Schlussbericht zum

Luftfahrtforschungsprogramm

Verbundprojekt: Auto LFZ

Entwicklung eines automatisierten Systems zur ganzheitlichen Oberflächenbearbeitung von LFZ, kurz: Auto - LFZ.

Berichtszeitraum: 1 / 2007 - 03 / 2012

Förderkennzeichen: 20W0603A

ZE: SLCR Lasertechnik GmbH		**Förderkennzeichen:** 20W0603A
Vorhabensbezeichnung:	Entwicklung eines automatisierten Systems zur ganzheitlichen Oberflächenbearbeitung von LFZ, kurz: Auto - LFZ.	
Laufzeit des Vorhabens:	1. Jan. 2007 - 30. Mär. 2012	
Berichtszeitraum:	Januar 2012 bis März 2012	
Berichterstatter:	U. Freyaldenhoven	
Datum: 24. Aug. 2012	**Unterschrift**	

Inhalt

1 Zusammenfassung 3
1.1 Die wichtigsten technisch-wissenschaftlichen Ergebnisse 3
1.2 Stand des Vorhabens im Vergleich zur ursprünglichen Planung 5
1.3 Änderung der Aussichten für die Erreichung der Ziele des Vorhabens 5
1.4 FE-Ergebnisse von dritter Seite 5
1.5 Fortschreibung des Verwertungsplans 5
1.6 Zusammenarbeit mit anderen Stellen 5
2 Technischer Bericht 6
2.1 Anwendungsbereich und Lösungsansatz 6
2.1.1 **Mögliche Einsatzfelder** 6
2.1.2 Bauteilspektrum, Ausführungsansätze 7
2.2 Laser Strahlführung 12
2.2.1 Alternativen 12
2.2.2 Tracker Strahlführung 12
2.2.3 Arbeitskopf 16
2.3 Mobiles Plattformsystem 18
2.3.1 OmniMove 19
2.3.2 Versuchsträger Gesamtsystem 23
2.4 Laser 27
2.4.1 TEA 27
2.4.2 Faserlaseranwendung 28
2.5 Laserentlackung 29
2.5.1 Entlackungsleistung 29
2.5.2 Wechselsystem Adapter 35
2.5.3 Bauteilspektrum 36
2.6 Steuerung 39
2.6.1 Systemsteuerung 39
2.6.2 Ansteuerung Faserlaser 57
2.6.3 Robotersteuerung Lackieranteil 57
2.7 Positionierung der Bauteile, MoDuPoSys 61
2.8 Skalierung der Systemanwendung 63
2.9 Finale Bearbeitung und weitere Möglichkeiten 64
2.9.1 Abschlusspräsentation 64
2.9.2 Weitere Ansätze 67
2.10 Sonstiges 69
3 Veröffentlichungen, Vorträge 69
4 Zusammenstellung der verwendeten Fachliteratur 69
5 Erstellte Dokumentation 69

1 Zusammenfassung

1.1 Die wichtigsten technisch-wissenschaftlichen Ergebnisse

a. Lastenheft Spezifikation

- Zu Beginn des Projektes wurden der aktuell stand der Technik und die verfügbaren Technologien in einer intensiven Recherche überprüft. Während der gesamten Laufzeit des Programms wurden durch Teilnahme an Konferenzen und in vielen Diskussionen mit potentiellen Anwendern neue Entwicklungen oder veränderte Anforderungen kontinuierlich beobachtet und berücksichtigt.
- Basierend auf den Ergebnissen der im Projekt GROBAL bereits erzielten Erkenntnisse wurden zunächst verschiedene Konzeptvarianten betrachtet. Hierbei wurden insbesondere notwendige Erreichbarkeiten mit den daraus resultierenden Randbedingungen für die Systemspezifikation verschiedener Varianten gegenübergestellt. .
  Über eine Entscheidungsmatrix wurden die besten Lösungsansätze ausgewählt. Hierbei wurden insbesondere die Randbedingungen für die Systemspezifikation verschiedener Varianten gegenübergestellt und die Voraussetzungen der unterschiedlichen Lösungsansätze, insbesondere Auswahl des Roboter und der Systemplattform, betrachtet.
- Dies wurde im Lastenheft zusammengeführt, das in mehreren Iterationsschritten weitergeführt wurde.

