

Messen-Steueren-Regeln Logging & Tracing in Lasermaschinen

Thomas Kimme

Co-Autor: Benjamin Quellmalz



✓ **28 Jahre Erfahrung**

✓ **70 Mitarbeiter**

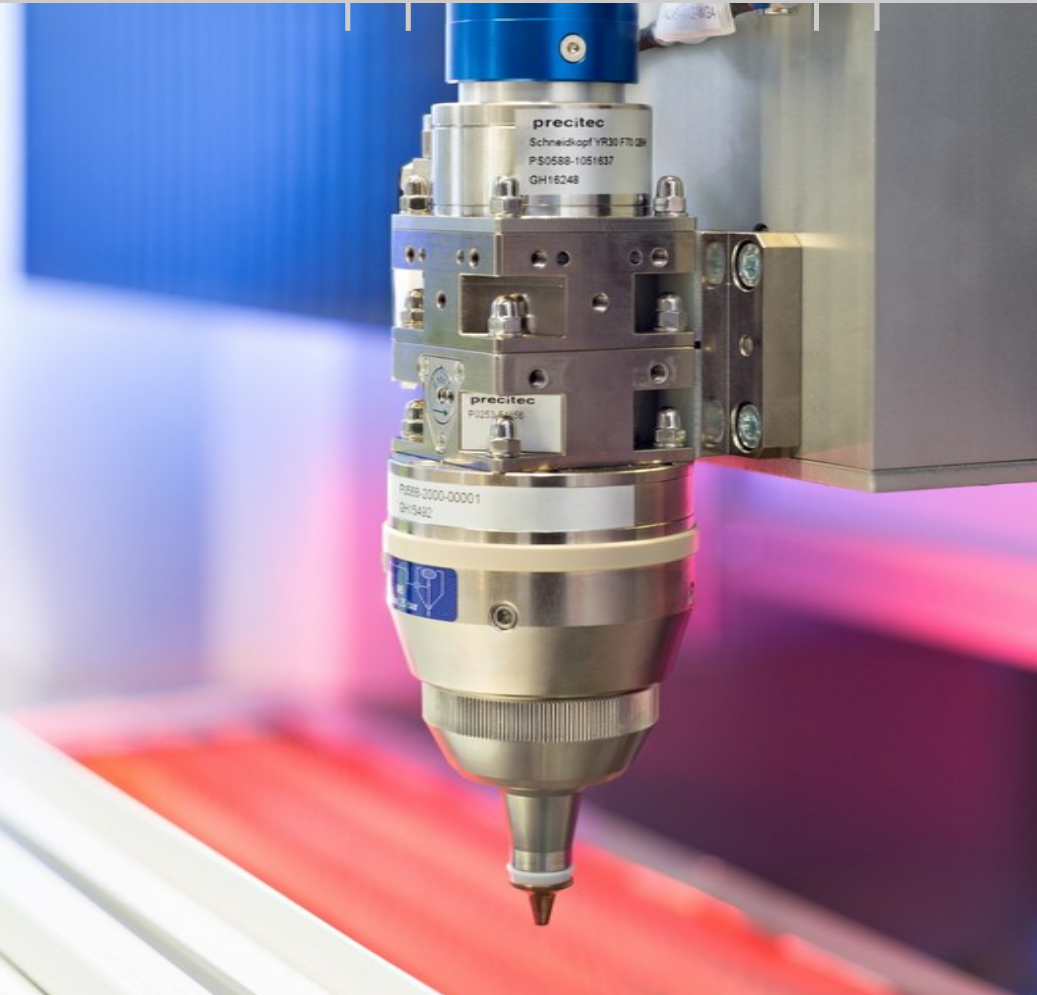
✓ **Über 100 Maschinen**

✓ **2490 m²
Produktionsfläche**

Branchen und Anwendungsfelder



LASERVORM



Antriebstechnik



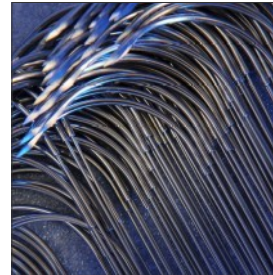
Fahrzeugbau



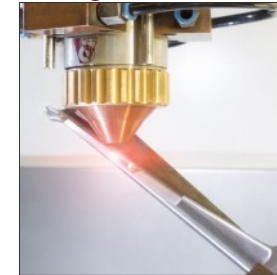
Sensorik



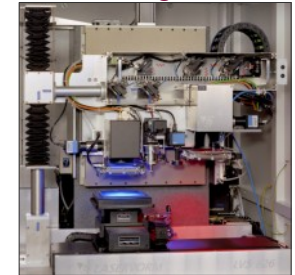
Medizintechnik



Energietechnik



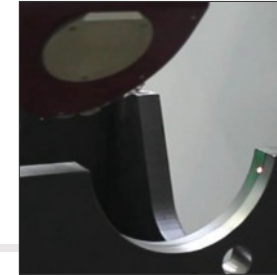
Forschung und Lehre

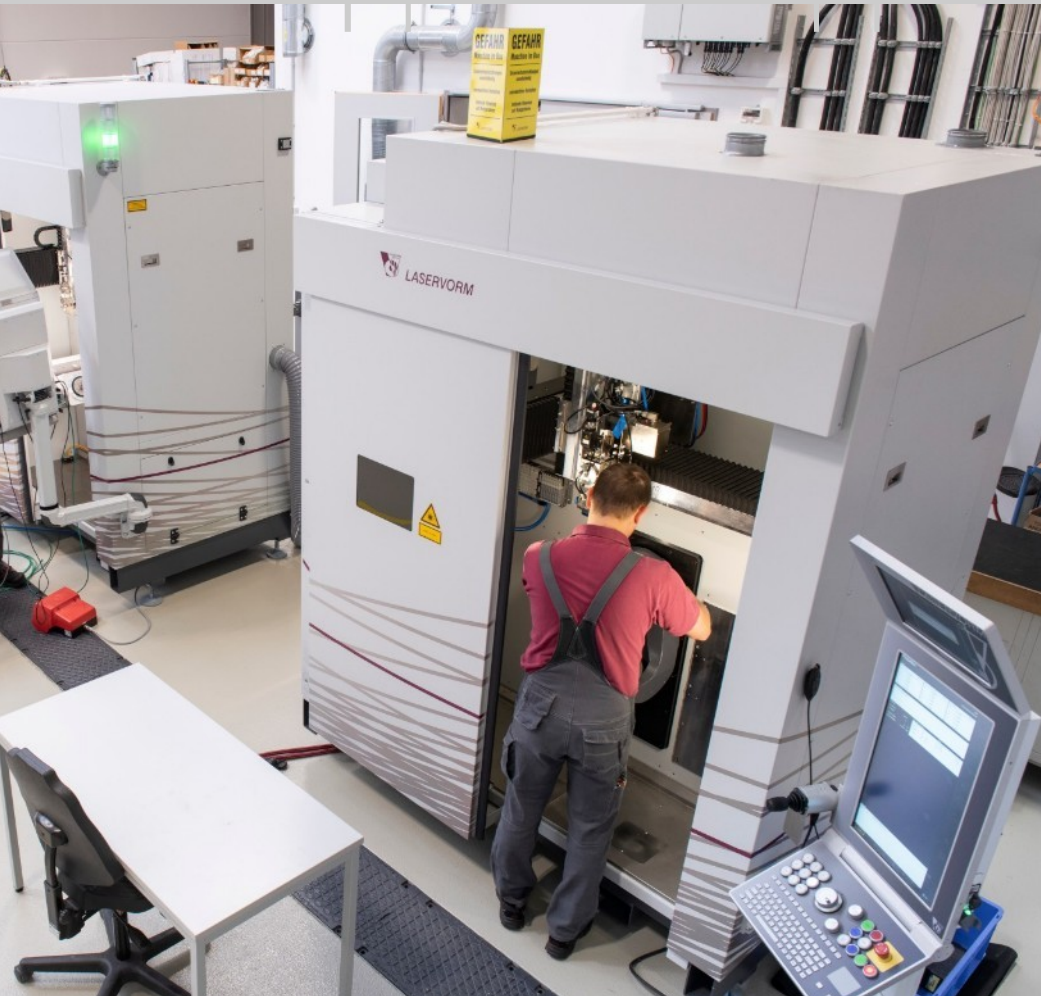


Pharma



Maschinenbau





 LV MINI



 LV MAXI



 LV MIdI



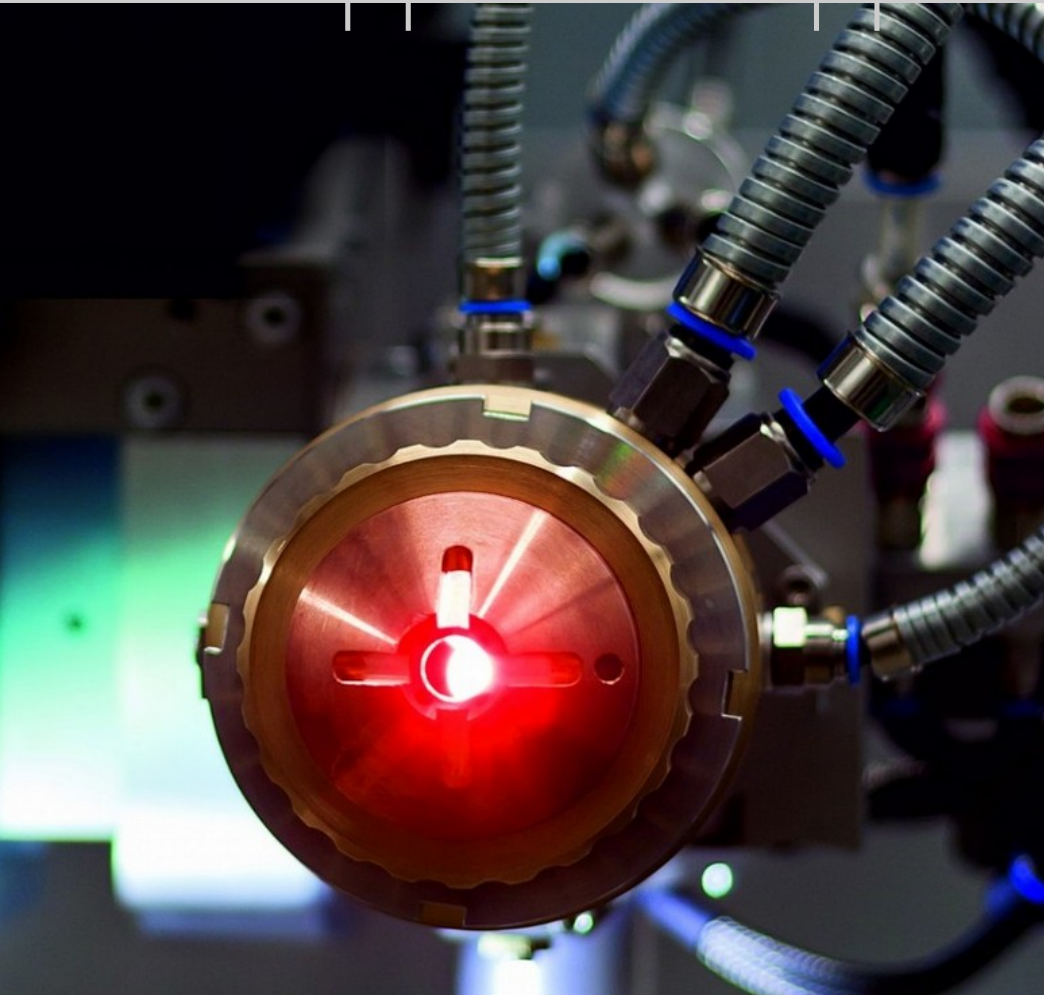
 LV MIdIX



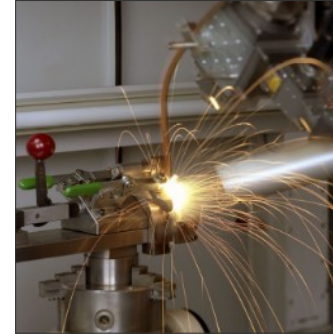


LV SPECIAL

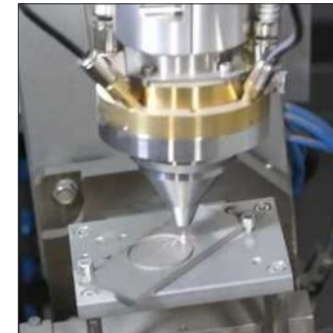
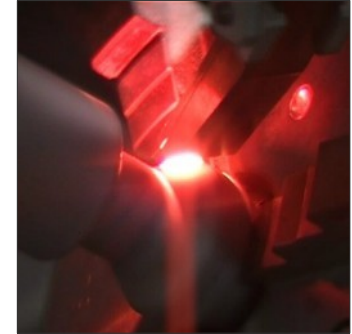




Laserschweißen



Laserhärten



- ✓ Laserlegieren
- ✓ Laserumschmelzen
