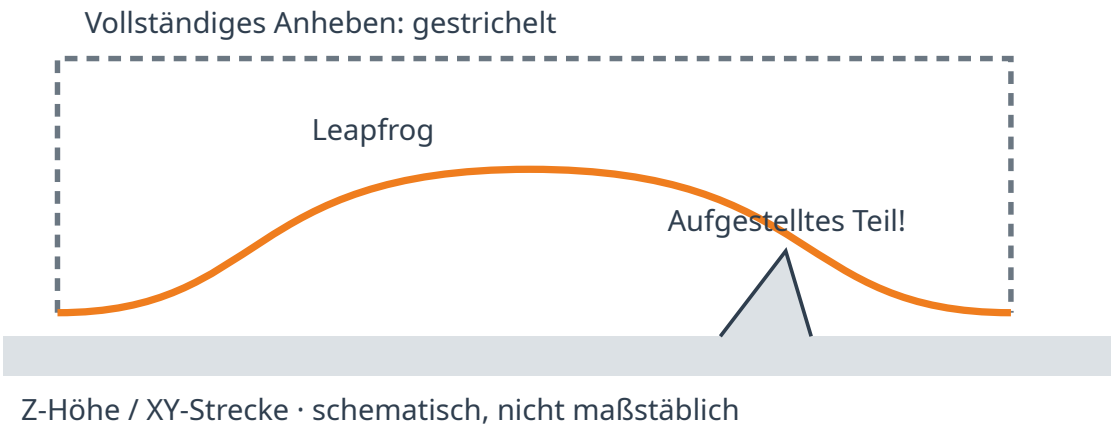
Vorgang	Wann arbeitet der Laser?	Hauptnutzen
Normales Konturschneiden	Folgt nach Einstechen und Anschnitt der Kontur; beim Wechsel zur nächsten Kontur ausgeschaltet.	Flexibler Pfad für frei geformte Teile.
Flycut	Schaltet während kontinuierlicher Bewegung positionsabhängig ein und aus.	Entfall von Stopps und Einstechwartezeiten je Kontur bei geeigneter Anordnung.

Vorgang	Wann arbeitet der Laser?	Hauptnutzen
Leapfrog	Beim Leerwechsel zwischen Konturen ausgeschaltet.	Kürzere Zeiten für Anheben, Verfahren und Absenken.
Voreinstechen	Zuerst an einzelnen Einstechpunkten, danach auf den Schneidpfaden.	Getrennte Steuerung von Einstechen und Konturschnitt.

Vorhandene Funktionen müssen nicht alle im selben Auftrag aktiviert werden. Stellen Sie zuerst mit der normalen Methode ein akzeptiertes Teil her. Bewerten Sie anschließend unterstützte Techniken anhand von Gesamtzeit und Qualität.

6.6 Leapfrog

Leapfrog kombiniert das Anheben und Absenken der Z-Achse kurvenförmig mit der XY-Bewegung, statt die Achse bei jedem Wechsel vollständig hoch- und herunterzufahren. Das verkürzt Leerfahrten. Tatsächliches Profil und zulässige Höhen hängen von Steuerung und Maschinendynamik ab.



Ein niedriger Übergang kann mit aufgestellten Teilen kollidieren. Dargestellt ist das räumliche Bewegungsprinzip, kein Zeitprofil.

Planen Sie Mikrostege, sichere Schnittfolge und Übergangsrouten gemeinsam. Fahren Sie besonders nach der letzten Außenkontur nicht über freigewordene Teile. Geben Sie bei welligem Blech und ungestützten Resten der Zeitersparnis keinen Vorrang. Die Simulation bildet Kippen nicht immer ab.

6.7 Voreinstechen, Kühlpunkte und Reihenfolge

Beim Voreinstechen (Pre-pierce) werden zuerst die vorgesehenen Einstechpunkte geöffnet und danach die Konturen geschnitten. Das hilft bei dickem Blech, Spritzer und Wärmelast getrennt zu steuern. Es kann Leerwege, Gasverbrauch und Gesamtzeit erhöhen. Voreinstechen und Flycut sind verschieden. Beim Voreinstechen bleiben einzelne Einstechzyklen bestehen.

Verschiebt sich ein vorgeöffnetes Loch, trifft der zweite Durchgang volles Material. Bewegen Sie das Blech zwischen den Durchgängen nicht und erhalten Sie die Referenz. Prüfen Sie, dass nach dem Einstechen keine Schlacke, also erstarrte Schmelze, im Nachführweg des Kopfes liegt. Einzelheiten zum Einstechen stehen in Abschnitt 12.

Verwenden Sie Kühlpunkte oder Kühlpausen nur über freigegebene Steuerungsfunktionen. Der Parametersatz bestimmt bei ausgeschaltetem Laser, ob das Gas ein- oder ausgeschaltet ist. Bei heißem Blech ist der Wechsel in eine andere Zone oft sinnvoller als die nächste direkt benachbarte Kontur.

- Passen Sie die Folge Innenkonturen → gestützte kleine Teile → große Außenkonturen dem Auftrag an.
- Stauen Sie Wärme nicht in einer Ecke. Verteilen Sie sie über die Teile.

- Prüfen Sie gemeinsame Schnittkanten und Mikrostege gesondert in der Reihenfolge.
- Prüfen Sie das Verhalten von Restgitter und Restblech beim letzten Außenschnitt.

6.8 Neue Technik einführen

Ziel: Bestätigen Sie Zeitgewinn bei erhaltener Teilequalität.

Benötigt: Freigegebener Grundparametersatz, Muster desselben Materials, Messmittel und Versuchsprotokoll.

1. Schneiden Sie ein Muster mit der Grundmethode. Dokumentieren Sie Maße, Kante, Einstechzahl und Zykluszeit.
2. Aktivieren Sie nur eine Technik. Prüfen Sie Softwareunterstützung und Simulation.
3. Prüfen Sie die Grenzen bei ausgeschaltetem Laser. Beobachten Sie die erste kleine Gruppe hinter dem geschlossenen Maschinenschutz.
4. Messen Sie abgekühlte Teile. Vergleichen Sie obere und untere Kanten, Ecken und Anschnittspuren.
5. Kehren Sie bei Kollisionsgefahr, ungeschnittenen Stellen oder Qualitätsverlust zur Grundmethode zurück. Speichern Sie geeignete Ergebnisse als Parametersatz mit Revision.

> **Achtung**
> Öffnen Sie keine Tür zur Bewegungsbeobachtung und deaktivieren Sie keine Verriegelungen. Stoppen Sie den Automatikzyklus sicher, wenn sich am Muster Aufstellen oder Kollisionsanzeichen zeigen.

Warum? Eine kurze angezeigte Programmzeit allein ist kein Erfolg. Gesamtzeit und Arbeitsaufwand je Gutteil müssen sinken.

6.9 Kurzer Hinweis zum Rohrschneiden

Dieser Leitfaden behandelt Flachblech. Beim Rohrschneiden erzeugen Drehachsen, Spannfutter, Rohrstützen und Strahldurchtritt auf die Rückwand andere Risiken. Separate Software wie TubesT und maschinenspezifische Rohrschneidtechnologie können erforderlich sein. Übertragen Sie Flachblechverschachtelung und -parameter nicht direkt auf Rohre.

Grundlage: Technischer Umfang nach Arbeitsvorgabe; Diagnoseansatz nach dem lokal vorliegenden Linde-Dokument „Laser cutting advice“. Schneidparameter stehen in Abschnitt 9. Prüfen Sie Softwarefunktionen in der installierten Version.

07

Schneidgaswahl

Das Schneidgas treibt geschmolzenes Metall aus der Schnittfuge und beeinflusst die chemische Beschaffenheit der Kante. Wählen Sie es nicht nur nach Preis. Bewerten Sie Werkstoff, Kantenanforderung, verfügbaren Druck und Folgeprozess gemeinsam.

7.1 Wie wirken Sauerstoff, Stickstoff und Druckluft?

Gas	Schneidmechanismus und Kante	Typische Konfiguration
O_2 Sauerstoff	Oxidation ist exotherm. Die chemische Reaktion liefert zusätzliche Wärme. Bei Baustahl bleibt eine Oxidschicht an der Kante.	Meist niedriger Druck, Doppelschichtdüse (D), positiver Fokus.
N_2 Stickstoff	Die Energie liefert überwiegend der Laser. Stickstoff treibt die Schmelze aus. Bei geeigneter Reinheit entsteht eine blanke, oxidfreie Kante.	Meist hoher Druck, Einschichtdüse (S), negativer Fokus.
Druckluft Trockene Druckluft	Ein Gemisch aus Stickstoff und Sauerstoff. Kann bei dünnem bis mitteldickem Blech wirtschaftlich und schnell sein. Leicht dunkle Kanten und geringer Grat sind möglich.	Geeigneter Kompressor, Trockner, Filter und freigegebener Druckluftparametersatz erforderlich.

O_2: Für Baustahl wird häufig ein typischer Niederdruckbereich von 0,5–1,5 bar genannt. Häufige O_2-Zeilen der lokalen Maxphotonics-Tabelle zeigen 0,6–0,9 bar. Verwenden Sie diese nicht als allgemeine Einstellung. Übernehmen Sie alle Werte der gewählten Zeile aus Abschnitt 9. Das spezielle O_2-Verfahren für Kupfer fällt nicht unter diese Niederdruckverallgemeinerung.

Entfernen Sie die Oxidschicht vor Lackieren und Schweißen nach den jeweiligen Arbeitsanforderungen. Direktes Lackieren oxidierter Kanten kann die Haftung beeinträchtigen. Mehr Sauerstoff löst nicht jeden Fehler. Zu hoher Druck kann Ecken ausbrennen und feine Details beschädigen.

N_2: Der allgemeine Hochdruckbereich wird mit 8–25 bar beschrieben. Die lokale Maxphotonics-Tabelle nennt bei vielen N_2-Zeilen 20 bar. Betrachten Sie diesen Bereich nicht als Ausrüstungsfreigabe. Zulässige Grenzen von Druckminderer, Leitung und Kopf gelten zusammen mit dem Maschinenparametersatz. Wegen des hohen Volumenstroms ist der Verbrauch meist größer als beim O_2-Schneiden.

Druckluft: Kann bei geeigneten dünnen bis mitteldicken Blechen Vorteile bei Zykluszeit und Gaskosten bieten. Betrachten Sie die Dickengrenze nicht als leistungsunabhängig. Der Sauerstoffanteil verhindert dieselbe oxidfreie Kante wie bei Stickstoff. Lassen Sie Aussehen und Eignung für Folgeprozesse am Muster freigeben.

> **Unterscheiden Sie Bereich und Parametersatz**
>
> Die allgemeinen Druckbereiche dieses Kapitels beschreiben Gasgruppen. Bedienereinstellungen ergeben sich aus der Material-Dicken-Leistungszeile in Abschnitt 9 und der freigegebenen Maschinentabelle. Übernehmen Sie Düse und Fokus aus derselben Zeile.

7.2 Reinheit und Druckluftaufbereitung

Setzen Sie die O_2-Zielreinheit auf mindestens 99,95 % (3.5). Verwenden Sie N_2 mit mindestens 99,995 %; streben Sie für Qualitätsarbeiten mit oxidfreier/blanker Kante 5.0 (99,999 %) an. Prüfen Sie auch die Feuchtigkeits- und Kohlenwasserstoffgrenzen der Raytools-BM115-Spezifikation: H_2O < 5 ppm, HC < 1 ppm. Bewerten Sie Gasliefernachweis und Leitungsverunreinigung gemeinsam; beachten Sie strengere Anforderungen des Maschinen-/Kopfherstellers.

Sauerstoff- und Feuchtigkeitsverunreinigungen im Stickstoff können Oxidation und Verfärbung an der Schnittkante verursachen; **Kohlenwasserstoffe** können die Optik schädigen. Die Gesamtreinheit allein garantiert nicht bei jedem Auftrag eine verfärbungsfreie Kante.

Stellen Sie trockene und ölfreie Druckluft bereit. Eine typische Aufbereitungskette ist **Kompressor → geeigneter Trockner → 1 µm Vorfilter → 0,01 µm Fein-/Koaleszenzfilter → Maschine**. Ordnen Sie Behälter, Ablass und Filter nach Kompressorherstellerplanung an. Diese beiden Filterfeinheiten allein entfernen nicht sämtlichen Öldampf oder alle Feuchtigkeit. Erfragen Sie die erforderliche Luftqualität beim Maschinenhersteller. ISO 8573-1:2010 gibt die Luftqualität als Klassentripel Partikel.Wasser.Öl an; BEKO empfiehlt für Partikel und Öl Klasse 1 oder 2, doch bestätigen Sie das vollständige Tripel für Ihre Maschine mit dem Hersteller/Kopflieferanten.

- Prüfen Sie Trocknerbetrieb und Kondensatablass.
- Überwachen Sie Filterwartung und Druckverlust. Ein verstopfter Filter reduziert trotz hohen Kompressordrucks den Durchfluss.
- Stoppen Sie bei Öl- oder Wassereintrag das Druckluftschneiden. Beginnen Sie erst nach Beseitigung der Ursache erneut.
- Gelangen Öl oder Wasser in den Schneidkopf, können Ablagerungen am Schutzglas zu Glasbrandstellen und Optikschäden führen.

Achtung

Verwenden Sie kein Öl oder Fett in der Sauerstoffleitung. Wählen Sie gasgeeignete Ausrüstung. Lösen Sie keine druckbeaufschlagten Anschlüsse. Isolieren Sie die Leitung bei Wartung und prüfen Sie die Druckfreiheit. Sorgen Sie in geschlossenen Bereichen mit möglicher Stickstoffansammlung für Belüftung.

Reinheitsziele: Linde und Messer; H_2O/HC-Grenzen: Raytools BM115; Luftklassen: ISO 8573-1 und BEKO. Quellenlinks stehen in Anhang F.

Versorgung für das Schneiden mit Luft

Schreiben Sie das ISO-8573-1-Klassentripel in der Reihenfolge Partikel.Wasser.Öl. Die obige BEKO-Empfehlung betrifft Partikel/Öl; bestätigen Sie das vollständige Tripel einschließlich Wasserklasse mit dem Maschinen-/Kopflieferanten.

Die Anbieterleitfäden von Saidesi/GWK nennen einen 16-bar-Kompressor als übliche Wahl bei ≥3 kW und insgesamt 1,5–3 bar Druckverlust durch Trockner, Filter, Regler und Leitungen. Die Recherche entnahm diese Zahlen Suchzusammenfassungen; die Verluste unterscheiden sich je nach Anlage. Prüfen Sie den Druck bei Schneidgasfluss am Maschineneingang und an einer vom Hersteller erlaubten Messstelle auf der Düsenseite; 16 bar ist keine Düseneinstellung.

Die Trocknerempfehlungen unterscheiden sich: Die recherchierten Anbieterzusammenfassungen nennen Adsorptionstrockner für etwa -40 °C Drucktaupunkt und Kältetrockner für 3–5 °C; die Zuordnung der Empfehlungen zu einzelnen Anbietern wurde nicht bestätigt. Wählen Sie den Trocknertyp mit dem Lieferanten nach geforderter Wasserklasse und Spitzenvolumenstrom. **DOKTEK-Regel — keine Primärquelle:** Überwachen und protokollieren Sie den Drucktaupunkt; stoppen Sie bei überschrittener Abnahmegrenze oder beschlagenem Schutzglas das Luftschneiden und prüfen Sie Trockner, Kondensatableiter und Filter.

ISO 8573-1 · BEKO · Saidesi 16 bar · Saidesi 2026 · GWK

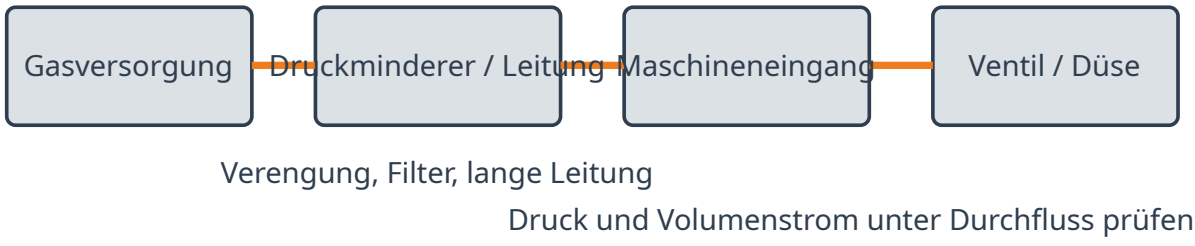
7.3 Gasversorgung wählen

Versorgung	Investition	Betrieb	Reinheit	Druck und Volumenstrom
Einzelflasche	Meist geringe Anfangsinvestition; Druckminderer und sicherer Anschluss erforderlich.	Praktisch bei geringem Bedarf; häufige Wechsel und Logistikkosten.	Abhängig von gekaufter Gasqualität und Anschlussreinheit.	Durch Druckmindererkapazität und Flaschenfüllung begrenzt; bei hohem N_2-Durchfluss kurze Nutzungsdauer.
Flaschenbündel	Mehr Platz und Verteileranlage als bei Einzelflaschen.	Seltenere Wechsel; Bündeltransport und Mietbedingungen beachten.	Zertifiziertes Gas; Reinheit der Verteilungsleitung erhalten.	Längere Versorgung; Leitung und Druckminderer müssen weiterhin den nötigen Durchfluss liefern.
Flüssiggastank	Tank, Verdampfer und Standortinfrastruktur; abhängig vom Liefervertrag.	Bei dauerhaft hohem Verbrauch erwägen; Verluste und Logistik einrechnen.	Durch Lieferqualität bestimmt; stabile Versorgung bei geeignetem System.	Verdampferleistung und Ausgangsdruck müssen den Dauerbedarf decken.
N_2-Generator	Hohe Anfangsinvestition; Kompressor, Aufbereitung und gegebenenfalls Druckverstärker nötig.	Strom-, Wartungs- und Filterkosten; Wirtschaftlichkeit abhängig von Betriebszeit.	Verfügbarer Durchfluss ändert sich mit steigender Zielreinheit. Durch Messung bestätigen.	Speicher und Druckverstärker können für den Schneiddruck nötig sein. Spitzenbedarf prüfen.
Druckluftkompressor	Investition in druck- und durchflussgerechten Kompressor, Trockner und Filter.	Strom-, Wartungs- und Aufbereitungskosten.	Luftzusammensetzung bleibt bestehen; Trocknung und Filterung bestimmen die Luftqualität.	Kompressortypenschild allein reicht nicht. Wert beim Schneiden am Maschineneingang prüfen.

Die Investitionsstufen sind relative Bewertungen, keine Preise oder Amortisationszeiten. Vergleichen Sie Angebote anhand von Monatsverbrauch, Schichtmodell, Standortbedingungen und Liefervertrag. Wird der Spitzendurchfluss nicht gedeckt, garantieren auch ein voller Tank und hoher statischer Druck keinen guten Schnitt.

Bestellen Sie nicht lediglich „Gas für Laser“. Nennen Sie Reinheit, Arbeitsdruck, Dauer- und Spitzendurchfluss sowie Zahl gleichzeitig betriebener Maschinen. Vermerken Sie, ob Druck am Flaschenausgang, Maschineneingang oder unter Schneidgasfluss gemessen wurde.

Unterscheiden Sie Versorgungsdruck und Schneidstelle



Ein hoher Druck an einer Stelle beweist keinen ausreichenden Durchfluss im weiteren Verlauf. Das Schema ist kein Gasinstallationsplan.

Ist der Druck vor dem Schneiden normal und dabei niedrig, prüfen Sie die Versorgungskapazität. Druckmindererdurchfluss, Ventilöffnung, Schlauchquerschnitt, Filterverstopfung und gleichzeitige Verbraucher können wirken. Überschreiten Sie zum Ausgleich fehlenden Durchflusses keine Systemdruckgrenze. Überlassen Sie Leitungsänderungen autorisierten Gasinstallationsfachkräften.

Ist die Gasanalyse am Versorgungsausgang korrekt, die Kante aber verfärbt, prüfen Sie mögliche Vermischung in gemeinsamen Leitungen, Ventilen und Anschlüssen. Machen Sie nicht allein Gaslieferant oder Parametersatz verantwortlich. Dokumentieren Sie, ob nur der Auftragsbeginn oder der ganze Auftrag betroffen ist.

7.4 Schneidgas nach Werkstoff wählen

Werkstoff	O_2	N_2	Druckluft
Baustahl	**Empfohlen:** bei akzeptierter Oxidkante, besonders bei dickem Blech.	**Möglich:** bei geeignetem Dünnblech und oxidfreier Kantenanforderung; Leistung und Verbrauch bewerten.	**Möglich:** mit geprüftem Parametersatz für dünnes bis mitteldickes Blech und akzeptierter Kante.
Edelstahl	**Nicht empfohlen:** beeinträchtigt oxidfreie Kanten und Oberflächenanforderungen.	**Empfohlen:** mit ausreichender Reinheit für oxidfreie Kanten.	**Möglich:** wenn Verfärbung, Oxid und anschließende Reinigung zulässig sind.
Verzinkter Stahl	**Nicht bevorzugt:** GWEIKE nennt ab ≥3 mm eine O_2-Option nach Probeschnitt; Zinkreaktion und Rauch bewerten.	**Empfohlen:** mit geeigneter Rauchabsaugung und geeignetem Parametersatz.	**Möglich:** mit trockener, ölfreier Luft und Musterfreigabe.
Aluminium	**Nicht empfohlen:** kein Standardverfahren dieses Leitfadens.	**Empfohlen:** nach Prüfung der Eignung von Quelle und Kopf.	**Möglich:** wenn Kantenanforderung und Grat am Muster freigegeben sind.
Messing	**Nicht empfohlen:** hier nicht als Standardparametersatz angegeben.	**Empfohlen:** bei nachgewiesener Rückreflexionseignung des Systems.	**Möglich:** nur mit ausdrücklich vom Hersteller freigegebenem Parametersatz.
Kupfer	**Quellenabhängig:** BWT beschreibt Hochdruck-O_2 für Reinkupfer, nur auf geeigneten freigegebenen Systemen.	**Quellenabhängig:** Boss Laser nennt N_2 als übliche Wahl; maschinenspezifisches Rezept prüfen.	**Nicht empfohlen:** in diesem Leitfaden keinen allgemeinen Druckluftparametersatz voraussetzen.

„Möglich" bedeutet nicht für jede Dicke und Leistung geeignet. Auch empfohlenes Gas ersetzt keine Materialeignung der Maschine. Beachten Sie für Messing und Kupfer die Rückreflexionswarnung in Abschnitt 10.5. Fehlt eine passende Zeile in Abschnitt 9, kopieren Sie keine Einstellung eines anderen Werkstoffs.

Bei Kupfer widersprechen sich die Quellen: Der chinesische Laserquellenhersteller BWT verlangt Hochdruck-O_2, der westliche Anbieter Boss Laser nennt N_2 als übliche Wahl. Eine unter IPG-Namen veröffentlichte Zusammenstellung enthält ebenfalls N_2/Luft-Beispiele; sie ist kein primäres IPG-Gasrezept. Gase nicht als gleichwertig behandeln; Kupferfreigabe und vollständiges Rezept vom Quellen-/Kopfhersteller einholen.

BWT-Vorkehrungen für Kupfer/Aluminium bei ≥10 kW: Nur auf geeignetem System mit voller Leistung im Dauerstrichbetrieb (CW) schneiden; die kleinste funktionierende Düse wählen und die Seriengeschwindigkeit auf ≈80 % der erfolgreichen Probe senken. Düsenkühlgas ständig eingeschaltet lassen. Diese Hinweise setzen Maschinengrenzen nicht außer Kraft; Hochdruck-O_2 für Kupfer nicht auf Schwarzblech übertragen.

GWEIKE · BWT

7.5 Gasvorströmzeit und Leitungsspülung

Die Gasvorströmzeit lässt das gewählte Gas vor Laserstart stabil an der Schneidstelle ankommen. Lange Leitungen, Gaswechsel und unzureichender Durchfluss beeinflussen das Ergebnis. Besonders Luft in der Stickstoffleitung kann erste Teile verfärben.

Ziel: Beginnen Sie den Schnitt mit richtigem Gas und stabilem Durchfluss.

Benötigt: Freigegebene Gasleitung, Druckminderer, geeignete Druckanzeige und Gastest-/Spülfunktion der Maschine.

1. Prüfen Sie richtigen Gasanschluss und Vorrat. Dokumentieren Sie die Gasqualität.
2. Führen Sie bei ausgeschaltetem Laser den Herstellergastest aus. Prüfen Sie den Maschineneingangsdruck unter Durchfluss.
3. Spülen Sie nach einem Gaswechsel gemeinsame Leitungen nach Herstellerverfahren. Verdrängen Sie Luft durch Prozessgas.
4. Schneiden Sie ein Muster mit freigegebener Gasvorströmzeit. Vergleichen Sie die Kantenfarbe des ersten und der folgenden Teile.
5. Prüfen Sie bei Fehlern nur am Erstteil Vorströmzeit und Leitungsvermischung. Prüfen Sie bei dauerhaften Fehlern zusätzlich Reinheit, Lecks und Durchfluss.

> **Achtung**
>
> Leitungsspülung bedeutet hier Gasfluss über den kontrollierten Maschinenausgang. Entlüften Sie nicht durch Lösen druckbeaufschlagter Anschlüsse. Sorgen Sie bei Gasabgabe für ausreichende Belüftung.

Warum? Ein Manometerdruck beweist nicht, dass Gas mit richtiger Reinheit und ausreichendem Volumenstrom die Düse erreicht.

7.6 Gaskosten bewerten

Gaskosten = Verbrauch × Einheitspreis. Bringen Sie Verbrauch und Preis auf dieselbe Volumenbasis. Vergleichen Sie Normvolumen und druckbeaufschlagtes Leitungsvolumen nicht direkt. Rechnen Sie Einstechen, Vorblasen, Schneiden, Warteblasen und Leckverluste in die Auftragskosten ein.

Gaskosten je Teil = gesamte Auftragsgaskosten ÷ Anzahl akzeptierter Teile. Bei sonst gleichen Bedingungen steigt der Verbrauch meist mit Düsendurchmesser und Druck. Unterstellen Sie keine lineare Druck-Durchfluss-Beziehung und erfinden Sie keine Verbrauchswerte. Verwenden Sie Messungen oder Lieferanten- bzw. Düsendaten.

Druckluft ist nicht kostenlos. Strom, Trocknung, Filter und Wartung verursachen Kosten. Auch Generatoren benötigen Energie, Reinheitskontrolle und Wartung. Prüfen Sie in den Gesamtauftragskosten, ob günstigeres Gas zusätzliches Entgraten oder erneute Lackiervorbereitung erfordert.

Düsenvolumenstrom und Stickstoff je Meter

Bei gleichem Gas, gleichem Druck und ähnlicher Düsengeometrie ist der Volumenstrom annähernd proportional zum Quadrat des Düsenbohrungsdurchmessers: $Q \propto d^2$. Eine Vergrößerung von 1,5 mm auf 2,0 mm ergibt $(2{,}0 \div 1{,}5)^2 = 1{,}78 \approx$ das 1,8-Fache des Volumenstroms. Dies ist keine Verbrauchsregel allein anhand der Laserleistung.

N_2 je Meter (L/m) = Düsenvolumenstrom (L/min) ÷ Schnittgeschwindigkeit (m/min). Geben Sie die Standard-/Normvolumenbasis an und verwenden Sie für Vergleiche dieselbe Basis.

Rechenbeispiel — Annahme: Nehmen Sie 300 L/min Düsenvolumenstrom und nur für diese Rechnung 3 m/min Schnittgeschwindigkeit an: 300 L/min ÷ 3 m/min = 100 L/m = 0,10 m³/m. Dies ist weder ein Schneidrezept noch ein gemessener Volumenstrom; erfasst wird nur die Zeit mit geöffnetem Gas beim Schneiden. Addieren Sie Einstechen, Vorblasen, Warteblasen und Leckagen gesondert zum Auftragsgesamtverbrauch.

Oxywise · Arcus

7.7 Prüfung zu Schichtbeginn

- Ist das Gas für Werkstoff und Kantenanforderung gewählt?
- Sind Reinheitsnachweis und Gasvorrat ausreichend?
- Fällt der Druck unter Durchfluss ab? Bestehen Filter- oder Leitungseinschränkungen?
- Funktionieren bei Druckluft Trockner und Kondensatablass?
- Wurde die Leitung nach Gaswechsel gespült?
- Gehören Düsentyp, Durchmesser, Fokus und Höhe zum selben Parametersatz?
- Sind Kantenfarbe und Grat des ersten Musters freigegeben?

Quellen: Lokale Maxphotonics-MFSC/MFMC-Schneiddaten; Linde „Laser cutting advice“; Arbeitsvorgabe und lokales v1-Beispiel für verzinkten Stahl. Numerische Schneidzeilen sind in Abschnitt 9zusammengefasst.

08

Leistung wählen

Wählen Sie die Laserleistung nicht nach einem einzigen besonders dicken Teil. Entscheidend sind regelmäßig geschnittene Werkstoffe, Dickenverteilung, Kantenanforderung und Schichtauslastung zusammen. Typenschildleistung und im Parametersatz verwendete Leistung können abweichen.

8.1 Zusammenhang zwischen Leistung, Dicke und Geschwindigkeit

Beim Schmelzschneiden mit Stickstoff liefert überwiegend der Laser die Energie zum Schmelzen. Mit steigender Dicke sinkt bei gleicher Leistung meist die stabile Schneidgeschwindigkeit. Höhere Leistung kann mit geeigneter Optik und Gas Geschwindigkeit oder schneidbare Dicke erhöhen. Erwarten Sie von zwei gleich starken Maschinen nicht bei jedem Werkstoff dasselbe Ergebnis.

Strahleigenschaften, Fokus, Düse, Gasdurchfluss, Oberfläche und Maschinenbewegung bestimmen gemeinsam die Schneidgeschwindigkeit. Zum Gesamtzyklus gehören auch Einstechen, Eckenverzögerung, Leerfahrten und Beladen. Die Tabellengeschwindigkeit einer langen Geraden entspricht nicht der mittleren Produktionsgeschwindigkeit eines Teils mit kleinen Löchern.

Gleichen Sie verschmutztes Schutzglas, fehlendes Gas oder falsche Zentrierung nicht durch Leistungsänderung aus. Prüfen Sie zuerst das System. Nutzen Sie zur Diagnose Abschnitt 13.1.

85 % der unteren Tabellengeschwindigkeit dienen dem ersten Versuch (DOKTEK-Regel — keine Primärquelle); bei ≥10 kW auf dickem oder reflektierendem Material für die Serie ≈80 % der an der Probe bestätigten Geschwindigkeit verwenden. 85 % starten den ersten Versuch aus der Tabelle, 80 % geben Serienreserve gegenüber der erfolgreichen Probe; beide Faktoren nicht nacheinander auf die Tabellengeschwindigkeit anwenden. BWT bezieht die 80 % direkt auf Kupfer/Aluminium bei ≥10 kW; die Erweiterung auf dickes Material ist eine DOKTEK-Regel — keine Primärquelle.

BWT

8.2 Übersicht der maximalen Dicken lesen

Diese Liste garantiert keine Kapazität. „Produktion“ ist die größte Quelldicke ohne ◆; „Versuch“ schließt ◆ ein. ★ bedeutet abgeleitete Daten.

Leistung	Schwarzblech		Edelstahl		Verzinktes Blech		Aluminium		Messing		Kupfer	
	Produktion mm	Versuch mm	Produktion mm	Versuch mm	Produktion mm	Versuch mm	Produktion mm	Versuch mm	Produktion mm	Versuch mm	Produktion mm	Versuch mm
1 kW	12	12	6	6	6 ★	6 ★	3	3	3	3	—	—
1,5 kW	16	16	8	8	6 ★	6 ★	5	5	4	4	—	—
2 kW	20	20	8	8	6 ★	6 ★	6	6	4	4	—	—
3 kW	20	20	10	10	—	5	8	8	6	6	—	—
4 kW	22	25	12	16	6 ★	6 ★	10	12	8	8	4	4
6 kW	25	40	22	35	6 ★	6 ★	20	20	12	20	6	8
8 kW	25 ★	40 ★	22 ★	35 ★	6 ★	6 ★	20 ★	20 ★	12 ★	16 ★	6 ★	8 ★
10 kW	25 ★	40 ★	22 ★	35 ★	6 ★	6 ★	20 ★	20 ★	12 ★	16 ★	6 ★	8 ★
12 kW	35	40	30	40	6 ★	6 ★	40	40	16	16	10	10
15 kW	50	50	50	50	6 ★	6 ★	50	50	20	20	10	10
20 kW	50 ★	50 ★	30 ★	50 ★	6 ★	6 ★	30	60	20	20	10	12
30 kW	50	80	35	100	6 ★	6 ★	—	—	—	—	—	—

Dieser Bereich enthält die aus den Daten von Abschnitt 9 erzeugte Übersicht der Materialdicken nach Leistung. **Maximale Dicke**garantiert im Dauerbetrieb weder gleiche Kantenqualität noch gleiche Geschwindigkeit. Lesen Sie Werkstoff und Gas zusammen. Deuten Sie fehlende Daten weder als Nullkapazität noch als unbegrenzte Kapazität.

Ziel: Bewerten Sie die Übersichtskapazität zusammen mit vollständigem Parametersatz und realen Produktionsbedingungen.

Benötigt: Automatische Dickenübersicht, vollständige Zeile aus Abschnitt 9, Maschinendaten und Muster desselben Materials.

1. Suchen Sie zuerst Quellenleistung und richtige Materialspalte.
2. Öffnen Sie für die angegebene Dicke die vollständige Zeile in Abschnitt 9.
3. Lesen Sie Gas, Leistung, Düse, Fokus und Höhe gemeinsam. Prüfen Sie, ob Optik- und Quellenbedingungen zu Ihrer Maschine passen.
4. ★ kennzeichnet einen von DOKTEK abgeleiteten Wert; ◆ kennzeichnet einen „Versuchswert, nicht für die Serienfertigung“.
5. Prüfen Sie am Muster Einstechen, Schnittkontinuität und Kantenqualität. Entscheiden Sie anhand akzeptierter Teile.

> **Achtung**
>
> Machen Sie die höchste Übersichtsdicke nicht zum täglichen Produktionsziel. Serienfertigung verlangt stabile Ergebnisse über Materialchargen, lange Konturen, Einstechzahlen und Gasversorgung hinweg. Verwenden Sie Versuchszeilen nicht als Produktionsgarantie.

Warum? Die Übersicht erleichtert die Auswahl. Qualitätsbestimmende Gas-, Optik- und Einstechbedingungen stehen im vollständigen Parametersatz.

8.3 Leistung und Maschinendynamik bei Dünnblech

Mehr Leistung erhöht die Dünnblechproduktion nicht immer proportional. Kleine Teile und häufige Ecken lassen Achsen kaum hohe Geschwindigkeiten erreichen. Dann begrenzen Beschleunigung, Pfadverarbeitung der Steuerung und Laserschaltverhalten den Zyklus.

Höhere Leistung ist dennoch nicht grundsätzlich unnötig. Bei langen Geraden oder geeignetem Stickstoffschneiden kann sie helfen. Vergleichen Sie bei überwiegend kleinen Dünnblechteilen jedoch reale Programmzyklen statt nur Typenschildleistungen. Flycut und bessere Verschachtelung können die Zeit ebenfalls beeinflussen. Siehe Abschnitt 6.5.

Vergleichen Sie Angebote mit derselben Zeichnung, demselben Material, Gas und Qualitätsmaßstab. Erfassen Sie Belade-, Einstech-, Schneid- und Entladezeiten getrennt. Setzen Sie maximale Geradengeschwindigkeit nicht mit Gesamtproduktionszeit gleich.

8.4 O_2 und Strahlstruktur bei dickem Baustahl

Beim Sauerstoffschneiden liefert die chemische Reaktion zusätzliche Wärme. Bei dickem Baustahl kann zu hohe Laserleistung Schnittspalt und Abbrand vergrößern. Deshalb verwenden manche Parametersätze weniger als die verfügbare Quellenleistung. Sinkende Leistungswerte in dicken O_2-Zeilen der lokalen Maxphotonics-Tabelle sind nicht als Schreibfehler zu betrachten.

Diese Absenkung ist keine Formel für alle Dicken. Dünnere O_2-Zeilen können höhere Leistung mit anderer Düsen- und Fokustechnologie verwenden. Wählen Sie nicht nur Geschwindigkeit oder Leistung. Erhalten Sie die gesamte Zeile. Eine Hochleistungsquelle muss bei dickem O_2-Schnitt nicht immer mit voller Leistung arbeiten.

Strahl-/Ausgangsbeispiel	Allgemeine Tendenz	Auswahlprüfung
Einzelmodul mit 50 µm Ausgangsfaser	Bei geeigneter Strahlqualität kleiner Fokus und hohe Energiedichte; mögliche Vorteile bei Dünnblechgeschwindigkeit.	Messen Sie realen Zyklus und Qualität kleiner Details im Dünnblechprogramm.
Mehrmodulquelle mit 100 µm Ausgangsfaser	Mit geeigneter Optik breiterer Prozessbereich; möglicher Beitrag zu stabilen Dickblechkanten.	Prüfen Sie Einstechen und Kontinuität langer Schnitte bei dickem Blech.

50 und 100 µm bezeichnen hier den Kerndurchmesser der Ausgangsfaser, nicht direkt den Fokusdurchmesser auf dem Blech. Einzel- und Mehrmodulbauweise entsprechen diesen Durchmessern nicht bei jedem Produkt eindeutig. Kollimations- und Fokussierlinse, Strahlqualität und Kopf bestimmen das Ergebnis. Übertragen Sie die optischen Bedingungen der lokalen Max-Tabelle nicht auf alle Produktserien.

8.5 Checkliste zur passenden Leistung

- **Materialmix:** Ermitteln Sie die Auftragsanteile von Baustahl, Edelstahl, verzinktem Stahl, Aluminium, Messing und Kupfer. Prüfen Sie reflektierende Materialien gesondert auf Eignung.
- **Dickenverteilung:** Trennen Sie häufige Dicken von seltenen Dickblechaufträgen. Orientieren Sie sich an den Aufträgen, die Produktionsstunden beanspruchen.
- **Teileform:** Überwiegen lange Geraden oder kleine Löcher und Ecken? Bewerten Sie die Maschinendynamik entsprechend.
- **Schicht:** Dokumentieren Sie tägliche Zyklen, Einstechzahl und geplante Stillstände. Ein schneidbares Muster belegt keine dauerhafte Schichtkapazität.
- **Gas:** Wählen Sie O_2, N_2 oder Druckluft für die geforderte Qualität. Prüfen Sie Druck- und Durchflusskapazität der Leitung sowie Gaskosten.
- **Abnahme:** Vergleichen Sie bei derselben Zeichnung obere und untere Maße, Grat, Oxid und Nachbearbeitungszeit.

Dokumentieren Sie neben der Quellenleistung auch Quellenmodell, Kopf, Optik, Gas und Musterparametersatz. So können Sie denselben Auftrag später unter gleichen Bedingungen bewerten.

Quelle: Die lokale Maxphotonics-MFSC/MFMC-Tabelle verlangt die gemeinsame Betrachtung von Leistung und Optikbedingungen. Der Vergleich 50/100 µm ist eine allgemeine Erläuterung der Arbeitsvorgabe, keine produktspezifische Kapazitätsaussage.

8.6 Arbeiten mit 12–30 kW

Zwei O_2-Rezeptfamilien unterscheiden

Bei dickem Schwarzblech kann die Familie positiver Fokus/reduzierte Leistung bei etwa 2 m/min bleiben; die Familie negativer Fokus/volle Leistung verwendet andere Düsen-, Abstands- und Druckwerte. GYC-Beispiele folgen; die ersten beiden Zeilen haben verschiedene Dicken und sind kein direkter Geschwindigkeitsvergleich. Fokuszahlen sind Steuerungswerte der Quelle; Umrechnung zur Oberfläche siehe Abschnitt 11.1. Keine Einzelwerte zwischen Familien kopieren.

Quelle/Dicke	Leistung · Geschwindigkeit	O_2 · Düse	Fokus · Abstand
GYC 12 kW / 10 mm, positiv	7200 W · 2,2–2,4 m/min	0,6 bar · 1.2E	+8 mm · 0,8 mm
GYC 12 kW / 12 mm, negativ	12000 W · 3–3,5 m/min	1,0 bar · 1.6SP	-10 mm · 1,5 mm
GYC 20 kW / 12 mm, negativ	20000 W · 3,2–3,5 m/min	1,0 bar · 1.6SP	-10 mm · 1,5 mm

GYC

N_2-Mischgas und Luftschneiden bei hoher Leistung

The Fabricator berichtet, dass typischerweise 1,5–5 % O_2 im N_2 Reaktionswärme liefern und den Schmelzaustrag nach unten unterstützen können. Die Notizen bestätigen dies nur durch einen Suchauszug; nicht mit einer oxidfreien N_2-Kante gleichsetzen. Mischung mit Freigabe für Gasanlage und Maschine an einer Probe prüfen; Reingaseinstellungen nicht direkt übernehmen.

IPG-Autoren berichten bei 16 mm Schwarzblech unter O_2 etwa 2 m/min über 10–30 kW, gegenüber >9 m/min mit Luft bei 30 kW. Für gratfreies Luftschneiden von 20 mm Schwarzblech nennen sie >16 bar bei 15 kW und 10–12 bar bei ≥20 kW. Diese Ergebnisse gelten für den IPG-Versuchsaufbau; sie ersetzen nicht die Druck-, Luftqualitäts- und Kopfgrenzen Ihrer Maschine.

The Fabricator · IPG / Laser Focus World

Erwärmung, Höhennachführung und Auflagenreinigung

Chuangxins Hinweis zu dickem Schwarzblech bei hoher Leistung hebt die Düsenüberhitzung hervor. Für Kupfer/Aluminium bei ≥10 kW beschreibt BWT die Kette Düsenerwärmung → Drift des kapazitiven Sensors → Abstandsänderung im Dauerschnitt; empfohlen werden ≈80 % der Probengeschwindigkeit in Serie, ständiges Düsenkühlgas und Wasserkühlung der Optik. Raytools BM115 verlangt für die Düsenkühlung N_2 oder gefilterte Luft unter 1 bar und verbietet O_2. Dieses Kopfbeispiel nicht auf andere Modelle übertragen; eigenes Kopfhandbuch beachten.

Schlacke regelmäßig von den Auflagelamellen (Slats) entfernen; Auflage und Öffnungen prüfen. The Fabricator berichtet von härterer N_2-Schlacke bei hoher Leistung und mehr Reinigungsaufwand; die Notizen bestätigen dies nur durch einen Suchauszug. Reinigungs-/Wechselintervalle nach Ablagerungen im eigenen Betrieb festlegen.

Chuangxin / Laserfair · BWT · Raytools BM115 · The Fabricator

Wenn der Schnitt nach einigen Minuten schlechter wird

Ziel: Ursachen trennen, wenn eine gute kalte Probe mit zunehmender Erwärmung schlechter wird. Benötigt: letztes erfolgreiches Rezept, Probenprotokoll, Kopfhandbuch und sicherer Prüfzustand. Die folgende Reihenfolge ist eine DOKTEK-Regel — keine Primärquelle; Erwärmungs- und Driftmechanismus stammen von BWT/Chuangxin.

1. Sicher stoppen. Erwärmungszeichen, Bohrung und Zentrierung der Düse prüfen; ständigen Kühlgasfluss und geeignete Wasserkühlung von Kopf/Optik bestätigen.
2. Düse/Keramik und Kapazitätskalibrierung prüfen. Bei ausgeschaltetem Laser tatsächlichen und angezeigten Abstand nach freigegebener Methode vergleichen; Drift nicht durch ein geändertes Fokusrezept verdecken.
3. Schutzglas, Gasdruck/-durchfluss während der Entnahme und Schlacke auf den Lamellen prüfen. Nach Fehlerbehebung einen langen Versuch auf demselben Material durchführen.
4. Bei ≥10 kW auf dickem/reflektierendem Material Serienbeständigkeit mit ≈80 % der erfolgreichen Probengeschwindigkeit prüfen; die Erweiterung auf dickes Material ist eine DOKTEK-Regel. Erst bei stabiler Ausrüstung und Temperatur jeweils eine Größe einstellen.