Systemkomponenten

b. Laser
Es wurde experimentell ermittelt, wie durch gezielte Optikanpassungen die Längenänderung und Strahldrehung des CO_2 Laserstrahls bei der Bewegung des Arbeitskopfes ausgeglichen werden kann. Hierzu wurde ein geeigneter Strahlaufbau entwickelt und gebaut.
Für die Anwendung der Faserlaser wurde ein Integrationskonzept entwickelt, wobei der Laser sowohl direkt mit dem Roboter, als auch als getrennte Einheit betrieben werden kann.

c. Arbeitskopf
Basierend auf den Voruntersuchungen und der erstellten Spezifikation der zum Einsatz kommenden Arbeitsköpfe, wurden die Köpfe für den Versuchsträger entwickelt und gebaut. Einen großen Einfluss auf die Auslegung des CO_2 Kopfes hatte der am Arbeitskopf angebaute Tracker.

d. Strahlführung
Zur Führung des CO_2 Laserstrahls wurde ein Trackersystem entwickelt, welches den Laserstrahl von einer Sendereinheit bis zum Arbeitskopf frei durch den Raum führt. Dieses Trackersystem wurde von SLCR komplett neu entwickelt und an die notwendigen Randbedingungen angepasst.
Die Führung des Faser Laserstrahls erfolgt über einen Lichtwellenleiter, der am Roboterarm entlang geführt wurde.

e. Steuerung
   - Für die Plattform und die Laseranwendung wurde eine Robotersteuerung modifiziert und auf die notwendigen Anforderungen angepasst. Für den Tracker wurde eine eigenständige Steuerung entwickelt, um diese Komponenten unabhängig von den jeweiligen Robotermodellen betreiben zu können.
   - Für die Integration der weiteren Technologien und um die extrem großen Bauteile bearbeiten zu können, wurde eine erweiterte Robotersteuerung entwickelt, welche die Lackieraufgaben des Projektpartners berücksichtigt und diese integriert. Die gesamte Robotersteuerung wurde zunächst in einem kleinen Aufbau auf Funktionalität geprüft und dann in der Anwendung des Demonstrators bei dem Projektpartner SLF integriert und getestet.

f. Systemaufbau
   - Der Demonstrator wurde zunächst in Baugruppen bei SLCR in Düren ohne OmniMove montiert. Nach gemeinsamen Vortests wurde er bei Kuka erweitert und anschließend komplett in Düren montiert und der Strahlengang vom Laser bis zum Sender in das System integriert.
   - Der elektrische Aufbau des Versuchsträgers inkl. der Trackerverkabelung durch den Roboter sowie aller Schaltschränke wurde im Anschluss an die mechanische Montage bei SLCR durchgeführt. Die Programmierung der Steuerung und der Benutzerschnittstelle wurde vorgenommen und der Versuchsträger in Betrieb genommen.
   - Im Rahmen der Testphase wurden mechanische und elektrische Modifikationen an einzelnen Baugruppen vorgenommen, gemäß der Fortschritte und Ergebnisse im Projektverlauf.

g. Versuche
   - Nach Vorversuchen mit den einzelnen Systemkomponenten wurden erste Testläufe mit dem Gesamtsystem gemacht.
   - Erste Versuche auf großen Bauteilen wurden in 2009 mit der Versuchsanlage bearbeitet.
   - Nach erfolgreichen Bearbeitungen an realen Bauteilen mit dem TEA-CO_2-Laser wurden später auch entsprechende Versuche mit dem integrierten Faser Laser durchgeführt.
   - Durch Anpassung der Hardware-Komponenten, sowie durch die Veränderung von Programmstrukturen, konnte ein guter Ablauf mit allen Systemkomponenten erzielt werden.

h. Validierung des Projektträgers
   - Zum Projektabschluss fand die Validierung der Projektergebnisse statt. Diese erfolgte durch die Größe der einzelnen Installationen an unterschiedlichen Orten. Bei SLCR erfolgte die Validierung der mobilen Roboteranteile auf der Plattform mit den verschiedenen Lasertypen.

i. Projekterweiterung MoDuPoSys
   - Durch die Projekterweiterung konnten in Zusammenarbeit mit der Fa. Dürr die Arbeitspakete des Teilprojekts Bauteilpositionierung und Integration in die Prozesskette bearbeitet werden.