- ✓ Laserschneiden
- ✓ Laserstrukturieren
- ✓ Laserbohren

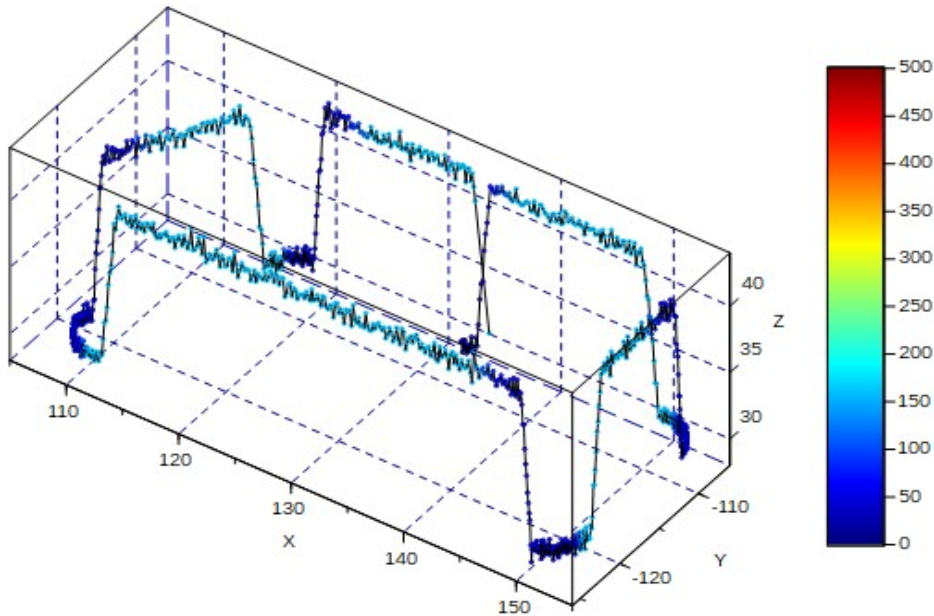


- ✓ vorausschauende Instandhaltung
- ✓ Wartungskonzeptlösungen
- ✓ Remote-Service
- ✓ Vor-Ort-Service
- ✓ Technologischer Support
- ✓ Retrofit



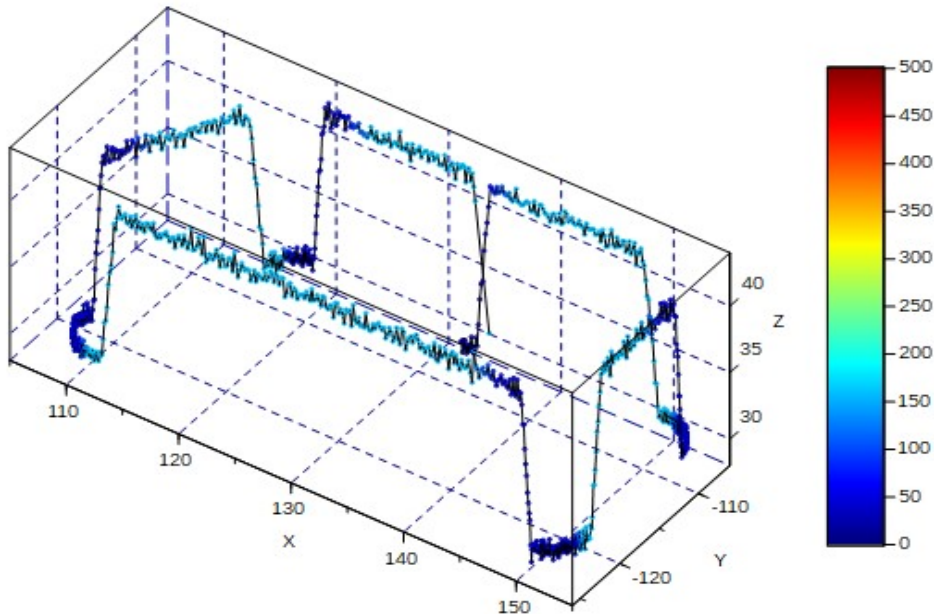
LASERVORM Funktionen:

- ✓ **LV[®]Trace:** Mikrosekundengenaue Mitschriften prozessrelevanter Parameter
- ✓ **LV[®]TeachOnTheFly:** Lernen in Echtzeit zur Zeitersparnis
- ✓ **LV[®]NCScanner:** Scannerachsen als integraler Bestandteil eines Bewegungssystems.
- ✓ **LV[®]ScanMatrix:** effektive Beherrschung der Scanner zur Strahlformung in Laserprozessen



Was kann Tracing:

mikrosekundengenaue Mitschrift aller
Prozessdaten mit unmittelbarem
Werkstückkoordinatenbezug aus der
Lasermaschine

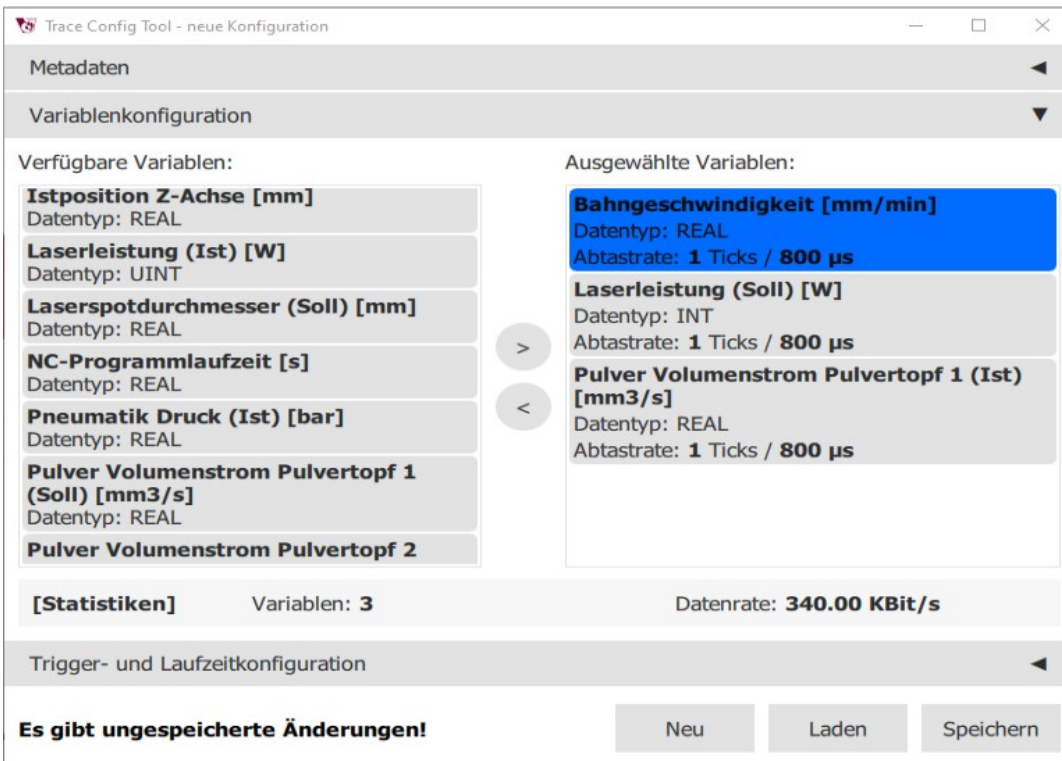


Für die optimale Prozesssteuerung ist es notwendig zu wissen, was in der Laseranlage passiert und zwar so präzise wie möglich.