> **Achtung**
> Heiße Düse nicht berühren; Kühlung und Schutzeinrichtungen nicht deaktivieren. Bei Alarm, starken Spritzern oder unvollständigem Schnitt Versuch abbrechen.

Warum? Wärmebedingte Abstandsänderungen verändern die Energie- und Gaswirkung am Blech bei gleichem Fokuswert; eine gute kalte Probe belegt keine Serienbeständigkeit.

09

Schneidparametertabellen

Wählen Sie Leistungsklasse, Material, Dicke und Gas gemeinsam. Die Tabellen dienen dem ersten Versuch; das freigegebene Rezept des Maschinenherstellers hat Vorrang.

9.0 Tabellen richtig lesen

Jede Zeile ist ein Schneidrezept. Druck, Düse, Düsenhöhe, Fokus, Leistung und Geschwindigkeit gemeinsam eingeben. Geschwindigkeit einer Zeile nicht mit Düse oder Gas einer anderen kombinieren. Zwei Gase oder Rezepte bei gleicher Dicke sind getrennte Betriebsbedingungen. Die Leistungsspalte zeigt die tatsächliche Schneidleistung; sie kann unter der Nennleistung der Tabelle liegen.

1. Maschinenleistung und Faserkern prüfen. Kopf/Optik im Bedingungsfeld mit Ihrer Ausrüstung vergleichen.
2. Tatsächliche Blechdicke in der Material-/Gasgruppe suchen. Nicht gelistete Dicken nicht ergänzen.
3. Probestück mit der Startgeschwindigkeit schneiden: untere Herstellergrenze × 0,85, für den Druck größenabhängig gerundet.
4. Bei passender Kante, Maßhaltigkeit und Gratbildung die Geschwindigkeit in Schritten von 5–10 % erhöhen. Max. Geschwindigkeit zeigt den Herstellerbereich oder ★ Interpolation; sie ist keine garantierte Produktionsgeschwindigkeit.
5. Bei instabilem Schnitt stoppen und Gas sowie Optik prüfen. Je Versuch nur eine Größe ändern und Ergebnis notieren.

! ★ und ◆ haben unterschiedliche Bedeutungen

★ kennzeichnet von DOKTEK abgeleitete oder aus Nachbarleistungen berechnete Werte. ◆ steht für Versuch, Kapazitätsgrenze oder unvollständige Rezeptreferenz; nicht für Serienproduktion. Beide Zeichen können in einer Zeile stehen. Auch ohne Zeichen besteht keine Kapazitätsgarantie.

Verzinkt-Regel ★: Bis 6 mm gilt die Schwarzblechgeschwindigkeit N_2/Luft derselben Dicke × 0,85. Fehlt die Zeile, Edelstahl N_2 × 0,95 verwenden. Andere Einstellungen aus der gewählten Zeile kopieren; Gas wird als N_2/Luft angegeben. Keine Dicke ohne Quellenzeile ergänzen. Bei ausschließlich N_2 in der Quelle Luft separat testen; gleichwertige Ergebnisse nicht voraussetzen. Diese Faktoren sind DOKTEK-Schätzungen, keine veröffentlichten Messwerte. Die 3-kW-Tabelle für verzinktes Blech ist ausgenommen: Sie verwendet die GWEIKE-Notiz mit N_2 bei 1–2 mm und O_2 bei 3/5 mm. Düse/Abstand fehlen (—); dies sind unvollständige ◆ Referenzen, keine vollständigen Rezepte. O_2 kann Zink und Beschichtung verbrennen; Herstellerfreigabe und Probeschnitt sind erforderlich.

Ausrüstungsunterschiede: Kerndurchmesser, Strahlqualität, Optikverhältnis, Kopf, Gasdurchfluss und Blechqualität beeinflussen das Ergebnis. Gleiche Nennleistung W bedeutet bei Raycus, Maxphotonics (Max), IPG oder Reci nicht automatisch dasselbe Rezept. Optik- und Düsenbedingungen für Raytools, Precitec, BOCI oder Au3tech prüfen.

Fokus: Physische Lage: + über der Oberfläche, – im Material. Raytools/CypCut-Tabellenwerte beziehen sich auf die Düsenspitze: Fokus relativ zur Oberfläche ≈ Steuerungswert + Düsenabstand. 0 + 1 mm → ≈1 mm darüber; -1 + 1 mm → auf der Oberfläche. Bezugspunkt im Steuerungshandbuch prüfen; Abschnitt 11.1. Positive Quellenwerte ohne Vorzeichen erhalten +. S einschichtige, D zweischichtige Düse; durch „/“ getrennte Durchmesser sind Alternativen.

Interpolation: Für 8 und 10 kW dienen 6–12 kW; für 20 kW Schwarzblech/Edelstahl dienen 15–30 kW. Untere und obere Geschwindigkeiten werden getrennt linear aus gemeinsamen Material-/Gas-/Dickenzeilen berechnet. Hilfseinstellungen stammen vom oberen Nachbarn. W wird vom oberen Nachbarn übernommen und auf die Zielnennleistung begrenzt; auch dies trägt ★. Bei mehrdeutigen Mehrfachrezepten desselben Schlüssels wird nicht interpoliert.

Korrigierte Blöcke und Zeilenquellen siehe data/veri_raporu.md. Die 12-kW-Zeile für 6 mm Messing liegt nun mit 9–11 m/min aus der 100-µm-Quelle vor. Der 6-kW-Aluminiumblock wurde durch den 100-µm-Block ersetzt; alte Zeilen mit „2000/98“ werden nicht verwendet. 6 kW O_2 bei 30–40 mm und Edelstahl bei 25–35 mm sind ◆ Kapazitätsgrenzen.

85 % der unteren Tabellengeschwindigkeit dienen dem ersten Versuch (DOKTEK-Regel — keine Primärquelle); bei ≥10 kW auf dickem oder reflektierendem Material für die Serie ≈80 % der an der Probe bestätigten Geschwindigkeit verwenden. 85 % starten den ersten Versuch aus der Tabelle, 80 % geben Serienreserve gegenüber der erfolgreichen Probe; beide

Faktoren nicht nacheinander auf die Tabellengeschwindigkeit anwenden. BWT bezieht die 80 % direkt auf Kupfer/Aluminium bei ≥10 kW; die Erweiterung auf dickes Material ist eine DOKTEK-Regel — keine Primärquelle.

BWT

‡ Positiver Fokus: Die Quellentabelle gibt ihn so an; Bodor/GYC beschreiben für N_2 negativen oder nahezu null liegenden Fokus — an der Maschine prüfen. Die Markierung erscheint in N_2- und N_2/Luft-Zeilen, wenn die erste Fokuszahl positiv ist.

Bodor · GYC

9.1 1 kW (1000 W)

QUELLE / FASERKERN	KOPF / OPTIK	GASREINHEIT	DRUCKLUFT
Maxphotonics MFSC-1000 · 50 µm	Raytools · 100/125	O_2 ≥ 99,95 % (3.5) · N_2 ≥ 99,995 %; Qualitätsarbeiten: 5.0 (99,999 %) · H_2O < 5 ppm · HC < 1 ppm	Trocken, ölfrei · 0,01-µm-Filter

Dicke mm	Gas	Druck bar	Düse Typ · Ø mm	Höhe mm	Fokus mm	Leistung W	Startgeschwindigkeit m/min	Max. Geschwindigkeit m/min
Schwarzblech Gas und Leistung je Zeile beachten.								
1	N_2	20	S1,0	0,5	0 / -1	1000	**20**	24 – 26
2	O_2	0,6 – 0,9	D1,0	0,8	+4,5 / +5,5	1000	**6,8**	8 – 9
3	O_2	0,6 – 0,9	D1,0	0,8	+4,5 / +5,5	1000	**2,4**	2,8 – 3
4	O_2	0,6 – 0,9	D2,5	1,5	+2 / +3	1000	**1,9**	2,2 – 2,4
5	O_2	0,6 – 0,9	D3,0	1,5	+2 / +3	1000	**1,3**	1,5 – 1,7
6	O_2	0,6 – 0,9	D3,0	1,5	+2 / +3	1000	**1,0**	1,2 – 1,4
8	O_2	0,6 – 0,9	D3,0	1,5	+2 / +3	1000	**0,85**	1 – 1,1
10	O_2	0,6 – 0,9	D3,0	1,5	+2 / +3	1000	**0,64**	0,75 – 0,85
12	O_2	0,6 – 0,9	D3,0	1,5	+2 / +3	1000	**0,51**	0,6 – 0,65
Edelstahl N_2; Luft, falls eine Quellenzeile vorliegt.								
1	N_2	20	S1,0 / S1,2 / S1,5	0,5	0 / -1	1000	**18**	21 – 23
2	N_2	20	S1,5 / S2,0	0,5	-1,5 / -2	1000	**5,5**	6,5 – 7
3	N_2	20	S2,0 / S2,5 / S3,0	0,5	-2,5 / -3	1000	**2,0**	2,3 – 2,5
4	N_2	20	S3,0	0,5	-3,5 / -4	1000	**0,68**	0,8 – 1
5	N_2	20	S3,5 / S4,0	0,5	-3,5 / -4	1000	**0,51**	0,6 – 0,7
6	N_2	20	S3,5 / S4,0	0,5	-5 / -5,5	1000	**0,43**	0,5 – 0,6
Verzinktes Blech ★ Schwarzblech N_2/Luft × 0,85; sonst Edelstahl N_2 × 0,95. Bis 6 mm.								
1 ★	N_2 / Luft	20	S1,0	0,5	0 / -1	1000	**17**	20 – 22
2 ★	N_2 / Luft	20	S1,5 / S2,0	0,5	-1,5 / -2	1000	**5,2**	6,2 – 6,7
3 ★	N_2 / Luft	20	S2,0 / S2,5 / S3,0	0,5	-2,5 / -3	1000	**1,9**	2,2 – 2,4
4 ★	N_2 / Luft	20	S3,0	0,5	-3,5 / -4	1000	**0,65**	0,76 – 0,95
5 ★	N_2 / Luft	20	S3,5 / S4,0	0,5	-3,5 / -4	1000	**0,48**	0,57 – 0,67
6 ★	N_2 / Luft	20	S3,5 / S4,0	0,5	-5 / -5,5	1000	**0,40**	0,48 – 0,57
Aluminium Stark reflektierend; Quelle/Kopf auf Eignung prüfen.								
1	N_2	20	S1,0 / S1,2 / S1,5	0,5	-0,5 / -1	1000	**16**	19 – 21
2	N_2	20	S1,5 / S2,0	0,5	-1 / -1,5	1000	**3,8**	4,5 – 5
3	N_2	20	S2,0 / S2,5 / S3,0	0,5	-2,5 / -3	1000	**1,5**	1,8 – 2
Messing Stark reflektierend.								
1	N_2	20	S1,0 / S1,2 / S1,5	0,5	0 / -0,5	1000	**14**	16 – 18
2	N_2	20	S1,5 / S2,0	0,5	-1 / -1,5	1000	**2,6**	3 – 3,5
3	N_2	20	S2,0 / S2,5 / S3,0	0,5	-2 / -2,5	1000	**0,94**	1,1 – 1,3

S einschichtige Düse · D zweischichtige Düse + / – Steuerungswert: Bezugspunkt Düsenspitze prüfen ★ DOKTEK abgeleitet/interpoliert

◆ Versuch; nicht für Serienproduktion

‡ Positiver Fokus: Die Quellentabelle gibt ihn so an; Bodor/GYC beschreiben für N_2 negativen oder nahezu null liegenden Fokus — an der Maschine prüfen. Die Markierung erscheint in N_2- und N_2/Luft-Zeilen, wenn die erste Fokuszahl positiv ist.

Datenquelle: Maxphotonics MFSC/MFMC; https://www.forum.linuxcnc.org/media/kunena/attachments/22451/null.pdf; ★ DOKTEK abgeleitet/interpoliert; ◆ Versuch / Kapazitätsgrenze / unvollständige Rezeptreferenz; nicht für Serienproduktion.

Kupfer: Keine Quellenzeile; Hersteller fragen.

9.2 1,5 kW (1500 W)

QUELLE / FASERKERN	KOPF / OPTIK	GASREINHEIT	DRUCKLUFT
Maxphotonics MFSC-1500 · 50 µm	Raytools · 100/125	O_2 ≥ 99,95 % (3.5) · N_2 ≥ 99,995 %; Qualitätsarbeiten: 5.0 (99,999 %) · H_2O < 5 ppm · HC < 1 ppm	Trocken, ölfrei · 0,01-µm-Filter

Dicke mm	Gas	Druck bar	Düse Typ · Ø mm	Höhe mm	Fokus mm	Leistung W	Startgeschwindigkeit m/min	Max. Geschwindigkeit m/min
Schwarzblech Gas und Leistung je Zeile beachten.								
1	N_2	20	S1,0	0,5	0 / -1	1500	**29**	34 – 37
2	O_2	0,6 – 0,9	D1,0	0,8	+4,5 / +5,5	1500	**10**	12 – 14
3	O_2	0,6 – 0,9	D1,0	0,8	+4,5 / +5,5	1500	**2,5**	2,9 – 3,2
4	O_2	0,6 – 0,9	D1,0	0,8	+4,5 / +5,5	1500	**2,0**	2,4 – 2,6
5	O_2	0,6 – 0,9	D3,0	1,5	+2 / +3	1500	**1,5**	1,8 – 2
6	O_2	0,6 – 0,9	D3,0	1,5	+2 / +3	1500	**1,4**	1,6 – 1,8
8	O_2	0,6 – 0,9	D3,0	1,5	+2 / +3	1500	**0,94**	1,1 – 1,3
10	O_2	0,6 – 0,9	D3,0	1,5	+2 / +3	1500	**0,77**	0,9 – 1
12	O_2	0,6 – 0,9	D3,0	1,5	+2 / +3	1500	**0,68**	0,8 – 0,9
14	O_2	0,6 – 0,9	D4,0	1,5	+2 / +3	1500	**0,51**	0,6 – 0,7
16	O_2	0,6 – 0,9	D4,0	1,5	+2 / +3	1500	**0,43**	0,5 – 0,6
Edelstahl N_2; Luft, falls eine Quellenzeile vorliegt.								
1	N_2	20	S1,0 / S1,2 / S1,5	0,5	0 / -1	1500	**27**	32 – 35
2	N_2	20	S1,5 / S2,0	0,5	-1,5 / -2	1500	**7,7**	9 – 10
3	N_2	20	S2,0 / S2,5 / S3,0	0,5	-2,5 / -3	1500	**3,6**	4,2 – 4,5
4	N_2	20	S3,0	0,5	-3,5 / -4	1500	**1,8**	2,1 – 2,3
5	N_2	20	S3,5 / S4,0	0,5	-3,5 / -4	1500	**1,4**	1,6 – 1,8
6	N_2	20	S3,5 / S4,0	0,5	-5 / -5,5	1500	**0,85**	1 – 1,2
8	N_2	20	S4,0	0,5	-6 / -7	1500	**0,43**	0,5 – 0,6
Verzinktes Blech ★ Schwarzblech N_2/Luft × 0,85; sonst Edelstahl N_2 × 0,95. Bis 6 mm.								
1 ★	N_2 / Luft	20	S1,0	0,5	0 / -1	1500	**25**	29 – 31
2 ★	N_2 / Luft	20	S1,5 / S2,0	0,5	-1,5 / -2	1500	**7,3**	8,6 – 9,5
3 ★	N_2 / Luft	20	S2,0 / S2,5 / S3,0	0,5	-2,5 / -3	1500	**3,4**	4 – 4,3
4 ★	N_2 / Luft	20	S3,0	0,5	-3,5 / -4	1500	**1,7**	2 – 2,2
5 ★	N_2 / Luft	20	S3,5 / S4,0	0,5	-3,5 / -4	1500	**1,3**	1,5 – 1,7
6 ★	N_2 / Luft	20	S3,5 / S4,0	0,5	-5 / -5,5	1500	**0,81**	0,95 – 1,1
Aluminium Stark reflektierend; Quelle/Kopf auf Eignung prüfen.								
1	N_2	20	S1,0 / S1,2 / S1,5	0,5	-0,5 / -1	1500	**26**	30 – 32
2	N_2	20	S1,5 / S2,0	0,5	-1 / -1,5	1500	**6,8**	8 – 9
3	N_2	20	S2,0 / S2,5 / S3,0	0,5	-2,5 / -3	1500	**3,2**	3,8 – 4,2
4	N_2	20	S3,0	0,5	-3,5 / -4	1500	**1,7**	2 – 2,2
5	N_2	20	S3,5 / S4,0	0,5	-3,5 / -4	1500	**0,68**	0,8 – 1
Messing Stark reflektierend.								
1	N_2	20	S1,0 / S1,2 / S1,5	0,5	0 / -0,5	1500	**21**	25 – 27
2	N_2	20	S1,5 / S2,0	0,5	-1 / -1,5	1500	**6,0**	7 – 8
3	N_2	20	S2,0 / S2,5 / S3,0	0,5	-2 / -2,5	1500	**2,3**	2,7 – 3
4	N_2	20	S3,0	0,5	-3 / -3,5	1500	**1,3**	1,5 – 1,7

S einschichtige Düse · D zweischichtige Düse + / – Steuerungswert: Bezugspunkt Düsenspitze prüfen ★ DOKTEK abgeleitet/interpoliert

◆ Versuch; nicht für Serienproduktion

‡ Positiver Fokus: Die Quellentabelle gibt ihn so an; Bodor/GYC beschreiben für N_2 negativen oder nahezu null liegenden Fokus — an der Maschine prüfen. Die Markierung erscheint in N_2- und N_2/Luft-Zeilen, wenn die erste Fokuszahl positiv ist.

Datenquelle: Maxphotonics MFSC/MFMC; https://www.forum.linuxcnc.org/media/kunena/attachments/22451/null.pdf; ★ DOKTEK abgeleitet/interpoliert; ◆ Versuch / Kapazitätsgrenze / unvollständige Rezeptreferenz; nicht für Serienproduktion.

Kupfer: Keine Quellenzeile; Hersteller fragen.

9.3 2 kW (2000 W)

QUELLE / FASERKERN	KOPF / OPTIK	GASREINHEIT	DRUCKLUFT
Maxphotonics MFMC-2000 · 50 µm	Raytools · 100/200	O_2 ≥ 99,95 % (3.5) · N_2 ≥ 99,995 %; Qualitätsarbeiten: 5.0 (99,999 %) · H_2O < 5 ppm · HC < 1 ppm	Trocken, ölfrei · 0,01-µm-Filter

Dicke mm	Gas	Druck bar	Düse Typ · Ø mm	Höhe mm	Fokus mm	Leistung W	Startgeschwindigkeit m/min	Max. Geschwindigkeit m/min
Schwarzblech Gas und Leistung je Zeile beachten.								
3	O_2	0,6 – 0,9	D1,0	0,8	+4,5 / +5,5	2000	**2,6**	3 – 3,2
6	O_2	0,6 – 0,9	D3,0	1,5	+2 / +3	2000	**1,7**	2 – 2,2
8	O_2	0,6 – 0,9	D3,0	1,5	+2 / +3	2000	**1,1**	1,3 – 1,5
10	O_2	0,6 – 0,9	D3,0	1,5	+2 / +3	2000	**0,77**	0,9 – 1
12	O_2	0,6 – 0,9	D3,0	1,5	+2 / +3	2000	**0,68**	0,8 – 0,9
14	O_2	0,6 – 0,9	D4,0	1,5	+2 / +3	2000	**0,60**	0,7 – 0,8
16	O_2	0,6 – 0,9	D4,0	1,5	+2 / +3	2000	**0,51**	0,6 – 0,7
18	O_2	0,6 – 0,9	D4,0	1,5	+2 / +3	2000	**0,43**	0,5 – 0,6
20	O_2	0,6 – 0,9	D4,0	1,2 – 1,5	+2 / +3,5	2000	**0,34**	0,4 – 0,5
Edelstahl N_2; Luft, falls eine Quellenzeile vorliegt.								
1	N_2	20	S1,0 / S1,2 / S1,5	0,5	0 / -1	2000	**26**	30 – 32
2	N_2	20	S1,5 / S2,0	0,5	-1,5 / -2	2000	**8,5**	10 – 11
3	N_2	20	S2,0 / S2,5 / S3,0	0,5	-2,5 / -3	2000	**4,3**	5 – 6
4	N_2	20	S3,0	0,5	-3,5 / -4	2000	**2,6**	3 – 3,5
6	N_2	20	S3,5 / S4,0	0,5	-5 / -5,5	2000	**1,1**	1,3 – 1,5
8	N_2	20	S4,0	0,5	-6 / -7	2000	**0,43**	0,5 – 0,6
Verzinktes Blech ★ Schwarzblech N_2/Luft × 0,85; sonst Edelstahl N_2 × 0,95. Bis 6 mm.								
1 ★	N_2 / Luft	20	S1,0 / S1,2 / S1,5	0,5	0 / -1	2000	**24**	29 – 30
2 ★	N_2 / Luft	20	S1,5 / S2,0	0,5	-1,5 / -2	2000	**8,1**	9,5 – 10
3 ★	N_2 / Luft	20	S2,0 / S2,5 / S3,0	0,5	-2,5 / -3	2000	**4,0**	4,8 – 5,7
4 ★	N_2 / Luft	20	S3,0	0,5	-3,5 / -4	2000	**2,4**	2,9 – 3,3
6 ★	N_2 / Luft	20	S3,5 / S4,0	0,5	-5 / -5,5	2000	**1,0**	1,2 – 1,4
Aluminium Stark reflektierend; Quelle/Kopf auf Eignung prüfen.								
1	N_2	20	S1,0 / S1,2 / S1,5	0,5	-0,5 / -1	2000	**15**	18 – 20
2	N_2	20	S1,5 / S2,0	0,5	-1 / -1,5	2000	**5,1**	6 – 7
3	N_2	20	S2,0 / S2,5 / S3,0	0,5	-2,5 / -3	2000	**2,6**	3 – 4
4	N_2	20	S3,0	0,5	-3,5 / -4	2000	**1,4**	1,6 – 1,9
6	N_2	20	S3,5 / S4,0	0,5	-5 / -5,5	2000	**0,43**	0,5 – 0,6
Messing Stark reflektierend.								
3	N_2	20	S2,0 / S2,5 / S3,0	0,5	-2 / -2,5	2000	**2,4**	2,8 – 3,2
4	N_2	20	S3,0	0,5	-3 / -3,5	2000	**1,3**	1,5 – 1,7

S einschichtige Düse · D zweischichtige Düse + / – Steuerungswert: Bezugspunkt Düsenspitze prüfen ★ DOKTEK abgeleitet/interpoliert

◆ Versuch; nicht für Serienproduktion

‡ Positiver Fokus: Die Quellentabelle gibt ihn so an; Bodor/GYC beschreiben für N_2 negativen oder nahezu null liegenden Fokus — an der Maschine prüfen. Die Markierung erscheint in N_2- und N_2/Luft-Zeilen, wenn die erste Fokuszahl positiv ist.

Datenquelle: Maxphotonics MFSC/MFMC; https://www.forum.linuxcnc.org/media/kunena/attachments/22451/null.pdf; ★ DOKTEK abgeleitet/interpoliert; ◆ Versuch / Kapazitätsgrenze / unvollständige Rezeptreferenz; nicht für Serienproduktion.

Kupfer: Keine Quellenzeile; Hersteller fragen.

9.4 3 kW (3000 W)

QUELLE / FASERKERN	KOPF / OPTIK	GASREINHEIT	DRUCKLUFT
Maxphotonics MFMC-3000 · 50 µm	Raytools · 100/200	O_2 ≥ 99,95 % (3.5) · N_2 ≥ 99,995 %; Qualitätsarbeiten: 5.0 (99,999 %) · H_2O < 5 ppm · HC < 1 ppm	Trocken, ölfrei · 0,01-µm-Filter

Zusätzliche Herstellerzeilen können andere Kopf-/Optikbedingungen als die Max-Haupttabelle haben. Quellenhinweis unten prüfen.

Dicke mm	Gas	Druck bar	Düse Typ · Ø mm	Höhe mm	Fokus mm	Leistung W	Startgeschwindigkeit m/min	Max. Geschwindigkeit m/min
Schwarzblech Gas und Leistung je Zeile beachten.								
3	O_2	0,6 – 0,9	D1,0	0,8	+4,5 / +5,5	3000	**3,0**	3,5 – 3,7
6	O_2	0,6 – 0,9	D1,2	0,8	+4,5 / +5,5	3000	**2,0**	2,3 – 2,5
8	O_2	0,6 – 0,9	D3,0	1,5	+2 / +3	2200 – 2400	**1,5**	1,8 – 2
10	O_2	0,6 – 0,9	D3,0	1,5	+2 / +3	2200 – 2400	**1,3**	1,5 – 1,7
12	O_2	0,6 – 0,9	D3,0	1,5	+2 / +3	2200 – 2400	**1,0**	1,2 – 1,4
14	O_2	0,6 – 0,9	D4,0	1,5	+2 / +3	2200 – 2400	**0,85**	1 – 1,1
16	O_2	0,6 – 0,9	D4,0	1,5	+2 / +3	2200 – 2400	**0,72**	0,85 – 0,9
18	O_2	0,6 – 0,9	D4,0	1,5	+2 / +3	2200 – 2400	**0,60**	0,7 – 0,75
20	O_2	0,6 – 0,9	D4,0	1,2 – 1,5	+2 / +3,5	2200 – 2400	**0,51**	0,6 – 0,65
1	N_2 / Luft	10	S1,5	1	0	3000	**24**	28 – 35
2 ◆	N_2	12 – 16	S2,0	0,5	-1 / -1,5	3000	**24**	28
Edelstahl N_2; Luft, falls eine Quellenzeile vorliegt.								
1	N_2	20	S1,0 / S1,2 / S1,5	0,5	0 / -1	3000	**30**	35 – 37
2	N_2	20	S1,5 / S2,0	0,5	-1,5 / -2	3000	**11**	13 – 15
3	N_2	20	S2,0 / S2,5 / S3,0	0,5	-2,5 / -3	3000	**6,0**	7 – 8
4	N_2	20	S3,0	0,5	-3,5 / -4	3000	**3,8**	4,5 – 5,5
6	N_2	20	S3,5 / S4,0	0,5	-5 / -5,5	3000	**1,4**	1,7 – 1,9
8	N_2	20	S4,0	0,5	-6 / -7	3000	**0,68**	0,8 – 1
10	N_2	20	S4,0	0,5	-7,5 / -8,5	3000	**0,51**	0,6 – 0,7
Verzinktes Blech GWEIKE 3 kW: N_2 bei 1–2 mm; O_2 bei 3 und 5 mm. Düse/Abstand fehlen in den Quellennotizen (—); ◆ Referenz, nicht für Serienproduktion. O_2 kann die Beschichtung verbrennen; an einer Probe prüfen.								
1 ◆	N_2	14	—	—	-0,5	3000	**38**	45 – 55
2 ◆	N_2	16	—	—	-1	3000	**15**	18 – 24
3 ◆	O_2	0,8	—	—	+1,5	3000	**3,4**	4 – 5
5 ◆	O_2	0,6	—	—	+2,5	3000	**1,7**	2 – 3
Aluminium Stark reflektierend; Quelle/Kopf auf Eignung prüfen.								
1	N_2	20	S1,0 / S1,2 / S1,5	0,5	-0,5 / -1	3000	**26**	30 – 33
2	N_2	20	S1,5 / S2,0	0,5	-1 / -1,5	3000	**8,5**	10 – 12
3	N_2	20	S2,0 / S2,5 / S3,0	0,5	-2,5 / -3	3000	**4,7**	5,5 – 5,9
4	N_2	20	S3,0	0,5	-3,5 / -4	3000	**2,4**	2,8 – 3,2
6	N_2	20	S3,5 / S4,0	0,5	-5 / -5,5	3000	**0,60**	0,7 – 0,8
8	N_2	20	S4,0	0,5	-6 / -7	3000	**0,43**	0,5 – 0,6
Messing Stark reflektierend.								
3	N_2	20	S2,0 / S2,5 / S3,0	0,5	-2 / -2,5	3000	**3,8**	4,5 – 5
4	N_2	20	S3,0	0,5	-3 / -3,5	3000	**2,6**	3 – 3,5
6	N_2	20	S3,5 / S4,0	0,5	-5 / -5,5	3000	**0,85**	1 – 1,2

S einschichtige Düse · D zweischichtige Düse + / – Steuerungswert: Bezugspunkt Düsenspitze prüfen ★ DOKTEK abgeleitet/interpoliert

◆ Versuch; nicht für Serienproduktion

‡ Positiver Fokus: Die Quellentabelle gibt ihn so an; Bodor/GYC beschreiben für N_2 negativen oder nahezu null liegenden Fokus — an der Maschine prüfen. Die Markierung erscheint in N_2- und N_2/Luft-Zeilen, wenn die erste Fokuszahl positiv ist.

Datenquelle: Maxphotonics MFSC/MFMC: https://www.forum.linuxcnc.org/media/kunena/attachments/22451/null.pdf; GYC RFL-3000(50u): https://gyclaser.com/de/2024/03/07/fiber-laser-cutting-speed-chart/; KRRASS 3000W (2 mm ◆): https://www.krrass.com/3000w-fiber-laser-cutting-machine-cutting-parameters/; GWEIKE 3 kW verzinktes Blech (Recherche-Notiz): https://www.gwklaser.com/how-to-cut-galvanized-sheet-metal.html; ★ DOKTEK abgeleitet/interpoliert; ◆ Versuch / Kapazitätsgrenze / unvollständige Rezeptreferenz; nicht für Serienproduktion.

Kupfer: Keine Quellenzeile; Hersteller fragen.

9.5 4 kW (4000 W)

QUELLE / FASERKERN	KOPF / OPTIK	GASREINHEIT	DRUCKLUFT
Maxphotonics MFMC-4000 · 50 µm	Raytools · 100/200	O_2 ≥ 99,95 % (3.5) · N_2 ≥ 99,995 %; Qualitätsarbeiten: 5.0 (99,999 %) · H_2O < 5 ppm · HC < 1 ppm	Trocken, ölfrei · 0,01-µm-Filter

Zusätzliche Herstellerzeilen können andere Kopf-/Optikbedingungen als die Max-Haupttabelle haben. Quellenhinweis unten prüfen.

Dicke mm	Gas	Druck bar	Düse Typ · Ø mm	Höhe mm	Fokus mm	Leistung W	Startgeschwindigkeit m/min	Max. Geschwindigkeit m/min
Schwarzblech Gas und Leistung je Zeile beachten.								
3	O_2	0,6 – 0,9	D1,0	0,8	+4,5 / +5,5	4000	**3,4**	4 – 4,3
6	O_2	0,6 – 0,9	D1,2	0,8	+4,5 / +5,5	4000	**2,1**	2,5 – 2,7
8	O_2	0,6 – 0,9	D1,2	0,6 – 0,8	+5,5 / +6	4000	**1,7**	2 – 2,3
10	O_2	0,6 – 0,9	D3,0	1,5	+2 / +3	2200 – 2400	**1,5**	1,8 – 2
12	O_2	0,6 – 0,9	D3,0	1,5	+2 / +3	2200 – 2400	**1,3**	1,5 – 1,6
14	O_2	0,6 – 0,9	D4,0	1,5	+2 / +3	2200 – 2400	**1,0**	1,2 – 1,4
16	O_2	0,6 – 0,9	D4,0	1,5	+2 / +3	2200 – 2400	**0,85**	1 – 1,1
18	O_2	0,6 – 0,9	D4,0	1,5	+2 / +3	2200 – 2400	**0,77**	0,9 – 1
20	O_2	0,6 – 0,9	D4,0	1,2 – 1,5	+2 / +3,5	2200 – 2400	**0,55**	0,65 – 0,7
22	O_2	0,6 – 0,9	D4,0	1,2 – 1,5	+2 / +3,5	2200 – 2400	**0,47**	0,55 – 0,6
1	N_2 / Luft	10	S2,0	0,6	0	4000	**34**	40 – 50
2	N_2 / Luft	10	S2,0	0,6	-1	4000	**13**	15 – 20
3	N_2 / Luft	10	S2,0	0,6	-1	4000	**8,5**	10 – 12
4	O_2	0,6	D1,0	0,6	+5	3000	**3,0**	3,5 – 4
5	O_2	0,6	D1,0	0,6	+5	3300	**2,6**	3 – 3,5
25 ◆	O_2	0,6	D5,0	1,5	+5	2600	**0,34**	0,4 – 0,5
Edelstahl N_2; Luft, falls eine Quellenzeile vorliegt.								
1	N_2	20	S1,0 / S1,2 / S1,5	0,5	0 / -1	4000	**34**	40 – 43
2	N_2	20	S1,5 / S2,0	0,5	-1,5 / -2	4000	**16**	19 – 21
3	N_2	20	S2,0 / S2,5 / S3,0	0,5	-2,5 / -3	4000	**9,4**	11 – 13
4	N_2	20	S3,0	0,5	-3,5 / -4	4000	**5,5**	6,5 – 7
6	N_2	20	S3,5 / S4,0	0,5	-5 / -5,5	4000	**1,9**	2,2 – 2,5
8	N_2	20	S4,0	0,5	-6 / -7	4000	**1,3**	1,5 – 1,7
10	N_2	20	S4,0	0,5	-7,5 / -8,5	4000	**0,68**	0,8 – 0,9
5	N_2	14	S3,0	0,5	-2	4000	**3,4**	4 – 5
12	N_2	18	S5,0	0,5	-5	4000	**0,60**	0,7 – 1
14 ◆	N_2	18	S5,0	0,5	-8	4000	**0,51**	0,6 – 0,8
16 ◆	N_2	20	S5,0	0,5	-8	4000	**0,26**	0,3 – 0,5
Verzinktes Blech ★ Schwarzblech N_2/Luft × 0,85; sonst Edelstahl N_2 × 0,95. Bis 6 mm.								
1 ★	N_2 / Luft	10	S2,0	0,6	0	4000	**29**	34 – 43
2 ★	N_2 / Luft	10	S2,0	0,6	-1	4000	**11**	13 – 17
3 ★	N_2 / Luft	10	S2,0	0,6	-1	4000	**7,2**	8,5 – 10
4 ★	N_2 / Luft	20	S3,0	0,5	-3,5 / -4	4000	**5,2**	6,2 – 6,7
5 ★	N_2 / Luft	14	S3,0	0,5	-2	4000	**3,2**	3,8 – 4,8
6 ★	N_2 / Luft	20	S3,5 / S4,0	0,5	-5 / -5,5	4000	**1,8**	2,1 – 2,4
Aluminium Stark reflektierend; Quelle/Kopf auf Eignung prüfen.								
1	N_2	20	S1,0 / S1,2 / S1,5	0,5	-0,5 / -1	4000	**30**	35 – 37
2	N_2	20	S1,5 / S2,0	0,5	-1 / -1,5	4000	**13**	15 – 17

Dicke mm	Gas	Druck bar	Düse Typ · Ø mm	Höhe mm	Fokus mm	Leistung W	Startgeschwindigkeit m/min	Max. Geschwindigkeit m/min
3	N_2	20	◯ S2,0 / S2,5 / S3,0	0,5	-2,5 / -3	4000	**5,5**	6,5 – 7
4	N_2	20	◯ S3,0	0,5	-3,5 / -4	4000	**3,8**	4,5 – 4,8
6	N_2	20	◯ S3,5 / S4,0	0,5	-5 / -5,5	4000	**1,7**	2 – 2,2
8	N_2	20	◯ S4,0	0,5	-6 / -7	4000	**0,85**	1 – 1,2
10	N_2	20	◯ S4,0	0,5	-7,5 / -8,5	4000	**0,43**	0,5 – 0,6
5	N_2	15	◯ S3,0	0,5	-3	4000	**2,6**	3 – 4
12 ◆	N_2	18	◯ S5,0	0,5	-5,5	4000	**0,51**	0,6 – 0,8
Messing Stark reflektierend.								
3	N_2	20	◯ S2,0 / S2,5 / S3,0	0,5	-2 / -2,5	4000	**5,5**	6,5 – 6,8
4	N_2	20	◯ S3,0	0,5	-3 / -3,5	4000	**3,8**	4,5 – 4,7
6	N_2	20	◯ S3,5 / S4,0	0,5	-5 / -5,5	4000	**1,1**	1,3 – 1,5
8	N_2	20	◯ S4,0	0,5	-6 / -7	4000	**0,60**	0,7 – 0,8
1	N_2	10	◯ S2,0	0,5	0	4000	**26**	30 – 35
2	N_2	10	◯ S2,0	0,5	-1	4000	**13**	15 – 20
5	N_2	13	◯ S3,5	0,5	-2,5	4000	**1,7**	2 – 3
Kupfer Gas der Quellenzeile beachten; stark reflektierend.								
1	O_2	10	◯ S3,0	0,5	-1	4000	**22**	26 – 30
2	O_2	12	◯ S3,0	0,5	-1	4000	**8,5**	10 – 13
3	O_2	12	◯ S3,0	0,5	-2	4000	**4,7**	5,5 – 6,5
4	O_2	14	◯ S3,5	0,5	-4	4000	**1,7**	2 – 3

S einschichtige Düse · D zweischichtige Düse + / – Steuerungswert: Bezugspunkt Düsenspitze prüfen ★ DOKTEK abgeleitet/interpoliert

◆ Versuch; nicht für Serienproduktion

‡ Positiver Fokus: Die Quellentabelle gibt ihn so an; Bodor/GYC beschreiben für N_2 negativen oder nahezu null liegenden Fokus — an der Maschine prüfen. Die Markierung erscheint in N_2- und N_2/Luft-Zeilen, wenn die erste Fokuszahl positiv ist.

Datenquelle: Maxphotonics MFSC/MFMC; https://www.forum.linuxcnc.org/media/kunena/attachments/22451/null.pdf; Hersteller-4-kW-Tabelle: https://www.bestsheetmetalmachine.com/4000w-laser-cutting-parameters/; ★ DOKTEK abgeleitet/interpoliert; ◆ Versuch / Kapazitätsgrenze / unvollständige Rezeptreferenz; nicht für Serienproduktion.

Quellenhinweis: In der Max-Haupttabelle fehlende Rezepte bleiben im JSON mit „Quelle: Hersteller-4-kW-Tabelle“ erhalten.

9.6 6 kW (6000 W)

QUELLE / FASERKERN	KOPF / OPTIK	GASREINHEIT	DRUCKLUFT
KRRASS / BSM · gemischte Quellen; Quelle je Zeile beachten · 50 / 100 µm; je nach Material	Quellenseite nennt kein eindeutiges Modell · Für diese Quellentabelle nicht angegeben	O_2 ≥ 99,95 % (3.5) · N_2 ≥ 99,995 %; Qualitätsarbeiten: 5.0 (99,999 %) · H_2O < 5 ppm · HC < 1 ppm	Trocken, ölfrei · 0,01-µm-Filter

Dicke mm	Gas	Druck bar	Düse Typ · Ø mm	Höhe mm	Fokus mm	Leistung W	Startgeschwindigkeit m/min	Max. Geschwindigkeit m/min
Schwarzblech Gas und Leistung je Zeile beachten.								
3	O_2	0,6	D1,0	0,6	+6,5	4000	**3,1**	3,6 – 4,5
4	O_2	0,6	D1,0	0,6	+6,5	4000	**3,0**	3,5 – 4
5	O_2	0,6	D1,0	0,6	+6	4000	**2,4**	2,8 – 3
6	O_2	0,6	D1,0	0,6	+6	4000	**2,2**	2,6 – 2,8
8	O_2	0,6	D1,2	0,6	+6	5000	**1,9**	2,2 – 2,6
10	O_2	0,6	D1,2	0,6	+7	6000	**1,7**	2 – 2,2
12	O_2	0,6	D1,2	0,6	+9	6000	**1,5**	1,8 – 2
14	O_2	0,5	D1,4	0,6	+12	6000	**1,2**	1,4 – 1,6
16	O_2	0,6	D1,4	0,3	+14	6000	**0,85**	1 – 1,3
18	O_2	0,6	S1,6	0,3	+14	6000	**0,68**	0,8 – 1,1
20	O_2	0,6	S1,6	0,3	+15	6000	**0,51**	0,6 – 1
22	O_2	0,65	S1,6	0,3	+15	2400	**0,47**	0,55 – 0,65
25	O_2	0,8	S1,7	0,3	+16	6000	**0,51**	0,6 – 0,8
30 ◆	O_2	0,8	S1,7	0,3	+18	6000	**0,34**	0,4 – 0,5
35 ◆	O_2	1	S1,7	0,3	+19	6000	**0,26**	0,3 – 0,4
40 ◆	O_2	1	S1,7	0,3	+19	6000	**0,17**	0,2 – 0,3
1	N_2 / Luft	10	S2,0	0,6	0	6000	**51**	60 – 80
2	N_2 / Luft	12	S2,0	0,5	-0,5	6000	**34**	40 – 45
3	N_2 / Luft	14	S3,0	0,5	-1,5	6000	**20**	23 – 28
4	N_2 / Luft	14	S3,0	0,5	-3	6000	**13**	15 – 20
5	N_2 / Luft	16	S3,5	0,5	-3,5	6000	**8,5**	10 – 13
6	N_2 / Luft	18	S3,5	0,5	-4	6000	**6,0**	7 – 9
Edelstahl N_2; Luft, falls eine Quellenzeile vorliegt.								
12	N_2	18	S4,5	0,5	-8	6000	**1,3**	1,5 – 2
14	N_2	16	S4,5	0,5	-10	6000	**0,85**	1 – 1,3
16	N_2	18	S4,5	0,5	-11,5	6000	**0,68**	0,8 – 1
18	N_2	18	S5,0	0,5	-12,5	6000	**0,51**	0,6 – 0,7
20	N_2	18	S5,0	0,5	-13	6000	**0,43**	0,5 – 0,65
22	N_2	20	S6,0	0,5	-13	6000	**0,34**	0,4 – 0,5
25 ◆	N_2	25	S6,0	0,5	+6‡	6000	**0,13**	0,15 – 0,2
35 ◆	N_2	25	S6,0	0,5	+6‡	6000	**0,09**	0,1
1	N_2	10	S2,0	0,6	0	6000	**51**	60 – 80
2	N_2	12	S2,0	0,5	0	6000	**26**	30 – 35
3	N_2	12	S3,0	0,5	-0,5	6000	**17**	20 – 24
4	N_2	12	S3,0	0,5	-1	6000	**11**	13 – 16
5	N_2	14	S3,0	0,5	-1,5	6000	**7,7**	9 – 12
6	N_2	14	S4,0	0,5	-2	6000	**5,1**	6 – 8,5
8	N_2	16	S4,0	0,5	-4	6000	**2,6**	3 – 4,8
10	N_2	16	S4,5	0,5	-7,5	6000	**1,5**	1,8 – 2,5
Verzinktes Blech ★ Schwarzblech N_2/Luft × 0,85; sonst Edelstahl N_2 × 0,95. Bis 6 mm.								
1 ★	N_2 / Luft	10	S2,0	0,6	0	6000	**43**	51 – 68

Dicke mm	Gas	Druck bar	Düse Typ · Ø mm	Höhe mm	Fokus mm	Leistung W	Startgeschwindigkeit m/min	Max. Geschwindigkeit m/min
2 ★	N_2 / Luft	12	◯ S2,0	0,5	-0,5	6000	**29**	34 – 38
3 ★	N_2 / Luft	14	◯ S3,0	0,5	-1,5	6000	**17**	20 – 24
4 ★	N_2 / Luft	14	◯ S3,0	0,5	-3	6000	**11**	13 – 17
5 ★	N_2 / Luft	16	◯ S3,5	0,5	-3,5	6000	**7,2**	8,5 – 11
6 ★	N_2 / Luft	18	◯ S3,5	0,5	-4	6000	**5,1**	6 – 7,7
Aluminium Stark reflektierend; Quelle/Kopf auf Eignung prüfen.								
1	N_2	10	◯ S2,0	0,6	0	6000	**47**	55 – 60
2	N_2	10	◯ S2,0	0,5	-0,5	6000	**21**	25 – 28
3	N_2	14	◯ S3,0	0,5	-1	6000	**12**	14 – 16
4	N_2	14	◯ S3,0	0,5	-1,5	6000	**8,5**	10 – 12
5	N_2	15	◯ S3,0	0,5	-2	6000	**5,1**	6 – 8
6	N_2	16	◯ S4,0	0,5	-2,5	6000	**3,0**	3,5 – 4
8	N_2	16	◯ S4,0	0,5	-2,5	6000	**2,1**	2,5 – 3
10	N_2	18	◯ S4,0	0,5	-3	6000	**1,7**	2 – 2,5
12	N_2	18	◯ S4,0	0,5	-4	6000	**0,85**	1 – 1,5
14	N_2	20	◯ S5,0	0,5	-5	6000	**0,77**	0,9 – 1,1
16	N_2	20	◯ S5,0	0,5	-7	6000	**0,68**	0,8 – 0,9
18	N_2	25	◯ S5,0	0,5	-9	6000	**0,60**	0,7 – 0,8
20	N_2	25	◯ S5,0	0,5	-10	6000	**0,43**	0,5 – 0,7
Messing Stark reflektierend.								
1	N_2	10	◯ S2,0	0,6	0	6000	**34**	40 – 50
2	N_2	12	◯ S2,0	0,5	-0,5	6000	**17**	20 – 25
3	N_2	12	◯ S3,0	0,5	-1	6000	**6,8**	8 – 10
4	N_2	14	◯ S3,0	0,5	-1,5	6000	**5,5**	6,5 – 7,5
5	N_2	14	◯ S4,0	0,5	-2	6000	**4,7**	5,5 – 6,5
6	N_2	16	◯ S4,0	0,5	-2	6000	**3,0**	3,5 – 4,5
8	N_2	16	◯ S4,0	0,5	-3	6000	**1,3**	1,5 – 1,8
10	N_2	16	◯ S4,0	0,5	-3	6000	**0,68**	0,8 – 1
12	N_2	18	◯ S5,0	0,5	-7	6000	**0,51**	0,6 – 0,7
16 ◆	N_2	20	◯ S5,0	0,5	-9	6000	**0,26**	0,3 – 0,4
20 ◆	N_2	20	◯ S5,0	0,5	-10	6000	**0,09**	0,1 – 0,2
Kupfer Gas der Quellenzeile beachten; stark reflektierend.								
1	O_2	10	◯ S3,0	0,5	-1	6000	**26**	30 – 35
2	O_2	10	◯ S3,0	0,5	-1	6000	**10**	12 – 15
3	O_2	12	◯ S3,0	0,5	-2	6000	**6,0**	7 – 9
4	O_2	12	◯ S3,5	0,5	-3	6000	**5,1**	6 – 7
5	O_2	13	◯ S4,5	0,5	-4	6000	**4,3**	5 – 6
6	O_2	14	◯ S5,0	0,5	-5	6000	**2,1**	2,5 – 3,5
8 ◆	O_2	14	◯ S5,0	0,3	-5	6000	**1,3**	1,5 – 2

S einschichtige Düse · D zweischichtige Düse + / – Steuerungswert: Bezugspunkt Düsenspitze prüfen ★ DOKTEK abgeleitet/interpoliert

◆ Versuch; nicht für Serienproduktion

‡ Positiver Fokus: Die Quellentabelle gibt ihn so an; Bodor/GYC beschreiben für N_2 negativen oder nahezu null liegenden Fokus — an der Maschine prüfen. Die Markierung erscheint in N_2- und N_2/Luft-Zeilen, wenn die erste Fokuszahl positiv ist.