1.2 Stand des Vorhabens im Vergleich zur ursprünglichen Planung

Das Projekt konnte innerhalb des vorgesehenen Zeitplans und im Rahmen des angestrebten Kostenrahmens durchgeführt werden. Die Details hierzu ergeben sich aus dem Verwendungsnachweis und der Abrechnung.

1.3 Änderung der Aussichten für die Erreichung der Ziele des Vorhabens

Die Entwicklungsziele des Projektes wurden erreicht. Jedoch mussten im Projektverlauf durch die nicht konstante Mitarbeit der industriellen Projektpartner KUKA und Lufthansa Technik erhebliche Modifikationen in der Durchführung der einzelnen Arbeitspakete erfolgen. Durch die Flexibilität der einzelnen KMU Projektpartner und die enge Zusammenarbeit konnten diese Schwierigkeiten aber aufgefangen werden.

1.4 FE-Ergebnisse von dritter Seite

FE-Ergebnisse von dritter Seite, die für das laufende Vorhaben relevant sind, sind nicht bekannt.

1.5 Fortschreibung des Verwertungsplans

Mit dem Ende des Projektes ergab sich keine Änderung gegenüber den Aussagen im Projektantrag. Der Demonstrator wird von den Partnern für weitere Entwicklungs- und Marketingaufgaben genutzt. Im Rahmen dieser Nutzung werden weitere Veränderungen am Demonstrator vorgenommen. Die finanziellen Mittel für diese Modifikationen werden von den Projektpartnern eigenständig aufgebracht.

Es laufen nun die Vermarktungsaktivitäten, um die gewonnenen Erkenntnisse in industrielle Produkte und Anwendungen umzusetzen.

1.6 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Mit den Projektpartnern wurde das Lastenheft erarbeitet. Die Validierung wurde ebenfalls in enger Kooperation mit den Partnern durchgeführt.

FE-Unteraufträge wurden nicht vergeben.

Es wurden diverse Gespräche mit potentiellen Projektpartnern geführt.

2 Technischer Bericht

2.1 Anwendungsbereich und Lösungsansatz

2.1.1 Mögliche Einsatzfelder

Im ersten Schritt wurde eine grundlegende Analyse der möglichen Einsatzgebiete für die geplante Anwendungsentwicklung vorangeschaltet. Um die Technologie später möglichst flexibel einsetzen zu können wurden grundsätzliche Überlegungen der möglichen Einsatzgebiete der Technologie bzw. einzelner Komponenten der Technologie betrachtet.
Folgende Anwendungsfelder konnten als grundsätzlich weiteres Potential über die LFZ-Industrie hinaus identifiziert werden.

Inspektionsarbeiten

- **Strommasten oder andere Stahlkonstruktionen**
  Die Technologie könnte zur Inspektion von Strommasten dienen, indem sie mit einem Sensor (Ultraschall- oder Röntgensensor) den Zustand des Stahls prüft. Auch andere Stahlkonstruktionen, die eine flexible und mobile Inspektion benötigen könnten so geprüft werden.
- **Brücken**
  Der Einsatz von Geräten zur Inspektion von Brücken stellt ein weiteres Anwendungspotential dar. Hierzu könnte ein Gerät entwickelt werden, welches automatisiert die einzelnen Abschnitte einer Brücke auf ihren Zustand hin kontrolliert. Als Sensoreinheit könnten hier Infrarot-, Ultraschall- oder Röntgensensoren dienen.
- **Rohrleitungen**
  Eine wichtige Aufgabe zur Sicherstellung des zuverlässigen Betriebes chemischer Anlagen ist die Überwachung in Betrieb befindlicher Rohrleitungssysteme, die einem Wanddickenabtrag durch Korrosion oder Erosion unterliegen. Auch die Prüfung auf Leckagen spielt eine wichtige Rolle in vielen Bereichen der Industrie. Eine Überprüfung kann mit Infrarot-, Ultraschall- oder Röntgensensoren erfolgen. Aber auch Gasdetektoren und optische Untersuchungssysteme sind durchaus denkbar.