Die Prozesse in den Laseranlagen von LASERVORM werden in einem Standardtakt von $800\mu\text{s}$ gesteuert.

Ein aufmerksamer Bearbeiter kann diese Daten nicht mehr erfassen.

Der Bearbeiter kann LV[®]Trace leicht so einstellen, Was und Wann aufgezeichnet wird.



Trace Config Tool - neue Konfiguration

Metadaten

Variablenkonfiguration

Verfügbare Variablen:

- Istposition Z-Achse [mm]
Datentyp: REAL
- Laserleistung (Ist) [W]
Datentyp: UINT
- Laserspotdurchmesser (Soll) [mm]
Datentyp: REAL
- NC-Programmlaufzeit [s]
Datentyp: REAL
- Pneumatik Druck (Ist) [bar]
Datentyp: REAL
- Pulver Volumenstrom Pulvertopf 1 (Soll) [mm³/s]
Datentyp: REAL
- Pulver Volumenstrom Pulvertopf 2

Ausgewählte Variablen:

- Bahngeschwindigkeit [mm/min]
Datentyp: REAL
Abtastrate: 1 Ticks / 800 µs
- Laserleistung (Soll) [W]
Datentyp: INT
Abtastrate: 1 Ticks / 800 µs
- Pulver Volumenstrom Pulvertopf 1 (Ist) [mm³/s]
Datentyp: REAL
Abtastrate: 1 Ticks / 800 µs

[Statistiken] Variablen: 3 Datenrate: 340.00 KBit/s

Trigger- und Laufzeitkonfiguration

Es gibt ungespeicherte Änderungen!

Neu Laden Speichern

ALLE in der Steuerung bekannten Daten können erfasst werden, z.B.:

- ✓ Vorschub Geschwindigkeit
- ✓ Laserleistung im Vergleich Ist Soll
- ✓ Momentane Bearbeitungsposition in Werkstückkoordinaten
- ✓ Pulver Volumenstrom
- ✓ Volumenstrom vom Schutzgas
- ✓ Laserspotdurchmesser

Konfigurationsfrontend für LV®Trace



Basis für KI-basierte Optimierung von Laserprozessen

Ausgabe der Tracingdaten erfolgt systemunabhängig in z.B. einer csv-Datei und ermöglicht damit die Weiterverarbeitung und lokale Analyse mit Werkzeugen wie KNIME, MATLAB oder Scilab oder auch den direkten Transfer zu cloudbasierten KI-Analyseplattformen.

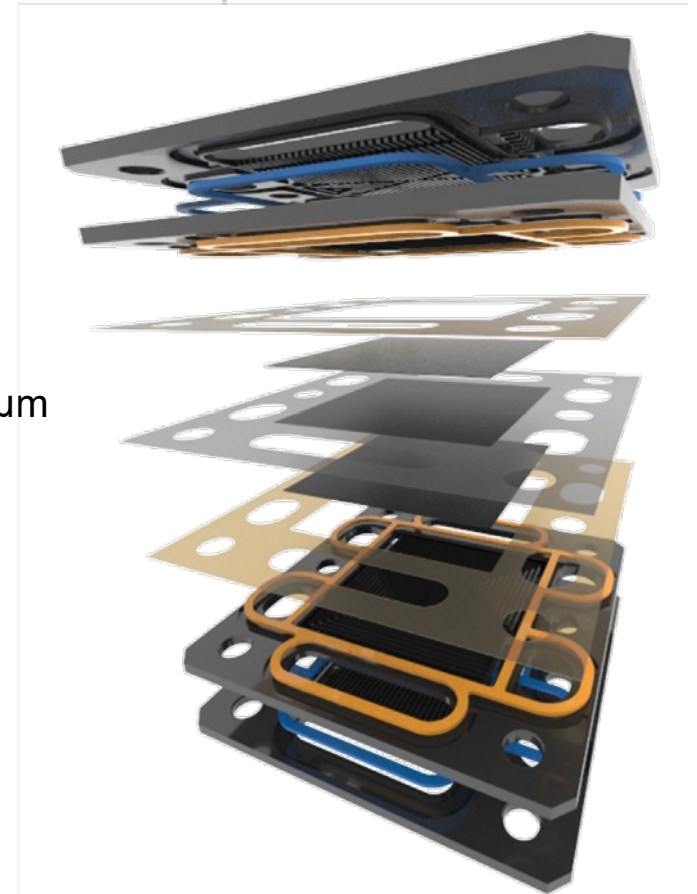
Externer Datenlogger	LV Tracing
<p> ungenaue Synchronisation und geringe Präzision – Werkstückkoordinatenbezug nicht vorhanden oder ungenau</p>	<p> Eindeutiger Bezug zu den Werkstückkoordinaten bei den erfassten Daten</p>
<p> Eingriff in die Hardware der Anlage zur Installation des Datenlogger – drohender Verlust der Gewährleistung</p>	<p> Integration in die Gesamtsteuerung der Anlage</p>
<p> Zusatzhardware ist notwendig</p>	<p> keine Zusatzhardware zum Erfassen und Auslesen der Daten notwendig</p>

Anwendungsbeispiel

Schweißen von Bipolarplatten

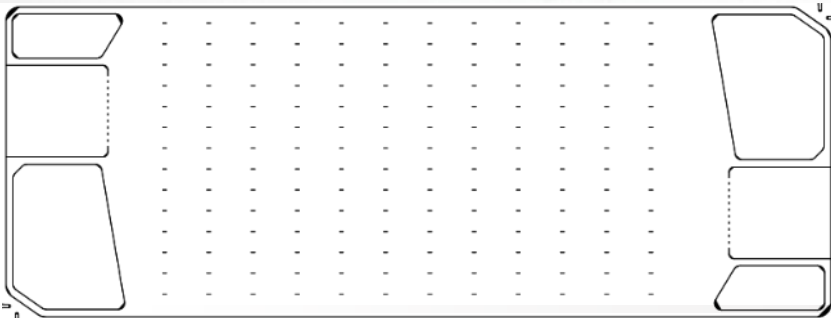
LASERVORM entwickelte unter der Überschrift „Das Herz der Brennstoffzellenmobilität wirtschaftlich laserschweißen“ eine hochproduktive Fertigungslösung.

- Bipolarplatten (BiP) bilden Hauptstruktur des Brennstoffzellenstapels
- herkömmliche BiP bestehen aus 100 µm dicken Fügepartnern
- im Rahmen des Forschungsprojektes „HZwö: Frame“ sind 50 µm dicke Fügepartner verschweißt worden
 - Gewichts-, Verbrauchs- und Materialeinsparpotenzial
 - Kompaktheit der Brennstoffzelle
 - angestrebte Schweißgeschwindigkeit: 1 m/s wurde unter Berücksichtigung aller Parameter erreicht
 - druckbeständige, dichte Schweißnähte



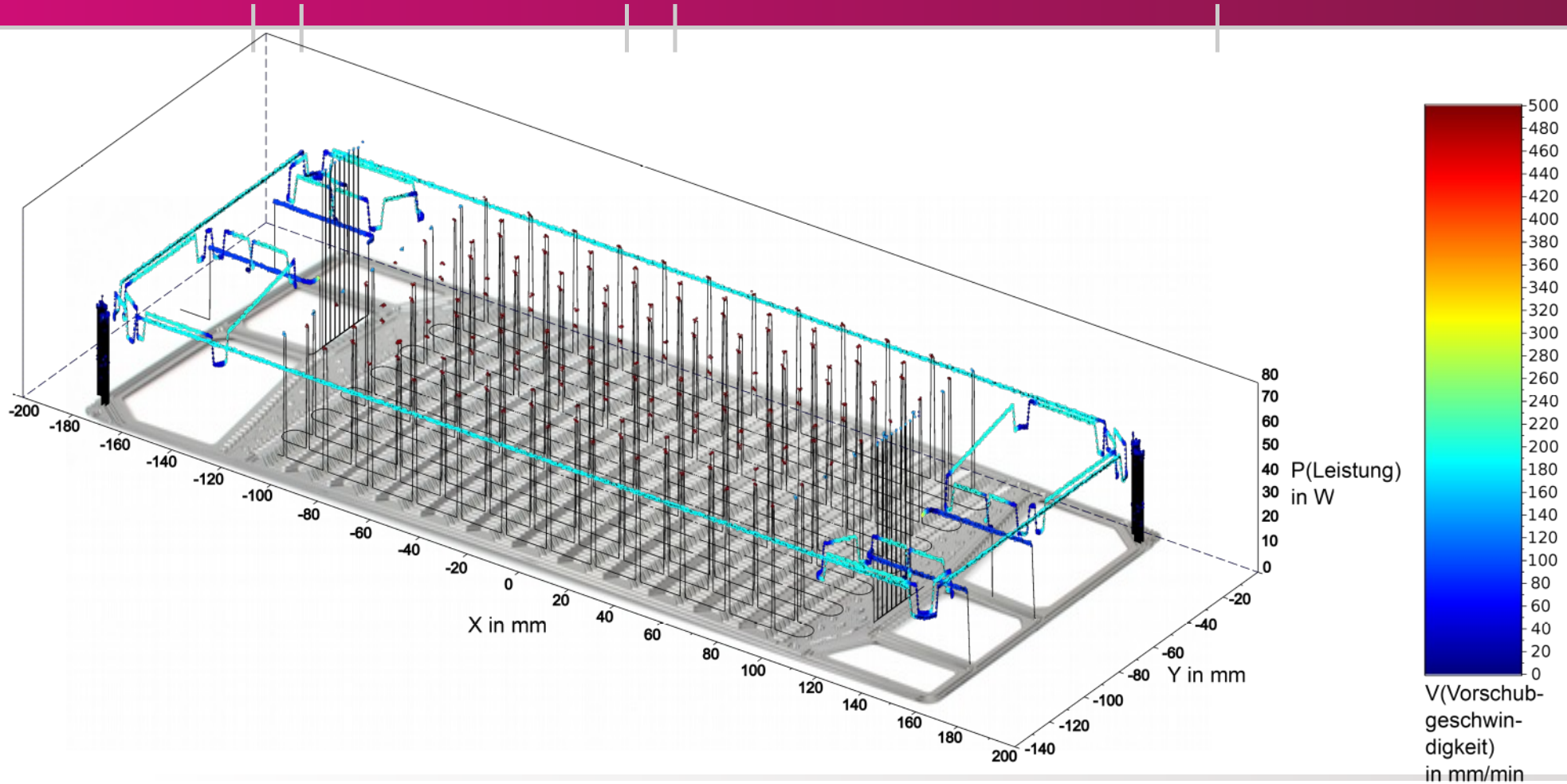
Anwendungsbeispiel

Schweißen von Bipolarplatten



- ca. 340 mm x 130 mm
- ca. 2000 mm Schweißnaht
- ca. 200 einzelne Schweißnähte

Anwendungsbeispiel LV[®]Trace Bipolarplatte





Einzelbauteile?