Datenquelle: KRRASS 6000 W (O_2/dicker Edelstahl: 50 µm; Schwarzblech N_2 und dünner Edelstahl: Einzelmodul 100 µm; Al: Multimodul 100 µm); BSM12 Messing/Kupfer 6000 W; https://www.krrass.com/6000w-fiber-laser-cutting-machine-parameters/; https://www.bestsheetmetalmachine.com/12000w-laser-cutting-parameters/; ★ DOKTEK abgeleitet/interpoliert; ◆ Versuch / Kapazitätsgrenze / unvollständige Rezeptreferenz; nicht für Serienproduktion.

9.7 8 kW (8000 W) ★

Interpolierte Tabelle

Für diese Leistung liegt keine vollständige veröffentlichte Tabelle vor. Werte sind aus benachbarten Leistungsstufen interpoliert. Durch Probeschnitte prüfen.

QUELLE / FASERKERN	KOPF / OPTIK	GASREINHEIT	DRUCKLUFT
★ 6–12 kW: Geschwindigkeit interpoliert · 50 / 100 µm (gemäß benachbarten Quellenzeilen)	Aus der 12-kW-Zeile: Jiaqiang · 100/125 (12 kW)	O_2 ≥ 99,95 % (3.5) · N_2 ≥ 99,995 %; Qualitätsarbeiten: 5.0 (99,999 %) · H_2O < 5 ppm · HC < 1 ppm	Trocken, ölfrei · 0,01-µm-Filter

Dicke mm	Gas	Druck bar	Düse Typ · Ø mm	Höhe mm	Fokus mm	Leistung W	Startgeschwindigkeit m/min	Max. Geschwindigkeit m/min
Schwarzblech Gas und Leistung je Zeile beachten.								
8 ★	O_2	0,6	D1,2	0,6	+10	4000	**1,9**	2,2 – 2,6
10 ★	O_2	0,6	D1,2	0,6	+11	6000	**1,7**	2 – 2,2
12 ★	O_2	0,6	D1,2	0,6	+12	6000	**1,5**	1,8 – 2
14 ★	O_2	0,6	D1,4	0,6	+12	8000	**1,2**	1,5 – 1,7
16 ★	O_2	0,5	D1,4	0,5	+13	8000	**0,99**	1,2 – 1,4
18 ★	O_2	0,5	S1,5	0,5	+14	8000	**0,91**	1,1 – 1,3
20 ★	O_2	0,5	S1,5	0,5	+15	8000	**0,74**	0,87 – 1,2
22 ★	O_2	0,5	S1,5	0,5	+15	8000	**0,68**	0,8 – 0,93
25 ★	O_2	0,55	S1,5	0,5	+15	8000	**0,62**	0,73 – 0,93
30 ★◆	O_2	0,7	S1,7	0,5	+16	8000	**0,45**	0,53 – 0,67
35 ★◆	O_2	1,5	S1,7	0,5	+17	8000	**0,31**	0,37 – 0,5
40 ★◆	O_2	1,2	S1,7	0,5	+17	8000	**0,20**	0,23 – 0,33
1 ★	N_2 / Luft	8	S2,0	0,5	0	8000	**51**	60 – 80
2 ★	N_2 / Luft	8	S3,0	0,5	-0,5	8000	**35**	42 – 47
3 ★	N_2 / Luft	8	S3,0	0,5	-1	8000	**22**	26 – 31
4 ★	N_2 / Luft	8	S3,0	0,5	-1	8000	**15**	18 – 23
5 ★	N_2 / Luft	8	S4,0	0,5	-2	8000	**11**	13 – 16
6 ★	N_2 / Luft	8	S4,0	0,5	-2	8000	**8,5**	10 – 13
Edelstahl N_2; Luft, falls eine Quellenzeile vorliegt.								
12 ★	N_2	18	S5,0	0,5	-3	8000	**2,6**	3 – 3,7
14 ★	N_2	18	S5,0	0,5	-5	8000	**1,7**	2 – 2,5
16 ★	N_2	20	S5,0	0,5	-6	8000	**1,2**	1,4 – 1,7
18 ★	N_2	20	S5,0	0,5	-10	8000	**0,79**	0,93 – 1,1
20 ★	N_2	20	S5,0	0,3	-11	8000	**0,68**	0,8 – 0,93
22 ★	N_2	20	S5,0	0,5	-12	8000	**0,57**	0,67 – 0,8
25 ★◆	N_2	20	S6,0	0,5	-13	8000	**0,31**	0,37 – 0,53
35 ★◆	N_2	25	S5,0	0,5	+7‡	8000	**0,11**	0,13 – 0,17
1 ★	N_2	10	S2,0	1	0	8000	**51**	60 – 77
2 ★	N_2	12	S2,0	0,5	0	8000	**27**	32 – 38
3 ★	N_2	13	S3,0	0,5	-0,5	8000	**20**	23 – 28
4 ★	N_2	12	S3,0	0,5	-1	8000	**13**	15 – 19
5 ★	N_2	12	S3,5	0,5	-1	8000	**9,4**	11 – 15
6 ★	N_2	12	S4,0	0,5	-1,5	8000	**6,8**	8 – 11
8 ★	N_2	13	S5,0	0,5	-3	8000	**4,3**	5 – 6,9
10 ★	N_2	14	S5,0	0,5	-3	8000	**2,7**	3,2 – 4

Dicke mm	Gas	Druck bar	Düse Typ · Ø mm	Höhe mm	Fokus mm	Leistung W	Startgeschwindigkeit m/min	Max. Geschwindigkeit m/min
Verzinktes Blech ★ Schwarzblech N_2/Luft × 0,85; sonst Edelstahl N_2 × 0,95. Bis 6 mm.								
1 ★	N_2 / Luft	8	◯ S2,0	0,5	0	8000	**43**	51 – 68
2 ★	N_2 / Luft	8	◯ S3,0	0,5	-0,5	8000	**30**	35 – 40
3 ★	N_2 / Luft	8	◯ S3,0	0,5	-1	8000	**19**	22 – 27
4 ★	N_2 / Luft	8	◯ S3,0	0,5	-1	8000	**13**	15 – 19
5 ★	N_2 / Luft	8	◯ S4,0	0,5	-2	8000	**9,6**	11 – 14
6 ★	N_2 / Luft	8	◯ S4,0	0,5	-2	8000	**7,2**	8,5 – 11
Aluminium Stark reflektierend; Quelle/Kopf auf Eignung prüfen.								
1 ★	N_2	12	◯ S2,0	0,6	0	8000	**45**	53 – 60
2 ★	N_2	12	◯ S2,0	0,5	-1	8000	**24**	28 – 32
3 ★	N_2	12	◯ S2,0	0,5	-1	8000	**15**	18 – 21
4 ★	N_2	12	◯ S2,0	0,5	-2	8000	**11**	13 – 16
5 ★	N_2	14	◯ S2,5	0,5	-3	8000	**7,4**	8,7 – 11
6 ★	N_2	14	◯ S2,5	0,5	-4	8000	**4,8**	5,7 – 6,7
8 ★	N_2	14	◯ S2,5	0,5	-6	8000	**3,4**	4 – 4,7
10 ★	N_2	14	◯ S5,0	0,5	-7	8000	**2,6**	3 – 3,7
12 ★	N_2	16	◯ S5,0	0,5	-7	8000	**1,3**	1,5 – 2,2
14 ★	N_2	16	◯ S5,0	0,5	-8	8000	**0,99**	1,2 – 1,6
16 ★	N_2	16	◯ S5,0	0,5	-9	8000	**0,91**	1,1 – 1,3
18 ★	N_2	16	◯ S5,0	0,5	-10	8000	**0,74**	0,87 – 1
20 ★	N_2	16	◯ S5,0	0,3	-12	8000	**0,57**	0,67 – 0,9
Messing Stark reflektierend.								
1 ★	N_2	10	◯ S2,0	0,6	0	8000	**34**	40 – 50
2 ★	N_2	12	◯ S2,0	0,5	-1	8000	**20**	23 – 28
3 ★	N_2	12	◯ S3,0	0,5	-1	8000	**11**	13 – 15
4 ★	N_2	12	◯ S3,0	0,5	-2	8000	**8,5**	10 – 12
5 ★	N_2	14	◯ S3,5	0,5	-3	8000	**7,1**	8,3 – 9,7
6 ★	N_2	14	◯ S4,0	0,5	-3	8000	**4,5**	5,3 – 6,7
8 ★	N_2	14	◯ S4,5	0,5	-4	8000	**2,8**	3,3 – 3,9
10 ★	N_2	14	◯ S4,5	0,5	-5	8000	**1,7**	2 – 2,5
12 ★	N_2	14	◯ S4,5	0,5	-5	8000	**1,0**	1,2 – 1,5
16 ★◆	N_2	16	◯ S5,0	0,5	-11	8000	**0,40**	0,47 – 0,6
Kupfer Gas der Quellenzeile beachten; stark reflektierend.								
1 ★	O_2	10	◯ S3,0	0,6	-0,5	8000	**26**	30 – 35
2 ★	O_2	12	◯ S3,0	0,5	-1	8000	**12**	15 – 18
3 ★	O_2	13	◯ S3,0	0,5	-2	8000	**8,5**	10 – 13
4 ★	O_2	13	◯ S3,5	0,5	-3	8000	**6,2**	7,3 – 9
5 ★	O_2	13	◯ S4,5	0,5	-4,5	8000	**4,8**	5,7 – 7,3
6 ★	O_2	14	◯ S4,5	0,5	-5	8000	**2,7**	3,2 – 4,2
8 ★◆	O_2	16	◯ S4,5	0,5	-6	8000	**1,6**	1,8 – 2,3

S einschichtige Düse · D zweischichtige Düse + / – Steuerungswert: Bezugspunkt Düsenspitze prüfen ★ DOKTEK abgeleitet/interpoliert

◆ Versuch; nicht für Serienproduktion

‡ Positiver Fokus: Die Quellentabelle gibt ihn so an; Bodor/GYC beschreiben für N_2 negativen oder nahezu null liegenden Fokus — an der Maschine prüfen. Die Markierung erscheint in N_2- und N_2/Luft-Zeilen, wenn die erste Fokuszahl positiv ist.

Datenquelle: KRRASS 6/12 kW + BSM12 6000 W; https://www.krrass.com/6000w-fiber-laser-cutting-machine-parameters/; https://www.krrass.com/12kw-fiber-laser-cutting-machine-cutting-parameters/; https://www.krrass.com/12000w-fiber-laser-cutting-machine-parameters/; https://www.bestsheetmetalmachine.com/12000w-laser-cutting-parameters/; ★ DOKTEK abgeleitet/interpoliert; ◆ Versuch / Kapazitätsgrenze / unvollständige Rezeptreferenz; nicht für Serienproduktion.

★ Geschwindigkeitsbereiche werden mit höchstens zwei Dezimalstellen gedruckt.

9.8 10 kW (10000 W) ★

! Interpolierte Tabelle

Für diese Leistung liegt keine vollständige veröffentlichte Tabelle vor. Werte sind aus benachbarten Leistungsstufen interpoliert. Durch Probeschnitte prüfen.

QUELLE / FASERKERN	KOPF / OPTIK	GASREINHEIT	DRUCKLUFT
★ 6–12 kW: Geschwindigkeit interpoliert · 50 / 100 µm (gemäß benachbarten Quellenzeilen)	Aus der 12-kW-Zeile: Jiaqiang · 100/125 (12 kW)	O_2 ≥ 99,95 % (3.5) · N_2 ≥ 99,995 %; Qualitätsarbeiten: 5.0 (99,999 %) · H_2O < 5 ppm · HC < 1 ppm	Trocken, ölfrei · 0,01-µm-Filter

Dicke mm	Gas	Druck bar	Düse Typ · Ø mm	Höhe mm	Fokus mm	Leistung W	Startgeschwindigkeit m/min	Max. Geschwindigkeit m/min
Schwarzblech Gas und Leistung je Zeile beachten.								
8 ★	O_2	0,6	D1,2	0,6	+10	4000	**1,9**	2,3 – 2,5
10 ★	O_2	0,6	D1,2	0,6	+11	6000	**1,7**	2 – 2,2
12 ★	O_2	0,6	D1,2	0,6	+12	6000	**1,5**	1,8 – 2
14 ★	O_2	0,6	D1,4	0,6	+12	8000	**1,3**	1,5 – 1,7
16 ★	O_2	0,5	D1,4	0,5	+13	8000	**1,1**	1,3 – 1,6
18 ★	O_2	0,5	S1,5	0,5	+14	10000	**1,1**	1,3 – 1,5
20 ★	O_2	0,5	S1,5	0,5	+15	10000	**0,96**	1,1 – 1,4
22 ★	O_2	0,5	S1,5	0,5	+15	10000	**0,89**	1,1 – 1,2
25 ★	O_2	0,55	S1,5	0,5	+15	10000	**0,74**	0,87 – 1,1
30 ★◆	O_2	0,7	S1,7	0,5	+16	10000	**0,57**	0,67 – 0,83
35 ★◆	O_2	1,5	S1,7	0,5	+17	10000	**0,37**	0,43 – 0,6
40 ★◆	O_2	1,2	S1,7	0,5	+17	10000	**0,23**	0,27 – 0,37
1 ★	N_2 / Luft	8	S2,0	0,5	0	10000	**51**	60 – 80
2 ★	N_2 / Luft	8	S3,0	0,5	-0,5	10000	**37**	43 – 48
3 ★	N_2 / Luft	8	S3,0	0,5	-1	10000	**25**	29 – 35
4 ★	N_2 / Luft	8	S3,0	0,5	-1	10000	**17**	20 – 25
5 ★	N_2 / Luft	8	S4,0	0,5	-2	10000	**14**	17 – 20
6 ★	N_2 / Luft	8	S4,0	0,5	-2	10000	**11**	13 – 16
Edelstahl N_2; Luft, falls eine Quellenzeile vorliegt.								
12 ★	N_2	18	S5,0	0,5	-3	10000	**3,8**	4,5 – 5,3
14 ★	N_2	18	S5,0	0,5	-5	10000	**2,6**	3 – 3,8
16 ★	N_2	20	S5,0	0,5	-6	10000	**1,6**	1,9 – 2,3
18 ★	N_2	20	S5,0	0,5	-10	10000	**1,1**	1,3 – 1,6
20 ★	N_2	20	S5,0	0,3	-11	10000	**0,94**	1,1 – 1,2
22 ★	N_2	20	S5,0	0,5	-12	10000	**0,79**	0,93 – 1,1
25 ★◆	N_2	20	S6,0	0,5	-13	10000	**0,50**	0,58 – 0,87
35 ★◆	N_2	25	S5,0	0,5	+7‡	10000	**0,14**	0,17 – 0,23
1 ★	N_2	10	S2,0	1	0	10000	**51**	60 – 73
2 ★	N_2	12	S2,0	0,5	0	10000	**28**	33 – 42
3 ★	N_2	13	S3,0	0,5	-0,5	10000	**23**	27 – 31
4 ★	N_2	12	S3,0	0,5	-1	10000	**15**	18 – 23
5 ★	N_2	12	S3,5	0,5	-1	10000	**11**	13 – 17
6 ★	N_2	12	S4,0	0,5	-1,5	10000	**8,5**	10 – 13
8 ★	N_2	13	S5,0	0,5	-3	10000	**6,0**	7 – 8,9
10 ★	N_2	14	S5,0	0,5	-3	10000	**3,9**	4,6 – 5,5

Dicke mm	Gas	Druck bar	Düse Typ · Ø mm	Höhe mm	Fokus mm	Leistung W	Startgeschwindigkeit m/min	Max. Geschwindigkeit m/min
Verzinktes Blech ★ Schwarzblech N_2/Luft × 0,85; sonst Edelstahl N_2 × 0,95. Bis 6 mm.								
1 ★	N_2 / Luft	8	◯ S2,0	0,5	0	10000	**43**	51 – 68
2 ★	N_2 / Luft	8	◯ S3,0	0,5	-0,5	10000	**31**	37 – 41
3 ★	N_2 / Luft	8	◯ S3,0	0,5	-1	10000	**21**	25 – 29
4 ★	N_2 / Luft	8	◯ S3,0	0,5	-1	10000	**15**	17 – 22
5 ★	N_2 / Luft	8	◯ S4,0	0,5	-2	10000	**12**	14 – 17
6 ★	N_2 / Luft	8	◯ S4,0	0,5	-2	10000	**9,4**	11 – 14
Aluminium Stark reflektierend; Quelle/Kopf auf Eignung prüfen.								
1 ★	N_2	12	◯ S2,0	0,6	0	10000	**44**	52 – 60
2 ★	N_2	12	◯ S2,0	0,5	-1	10000	**27**	32 – 36
3 ★	N_2	12	◯ S2,0	0,5	-1	10000	**18**	21 – 25
4 ★	N_2	12	◯ S2,0	0,5	-2	10000	**13**	15 – 19
5 ★	N_2	14	◯ S2,5	0,5	-3	10000	**9,6**	11 – 14
6 ★	N_2	14	◯ S2,5	0,5	-4	10000	**6,7**	7,8 – 9,3
8 ★	N_2	14	◯ S2,5	0,5	-6	10000	**4,7**	5,5 – 6,3
10 ★	N_2	14	◯ S5,0	0,5	-7	10000	**3,4**	4 – 4,8
12 ★	N_2	16	◯ S5,0	0,5	-7	10000	**1,8**	2,1 – 2,8
14 ★	N_2	16	◯ S5,0	0,5	-8	10000	**1,2**	1,4 – 2
16 ★	N_2	16	◯ S5,0	0,5	-9	10000	**1,1**	1,3 – 1,6
18 ★	N_2	16	◯ S5,0	0,5	-10	10000	**0,88**	1 – 1,3
20 ★	N_2	16	◯ S5,0	0,3	-12	10000	**0,71**	0,83 – 1,1
Messing Stark reflektierend.								
1 ★	N_2	10	◯ S2,0	0,6	0	10000	**34**	40 – 50
2 ★	N_2	12	◯ S2,0	0,5	-1	10000	**23**	27 – 32
3 ★	N_2	12	◯ S3,0	0,5	-1	10000	**15**	17 – 20
4 ★	N_2	12	◯ S3,0	0,5	-2	10000	**11**	14 – 16
5 ★	N_2	14	◯ S3,5	0,5	-3	10000	**9,5**	11 – 13
6 ★	N_2	14	◯ S4,0	0,5	-3	10000	**6,1**	7,2 – 8,8
8 ★	N_2	14	◯ S4,5	0,5	-4	10000	**4,4**	5,2 – 5,9
10 ★	N_2	14	◯ S4,5	0,5	-5	10000	**2,8**	3,3 – 4
12 ★	N_2	14	◯ S4,5	0,5	-5	10000	**1,5**	1,8 – 2,2
16 ★◆	N_2	16	◯ S5,0	0,5	-11	10000	**0,54**	0,63 – 0,8
Kupfer Gas der Quellenzeile beachten; stark reflektierend.								
1 ★	O_2	10	◯ S3,0	0,6	-0,5	10000	**26**	30 – 35
2 ★	O_2	12	◯ S3,0	0,5	-1	10000	**15**	17 – 22
3 ★	O_2	13	◯ S3,0	0,5	-2	10000	**11**	13 – 16
4 ★	O_2	13	◯ S3,5	0,5	-3	10000	**7,4**	8,7 – 11
5 ★	O_2	13	◯ S4,5	0,5	-4,5	10000	**5,4**	6,3 – 8,7
6 ★	O_2	14	◯ S4,5	0,5	-5	10000	**3,3**	3,8 – 4,8
8 ★◆	O_2	16	◯ S4,5	0,5	-6	10000	**1,8**	2,2 – 2,7

S einschichtige Düse · D zweischichtige Düse + / – Steuerungswert: Bezugspunkt Düsenspitze prüfen ★ DOKTEK abgeleitet/interpoliert

◆ Versuch; nicht für Serienproduktion

‡ Positiver Fokus: Die Quellentabelle gibt ihn so an; Bodor/GYC beschreiben für N_2 negativen oder nahezu null liegenden Fokus — an der Maschine prüfen. Die Markierung erscheint in N_2- und N_2/Luft-Zeilen, wenn die erste Fokuszahl positiv ist.

Datenquelle: KRRASS 6/12 kW + BSM12 6000 W; https://www.krrass.com/6000w-fiber-laser-cutting-machine-parameters/; https://www.krrass.com/12kw-fiber-laser-cutting-machine-cutting-parameters/; https://www.krrass.com/12000w-fiber-laser-cutting-machine-parameters/; https://www.bestsheetmetalmachine.com/12000w-laser-cutting-parameters/; ★ DOKTEK abgeleitet/interpoliert; ◆ Versuch / Kapazitätsgrenze / unvollständige Rezeptreferenz; nicht für Serienproduktion.

★ Geschwindigkeitsbereiche werden mit höchstens zwei Dezimalstellen gedruckt.

9.9 12 kW (12000 W)

QUELLE / FASERKERN	KOPF / OPTIK	GASREINHEIT	DRUCKLUFT
KRRASS · gemischte Quellen; Quelle je Zeile beachten · 50 / 100 µm; je nach Material	Jiaqiang (Name in der Quelle) · 100/125	O_2 ≥ 99,95 % (3.5) · N_2 ≥ 99,995 %; Qualitätsarbeiten: 5.0 (99,999 %) · H_2O < 5 ppm · HC < 1 ppm	Trocken, ölfrei · 0,01-µm-Filter

Dicke mm	Gas	Druck bar	Düse Typ · Ø mm	Höhe mm	Fokus mm	Leistung W	Startgeschwindigkeit m/min	Max. Geschwindigkeit m/min
Schwarzblech Gas und Leistung je Zeile beachten.								
1	N_2 / Luft	8	S2,0	0,5	0	12000	**51**	60 – 80
2	N_2 / Luft	8	S3,0	0,5	-0,5	12000	**38**	45 – 50
3	N_2 / Luft	8	S3,0	0,5	-1	12000	**27**	32 – 38
4	N_2 / Luft	8	S3,0	0,5	-1	12000	**20**	23 – 28
5	N_2 / Luft	8	S4,0	0,5	-2	12000	**17**	20 – 23
6	N_2 / Luft	8	S4,0	0,5	-2	12000	**14**	16 – 20
8	N_2 / Luft	8	S5,0	0,5	-3	12000	**8,5**	10 – 13
10	N_2 / Luft	10	S5,0	0,5	-3	12000	**4,7**	5,5 – 7,5
12	N_2 / Luft	16	S5,0	0,5	-3	12000	**3,4**	4 – 5,5
8	O_2	0,6	D1,2	0,6	+10	4000	**2,0**	2,3 – 2,5
10	O_2	0,6	D1,2	0,6	+11	6000	**1,7**	2 – 2,2
12	O_2	0,6	D1,2	0,6	+12	6000	**1,5**	1,8 – 2
14	O_2	0,6	D1,4	0,6	+12	8000	**1,4**	1,6 – 1,8
16	O_2	0,5	D1,4	0,5	+13	8000	**1,3**	1,5 – 1,7
18	O_2	0,5	S1,5	0,5	+14	10000	**1,4**	1,6 – 1,7
20	O_2	0,5	S1,5	0,5	+15	12000	**1,2**	1,4 – 1,6
22	O_2	0,5	S1,5	0,5	+15	12000	**1,1**	1,3 – 1,5
25	O_2	0,55	S1,5	0,5	+15	12000	**0,85**	1 – 1,2
30	O_2	0,7	S1,7	0,5	+16	12000	**0,68**	0,8 – 1
35	O_2	1,5	S1,7	0,5	+17	12000	**0,43**	0,5 – 0,7
40 ◆	O_2	1,2	S1,7	0,5	+17	12000	**0,26**	0,3 – 0,4
Edelstahl N_2; Luft, falls eine Quellenzeile vorliegt.								
12	N_2	18	S5,0	0,5	-3	12000	**5,1**	6 – 7
14	N_2	18	S5,0	0,5	-5	12000	**3,4**	4 – 5
16	N_2	20	S5,0	0,5	-6	12000	**2,1**	2,5 – 3
18	N_2	20	S5,0	0,5	-10	12000	**1,4**	1,6 – 2
20	N_2	20	S5,0	0,3	-11	12000	**1,2**	1,4 – 1,5
22	N_2	20	S5,0	0,5	-12	12000	**1,0**	1,2 – 1,4
25	N_2	20	S6,0	0,5	-13	12000	**0,68**	0,8 – 1,2
30	N_2	25	S5,0	0,5	+7‡	12000	**0,26**	0,3 – 0,4
35 ◆	N_2	25	S5,0	0,5	+7‡	12000	**0,17**	0,2 – 0,3
40 ◆	N_2	25	S5,0	0,5	+7‡	12000	**0,09**	0,1 – 0,15
1	N_2	10	S2,0	1	0	12000	**51**	60 – 70
2	N_2	12	S2,0	0,5	0	12000	**30**	35 – 45
3	N_2	13	S3,0	0,5	-0,5	12000	**26**	30 – 35
4	N_2	12	S3,0	0,5	-1	12000	**17**	20 – 26
5	N_2	12	S3,5	0,5	-1	12000	**13**	15 – 20
6	N_2	12	S4,0	0,5	-1,5	12000	**10**	12 – 15
8	N_2	13	S5,0	0,5	-3	12000	**7,7**	9 – 11
10	N_2	14	S5,0	0,5	-3	12000	**5,1**	6 – 7
1	Luft	10	S2,0	1	0	12000	**51**	60 – 70
2	Luft	12	S2,0	0,5	0	12000	**30**	35 – 45

Dicke mm	Gas	Druck bar	Düse Typ · Ø mm	Höhe mm	Fokus mm	Leistung W	Startgeschwindigkeit m/min	Max. Geschwindigkeit m/min
3	Luft	13	S3,0	0,5	-0,5	12000	**26**	30 – 35
4	Luft	12	S3,0	0,5	-1	12000	**17**	20 – 26
5	Luft	12	S3,5	0,5	-1	12000	**13**	15 – 20
6	Luft	12	S4,0	0,5	-1,5	12000	**10**	12 – 15
8	Luft	13	S5,0	0,5	-3	12000	**7,7**	9 – 11
10	Luft	14	S5,0	0,5	-3	12000	**6,0**	7 – 8
Verzinktes Blech ★ Schwarzblech N_2/Luft × 0,85; sonst Edelstahl N_2 × 0,95. Bis 6 mm.								
1 ★	N_2 / Luft	8	S2,0	0,5	0	12000	**43**	51 – 68
2 ★	N_2 / Luft	8	S3,0	0,5	-0,5	12000	**33**	38 – 43
3 ★	N_2 / Luft	8	S3,0	0,5	-1	12000	**23**	27 – 32
4 ★	N_2 / Luft	8	S3,0	0,5	-1	12000	**17**	20 – 24
5 ★	N_2 / Luft	8	S4,0	0,5	-2	12000	**14**	17 – 20
6 ★	N_2 / Luft	8	S4,0	0,5	-2	12000	**12**	14 – 17
Aluminium Stark reflektierend; Quelle/Kopf auf Eignung prüfen.								
1	N_2	12	S2,0	0,6	0	12000	**43**	50 – 60
2	N_2	12	S2,0	0,5	-1	12000	**30**	35 – 40
3	N_2	12	S2,0	0,5	-1	12000	**21**	25 – 30
4	N_2	12	S2,0	0,5	-2	12000	**15**	18 – 23
5	N_2	14	S2,5	0,5	-3	12000	**12**	14 – 17
6	N_2	14	S2,5	0,5	-4	12000	**8,5**	10 – 12
8	N_2	14	S2,5	0,5	-6	12000	**6,0**	7 – 8
10	N_2	14	S5,0	0,5	-7	12000	**4,3**	5 – 6
12	N_2	16	S5,0	0,5	-7	12000	**2,2**	2,6 – 3,5
14	N_2	16	S5,0	0,5	-8	12000	**1,4**	1,7 – 2,5
16	N_2	16	S5,0	0,5	-9	12000	**1,4**	1,6 – 2
18	N_2	16	S5,0	0,5	-10	12000	**1,0**	1,2 – 1,5
20	N_2	16	S5,0	0,3	-12	12000	**0,85**	1 – 1,3
25	N_2	25	S5,0	0,5	-13	12000	**0,51**	0,6 – 0,8
30	N_2	25	S5,0	0,5	+7‡	12000	**0,26**	0,3 – 0,4
40	N_2	25	S5,0	0,5	+8‡	12000	**0,17**	0,2 – 0,3
Messing Stark reflektierend.								
1	N_2	10	S2,0	0,6	0	12000	**34**	40 – 50
2	N_2	12	S2,0	0,5	-1	12000	**26**	30 – 35
3	N_2	12	S3,0	0,5	-1	12000	**19**	22 – 25
4	N_2	12	S3,0	0,5	-2	12000	**14**	17 – 20
5	N_2	14	S3,5	0,5	-3	12000	**12**	14 – 16
6	N_2	14	S4,0	0,5	-3	12000	**7,7**	9 – 11
8	N_2	14	S4,5	0,5	-4	12000	**6,0**	7 – 8
10	N_2	14	S4,5	0,5	-5	12000	**3,8**	4,5 – 5,5
12	N_2	14	S4,5	0,5	-5	12000	**2,0**	2,4 – 3
14	N_2	16	S5,0	0,5	-8	12000	**1,2**	1,4 – 2
16	N_2	16	S5,0	0,5	-11	12000	**0,68**	0,8 – 1
Kupfer Gas der Quellenzeile beachten; stark reflektierend.								
1	O_2	10	S3,0	0,6	-0,5	12000	**26**	30 – 35
2	O_2	12	S3,0	0,5	-1	12000	**17**	20 – 25
3	O_2	13	S3,0	0,5	-2	12000	**14**	16 – 20
4	O_2	13	S3,5	0,5	-3	12000	**8,5**	10 – 13
5	O_2	13	S4,5	0,5	-4,5	12000	**6,0**	7 – 10
6	O_2	14	S4,5	0,5	-5	12000	**3,8**	4,5 – 5,5

Dicke mm	Gas	Druck bar	Düse Typ · Ø mm	Höhe mm	Fokus mm	Leistung W	Startgeschwindigkeit m/min	Max. Geschwindigkeit m/min
8	O_2	16	◯ **S4,5**	0,5	-6	12000	**2,1**	2,5 – 3
10	O_2	18	◯ **S4,5**	0,5	-8	12000	**0,85**	1 – 1,5

S einschichtige Düse · D zweischichtige Düse + / – Steuerungswert: Bezugspunkt Düsenspitze prüfen ★ DOKTEK abgeleitet/interpoliert

◆ Versuch; nicht für Serienproduktion

‡ Positiver Fokus: Die Quellentabelle gibt ihn so an; Bodor/GYC beschreiben für N_2 negativen oder nahezu null liegenden Fokus — an der Maschine prüfen. Die Markierung erscheint in N_2- und N_2/Luft-Zeilen, wenn die erste Fokuszahl positiv ist.

Datenquelle: KRRASS 12 kW (Schwarzblech/dicker Edelstahl: 50 µm; Al/Messing/Kupfer/dünner Edelstahl: 100 µm); https://www.krrass.com/12kw-fiber-laser-cutting-machine-cutting-parameters/; https://www.krrass.com/12000w-fiber-laser-cutting-machine-parameters/; ★ DOKTEK abgeleitet/interpoliert; ◆ Versuch / Kapazitätsgrenze / unvollständige Rezeptreferenz; nicht für Serienproduktion.

9.10 15 kW (15000 W)

QUELLE / FASERKERN	KOPF / OPTIK	GASREINHEIT	DRUCKLUFT
MAX/Raycus/IPG · Multimodul · 100 µm	Jiaqiang (Name in der Quelle) · 100/125	O_2 ≥ 99,95 % (3.5) · N_2 ≥ 99,995 %; Qualitätsarbeiten: 5.0 (99,999 %) · H_2O < 5 ppm · HC < 1 ppm	Trocken, ölfrei · 0,01-µm-Filter

Dicke mm	Gas	Druck bar	Düse Typ · Ø mm	Höhe mm	Fokus mm	Leistung W	Startgeschwindigkeit m/min	Max. Geschwindigkeit m/min
Schwarzblech Gas und Leistung je Zeile beachten.								
1	N_2 / Luft	10	S2,0	1	0	15000	**51**	60 – 80
2	N_2 / Luft	10	S2,0	0,5	0	15000	**43**	50 – 60
3	N_2 / Luft	12	S3,0	0,5	0	15000	**26**	30 – 33
4	N_2 / Luft	12	S3,0	0,5	0	15000	**20**	23 – 26
5	N_2 / Luft	12	S3,5	0,5	0	15000	**17**	20 – 22
6	N_2 / Luft	12	S3,5	0,5	0	15000	**14**	17 – 19
8	N_2 / Luft	12	S4,0	0,5	-1	15000	**9,4**	11 – 12
10	N_2 / Luft	13	S4,0	0,5	-1	15000	**6,0**	7 – 8
12	N_2 / Luft	13	S4,5	0,5	-2	15000	**4,3**	5 – 6
14	N_2 / Luft	15	S4,5	0,5	-6	15000	**3,4**	4 – 4,5
16	N_2 / Luft	16	S5,0	0,5	-8	15000	**2,6**	3 – 3,5
10	O_2	0,6	D1,2	0,5	+8	6000	**1,7**	2 – 2,3
12	O_2	0,6	D1,2	0,5	+8	7500	**1,5**	1,8 – 2,1
14	O_2	0,6	D1,4	0,5	+9	8500	**1,4**	1,7 – 1,9
16	O_2	0,6	D1,4	0,5	+10	9500	**1,4**	1,6 – 1,7
20	O_2	0,6	D1,6	0,5	+12	15000	**1,2**	1,4 – 1,6
22	O_2	0,7	D1,6	0,5	+12	15000	**1,0**	1,2 – 1,4
25	O_2	0,7	S1,4	0,3	+13	15000	**0,85**	1 – 1,2
30	O_2	0,9	S1,6	0,3	+12	15000	**0,34**	0,4 – 1
40	O_2	1,3	S1,8	0,3	+13	15000	**0,17**	0,2 – 0,3
50	O_2	1,5	S1,8	0,3	+13	15000	**0,09**	0,1 – 0,2
Edelstahl N_2; Luft, falls eine Quellenzeile vorliegt.								
1	N_2	10	S2,0	1	0	15000	**51**	60 – 80
2	N_2	12	S2,0	0,5	0	15000	**34**	40 – 50
3	N_2	13	S3,5	0,5	0	15000	**29**	34 – 38
4	N_2	12	S3,5	0,5	-1	15000	**20**	23 – 30
5	N_2	13	S4,0	0,5	-1	15000	**15**	18 – 23
6	N_2	13	S4,5	0,5	-2	15000	**14**	16 – 19
8	N_2	13	S5,0	0,5	-3	15000	**8,5**	10 – 12
10	N_2	14	S5,0	0,5	-4	15000	**6,8**	8 – 10
12	N_2	15	S5,0	0,5	-5	15000	**5,1**	6 – 7
14	N_2	15	S5,0	0,5	-7	15000	**3,0**	3,5 – 4,5
16	N_2	16	S5,0	0,5	-8	15000	**2,1**	2,5 – 3,5
18	N_2	18	S5,0	0,5	-9	15000	**1,5**	1,8 – 2,3
20	N_2	20	S5,0	0,5	-11	15000	**1,3**	1,5 – 2
25	N_2	25	S5,0	0,5	-13	15000	**0,77**	0,9 – 1,2
30	N_2	25	S5,0	0,5	-16	15000	**0,26**	0,3 – 0,4
40	N_2	25	S5,0	0,5	+8‡	15000	**0,13**	0,15 – 0,2
50	N_2	25	S5,0	0,5	+9‡	15000	**0,09**	0,1 – 0,15
1	Luft	10	S3,0	1	-1	15000	**51**	60 – 80
2	Luft	12	S3,0	0,5	-1	15000	**34**	40 – 60
3	Luft	13	S3,5	0,5	-1	15000	**26**	30 – 35

Dicke mm	Gas	Druck bar	Düse Typ · Ø mm	Höhe mm	Fokus mm	Leistung W	Startgeschwindigkeit m/min	Max. Geschwindigkeit m/min
4	Luft	14	◯ S3,5	0,5	-2	15000	**21**	25 – 28
5	Luft	16	◯ S4,0	0,5	-4	15000	**19**	22 – 25
6	Luft	16	◯ S4,5	0,5	-4	15000	**15**	18 – 20
8	Luft	16	◯ S4,5	0,5	-4	15000	**8,5**	10 – 12
10	Luft	16	◯ S4,5	0,5	-5	15000	**6,8**	8 – 9
12	Luft	18	◯ S4,5	0,5	-6	15000	**5,1**	6 – 7
14	Luft	18	◯ S5,0	0,5	-8	15000	**3,4**	4 – 4,2
16	Luft	20	◯ S5,0	0,5	-10	15000	**2,1**	2,5 – 3
18	Luft	20	◯ S5,0	0,5	-10	15000	**1,7**	2 – 2,3
20	Luft	25	◯ S5,0	0,5	-15	15000	**1,5**	1,8 – 2
25	Luft	25	◯ S6,0	0,5	-19	15000	**1,0**	1,2 – 1,4
30	Luft	25	◯ S6,0	0,5	-21	15000	**0,68**	0,8 – 1
35	Luft	25	◯ S6,0	0,5	-24	15000	**0,34**	0,4 – 0,6
Verzinktes Blech ★ Schwarzblech N_2/Luft × 0,85; sonst Edelstahl N_2 × 0,95. Bis 6 mm.								
1 ★	N_2 / Luft	10	◯ S2,0	1	0	15000	**43**	51 – 68
2 ★	N_2 / Luft	10	◯ S2,0	0,5	0	15000	**36**	43 – 51
3 ★	N_2 / Luft	12	◯ S3,0	0,5	0	15000	**22**	26 – 28
4 ★	N_2 / Luft	12	◯ S3,0	0,5	0	15000	**17**	20 – 22
5 ★	N_2 / Luft	12	◯ S3,5	0,5	0	15000	**14**	17 – 19
6 ★	N_2 / Luft	12	◯ S3,5	0,5	0	15000	**12**	14 – 16
Aluminium Stark reflektierend; Quelle/Kopf auf Eignung prüfen.								
1	N_2	10	◯ S3,0	0,6	0	15000	**51**	60 – 70
2	N_2	12	◯ S3,0	0,5	-1	15000	**34**	40 – 50
3	N_2	14	◯ S3,0	0,5	-1	15000	**29**	34 – 40
4	N_2	14	◯ S3,5	0,5	-2	15000	**18**	21 – 26
5	N_2	14	◯ S3,5	0,5	-3	15000	**14**	16 – 20
6	N_2	14	◯ S4,0	0,5	-4	15000	**11**	13 – 15
8	N_2	16	◯ S4,0	0,5	-6	15000	**7,7**	9 – 11
10	N_2	16	◯ S4,5	0,5	-7	15000	**5,1**	6 – 8
12	N_2	16	◯ S4,5	0,5	-9	15000	**2,1**	2,5 – 4
14	N_2	16	◯ S5,0	0,5	-9	15000	**1,7**	2 – 3
16	N_2	18	◯ S5,0	0,5	-10	15000	**1,3**	1,5 – 2
18	N_2	18	◯ S5,0	0,5	-11	15000	**1,1**	1,3 – 1,8
20	N_2	20	◯ S5,0	0,3	-13	15000	**0,68**	0,8 – 1,3
25	N_2	25	◯ S5,0	0,5	-14	15000	**0,43**	0,5 – 0,7
30	N_2	25	◯ S5,0	0,5	-17	15000	**0,34**	0,4 – 0,5
40	N_2	25	◯ S5,0	0,5	+8‡	15000	**0,17**	0,2 – 0,3
50	N_2	25	◯ S5,0	0,5	+9‡	15000	**0,09**	0,1 – 0,2
Messing Stark reflektierend.								
1	N_2	12	◯ S2,0	1	0	15000	**43**	50 – 60
2	N_2	12	◯ S2,0	0,5	-1	15000	**32**	38 – 42
3	N_2	12	◯ S3,0	0,5	-1	15000	**21**	25 – 30
4	N_2	12	◯ S3,5	0,5	-2	15000	**17**	20 – 24
5	N_2	14	◯ S3,5	0,5	-3	15000	**15**	18 – 21
6	N_2	14	◯ S4,0	0,5	-3	15000	**7,7**	9 – 11
8	N_2	14	◯ S4,0	0,5	-4	15000	**6,0**	7 – 9
10	N_2	14	◯ S4,5	0,5	-5	15000	**4,3**	5 – 6
12	N_2	14	◯ S4,5	0,5	-5	15000	**2,6**	3 – 3,5
14	N_2	16	◯ S4,5	0,5	-8	15000	**2,1**	2,5 – 3

Dicke mm	Gas	Druck bar	Düse Typ · Ø mm	Höhe mm	Fokus mm	Leistung W	Startgeschwindigkeit m/min	Max. Geschwindigkeit m/min
16	N_2	18	◯ S5,0	0,5	-11	15000	**1,1**	1,3 – 1,5
18	N_2	18	◯ S5,0	0,5	-11	15000	**0,85**	1 – 1,2
20	N_2	18	◯ S5,0	0,3	-12	15000	**0,51**	0,6 – 0,8
Kupfer Gas der Quellenzeile beachten; stark reflektierend.								
1	O_2	10	◯ S2,0	0,6	-0,5	15000	**32**	38 – 42
2	O_2	10	◯ S2,0	0,5	-1	15000	**24**	28 – 32
3	O_2	10	◯ S3,0	0,5	-2	15000	**17**	20 – 24
4	O_2	12	◯ S3,5	0,5	-3	15000	**12**	14 – 16
5	O_2	12	◯ S3,5	0,5	-4,5	15000	**6,8**	8 – 10
6	O_2	13	◯ S4,0	0,5	-5	15000	**5,1**	6 – 7
8	O_2	13	◯ S4,0	0,5	-6	15000	**2,1**	2,5 – 3,5
10	O_2	14	◯ S4,0	0,5	-8	15000	**1,3**	1,5 – 2

S einschichtige Düse · D zweischichtige Düse + / – Steuerungswert: Bezugspunkt Düsenspitze prüfen ★ DOKTEK abgeleitet/interpoliert

◆ Versuch; nicht für Serienproduktion

‡ Positiver Fokus: Die Quellentabelle gibt ihn so an; Bodor/GYC beschreiben für N_2 negativen oder nahezu null liegenden Fokus — an der Maschine prüfen. Die Markierung erscheint in N_2- und N_2/Luft-Zeilen, wenn die erste Fokuszahl positiv ist.