Reinigung und Entlackung

- **Große Strukturen**
  Die Entlackung oder Reinigung von großen Strukturen wie Luftfahrzeugstrukturen aber auch Strommasten oder andere Stahlkonstruktionen. Denkbar wäre eine Entlackung für alle größeren Stahlkonstruktionen. Als Konzept dient hier das vor gut 10 Jahren von der Fa. Putzmeister - leider nicht erfolgreich - entwicklete skywash System.
- **Fensterputzroboter**
  Die Technik könnte auch zur Reinigung von Gebäudefassaden mittlerer Größe dienen. Dort ist der Einbau von Fensterputzaufzügen oft nicht wirtschaftlich oder

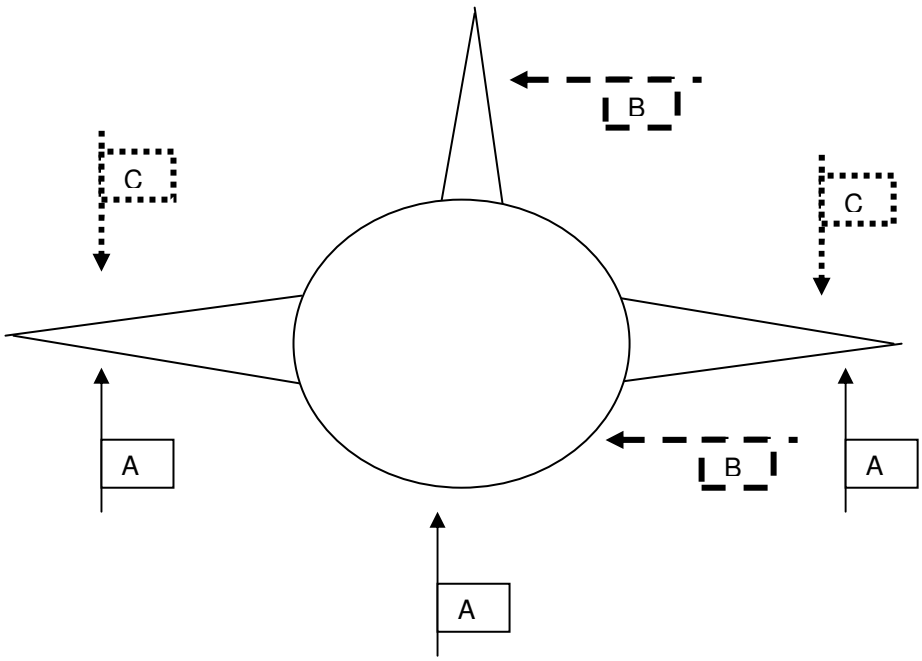
aus technischen Gründen nicht möglich. Über eine genaue Positionierung und eine Abstandsregelung könnte die Reinigung bis hin zur Entfernung von Grafitti weitestgehend automatisiert werden.

2.1.2 Bauteilspektrum, Ausführungsansätze

Für die konkrete Auslegung der Entwicklung wurde das Anwendungsspektrum explizit auf die Luftfahrtanwendungen konzentriert. Die Ergebnisse sind Bestandteil des Lastenheftes. Die zugänglichen Flächen und deren Position müssen festgelegt werden, die sich aus der Größe und der Form der LFZ ableiten.