Technologieentwicklung?

Kleinserien?

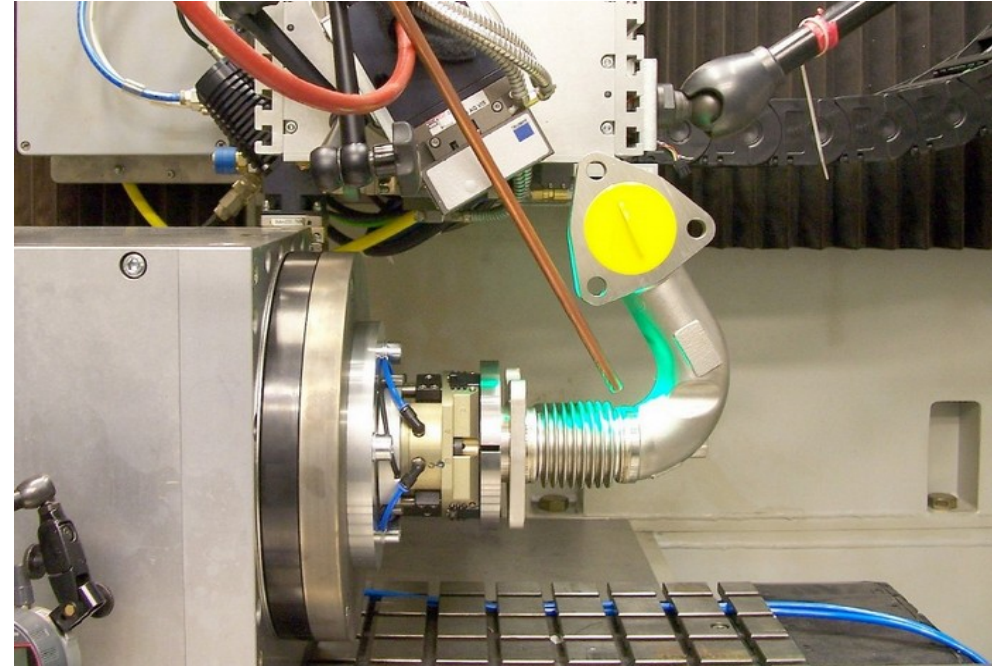
- ✓ **TeachOnTheFly:** Diese Funktionalität ist dann gefragt, wenn bei jedem neuen Bauteil korrigierend eingegriffen werden muss.
- ✓ Nicht eine Bedienhandlung (Tastendruck, Handradeingriff, ...) mehr als logisch unbedingt erforderlich
- ✓ Drastische Zeiteinsparung
- ✓ Senkt das Fehlerrisiko



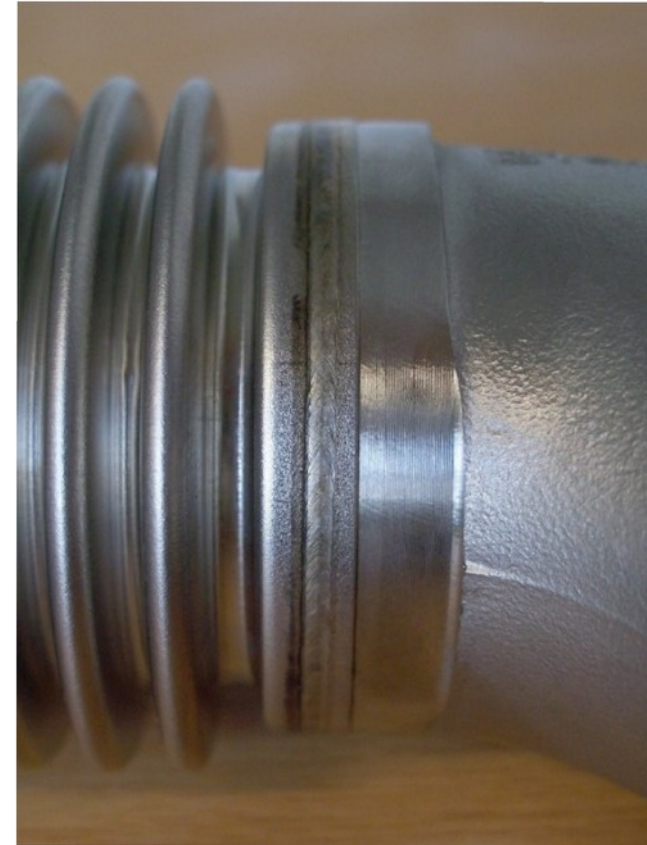
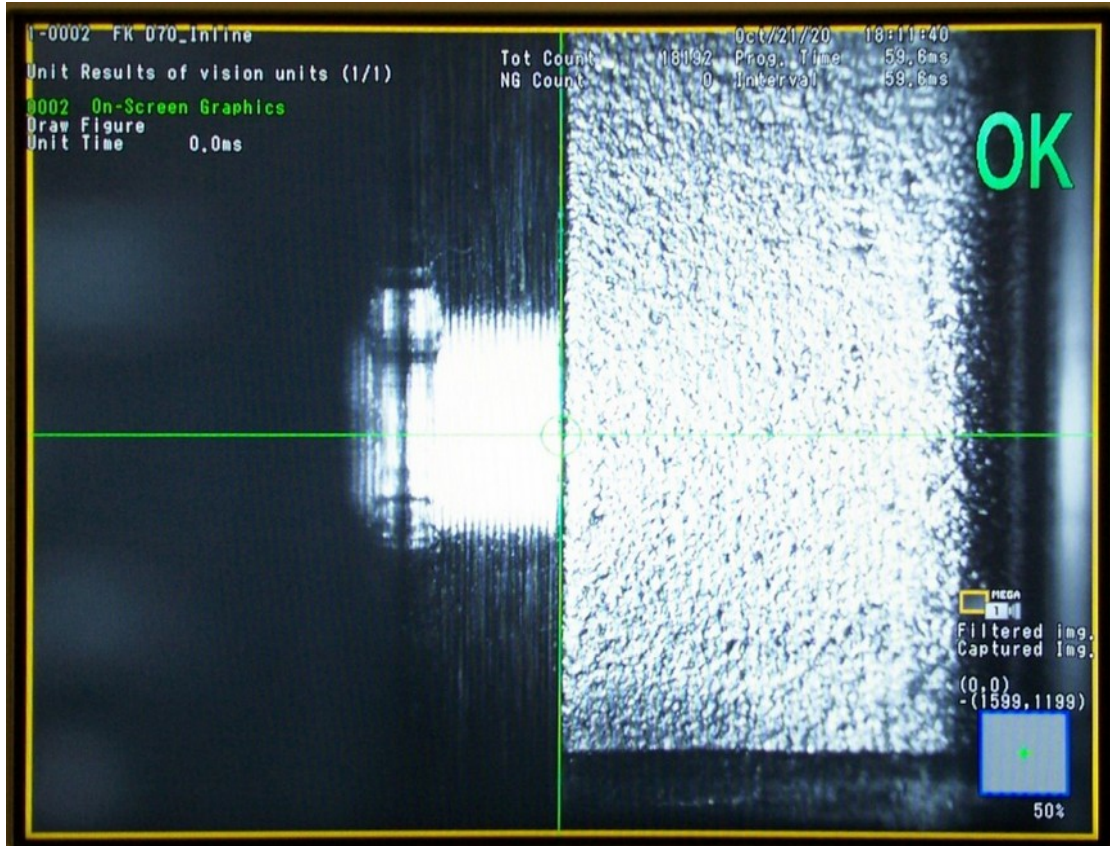
Das **TeachOnTheFly** von 1 bis n Achsen aus n NC-Achsen erfolgt z. B. mit einem industrietauglichen 3-Achs-Analog-Joystick oder mit einem Handrad.

- ✓ am Bedienpanel kann zwischen mehreren Parametrierungen des Joysticks (Zuordnung der Achsen des Bewegungssystems zu den Joystickachsen sowie Art und Grenzwerte der Geschwindigkeitsvorgabe) umgeschaltet werden





Schweißen von Abgasleitung der Firma Witzenmann



Teachen der Nahtlage und Überprüfen des Spaltmaßes

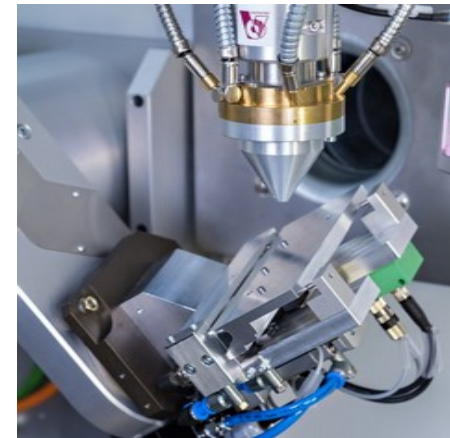


LV MIDI

- ✓ Lasermaschine für anspruchsvolle 3D-Bearbeitung in den Verfahren Schweißen, Härten und Auftragschweißen
- ✓ Kundenindividuelle Ausstattung für Bauteile von Mikro bis Makro

Ausstattung:

- fasergekoppelte Festkörper-, Dioden- oder Faserlaser
- 3, 4 oder 5-Achs-Ausstattung
- Abmessungen BTH: 2000 x 1300 x 2.600 mm
- Arbeitsraum XYZ: 1500 x 600 x 700 mm
- Achsverfahrwege XYZ: 670 x 300 x 300 mm
- hohe Steifigkeit durch LV CBase Maschinengestell
- Makro-Kamerabild mit Fadenkreuz
- Industrie-CNC für μ s-genaue Laseransteuerung und wiederholgenaue Qualität
- programmierbare Strahlformung am Werkstück
- Adaptive Bearbeitung und Tracingfunktion

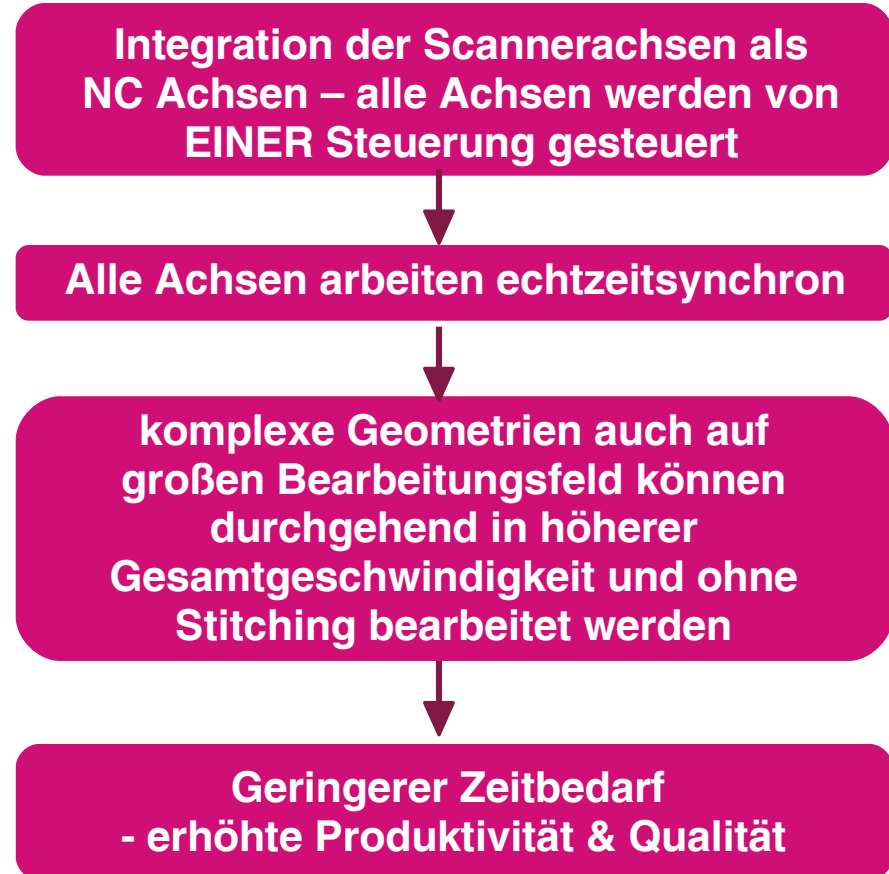
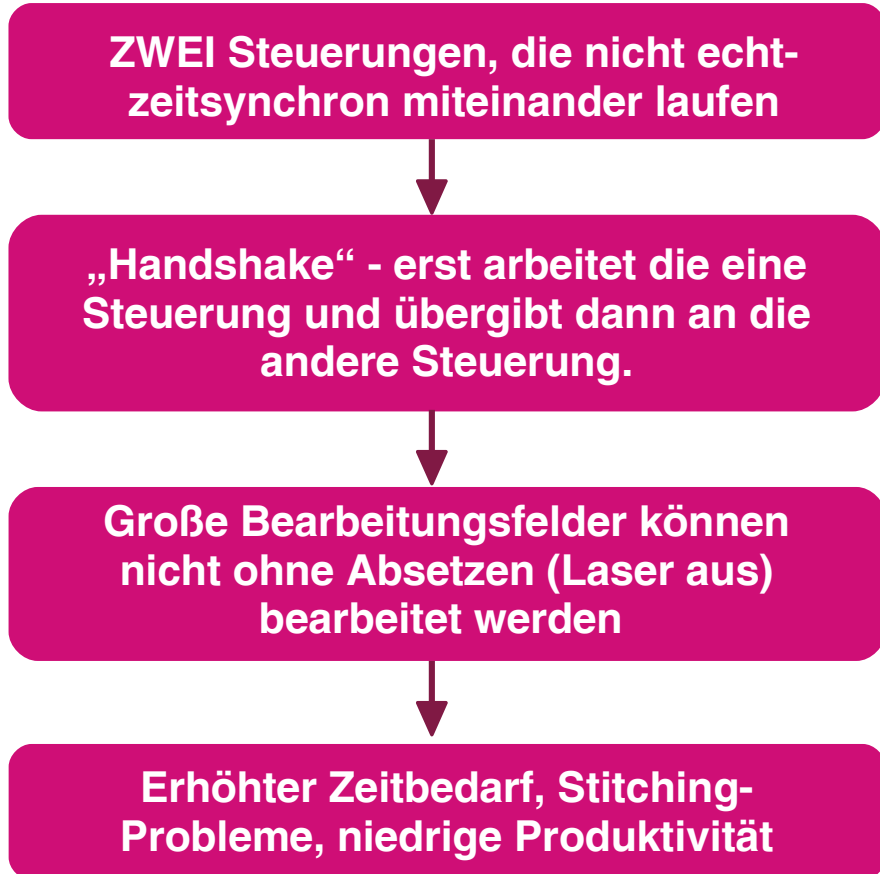


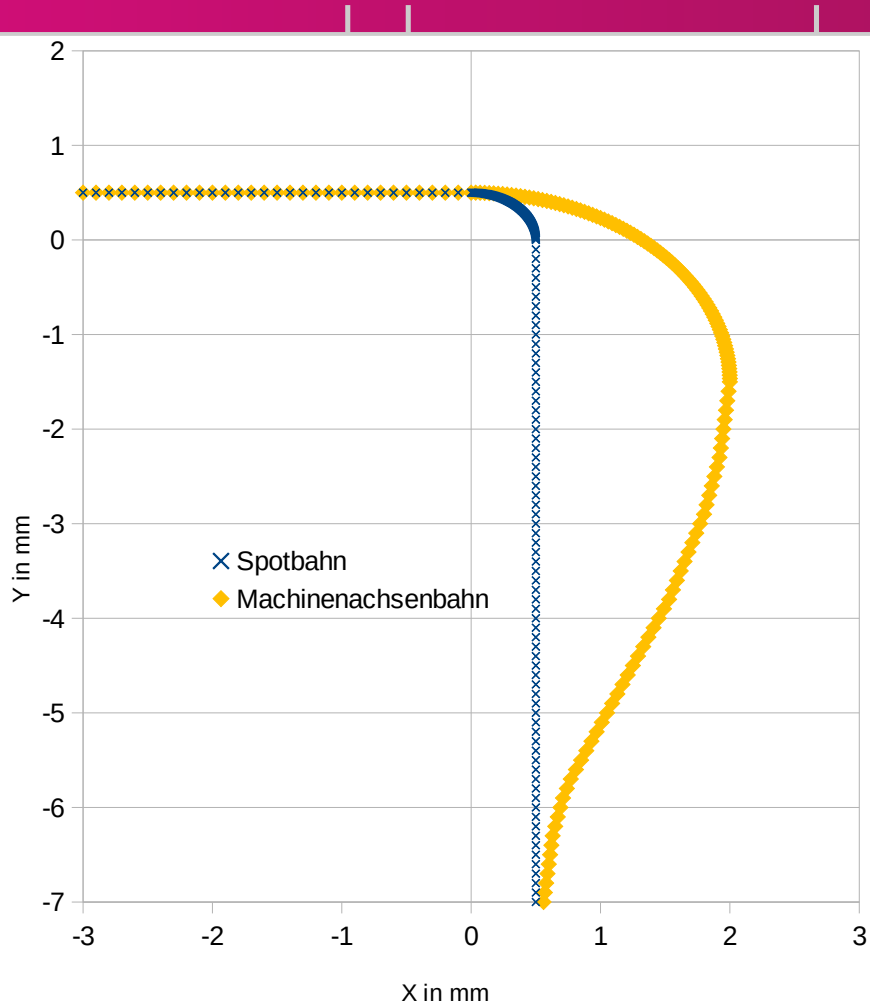


Scannerachsen als integraler Bestandteil eines Bewegungssystems

Was kann der Scanner:

- ✓ hochdynamisches Bewegungssystem
- ✓ Laserstrahlmodulation z. B. Wobbeln

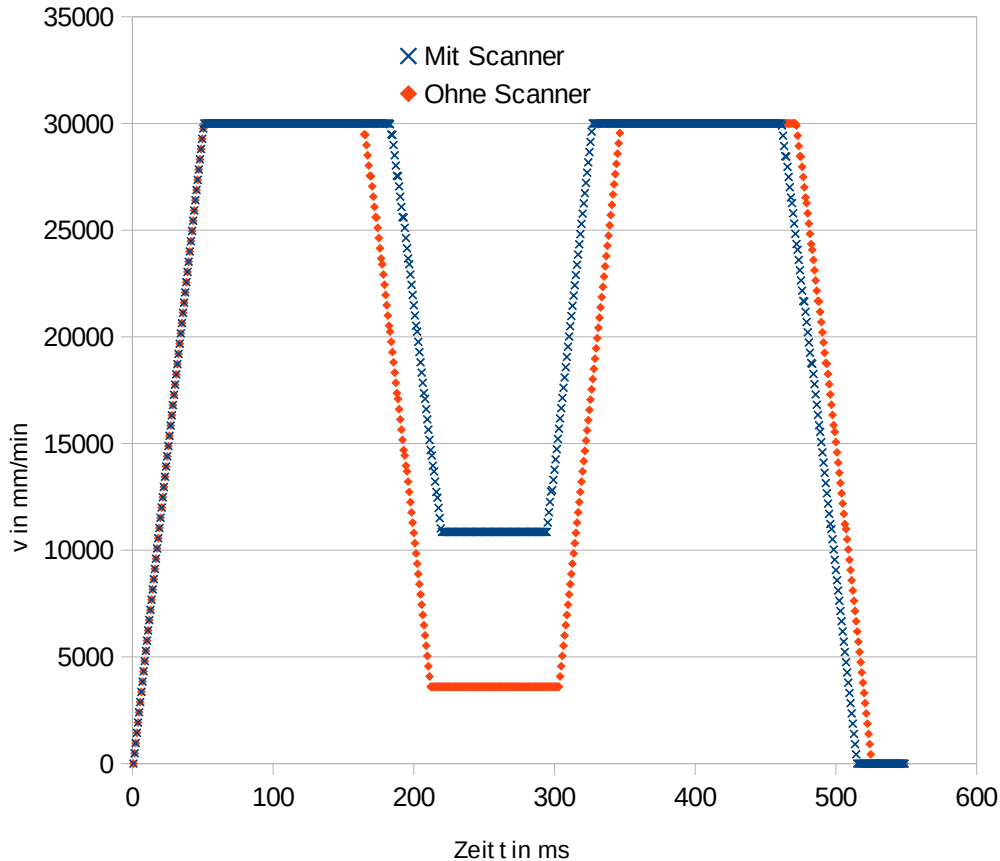




gleichzeitige und synchrone Steuerung der Maschinenachsen und der Scannerachsen ermöglicht es mit hohen Geschwindigkeiten um die Kurve zu fahren / schweißen