Datenquelle: KRRASS 15000 W; Dickenprüfung: BSM15; https://www.krrass.com/1500w-fiber-laser-cutting-machine-cutting-parameters/; https://www.bestsheetmetalmachine.com/15000w-laser-cutting-parameters/; ★ DOKTEK abgeleitet/interpoliert; ◆ Versuch / Kapazitätsgrenze / unvollständige Rezeptreferenz; nicht für Serienproduktion.

9.11 20 kW (20000 W) ★

! Interpolierte Tabelle

Für diese Leistung liegt keine vollständige veröffentlichte Tabelle vor. Werte sind aus benachbarten Leistungsstufen interpoliert. Durch Probeschnitte prüfen.

Die 20-kW-Zeilen für Aluminium, Messing und Kupfer sind echte Herstellerdaten bei 20000 W, ohne ★. Schwarzblech und Edelstahl sind ★ interpoliert.

QUELLE / FASERKERN	KOPF / OPTIK	GASREINHEIT	DRUCKLUFT
★ 15–30 kW: Geschwindigkeit interpoliert; Al/Messing/Kupfer: echte 20000 W · 100 µm (Nachbartabellen)	30-kW-Zeile; Modell nicht angegeben · In der Quelle nicht angegeben	O_2 ≥ 99,95 % (3.5) · N_2 ≥ 99,995 %; Qualitätsarbeiten: 5.0 (99,999 %) · H_2O < 5 ppm · HC < 1 ppm	Trocken, ölfrei · 0,01-µm-Filter

Dicke mm	Gas	Druck bar	Düse Typ · Ø mm	Höhe mm	Fokus mm	Leistung W	Startgeschwindigkeit m/min	Max. Geschwindigkeit m/min
Schwarzblech Gas und Leistung je Zeile beachten.								
8 ★	N_2 / Luft	10	S4,5	0,5	-1	20000	**12**	14 – 16
10 ★	N_2 / Luft	10	S4,5	0,5	-2	20000	**8,2**	9,7 – 12
12 ★	N_2 / Luft	12	S4,5	0,5	-3	20000	**5,7**	6,7 – 8,7
14 ★	N_2 / Luft	14	S4,5	0,5	-3	20000	**4,8**	5,7 – 6,5
16 ★	N_2 / Luft	14	S5,0	0,5	-4	20000	**4,0**	4,7 – 5,5
10 ★	O_2	0,6	D1,2	0,6	+8	6000	**1,8**	2,1 – 2,4
12 ★	O_2	0,6	D1,2	0,6	+9	6500	**1,6**	1,8 – 2,1
14 ★	O_2	0,6	D1,4	0,6	+10	8000	**1,5**	1,7 – 1,9
16 ★	O_2	0,6	D1,4	0,6	+11	8500	**1,4**	1,6 – 1,7
20 ★	O_2	0,5	S1,5	0,3	+12 / +13,5	11000	**1,2**	1,4 – 1,6
22 ★	O_2	0,5	S1,6	0,3	+12 / +13,5	12000	**1,0**	1,2 – 1,4
25 ★	O_2	0,5	S1,6	0,3	+13 / +14,5	12000	**0,92**	1,1 – 1,3
30 ★	O_2	0,8	S1,6	0,3	+13 / +14,5	17000	**0,54**	0,63 – 1,1
40 ★	O_2	1,2	S1,8	0,3	+14 / +15	20000	**0,37**	0,43 – 0,57
50 ★	O_2	1,3	S1,8	0,3	+15 / +16	20000	**0,17**	0,2 – 0,3
Edelstahl N_2; Luft, falls eine Quellenzeile vorliegt.								
6 ★	N_2	8	S4,5	0,5	+1 / -2‡	20000	**18**	21 – 24
8 ★	N_2	8	S5,0	0,5	-1 / -2	20000	**13**	15 – 17
10 ★	N_2	8	S5,0	0,5	-1 / -3	20000	**10**	12 – 14
12 ★	N_2	10	S5,0	0,5	-1 / -5	20000	**7,7**	9 – 10
14 ★	N_2	14	S5,0	0,5	-3 / -5	20000	**4,8**	5,7 – 7
16 ★	N_2	14	S5,0	0,5	-4 / -5	20000	**3,8**	4,5 – 5,7
18 ★	N_2	16	S5,0	0,5	-5 / -6	20000	**2,7**	3,2 – 3,9
20 ★	N_2	20	S6,0	0,5	-5 / -6	20000	**2,3**	2,7 – 3,3
25 ★	N_2	20	S6,0	0,5	-6,5 / -7,5	20000	**1,4**	1,6 – 2,1
30 ★	N_2	25	S8,0	0,3	-9,5 / -10,5	20000	**0,74**	0,87 – 1,1
40 ★◆	N_2	25	S8,0	0,3	-15 / -16,5	20000	**0,34**	0,4 – 0,53
50 ★◆	N_2	25	S6,0	0,3	+8‡	20000	**0,11**	0,13 – 0,18
Verzinktes Blech ★ Schwarzblech N_2/Luft × 0,85; sonst Edelstahl N_2 × 0,95. Bis 6 mm.								
6 ★	N_2 / Luft	8	S4,5	0,5	+1 / -2‡	20000	**17**	20 – 23
Aluminium Stark reflektierend; Quelle/Kopf auf Eignung prüfen.								
1	N_2	8	S3,0	0,5	0	20000	**51**	60 – 80
2	N_2	8	S3,0	0,5	0	20000	**43**	50 – 60
3	N_2	8	S3,0	0,5	-1	20000	**30**	35 – 45

Dicke mm	Gas	Druck bar	Düse Typ · Ø mm	Höhe mm	Fokus mm	Leistung W	Startgeschwindigkeit m/min	Max. Geschwindigkeit m/min
4	N_2	8	◯ S3,0	0,5	-1	20000	**26**	30 – 40
5	N_2	10	◯ S4,5	0,5	-2	20000	**17**	20 – 25
6	N_2	10	◯ S4,5	0,5	-2	20000	**13**	15 – 22
8	N_2	10	◯ S5,0	0,5	-3	20000	**12**	14 – 20
10	N_2	10	◯ S5,0	0,5	-3	20000	**6,8**	8 – 10
12	N_2	10	◯ S5,0	0,5	-4	20000	**6,0**	7 – 8
14	N_2	12	◯ S5,0	0,5	-5	20000	**3,4**	4 – 6
16	N_2	14	◯ S5,0	0,5	-6	20000	**2,6**	3 – 4,5
18	N_2	14	◯ S5,0	0,5	-6	20000	**2,0**	2,3 – 3
20	N_2	16	◯ S5,0	0,5	-7	20000	**1,7**	2 – 2,3
25	N_2	18	◯ S6,0	0,5	-8	20000	**0,85**	1 – 1,5
30	N_2	20	◯ S6,0	0,5	-8	20000	**0,51**	0,6 – 0,8
40 ◆	N_2	25	◯ S6,0	0,5	+8‡	20000	**0,26**	0,3 – 0,6
50 ◆	N_2	28	◯ S6,0	0,5	+8‡	20000	**0,26**	0,3 – 0,4
60 ◆	N_2	28	◯ S6,0	0,5	+8‡	20000	**0,17**	0,2 – 0,3
Messing Stark reflektierend.								
1	N_2	10	◯ S3,0	0,5	0	20000	**43**	50 – 60
2	N_2	10	◯ S3,5	0,5	0	20000	**30**	35 – 45
3	N_2	10	◯ S3,5	0,5	0	20000	**24**	28 – 35
4	N_2	10	◯ S3,5	0,5	-1	20000	**20**	23 – 28
5	N_2	12	◯ S4,5	0,5	-1	20000	**13**	15 – 20
6	N_2	12	◯ S4,5	0,5	-1,5	20000	**10**	12 – 15
8	N_2	12	◯ S5,0	0,5	-2	20000	**6,8**	8 – 10
10	N_2	13	◯ S5,0	0,5	-3	20000	**4,3**	5 – 7
12	N_2	14	◯ S5,0	0,5	-3	20000	**3,0**	3,5 – 5,5
14	N_2	14	◯ S5,0	0,5	-4	20000	**2,6**	3 – 4,5
16	N_2	14	◯ S5,0	0,5	-5	20000	**1,7**	2 – 3
18	N_2	16	◯ S5,0	0,5	-6	20000	**0,85**	1 – 1,5
20	N_2	18	◯ S6,0	0,5	-6,5	20000	**0,60**	0,7 – 0,9
Kupfer Gas der Quellenzeile beachten; stark reflektierend.								
1	O_2	8	◯ S3,0	0,5	0	20000	**26**	30 – 40
2	O_2	8	◯ S3,0	0,5	0	20000	**19**	22 – 30
3	O_2	8	◯ S3,5	0,5	0	20000	**17**	20 – 25
4	O_2	10	◯ S3,5	0,5	-1	20000	**13**	15 – 18
5	O_2	10	◯ S5,0	0,5	-1	20000	**10**	12 – 14
6	O_2	10	◯ S5,0	0,5	-2	20000	**6,0**	7 – 9
8	O_2	10	◯ S5,0	0,5	-3	20000	**3,8**	4,5 – 5,5
10	O_2	12	◯ S5,0	0,5	-4	20000	**2,6**	3 – 3,5
12 ◆	O_2	14	◯ S5,0	0,5	-5	20000	**1,7**	2 – 2,5

S einschichtige Düse · D zweischichtige Düse + / – Steuerungswert: Bezugspunkt Düsenspitze prüfen ★ DOKTEK abgeleitet/interpoliert

◆ Versuch; nicht für Serienproduktion

‡ Positiver Fokus: Die Quellentabelle gibt ihn so an; Bodor/GYC beschreiben für N_2 negativen oder nahezu null liegenden Fokus — an der Maschine prüfen. Die Markierung erscheint in N_2- und N_2/Luft-Zeilen, wenn die erste Fokuszahl positiv ist.

Datenquelle: KRRASS 15 kW + bestsheetmetalmachine 30000 W (einschließlich 20000-W-Zeilen); https://www.krrass.com/1500w-fiber-laser-cutting-machine-cutting-parameters/; https://www.bestsheetmetalmachine.com/30000w-laser-cutting-parameters/; ★ DOKTEK abgeleitet/interpoliert; ◆ Versuch / Kapazitätsgrenze / unvollständige Rezeptreferenz; nicht für Serienproduktion.

★ Geschwindigkeitsbereiche werden mit höchstens zwei Dezimalstellen gedruckt.

9.12 30 kW (30000 W)

QUELLE / FASERKERN	KOPF / OPTIK	GASREINHEIT	DRUCKLUFT
30-kW-Klasse · Multimodul · 100 µm	Modell in der Quelle nicht angegeben · In der Quelle nicht angegeben	O_2 ≥ 99,95 % (3.5) · N_2 ≥ 99,995 %; Qualitätsarbeiten: 5.0 (99,999 %) · H_2O < 5 ppm · HC < 1 ppm	Trocken, ölfrei · 0,01-µm-Filter

Dicke mm	Gas	Druck bar	Düse Typ · Ø mm	Höhe mm	Fokus mm	Leistung W	Startgeschwindigkeit m/min	Max. Geschwindigkeit m/min
Schwarzblech Gas und Leistung je Zeile beachten.								
8	N_2 / Luft	10	S4,5	0,5	-1	30000	**17**	20 – 25
10	N_2 / Luft	10	S4,5	0,5	-2	30000	**13**	15 – 20
12	N_2 / Luft	12	S4,5	0,5	-3	30000	**8,5**	10 – 14
14	N_2 / Luft	14	S4,5	0,5	-3	30000	**7,7**	9 – 10,5
16	N_2 / Luft	14	S5,0	0,5	-4	30000	**6,8**	8 – 9,5
18	N_2 / Luft	20	S5,0	0,5	-7	30000	**5,1**	6 – 7
20	N_2 / Luft	25	S6,0	0,5	-10	30000	**3,4**	4 – 5
10	O_2	0,6	D1,2	0,6	+8	6000	**1,9**	2,2 – 2,5
12	O_2	0,6	D1,2	0,6	+9	6500	**1,6**	1,9 – 2,1
14	O_2	0,6	D1,4	0,6	+10	8000	**1,5**	1,8 – 1,9
16	O_2	0,6	D1,4	0,6	+11	8500	**1,4**	1,6 – 1,8
18	O_2	0,5	S1,5	0,3	+12 / +13	11000	**1,3**	1,5 – 1,7
20	O_2	0,5	S1,5	0,3	+12 / +13,5	11000	**1,3**	1,5 – 1,6
22	O_2	0,5	S1,6	0,3	+12 / +13,5	12000	**1,1**	1,3 – 1,5
25	O_2	0,5	S1,6	0,3	+13 / +14,5	12000	**1,1**	1,25 – 1,4
30	O_2	0,8	S1,6	0,3	+13 / +14,5	17000	**0,94**	1,1 – 1,3
35	O_2	1	S1,7	0,3	+13,8 / +14,5	17000	**0,94**	1,1 – 1,2
40	O_2	1,2	S1,8	0,3	+14 / +15	20000	**0,77**	0,9 – 1,1
45	O_2	1,2	S1,8	0,3	+15 / +16	28000	**0,60**	0,7 – 0,9
50	O_2	1,3	S1,8	0,3	+15 / +16	30000	**0,34**	0,4 – 0,5
60 ◆	O_2	1,6	S1,8	0,3	+16 / +17	30000	**0,17**	0,2 – 0,3
70 ◆	O_2	1,6	S1,8	0,3	+16 / +17	30000	**0,09**	0,1 – 0,2
80 ◆	O_2	1,6	S1,8	0,3	+16 / +17	30000	**0,09**	0,1 – 0,15
Edelstahl N_2; Luft, falls eine Quellenzeile vorliegt.								
6	N_2	8	S4,5	0,5	+1 / -2‡	30000	**26**	30 – 35
8	N_2	8	S5,0	0,5	-1 / -2	30000	**21**	25 – 28
10	N_2	8	S5,0	0,5	-1 / -3	30000	**17**	20 – 22
12	N_2	10	S5,0	0,5	-1 / -5	30000	**13**	15 – 17
14	N_2	14	S5,0	0,5	-3 / -5	30000	**8,5**	10 – 12
16	N_2	14	S5,0	0,5	-4 / -5	30000	**7,2**	8,5 – 10
18	N_2	16	S5,0	0,5	-5 / -6	30000	**5,1**	6 – 7
20	N_2	20	S6,0	0,5	-5 / -6	30000	**4,3**	5 – 6
25	N_2	20	S6,0	0,5	-6,5 / -7,5	30000	**2,6**	3 – 4
30	N_2	25	S8,0	0,3	-9,5 / -10,5	30000	**1,7**	2 – 2,5
35	N_2	25	S8,0	0,3	-11 / -13	30000	**1,3**	1,5 – 1,8
40 ◆	N_2	25	S8,0	0,3	-15 / -16,5	30000	**0,77**	0,9 – 1,2
50 ◆	N_2	25	S6,0	0,3	+8‡	30000	**0,17**	0,2 – 0,25
60 ◆	N_2	25	S6,0	0,3	+9‡	30000	**0,13**	0,15 – 0,2
70 ◆	N_2	25	S8,0	0,3	+9‡	30000	**0,09**	0,1 – 0,15
80 ◆	N_2	25	S8,0	0,3	+9‡	30000	**0,07**	0,08 – 0,12
90 ◆	N_2	25	S8,0	0,3	+9‡	30000	**0,04**	0,05 – 0,1
100 ◆	N_2	25	S8,0	0,3	+9‡	30000	**0,04**	0,05 – 0,08

Dicke mm	Gas	Druck bar	Düse Typ · Ø mm	Höhe mm	Fokus mm	Leistung W	Startgeschwindigkeit m/min	Max. Geschwindigkeit m/min
Verzinktes Blech ★ Schwarzblech N_2/Luft × 0,85; sonst Edelstahl N_2 × 0,95. Bis 6 mm.								
6 ★	N_2 / Luft	8	◯ S4,5	0,5	+1 / -2‡	30000	**24**	29 – 33

S einschichtige Düse · D zweischichtige Düse + / – Steuerungswert: Bezugspunkt Düsenspitze prüfen ★ DOKTEK abgeleitet/interpoliert

◆ Versuch; nicht für Serienproduktion

‡ Positiver Fokus: Die Quellentabelle gibt ihn so an; Bodor/GYC beschreiben für N_2 negativen oder nahezu null liegenden Fokus — an der Maschine prüfen. Die Markierung erscheint in N_2- und N_2/Luft-Zeilen, wenn die erste Fokuszahl positiv ist.

Datenquelle: bestsheetmetalmachine 30000W; https://www.bestsheetmetalmachine.com/30000w-laser-cutting-parameters/; ★ DOKTEK abgeleitet/interpoliert; ◆ Versuch / Kapazitätsgrenze / unvollständige Rezeptreferenz; nicht für Serienproduktion.

Aluminium: Mit der 20-kW-Tabelle beginnen; Messing: Mit der 20-kW-Tabelle beginnen; Kupfer: Mit der 20-kW-Tabelle beginnen.

10

Werkstoffspezifische Hinweise

Zwei gleich dicke Bleche können sich unterschiedlich verhalten. Dokumentieren Sie Güte, Oberfläche, Beschichtung und Charge. Starten Sie nach Materialwechsel nicht direkt mit dem alten Parametersatz in die Serie. Prüfen Sie das Muster erneut.

10.1 Baustahl: S235 und S355

Erfassen Sie Baustähle wie S235 und S355 nicht nur als „Baustahl“. Güte, Oberflächenzustand und Chargenwechsel beeinflussen den Schnitt. Bei dickem O_2-Schnitt können Änderungen von Oberfläche und chemischer Zusammensetzung die Abbrandstabilität verändern. Ein bei gleicher Dicke bewährter Parametersatz muss bei einer neuen Charge geprüft werden.

Prüfen Sie Walzzunder vor der Blechannahme. In der Studie von Yamane et al. ist dünner (20–40 µm), gut haftender Zunder mit glatter Oberfläche mit besserer Schnittqualität verbunden; dies kann das O_2-Schneiden unterstützen. Prüfen Sie die Gleichmäßigkeit über das gesamte Blech. Nicht jedes verzunderte Blech ist fehlerhaft; loser Rost, Sand und Schmutz können Einstechen, Gasfluss und kapazitive Nachführung beeinträchtigen.

DOKTEK-Regel — keine Primärquelle: Prüfen Sie bei abblätterndem Zunder oder Rost das Rezept unter vorsichtigeren Bedingungen erneut oder weisen Sie das Blech zurück. Es gibt keinen universellen Geschwindigkeits-/Druckfaktor für ein „konservativeres Rezept“. Bereiten Sie die Oberfläche mit einem geeigneten Verfahren vor; starten Sie die Serie erst nach Musterfreigabe. Der Befund von Yamane et al. ist kein wörtlich vorgegebenes Abnahmeverfahren.

Yamane et al. — QJJWS 41(2)

- Sperren Sie tiefe Kratzer, Abplatzungen und starke Roststellen in der Verschachtelung.
- Messen Sie verbogenes Blech und prüfen Sie zuverlässige Sensornachführung.
- Vermerken Sie im Auftrag die Vorbereitung oxidierter Kanten für Lackieren oder Schweißen.
- Prüfen Sie bei örtlich wechselnder Schnittqualität Oberflächenänderungen und Wärmestau.

Quelle: Linde „Laser cutting advice“ nennt im Abschnitt zu Materialbedingungen Rost, Farbe, Walzzunder und tiefe Kratzer als Einflussfaktoren auf die Schnittqualität.

10.2 Edelstahl: 304, 316 und Schutzfolie

Führen Sie 304 und 316 in Bestand und Parametersätzen getrennt. Verwenden Sie bei geforderter oxidfreier Kante N_2 geeigneter Reinheit. Betrachten Sie gelbe oder blaue Kanten nicht allein als Fokusfehler. Prüfen Sie Gasreinheit, Restluft in gemeinsamen Leitungen und Vorströmzeit nach Abschnitt 7.2.

Verwenden Sie N_2 mit mindestens 99,995 % Reinheit; streben Sie für oxidfreie/blanke Kanten 5.0 (99,999 %) an. Bestätigen Sie H_2O < 5 ppm und HC < 1 ppm im Liefernachweis; prüfen Sie Gas und Leitung nach Abschnitt 7.2.

Legen Sie bei der hier beschriebenen einseitigen Folienanwendung die Folie nach oben. Verwenden Sie laserschneidgeeignete Folie. Nicht jeder Kunststofffilm ist geeignet. Holen Sie bei beidseitiger oder anderer Folie die Herstelleranleitung ein. Kennzeichnen Sie Richtung und Sichtseite vor der Verschachtelung.

Ziel: Öffnen Sie die Folie kontrolliert und schützen Sie Kante und Oberfläche.

Benötigt: Folienangaben, geeignete Absaugung, freigegebener Folienparametersatz und Muster desselben Materials.

1. Prüfen Sie Lasereignung und Haftung der Folie. Untersuchen Sie Blasen und abgelöste Bereiche.
2. Beladen Sie mit Folie nach oben und richtiger Sichtseitenorientierung.

3. Nutzen Sie bei Bedarf einen freigegebenen Vorlauf bzw. eine Folienverdampfungsfunktion. Verwenden Sie dafür nicht denselben Parametersatz wie für den Metallschnitt.
4. Schneiden Sie das Muster. Prüfen Sie oben auf Brandspuren, abgehobene Folie und Klebstoffreste sowie unten auf Grat.
5. Dokumentieren Sie geeignete Ergebnisse mit Folienart und Blechcharge. Übernehmen Sie fehlerhafte Muster nicht in die Serie.

> **Achtung**
>
> Verdampfen Sie keine unbekannte Folie mit dem Laser. Saugen Sie Folienrauch wirksam ab. Schneiden Sie bei ausgefallener Absaugung nicht. Beobachten Sie Folienablagerungen und Schutzglasverschmutzung.

Warum? Folie und Klebstoff verhalten sich anders als Metall. Ein falscher Durchgang kann die Oberfläche beschädigen und den Schnittbeginn destabilisieren.

10.3 Verzinkter Stahl: Zinkschicht berücksichtigen

Für verzinktes Blech N_2 oder geeignete trockene ölfreie Luft bevorzugen. **O_2 wird nicht bevorzugt; GWEIKE nennt es ab ≥3 mm nach Probeschnitt als Option.** O_2 kann Zinkreaktion, Beschichtungsbrand, Spritzer und optische Verschmutzung verstärken. Wirksame Absaugung sicherstellen; Schwarzblechrezepte nicht auf verzinktes Blech kopieren.

Zinkschichtdicke und Oberflächenbehandlung können Einstechen, Spritzer und Kantenergebnis verändern. Prüfen Sie bei anderer Beschichtung trotz gleicher Blechdicke ein neues Muster. Kontrollieren Sie das Schutzglas am Erstteil und zu Schichtbeginn. Erhöhen Sie bei festgestellter Verschmutzung die Prüfhäufigkeit. Öffnen Sie die Glasschublade nur im sicheren Zustand und in sauberer Umgebung.

> **Zinkrauch und Optikverschmutzung**
>
> Zinkrauch ist gesundheitsschädlich und kann Metalldampffieber verursachen. Schneiden Sie nicht ohne wirksame örtliche Absaugung. Zinkspritzer können das Schutzglas schnell verschmutzen. Geruch oder sichtbarer Rauch allein sind kein Maßstab für sicheren Betrieb.

- Vermerken Sie Beschichtung und Blechcharge im Arbeitsauftrag.
- Prüfen Sie die wirksame Absaugung am Schneidbereich.
- Bewerten Sie zusätzliche Folie, Farbe oder Oberflächenbehandlungen gesondert.
- Prüfen Sie bei unterem Grat zuerst Parametersatz, Düse und Durchfluss. Verändern Sie je Versuch nur einen Parameter.

Unterscheiden Sie Beschichtungsabbrand und fehlendes Durchtrennen des Grundmetalls. Eine oben geöffnete Beschichtung beweist keinen Schnitt durch das ganze Blech. Prüfen Sie das Muster auch von unten.

Gaswahl: GWEIKE-Leitfaden für verzinktes Blech. Geschwindigkeit und vollständige Rezepte siehe Kapitel 9; unvollständige Referenzen sind keine Serienrezepte.

10.4 Aluminium: Oberflächenoxid und Grat

Aluminium reflektiert und leitet Wärme schnell ab. Oberflächenoxid und Grundmetall verhalten sich unterschiedlich. Dokumentieren Sie Legierung, Oberfläche und Ebenheit. Prüfen Sie die Aluminiumfreigabe von Quellen- und Kopfhersteller.

N_2 ist für saubere Kanten üblich. Druckluft ist mit geeignetem Parametersatz und Kantenfreigabe möglich. Bewerten Sie Oxidation und Verfärbung luftgeschnittener Kanten für späteres Schweißen oder Lackieren. Verwenden Sie nicht für jede Aluminiumlegierung denselben Parametersatz.

Bei anhaftendem unteren Grat können Geschwindigkeit, Fokus und Gasabfuhr gemeinsam wirken. Prüfen Sie zuerst intakte, zentrierte Düse und ausreichenden Gasfluss beim Schneiden. Prüfen Sie das Schutzglas. Führen Sie danach Versuche mit einem Parameter gemäß Abschnitt 13.3durch.

Messen Sie nach dem Abkühlen. Verzug dünner langer Teile lässt sich nicht allein durch Schnittspaltkompensation korrigieren. Prüfen Sie Verschachtelung, Wärmeverteilung und Mikrostege.

10.5 Messing und Kupfer: Rückreflexion

Rückreflektierte Strahlung kann beim Schneiden von Messing und Kupfer die Laserquelle beschädigen. Die Eignung hängt von Quellentyp und -modell ab. Verlassen Sie sich nicht nur auf Marke oder Leistungsangabe. Prüfen Sie die Herstellerfreigabe dieser Werkstoffe für Quelle, optischen Anschluss und Kopf.

Rückreflexionsschutz

Deaktivieren Sie weder Rückreflexionsschutz noch Alarm. Testen Sie Messing oder Kupfer nicht auf einem System ohne bestätigte Eignung. Schutz garantiert nicht unter allen Bedingungen Schadensfreiheit. Stoppen Sie bei instabilem Schnitt oder ausgelöstem Schutz nach Herstellerverfahren.

Bei Kupfer widersprechen sich die Quellen: Der chinesische Laserquellenhersteller BWT verlangt Hochdruck-O_2, der westliche Anbieter Boss Laser nennt N_2 als übliche Wahl. Eine unter IPG-Namen veröffentlichte Zusammenstellung enthält ebenfalls N_2/Luft-Beispiele; sie ist kein primäres IPG-Gasrezept. Gase nicht als gleichwertig behandeln; Kupferfreigabe und vollständiges Rezept vom Quellen-/Kopfhersteller einholen.

Die lokalen Maxphotonics-MFSC/MFMC-Daten enthalten Messingzeilen. Leiten Sie daraus keine numerischen Kupferparameter ab. Übertragen Sie keine Einstellungen von Messing auf Kupfer oder von Kupfer auf Aluminium. Prüfen Sie besonders beim ersten Einstechen und Übergang die Schnittstabilität.

Oberflächenreinheit, Beschichtung und Charge beeinflussen auch bei Kupfer und Messing das Ergebnis. Betreiben Sie die erforderliche Absaugung. Berühren Sie heiße Teile nicht mit bloßen Händen. Gleichen Sie Schutzglasverschmutzung nicht durch höhere Leistung aus.

BWT-Vorkehrungen für Kupfer/Aluminium bei ≥10 kW: Nur auf geeignetem System mit voller Leistung im Dauerstrichbetrieb (CW) schneiden; die kleinste funktionierende Düse wählen und die Seriengeschwindigkeit auf ≈80 % der erfolgreichen Probe senken. Düsenkühlgas ständig eingeschaltet lassen. Diese Hinweise setzen Maschinengrenzen nicht außer Kraft; Hochdruck-O_2 für Kupfer nicht auf Schwarzblech übertragen.

BWT

10.6 Beschichtetes und lackiertes Blech

Farbe, Öl, Folie und Metallbeschichtungen verändern Schnittbeginn und Rauch. Klären Sie die Beschichtung vor der Produktion. Identifizieren Sie unbekannte Beschichtungen nicht durch Probeschnitt. Verwenden Sie Lieferanteninformationen und das freigegebene betriebliche Arbeitsverfahren.

Prüfung	Angabe im Arbeitsauftrag	Abnahme
Material und Oberfläche	Grundmetallgüte, Beschichtungsart, Seite und Charge.	Muss zum Parametersatz passen.
Rauch und Reinigung	Absauganforderung, Verfahren zur Rückstandsbeseitigung.	Freigegebenes Verfahren muss bereitstehen.
Sichtseite	Ober-/Unterseite, Folienrichtung, zulässige Brandspur.	Muster muss Kunden- und Auftragsanforderungen erfüllen.
Folgeprozess	Schweißen, Biegen, Lackieren und Kantenvorbereitung.	Schnittkante muss dafür geeignet sein.

Prüfen Sie am Muster Oberseite, Unterkante, Loch und Anschnittpunkt getrennt. Dokumentieren Sie nicht nur „gut“. Ergänzen Sie Gas, Oberfläche und Akzeptanzkriterien. Für Geschwindigkeit und weitere Zahlenwerte verwenden Sie Abschnitt 9; für Fehlerdiagnose Abschnitt 13.

Neue Materialcharge freigeben

Ziel: Ermitteln Sie Materialeinflüsse vor dem Serienschnitt.

Benötigt: Lieferantenmaterialdaten, freigegebenes Vergleichsmuster, Fertigungszeichnung und Protokoll.

1. Vergleichen Sie Kennzeichnung und Auftrag. Prüfen Sie Güte, Dicke, Beschichtung und Charge.
2. Prüfen Sie Ober- und Unterseite. Erfassen Sie Rost, Öl, Blasen, Folie und Ebenheit. Sperren Sie fehlerhafte Bereiche in der Verschachtelung.
3. Schneiden Sie mit freigegebenem, werkstoffgerechtem Parametersatz ein Muster mit gerader Kante, Ecke und Loch.
4. Vergleichen Sie das abgekühlte Muster mit dem zuvor akzeptierten Teil. Bewerten Sie neben Geschwindigkeit auch Kante und Nachbearbeitungsbedarf.
5. Dokumentieren Sie bei geeignetem Ergebnis die Chargenfreigabe. Führen Sie andernfalls Parameterversuche getrennt protokolliert und mit jeweils einer veränderten Größe durch.

> **Achtung**
> Identifizieren Sie unbeschriftete Reste nicht nach Aussehen für die Serienfertigung. Nehmen Sie reflektierende Werkstoffe ohne bestätigte Quellen- und Kopfeignung auch nicht in die Musterfreigabe auf.

Warum? Die Chargenfreigabe hilft, Oberflächenprobleme von Maschinen- oder Parameterfehlern zu trennen. Gute Dokumentation erhält den Ausgangspunkt für Wiederholaufträge.

Foto: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **Vergleich von Oberseite und Schnittkante nach Werkstoff**

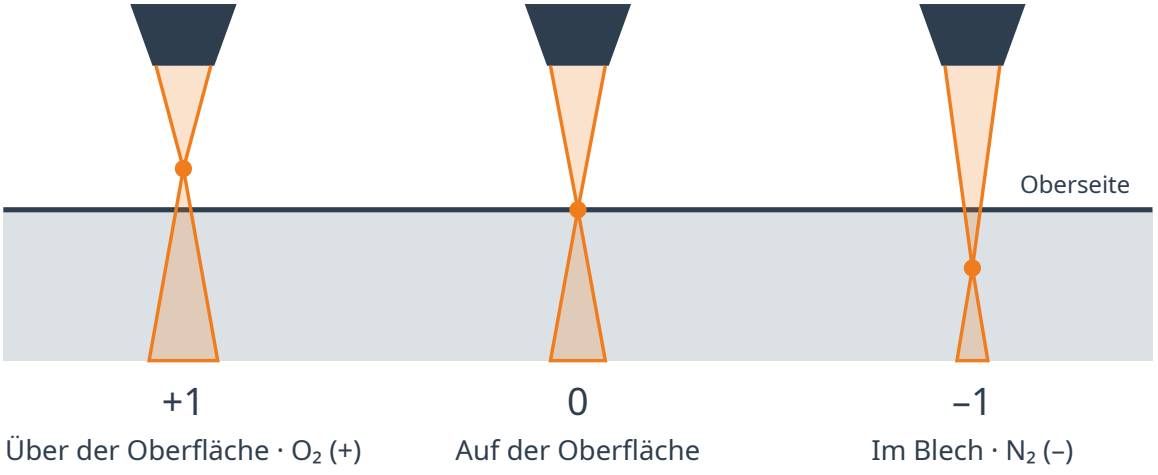
11

Fokus, Düse und Höhe

Der Fokus ist die Lage des Strahlbrennpunkts. Die Düsenhöhe ist der Abstand zwischen Düsenspitze und Blechoberfläche. Prüfen Sie beide Werte getrennt. Ein richtiger Fokus behebt keine Gasströmungsfehler einer beschädigten oder dezentrierten Düse.

11.1 Fokusvorzeichen: + / 0 / –

Die physische Vorzeichenregel dieses Handbuchs lautet **+ über dem Blech, 0 auf der Oberfläche, – im Material**. Die Raytools/CypCut-Steuerungswerte in Kapitel 9 haben ihren Nullpunkt dagegen an der Düsenspitze; Tabellennull bedeutet nicht direkt Blechoberfläche. Bei gleicher +/– Richtung gilt **Fokus relativ zur Oberfläche ≈ Steuerungswert + Düsenabstand**: 0 + 1 mm → ≈1 mm darüber; -1 + 1 mm → auf der Oberfläche. Prüfen Sie den Bezugspunkt Ihrer Maschinensteuerung in deren Handbuch.



+1 / 0 / –1 erläutern nur die Positionsvorzeichen. Das Schema ist nicht maßstäblich und enthält keinen Schneidparametersatz. Die Gas-Fokus-Zuordnung ist ein allgemeiner Ansatz.

Positiver Fokus ist bei O_2-Schnitt von Baustahl üblich, negativer bei N_2-Schnitt von Edelstahl und Aluminium. Beim Druckluftschneiden kommen je nach Material oberflächennaher oder negativer Fokus infrage. Leiten Sie aus dem Gasnamen allein keinen Fokuswert ab. Abschnitt 9enthält die passende Zeile.

Ändert sich der Düsenabstand, verändert sich die Fokuslage zum Blech auch bei unverändertem Steuerungswert. Autofokus und Z-Nachführung getrennt betrachten; mechanische Skala und kalibrierten Fokuswert der Steuerung nicht verwechseln.

Raytools BM115 · Friendess CypCutPro

11.2 Fokustest durchführen

Ziel: Den optischen Nullpunkt an der Düsenspitze bestimmen; danach Fokustest der Steuerung und Vorzeichenrichtung prüfen.

Benötigt: Handbücher von Kopf/Steuerung, freigegebenes Testband, saubere zentrierte Düse, ebenes 1-mm-Blech, befugter Bediener und Testprotokoll.

1. Kopfmodell und aktuellen Bezugspunkt notieren. Düse, Keramikring und Schutzglas im sicheren Zustand prüfen.

2. Falls die Raytools-BM115-Methode für Ihre Maschine gilt, Emission deaktivieren und strukturiertes Klebeband an der Düsenspitze anbringen. Hände entfernen und Einhausung schließen; nur den Testzyklus des Herstellers verwenden.
3. Bei der Raytools-Testleistung von 80–100 W die Fokusskala in Schritten von 0,5 mm verändern und getrennte Punkte erzeugen. Vor jedem Bandwechsel Emission deaktivieren; diese Leistung ist kein normales Schneidrezept.
4. Die Skalenposition mit dem kleinsten Loch ist der optische Nullpunkt: Der Fokus liegt an der Düsenspitze. Bezugspunkt nur im Rahmen Ihrer Befugnis nach Herstellermethode setzen; Band entfernen.
5. Nach Düsen- oder Keramikwechsel die Kapazität neu kalibrieren. Nach der Referenzfahrt die Höhe auf sauberem ebenem Blech nach Herstellervorgabe kalibrieren.
6. Mit XC3000 Focus Test fünf Linien auf dem empfohlenen 1-mm-Blech schneiden. Das Handbuch ordnet die beste Linie dem Nullfokus zu; diesen Steuerungstest vom Bandnullpunkt an der Düsenspitze unterscheiden und seine Referenzdefinition prüfen.
7. Vorzeichenrichtung, Düsenabstand und Ergebnis notieren. Zum freigegebenen Produktionsrezept zurückkehren und Probe schneiden; die beste Produktionskante liegt nicht bei jedem Material bei Nullfokus.

> **Achtung**
> Auch 80–100 W sind gefährliche Laserstrahlung. Keine Schüsse bei offener Einhausung und keinen normalen Schnitt mit angebrachtem Band auslösen. Methode nur anwenden, wenn Ihr Kopfhandbuch sie freigibt. Übersteigt eine dauerhafte Referenzänderung Ihre Befugnis, Ergebnis an den Service geben.

Warum? Der Bandtest bestimmt den optischen Nullpunkt an der Düsenspitze; die Kapazitätskalibrierung erfasst den Abstand Düse–Blech. Der Fünflinientest prüft den Fokus in der Steuerung; die Bezugspunkte der drei Vorgänge getrennt dokumentieren.

Raytools BM115 · Raytools XC3000

Foto: wird von einer DOKTEK-Maschine ergänzt — **Raytools-Bandlöcher und XC3000-Fünflinientest mit Bezugspunkt und Abstand beschriftet.**

11.3 Autofokus und Linsenbrennweite

Ein Autofokuskopf bewegt die innere Optik zur vorgegebenen Fokuslage. Diese Funktion ist von der oberflächenfolgenden Z-Achse getrennt. Autofokus macht Zentrierung und Höhenprüfung nach Düsenwechsel nicht überflüssig.

Startreferenz, Fokusfahrgrenzen und Alarmstatus sind modellabhängig. Menünamen können je nach Version abweichen. Meist enthält der Layerparametersatz einen Fokuswert. Überschreiten Sie die zulässigen Kopfbewegungsgrenzen nicht durch Softwareeinstellungen. Prüfen Sie nach Optikwechsel die Referenz erneut nach Herstellervorgabe.

Brennweiten von 125, 150 und 200 mm entsprechen unterschiedlichen optischen Anordnungen. Eine längere Brennweite verändert bei sonst gleichen Optikbedingungen Fokusgröße und Fokustiefe. Deshalb liefern Köpfe mit unterschiedlichen Linsen bei gleichem Zahlenwert nicht zwangsläufig dasselbe Schnittverhalten.

Das ändert nicht automatisch die Definition der Vorzeichen +/–. Physische Referenz und geeigneter Parametersatz ändern sich. Multiplizieren Sie Fokuswerte einer 125-mm-Linse nicht mit 200/125, um neue Parameter zu erzeugen. Auch Kollimationslinse und Strahleigenschaften wirken mit. Vergleichen Sie die

Optikverhältnisse 100/125 und 100/200 der lokalen Max-Daten mit Ihrem Kopf.

11.4 Düsentyp und Durchmesser

Düse	Allgemeiner Einsatz	Prüfung
◯ **Einschichtdüse (S)**	Üblich beim Schmelzschneiden mit N_2 und Druckluft.	Austrittsöffnung, Oberfläche und Kopfkompatibilität.
◎ **Doppelschichtdüse (D)**	Üblich beim O_2-Schneiden von Baustahl.	Unbeschädigter Inneneinsatz und richtiger Typ.
Hochgeschwindigkeitsdüsen	Herstellerspezifische Strömungs- und Spitzengeometrien.	Spezielle Parameter, Höhe und Zentrieranforderungen.

Mit Blechdicke und erforderlichem Gasdurchfluss kann ein größerer Durchmesser nötig werden. Verwenden Sie aber keine Regel „dickes Blech = immer größte Düse“. Manche Hochleistungs-O_2-Technologien arbeiten mit speziellen kleinen Düsen. Wählen Sie den Durchmesser aus demselben Parametersatz in Abschnitt 9.

Ein größerer Durchmesser erhöht meist den Verbrauch. Ein falscher Durchmesser kann ausreichenden Schmelzaustrieb oder die Strömung stören. S und D sind bei gleichem Durchmesser nicht gleichwertig. Verwechseln Sie Kennzeichnungen spezieller Schnelldüsen nicht mit Standard-S/D. Dokumentieren Sie den Herstellercode.

Düsen haben keine allgemeine kalendarische Lebensdauer. Kollisionen, Spritzer und Oberflächenschäden verkürzen sie. Prüfen Sie zu Schichtbeginn und bei Qualitätsänderungen Lochrundheit, Stirnfläche und Gewinde. Bohren Sie beschädigte Öffnungen nicht größer. Tauschen Sie beschädigte Düsen aus. Prüfen Sie danach Zentrierung und gegebenenfalls kapazitive Kalibrierung.

11.5 Zentrierung mit Klebebandtest

Ziel: Prüfen Sie die Strahlzentrierung zur Düsenaustrittsöffnung.

Benötigt: Freigegebenes Zentrierverfahren des Kopfherstellers, geeignetes Testband bzw. Ziel, definierter Testimpuls und autorisierter Bediener.

1. Stoppen Sie den Auftrag. Deaktivieren Sie die Laseremission und fahren Sie den Kopf in die Herstellerserviceposition. Prüfen Sie die richtige Montage, Reinheit und Unversehrtheit der Düse.
2. Bringen Sie das vorgeschriebene Testband an der Düsenmündung an. Entfernen Sie die Hand aus dem Strahlweg und schließen Sie die Schutzeinrichtung.
3. Geben Sie nur im freigegebenen Zentrier-/Testmodus den definierten kleinsten geeigneten Testimpuls ab. Verwenden Sie keinen normalen Schneidbefehl.
4. Deaktivieren Sie erneut die Emission und prüfen Sie den sicheren Zustand. Entfernen Sie das Band und prüfen Sie die Spurlage relativ zur Referenz der Düsenöffnung.
5. Korrigieren Sie Versatz nur mit den für Bediener erlaubten Einstellungen des Herstellers. Erraten Sie weder Einstellrichtung noch Schraubenzahl.
6. Wiederholen Sie mit neuem Band. Entfernen Sie nach bestätigter Zentrierung das Testmaterial und führen Sie einen Probeschnitt durch.