Drei Bereiche müssen für die Auslegung der Bearbeitung betrachtet werden:

A) Anwendungen von unten („Überkopf Bearbeitung“)
B) Anwendungen an senkrechten Flächen
C) Anwendungen von oben



Hierbei sind zudem zwei grundsätzliche Kategorien von Bauteilen zu betrachten. Bauteile die vom Luftfahrzeug abzubauen sind (Off-A/C) und somit dem Bearbeitungsgerät zugeführt werden können sowie Bauteile die nicht vom Luftfahrzeug abgebaut werden können (On-A/C) und somit direkt am Objekt bearbeitet werden müssen. Dies gilt in gleicher Weise für alle Oberflächen von alternativ zu betrachtenden Anwendungen.

Einige der in Betracht kommenden Bauteileabmessungen sind in den folgenden Tabellen aufgelistet:

Beispiele für On-A/C Anwendungen:

Bauteil **On-A/C**	Länge [m]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Flügelfläche [m²]
Fighter A/C				
z.B.: F-16	14,52	9,45	5,09	27,87
F-22	~18,00	~13,56	5,03	78,04
F-35	15,40	10,60		41,80
F-35 CV	15,50	13,1 / 9,1		50,20
Tornado	18,08	13,9 / 8,56	5,94	
EFA	15,96	10,95	5,29	
Single Aisle				
z.B.: A319/	33,8	33,91	11,8	
A320	37,57	33,91	11,8	
B 737	33,63	34,31	11,13	
B 757	47,32	13,56	38,05	
Wide Body				
z.B.: A340	57,12	45,23	12,92	
A380				
B 747	70,66	64,92	19,41	

Beispiele für Off-A/C Anwendungen:

Bauteil **Off-A/C**	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	OF [m²]
SLW A319/ A321	7.972	806	6.202	47,5
SLW A318	8.265	806	6.898	49,5
SLW A380	19.123	1.787	14.594	240,0

Die angegebenen Maße zeigen die Problematik der Zugänglichkeit auf. Die daraus resultierenden Vorgaben sind im nachfolgenden aufgeführt.

Maße Anwendungsbereiche:

A) Anwendungen von unten („Überkopf Bearbeitung“)

Fighter

kleinstes Maß:	1,5 m
größtes Maß:	3,0 m

large civil A/C

kleinstes Maß:	2,0 m
größtes Maß:	6,0 m

B) Anwendungen an senkrechten Flächen

Fighter

kleinstes Maß:	1,0 m
größtes Maß:	6,0 m

large civil A/C

kleinstes Maß:	1,5 m
größtes Maß:	25,0 m

C) Anwendungen von oben

Fighter

kleinstes Maß:	2,0 m
größtes Maß:	5,0 m

large civil A/C

kleinstes Maß:	4,5 m
größtes Maß:	15,0 m

Systemkonfiguration:
Daraus ergeben sich für die Umsetzung folgende Systemelemente:

- Systemträger
  Tragsystem zur Aufnahme des Gesamtsystems, möglichst als mobiler Systemträger zum Verfahren und Grobpositionierung.
- Hubeinheit
  Fest oder vertikal verfahrbare Aufnahme zur Positionierung des Roboters und der notwendigen Systemkomponenten in der benötigten Arbeitshöhe. Diese Option wird nur insoweit benötigt, als dass der Manipulator selber die Bauteilgröße nicht abarbeiten kann.
- Interne Verfahrachse
  Zur Erweiterung des Bearbeitungsbereiches sollen entweder der komplette Roboter oder der Arm zusätzlich entlang mindestens einer horizontalen Achse verfahren werden können.

- Roboter
  Knickarm oder Gantry-System.
- Medienführung
  Zuleitung von Laserstrahl, Lacken, Steuerungsleitungen, sowie Versorgungsleitungen wie Strom, Absaugung, etc.
- Arm
  Erweiterung oder Verlängerung des Roboters.
- Kopf
  Zur Aufnahme und Feinjustage der einzelnen Applikationstechnologien.
- Steuerung
  Gesamtsteuerung und Systemkontrolle.
  Steuerung der Komponenten und Teilsysteme.