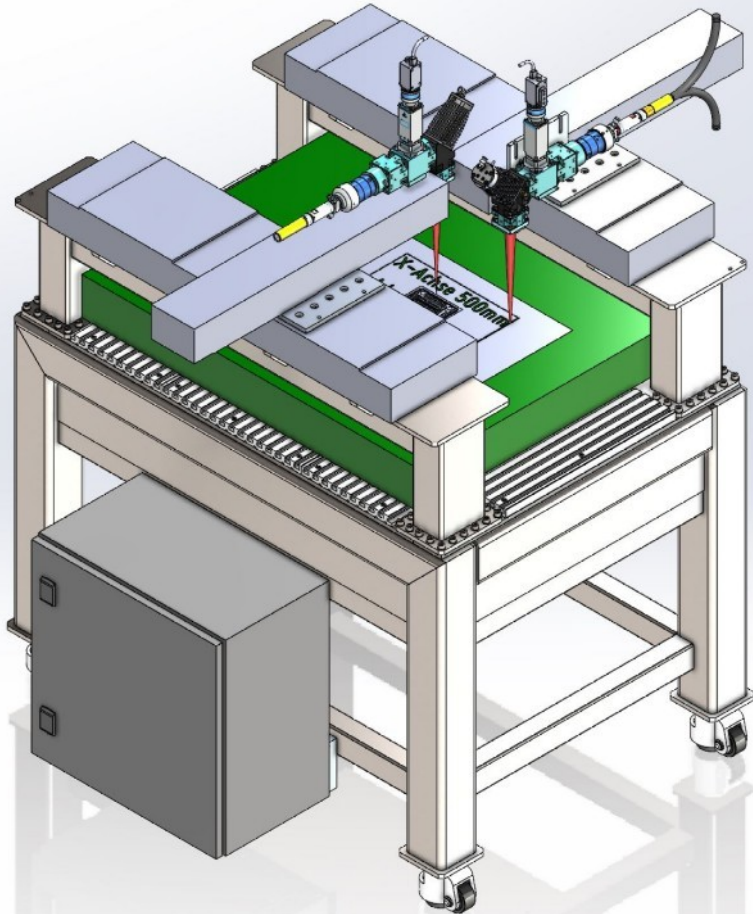
- ✓ Maschinenachsen fahren eine größere Kurve, welche sie ohne großen Geschwindigkeitsverlust bewältigen können
- ✓ Scanner steuern entgegen und gewährleisten eine Kurve mit engem Radius

Geschwindigkeitsverläufe mit und ohne Scanner



Zeitersparnis bei der Bearbeitung durch höhere Gesamtgeschwindigkeit

- ✓ Vorschubgeschwindigkeit muss ohne Scanner eher und stärker reduziert werden und erreicht später die Maximalgeschwindigkeit zurück
- ✓ Der Effekt potenziert sich bei komplexen Bauteilgeometrien mit vielen Kurven



Anforderungen:

- Schweißgeschwindigkeiten von über 1 m/s sind gefordert
- Sehr hohe Beschleunigungen (enge Radien) sind nötig

Problemstellung:

- Scanner decken das Bearbeitungsgebiet nicht ab und führen zu einer Schrägeinstrahlung – Widerspruch zum Fixieren in der Vorrichtung nahe der Schweißkontur

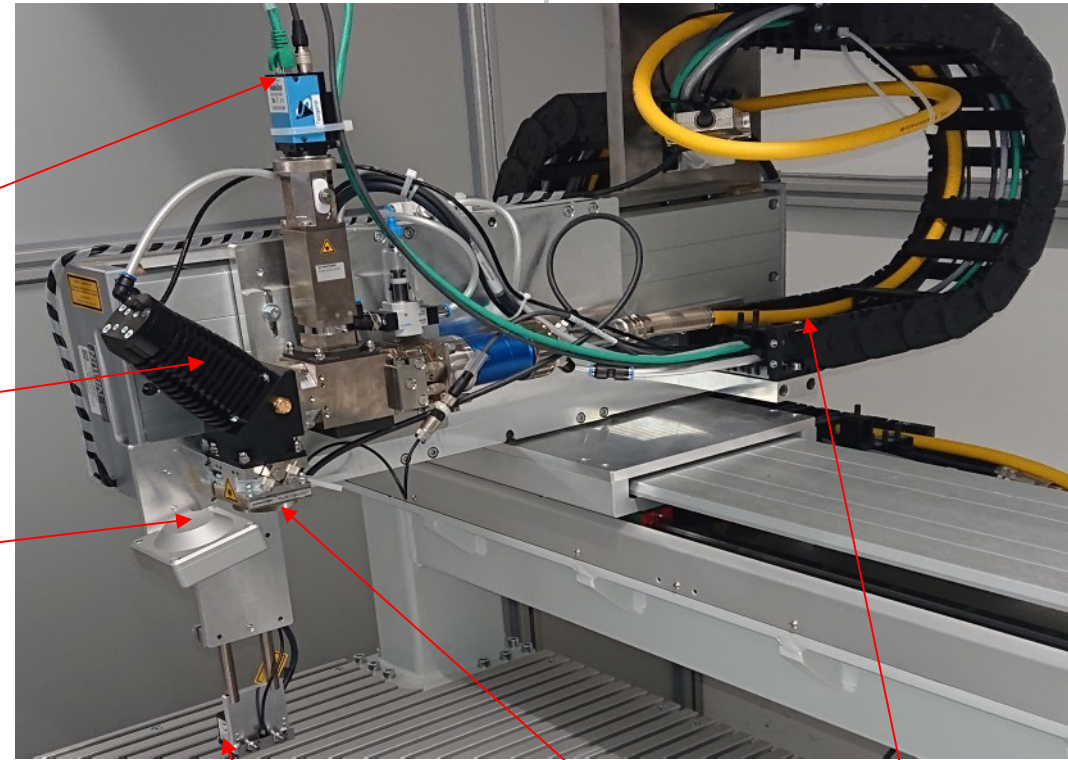
Die (prototypische) Umsetzung

- Hybrides Bewegungssystem mit Überlagerung von „klassischen“ Achsen und einem 1-Spiegel-Zweiachsscanner, welche aus einer zentralen NC-Steuerung bedient werden
- Echtzeit-Laserparameterbeeinflussung bis zur Frequenz von 50 kHz aus der zentralen NC-Steuerung

Kamera

Scanner

Leuchte



Triangulationssensor Schutzglas Lichtleitkabel

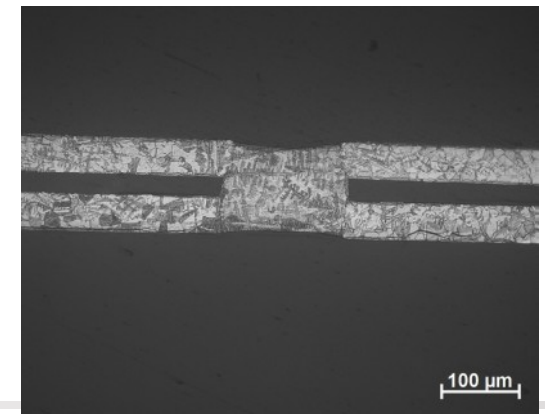
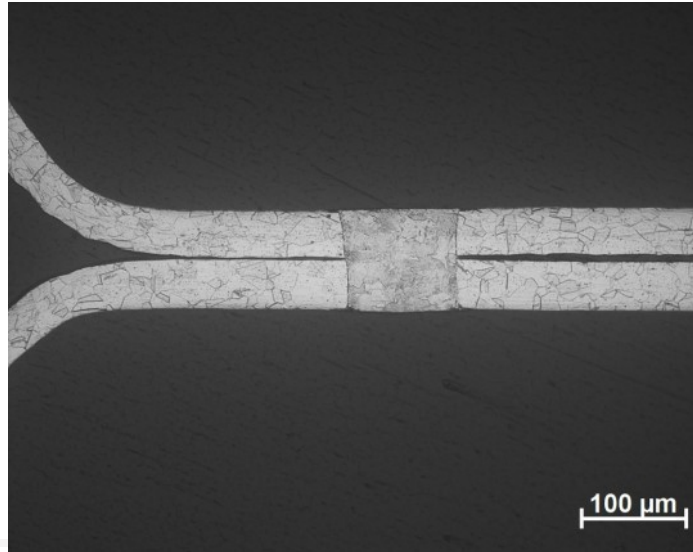
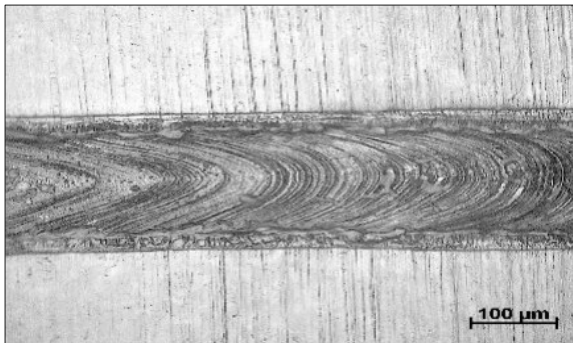
Anwendungsbeispiel Schweißen von Bipolarplatten