> **Achtung**
> Bei diesem Test wird Laserstrahlung erzeugt. Schneiden Sie nicht normal mit angebrachtem Band, blasen Sie es nicht mit Gas weg und geben Sie keinen Impuls bei offener Kabine ab. Ist der Bandtest nicht freigegeben, verwenden Sie das empfohlene geschlossene Zentriersystem. Justieren Sie Optik nicht unbefugt.

Warum? Ein dezentrierter Strahl oder eine beschädigte Düse führt Gas ungleichmäßig in die Schnittfuge. Einseitiger Grat und richtungsabhängige Qualität können entstehen.

11.6 Düsenhöhe und kapazitiver Sensor

Für N_2 gelten 0,3–1 mm und für O_2 0,6–1,5 mm als typische Düsenhöhenbereiche. Das sind keine Regelgrenzen oder allgemeingültigen Einstellungen. Die lokale Max-Tabelle nennt für N_2 häufig 0,5 mm und für O_2 je nach Parametersatz unterschiedliche Höhen. Entnehmen Sie den maßgeblichen Wert Abschnitt 9.

Geringere Höhe verändert die Gaswirkung, kann aber Kollisions- und Spritzerrisiko erhöhen. Bei zu großer Höhe können Schmelzaustrieb und Qualität leiden. Betrachten Sie die alte Höhe nach Düsentypwechsel nicht automatisch als geeignet.

Der kapazitive Sensor ermittelt die Höhe aus dem elektrischen Verhalten zwischen Düse und Blech. Keramikring, Düsenanschluss, Oberfläche, Erdung und Sensorkabel können das Ergebnis beeinflussen. Kalibrierung ist keine Fokuseinstellung. Führen Sie die freigegebene Höhenkalibrierung auf geeignetem ebenem Blech aus. Den Einschalt- und Kalibrierablauf beschreibt Abschnitt 3.

Folie, Neigung, kleine Reste und Kantennähe können die Nachführung verändern. Verdecken Sie Abweichungen zwischen realer Höhe und Anzeige nicht durch Geschwindigkeits- oder Leistungsänderungen. Fahren Sie den Kopf sicher und untersuchen Sie die Ursache.

Höhenabweichung prüfen

Ziel: Unterscheiden Sie Oberflächennachführungsfehler von Fokusparametern.

Benötigt: Geeignetes ebenes Muster, Herstellerverfahren zur Höhenprüfung, zulässiges Messmittel und letzter erfolgreicher Parametersatz.

1. Stoppen Sie das Schneiden und deaktivieren Sie die Laseremission. Prüfen Sie im sicheren Zustand auf lockere Düse, Spitzenschäden, Keramikringfehler und sichtbare Verschmutzung.
2. Prüfen Sie Auflage und elektrische Verbindung des ebenen Musters. Kalibrieren Sie nicht auf einem durchhängenden Reststück.
3. Führen Sie die kapazitive Herstellerkalibrierung aus. Setzen Sie bei Fehlschlag das normale Schneiden nicht fort.
4. Prüfen Sie die Nachführung ohne Laser nach freigegebenem Verfahren. Vergleichen Sie Anzeige und realen Abstand nur mit der erlaubten sicheren Messmethode.
5. Ändert sich die Abweichung mit Position oder Kantennähe, prüfen Sie Blech und Erfassungsbedingungen. Bleibt ein konstanter Fehler, kontaktieren Sie den autorisierten Service zur Referenz- und Einrichtungsprüfung.
6. Schneiden Sie nach bestätigter Nachführung ein Muster mit Grundparametern. Untersuchen Sie bei verbleibenden Qualitätsproblemen Fokus und Gas getrennt.

> **Achtung**
>
> Halten Sie weder Hände noch Messmittel unter einen bewegten Kopf. Sichern Sie bei Abstandsmessung auch die Bewegung. Verdecken Sie Alarme nicht durch willkürliches Absenken von Sensorempfindlichkeit oder Kollisionsschutz.

Warum? Ein Höhenfehler verändert die Gasstrahlwirkung. Fokusversuche bei fortbestehender Nachführstörung verändern mehrere Bedingungen gleichzeitig.

11.7 Abweichungen unterscheiden und dokumentieren

Symptom	Zuerst prüfen	Vorgehen
Qualität in allen Richtungen schlecht	Schutzglas, Parametersatz und Fokusnullpunkt.	System prüfen, dann Muster mit einer veränderten Größe schneiden.
Einseitiger Grat	Düsenschäden und Zentrierung.	Beschädigte Düse austauschen und freigegebenen Zentriertest durchführen.
Schwankende Höhe	Keramikring, lockere Düse, Blechebenheit und kapazitive Nachführung.	Schnitt stoppen und mechanische bzw. sensorische Ursache beseitigen.
Schlecht nach Optikwechsel	Richtiges Teil, Einbau und Referenz.	Nach autorisiertem Service- bzw. Herstellerverfahren prüfen.

Dokumentieren Sie Kopfmodell, Linsenbrennweite, Düsentyp und -durchmesser, Datum des Fokusnullpunkts und verwendete Schneidhöhe. So lassen sich Parameter- und Hardwareänderungen unterscheiden.

Quellen: Fokusvorzeichen nach lokalem v1-Beispiel; Optik und Schneidhöhen nach lokalen Maxphotonics-Daten; Zentrierung und Düseneinflüsse nach Linde „Laser cutting advice". Bei Testdetails hat das Herstellerverfahren des verwendeten Kopfes Vorrang.

12

Einstechen

Beim Einstechen (Piercing) durchdringt der Strahl das Blech vor dem Konturschnitt vollständig. Ein Krater oben beweist kein abgeschlossenes Einstechen. Prüfen Sie Einstechen und Übergang zum Schnitt getrennt.

12.1 Einstechverfahren wählen

Verfahren	Arbeitsweise	Eignung und Grenzen
Einzelimpuls	Ein freigegebener einzelner Energieeintrag erzeugt den Durchbruch.	Schnell bei geeignetem Dünnblech. Kann bei dickem Blech große Krater und Spritzer erzeugen.
Mehrstufiges Einstechen	Leistung/Impulse, Gas, Fokus und Höhe können in 2–5 Stufen kontrolliert verändert werden; XC3000 und JCZ CutMaker unterstützen fünf Ebenen.	Hilft, Spritzer bei dickem Blech zu beherrschen. Prüfen Sie Stufen und Übergänge getrennt.
Blitz- / Schnelleinstechen	Kurzer, optimierter Einstechzyklus, den die Maschine unterstützt.	Abhängig von Quelle, Kopf und Steuerung. Nur für vorgegebene Werkstoffe und Dicken verwenden.

„Schnell“ oder „Blitz“ bezeichnet nicht in jeder Software denselben Zyklus. Menünamen können je nach Version abweichen. Meist wird die Einstechtechnologie im Layerparametersatz gewählt. Übertragen Sie Dünnblech-Einzelimpulseinstellungen nicht auf dickes Blech. Mehrere Stufen garantieren allein kein sicheres Einstechen.

Bewerten Sie neben Werkstoff und Dicke auch Lochnähe, Anschnittplatz und Schutzglaszustand. In engen Innenausschnitten kann ein großer Krater die Fertigkante beschädigen. Korrigieren Sie zuerst den Einstechpunkt in der Verschachtelung. Siehe Abschnitt 6.1.

Was ist im Stufenzyklus zu beobachten?

Phase	Ziel	Aufzeichnung und Beobachtung
Beginn	Kontrollierter Einstechbeginn an der Oberfläche.	Übernehmen Sie Starthöhe, Gas und Energiebedingungen aus der Maschinentabelle. Dokumentieren Sie starke Spritzer nach oben.
Fortschritt	Vollständiges Durchdringen der Blechdicke.	Beachten Sie zulässige Stufendauer und Pulsbedingungen. Erzwingen Sie bei unvollständigem Loch keinen Konturschnitt.
Abschluss / Übergang	Schmelze entfernen und Schneidbedingungen herstellen.	Prüfen Sie die Folge von Gas-, Fokus- und Höhenwechsel. Untersuchen Sie diesen Übergang bei Schnittabbruch im Anschnitt.

Diese Tabelle beschreibt funktionale Phasen. Sie bedeutet nicht, dass die Steuerung drei gleichnamige Stufen besitzt. Bei zwei Stufen können Aufgaben kombiniert sein. Nicht jede Stufe benötigt höhere Leistung oder längere Dauer. Die Änderungsrichtung hängt von Werkstoff und freigegebener Technologie ab.

Vermerken Sie die Phase des Fehlers. Starke Spritzer zu Beginn und unnötige Locherweiterung nach dem Durchbruch sind verschiedene Probleme. Nur die Gesamtzeit zu verlängern verdeckt diesen Unterschied und kann das Schutzglas zusätzlich belasten.

Friendess CypCutPro warnt, dass falsch eingestelltes Flash Piercing das Schutzglas leicht beschädigen kann. Nur einen für Ihre Maschine freigegebenen Zyklus verwenden; Schutzglas nach der Probe prüfen.

Raytools XC3000 · JCZ CutMaker · Friendess CypCutPro

12.2 Höhe, Dauer, Frequenz und Tastgrad

Parameter	Bedeutung	Wirkung falscher Einstellung
Einstechhöhe	Düsen-Blech-Abstand beim Einstechen.	Zu nah: Spritzer oder Kollision; ungeeigneter Abstand: instabiles Einstechen.
Einstechdauer	Zeit einer Stufe oder des gesamten Einstechens.	Zu kurz: kein Durchbruch; zu lang: großer Krater und unnötige Wärme.
Frequenz	Wiederholungen pro Sekunde im Pulsbetrieb; Einheit Hz.	Zeitliche Energieverteilung ändert sich; Quellengrenzen gelten.
Tastgrad (Duty)	Prozentualer Laser-Einschaltanteil einer Pulsperiode.	Mittlere Energie und Spritzerverhalten ändern sich; nicht gleich Spitzenleistung.
Einstechfokus und Gas	Separate Fokuslage und Gasführung für das Startloch.	Beeinflussen Lochbreite, Schmelzaustritt und Optikverschmutzung.

Einstechhöhe und Schneidhöhe müssen nicht gleich sein. Auch Fokus und Druck können sich vom Hauptschnitt unterscheiden. Beim Stufenverfahren können diese Werte zwischen Stufen wechseln. Prüfen Sie, ob die Steuerung Dauer je Stufe oder insgesamt anzeigt.

Die folgenden Angaben sind Quellenbeispiele, kein allgemeiner Hz/Duty-Bereich und keine fertigen Maschinenrezepte. Bodor nennt weder Dicke noch Leistung; GWEIKE beschreibt 3 kW/22 mm Schwarzblech. Fehlende Bedingungen nicht schätzen.

Bei konstanter Spitzenleistung und ähnlicher Pulsform beeinflusst der Tastgrad die mittlere Energie. Das tatsächliche Quellenverhalten hängt vom Steuermodus ab. Ändern Sie Frequenz und Tastgrad nicht gleichzeitig, um die Ursache des Ergebnisses erkennbar zu halten. Verwenden Sie keine für die Quelle unzulässigen Pulsbedingungen.

Bodor-Beispiel für O_2-Durchstechen in drei Ebenen: Höhe Ebene 3/2/1 = 20/15/10 mm; Spitzenleistung 70–100 %; Frequenz Ebene 3 = 500–800 Hz, Ebenen 1–2 = 100–300 Hz; Duty 35–75 %, von Ebene 3 nach 1 steigend. Fokus Ebene 3 = 0…+2, Ebenen 1–2 = -6…-2; O_2 ≈1 bar, Verweilzeit Ebene 3 ≈100 ms. Ohne angegebene Dicke und Leistung nicht direkt anwenden.

GWEIKE-Beispiel, 3 kW, 22 mm Schwarzblech, O_2 in drei Stufen (hoch/mittel/niedrig): Leistung 3000/3000/3000 W; Duty 100/45/55 %; Frequenz 200/150/150 Hz; Düsenhöhe 12/8/4 mm; O_2 1,0/0,7/0,6 bar; Fokus 0/-4/-6; Strahlzeit 200/2500/3000 ms. Nach den ersten beiden Stufen jeweils 200 ms Gasnachblasen: gesamte Strahlzeit ≈5,7 s plus ≈0,4 s Nachblasen.

IPG-Autoren berichten für 16 mm Edelstahl Durchstechzeiten von >1 s bei 6 kW, 0,5 s bei 10 kW und 0,1 s bei 20 kW. Diese Versuchsergebnisse zeigen den Leistungseinfluss; sie sind kein vollständiges Durchstechrezept.

Bodor · GWEIKE · IPG / Laser Focus World

12.3 Spritzer und Voreinstechen bei dickem Blech

Zu Einstechbeginn kann Schmelze nach oben zurücktreten. Große Spritzer können bei dickem Blech Düsenspitze und Schutzglas schnell verschmutzen. Mehr Zeit oder Leistung löst unvollständiges Einstechen nicht immer. Bei falschem Fokus oder unzureichender Gasabfuhr kann es den Krater vergrößern.

Freigegebenes mehrstufiges Einstechen kann Spritzer begrenzen. Der Einstechpunkt muss abseits der Fertigkante liegen. Spritzer an der Düse stören den Gasstrahl und verschlechtern weitere Einstechungen. Reinigen oder ersetzen Sie nach Herstellervorgabe. Greifen Sie beim Schneiden nicht von Hand ein.

Beim Voreinstechen (Pre-pierce) werden Löcher in einem eigenen Durchgang geöffnet, bevor die Konturen folgen. Das kann Wärmeverteilung und Technologiesteuerung auf demselben Blech erleichtern, aber Leerwege und Gasverbrauch erhöhen. Verschieben Sie das Blech danach nicht. Prüfen Sie im zweiten Durchgang, dass der Anschnitt die offene Stelle trifft.

> **Achtung**
>
> Stechen Sie bei starken Spritzern nach oben oder wiederholtem Nichtdurchdringen nicht ständig an derselben Stelle ein. Stoppen Sie sicher und prüfen Sie Parameter und Optik. Heiße Krater und vorstehende Schlacke können im Kopfweg bleiben. Reinigen Sie nicht bei bewegter Maschine.

Schmutz oder Brandstellen am Schutzglas können das Einstechen verschlechtern und weitere Spritzer erzeugen. Setzen Sie diesen Kreislauf nicht durch mehr Leistung fort. Wenden Sie für Glasprüfung und -wechsel die Wartungsverfahren aus Abschnitt 16an.

12.4 Übergang vom Einstechen zum Schneiden

Ziel: Gehen Sie vom vollständig geöffneten Loch in einen stabilen Anschnitt und den Schneidparametersatz über.

Benötigt: Einstechtabelle der Maschine, passende Schneidzeile aus Abschnitt 9, Muster und Versuchsprotokoll.

1. Prüfen Sie die Zuordnung von Werkstoff, Gas, Düse und Einstechverfahren. Der Einstechpunkt muss im Abfall liegen.
2. Starten Sie den Zyklus mit freigegebener Gasvorströmung und Einstechhöhe.
3. Prüfen Sie den vollständigen Durchbruch mit der vorgesehenen Überwachungsmethode. Kennen Sie bei sensorischer Erkennung deren Grenzen. Nicht jede Maschine hat einen solchen Sensor.
4. Führen Sie Kühl-/Blasphase und Höhenübergang des Zyklus aus. Prüfen Sie den vollständigen Wechsel auf Schneidfokus, -druck, -leistung und -höhe.
5. Starten Sie die Anschnittbewegung. Erreichen Sie die Fertigkante erst bei stabilem Schnitt.
6. Prüfen Sie nach dem Abkühlen Startpunkt und Unterkante. Setzen Sie bei unvollständigem Durchbruch die Serie nicht fort.

> **Achtung**
>
> Öffnen Sie keine Tür und betreten Sie den Arbeitsbereich nicht, um die Unterseite zu betrachten. Beobachten Sie nur hinter geschlossenem Maschinenschutz und mit freigegebenem Überwachungssystem. Oberes Licht oder ein Krater allein beweisen keinen Durchbruch.

Warum? Eine Horizontalbewegung vor vollständigem Durchbruch kann Schmelze nach oben ziehen und Startkerben, unvollständige Schnitte sowie Optikverschmutzung verursachen.

12.5 Tabelle der Einstechprobleme

Symptome sind keine eindeutige Diagnose. Prüfen Sie zuerst Gas, Düse, Schutzglas und richtigen Parametersatz. Wenden Sie danach die Regel einer einzigen Parameteränderung aus Abschnitt 13.3an.

Symptom	Mögliche Ursache	Prüfung und Korrektur
Kein / unvollständiger Durchbruch	Falsche Materialzeile; zu wenig Energie oder Zeit; falscher Fokus; Gas- oder Optikproblem.	Prüfen Sie zuerst Hardware und Parametersatz. Prüfen Sie unvollständige Stufenzyklen. Bewerten Sie Dauer und Energie nur einzeln innerhalb der freigegebenen Tabelle.

Symptom	Mögliche Ursache	Prüfung und Korrektur
Großer Krater	Zu viel Zeit oder Energie; ungeeignete Stufe; Einstechpunkt zu nah an der Kante.	Verlegen Sie den Punkt sicher in den Abfall. Prüfen Sie freigegebenes Stufeneinstechen und unnötige Wartezeit nach vollständigem Durchbruch.
Starke Spritzer nach oben	Falsche Höhe oder Fokus; ungeeignete Gasabfuhr; verschmutzte Düse; unvollständiges Einstechen.	Stoppen Sie und prüfen Sie Düse und Glas. Stellen Sie Einstechhöhe, Gas und Stufenfolge auf den Herstellerparametersatz zurück.
Loch wird immer größer	Energie nach dem Einstechen weiter aktiv; zu lange Dauer; wiederholte Versuche an derselben heißen Stelle.	Prüfen Sie den Übergang zum Schnitt. Beobachten Sie die Dauer am Muster. Erzwingen Sie nicht wiederholt an derselben Stelle den Durchbruch.
Durchbruch gelingt, Anschnitt bricht ab	Unvollständiger Wechsel zu Schneidbedingungen; kurzer oder falscher Anschnitt; Gasverzögerung oder Kratereinfluss.	Prüfen Sie Einstech- und Hauptschneidparameter getrennt. Untersuchen Sie Anschnittlage und Übergangsbewegung.

12.6 Einstechparametersatz dokumentieren

Dokumentieren Sie bei erfolgreichen Versuchen Quelle und Kopf, Materialgüte, Dicke, Gas, Düse, Einstechverfahren und Stufenwerte. Geben Sie die Definition der Einstechdauer an. Erfassen Sie auch den anfänglichen Schutzglaszustand und das Musterergebnis.

Ein guter Durchbruch an einer Stelle reicht nicht. Prüfen Sie Kaltstart und bereits erwärmte Auftragsbereiche. Vergleichen Sie bei lochreichen Teilen verschiedene Zonen. Verringern Sie die Einstechzeit nicht zulasten von Startkerben, ungeschnittenen Punkten und Reinigungsaufwand.

Foto: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **Vergleich von Einstechkrater, Spritzern und Übergangsspur zum Schnitt**

Durchstechbeispiele: Bodor, GWEIKE und IPG-Autoren; Stufenunterstützung: XC3000 und JCZ CutMaker; Schutzglaswarnung zu Flash Piercing: Friendess CypCutPro. Aus der Hauptschneidtabelle wurde kein Durchstechrezept abgeleitet.

13

Schnittqualität und Fehlerdiagnose

Ein guter Schnitt liefert maßhaltige, ausreichend senkrechte Kanten mit zulässiger Rauheit und Eignung für Folgeprozesse. Dokumentieren Sie den Fehler, prüfen Sie die Hardware und ändern Sie jeweils nur einen Parameter.

13.1 Checkliste zur Qualitätsprüfung

Betrachten Sie nicht nur die Kantenoberseite. Bewerten Sie obere und untere Maße, Anschnittpunkt, gerade Kante, Ecke und kleines Loch getrennt. Entnehmen Sie Akzeptanzgrenzen der Zeichnung oder dem Arbeitsauftrag. Dieses Kapitel gibt keine allgemeine numerische Rauheits- oder Rechtwinkligkeitstoleranz für alle Aufträge vor.

ISO 9013:2017 (+Amd 1:2024) klassifiziert Schnittflächen anhand der Bereiche für Rechtwinkligkeits-/Neigungstoleranz u und mittlere Profilhöhe Rz5. Der Laserbereich umfasst 0,5–32 mm. Der informative Anhang A nennt Maßtoleranzklasse 1 als typisch für das Laserschneiden; sie ist von den u/Rz5-Bereichen der Kantenqualität zu unterscheiden. Legen Sie Annahmebereiche in Zeichnung oder Auftrag fest. Die folgenden Grenzen stammen aus den Tabellen der Ausgabe 2017; a ist die Schnittdicke in mm. Messen Sie an gebürsteten, oxidfreien Flächen außerhalb von Einstechbereich, Schnittanfang und Schnittende.

Bereich	Obergrenze u (mm)	Obergrenze Rz5 (µm)
1	0,05 + 0,003a	10 + 0,6a
2	0,15 + 0,007a	40 + 0,8a
3	0,4 + 0,01a	70 + 1,2a
4	0,8 + 0,02a	110 + 1,8a
5	1,2 + 0,035a	—

ISO-9013-Bezeichnung und Messbedingungen

Die Bezeichnung lautet **ISO 9013-xyz**: x = u-Bereich, y = Rz5-Bereich, z = Maßtoleranzklasse. Ein Beispiel: **ISO 9013-312** bedeutet u-Bereich 3, Rz5-Bereich 1 und Maßtoleranzklasse 2. Geben Sie Kantenbereich und Maßklasse getrennt an.

Messen Sie Rz5 nach der Ausgabe 2017 in Vorschubrichtung 15 mm vom Schnittanfang entfernt, an der Stelle mit der größten erwarteten Rauheit der Schnittfläche. Rz5 ist das arithmetische Mittel der Profilhöhen über fünf aufeinanderfolgende Einzelmessstrecken; 15 mm ist nicht die Profilmesslänge. Obere und untere Bezugsfläche des Blechs müssen eben und sauber sein.

Der Hersteller legt die Messpunkte fest. Ohne Vorgabe messen Sie je Meter Schnitt zweimal je drei u-Werte mit 20 mm Abstand und einmal Rz5; wählen Sie die Stellen mit den höchsten erwarteten Werten. Unter 2 mm Dicke messen Sie Rz5 auf halber Dicke und vereinbaren das u-Verfahren gesondert.

Schließen Sie bei u an Ober- und Unterkante jeweils einen Streifen Δa aus: 0,1a bei a ≤3 mm; 0,3 mm bei 3<a≤6; 0,6 mm bei 6<a≤10; 1 mm bei 10<a≤20; 1,5 mm bei 20<a≤32. Vereinbaren Sie die Qualitätsabnahme oberhalb 32 mm gesondert.

Der informative Anhang A weist darauf hin, dass Rz5 bei Aluminium und seinen Legierungen etwa das Vierfache der für Stahl angegebenen Werte erreichen kann. Rauheitsbereiche für Stahl sind keine automatische Zusage für Aluminium.

Verwenden Sie für dickenabhängige Grenzwerte **Laserassistent → Qualitätsrechner**.

ISO 9013:2017 §6, §9–10, Annex A

Merkmal	Gutes Ergebnis	Prüfung
Rechtwinkligkeit der Kante	Unterschied zwischen oberer und unterer Kontur innerhalb der Auftragstoleranz.	Vergleichen Sie nach dem Abkühlen obere und untere Maße. Dokumentieren Sie Konizität.
Rauheit / Riefen	Regelmäßige Spuren ohne lokale Vertiefungen, übermäßigen Nachlauf oder Abrisse.	Prüfen Sie gerade Kante, Anfang und Ecke getrennt.
Grat (Dross)	Keine unzulässigen Anhaftungen oder ungeschnittenen Verbindungen unten.	Unterscheiden Sie fadenförmigen, tropfenförmigen und harten durchgehenden Grat.
Oxid und Farbe	Passend zu Gaswahl und Folgeprozess.	Verwechseln Sie Oxid bei O_2-Baustahlschnitt nicht mit unerwünschter Verfärbung bei N_2-Edelstahlschnitt.
Wärmeeinflusszone	Abbrand und Verformung erfüllen die Auftragsanforderungen.	Beobachten Sie Farbspuren und Verzug. Bestätigen Sie notwendige metallurgische Kriterien nicht allein visuell.
Maße und Vollständigkeit	Teil, Löcher und Ecken entsprechen der Zeichnung.	Verwenden Sie kalibrierte Messmittel. Prüfen Sie die Zeichnungsrevision.

Ziel: Schaffen Sie vor Parameterversuchen eine wiederholbare Qualitätsausgangslage.

Benötigt: Freigegebene Zeichnung, Grundparametersatz, Muster desselben Materials, Messmittel und Protokoll.

1. **Auftrag prüfen**
   Eine falsche Materialzeile macht die richtige Einstellung unwirksam.
   Prüfen Sie Werkstoff, Dicke, Gas und Zeichnungsrevision. Vergleichen Sie die Grundparameter mit Abschnitt 9 und der Maschinentabelle.

2. **Hardware prüfen**
   Schmutz und Zentrierversatz ähneln Parameterfehlern.
   Prüfen Sie Düse, Keramikring, Schutzglas und Zentrierung im sicheren Zustand. Wenden Sie bei Bedarf Abschnitt 11.5an.

3. **Gas prüfen**
   Statischer Druck beweist keinen ausreichenden Durchfluss.
   Prüfen Sie Gasart, Reinheit, Druck unter Durchfluss und Vorströmzeit.

4. **Referenz prüfen**
   Ein falscher Fokusnullpunkt beeinflusst alle Parametersätze.
   Prüfen Sie Fokus, Düsenhöhe, kapazitive Nachführung und Blechebenheit.

5. **Muster messen**
   Eine Kante repräsentiert nicht das ganze Teil.
   Bewerten Sie am abgekühlten Muster obere/untere Maße, Grat, Ecken und Löcher. Notieren Sie Fehlerrichtung und -position.

> **Achtung**
>
> Stellen Sie bei Düsen- oder Schutzglasprüfung einen sicheren Laserzustand her und befolgen Sie das Wartungsverfahren des Herstellers. Greifen Sie nicht in die laufende Maschine. Reißen Sie ein unvollständig geschnittenes Muster nicht von Hand heraus.

Warum? Einstellversuche vor Beseitigung eines Hardware- oder Materialproblems sind nicht wiederholbar und verdecken die tatsächliche Ursache.

13.2 Grat und Kantenfehler — Diagnosetabelle

Die Tabelle nennt mögliche Ursachen. Nicht jede Gratform hat nur eine Ursache. Maßnahmen in einer Zelle sind kein gleichzeitig auszuführendes Paket. Schließen Sie die Vorprüfung ab, wählen Sie die wahrscheinlichste Ursache und testen Sie nach Abschnitt 13.3jeweils nur eine veränderte Größe.

Symptom	Mögliche Ursache	Nacheinander prüfen / einzelne Versuche
O_2 **Sauerstoffschneiden — Baustahl**		
Harter, durchgehender Grat unten	Geschwindigkeit hoch; O_2-Druck oder Reinheit niedrig; Fokus zu hoch.	Prüfen Sie Gasart, Reinheit und Durchfluss. Testen Sie 10 % weniger Geschwindigkeit. Ohne Verbesserung zum Ausgangswert zurückkehren. Erhöhen Sie in einem getrennten Versuch O_2 um 0,1 bar oder senken Sie den Fokus um 0,2 mm.
Kante ausgebrannt, Schnittspalt breit	Druck hoch; Fokus zu hoch; zu viel Energie; ungeeignete Oberfläche.	Prüfen Sie Oberfläche und Düse. Senken Sie in getrennten Versuchen O_2 um 0,1 bar oder den Fokus um 0,2 mm. Leistung nur im freigegebenen Bereich ändern.
Krater / Vertiefungen an der Kante	Druck hoch; Geschwindigkeit niedrig; Rost/Schmutz; lokaler Wärmestau.	Vergleichen Sie mit sauberem, kaltem Muster. Testen Sie eine räumliche Verteilung benachbarter Schnitte bei gleicher Verschachtelung. Ändern Sie im Parameterversuch Druck oder Geschwindigkeit getrennt.
Eckenabbrand	Bei sinkender Eckengeschwindigkeit bleiben Leistung und Reaktionswärme hoch.	Prüfen Sie bei guter gerader Kante die Eckentechnologie. Prüfen Sie Leistungs-Geschwindigkeits-Kurve, Eckenschleife oder Kühlung einzeln. Siehe Abschnitt 6.3.
N_2 Druckluft **Stickstoff- / Druckluftschneiden**		
Feiner, fadenförmiger Grat unten	Geschwindigkeit niedrig; Fokus zu hoch; Druck niedrig; Blech heiß.	Zuerst Gasdurchfluss und kalte Probe prüfen, danach Fokus bestätigen und gegebenenfalls separat 0,2–0,5 mm negativer testen. Nach bestätigtem Durchfluss/Fokus +10 % Geschwindigkeit testen. N_2 +1 bar nur im zulässigen Bereich und in einem getrennten Versuch prüfen; diese Zahlenstufen sind DOKTEK-Regeln.
Kleine tropfenförmige Grate unten	Fokus zu tief; Geschwindigkeit hoch; unzureichender Schmelzaustrieb.	Prüfen Sie Düse und Gas. Heben Sie in getrennten Versuchen den Fokus um 0,2–0,5 mm Richtung Null an oder senken Sie die Geschwindigkeit um 10 %.
Oberfläche matt und rau	Zu wenig Energie; Fokus zu tief; Düsenschaden; verschmutzte oder beschädigte Optik.	Prüfen Sie zuerst Düse und Schutzglas sicher. Testen Sie bei intakter Hardware den Fokus. Bewerten Sie Leistung nur im Herstellerbereich.
Edelstahlkante gelb / blau	Unzureichende N_2-Reinheit; Lufteintrag; kurze Gasvorströmzeit; zu viel Wärme. Beim Druckluftschneiden ist Oxid möglich.	Prüfen Sie N_2-Zielqualität und Sauerstoffverunreinigung. Spülen Sie bei schlechtem Erstteil kontrolliert oder bewerten Sie die Vorströmzeit in einem eigenen Versuch. Suchen Sie Lecks und Vermischung. Siehe Abschnitt 7.2.

Symptom	Mögliche Ursache	Nacheinander prüfen / einzelne Versuche
Helles Plasma, örtliche Schnittabbrüche	Geschwindigkeit hoch; zu wenig Energie; Fokus zu tief; Gasabfuhrproblem.	Stoppen Sie bei fehlendem Durchtrennen. Prüfen Sie Gas, Düse und Optik. Senken Sie danach in getrennten Versuchen die Geschwindigkeit oder heben Sie den Fokus an. Überschreiten Sie keine Leistungsgrenze.
Gasunabhängige Prüfungen		
Grat nur auf einer Seite	Dezentrierte, eingedrückte oder unrunde Düse; Strahl-/Gasausrichtungsproblem.	Tauschen Sie beschädigte Düsen aus und prüfen Sie die Zentrierung. Kontaktieren Sie bei anhaltendem Fehler den autorisierten Service zur Optikausrichtung. Gleichen Sie nicht durch Geschwindigkeit aus.
Kreise oval, Form fehlerhaft	Zeichnung oder Bewegungseinstellung; Achsspiel; Düsen-/Optikproblem; Wärmeverformung.	Prüfen Sie Zeichnung und kalte Maße. Dokumentieren Sie die Fehlerrichtung. Überlassen Sie nach Düsenprüfung mechanische und Achsprüfungen dem autorisierten Service. Führen Sie Formfehler nicht allein auf Gas zurück.
Riefen stark nach hinten geneigt	Geschwindigkeit hoch; zu wenig Energie oder Schmelzaustrieb; ungeeigneter Fokus.	Prüfen Sie Gasfluss und Optik. Testen Sie zuerst 10 % weniger Geschwindigkeit. Kehren Sie ohne Erfolg zum Ausgangswert zurück und bewerten Sie Fokus oder Düsen-/Parametereignung.
Regelmäßige Wellen an gerader Kante	Schwingungen, instabile Nachführung oder Bewegungsproblem; Oberflächenänderung.	Vergleichen Sie unterschiedlich ausgerichtete Kanten. Prüfen Sie Höhenverfolgung und Blechauflage. Leiten Sie erforderliche mechanische Prüfungen an den Service weiter.
Konische Kante, unterschiedliche Maße oben und unten	Ungeeigneter Fokus/Optik; Zentrierung; Düsenhöhe; Grenze der Schneidtechnologie.	Dokumentieren Sie obere und untere Maße. Prüfen Sie richtige Linse und Fokusnullpunkt. Führen Sie einen einzelnen Fokusversuch durch. Versuchen Sie nicht, beide Seiten nur per Kompensation zu korrigieren.
Ähnliche Maßabweichung in allen Richtungen	Schnittspaltkompensation oder Richtung falsch; falscher Zeichnungsmaßstab; Warmmessung.	Messen Sie das kalte Teil. Prüfen Sie Maßstab, Innen-/Außenkontur und nur einmalige Kompensation. Korrigieren Sie die Kompensation erst bei stabiler Qualität.
Richtungsabhängige Maßabweichung	Achs-/Skalierungs- oder Mechanikproblem; thermischer Verzug; richtungsabhängige Schnittqualität.	Vergleichen Sie dasselbe Muster in verschiedenen Richtungen. Prüfen Sie Auflage und Zentrierung. Ändern Sie dauerhafte Achseinstellungen nicht unbefugt.

Anpassung: Der lokale Inhalt aus *ornek_ tr.html* 9.2 wurde nach 13.2 übernommen und erweitert. Lesen Sie ihn zusammen mit den Geschwindigkeits-, Düsen-, Gas- und Materialprüfungen des Linde-Dokuments.

The Fabricator

13.3 Ein-Parameter-Regel und Schrittgrößen

DOKTEK-Regel — keine Primärquelle: Die Schritte Geschwindigkeit ±10 %, Fokus ±0,2–0,5 mm, O_2 ±0,1 bar und N_2 ±1 bar einschließlich derselben Schritte in Abschnitt 13.2 sind DOKTEK-Vergleichsvorschläge. Sie sind weder Herstellereinstellungen noch Sicherheitsgrenzen. Bei fadenförmigem N_2-Grat zuerst Gasdurchfluss und Fokus, danach Geschwindigkeit prüfen.

1 Parameter Nur eine Variable je Versuch	**Geschwindigkeit ±10 %** Bezogen auf den aktuellen Wert	**Fokus ±0,2–0,5 mm** Bezogen auf den geprüften Nullpunkt	**O_2 ±0,1 bar** N_2 ±1 bar	**Protokoll** Ergebnis und Rückkehrwert

Das sind kleine Vergleichsschritte, keine allgemeingültigen Parametersätze oder Sicherheitsgrenzen. Führen Sie keinen Versuch durch, der den zulässigen Bereich überschreiten würde. Übernehmen Sie den N_2-Druckschritt nicht automatisch für Druckluft. Beachten Sie deren zulässigen Parametersatz. Für Leistung, Frequenz und Tastgrad gibt es hier keine allgemeine Schrittgröße.

Ziel: Erkennen Sie den Einfluss einzelner Änderungen und machen Sie erfolgreiche Einstellungen wiederholbar.

Benötigt: Stabiler Grundparametersatz, Muster derselben Charge, Fehlerkriterium, Messmittel und Versuchsprotokoll.

1. Dokumentieren Sie die Ausgangsparameter. Beschreiben Sie Ort, Richtung, Gratform, obere/untere Maße und Gas.
2. Wählen Sie die wahrscheinlichste Tabellenursache. Beseitigen Sie Hardwarefehler zuerst und ändern Sie dabei nicht gleichzeitig Parameter.
3. Ändern Sie nur einen Parameter mit geeignetem kleinem Schritt. Halten Sie alle anderen Bedingungen und die Mustergeometrie gleich.
4. Vergleichen Sie nach dem Abkühlen nach denselben Kriterien. Dokumentieren Sie bei Verbesserung neuen Wert und Nebenwirkungen.
5. Kehren Sie bei Verschlechterung zum Ausgangswert zurück. Ändern Sie einen anderen Parameter erst in einem neuen, getrennten Versuch.
6. Prüfen Sie erfolgreiche Einstellungen an verschiedenen Kanten und Löchern. Speichern Sie den Parametersatz mit Revision und Materialdaten.

> **Achtung**
>
> Setzen Sie Versuche bei ungeschnittenen Stellen, starken Spritzern nach oben, aufgestellten Teilen oder gefährlicher Kopfannäherung nicht fort. Stoppen Sie sicher und beseitigen Sie die Ursache. Überschreiten Sie Maschinengrenzen auch nicht in kleinen Schritten.

Warum? Bei gleichzeitiger Änderung von Geschwindigkeit, Fokus und Druck bleibt die Ursache einer Verbesserung unklar. Bei der nächsten Charge müssen Sie dasselbe Problem erneut lösen.

Erfassen Sie mindestens Material/Charge, Dicke, Quelle/Kopf, Düse, Gas, Ausgangsparameter, den einzigen geänderten Parameter, alten/neuen Wert, Fehlerergebnis und Freigabeentscheidung. Kennzeichnen Sie Fotos mit Richtung und Ober-/Unterseite.

Versuchsergebnis beurteilen

Ergebnis	Deutung	Entscheidung
Weniger Grat, Maße und Ecke unverändert	Versuch erscheint positiv.	An weiteren Kanten und Löchern prüfen; erfolgreichen Wert dokumentieren.
Weniger Grat, Ecke ausgebrannt	Ein Fehler verbessert, anderes Kriterium verschlechtert.	Nicht in Serie gehen. Zum Ausgang zurückkehren und Ursache getrennt bewerten.
Ergebnis unverändert	Gewählte Ursache eventuell unwirksam; möglicherweise veränderte Versuchsbedingungen.	Zum Ausgang zurückkehren. Konstantes Material, Temperatur und Hardware prüfen.
Verbesserung nur in einem Bereich	Lokale Oberfläche, Auflage oder Wärme können wirken.	Verschachtelungs- und Materialunterschiede untersuchen, bevor alle Parameter geändert werden.

Bleibt Grat beispielsweise nur in einer Schneidrichtung, setzen Sie nicht fortlaufend Geschwindigkeitsänderungen fort. Düsenöffnung und Zentrierung sind möglicherweise stärkere Ursachen. Bei überall geneigten Schnittspuren und Nichtdurchtrennen prüfen Sie dagegen Gasabfuhr sowie Geschwindigkeits-Energie-Balance. Zu dokumentieren, *wo* das Symptom entsteht, hilft mehr als nur „Grat vorhanden“.

13.4 Fotobeispiele von Schnittfehlern

Die folgenden Flächen erhalten später DOKTEK-Beispiele mit gleicher Beleuchtung, Maßstab und Materialkennzeichnung. Derzeit enthalten sie keine Fotos. Bildähnlichkeit allein ist keine Diagnose. Lesen Sie Gas, Material und Musterparametersatz gemeinsam.

Foto: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **guter Schnitt: senkrechte Kante, gleichmäßige Riefen und akzeptierte Unterkante**

Foto: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **fehlerhafter Schnitt: harter durchgehender Untergrat**

Foto: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **fehlerhafter Schnitt: Vergleich faden- und tropfenförmigen Grats**

Foto: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **Gut-/Fehlervergleich: intakte Ecke und Eckenabbrand**

Foto: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **Gut-/Fehlervergleich: Schnittriefen und raue Oberfläche**

Foto: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **fehlerhafter Schnitt: konische Kante und Edelstahlverfärbung**

Ergänzen Sie das Beispielarchiv auch um Gutteile. Fotografieren Sie denselben Fehler aus mehreren Richtungen. Zeigen Sie Oberseite, Schnittkante und Unterkante. Getrennte numerische Einstellprotokolle machen die Fotos für spätere Diagnosen hilfreicher.

14

Laserquellen

Die Laserquelle erzeugt den Strahl. Der Schneidkopf fokussiert ihn auf dem Blech. Bewerten Sie Quelle, Optik, Gas und Kühlung gemeinsam. Gleiche Nennleistung allein garantiert kein gleiches Schneidergebnis.

14.1 Was macht die Laserquelle?

Der in der Faserlaserquelle erzeugte Strahl gelangt über die Ausgangsfaser zum Schneidkopf. Dessen Optik richtet und fokussiert ihn. Gas aus der Düse unterstützt den Schmelzaustrieb. Quelle, Kopf und Gasleitung sind getrennte Komponenten. Ein Problem an einer davon kann wie ein Defekt einer anderen erscheinen.

Die Bereitschaftsanzeige der Quelle beweist allein nicht, dass genügend Energie die Schneidstelle erreicht. Verschmutztes Schutzglas, falscher Fokus, beschädigte Düse oder ungeeignete Gasbedingungen können ebenfalls den Schnitt verhindern. Folgen Sie bei schwächerem Schnitt zuerst der Prüffolge in Abschnitt 17.1.

Komponente	Aufgabe	Bedienerprüfung
Laserquelle	Erzeugt den Prozessstrahl.	Bereitschaft, Betriebsstunden, Alarm- und Kühlungsangaben.
Ausgangsfaser und QBH-Anschluss	Leiten den Strahl zum Kopf. QBH bezeichnet einen optischen Anschlusstyp, keine Leistung.	Äußere Schäden oder Belastungsanzeichen; nicht am Anschluss arbeiten.
Schneidkopf	Fokussiert den Strahl und trägt Düse sowie Höhenerfassung.	Schutzglas, Düse, Keramikring und Kalibrierung.
Kühlaggregat (Chiller)	Stellt die nötige Kühlung für Quelle und Kopf bereit; Kreisaufbau modellabhängig.	Füllstand, Durchfluss, Alarm, Schläuche und Kondensation.

Foto: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **Quellentypenschild, äußerer Verlauf der Ausgangsfaser und Kühlanschlüsse; Abdeckungen geschlossen**

! Optische Anschlüsse sind Servicearbeit

Trennen Sie den QBH-Anschluss nicht, blicken Sie nicht hinein und biegen Sie die Faser nicht gewaltsam. Stellen Sie bei Verdacht auf Schmutz oder Schäden am Anschluss einen sicheren Maschinenzustand her und informieren Sie den Service. Zulässige Biege- und Transportbedingungen sind modellabhängig.

14.2 Leistung, Kerndurchmesser und Strahlqualität

Begriff	Bedeutung	Nutzung im Betrieb
Nennleistung	Leistungsklasse auf dem Quellentypenschild. Nicht dieselbe Angabe wie ein Leistungsprozentsatz der Software.	Dokumentieren Sie Typenschildleistung und Prozesseinstellung getrennt. Diagnostizieren Sie keinen sicheren Leistungsverlust allein am Schnittbild ohne Ausgangsleistungsmessung.
Faserkerndurchmesser	Kerngröße der Transportfaser; nicht direkt gleich dem Fokusdurchmesser auf dem Blech.	Vergleichen Sie beim Parameterübertrag auch den Kerndurchmesser. Berücksichtigen Sie den Einfluss der Kopfoptik.
BPP / Strahlqualität	Das Strahlparameterprodukt (Beam parameter product) beschreibt Fokussierungs- und Ausbreitungsverhalten des Strahls.	Vergleichen Sie Wert und Messbedingungen in der technischen Herstellerdokumentation; übertragen Sie die folgenden Produktbeispiele nicht pauschal auf alle Marken.
CW	Continuous wave (Dauerstrichbetrieb): Betriebsart mit kontinuierlicher Strahlerzeugung.	Prüfen Sie die Vereinbarkeit des Schneidprozesses mit der Quellenbetriebsart.
Pulsbetrieb	Energie wird zeitlich in Impulsen abgegeben. Zusammenhang von Pulsdauer, Frequenz und Leistung ist quellenabhängig.	Leiten Sie den Quellentyp nicht allein aus dem Frequenzfeld der Software ab. Prüfen Sie unterstützte Betriebsarten anhand der Herstellerunterlagen.