Die (prototypische) Umsetzung



- Verlässliche Dichtschweißung von 50 μm – Bipolarplatten selbst bei relativ großen Spalten im Schweißgeschwindigkeitsbereich von 200 ... 1000 mm/s ... ein doch recht weiter Weg vom erfolgreichen Schweißen von 50 μm -Folien zum Schweißen von 50 μm -Bipolarplatten

Fotos: Steinbeis Innovation gGmbH

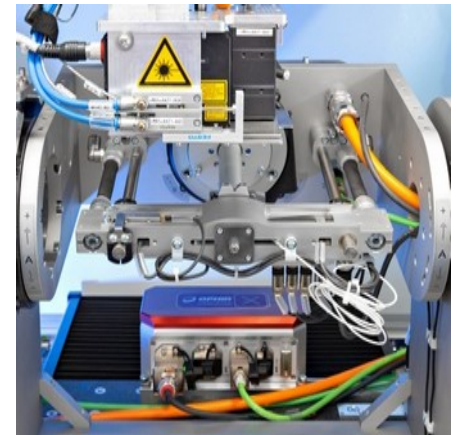


- Volle Integration der Scanneransteuerung in die NC-Steuerung der Laseranlage
- Kombinierte Nutzung des Scanners:
 - a) zur Strahlformung und
 - b) als NC-Achse(n)
- OnTheFly Parameterveränderungen der Lasersparameter als Funktion von Ort (Werkstückkoordinaten) und/oder Zeit und/oder Ist-Vorschubgeschwindigkeit
- OnTheFly Wechsel von cw- und Modulationsmodus
- 3D-Bahnausrichtung des Modulations-/Wobbelmusters nach dem Vorschubvektor



LV SPECIAL

- ✓ Hochflexible Laser-3D Laserschweißanlage zur Verfahrensentwicklung für unterschiedliche metallische Werkstücke mit komplexen Bauteilgeometrien
- ✓ Zwei Faserlaser und zwei Bearbeitungsoptiken (2-Achs-Scanner und Bearbeitungsoptik mit motorischer Strahlauflistung)
- ✓ Gesamtsystem aus 9 NC-Achsen, davon sind 2 Achsen die Scannerachsen
- ✓ Scanner kann interpoliert zu den XY-Linearachsen betrieben werden und zeitgleich zur Strahlformung (Wobbeln u.ä.) genutzt werden

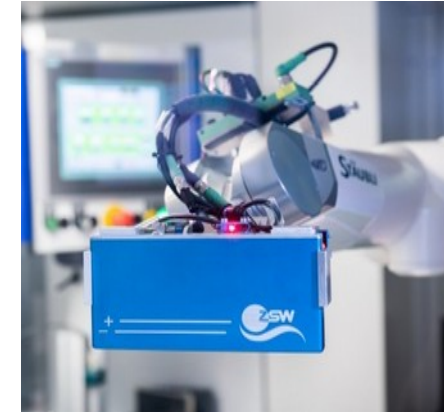


Maschinenbeispiel

LV Midi – ZSW – für NCScanner



- ✓ Hochflexible industrielle Laserschweißmaschine für prismatische Hardcase-Batteriezellen
- ✓ 4kw Scheibenlaser mit 2-in-1 Faser für spritzerfreies Schweißen am Aluminium durch die beliebige Aufteilung der Leistung zwischen Kern- und Ringfaser.
- ✓ 3 kartesische Achsen mit 2 Achs-Scanner
- ✓ Vollumfängliche CNC Steuerung aller Funktionen für optimales Wobbeln und ortsabhängiger Leistungsdichte
- ✓ Taktzyklen von 800µs und Echtzeit Tracing

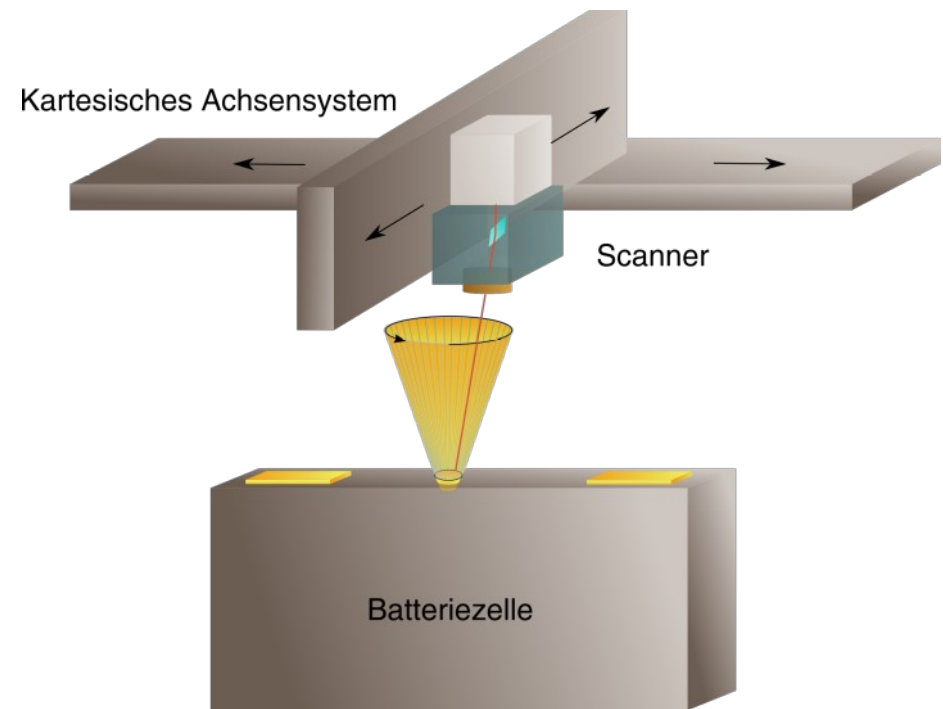
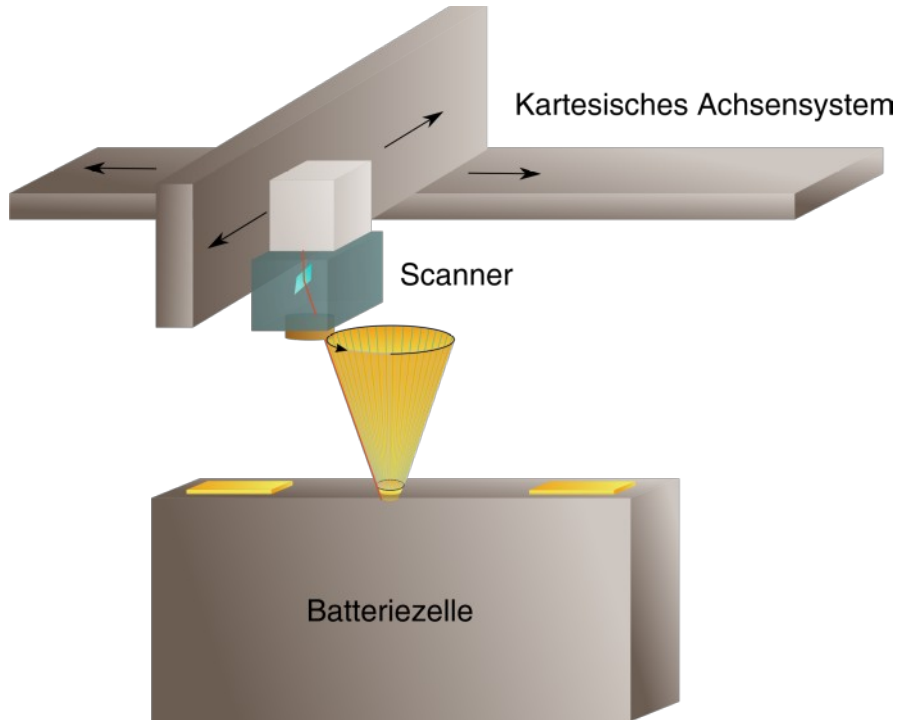