BPP, Kerndurchmesser und Nennleistung sind verschiedene Eigenschaften. Leiten Sie aus einem einzelnen Wert keine Materialdicken-, Geschwindigkeits- oder Qualitätsgrenzen ab. Verwenden Sie für Schneidwerte die Tabelle in Abschnitt 9 und den freigegebenen Prozessdatensatz Ihrer Maschine.

BPP = w_0 × θ = M^2 × λ/π. w_0 ist der Strahltaillenradius an der engsten Stelle; θ ist der halbe Divergenzwinkel im Fernfeld. Die Einheit ist mm·mrad. Für einen idealen Gaußstrahl gilt M^2 = 1; bei λ = 1,07 µm beträgt die Beugungsgrenze λ/π = 1,07 ÷ π ≈ 0,34 mm·mrad. Diese theoretische Untergrenze ist nicht der gemessene BPP der eingebauten Quelle.

Typisches Produktbeispiel: Für Coherent Edge FL mit 25 m Faser werden bei 50 µm Kern 1,5 kW → 1,5 mm·mrad und 3 kW → 2,7 mm·mrad genannt; bei 100 µm Kern und ≥6 kW → <4 mm·mrad. Die Recherche sah diese Werte nur in einer Suchzusammenfassung; prüfen Sie die technische Dokumentation Ihres Modells. ISO 11146-1 beschreibt Messverfahren für Strahlbreite, Divergenz und Strahlausbreitungsverhältnis.

BPP · Coherent Edge FL · ISO 11146-1

14.3 Raycus, Maxphotonics (Max), IPG und Reci

Dieser Leitfaden behandelt vier Laserquellenmarken. Die Markennennung ist keine Qualitätsrangfolge. Bewerten Sie eingebautes Modell, Faseraufbau, Leistungsklasse, Kopfkompatibilität und Service gemeinsam. Anschlüsse, Alarmanzeigen und Wartungsbedingungen können zwischen Serien derselben Marke abweichen.

Marke	Allgemeine Vorstellung	An der Maschine prüfen
Raycus	Marke für Faserlaserquellen. Das Schneidverhalten hängt vom eingebauten Modell und Gesamtsystem ab.	Vollständiges Modell, Seriennummer, Nennleistung, Kerndurchmesser und gültige Herstelleranleitung.
Maxphotonics (Max)	Marke für Faserlaserquellen, auch kurz „Max“ genannt.	Serie und Modell auf dem Typenschild; gleiche Faser- und Optikbedingungen ähnlich benannter Tabellen.
IPG	Marke für Faserlaserquellen. Schneidparameter werden nicht allein nach dem Markennamen gewählt.	Ausgangseigenschaften, Kühlanforderungen und Alarm-/Überwachungsschnittstelle des eingebauten Modells.
Reci	Marke für Faserlaserquellen. Eignung und Einsatzbedingungen anhand der Modelldokumentation prüfen.	Leistungs- und Faserdaten, Maschinenintegration und Serviceprotokolle.

Quellen besitzen eigene Alarm- und Überwachungsschnittstellen. Der Maschinenbildschirm kann einige Angaben zusätzlich zeigen. Sichtbare Felder hängen von der Integration ab. Erfassen Sie für den Service neben der kurzen Maschinenmeldung auch den vollständigen Quellenalarmtext. Öffnen Sie keine vom Hersteller gesperrten Einstellbereiche.

14.4 Einzelmodul- und Mehrmodulaufbau

Aufbau	Allgemeine Tendenz	Bei der Entscheidung
Einzelmodul	Häufig mit 50 µm Kern; für schnelles Schneiden dünner bis mitteldicker Bleche.	Übertragen Sie diese Tendenz nicht auf jedes Modell. Lesen Sie tatsächlichen Kerndurchmesser und Quellen-Kopf-Zuordnung in der Dokumentation nach.
Mehrmodul	Mit Kernen ab 100 µm anzutreffen; für stabile Dickblechprozesse.	Leiten Sie aus der Modulzahl allein keine Geschwindigkeit oder Qualität ab. Bestätigen Sie den Dickblechprozess durch Probeschnitt.

Modulaufbau, Leistungsklasse und Optik wirken zusammen. Zwei Quellen gleicher Nennleistung können unterschiedliches Fokus- und Einstechverhalten zeigen. Reduzieren Sie die Auswahl nicht auf „ein“ oder „mehrere“. Berücksichtigen Sie Materialbereich, Gasversorgung, Kopfausstattung und Servicebedingungen gemeinsam.

> **Kupfer, Messing und Aluminium**
> Bei diesen Werkstoffen besteht Rückreflexionsgefahr. Prüfen Sie die Prozesseignung von eingebauter Quelle und Schneidkopf anhand der Herstellerunterlagen. Setzen Sie Rückreflexionsalarme nicht einfach zurück, um denselben Vorgang zu wiederholen. Folgen Sie Abschnitt 17.7.

14.5 Parameter auf eine andere Quelle übertragen

Ziel: Verwenden Sie bisherige Einstellungen als kontrollierten Ausgangsdatensatz und prüfen Sie das Ergebnis auf der neuen Maschine.

Benötigt: Typenschilddaten beider Quellen, Kerndurchmesser, Kopf- und Düsendaten, freigegebener Parametersatz, geeignetes Probeblech und Formular Anhang C.

1. Erhalten Sie die alte Datei. Erstellen Sie einen getrennten Versuchsdatensatz mit neuem Maschinen- und Quellennamen.
2. Vergleichen Sie Nennleistung und Kerndurchmesser. Betrachten Sie Einstellungen bei gleicher Leistung und gleichem Kern nur als Ausgangspunkt. Nutzen Sie bei Abweichungen die passende Modelltabelle oder den vom Service empfohlenen Startprozess.
3. Vergleichen Sie Werkstoff, reale Dicke, Beschichtung, Gas, Düsentyp und Kopfoptik. Ergänzen Sie fehlende Daten nicht durch Annahmen.
4. Prüfen Sie Fokusvorzeichen, Einheiten, Geschwindigkeit in m/min und Druck in bar. Leistungs- und Pulsfelder können je nach Software und Quelle unterschiedliche Bedeutungen haben.
5. Führen Sie in einem sicheren Testbereich Rahmenprüfung und Probeschnitt aus. Prüfen Sie Einstechen, vollständiges Durchtrennen, Unterseite, Grat und Maße.
6. Ändern Sie je Versuch nur einen Parameter. Tragen Sie alte/neue Werte und Ergebnis ins Formular ein. Übernehmen Sie geeignete Ergebnisse erst nach örtlicher Freigabe in den Produktionsdatensatz.

> **! Kopieren Sie keine gesamten Einstellungen**
>
> Das Übertragen einer Schneidtabelle berechtigt nicht zum Kopieren von Servo-, Quellenkommunikations- oder Sicherheitseinstellungen. Maschinenspezifische Konfiguration verwaltet der Service.

Warum? Auch bei gleicher Leistung und gleichem Kerndurchmesser beeinflussen Optik, Gasfluss und Steuerungsverhalten das Ergebnis. Versuchsprotokolle helfen, zuverlässige Einstellungen wiederzufinden.

14.6 Umgebung und Quellenwartung

Überwachen Sie Temperatur und Feuchtigkeit an der Quelle. Entnehmen Sie zulässige Bereiche den Quellen- und Kühlaggregatunterlagen. Verwenden Sie keinen gemeinsamen Temperatursollwert für alle Marken. Kondensation kann entstehen, wenn kalte Oberflächen unter den Umgebungstaupunkt fallen. Stoppen Sie bei Kondensation an Schlauch oder Kopf und starten Sie erst nach Ursachenbeseitigung.

Ziel: Halten Sie Quellenumgebung und äußere Anschlüsse unter den vorgeschriebenen Bedingungen.

Benötigt: Herstellercheckliste, Temperatur-/Feuchtigkeitsprotokoll, sauberes trockenes Tuch und Wartungsformular.

1. Versetzen Sie die Maschine in den Herstellerwartungszustand. Öffnen Sie die Quelle nicht. Prüfen Sie freie Lüftungseinlässe.
2. Entfernen Sie Staub außen an der Quelle mit geeigneter Methode. Richten Sie weder Druckluft noch Flüssigkeit in Öffnungen.
3. Prüfen Sie Schläuche auf Lecks, Quetschungen und Lockerung sowie den Faserverlauf auf äußere Schäden. Lösen Sie keine Anschlüsse.
4. Prüfen Sie Füllstand, Durchfluss, Filter und Alarme des Kühlaggregats. Unterscheiden Sie modellgerecht Quellen- und Kopfkreis. Fahren Sie mit Abschnitt 16.6 fort.
5. Dokumentieren Sie Umgebung und Beobachtungen. Arbeiten Sie außerhalb zulässiger Bereiche erst weiter, wenn die Herstellerbedingungen wieder erfüllt sind.

> **! Verdecken Sie Kondensation nicht durch Einstellungen**
>
> Ändern Sie Kühlaggregatwerte nicht beliebig, um Alarme zu unterdrücken. Bewerten Sie Luftfeuchtigkeit, Wassertemperatur und zulässige Gerätebedingungen gemeinsam.

Warum? Staub und ungeeignete Kühlbedingungen können Störungen verursachen. Umgebungsprotokolle zeigen die Bedingungen wiederkehrender Alarme.

14.7 Leistungsmessung und Leistungsüberwachung

Planen Sie regelmäßige Ausgangsleistungsprüfungen mit dem Service. Bestimmen Sie das Intervall nach Auslastung, bisherigen Messungen und Herstellerempfehlung. Software-Sollleistung ist keine gemessene optische Leistung. Nutzen Sie geänderte Schneidgeschwindigkeit nicht allein als Ersatz für eine Leistungsmessung.

Ziel: Dokumentieren Sie Servicemessungen mit geeignetem Leistungsmessgerät vergleichbar.

Benötigt: Autorisiertes, geschultes Servicepersonal, quellengeeignetes Leistungsmessgerät mit gültiger Kalibrierung, Herstellerverfahren und geschlossener sicherer Messbereich.

1. Übergeben Sie Fehlerbeschreibung und früheren Messbericht. Nennen Sie zuerst die Ergebnisse der Schutzglas-, Gas- und Fokusprüfungen.
2. Der Service muss den Messpunkt bestimmen. Vermischen Sie Messungen am Quellenausgang und hinter dem Kopf nicht unter derselben Bezeichnung.
3. Lassen Sie den Service nach Herstellerverfahren messen. Führen Sie als Bediener keine offenen Strahlversuche durch und bauen Sie keine improvisierten Messaufbauten.
4. Erfassen Sie Soll- und Messleistung, Messpunkt, Gerätekennung, Datum und Bedingungen im Bericht. Lassen Sie anhand modellspezifischer Akzeptanzkriterien bewerten.

> **Umgehen Sie für Messungen keine Sicherheitseinrichtungen**
> Überbrücken Sie keinen Türschutz. Messen Sie nicht mit offenem Strahl. Messgerätewahl und Strahlwegsicherheit verantwortet der Service.

Warum? Vergleichbare Messungen helfen, Leistungsverlust von Prozessproblemen zu trennen. Ergebnisse unterschiedlicher Messpunkte oder Verfahren sind nicht direkt vergleichbar.

14.8 Quellenprotokoll für Garantie und Service

Protokoll	Einzutragende Angaben	Wann?
Identität	Maschine und Quellenmarke, vollständiges Modell, Seriennummer, Leistung und dokumentierter Kerndurchmesser, falls vorhanden.	Bei Lieferung und Quellenwechsel.
Nutzung	Angezeigte Betriebsstunden, Zählerbeschreibung, Datum und Bediener.	Bei geplanter Wartung und Störung.
Alarmhistorie	Vollständiger Code/Text, Uhrzeit, Material, Prozessphase, Wiederholhäufigkeit und Bildschirmaufnahme.	Vor dem Rücksetzen.
Umgebung und Wartung	Temperatur/Feuchtigkeit, Kühlaggregatzustand, Wasser-/Filterarbeiten und Servicebericht.	Bei Prüfung und nach Eingriffen.
Messung und Änderungen	Leistungsmessbericht, ersetztes Teil, alter/neuer Prozessdatensatz und freigebende Person.	Bei Messung, Teile- oder Einstellungsänderung.

Garantieumfang und Servicebedingungen hängen von Vertrag und Modell ab. Dieses Kapitel verspricht keine Garantiedauer oder -deckung. Erhalten Sie Typenschilder. Überlassen Sie Öffnen der Quelle und innere Einstellungen dem autorisierten Service. Verwenden Sie für Meldungen die Liste in Anhang E.

15

Softwareleitfäden

Prüfen Sie Softwarename und Version am Maschinenbildschirm. Dieses Kapitel erläutert Zweck und Prüffolge. Menünamen, Berechtigungen, Lizenzen und verfügbare Funktionen hängen von Version und Maschinenintegration ab.

Regel für den ersten Tag

Führen Sie den ersten Auftrag mit einer geschulten Person aus. Beginnen Sie erst nach Prüfung von Achsposition, Koordinatensystem, Einheit, Material und Prozessdatensatz. Lernen Sie Not-Halt, normale Pause und kontrollierten Stopp anhand des Maschinenhandbuchs.

15.1 Gemeinsamer Arbeitsablauf und Begriffe

Eine geöffnete Zeichnung ist noch nicht schneidbereit. Geometrie, Werkzeugpfad, Prozessparameter und Referenz-/Kalibrierstatus werden getrennt geprüft. Die folgenden Orte sind allgemeine Bildschirmbereiche, keine festen Menüpfade. Ein aufgeführter Vorgang ist nicht zwingend in jeder Software verfügbar.

Vorgang	Zweck	Typischer Softwarebereich
Referenzfahrt (Homing) / Fahrt zum Maschinenursprung	Bestimmt die Maschinenreferenz. Nicht gleich dem Werkstücknullpunkt.	Bedienfeld oder Maschinenvorbereitung.
Kapazitive Kalibrierung	Bereitet die Düsenabstandserfassung vor; geeignetes Blech und sauberes Werkzeug nötig.	Höhenregler oder Kalibrierbereich.
Kantenerkennung	Hilft, Blechlage und -winkel zu bestimmen; Unterstützung und Methode variieren.	Bedienfeld oder Blechpositionierungswerkzeuge.
Rahmenprüfung (Frame)	Hilft zu prüfen, ob die äußere Auftragsgrenze auf Tisch und Blech passt.	Bedienfeld oder Auftragsvorbereitung.
Trockenlauf	Prüft den Werkzeugpfad durch Bewegung ohne Strahl; Gas-, Höhen- und Bewegungsverhalten modellabhängig.	Bedienfeld oder Testlaufbereich.
Schnitt starten	Führt den vorbereiteten Auftrag aus. Zuerst Sicherheits- und Prozessprüfungen abschließen.	Bedienfeld oder Zyklusverwaltung.
Pause	Unterbricht vorübergehend. Kopf- und Strahlverhalten im Wartezustand hängen von der Integration ab.	Bedienfeld oder Zyklusverwaltung.
Stopp	Beendet den Zyklus kontrolliert; Neustartzustand versionsabhängig.	Bedienfeld oder Zyklusverwaltung.
Fortsetzen ab Unterbrechungspunkt	Setzt unter geeigneten Bedingungen am gespeicherten Punkt fort. Startpunkt prüfen.	Bedienfeld oder Wiederaufnahmebereich.
Layerparameter	Verknüpfen Geometriegruppen mit Schneid-, Einstech-, Gas- und Fokuseinstellungen.	Layer-/Prozesseinstellung.
Material-/Prozessbibliothek	Hilft, geprüfte Material- und Dickeneinstellungen zu speichern.	Materialbibliothek oder Prozesseinstellung.
Anschnitt (Lead-in)	Bestimmt Ort und Art des Eintritts in die Teilekontur.	Geometrie-/Werkzeugpfadwerkzeuge oder Prozesseinstellung.
Mikrosteg (Micro joint)	Lässt kleine ungeschnittene Verbindungen zum Halten des Teils stehen.	Werkzeugpfadwerkzeuge oder Teileigenschaften.
Schnittspaltkompensation (Kerf)	Gleicht den Einfluss der Schnittbreite auf das Teilemaß aus.	Werkzeugpfad oder Layer-/Prozesseinstellung.
Verschachtelung (Nesting)	Platziert Teile in der nutzbaren Blechfläche.	Hauptmenü/Werkzeugleiste oder separate CAM-Anwendung.
Simulation	Zeigt Schnittfolge und Bewegungen vorab; beweist keine reale Schnittqualität.	Werkzeugpfadwerkzeuge oder Vorschau.
Auftragsbericht	Erfasst, sofern unterstützt, Auftrags-, Zeit- und Produktionsdaten.	Berichts-/Auftragsverwaltung; Umfang lizenzabhängig.

Ersten Auftrag vorbereiten

Ziel: Wandeln Sie die Datei in einen sicheren, wiederholbaren Maschinenauftrag um.

Benötigt: Maschinenhandbuch, freigegebene Parameter, geeignetes Blech und Düse, funktionsfähige Sicherheitseinrichtungen sowie bereite Gasversorgung, Kühlung und Rauchabsaugung.

1. Bereiten Sie die Maschine nach Abschnitt 3 und der Herstellereinschaltfolge vor. Öffnen Sie die Software. Prüfen Sie angeschlossene Steuerung, Lizenz und Alarme.
2. Räumen Sie den Fahrbereich frei. Führen Sie die nötige Referenzfahrt aus und prüfen Sie die Positionsreferenz.
3. Kalibrieren Sie kapazitiv auf sauberem, festem Blech nach Herstellerverfahren. Wiederholen Sie Ersteinrichtungseinstellungen nicht als tägliche Routine.
4. Öffnen Sie die Datei. Prüfen Sie Einheit, Maße, offene/doppelte Linien, Innen-/Außenkonturen, Stückzahl und Verschachtelung.
5. Ordnen Sie jedem Layer das passende Material, die Dicke und den Prozess zu. Prüfen Sie Anschnitt, Mikrostege, Kompensation und Schnittfolge.
6. Verfolgen Sie den gesamten Pfad in der Simulation. Prüfen Sie die reale Lage mit der vorgesehenen Rahmenfahrt und bei Bedarf im Trockenlauf. Prüfen Sie, dass der Strahl aus ist.
7. Schließen Sie die Sicherheitseinrichtungen. Schneiden Sie ein Muster und prüfen Sie Durchtrennen, Maße und Kante. Starten Sie bei geeignetem Ergebnis die Produktion und beobachten Sie die ersten Teile.

> **! Auch die Rahmenprüfung erzeugt Bewegung**
>
> Der Kopf kann aufgestellte Teile oder Spannmittel treffen. Ersetzen Sie die Bereichsprüfung nicht durch Rahmenfahrt oder Trockenlauf. Prüfen Sie Gas- und Strahlstatus zusätzlich.

Warum? Eine richtige Zeichnung kann mit falschen Koordinaten oder Layern falsch geschnitten werden. Diese Folge prüft Datei, Prozess und Maschine gemeinsam.

Nach einer Pause neu starten

Ziel: Prüfen Sie nach einer Unterbrechung geeigneten Startpunkt und Prozesszustand.

Benötigt: Stoppursache, Auftragsprotokoll, unveränderte Blechlage und Fortsetzungsverfahren der Maschine.

1. Dokumentieren und beseitigen Sie die Stoppursache. Setzen Sie bei bestehendem Gas-, Kühlaggregat- oder Sicherheitsalarm nicht fort.
2. Prüfen Sie unveränderte Blechlage, Werkstücknullpunkt und Maschinenreferenz. Kehren Sie bei verschobenem Blech oder Positionsverlust nicht blind zum alten Punkt zurück.
3. Prüfen Sie angezeigten Startpunkt und aktiven Layer. Erneutes Einstechen oder Zurücksetzen des Startpunkts ist versionsabhängig.
4. Führen Sie nötige Simulation und Positionsprüfung aus. Setzen Sie bei erfüllter Sicherheit kontrolliert fort und beobachten Sie die erste Schnittspur.

> **! Nach einem Not-Halt**
>
> Entriegeln des Not-Halts ist keine automatische Fortsetzungsfreigabe. Prüfen Sie Bereich, Referenz und Fehlerbeseitigung erneut nach Maschinenverfahren.

Warum? Bei verschobenem Blech entspricht der alte Stopppunkt nicht mehr derselben physischen Stelle.

15.2 CypCut

CypCut ist die Flachblechschneidsoftware von Friendess. Als Gründungsjahr von Friendess/FSCUT wird 2007 angegeben. Die Software kombiniert Schneidtechnologiebearbeitung, Verschachtelung und Prozesssteuerung. Sie arbeitet mit FSCUT-Steuerkarten, etwa FSCUT1000/2000, sowie dem kapazitiven Höhenregler BCS100. Prüfen Sie verbaute Karte und unterstützte Funktionen an Ihrer Maschine gesondert.

Wo anzutreffen? An Flachblech-Faserlasermaschinen mit Friendess/FSCUT-Steuerung. Quellen- oder Kopfmarke allein belegt keinen CypCut-Einsatz.

Ablauf am ersten Tag

Ziel: Bereiten Sie den CypCut-Auftrag zusammen mit angeschlossenem FSCUT- und Höhensystem vor.

Benötigt: Software-/Kartenversion, Maschinenschulung, freigegebene Datei und Parametersatz.

1. Öffnen Sie die Software. Prüfen Sie Kartenkommunikation und Alarme. Eine sichtbare Datei bedeutet keine Maschinenbereitschaft.
2. Räumen Sie den Fahrbereich frei und fahren Sie nach Maschinenverfahren zur Referenz. Prüfen Sie Maschinenreferenz und Werkstücknullpunkt getrennt.
3. Führen Sie die BCS100-Ersteinrichtung mit geschultem Personal aus: **Servokalibrierung → Referenzfahrt und kapazitive Kalibrierung → automatische Abstimmung**. Später ist meist nur kapazitive Kalibrierung nötig. Wiederholen Sie die Servoeinstellung nicht für tägliche Prüfungen.
4. Öffnen Sie die Datei und prüfen Sie Einheit, Kontur, Maße und Platzierung. Prüfen Sie die richtige Layerzuordnung importierter Linien.
5. Vergleichen Sie im Layer-/Prozessbereich Werkstoff, Dicke, Gas, Düse, Fokus, Schneid- und Einstechwerte mit dem freigegebenen Datensatz.
6. Prüfen Sie Innenkontur- und Anschnittfolge in der Simulation. Prüfen Sie mit Rahmenfahrt die Blechgrenzen. Führen Sie bei Bedarf einen Trockenlauf ohne Strahl aus.
7. Schneiden Sie bei bereiter Sicherheit, Gasversorgung, Kühlung und Absaugung ein Muster. Starten Sie bei passenden Maßen und vollständigem Durchtrennen den Auftrag. Dokumentieren Sie Datei- und Parameterversion.

> **Achtung**
> Verwechseln Sie BCS100-Serviceeinstellungen nicht mit Schneidparametern. Erzwingen Sie nach fehlgeschlagener Kalibrierung keinen Schnitt über die Höhe. Prüfen Sie Düse, Keramikring und Blech.

Warum? Höhenregelung und Schneidprozess erfordern getrennte Prüfungen. Die Bereitschaft eines Systems behebt keinen Fehler im anderen.

Datei- und Parameterprüfung

Prüfen Sie bei gemeinsamen Schnittkanten, Mikrostegen und speziellen Werkzeugpfaden deren Ausführung an der Maschine. Prüfen Sie Layerzuordnungen separat vorbereiteter Verschachtelungsaufträge. Stellen Sie sicher, dass Kompensation nicht sowohl im CAM als auch an der Maschine angewendet wird.

Dokumentieren Sie bei Stopp letzten Punkt, aktiven Layer und Stoppursache. Setzen Sie bei verschobenem Blech nicht einfach fort. Menünamen und Bildschirmaufbau variieren nach Version.

Bildschirmaufnahme: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **CypCut: Hauptansicht; Auftrags- und Maschinenstatus**

Bildschirmaufnahme: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **CypCut: Layer-/Parameteransicht; Material und Einheiten**

Bildschirmaufnahme: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **CypCut: Kalibrieransicht; Steuerungskennung**

15.3 CypOne

CypOne ist eine wirtschaftliche Flachblechsoftware besonders für Werbetechnik und Dünnblech. Sie bietet Zeichnungsbearbeitung, Parametereinstellung, Prozessanpassung, Verschachtelung, Werkzeugpfadplanung, Simulation und Schneidsteuerung. Für den Betrieb ist eine Steuerkarte erforderlich. Ohne Karte startet sie am Computer im Demomodus.

Wo anzutreffen? An Flachblechmaschinen mit kompatibler Steuerkarte und CypOne-Konfiguration. Die Demoansicht bestätigt nicht sämtliche Lizenzen, Hardware und Funktionen der Maschine.

Ablauf am ersten Tag

Ziel: Bereiten Sie die CypOne-Datei nach der tatsächlichen Maschinenkonfiguration vor.

Benötigt: Steuerkartenangaben, Herstellerverfahren, freigegebener Materialdatensatz und Probeblech.

1. Öffnen Sie die Anwendung. Prüfen Sie Demo- oder echten Kartenbetrieb. Prüfen Sie bei nicht erkannter Karte Anschluss und Berechtigung mit der verantwortlichen Person.
2. Räumen Sie bei bereiter Maschine den Bereich frei und fahren Sie nach Herstellerfolge zur Referenz. Kalibrieren Sie danach das Höhensystem kapazitiv.
3. Öffnen Sie die Datei. Prüfen Sie kleine Details, offene Linien, Einheit und Realmaße. Prüfen Sie nach Zeichnungskorrektur erneut die Stückzahl.
4. Wählen Sie Layer- und Prozesseinstellungen. Übernehmen Sie Dünnblecheinstellungen einer anderen Maschine nicht direkt als Produktionswerte.
5. Prüfen Sie Platzierung, Anschnitte und Mikrostege. Beobachten Sie die Werkzeugpfadsimulation und prüfen Sie die reale Lage per Rahmenfahrt.
6. Prüfen Sie Gas, Kühlung, Absaugung und Sicherheit und schneiden Sie ein Muster. Geben Sie das Ergebnis frei, starten Sie den Auftrag und dokumentieren Sie Änderungen.

> **Achtung**
> Eine im Demomodus korrekt geöffnete Datei ist keine Schneidfreigabe an der realen Maschine. Prüfen Sie Karte, Höhensystem und Prozesszuordnung vor Ort.

Warum? Zeichnungsvorbereitung und physische Maschinenvorbereitung erfordern unterschiedliche Prüfungen.

Zu beachten

Dokumentieren Sie die Dateiversion der Demoumgebung. Prüfen Sie vor Übertragung Dateiformat und Funktionskompatibilität. Ergänzen Sie fehlende Prozessfelder nicht nach einer anderen Bildschirmversion. Verwenden Sie die freigegebenen Material- und Prozessdatensätze des installierten Systems.

Bildschirmaufnahme: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **CypOne: Hauptansicht; Auftrags- und Maschinenstatus**

Bildschirmaufnahme: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **CypOne: Layer-/Parameteransicht; Material und Einheiten**

Bildschirmaufnahme: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **CypOne: Kalibrieransicht; Steuerungskennung**

15.4 CypNest und HypCut

CypNest: separate Verschachtelungsvorbereitung

CypNest ist die separate, kostenpflichtige erweiterte Verschachtelungssoftware von Friendess. Sie bietet gemeinsame Schnittkanten (Common line), automatische Verschachtelung und Werkzeugpfadvorbereitung. Bei kompatibler Ausgabe kann sie auf einem separaten Vorbereitungscomputer laufen. Das Übertragungsformat ist versionsabhängig.

Ziel: Übertragen Sie die Verschachtelung geprüft auf die Zielmaschine.

Benötigt: Lizenz, passende Maschinen-/Ausgabedefinition sowie Teile- und Blechdaten.

1. Öffnen Sie die Anwendung. Prüfen Sie Zielmaschine, Material, Dicke und Stückzahlen.
2. Importieren Sie die Teile. Prüfen Sie Platzierung, gemeinsame Kanten, Anschnitte und Werkzeugpfad.
3. Prüfen Sie die Simulation. Speichern und übertragen Sie die zielmaschinengerechte Ausgabe.
4. **An der Maschine:** Steuerungssoftware öffnen → Referenzfahrt → kapazitiv kalibrieren → Datei öffnen → Layerparameter prüfen → Simulation/Rahmenprüfung → nach Probeschnitt und Freigabe schneiden.

> **Achtung**
> Referenzfahrt und Sensorkalibrierung erfolgen an der Zielmaschine. Sie sind keine CypNest-Funktionen. Verwenden Sie gemeinsame Kanten mit freigegebenem Prozess.

Warum? Neben der Verschachtelung muss die Prozesszuordnung an der Maschine geprüft werden.

Bildschirmaufnahme: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **CypNest-Hauptansicht und Verschachtelung**

Bildschirmaufnahme: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **CypNest-Prozess-/Ausgabeansicht und Layerzuordnung**

Bildschirmaufnahme: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **Kalibrieransicht der Zielmaschine; keine CypNest-Funktion**

HypCut: Hochleistung und busbasierte Steuerung

HypCut ist die Friendess-Software für Hochleistungs- und Bussysteme. Sie wird an Maschinen mit kompatibler Steuerungshardware eingesetzt. Funktionen, Lizenzen und Inbetriebnahmedetails stehen in den Herstellerunterlagen.

Ziel: Prüfen Sie den ersten Auftrag am installierten System nach Herstellerfolge.

Benötigt: HypCut-/Maschinendokumentation, Schulung und freigegebener Prozess.

1. Öffnen Sie die Anwendung und prüfen Sie Kommunikation und Alarme. Führen Sie Referenzfahrt und Höhenkalibrierung nach Herstellerfolge aus.
2. Öffnen Sie die Datei. Prüfen Sie Layer und Parameter. Schließen Sie Simulation und Rahmenprüfung ab.
3. Schneiden Sie bei bereiten Sicherheitseinrichtungen und Nebenanlagen ein Muster. Geben Sie das Ergebnis frei und beginnen Sie die Produktion.

> **Achtung**
> Ändern Sie Bus-, Antriebs- und Kommunikationskonfiguration nicht als Bedienerschneideinstellung.

Warum? Die Maschinenintegration lässt sich nicht anhand des Softwarenamens bestätigen.

Bildschirmaufnahme: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **HypCut-Hauptansicht**

Bildschirmaufnahme: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **HypCut-Layer-/Parameteransicht**

Bildschirmaufnahme: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **HypCut-Kalibrieransicht**

15.5 Raytools XC3000-Serie

Die Raytools-XC3000-Serie ist ein Bewegungskontrollsystem für Laserschneiden. Die Software arbeitet mit einem Dongle (Hardwareschlüssel). Ohne Schlüssel gibt es einen Simulatormodus. Prüfen Sie den realen Maschinenbetrieb anhand der installierten Hardware und des Schlüssels.

Wo anzutreffen? An Laserschneidmaschinen mit XC3000-Steuerung. Ein Raytools-Schneidkopf allein belegt kein XC3000-Steuerungssystem.

Ablauf am ersten Tag

Ziel: Unterscheiden Sie Simulator und reale Maschine bei der Auftragsvorbereitung.

Benötigt: Hardwareschlüssel, Maschinendokumentation, Steuerungs-/Kopfmodelle und freigegebener Prozess.

1. Öffnen Sie die Anwendung. Prüfen Sie Schlüsselerkennung und realen Maschinenbetriebsstatus. Simulatorbewegungen sind keine physische Achsprüfung.
2. Führen Sie bei bereiter Maschine und freiem Bereich die Referenzfahrt nach Herstellerfolge aus. Kalibrieren Sie das Höhensystem nach dessen eigenem Verfahren kapazitiv.
3. Öffnen Sie die Datei. Prüfen Sie Einheit, Kontur, Stückzahl und Blechgröße. Ordnen Sie Layer dem passenden Prozessdatensatz zu.
4. Prüfen Sie Einstech-, Schneid-, Gas- und Fokuswerte sowie passende Düse und Glaszustand.
5. Prüfen Sie die Simulation und per Rahmenfahrt die reale Blechgrenze. Führen Sie nötige Trockenläufe ohne Strahl aus.
6. Schneiden Sie bei bereiten Sicherheitseinrichtungen und Nebenanlagen ein Muster. Starten Sie bei vollständigem Durchtrennen und passenden Maßen den Auftrag. Erhalten Sie Datei- und Einstellprotokoll.

> **Achtung**
> Beheben Sie Schlüssel- oder Kommunikationsfehler nicht durch geänderte Sicherheitseinstellungen. Der Simulatormodus ist keine Freigabe der Produktionsvorbereitung.

Warum? Lizenzstatus, Maschinenverbindung und Bewegungssicherheit sind getrennte Prüfungen.

Kopf und Steuerung unterscheiden

Setzen Sie die Wartungsaufbauten von Raytools BM111 und BM06K nicht gleich. BM111 besitzt drei Schutzgläser: oben, Mitte und unten. Bestimmen Sie Modell und Glasposition. Ein einzelner Glaswechsel beweist keinen sauberen gesamten Strahlweg. Folgen Sie bei Wartung Abschnitt 16.4.

Bildschirmaufnahme: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **Raytools XC3000: Hauptansicht; Auftrags- und Maschinenstatus**

Bildschirmaufnahme: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **Raytools XC3000: Layer-/Parameteransicht; Material und Einheiten**

Bildschirmaufnahme: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **Raytools XC3000: Kalibrieransicht; Steuerungskennung**

15.6 Ermaksan Fibermak

Bedienpult und Software von Ermaksan Fibermak wurden von Ermaksan entwickelt. Das Pult ist auf einen einfachen Ablauf zur Verringerung von Bedienfehlern ausgelegt. Für HMI (Mensch-Maschine-Schnittstelle), CNC-Anwendung und Tastenbelegung gilt das Ermaksan-Handbuch der installierten Maschine.

Wo anzutreffen? An Ermaksan Fibermak-Maschinen. Pultgeneration, Softwareversion und Optionen sind maschinenabhängig. Erwarten Sie keine identischen Ansichten anderer Maschinen.

Ablauf am ersten Tag

Ziel: Prüfen Sie den Fibermak-Auftrag über das eigene Bedienpult und die CNC-Anwendung.

Benötigt: Maschinenspezifisches Ermaksan-Handbuch, Bedienerschulung, freigegebene Datei und Prozessdatensatz.

1. Befolgen Sie die Herstellereinschaltfolge und öffnen Sie die Bedienoberfläche. Prüfen Sie HMI/CNC-Status, Sicherheitseinrichtungen und Nebenanlagen.
2. Räumen Sie den Bereich frei. Führen Sie die Referenzfahrt nach Maschinenhandbuch und danach die vorgeschriebene Höhenkalibrierung aus.
3. Öffnen Sie die Auftragsdatei auf dem zulässigen Weg. Prüfen Sie Einheit, Blech, Stückzahl, Koordinaten und Konturen.
4. Ordnen Sie Layer oder entsprechende Prozessgruppen dem passenden Material-/Dickendatensatz zu. Feldnamen können je nach installierter Version abweichen.
5. Führen Sie verfügbare Simulation und Grenz-/Rahmenprüfung nach Maschinenhandbuch durch. Prüfen Sie Anschnitte und aufstellgefährdete Teile.
6. Schneiden Sie bei geschlossenen Sicherheitseinrichtungen ein Muster. Geben Sie das Ergebnis frei, starten Sie die Produktion und prüfen Sie die ersten Teile.

> **Achtung**
> Ordnen Sie physischen Pulttasten keine Funktion einer anderen Software zu. Prüfen Sie Start-, Pause-, Stopp- und Fortsetzungsverhalten im Ermaksan-Handbuch.

Warum? Ein einfaches Bedienpult ersetzt keine Prozess- und Referenzprüfungen.

Auftragsübergabe

Nennen Sie beim Schichtwechsel offenen Auftrag, letzten Teilestatus, Prozessdatensatz und Pausengrund. Dokumentieren Sie den Pultalarm vollständig. Prüfen Sie bei externen CAM-Dateien passende Maschinenausgabe und Prozesszuordnung.

Bildschirmaufnahme: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **Ermaksan Fibermak: Hauptansicht; Auftrags- und Maschinenstatus**

Bildschirmaufnahme: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **Ermaksan Fibermak: Layer-/Parameteransicht; Material und Einheiten**

Bildschirmaufnahme: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **Ermaksan Fibermak: Kalibrieransicht; Steuerungskennung**

15.7 Durma HD-FL — Siemens

Durma HD-FL arbeitet mit einer 64-Bit-CNC Siemens Sinumerik 840D sl mit integriertem PC. Externe CAM-/Verschachtelungssoftware wie Hypertherm ProNest unterstützt Durma-Maschinen. Prüfen Sie zusätzlich Maschinenmodell, CNC-Konfiguration und Ausgabedefinition.

Wo anzutreffen? Diese Beschreibung betrifft die Durma HD-FL-Konfiguration. Ansichten und Zyklen anderer Durma-Modelle oder Siemens-CNC-Maschinen anderer Hersteller sind nicht gleichzusetzen.

Ablauf am ersten Tag

Ziel: Bereiten Sie die CAM-Ausgabe passend zum Durma-/Siemens-Maschinenzyklus vor.

Benötigt: Durma-Handbuch, CNC-Daten, geeigneter Postprozessor (maschinenspezifischer Ausgabeumwandler), freigegebenes Programm und Prozessdatensatz.

1. Schalten Sie nach Herstellerfolge ein und prüfen Sie CNC- und Oberflächenbereitschaft sowie Alarm- und Sicherheitsbedingungen.
2. Führen Sie die Herstellerreferenzfahrt aus. Schließen Sie die Höhenkalibrierung nach Maschinenverfahren ab.
3. Übertragen Sie die CAM-Ausgabe auf zulässigem Weg und wählen Sie das richtige Programm. Vergleichen Sie Dateiformat und Programmname mit dem Auftrag.
4. Prüfen Sie Material-/Dicken- und Prozesszuordnung im Programm. Layer können maschinenabhängig Technologiedatensätzen oder Prozessgruppen entsprechen. Setzen Sie keine Bezeichnungen voraus.
5. Prüfen Sie den Werkzeugpfad in Simulation/Vorschau. Führen Sie unterstützte Grenz-/Rahmenprüfungen und Trockenlauf nach Herstelleranweisung aus.
6. Schneiden Sie bei bereiter Gasversorgung, Kühlung, Absaugung und Sicherheit ein Muster. Starten Sie bei passenden Maßen und Qualität den Auftrag. Dokumentieren Sie Programm- und Prozessversion.

> **Achtung**
> Starten Sie Programme anderer Durma-Maschinen nicht allein wegen desselben CNC-Namens direkt. Unterstützte Codes, Zyklen und sichere Bewegungen hängen von Postprozessor und Maschine ab.

Warum? CAM-Unterstützung bedeutet nicht, dass jedes Programm ohne Anpassung auf jeder Maschine läuft.

Programm und Prozessdatensatz gemeinsam aufbewahren

Speichern Sie Auftragsnummer, CAM-Version, Maschinenausgabedefinition und Prozessdatensatz gemeinsam. Prüfen Sie bei CAM-Kompensation zusätzlich die CNC-Seite. Befolgen Sie bei nötigen manuellen Programmänderungen betriebliche Berechtigungs- und Dokumentationsverfahren.

Bildschirmaufnahme: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **Durma HD-FL / Siemens: Hauptansicht; Auftrags- und Maschinenstatus**

Bildschirmaufnahme: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **Durma HD-FL / Siemens: Layer-/Parameteransicht; Material und Einheiten**

Bildschirmaufnahme: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **Durma HD-FL / Siemens: Kalibrieransicht; Steuerungskennung**

15.8 Weitere Software und Dateifluss vom CAM zur Maschine

CutMaker — Prüfung ausstehend

Dieser Abschnitt wird mit Bildschirmaufnahmen einer DOKTEK-Maschine ergänzt.

In dieser Version sind Maschinenzuordnung, Menüs, Funktionen und Erstablauf von CutMaker nicht geprüft. Wenden Sie ohne erfassten vollständigen Softwarenamen und Version keine spezielle Schrittfolge an. Die Prüfung wird dokumentieren, welche Schritte für Einschalten, Referenzfahrt, Kalibrierung, Dateiöffnung, Layerparameter, Simulation/Rahmenprüfung und Schnittstart in der Software und welche am Maschinenpult erfolgen.

Bildschirmaufnahme: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **CutMaker — Funktion und Ort noch zu prüfen: Hauptansicht; Auftrags- und Maschinenstatus**

Bildschirmaufnahme: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **CutMaker — Funktion und Ort noch zu prüfen: Layer-/Parameteransicht; Material und Einheiten**

Bildschirmaufnahme: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **CutMaker — Funktion und Ort noch zu prüfen: Kalibrieransicht; Steuerungskennung**

Lantek, SigmaNEST, ProNest und ähnliche CAM-Software

Die Übertragung eines im CAM (rechnergestützte Fertigung) vorbereiteten Auftrags hängt von Version, Lizenz, Maschinenunterstützung und geeignetem Postprozessor ab. Die Namen Lantek, SigmaNEST oder ProNest allein belegen keine Kompatibilität. Bei passender CAM-Ausgabe können Zeichnung und Verschachtelung an einem separaten Computer vorbereitet und Bewegung sowie Schnitt am Maschinenpult gesteuert werden.

Ziel: Prüfen Sie Geometrie und Prozessdaten ohne Informationsverlust an der Zielmaschine.

Benötigt: Geprüfte CAM-Ausgabedefinition der Zielmaschine, Auftragsnummer, Material-/Blechdaten, Übertragungsverfahren und Maschinenhandbuch.

1. Öffnen Sie die CAM-Anwendung und prüfen Sie Zielmaschine und Ausgabedefinition. Führen Sie diese Prüfung bei Lantek, SigmaNEST oder ProNest für das installierte Paket aus.
2. Importieren Sie die Zeichnung. Prüfen Sie Einheit, Maße, geschlossene Konturen, Stückzahl, Blechgröße und Material. Bereiten Sie Verschachtelung und Schnittfolge vor.
3. Prüfen Sie Anschnitt, Mikrostege und Schnittspaltkompensation. Legen Sie fest, auf welcher Seite die Kompensation erfolgt. Wenden Sie sie nicht erneut auf CAM- und CNC-Seite an.
4. Prüfen Sie die Simulation und erstellen Sie die richtige Maschinenausgabe. Dokumentieren Sie Dateiname, Revision und Material/Dicke. Übertragen Sie auf zulässigem Weg.
5. **An der Maschine:** Steuerungssoftware öffnen → Referenzfahrt nach Herstellerfolge → kapazitiv kalibrieren → Datei öffnen → Layer-/Prozesszuordnung prüfen → Simulation/Rahmenprüfung → nach freigegebenem Probeschnitt schneiden.
6. Dokumentieren Sie am Auftragsende die tatsächlich verwendete Prozessversion. Setzen Sie nicht voraus, dass Maschinenänderungen automatisch in die CAM-Datei übernommen werden.

> **Achtung**
> Ignorieren Sie keine unbekannten Dateien oder Warnungen vor ununterstützten Befehlen. Versuchen Sie nicht, eine Ausgabe für eine andere Maschine durch Ändern der Dateiendung kompatibel zu machen.

Warum? Auch bei richtig erscheinender Geometrie können Prozesscodes, Kompensation und Koordinateninterpretation abweichen.

Bildschirmaufnahme: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **Installiertes Lantek-/SigmaNEST-/ProNest-Paket: Hauptansicht; Softwarename, Zielmaschine und Verschachtelung**

Bildschirmaufnahme: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **Installiertes Lantek-/SigmaNEST-/ProNest-Paket: Prozess-/Ausgabeansicht; Layerzuordnung an der Maschine**

Bildschirmaufnahme: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **Installiertes Lantek-/SigmaNEST-/ProNest-Paket: Kalibrieransicht der Zielmaschine; nicht als CAM-Funktion darstellen**

> **Prüfung bei Dateiauftragsübergabe**
> Übergeben Sie gemeinsam Auftragsname/Revision, Zielmaschine, Blechwerkstoff und -dicke, Stückzahl, Ausgabedefinition und Prozessversion. Klären Sie fehlende Angaben mit der verantwortlichen Auftragsvorbereitung, statt sie zu schätzen.