Maschinenbeispiel

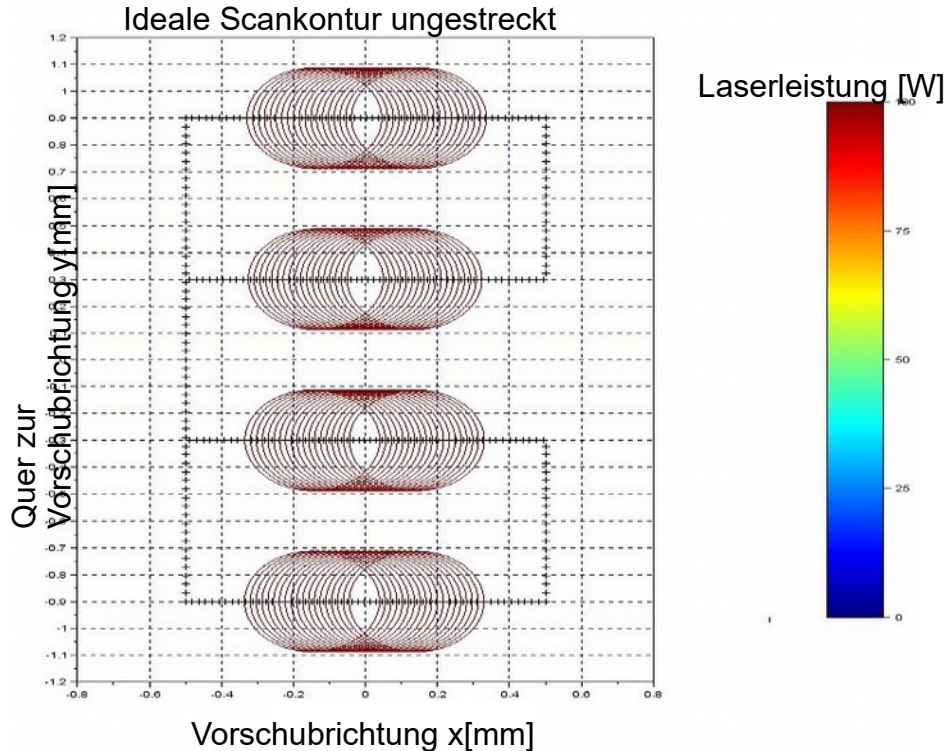
LV Midi – ZSW - NCScanner



LASERVORM



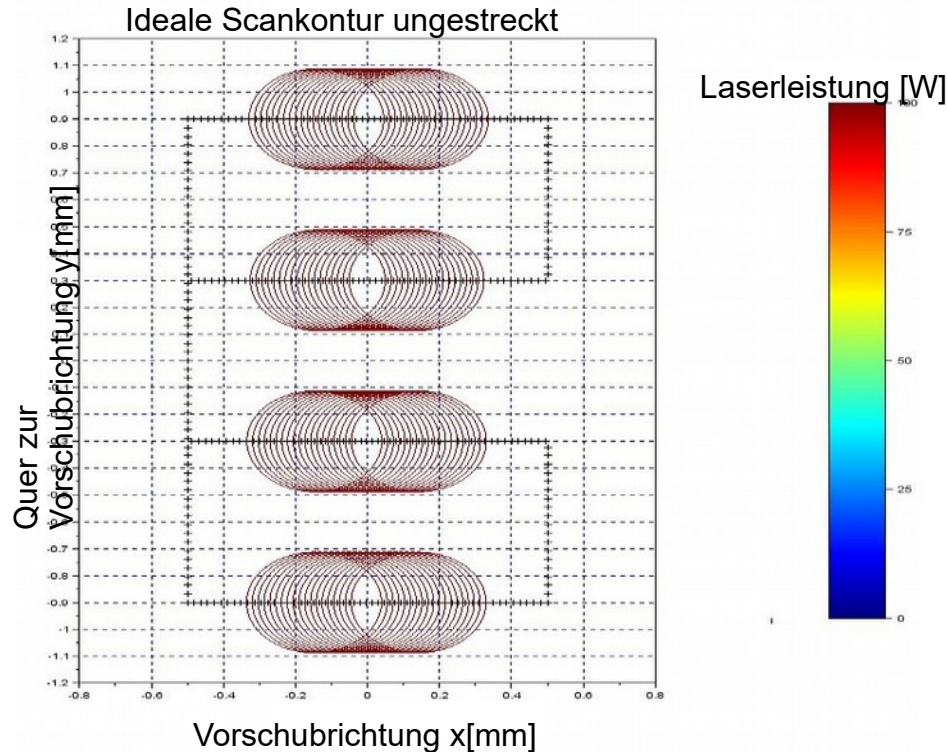
Durch die Ansteuerung der Scannerachsen und der kartesischen Achsen aus einer Steuerung entsteht eine 5-Achs-Kinematik für Schrägeinstrahlung, welche für spezifische Schweißaufgaben ausgenutzt wird.



Scanner zur Strahlformung in Laserprozessen aus Technologiesicht effektiv beherrschen

Was ist das Besondere NCScanMatrix:

- ✓ herstellerneutral
- ✓ maschineneutral



Beschreibt die
Echtzeitsynchronisation von
zyklischen Scanbewegungen und
Laserparametern sowie sonstigen
Komponenten der Laseranlage

Mit NC-Steuerungen sind bewegungssynchrone Handlungen üblicherweise an den Interpolationstakt (um 1 ms) gebunden. Scanner und Laser benötigen oft jedoch Zeitscheiben von 10 μ s.

LV[®]ScanMatrix ist in die NC Steuerung integriert. Dies ermöglicht eine kleinteilige Taktung für Scanner und Laser.

```

1 <?xml version="1.0"?>
2 <ScanMatrix>
3   <name>4 Linien gerade</name>
4   <!--auf vier Linien in Vorschubrichtung defokussieren
5   einmal pro Zyklus Messwertaufnahme starten
6   Bildaufnahme nach jeder Linie
7   -->
8   <!-- Einheiten der Komponenten-->
9   <time_unit>ms</time_unit>
10  <p_unit>W</p_unit>
11  <x_unit>mm</x_unit>
12  <y_unit>mm</y_unit>
13  <r_unit>mm</r_unit>
14  <!--digitale Komponenten ohne Einheit
15  koennen den Wert 1 oder 0 annehmen -->
16  <Point>
17    <!--Zeitstempel -->
18    <time>0</time>
19    <!--Laserleistung -->
20    <p>0</p>
21    <!--Auslenkung laengs zur Vorschubrichtung-->
22    <x>-0.5</x>
23    <!--Auslenkung quer zur Vorschubrichtung-->
24    <y>-0.9</y>
25    <!--Strahlradius-->
26    <r>0.15</r>
27    <!--Trigger fuer Bildaufnahme -->
28    <dig0>0</dig0>
29    <!--Trigger fuer Messwertaufnahme-->
30    <dig1>1</dig1>
31  </Point>
32  <Point>
33    <time>9.425</time>
34    <p>0</p>
35    <x>-0.15</x>
36    <y>-0.9</y>
37    <r>0.15</r>
38    <dig0>0</dig0>
39    <dig1>0</dig1>
40  </Point>
41  <Point>
42    <time>9.45</time>
43    <p>100</p>
44    <x>-0.15</x>
45    <y>-0.9</y>
46    <x>-0.15</x>

```

LV[®]ScanMatrix

beschreibt in einer Tabelle eine volle Periode in den Geometriekoordinaten:

- ✓ Lage relativ in Vorschubrichtung
- ✓ Lage relativ quer zur Vorschubrichtung
- ✓ Laserstrahldurchmesser

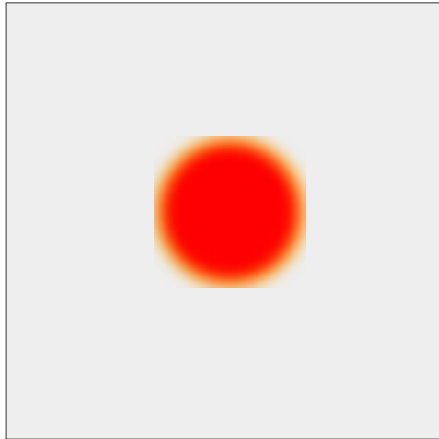
Datenformat XML

Parametrierung

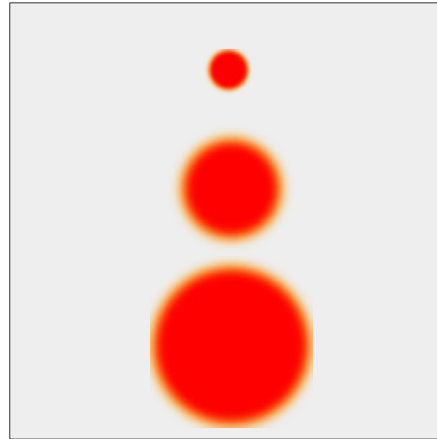
Beeinflussung aus dem NC-Programm

Synchronisierung mit anderen Vorgängen

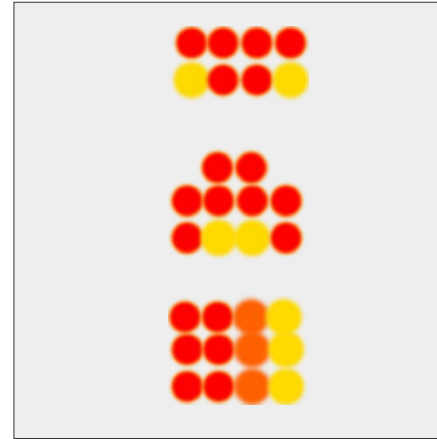
Festfokus



programmierbarer
Fokusbereich



programmierbare Strahlqualität
(program. Leistungsdichteverteilung)



Einsatzzwecke:

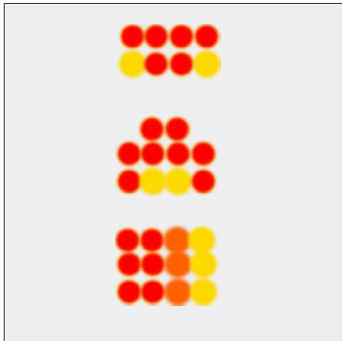
- breitere Härtespuren
- Strahlmodulation
- in Echtzeit programmierbare Schweißraupengeometrie für bessere Konturtreue und höhere Produktvielfalt

- ✓ durch die Überlagerung mit der NC und der Interpolation von linearen Scankonturen zwischen den Stützpunkten kommt die Scanmatrix mit einer **geringen Datenmenge** aus
- ✓ offenes Datenformat mit **XML-Files** ermöglicht die Integration in die verschiedensten Systeme
- ✓ durch die Beeinflussung durch NC ist eine **Adaption an die konkreten Bedingungen** des Werkstückes als Gesamtsystem möglich. (z.b. Abweichung der Spaltbreite wird durch Verrechnung des Geometrieoffset on the fly angepasst)

In **Echtzeit** programmierbare Laserspotgeometrie mit verschiedenen Breiten und Querschnitten. Die zwei Scannerachsen des Kippspiegelsystems sind Bestandteil des interpolierenden Achssystems.

Einsatzgebiete:

- **Laserauftragschweißen:** endkonturnahe Bearbeitung durch hohe Präzision, weniger Nachbearbeitungsaufwand und in Echtzeit änderbarer Auftragschweißraupenquerschnitt
- **Laserschweißen:** Spaltüberbrückung (Beispiel: I-Nähte mit bis zum 10-fachen der herkömmlichen Spaltbreite) und Energieeintragsverteilung für kritische Schweißaufgaben (Beispiel: Verbinden von dünnen und dicken Materialien)
- **Laserhärten:** breitere Härtespuren, anpassen der Härtegeometrie, Laserleistung ist in jedem Punkt der Härtegeometrie modulierbar, dadurch wird ein optimaler Energieeintrag gewährleistet



Vielen Dank für Ihr Interesse.

LASERVORM GmbH
Südstraße 8
09648 Altmittweida
Deutschland

Tel.: +49 3727 9974-0
Fax: +49 3727 9974-10

www.laservorm.com
info@laservorm.com



Mitglied im



DVS – Deutscher Verband für
Schweißen und verwandte Verfahren e. V.



Mitglied
Member



Wir danken für die
Unterstützung unserer
Entwicklungen:



GEFÖRDET VOM