16

Wartung

Planen Sie Wartung vor dem Ausfall. Ersetzen Sie verschmutzte oder beschädigte Teile und beseitigen Sie auch die Verschmutzungsursache. Intervalle und Verfahren hängen von Modell, Auslastung und Herstelleranleitung ab.

Sicherer Zustand vor Wartungsarbeiten

Stoppen Sie das Schneiden, deaktivieren Sie die Laserstrahlerzeugung und fahren Sie den Kopf sicher. Trennen, verriegeln und kennzeichnen Sie die für den Eingriff erforderlichen elektrischen, Bewegungs- und Druckenergien nach Herstellerverfahren. Prüfen Sie, dass weder Bewegung noch Strahl unerwartet entstehen können. Lassen Sie heiße Teile abkühlen. Umgehen Sie den Türschutz nicht als Wartungsmethode.

16.1 Wartungsplan und Zuständigkeiten

Die Zeiten sind ungefähre aktive Arbeitszeiten zur Planung. Abkühlen, Energietrennung, Trocknen, Zugang und Servicewartezeit sind nicht enthalten. Kürzere Herstellerintervalle haben Vorrang. Prüfen Sie bei viel Staub sowie verzinktem Stahl und Aluminium häufiger. Bediener dürfen nur Arbeiten innerhalb ihrer Schulung und betrieblichen Befugnis ausführen.

Intervall	Arbeit	Ungefähre Dauer	Zuständig
Täglich / Schichtbeginn	Düse, Keramikring und zum Zugriff freigegebenes Schutzglas prüfen; bei Wechsel entsprechendes Verfahren anwenden.	10–15 min	Geschulter Bediener
Täglich / Schichtbeginn	Kühlaggregat: Füllstand, Durchfluss, Alarme, äußere Lecks, Kondensation; Gas- und Absaugbereitschaft.	5–10 min	Bediener
Täglich / Schichtende	Tisch und zugängliche Schlacke reinigen; Kompressorkondensatablass prüfen.	10–20 min	Geschulter Bediener
Wöchentlich	Gas-/Luftfilter, Trockner, Ablass und äußere Dichtheit prüfen.	15–30 min	Wartungspersonal
Wöchentlich	Sichtbare Schmutzstellen an Führung/Zahnstange, Schmiersystem und Absaugeinlässe prüfen.	20–40 min	Wartungspersonal
Monatlich	Kühlaggregatfilter und Luftwege, Absaugfilter und -kanäle, Lüfterfilter prüfen.	30–60 min	Wartungspersonal; Schrankarbeiten durch Elektrofachkraft
Monatlich	Zustand von Palette, Auflagelamellen, Riemen/Zahnstange und Verbindungen prüfen.	30–60 min	Wartungspersonal
Alle 3 Monate	Wasserwechselbedarf, Schläuche, Filter und Umgebungsprotokolle mit Herstellerplan abgleichen.	45–90 min	Wartungspersonal / Service
Alle 3 Monate	Mechanischen Verschleiß und Schmierplan sowie wiederkehrende Kalibrier- und Maßfehler bewerten.	45–90 min	Wartungspersonal / Service
Jährlich	Allgemeiner Service nach Herstellervorgaben; Sicherheit, Elektrik, Mechanik und Optik bewerten; Leistungsmessplan prüfen.	Nach Serviceplan, meist in der Größenordnung einer Schicht	Autorisierter Service und betriebliche Wartungsverantwortung

Planen Sie Wasserwechsel nach Herstellerempfehlung, meist alle paar Monate. Die Zeile für 3 Monate ist kein festes Wechselintervall für jede Maschine. Bestimmen Sie auch Filterwechsel und Schmierhäufigkeit nach Herstellerunterlagen.

Dokumentieren Sie Datum, Betriebsstunden, Beobachtung, verwendete Teile/Verbrauchsmittel und ausführende Person. Unterscheiden Sie „geprüft“ und „ersetzt“. Verwenden Sie täglich das Formular in Anhang B.

16.2 Düse wechseln

Ziel: Ersetzen Sie beschädigte oder verstopfte Düsen durch den richtigen Typ.

Benötigt: Kopfgeeignete Düse, saubere Handschuhe, passendes Handwerkzeug, sauberes Tuch und Herstellerverfahren zur Zentrierung. Wählen Sie Einschichtdüse (S) oder Doppelschichtdüse (D) nach freigegebenem Prozess.

1. Stellen Sie den sicheren Wartungszustand her. Notieren Sie eingebauten Düsentyp und Auftrag. Lassen Sie heiße Düsen abkühlen.
2. Entfernen Sie losen Schmutz um die Düse, ohne ihn in den Kopf zu bringen. Demontieren Sie nach Modellverfahren. Belasten Sie den Keramikring nicht gewaltsam.
3. Prüfen Sie Spitze, Öffnung und Gewinde. Entscheiden Sie bei Eindrückungen, Ovalität oder Schlackenanhaftung nach freigegebenen Reinigungs-/Wechselkriterien. Reparieren Sie nicht durch Aufweiten der Öffnung.
4. Prüfen Sie richtige Ersatzdüse, Reinheit und Gewinde. Montieren Sie nach Herstellerverfahren. Verkanten Sie das Gewinde nicht und verwenden Sie keine beliebige Anzugskraft.
5. Entfernen Sie Werkzeug und Verbrauchsmittel aus dem Bereich. Stellen Sie den sicheren Betriebszustand her und führen Sie im Rahmen der Abschlussprüfungen aus Abschnitt 16.5 kapazitive Kalibrierung und Düsenstrahlzentrierung in Herstellerreihenfolge aus.
6. Prüfen Sie per Rahmenfahrt und kontrolliertem Probeschnitt. Dokumentieren Sie Wechselgrund, Düsentyp und Datum.

> **Achtung**
> Geben Sie keine improvisierten Zentrierimpulse mit offenem Strahl ab. Erfordert das geschlossene, geschützte Testverfahren eine Schulung, lassen Sie es durch geschultes Personal ausführen.

Warum? Düsenöffnung und Zentrierung bestimmen die gemeinsame Ausrichtung von Gas und Strahl. Eine falsch montierte Düse kann auch die Höhenverfolgung stören.

Foto: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **alte/neue Düse, Spitzenschaden und korrekte Düsenkennzeichnung; Strahl aus**

16.3 Keramikring wechseln

Ziel: Ersetzen Sie gerissene oder beschädigte Keramikringe durch passende Teile und prüfen Sie die Höhenerfassung.

Benötigt: Passender Keramikring, saubere Handschuhe, geeignetes Herstellerwerkzeug und Montageanleitung.

1. Trennen Sie Strahl, Bewegung und erforderliche Energiequellen. Fahren Sie den Kopf sicher und demontieren Sie die Düse nach Abschnitt 16.2.
2. Prüfen Sie den Ring auf Risse, Bruch, Brandstellen und schmutzige Kontaktflächen. Melden Sie äußere Kabel- oder Anschlussschäden dem Service.
3. Entfernen Sie den Ring nach Herstellerverfahren. Reinigen Sie Aufnahme und Kontaktfläche zulässig, ohne Schmutz ins Innere fallen zu lassen.
4. Setzen Sie das richtige Teil in korrekter Orientierung ein. Befestigen Sie Halter und Anschlüsse nach Anleitung. Verdrehen Sie die Keramik nicht gewaltsam.
5. Montieren Sie die passende Düse. Entfernen Sie Werkzeuge. Führen Sie im sicheren Zustand kapazitive Kalibrierung und Zentrierung aus.
6. Prüfen Sie die Position mit geringem Risiko und führen Sie einen Probeschnitt durch. Folgen Sie bei verbleibender Sensorwarnung Abschnitt 17.3. Erzwingen Sie keinen Betrieb.

> **Achtung**
> Verwenden Sie keine geklebten oder leitend überbrückten gerissenen Ringe. Anzugsmethode und -kraft hängen vom Modell ab.

Warum? Der Keramikring sichert Isolation und Lage der Düsengruppe. Risse und lose Verbindungen können die kapazitive Messung destabilisieren.

Foto: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **Keramikriss, saubere Aufnahme und korrekte Einbaurichtung**

16.4 Schutzglas prüfen, reinigen und wechseln

Ziel: Erkennen Sie Schutzglasverschmutzung oder -schäden und handeln Sie ohne Verunreinigung des Strahlwegs.

Benötigt: Saubere Handschuhe, staubfreie Umgebung, saubere Arbeitsunterlage, passendes neues Schutzglas und Dichtung, Linsenpapier und Isopropylalkohol in freigegebener Reinheit. Prüfen Sie Beschichtungs- und Reinigungsverträglichkeit im Kopfhandbuch.

1. Stellen Sie einen sicheren Maschinenzustand her. Bestimmen Sie Kopfmodell und zum Öffnen freigegebene Glasaufnahme. **BM111 besitzt drei Schutzgläser: oben, Mitte und unten.** Setzen Sie bei BM06K oder anderen Modellen nicht denselben Aufbau voraus.
2. Reinigen Sie die Aufnahmeumgebung. Tragen Sie saubere Handschuhe und legen Sie das Glas nur auf die vorbereitete saubere Fläche. Halten Sie die Öffnungszeit möglichst kurz.
3. Entfernen Sie Kassette bzw. Aufnahme nach Herstellerverfahren. Dokumentieren Sie vor der Demontage Glasrichtung, Halter- und Dichtungsanordnung. Berühren Sie optische Flächen nicht mit den Fingern.
4. Prüfen Sie das Glas schräg im Umgebungslicht. Blicken Sie nicht in den Strahlweg. Suchen Sie Punkte, Flecken, Risse, Kratzer, Brand- und Beschichtungsschäden. Verwenden Sie verbrannte, gerissene oder dauerhaft beschädigte Gläser nicht erneut.
5. Verwenden Sie nur bei reinigbaren Verschmutzungen freigegebenes Linsenpapier und Isopropylalkohol. Befeuchten Sie passend und wischen Sie leicht ohne Druck in einer Richtung. Nehmen Sie je Durchgang frisches Papier. Reiben Sie nicht trocken und wischen Sie nicht erneut mit verschmutzten Flächen.
6. Prüfen Sie im Licht vollständige Trocknung und Rückstandsfreiheit. Ersetzen Sie bei bleibenden Flecken das Glas, statt die Beschichtung durch wiederholtes Reiben zu belasten.
7. Setzen Sie das richtige Glas korrekt orientiert mit sauberer passender Dichtung ein. Erraten Sie keine unklare Einbaurichtung. Klemmen Sie die Dichtung nicht ein. Schließen Sie die Kassette nach Herstellerverfahren.
8. Prüfen Sie im sicheren Betriebszustand kapazitive Kalibrierung und Zentrierung nach Herstellerfolge. Schneiden Sie ein Muster. Untersuchen Sie bei weiter schneller Verschmutzung die Ursachen in Abschnitt 17.4.
9. Dokumentieren Sie Glasposition, Teileangaben, Maßnahme und Beobachtung. Legen Sie gebrauchte Gläser nicht in die Verpackung neuer Gläser.

> **Achtung**
> Isopropylalkohol ist brennbar. Halten Sie ihn von heißen Flächen und Zündquellen fern und sorgen Sie für Belüftung. Gießen Sie kein Lösemittel in den Kopf. Verwenden Sie keine Papiertücher, gewöhnlichen Lappen, ölige Luft oder Schaber. Öffnen Sie keine dem Service vorbehaltene Glasaufnahme.

Warum? Schmutz auf optischen Flächen absorbiert Strahlung und kann sich erhitzen. Falsche Richtung, schmutzige Dichtung oder offene Aufnahme können auch ein neues Glas schnell beschädigen.

Foto: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **Glasprüfung im Umgebungslicht, Linsenpapierreinigung, richtige Richtung und Dichtung; Modell und Glasposition angegeben**

> **Wiederholten Glasverlust dokumentieren**
> Notieren Sie Material und Einstechvorgang vor der Verschmutzung. Prüfen Sie nach verzinktem Stahl und Aluminium häufiger. Verdecken Sie schmutziges Gas oder übermäßige Spritzer nicht durch bloßen Glaswechsel.

16.5 Fokus-/Kollimationslinsen und Prüfung nach Wartung

Ziel: Überlassen Sie innere Optikarbeiten befugten Personen und prüfen Sie den Betrieb nach äußerer Wartung.

Benötigt: Kopfmodelldokumentation, geschultes Personal bzw. Service, kontrollierte saubere Arbeitsbedingungen und freigegebene Kalibrier- und Zentrierverfahren.

1. Stoppen Sie bei vermutetem innerem Linsenschaden. Dokumentieren Sie äußere Schutzglasprüfungen und den Auftrag bei Fehlerbeginn. Bereiten Sie die Serviceangaben aus Anhang E vor.
2. Nur dafür geschulte Personen oder der Service dürfen Fokus- oder Kollimationslinsen zugänglich machen. Öffnen Sie innere Optikaufnahmen nicht zur Bedienerreinigung.
3. Der Service muss Linsen, Dichtungen und Anschlüsse nach modellspezifischer Anleitung bearbeiten. Dieses Kapitel gibt keine Demontage-, Ausrichtungs- oder Einstellwerte innerer Linsen vor.
4. Prüfen Sie nach Düsen-, Keramik- oder Glasarbeiten geschlossene Aufnahmen und korrekte Teile. Entfernen Sie Werkzeug, Lösemittel und Verpackungen.
5. Stellen Sie einen sicheren Betriebszustand her. Führen Sie kapazitive Kalibrierung und Zentrierung **in der vom Hersteller vorgeschriebenen Reihenfolge** aus. Diese kann methodenabhängig variieren. Lassen Sie keine Prüfung aus.
6. Verwenden Sie vorgeschriebene geschlossene Testvorrichtungen. Öffnen Sie keine Schutzeinrichtungen für Zentrierband- oder Impulstests.
7. Führen Sie bei Bedarf den Fokustest aus Abschnitt 11 durch. Prüfen Sie Rahmenfahrt, Höhenverfolgung sowie vollständiges Durchtrennen, Maße und Kante im Probeschnitt.
8. Dokumentieren Sie das Ergebnis. Kontaktieren Sie bei instabiler Kalibrierung oder nicht wiederholbarem Fokus vor Produktionsstart den Service.

> **Achtung**
> Blicken Sie weder direkt noch über Reflexionen in Laserstrahlung. Gleichen Sie innere Optikeinstellungen nicht durch Schneidparameter aus. Holen Sie nach Servicearbeiten Dokumentation und Wiederanlauffreigabe ein.

Warum? Die innere Optiklage beeinflusst die Fokussierung. Auch nach äußerem Teilewechsel ist ohne Höhen- und Zentrierprüfung kein stabiler Schnitt zu erwarten.

Foto: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **Modell des geschlossenen Schneidkopfs, sichere Testvorrichtung und Kalibrierergebnis; innere Optik vom Service dokumentiert**

16.6 Kühlaggregat warten

Ziel: Erhalten Sie geeignete Kühlbedingungen für Quelle und Kopf.

Benötigt: Kühlaggregat- und Quellenunterlagen, vorgeschriebene Wasserqualität, sauberer Füllbehälter, passender Filter und Wartungsformular.

1. Erfassen Sie angezeigte Temperatur, Durchfluss und Alarme. Unterscheiden Sie Quellen- und Kopfkreis anhand der Modelldokumentation. Setzen Sie keine gleichen Einstellungen voraus.
2. Führen Sie nötigen Stopp und Energietrennung aus. Prüfen Sie den Wasserstand im vorgeschriebenen Zustand an der Anzeige. Untersuchen Sie bei Nachfüllbedarf auch mögliche Lecks.
3. Verwenden Sie Rein- bzw. deionisiertes Wasser nach Herstellervorgabe. Leitfähigkeit und Zusätze sind modellabhängig. Fügen Sie kein Leitungswasser oder beliebigen Frostschutz bzw. Biozid hinzu. Mischen Sie Flüssigkeiten nicht ohne Freigabe.
4. Prüfen Sie Schläuche, Anschlüsse und Filter. Reinigen oder wechseln Sie Filter nach Herstellerverfahren ohne Kreisverschmutzung. Beachten Sie vor dem Öffnen Druck- und Entleerungsanweisungen.
5. Planen Sie Wasserwechsel **nach Herstellerempfehlung, meist alle paar Monate**. Befolgen Sie Entleeren, Kreisreinigung, Befüllen und Entlüften nach Modelldokumentation.
6. Vergleichen Sie den Temperatursollwert mit Quellen- und Kopfanleitung. Beachten Sie Feuchtigkeit und Taupunkt. Beginnen Sie bei Kondensation keinen Schnitt. Verwenden Sie keinen festen Wert für alle Maschinen.
7. Schalten Sie die Energie sicher wieder zu. Prüfen Sie Füllstand, Dichtheit und Durchfluss im vorgesehenen Kontrollbetrieb. Starten Sie den Laser erst bei alarmfreier stabiler Kühlung.
8. Dokumentieren Sie Wasser-/Filterdatum, Flüssigkeit, Einstellungen, Umgebung und Beobachtungen.

> **Achtung**
> Überbrücken Sie keinen Durchflussalarm. Setzen Sie bei ständig sinkendem Füllstand nicht nur durch Nachfüllen den Betrieb fort. Öffnen Sie keine heißen oder druckbeaufschlagten Kreise.

Warum? Wasserqualität, Durchfluss und Umgebung bestimmen gemeinsam die Kühlung. Ungeeignetes Wasser oder Kondensation können Quelle und Kopf beschädigen.

Foto: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **Füllstandsanzeige, Kreisbeschriftungen, Filter und Kondensationsprüfstellen**

16.7 Gas- und Druckluftleitungen warten

Ziel: Sorgen Sie für sauberes Schneidgas mit geeignetem Druck.

Benötigt: Gasunterlagen, kompatibles Lecksuchmittel, geeigneter Filtereinsatz, Trockner-/Kompressoranleitung und erforderliche PSA.

1. Prüfen Sie Gasart und Leitungszuordnung zur Maschine. Prüfen Sie Flasche/Tank und Druckminderer äußerlich. Dokumentieren Sie Alarme und Druckanzeigen.
2. Isolieren Sie die Leitung vor Filter- oder Anschlussarbeiten. Entlasten Sie sicher nach Herstellerverfahren. Lösen Sie keine druckbeaufschlagten Anschlüsse.
3. Prüfen Sie Filtergehäuse und -einsatz auf Wasser, Öl und Schmutz. Wechseln Sie nach Herstellerverfahren und verwenden Sie keine unpassenden Filter. Führen Sie bei Öl erst nach Ursachenbeseitigung Gas zur Optik.
4. Prüfen Sie Trocknerbereitschaft, Alarme und vorgeschriebene Trocknungsanzeige. Prüfen Sie den Kompressorkondensatablass. Führen Sie nötigen manuellen Ablass nach Modellverfahren aus.
5. Prüfen Sie Schläuche auf Quetschungen, Risse und Scheuerstellen. Prüfen Sie Anschlüsse nach sicherem Druckaufbau mit geeignetem Lecksuchmittel. Verwenden Sie keine Flamme.
6. Prüfen Sie unter Schneidgasfluss die Druckstabilität an der zulässigen Anzeige. Geben Sie die Leitung nicht allein anhand statischen Druckmindererdrucks frei.
7. Dokumentieren Sie Gasart, Filter-/Trocknerarbeiten, Ablassstatus und Dichtheit. Folgen Sie bei bleibendem Problem Abschnitt 17.9.

> **Achtung**
> Fetten oder ölen Sie keine sauerstoffberührten Teile. Ziehen Sie undichte Anschlüsse nicht unter Druck nach. Überlassen Sie Druckminderer- und Sicherheitsbauteilreparaturen befugten Personen.

Warum? Verschmutztes oder öliges Gas beeinflusst Glaslebensdauer und Schnittqualität. Leitungsengstellen können den Druck unter Durchfluss senken.

Foto: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **Wasser-/Ölprüfung im Filter, Trockneranzeige, Kompressorablass und Gaskennzeichnung**

16.8 Mechanik warten: Führungen, Zahnstangen, Riemen und Tisch

Lassen Sie die Abnahme von Achspositioniergenauigkeit und Wiederholpräzision nach ISO 230-2:2014 (+Amd 1:2016) im Servicebericht dokumentieren; verwenden Sie die zurückgezogene VDI/DGQ 3441 nicht als Abnahmestandard. Die Maße eines geschnittenen Teils allein sind keine Achspositionierprüfung.

Ziel: Halten Sie das Bewegungssystem sauber und die Blechauflage intakt.

Benötigt: Maschinenschmierplan, geeignete Reinigungswerkzeuge, vorgeschriebenes Öl/Fett, Schlackenwerkzeuge sowie Schnitt- und Hitzeschutz.

1. Fahren Sie Achsen und Palette in die Wartungsposition. Trennen Sie Strom und unerwartete Bewegungsenergie sicher. Lassen Sie heiße Schlacke abkühlen.
2. Suchen Sie sichtbaren Schmutz, Verschleiß und Schäden an Führung und Zahnstange. Entfernen Sie Späne und Staub ohne Oberflächenschäden oder Eintrag in Führungswagen und Abstreifer.
3. Schmieren Sie die vorgesehenen Stellen mit dem richtigen Produkt. Prüfen Sie Zentralschmierbehälter, Leitungen und Warnungen. Mischen Sie Schmierstoffe nicht und tragen Sie nicht beliebig viel auf.
4. Prüfen Sie vorhandene Riemen äußerlich auf Risse, Verschleiß und Lockerungsanzeichen. Geschultes Wartungspersonal muss die Spannung nach Herstellerverfahren prüfen. Stellen Sie nicht nach Handgefühl ein.
5. Prüfen Sie Palette, Tischlamellen und Teileauflagen. Entfernen Sie Schlacke mit geeignetem Werkzeug. Ersetzen Sie verbogene oder verschlissene Lamellen nach Herstellerplan. Prüfen Sie Palettenverriegelungen und Fahrbereich.
6. Entfernen Sie Werkzeuge und Abfälle. Führen Sie bei erfüllter Sicherheit den kontrollierten Bewegungstest aus. Stoppen Sie bei Geräuschen, Klemmen oder Positionsabweichungen.
7. Folgen Sie bei bleibenden Maß-/Formfehlern Abschnitt 17.6. Ändern Sie Servoverstärkung, elektronische Kompensation oder Zahnstangeneinstellungen nicht als Bedienereingriff.

> **Achtung**
> Verhindern Sie unerwartete Bewegungen vor Betreten des Tischbereichs und Annäherung an die Palette. Schlacke kann scharf und heiß sein. Halten Sie Hände und Tücher von bewegten Führungen und Zahnstangen fern.

Warum? Schmutz und unzureichende Schmierung erschweren Bewegungen. Schlechte Tischauflagen können Blech verbiegen und das Aufstellen von Teilen begünstigen.

Foto: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **Führungs-/Zahnstangenreinigung, Schmierstelle, vorhandene Riemenprüfstelle und verschlackte/saubere Tischlamelle**

16.9 Rauchabsaugung und Schaltschrank

Rauchabsaugsystem

Unterscheiden Sie in Wartungs- und Lieferantenunterlagen die Emissionsbewertung nach EN 1093 / ISO 14123 von der Geräteprüfung des Abscheidegrades nach ISO 21904-2:2020; eine einzelne Filterpatrone fällt nicht unter diese Geräteprüfung, und der Verweis allein belegt bei der Wartung keine ausreichende Absaugung vor Ort (Anhang F).

Ziel: Erhalten Sie die ordnungsgemäße Abführung des Schneidrauchs.

Benötigt: Absaugdokumentation, geeigneter Filter, staubgerechtes Sammelgerät und vorgeschriebene Schutzausrüstung.

1. Stoppen Sie das Schneiden. Sichern Sie die Absaugung nach Abschalt-/Reinigungsfolge des Herstellers. Verhindern Sie unerwarteten Lüfteranlauf während der Reinigung.
2. Prüfen Sie Tischabsaugöffnungen und Kanäle auf Verstopfung, Lecks und Ablagerungen. Betreten Sie keine Kanäle. Überlassen Sie unzugängliche Bereiche geschulten Teams.
3. Prüfen Sie Filterzustand nach Herstelleranzeige und Wartungsplan. Reinigen oder wechseln Sie nur zulässig. Nicht jeder Filter ist waschbar.
4. Sammeln Sie Staub in geeigneten Behältern. Prüfen Sie besonders bei Aluminium materialgerechte Sammel- und Reinigungsverfahren. Verwenden Sie keine gewöhnlichen Haushaltssauger oder unkontrollierte Druckluft.
5. Schließen Sie Deckel und Anschlüsse. Prüfen Sie die Absaugung nach Herstellerverfahren. Beginnen Sie bei unzureichender Absaugung nicht mit dem Schneiden. Dokumentieren Sie die Arbeit.

! Rauch oder Brandanzeichen

Starten Sie bei ungewöhnlicher Erwärmung, Funken oder Rauch in Filter/Kanal nicht erneut. Wenden Sie den betrieblichen Brand-/Notfallplan an. Blasen Sie Staub zum Reinigen nicht in die Umgebung.

Warum? Verstopfte Filter und Kanäle können Rauch im Arbeitsbereich lassen. Ungeeignete Reinigung kann Staub erneut aufwirbeln.

Foto: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **Absaugeinlass, Kanalzugang, Filteranzeige und sichere Staubsammelstelle**

Schaltschrank

Ziel: Prüfen Sie Staub- und Kühlzustand des Schranks sicher.

Benötigt: Elektrofachliche Befugnis, Warte-/Trennanweisung des Herstellers, passender Lüfterfilter und elektrotechnisch geeignetes Reinigungsgerät.

1. Beobachten Sie als Bediener äußeren Lufteinlass, äußeren Lüfterfilter und Alarme des geschlossenen Schranks. Melden Sie Arbeiten mit notwendiger Schranköffnung der Elektrofachkraft.
2. Die befugte Person muss Energie trennen, verriegeln und kennzeichnen. Nach der Herstellerwartezeit muss sie Spannungsfreiheit geeignet feststellen.
3. Reinigen oder wechseln Sie Lüfterfilter nach Anleitung. Innenstaub darf nur befugtes Personal geeignet entfernen. Richten Sie weder Luft, Lösemittel noch Feuchtigkeit auf Leiterplatten.
4. Melden Sie Brandspuren, Anzeichen loser Verbindungen, beschädigte Kabel und ausgefallene Lüfter dem Service. Ziehen Sie ohne Befugnis keine Klemmen nach und führen Sie keine elektrischen Messungen aus.
5. Die befugte Person muss den Schrank schließen, sicher zuschalten und Lüfter sowie Kühlung prüfen. Sie muss Befunde und Filterwechsel dokumentieren.

! Hauptschalter allein bestätigt keine Spannungsfreiheit

In manchen Kreisen können Energie oder gespeicherte Spannung verbleiben. Nur befugte Personen dürfen im Schaltschrank arbeiten und Spannung prüfen.

Warum? Verstopfte Lüfterfilter können die Schranktemperatur erhöhen. Unbefugte Reinigung kann Stromschlag oder Geräteschäden verursachen.

Foto: An einer DOKTEK-Maschine noch aufzunehmen — **Lüfterfilter und Wartungsetikett des geschlossenen Schranks; Innenaufnahme nur durch befugte Person**

17

Fehlerbehebung

Beschreiben Sie zuerst das Symptom und prüfen Sie danach der Reihe nach. Ändern Sie je Versuch nur eine Einstellung. Stoppen Sie bei Schäden, Kondensation, Gaslecks oder Sicherheitsstörungen. Starten Sie erst nach Ursachenbeseitigung erneut.

Prüfung und Eingriff unterscheiden

Bildschirminformationen lassen sich bei geschlossener Maschine lesen. Verhindern Sie vor Berühren von Kopf, Optik, Leitung oder Mechanik Strahlerzeugung und unerwartete Bewegung. Trennen Sie die erforderlichen Energien nach Herstellerverfahren. Öffnen Sie keine druckbeaufschlagten Leitungen. Überlassen Sie Elektrik und innere Optik befugten Personen.

Zeitangaben sind ungefähre Erstprüfzeiten ohne Abkühlen, Energietrennung, Verbrauchsteilwechsel und Servicewartezeit. Bei „Service" hängt die Dauer vom Fehler ab. Alarmbedeutung und Rücksetzverfahren sind modell- und versionsabhängig.

17.0 Symptomverzeichnis

Symptom	Zuerst lesen
Blech wird nicht vollständig durchtrennt	17.1 Schneidet nicht
Startloch entsteht nicht	17.2 Kein Einstechen
Kopfkollision / Höhensensorwarnung	17.3 Höhenverfolgung
Schutzglas verschmutzt schnell / verbrennt	17.4 Schutzglas
Teil stellt sich auf / kippt	17.5 Teileauflage
Maßfehler / Formversatz	17.6 Maße und Bewegung
Laserquellenalarm	17.7 Quellenalarme
Kühlaggregat: Durchfluss-, Temperatur- oder Füllstandsalarm	17.8 Kühlaggregatalarme
Gasdruckalarm / Druckabfall beim Schneiden	17.9 Gasdruck

Lesen Sie bei Alarm zuerst den entsprechenden Alarmabschnitt. Versuchen Sie bei nicht bereiter Quelle oder Kühlung nicht, das Problem durch Schneidparameter zu lösen. Für Grat und Kantenfehler nutzen Sie zusätzlich die Tabelle in Abschnitt 13.

17.1 Schneidet nicht / durchtrennt das Material nicht

Ziel: Prüfen Sie optische, gas- und prozessbedingte Ursachen nacheinander, wenn der Strahl das Blech nicht vollständig durchdringt.

Benötigt: Freigegebener Parametersatz, tatsächlicher Werkstoff und Dicke, saubere Verbrauchsteile, Maschinendokumentation und Formular Anhang C.

Eine Variable	Geschwindigkeit	Fokus	Gas	Notieren
Nur eine Einstellung je Versuch	Kontrollierter Versuch im freigegebenen Bereich	Prüfung mit Abschnitt 11	Art, Reinheit und Druck unter Durchfluss	Alten/neuen Wert und Ergebnis

1	**Schutzglas** Schmutzige, fleckige oder verbrannte Gläser können Leistung absorbieren.	Sichern Sie die Maschine. Entnehmen Sie das freigegebene Glas mit sauberen Handschuhen in staubfreier Umgebung und prüfen Sie es im Umgebungslicht. Reinigen Sie Flecken nach Abschnitt 16.4. Tauschen Sie beschädigte oder nicht reinigbare Gläser aus. Prüfen Sie nach verzinktem Stahl und Aluminium häufiger. HÄUFIGER PRÜFPUNKT · 5–10 MIN
2	**Düse** Eingedrückte, verstopfte oder dezentrierte Düsen können den Schnitt stören.	Demontieren Sie die Düse und suchen Sie Spitzenschäden oder anhaftende Schlacke. Ersetzen Sie durch ein passendes Teil und zentrieren Sie mit geschütztem Herstellerverfahren. Der beispielhafte Bandtest erfordert ein freigegebenes geschlossenes Verfahren und Schulung. Führen Sie keinen offenen Strahltest durch. 5–10 MIN
3	**Fokus** Falscher Fokus bündelt Energie im falschen Bereich.	Vergleichen Sie den Fokus mit dem passenden Prozessdatensatz. Führen Sie bei Zweifel den Fokustest aus Abschnitt 11 durch. Melden Sie eine vermutete lockere Linsenaufnahme dem Service. Öffnen Sie innere Optik nicht selbst. 5–15 MIN
4	**Geschwindigkeit** Die Geschwindigkeit kann für Material und Prozess zu hoch sein.	Vergleichen Sie mit dem freigegebenen Datensatz. Testen Sie innerhalb zulässiger Grenzen nur eine niedrigere Geschwindigkeit. Dokumentieren Sie verbessertes Durchtrennen. Überschreiben Sie den Hauptprozessdatensatz erst nach Prüfung. 5–10 MIN
5	**Gas** Druckabfall, leerer Vorrat oder verschmutztes Gas können wirken.	Prüfen Sie Gasart, Flasche/Tank und Druckminderer. Beobachten Sie den Fließdruck an einer sicheren Anzeige. Prüfen Sie Reinheitsanforderungen anhand von Liefer- und Herstellerunterlagen. Druckluft muss trocken und ölfrei sein. Für Filter, Trockner und Lecks folgen Sie Abschnitt 16.7. 5–10 MIN
6	**Düsenhöhe** Der kapazitive Sensor kann falsch oder instabil messen.	Prüfen Sie Wasser, Öl, Folie und Schmutz auf dem Blech. Lassen Sie den elektrischen Blechkontakt im sicheren Zustand prüfen. Kalibrieren Sie kapazitiv nach Herstellerverfahren. Folgen Sie bei bleibender Warnung Abschnitt 17.3. 5–10 MIN
7	**Material** Dicke oder Beschichtung können von der Erwartung abweichen.	Messen Sie im sicheren Zustand die Dicke. Prüfen Sie Materialart, Beschichtung, Folie und Rost. Wählen Sie den freigegebenen Datensatz für gemessenen Werkstoff und Dicke. Parameter der nächsthöheren Dicke sind keine automatische Lösung. 2–5 MIN
8	**Leistung** Prozessleistung kann falsch oder Ausgangsleistung vermindert sein.	Vergleichen Sie Leistungsprozentsatz und vorhandene Puls-/Frequenzfelder mit dem freigegebenen Datensatz. Wurde derselbe Auftrag früher geschnitten und sind äußere Prüfungen unauffällig, lassen Sie nach Abschnitt 14.7 die Leistung durch den Service messen. SERVICE · DAUER VARIIERT
9	**Alarm und Kühlaggregat** Die Quelle kann in einen Schutzzustand gewechselt sein.	Notieren Sie vollständigen Quellenalarmcode und -text. Vergleichen Sie Kühltemperatur, Durchfluss und Füllstand mit Modellvorgaben. Verwenden Sie keinen Temperaturbereich für alle Quellen. Stoppen Sie bei Kondensation an Kopf oder Schläuchen. 2–5 MIN / SERVICE

Achtung

Trennen Sie Strahl und Bewegung sicher, bevor Sie den Kopf berühren. Setzen Sie Probeschnitte bei verbranntem Glas, wiederkehrendem Alarm oder Kondensation nicht fort.

Warum? Die Folge der Beispielseite 12.1 beginnt bei Glas und Düse und führt zu Leistung/Kühlung. Sie hilft, Prozessprobleme von Servicefehlern zu trennen.

Abschlussprüfung: Schneiden Sie nach den Prüfungen ein Muster mit jeweils einer geänderten Größe. Wird weiterhin nicht durchtrennt, bereiten Sie die Angaben aus Anhang E vor und kontaktieren Sie den DOKTEK-Service.

17.2 Kein Einstechen

Ziel: Ermitteln Sie die Ursache fehlenden vollständigen Durchbruchs beim Einstechen (Piercing).

Benötigt: Material-/Dickendaten, freigegebener Einstechprozess, Kopfhandbuch und sauberes Probeblech.

1	**Symptom unterscheiden** Startloch und anschließender Schnitt sind unterschiedliche Phasen.	Prüfen Sie die Einstechstelle im sicheren Zustand oben und unten. Gibt es nur eine Vertiefung oben, ein Loch mit fehlerhaftem Konturübergang oder einen Quellenalarm? Dokumentieren Sie Phase und Bildschirmstatus. 2–5 MIN
2	**Material und Prozess** Falsche Dicke oder falscher Einstechdatensatz möglich.	Prüfen Sie tatsächliche Dicke, Werkstoff, Beschichtung/Folie und aktiven Layer. Wählen Sie den freigegebenen Einstechdatensatz. Ersetzen Sie Einstechwerte nicht durch Schneidwerte. HÄUFIGER PRÜFPUNKT 2–5 MIN
3	**Glas und Düse** Einstechspritzer können Optik und Düsenmündung beeinträchtigen.	Trennen Sie Strahl und Bewegung. Prüfen Sie Glas, Düse und Keramikring nach Abschnitt 16. Bewerten Sie vor neuem Glaseinbau die Verschmutzungsursache. 5–15 MIN
4	**Gas und Höhe** Ungeeignetes Gas oder falscher Abstand können die Lochbildung stören.	Vergleichen Sie Gasart, Fließdruck und Einstechhöhe mit dem freigegebenen Prozess. Prüfen Sie die Kalibrierung. Nähern Sie die Düse nicht beliebig dem Blech, um einen Durchbruch zu erzwingen. 5–10 MIN
5	**Einstechstufen** Dauer, Leistung, Fokus oder Stufenübergänge können abweichen.	Vergleichen Sie vorhandene Stufenfelder nur mit dem freigegebenen Modelldatensatz. Ändern Sie je Versuch nur einen Wert und folgen Sie Abschnitt 12. Erhöhen Sie Dauer oder Leistung nicht unkontrolliert. 5–15 MIN
6	**Versuch und Service** Wiederholtes erfolgloses Einstechen kann die Optik beschädigen.	Testen Sie nicht immer wieder im beschädigten Loch. Wählen Sie eine geeignete neue Stelle. Scheitert Einstechen mit passendem Prozess, dokumentieren Sie Quellen-/Kühlaggregatalarme und informieren Sie den Service. SERVICE · DAUER VARIIERT

> **Achtung**
> Stoppen Sie bei starken Spritzern, ungewöhnlichem Aufleuchten oder Alarm. Entnehmen Sie keine Teile vor Schnittabschluss.

Warum? Einstechen kann andere Energie-, Gas- und Höhenbedingungen verwenden. Eine geänderte Schneidgeschwindigkeit allein löst kein Startlochproblem.

Abschlussprüfung: Bestätigen Sie den vollständigen Durchbruch mit der Herstellerbeobachtungsmethode. Prüfen Sie danach den Übergang an einer kurzen Kontur und dokumentieren Sie das Ergebnis.

17.3 Kopfkollision / Höhensensorwarnung

Ziel: Unterscheiden Sie Kollisionsursache und instabile kapazitive Messung sicher.

Benötigt: Kopf-/Höhenreglerhandbuch, sauberes ebenes Blech, passende Düse und Keramikring sowie Wartungsprotokoll.

1	**Kollision stoppen** Weitere Bewegung kann den Schaden vergrößern.	Betätigen Sie bei Gefahr Not-Halt. Bewegen Sie den Kopf nicht blind auf oder ab. Dokumentieren Sie Ereignisposition und Alarm vor sicherer Energietrennung. Fordern Sie bei Schadensverdacht Service an. SOFORT · 1–2 MIN
2	**Blech und Fahrweg** Aufgestelltes Teil, krummes Blech oder Hindernis möglich.	Prüfen Sie geschnittene Teile, Spannmittel, Schlacke und Tischauflage. Entfernen Sie Hindernisse bei sicherem Kopf und deaktivierter Bewegung. Entfernen Sie Wasser/Öl und trocknen Sie die Oberfläche. Behandeln Sie Folie nach freigegebenem Prozess. 5–10 MIN

3	**Düse und Keramik** Lockere Düse oder gerissene Keramik können die Messung beeinflussen.	Prüfen Sie Düsensitz, Keramikring und zugängliche freigegebene Anschlüsse. Ersetzen Sie beschädigte Teile nach Abschnitt 16.2 und 16.3. Führen Sie keine improvisierten Reparaturen aus. HÄUFIGER PRÜFPUNKT · 5–15 MIN
4	**Erdung und Kontakt** Schlechter Blechkontakt kann die Messung destabilisieren.	Prüfen Sie Schmutz oder Beschichtung am Blech-/Tischkontakt. Lassen Sie Schutzerdung und Sensorverbindung von befugtem Personal elektrisch prüfen. Testen Sie nicht mit abgetrenntem Schutzleiter. 5–10 MIN / BEFUGTE PERSON
5	**Kalibrierung** Werkzeugwechsel oder ungültige Kalibrierung möglich.	Beseitigen Sie Schäden und Oberflächenprobleme. Kalibrieren Sie danach auf geeignetem Blech nach Herstellerverfahren. Akzeptieren Sie keinen Fehlschlag zum Weiterarbeiten. Ändern Sie keine Servo-Ersteinrichtung als Tagesroutine. 5–10 MIN
6	**Geschützter Bewegungstest** Ein quittierter Alarm beweist keine Fehlerbeseitigung.	Führen Sie bei freiem Bereich und erfüllter Sicherheit den strahlfreien Höhen-/Rahmentest des Herstellers aus. Rufen Sie bei weiter instabiler Nachführung den Service für Sensorkabel, Regler oder Mechanik. SERVICE · DAUER VARIIERT

> **Achtung**
> Kehren Sie nach einer Kollision nicht allein durch Kalibrierung zur Produktion zurück. Bewerten Sie Schäden an Kopf, Düse, Keramik und Optik.

Warum? Kapazitive Messung hängt von Werkzeug, Blechoberfläche und elektrischem Kontakt ab. Mechanische Hindernisse können selbst bei richtiger Kalibrierung Kollisionen verursachen.

Abschlussprüfung: Schneiden Sie nach bestätigter stabiler Nachführung und richtiger Rahmenbewegung ein kleines Muster. Stoppen Sie bei erneutem Alarm oder Kontakt.

17.4 Schutzglas verschmutzt schnell / verbrennt

Ziel: Finden Sie Spritzer-, Gas- und Montageursachen, damit nicht auch das neue Glas verschmutzt.

Benötigt: Kopfmodell und Glasposition, Verschmutzungsfoto, Gaswartungsprotokoll und freigegebener Prozess.

1	**Beschädigtes Glas aussondern** Betrieb mit verbrannter Oberfläche kann Schäden vergrößern.	Stoppen Sie das Schneiden. Prüfen Sie das Glas sicher und sauber nach Abschnitt 16.4. Ersetzen Sie bei Brandstellen, Rissen oder Beschichtungsschaden. Dokumentieren Sie das betroffene Glas. 5–15 MIN
2	**Höhe und Düse** Falscher Abstand oder gestörter Gasfluss können Spritzer verstärken.	Vergleichen Sie Einstech-/Schneidhöhe mit dem freigegebenen Datensatz. Prüfen Sie Düsenschäden, Zentrierung und kapazitive Kalibrierung. Höherer Gasdruck ist keine allgemeine Lösung. 5–10 MIN
3	**Gas verschmutzt / ölig** Leitungsverschmutzung kann sauberes Glas erneut verschmutzen.	Suchen Sie Wasser/Öl in der Druckluftleitung, Schmutz im Filter und Trockneralarme. Prüfen Sie dokumentierte Gasreinheitsbedingungen. Beginnen Sie bei Öl nicht mit neuem Glas, bevor das Leitungsproblem gelöst ist. HÄUFIGER PRÜFPUNKT · 5–15 MIN
4	**Einstechspritzer** Fehler kann besonders an Startpunkten auftreten.	Dokumentieren Sie, ob die Verschmutzung nach dem Einstechen beginnt. Vergleichen Sie Einstechstufe, Fokus/Höhe und Gasübergänge mit dem freigegebenen Prozess. Folgen Sie Abschnitt 17.2. 5–15 MIN
5	**Material und Beschichtung** Verzinkter Stahl und Aluminium können häufigere Prüfungen erfordern.	Dokumentieren Sie Werkstoff, Beschichtung und Folie. Prüfen Sie nach diesen Arbeiten das Glas häufiger. Prüfen Sie ausreichende Absaugung und richtige Prozesswahl. 2–5 MIN

6	**Richtung, Dichtung und innere Optik** Schmutzeintrag beim Öffnen oder falsch sitzende Dichtung möglich.	Prüfen Sie Glasrichtung und richtige Dichtung anhand der Modelldokumentation. Verwechseln Sie obere, mittlere und untere BM111-Gläser nicht. Überlassen Sie vermutete innere Optikverschmutzung oder -schäden dem Service. Öffnen Sie Aufnahmen nicht wahllos. SERVICE · DAUER VARIIERT

Achtung

Berühren Sie heiße oder beschädigte Gläser nicht mit bloßen Händen. Schneiden Sie nicht ohne Schutzglas.

Warum? Schneller Ausfall eines neuen Glases kann eher auf Schmutzquelle oder Prozessproblem als auf normale Lebensdauer hinweisen. Verfolgen Sie die Ursache anhand von Protokollen.

Abschlussprüfung: Prüfen Sie neues oder gereinigtes Glas nach kurzem Versuch erneut im sicheren Zustand. Fordern Sie bei bleibender Verschmutzung Service mit Foto und Auftragsdaten an.

17.5 Teil stellt sich auf / kippt

Ziel: Verringern Sie Herabfallen von Auflagen und Hindernisse für folgende Kopfbewegungen.

Benötigt: Verschachtelung und Werkzeugpfad, Tischauflagezustand, Mikrostegplan und Bewegungsdokumentation.

1	**Bereich sichern** Ein aufgestelltes Teil kann bei der nächsten Fahrt den Kopf treffen.	Stoppen Sie den Zyklus. Trennen Sie vor Entnahme Strahl und Bewegung sicher. Ziehen Sie kein Teil unter einem arbeitenden Kopf heraus. Prüfen Sie nach Kollision gemäß Abschnitt 17.3. SOFORT · 1–2 MIN
2	**Tischauflage** Kleine Teile können zwischen Lamellen instabil liegen.	Prüfen Sie Tischlamellen, Schlackenablagerungen und Blechauflage. Prüfen Sie in der Verschachtelung, wie das Teil nach dem letzten Schnitt getragen wird. Beseitigen Sie Auflageprobleme. 5–10 MIN
3	**Mikrosteg** Ein vollständig gelöstes Teil kann kippen.	Planen Sie Lage und Zahl der Mikrostege (Micro joints) nach Teil und freigegebenem Prozess. Prüfen Sie in der Simulation, dass die Stege im Werkzeugpfad erhalten sind. Dokumentieren Sie späteres Trennen und zulässige Spuren. 5–10 MIN
4	**Schneidfolge** Früh gelöste Teile können im Fahrweg liegen bleiben.	Prüfen Sie Innen-/Außenkontur- und Teilefolge. Bewerten Sie den letzten Trennpunkt zusammen mit Auflage und Folgefahrten. Berücksichtigen Sie Wärme nach dem Ansatz aus Abschnitt 6. 5–15 MIN
5	**Leerfahrt und Leapfrog** Niedrige Übergänge können aufgestellte Teile treffen.	Prüfen Sie Leapfrog oder geeignete sichere Übergangsfunktionen im Maschinenhandbuch. Höhe und Verhalten sind versionsabhängig. Diese Funktion ersetzt weder Teileauflage noch Mikrostege. 5–10 MIN

Achtung

Setzen Sie die Produktion nicht über aufgestellten Teilen fort. Geben Sie zur Bewegungssicherheit keine geschätzten Höhen oder Serviceparameter ein.

Warum? Teileauflage, Trennfolge und Leerbewegung müssen gemeinsam geplant werden.

Abschlussprüfung: Prüfen Sie die aktualisierte Simulation. Beobachten Sie im sicheren Versuch Trenn- und Halteverhalten.

17.6 Maßfehler / Formversatz

Ziel: Unterscheiden Sie Datei-, Kompensations- und mechanische Bewegungsfehler.

Benötigt: Zeichnungsmaße, geeignetes Messmittel, abgekühltes Probestück, Auftrags-/CAM-Daten und Wartungshistorie.

1	**Messung prüfen** Temperatur, Grat oder falscher Bezug können Maße beeinflussen.	Lassen Sie das Teil sicher abkühlen. Bewerten Sie Grat und Messbezug. Messen Sie geeignet in mehreren Richtungen. Notieren Sie konstanten Versatz aller Maße oder Abweichung nur einer Achse. 5–10 MIN

2	**Einheit und Geometrie** Maßstabs- oder Zeichnungsproblem möglich.	Vergleichen Sie Zeichnungsmaße, Importeinheit und Maschinenvorschau. Prüfen Sie richtige Revision und Maßstab. Gleichen Sie eine falsche Datei nicht mit Parametern aus. 2–5 MIN
3	**Schnittspaltkompensation** Falsche Seite oder doppelte Kompensation verändert Maße.	Prüfen Sie die Kompensationsrichtung an Innen- und Außenkonturen. Stellen Sie sicher, dass sie nicht im CAM und in der Steuerung doppelt angewendet wird. Bestätigen Sie prozessgerechte Kompensation am Probestück. 5–15 MIN
4	**Referenz und Blech** Positionsverlust oder Blechverschiebung können die Form versetzen.	Prüfen Sie Referenzfahrt (Homing) und Werkstücknullpunkt nach Maschinenverfahren. Prüfen Sie unveränderte Blechlage sowie Auflage und Spannung. Übertragen Sie Wiederaufnahmepunkte nicht blind auf eine neue Referenz. 5–10 MIN
5	**Riemen und Zahnstange** Spiel, Schmutz oder Verschleiß können Bewegungen beeinflussen.	Prüfen Sie nach sicherer Energietrennung äußerliche Schmutz- und Verschleißanzeichen. Überlassen Sie Riemenspannung, Zahnstangenspiel und mechanische Einstellungen geschulter Wartung bzw. Service. Dokumentieren Sie nach Abschnitt 16.8. SERVICE · DAUER VARIIERT
6	**Servo und Wiederholbarkeit** Achs- oder Antriebsproblem möglich.	Dokumentieren Sie Richtung, Position und Wiederholung desselben Fehlers. Übergeben Sie Servo-/Alarmtext dem Service. Ändern Sie als Bediener weder Verstärkung, elektronische Übersetzung, Achsskalierung noch Fehlerkompensation. SERVICE · DAUER VARIIERT

Achtung

Verdecken Sie mechanische oder Servofehler nicht durch Zeichnungsskalierung. Beginnen Sie bei unzulässigen Maßen keine Serie.

Warum? Konstante Maßabweichungen und positionsabhängige Versätze erfordern unterschiedliche Prüfungen.

Abschlussprüfung: Prüfen Sie nach geeigneter Einstellung Innen-/Außenmaße und beide Achsen am Muster. Bestätigen Sie Zeichnungstoleranzen.

17.7 Laserquellenalarme

Ziel: Ordnen Sie den Alarm anhand vollständiger Daten ein und veranlassen Sie sicheren Service.

Benötigt: Quellenmarke, Modell, Seriennummer, vollständiger Alarmcode und -text, Zeit-/Auftragsdaten und Quellenhandbuch.

1	**Vollständige Daten erfassen** Eine kurze Bildschirmmeldung kann unzureichend sein.	Stoppen Sie das Schneiden. Dokumentieren Sie vollständigen Code/Text an Maschinen- und Quellenoberfläche, Uhrzeit und Prozessphase. Erfinden Sie ohne bekannten Code keine Bedeutung. Lesen Sie die Modelldokumentation. 2–5 MIN
2	**Kategorie Temperatur** Kühlung oder Umgebung können wirken.	Prüfen Sie Kühlaggregatalarm, Wasserstand, Durchfluss und äußere Schläuche. Dokumentieren Sie Umgebungstemperatur, Feuchtigkeit und Kondensation. Entnehmen Sie zulässige Bedingungen der Herstellerdokumentation. Öffnen Sie die Quelle nicht. 5–10 MIN
3	**Kategorie Rückreflexion** Kann besonders mit Kupfer, Messing und Aluminium zusammenhängen.	Starten Sie denselben Vorgang nicht wiederholt. Übergeben Sie Material, Einstechphase, Kopf-/Düsen- und Prozessdaten dem Service. Setzen Sie ohne bestätigte Quellen-/Kopfeignung nicht allein durch Leistungs- oder Fokusänderung fort. SERVICE · DAUER VARIIERT
4	**Kategorie Leistung** Prozess oder Quellenausgang können Bewertung erfordern.	Sichern Sie Sollwerte und Auftragsdaten. Prüfen Sie äußere Optik sicher. Überlassen Sie Leistungsmessungen nach Abschnitt 14.7 dem Service. Die genaue Alarmursache hängt von Code und Modelldokumentation ab. SERVICE · DAUER VARIIERT
5	**Kategorie Kommunikation** Kommunikation zwischen Steuerung und Quelle kann unterbrochen sein.	Dokumentieren Sie nicht bereites Gerät und letzte Änderung. Melden Sie äußere Kabelschäden. Öffnen Sie keinen Schaltschrank und ändern Sie keine Kommunikations- oder Buskonfiguration. Schalten Sie nur mit Herstellerfreigabe aus und wieder ein. SERVICE · DAUER VARIIERT

6	**Entscheidung zum Neustart** Rücksetzen beweist keine Ursachenbeseitigung.	Führen Sie nach ermittelter und beseitigter Ursache zulässiges Rücksetzen und Bereitschaftsprüfung aus. Schneiden Sie bei wiederkehrendem oder unbekanntem Alarm nicht weiter. Bereiten Sie Anhang E für die Servicemeldung vor. 5–10 MIN / SERVICE

Achtung

Überbrücken Sie keine Alarm- oder Schutzeingänge. Setzen Sie nicht wiederholt zurück und schalten Sie nicht mehrfach aus und ein, nur um die Anzeige zu löschen.

Warum? Dieselbe allgemeine Alarmkategorie kann je nach Modell unterschiedliche Ursachen und Lösungen haben.

Abschlussprüfung: Führen Sie bei bereiter Quelle und Nebenanlagen nach Hersteller-/Serviceanweisung einen kontrollierten Versuch durch. Stoppen Sie bei Wiederholung.

17.8 Kühlaggregatalarme

Ziel: Bewerten Sie Durchfluss-, Temperatur- und Füllstandswarnungen ohne Quellenschäden.

Benötigt: Kühlaggregatmodellhandbuch, Kühlvorgaben von Quelle/Kopf, Alarmprotokoll und Wasserqualitätsangaben.

1	**Schneiden stoppen** Ohne bestätigte Kühlung darf der Laser nicht arbeiten.	Dokumentieren Sie vollständigen Alarmcode und -text, betroffenen Kreis und Anzeigewerte. Prüfen Sie die Zuordnung zu Durchfluss, Temperatur oder Füllstand anhand des Herstellerdokuments. SOFORT · 1–2 MIN
2	**Durchfluss** Niedriger Füllstand, gequetschter Schlauch oder Filterproblem möglich.	Prüfen Sie äußere Anzeigen des geschlossenen Systems, Schlauchverlauf und Leckanzeichen. Bewerten Sie Pumpe und Filter nach Wartungsverfahren. Überbrücken Sie keinen Durchflussschalter und lösen Sie keinen druckbeaufschlagten Schlauch. 5–10 MIN
3	**Temperatur** Einstellung, Belüftung oder Umgebung können wirken.	Vergleichen Sie mit dem Herstellersollwert. Prüfen Sie Lufteinlass, Filter und Umgebung. Verwechseln Sie Quellen- und Kopfkreis nicht. Stoppen Sie bei Kondensation. Geben Sie keinen allgemeinen festen Temperaturwert ein. 5–10 MIN
4	**Füllstand** Verlust oder Leck möglich.	Lesen Sie den Stand im vorgeschriebenen Betriebs-/Stillstandszustand. Verwenden Sie für freigegebenes Wasser und Leckprüfung Abschnitt 16.6. Beheben Sie wiederkehrenden Verlust nicht allein durch Nachfüllen. 5–15 MIN
5	**Kontrollierte Rückkehr** Ein verschwundener Alarm allein reicht nicht.	Prüfen Sie nach Wartung Entlüftung, Füllstand, Durchfluss und Dichtheit nach Herstellerverfahren. Überlassen Sie bei erneutem Alarm Pumpen-, Sensor- und Kühlkreisbewertung dem Service. SERVICE · DAUER VARIIERT

Achtung

Schneiden Sie nicht bei deaktiviertem Kühlaggregatschutz. Fügen Sie keine ungeeignete Flüssigkeit oder beliebige Zusätze hinzu.

Warum? Auch bei scheinbar ausreichendem Durchfluss und Temperatur können falsche Flüssigkeit oder Kondensation gefährden.

Abschlussprüfung: Kehren Sie bei stabiler Kühlung, beseitigtem Alarm und bereiter Quelle nach Herstellerfolge zum Versuch zurück. Dokumentieren Sie alle Werte.

17.9 Gasdruckalarme

Ziel: Unterscheiden Sie Druckprobleme durch Versorgung, Druckminderer, Leitung und Prozess.

Benötigt: Gasart und Leitungsplan, Druckanzeigen, Herstellergrenzen, freigegebener Prozess und geeignetes Lecksuchverfahren.

1	**Gas und Alarm prüfen** Falsche Gas- oder Layerwahl möglich.	Stoppen Sie den Schnitt und dokumentieren Sie den vollständigen Alarm. Vergleichen Sie die Gaswahl mit Flasche/Tank, Leitungskennzeichnung und aktivem Layer. Prüfen Sie die Bedeutung der Alarmschwellen im Modellhandbuch. 2–5 MIN
2	**Versorgung und Druckminderer** Vorrat leer, Ventil geschlossen oder Druckminderer ungeeignet.	Prüfen Sie Flaschen-/Tankfüllstand und zulässige Anzeigen. Nur geschulte Personen dürfen Ventile in richtiger Folge bedienen. Prüfen Sie den Druckminderer im Herstellerbereich. Fordern Sie bei Vereisung oder Schäden Service an. 5–10 MIN
3	**Fließdruck** Statischer Druck kann normal und unter Verbrauch niedrig sein.	Beobachten Sie bei sicherem Gastestzyklus ohne Strahl und mit erfüllter Sicherheit die zulässige Druckanzeige. Lassen Sie bei Abfall unter Schneidgasfluss Versorgungskapazität, Filter und Leitungsengstellen vom Wartungspersonal bewerten. 5–10 MIN
4	**Filter, Schlauch und Lecks** Verstopfung, Quetschung oder Leck möglich.	Prüfen Sie Schläuche und Filter äußerlich. Isolieren und entlasten Sie die Leitung vor Eingriffen. Verwenden Sie geeignetes Lecksuchmittel und keine Flamme. Abschnitt 16.7 beschreibt die Reihenfolge. 5–15 MIN
5	**Sensor und Ventil** Alarm kann trotz scheinbar passendem Druck bestehen bleiben.	Dokumentieren Sie Anzeigeunterschiede, Alarmzeit und aktives Gas. Überlassen Sie Sensorkalibrierung sowie Druckschalter-, Ventil- und Kabelprüfung autorisierter Wartung bzw. Service. Arbeiten Sie nicht mit abgesenkter Alarmgrenze weiter. SERVICE · DAUER VARIIERT

Achtung

Schließen Sie bei Gasleck die Versorgung nur, wenn dies sicher möglich ist, und befolgen Sie den betrieblichen Notfallplan. Schmieren Sie Sauerstoffleitungen nicht. Erhöhen Sie Hochdruck nicht wahllos als Lösungsversuch.

Warum? Das Leitungsverhalten unter Durchfluss kann vom angezeigten Ruhedruck abweichen.

Abschlussprüfung: Schneiden Sie bei dichter Anlage, richtigem Gas und passendem Fließdruck ein kontrolliertes Muster. Übergeben Sie bei erneutem Alarm das Protokoll dem Service.

90

Anhänge

Bewahren Sie die Schnellreferenz an der Maschine auf. Legen Sie Formulare zu Auftrags- und Wartungsunterlagen. Herstelleranweisungen für Betrieb und Notfälle gelten zusammen mit diesen Anhängen.

Anhang A — Schnellreferenz an der Maschine

Maschine / Seriennummer: _____ **Autorisierter Bediener:** _____

Einschalten und erster Schnitt

Ziel: Bereiten Sie die Maschine für den ersten Auftrag vor.
Benötigt: Schulung, Herstellereinschaltanleitung, freigegebene Datei und Parameter.

1. Prüfen Sie Bereich und Sicherheitseinrichtungen. Bereiten Sie Gas, Kühlaggregat und Absaugung nach Herstellerfolge vor.
2. Starten Sie Maschine und Steuerungssoftware. Prüfen Sie bereite Nebenanlagen und beseitigte Alarme.
3. Führen Sie bei freiem Bereich die Referenzfahrt und danach die kapazitive Kalibrierung nach Herstellerverfahren aus.
4. Prüfen Sie Blech und Datei sowie Material, Dicke, Layer, Gas, Düse und Fokusdatensatz.
5. Führen Sie Simulation und Rahmenprüfung aus. Schneiden Sie bei geschlossenem Schutz ein Muster. Beginnen Sie bei passenden Maßen und Qualität die Produktion.

Tägliche Prüfung

- Düse intakt und sauber; Keramikring ohne Riss.
- Schutzglas nach zulässigem Verfahren geprüft.
- Kühlaggregat: Füllstand, Durchfluss und Temperatur passend; keine Lecks oder Kondensation.
- Gas richtig; Filter, Trockner und Druck passend.
- Tischauflage, Fahrbereich und Absaugung geeignet.
- Kalibrierung, Auftragsdatei und Prozess geprüft.
- Prüfergebnis und Mängel in Anhang B eingetragen.

Die Einschaltfolge ist modellabhängig. Starten Sie den Laser erst bei bereiter Kühlung. Ersteinrichtung und Servoeinstellung sind keine tägliche Kalibrierung.

Die 8 häufigsten Störungen: erste Maßnahme

Symptom	Erste Maßnahme	Weiterlesen
Schneidet nicht	Stoppen. Glas, Düse und richtigen Prozessdatensatz prüfen.	17.1
Kein Einstechen	Nicht wiederholt einstechen. Material, Dicke und Einstechdatensatz prüfen.	17.2
Kopfkollision	Bewegung stoppen. Hindernisse, Düse, Keramik und Oberfläche sicher prüfen.	17.3
Glas verschmutzt schnell	Nicht mit beschädigtem Glas arbeiten. Wasser/Öl im Gas und Einstechspritzer untersuchen.	17.4
Teil stellt sich auf	Schnitt stoppen. Auflage, Mikrostege und Schnittfolge prüfen.	17.5
Maß- / Formfehler	Kaltes Teil messen. Einheit, Kompensation und Referenz prüfen.	17.6
Quellen- / Kühlaggregatalarm	Schnitt stoppen und vollständigen Code dokumentieren. Durchfluss, Füllstand und Kondensation prüfen.	17.7 / 17.8
Gasdruckalarm	Gasart und Versorgung prüfen. Alarmschwelle nicht ändern.	17.9

Notfall

Betätigen Sie bei Kollision, unkontrollierter Bewegung oder unmittelbarer Gefahr Not-Halt. Räumen Sie den Bereich und informieren Sie die verantwortliche Person. Wenden Sie bei Brand oder Gasleck den betrieblichen Notfallplan an. Trennen Sie Energie und Versorgung, sofern sicher möglich. Rufen Sie bei Verletzung oder Brand 112. Umgehen Sie keine Schutzeinrichtung. Starten Sie erst nach Ursachenbeseitigung und Freigabe durch befugtes Personal erneut.

Achtung: Trennen Sie vor Kopfberührung Strahl und Bewegung sicher und vor Leitungseingriffen den Druck. **Warum?** Bereitschaftsprüfung und Dokumentation verringern Fehlerwiederholungen.

Betriebliche Notfallverantwortung / Durchwahl: _____ **Servicekontakt:** _____

Anhang B — Tägliches Prüfformular: 7 Wochentage

Maschine / Seriennummer: _____ Wochenbeginn: ____ / ____ / _____ Schicht: _____

Tragen Sie in jede Zelle **U** (in Ordnung), **D** (Stopp / mangelhaft) oder **G** (bei diesem Modell nicht zutreffend) ein. Erläutern Sie G. Markieren Sie nicht durchgeführte Prüfungen nicht als in Ordnung. Beginnen Sie die betreffende Arbeit erst nach Mängelbeseitigung. Tragen Sie Eingriffe unten ein.

Prüfung	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
Datum / Tag	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Betriebsstundenanzeige	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Sicherheitseinrichtungen und Not-Halt: Herstellerprüfung	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Düse: sauber, intakt, richtiger Typ	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Keramikring: keine Risse / Lockerung	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Schutzglas: geeignet, Aufnahme geschlossen	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Kühlaggregat: Füllstand und Durchfluss passend	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Kühlaggregat: Temperatur passend, keine Kondensation / Lecks	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Gas: richtige Art und passender Fließdruck	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Druckluft: Filter / Trockner / Ablass passend	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Tisch / Lamellen / Fahrbereich sauber	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Äußere Prüfung von Führung / Zahnstange und Schmierung	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Rauchabsaugung bereit, keine Filterwarnung	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Kalibrierung und Düsenstrahlzentrierung passend	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Datei / Material / Layer geprüft	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Erstteil: Maße und Schnitt geprüft und passend	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Tagesabschlussreinigung und Ausschalten abgeschlossen	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Bedienername / Kürzel	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____

Mängel- / Maßnahmenprotokoll

Datum	Beobachtung und Stoppgrund	Maßnahme / Teil	Wiederfreigabe durch / Uhrzeit
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____

Schranköffnung, innere Optik und elektrische Messungen gehören nicht zur täglichen Bedienerprüfung. Melden Sie Beobachtungen befugtem Wartungspersonal. Legen Sie das ausgefüllte Formular zur Wartungsdokumentation.

Anhang C — Formular für Parameteränderungen

Maschine / Seriennummer: _____ **Auftrag / Datei / Revision:** _____

Quellenmodell / Leistung / Kern: _____ **Kopf / Düse:** _____

Ausgangsprozessdatensatz / Version: _____ **Gasart:** _____

Dokumentieren Sie nur einen Parameter je Zeile. Geben Sie Material und Dicke für jeden Versuch an. Ergänzen Sie Einheiten bei alten/neuen Werten: Geschwindigkeit (m/min), Druck (bar), Fokus/Höhe (mm). Verwenden Sie sonst die Softwareeinheit. Stoppen Sie Versuche bei Alarm oder Schaden.

Datum / Uhrzeit	Material	Dicke (mm)	Geänderter Parameter	Alter Wert / Einheit	Neuer Wert / Einheit	Ergebnis	Bediener
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____

Versuchsergebnis und Freigabe

Erfassen Sie vollständiges Durchtrennen, Einstechen, Grat, Ober-/Unterseite, Maße und gegebenenfalls Alarm. Geben Sie Foto- oder Musternummer an. Beschränken Sie sich nicht auf ein Wort wie „gut“.

Maß / Akzeptanzkriterium	_____
Foto- / Musternummer	_____
Entscheidung	Versuch fortsetzen: ____ Produktionsfreigabe: ____ Zur alten Einstellung zurück: ____
Freigabe durch / Datum	_____
Neuer Prozessdatensatz / Version	_____

! Versuchs- und Produktionsdaten trennen

Überschreiben Sie die Hauptbibliothek nicht mit ungeprüften Ergebnissen. Von DOKTEK abgeleitete Werte sind mit ★ gekennzeichnet. „Versuchswert, nicht für die Serienfertigung“ ist mit ◆ markiert. Diese Zeichen ersetzen weder Versuch noch Freigabe.

Anhang D — Glossar: Deutsch–Englisch

Englische Begriffe helfen beim Lesen von Bildschirmen und Herstellerunterlagen. Ein hier aufgeführter Begriff bedeutet nicht, dass jede Software diese Funktion bietet. Namen und Umfang hängen von Version und Modell ab.

Deutsch	Englisch	Kurzerklärung
Laserquelle	Laser source	Einheit zur Strahlerzeugung.
Faserlaser	Fiber laser	Laserquellentyp auf Faserbasis.
Schneidkopf	Cutting head	Baugruppe zur Strahlfokussierung im Bearbeitungsbereich.
Transportfaser	Delivery fiber	Leitet den Strahl von der Quelle zum Kopf.
Faserkerndurchmesser	Fiber core diameter	Durchmesser des lichtführenden Faserkerns.
Nennleistung	Rated power	Leistungsklasse auf dem Typenschild.
Leistungsprozentsatz	Power percentage	Im Prozess angeforderte relative Leistung.
Strahlqualität	Beam quality	Eigenschaft des Fokussierungsverhaltens.
Strahlparameterprodukt	Beam parameter product (BPP)	Beschreibt Strahlausbreitung und Fokussierung.
Dauerstrichbetrieb	Continuous wave (CW)	Kontinuierliche Strahlerzeugung.
Pulsbetrieb	Pulsed operation	Energieabgabe in Impulsen.
Frequenz	Frequency	Wiederholungen je Zeiteinheit.
Pulsdauer	Pulse duration	Zeitliche Länge eines Impulses.
Tastgrad	Duty cycle	Verhältnis der Einschaltzeit zur Periodendauer.
Rückreflexion	Back reflection	Vom Prozess zur Quelle zurückkehrendes Licht.
QBH-Anschluss	QBH connector	Optischer Anschlusstyp am Faserausgang.
Kollimation	Collimation	Ausrichten der Strahlausbreitung.
Kollimationslinse	Collimating lens	Strahlrichtende Linse in der Kopfoptik.
Fokus	Focus	Fokuszustand des Strahls oder Prozesseinstellung.
Fokussierlinse	Focusing lens	Linse zur Strahlfokussierung.
Brennpunkt	Focal point	Bereich der Strahlfokussierung.
Fokustest	Focus test	Versuch zur Prüfung des geeigneten Fokus.
Schutzglas	Protective window	Optisches Element zum Schutz innerer Optik.
Beschichtung	Coating	Schicht auf Material oder optischer Oberfläche.
Düse	Nozzle	Leitet Gas in den Schneidbereich.
Einschichtdüse (S)	Single-layer nozzle	Düse mit einschichtigem Aufbau.
Doppelschichtdüse (D)	Double-layer nozzle	Düse mit doppelschichtigem Aufbau.
Keramikring	Ceramic ring	Keramikteil der Düsengruppe.
Düsenstrahlzentrierung	Nozzle centering	Prüfung der Ausrichtung von Düse und Strahl.
Düsenhöhe	Nozzle standoff	Abstand zwischen Düse und Blech.
Kapazitiver Sensor	Capacitive sensor	Erfasst den Abstand kapazitiv.
Kapazitive Kalibrierung	Capacitive calibration	Kalibrierung zur Vorbereitung der Höhenmessung.
Höhenverfolgung	Height following	Nachführen des Kopfabstands zum Blech.
Referenzfahrt	Homing	Rückkehr der Achsen zur Maschinenreferenz.
Maschinenkoordinate	Machine coordinate	Position bezogen auf die Maschinenreferenz.
Werkstücknullpunkt	Workpiece zero	Für den Auftrag festgelegte Ausgangsreferenz.
Kantenerkennung	Edge finding	Bestimmung der Blechkantenposition.
Rahmenprüfung	Frame	Bewegung zur Prüfung der Auftragsgrenze.
Trockenlauf	Dry run	Werkzeugpfadtest ohne Strahl.
Simulation	Simulation	Vorabansicht des Werkzeugpfads am Bildschirm.
Schneidgeschwindigkeit	Cutting speed	Geschwindigkeit der Schneidbewegung; m/min.
Einstechen	Pierce / piercing	Erzeugen eines Startlochs für den Schnitt.
Schnittspalt	Kerf	Vom Strahl erzeugte Schnittbreite.
Schnittspaltkompensation	Kerf compensation	Pfadkorrektur entsprechend der Schnittbreite.
Anschnitt	Lead-in	Eintrittspfad zur Schneidkontur.
Auslauf	Lead-out	Austrittspfad am Konturende.
Mikrosteg	Micro joint	Kleiner ungeschnittener Bereich zum Halten des Teils.
Gemeinsame Schnittkante	Common line	Schneiden von Teilen entlang einer gemeinsamen Linie.
Flycut	Flycut	Unterstütztes spezielles Schnellschneidverfahren.
Leapfrog	Leapfrog	Verfahren zum Kopfanheben bei Übergängen.
Verschachtelung	Nesting	Anordnung der Teile auf der Blechfläche.
Werkzeugpfad	Toolpath	Bearbeitungsweg des Kopfes.
Schneidfolge	Cut sequence	Reihenfolge der Kontur- und Teilebearbeitung.

Deutsch	Englisch	Kurzerklärung
Innenkontur	Inner contour	Grenze eines Lochs oder Ausschnitts im Teil.
Außenkontur	Outer contour	Äußere Teilegrenze.
Offene Kontur	Open contour	Geometrie mit nicht verbundenen Enden.
Doppellinie	Duplicate line	Deckungsgleich wiederholte Linie.
Layer	Layer	Geometriegruppe mit gemeinsamem Prozess.
Prozessparameter	Process parameter	Einstellung für Schneid- oder Einstechverhalten.
Materialbibliothek	Material library	Materialbezogene Einstellungsdatensätze.
Pause	Pause	Vorübergehendes Unterbrechen des Auftrags.
Stopp	Stop	Beenden des Zyklus.
Fortsetzen ab Unterbrechungspunkt	Resume	Kontrollierte Fortsetzung nach Unterbrechung.
Auftragsbericht	Job report	Produktionsprotokoll des Auftrags.
Rechnergestützte Fertigung	Computer-aided manufacturing (CAM)	Verfahren zur Fertigungsvorbereitung.
Postprozessor	Postprocessor	Wandelt den Pfad in eine zielmaschinengerechte Ausgabe um.
CNC	Computer numerical control	Rechnergestützte numerische Steuerung.
Mensch-Maschine-Schnittstelle	Human–machine interface (HMI)	Bedienoberfläche zur Interaktion mit der Maschine.
Hardwareschlüssel	Dongle	Physischer Lizenzschlüssel.
Datenbus	Bus	Kommunikationsinfrastruktur zwischen Steuerungsgeräten.
Kühlaggregat (Chiller)	Chiller	Kühleinheit für Quelle und Kopf.
Durchfluss	Flow	Strömung von Kühlmittel oder Gas.
Wasserstand	Water level	Anzeige der Wassermenge im Behälter.
Deionisiertes Wasser	Deionized water	Wasser mit verringertem Ionengehalt.
Kondensation	Condensation	Verflüssigung von Feuchtigkeit an kalten Oberflächen.
Taupunkt	Dew point	Temperatur, bei der Kondensation beginnen kann.
Trockner	Dryer	Einheit zur Feuchtigkeitsreduzierung in der Leitung.
Druckminderer	Regulator	Bauteil zur Gasdruckregelung.
Gasdruck	Gas pressure	Druck in der Gasleitung; bar.
Filter	Filter	Hält unerwünschte Stoffe im Fluss zurück.
Rauchabsaugung	Fume extraction	System zur Schneidrauchabführung.
Auflagelamelle	Support slat	Tischelement zum Tragen von Blech und Teilen.
Palette	Pallet	Tischbaugruppe zum Tragen bzw. Wechseln von Blechen.
Zahnstange	Rack	Verzahntes Element zur Übertragung linearer Bewegung.
Linearführung	Linear guide rail	Element zur Führung der Achsbewegung.
Riemenspannung	Belt tension	Nach Herstellervorgabe eingestellte Riemenspannung.
Servo	Servo drive / servo system	Geregeltes Antriebssystem einer Achse.
Grat	Dross / burr	Unerwünschte Ablagerung an der Schnittkante.
Schlacke	Slag	Erstarrter Prozessrückstand.
Baustahl	Carbon steel sheet	Bezeichnung für Kohlenstoffstahlblech in diesem Leitfaden.
Edelstahl	Stainless steel	Werkstoffgruppe rostfreier Stähle.
Verzinkter Stahl	Galvanized steel	Zinkbeschichtetes Stahlblech.
Aluminium	Aluminum	Metall mit Rückreflexionsrisiko beim Schneiden.
Messing	Brass	Gruppe kupferbasierter Legierungen.
Kupfer	Copper	Metall mit Rückreflexionsrisiko beim Schneiden.
Sauerstoff	Oxygen (O_2)	Schneidgas mit zu prüfender Prozesseignung.
Stickstoff	Nitrogen (N_2)	Schneidgas mit zu prüfender Prozesseignung.
Druckluft	Compressed air	Muss trocken und ölfrei sein.
Sicherheitsverriegelung	Safety interlock	Schutzeinrichtung, die gefährlichen Betrieb an Bedingungen bindet.
Not-Halt	Emergency stop	Stoppfunktion bei unmittelbarer Gefahr.
Seriennummer	Serial number	Identifikationsnummer des Geräts.
Alarmhistorie	Alarm history	Aufzeichnung früherer Warnungen.
Betriebsstunden	Operating hours	Durch die Oberfläche definierter Nutzungszähler.
Leistungsmessgerät	Laser power meter	Geeignetes Gerät zur optischen Leistungsmessung.

Anhang E — Erforderliche Serviceangaben

Erstellen Sie vor dem Rücksetzen eine Bildschirmaufnahme. Füllen Sie für die Servicemeldung die folgenden Felder aus. Öffnen Sie für Fotos keine Schutzeinrichtung und betreiben Sie die Maschine nicht gefährlich. Dieses Formular dient der Servicekommunikation.

Angabe	Eintrag
Kontakt	Betrieb / Kontaktperson / Telefon: _____
Maschine	Marke / Modell / Seriennummer: _____
Laserquelle	Marke / Modell / Seriennummer / Leistung / Kern: _____
Schneidkopf	Marke / Modell / Düsentyp / letzter Glaswechsel: _____
Steuerung und Software	CNC/Karte / Softwarename und Version / Höhenregler: _____
Kühlaggregat	Modell / Temperatur / Durchfluss / Füllstand / Luftfeuchte und Umgebungstemperatur: _____
Auftrag und Material	Datei / Revision / Material / Dicke / Beschichtung: _____
Prozess	Gas / Fließdruck / Geschwindigkeit / Fokus / Einstech-Schneiddatensatz: _____
Alarm	Vollständiger Code und Text / meldendes Gerät / Datum-Uhrzeit / Betriebsstunden: _____
Symptom	Beginn / Phase / bei jedem Auftrag? / Wiederholhäufigkeit: _____
Letzte Änderung	Teile- / Wasser- / Filter- / Software- / Prozessänderung und Datum: _____
Durchgeführte Prüfungen	Schritte / Beobachtung / alte-neue Einstellung / Ergebnis: _____
Maschinenzustand	Gestoppt? / Energie getrennt? / Schäden-Lecks-Kondensation: _____

Beizufügende Bilder und Unterlagen

- Vollständiger Alarm und Parameteransicht; unnötige persönliche oder auftragsspezifische Angaben außerhalb des Bildausschnitts halten.
- Ober- und Unterseite des Schnittmusters, möglichst mit Maß- und Schnittrichtungsmarkierung.
- Sicher aufgenommene Fotos von Düse, Keramikring, Glas und relevanten Typenschildern.
- Auftragsdatei/Revision, Protokolle aus Anhang B–C und vorhandene frühere Leistungsmess-/Serviceberichte.

> **Unbekanntes Modell oder Datenfeld**
> Schätzen Sie unerreichbare Angaben nicht. Schreiben Sie „unbekannt“. Öffnen Sie für Serienetiketten weder geschlossene Schränke noch Quellenabdeckungen. Führen Sie zusätzliche Servicetests nur mit passender Schulung und nach Herstellerverfahren aus.

Anhang F — Quellenverzeichnis

Relevante Normen und Rechtsvorschriften

- ISO 9013:2017 (+Amd 1:2024) — Definiert u/Rz5-Bereiche für Schnittflächen und Maßtoleranzklassen.
- IEC 60825-1 — Definiert die Klassifizierung von Laserprodukten und Anforderungen an die Produktsicherheit.
- IEC 60825-4:2022 — Behandelt Laserschutzeinrichtungen um den Bearbeitungsbereich.
- ISO 11553-1:2020 — Behandelt die Sicherheit vor Laserstrahlung an Laserbearbeitungsmaschinen; die Reihe löste EN 12626 ab.
- EN 207:2017 — Definiert Wellenlängen-, Betriebsart- und LB-Schutzkennzeichnung von Laserschutzbrillen.
- EN 12254 — Umfasst Abschirmungen und Vorhänge für Laserarbeitsplätze geringer Leistung; kein primärer Schutz einer kW-Maschine.
- ISO 14175 — Klassifiziert Hilfsgase und Gemische einschließlich der Gase zum Laserschneiden.

- ISO 8573-1 — Definiert Druckluft-Qualitätsklassen für Partikel, Wasser und Öl.
- ISO 11146-1 — Definiert Messverfahren für Strahlbreite, Divergenz und Strahlpropagationsfaktor.
- (EU) 2023/1230 — Legt den ab 20. Januar 2027 geltenden EU-Rahmen für Maschinenkonformität und Anleitungen fest.
- Türkische Maschinensicherheitsverordnung — Regelt Maschinenkonformität und Anleitungen in Türkiye; Amtsblatt 16. Oktober 2026 / 33402.
- ISO 230-2:2014 (+Amd 1:2016) — Prüft Positioniergenauigkeit und Wiederholpräzision numerisch gesteuerter Achsen durch direkte Messung.
- EN 1093 — Bewertet luftgetragene Gefahrstoffemissionen von Maschinen; der Link führt zum Verweis in ISO 11553-1:2020 §4.1.
- ISO 14123 — Behandelt Risiken durch Gefahrstoffemissionen von Maschinen (Teile 1–2); der Link führt zum Verweis in ISO 11553-1:2020 §4.1.
- ISO 21904-2:2020 — Definiert Prüfung und Kennzeichnung des Abscheidegrades von Geräten für Schweißrauch und verwandte Prozesse; keine Einzelpatronenprüfung.

ISO 9013:2017/Amd 1:2024 · ISO 9013:2017 (u, Rz5) · Linde · Messer · Raytools BM115 · BEKO · EN 12626 · EN 207 / CE · ABB · Pilz

1. **Maxphotonics MFSC/MFMC — Schneiddaten**
   https://www.forum.linuxcnc.org/media/kunena/attachments/22451/null.pdf
   Lokaler Hersteller-PDF-Text: kaynak_veri/max_mfsc_500-6000W.txt. Hauptdaten 1/1,5/2/3/4 kW. Kopierte 500W-Fußnoten mit Seitenköpfen verglichen.; Offline-Text: kaynak_veri/max_mfsc_500-6000W.txt; URL aus brief_A.md, nicht online geöffnet. Kapitel 07, 08 und 11: Rezepte, Fokus, Düse, Optik und reduzierte Leistung bei dicken O_2-Zeilen. Vollständige Zeilen in Kapitel 9. Keine Kupfer-Einstech-/Schneidrezepte.
2. **KRRASS 3000W — Schneidparameter**
   https://www.krrass.com/3000w-fiber-laser-cutting-machine-cutting-parameters/
   Lokales HTML. Nur fehlende 1–2-mm-Schwarzblech-N_2-Zeilen der Max-3-kW-Tabelle.
3. **KRRASS 6000W — Schneidparameter**
   https://www.krrass.com/6000w-fiber-laser-cutting-machine-parameters/
   Lokales HTML. 50-µm-Einzelmodultabelle aus drei Tabellen gewählt; unterer Nachbar für 8/10 kW.
4. **KRRASS 12 kW — Schneidparameter**
   https://www.krrass.com/12kw-fiber-laser-cutting-machine-cutting-parameters/
   Lokal: krrass_12kW_50um.html; 50 µm, 100/125. Beschädigte Geschwindigkeitszelle für 6 mm Messing ausgelassen und in veri_raporu.md vermerkt.
5. **KRRASS 15000W — Schneidparameter**
   https://www.krrass.com/1500w-fiber-laser-cutting-machine-cutting-parameters/
   URL trägt 1500W; Inhalt 15000 W und 100 µm Multimodul. Alternative Rezepte mit gleichem Schlüssel bleiben erhalten.
6. **bestsheetmetalmachine 4000W — Schneidparameter**
   https://www.bestsheetmetalmachine.com/4000w-laser-cutting-parameters/
   Lokales HTML ergänzt fehlende Max-4-kW-Zeilen. Kopf-/Optikbedingungen dieser Rezepte separat prüfen.
7. **bestsheetmetalmachine 30000W — Schneidparameter**
   https://www.bestsheetmetalmachine.com/30000w-laser-cutting-parameters/
   Lokales HTML. 30 kW Schwarzblech/Edelstahl; Aluminium/Messing/Kupfer mit 20000 W Schneidleistung 20 kW zugeordnet. Versuchsmarkierungen als ◆ erhalten.
8. **Linde — Hinweise zum Laserschneiden**
   https://static.prd.echannel.linde.com/wcsstore/REN_Industrial_Gas_Store/Laser-cutting-advice-EN.pdf
   Lokaler Text: Diagnose über Geschwindigkeit, Gas, Düse, Abstand, Material und Optik. CO_2-Spiegel-/Heliumhinweise nicht als Faserlaseranweisungen übernommen.; Offline-Text: kaynak_veri/linde_laser_cutting_advice.txt; URL aus brief_A.md, nicht online geprüft. Gasreinheit, Durchfluss/Druck, Zentrierung, Oberfläche, Grat und Verbrennung. 100 ppm und 0,1 % bezeichnen O_2-Verunreinigung in N_2. CO_2-Spiegel-, Helium- und Polarisationshinweise nicht als Faserlaserwartung übernommen.
9. **FSCUT1000S-Benutzerhandbuch**
   https://purelogic.ru/docs/termicheskaya_rezka/controller-FSCUT1000S_user_manual_en.pdf
   Vom Nutzer angegebene Referenz ohne vollständige lokale Kopie; Seiten-/Menüzitate ungeprüft. Für Referenzfahrt, Zeichnung und Kalibrierung tatsächliche Steuerungs-/BCS100-Version beachten.

10. **DOKTEK — türkischer Musterleitfaden v2, 9.2 Gratdiagnose**
    ornek_tr.html

    Lokales Dokument. 9.2 nach 13.2 übertragen, um Riefen, Konizität und Maßfehler erweitert. Einzelparameter und kleine Versuchsschritte beibehalten; Geschwindigkeitstabellen nicht kopiert.; Prüffolge und steps/pill-Struktur für 17.1 übernommen; Fokustest auf Kapitel 11 verwiesen. Numerische Schnittänderungen, Gasreinheit und Temperaturbereich des Musters ausgelassen. Zentrierung nach geschütztem Herstellertest.

11. **DOKTEK — türkischer Musterleitfaden v1, verzinktes Blech und Fokus**
    ornek_tr_v1.html

    Lokales Dokument. Zinkrauch, Schutzglasverschmutzung und Verbot von O_2 nach 10.3; +/0/−−Fokusschema nach 11.1 angepasst. Numerische Geschwindigkeits-/Gastabellen nicht übernommen.

12. **DOKTEK — Arbeitsbrief B und gemeinsame Schreibregeln**
    brief_B.md

    Lokaler Umfang mit KILAVUZ_YAZIM_KURALLARI.md: Nesting/Software, Techniken, Gasreinheit/Luftaufbereitung, 50/100 µm, Höhe und Einstechfrequenz/Tastverhältnis. Keine freigegebenen Maschinenrezepte. Softwareversion/Lizenz und Postprozessor prüfen.

13. **Arbeit C — geprüfte Informationen und Kapitelumfang**
    brief_C.md

    Lokale Nutzerzusammenfassung für Kapitel 14–17 und Anhänge. Kein Netzwerk und keine Herstellerdokumente online geöffnet. Keine Menüpfade, Alarmcodes oder Modellkapazitäten abgeleitet.

14. **Maxphotonics MFSC-500–6000 W — lokale Schneiddaten**
    kaynak_veri/max_mfsc_500-6000W.txt

    Lokale Hinweise zu Faserkern und Optik geprüft. Daten bei abweichender Ausrüstung/Umgebung nur als Referenz. Hier keine numerischen Schneidparameter übernommen; Kapitel 9 verwenden.

15. **DOKTEK gemeinsame Schreib- und Technikregeln — TR, Version 1.0**
    KILAVUZ_YAZIM_KURALLARI.md

    Lokale Quelle für türkische Begriffe, Verfahren, HTML-Fragmente, Kapitel und Foto-/Bildschirmplatzhalter. Wartungszeiten sind Planungsschätzungen und ersetzen keine Modellanweisungen.