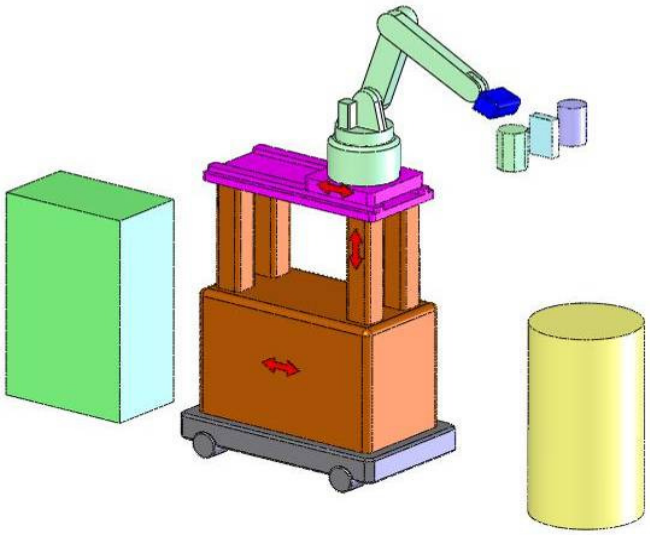


Abb. 1: Schematische Darstellung des Systemaufbaus

Erzielte Bearbeitungsabmessungen:
Die nachfolgende Darstellung zeigt die Werte, die mit der gebauten Ausführung erreicht werden:

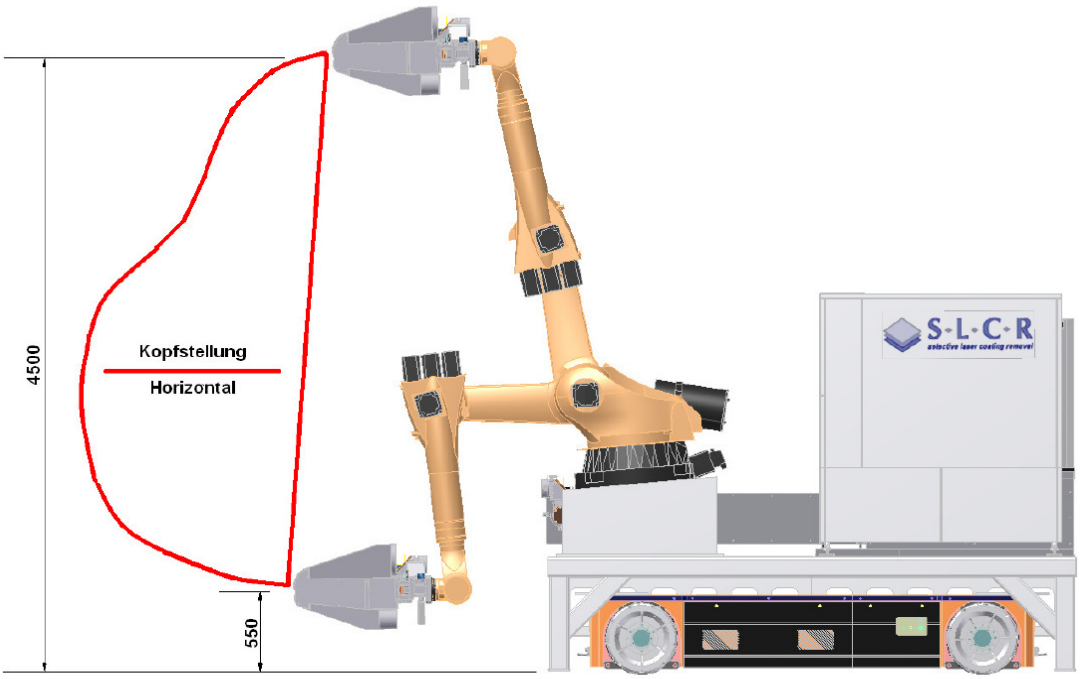


Abb. 2: Darstellung Arbeitsbereich

A) Anwendungen von unten („Überkopf Bearbeitung“)
kleinstes Maß: 2,5 m
größtes Maß: 5,0 m

B) Anwendungen an senkrechten Flächen
kleinstes Maß: 0,6 m
größtes Maß: 4,5 m

C) Anwendungen von oben
kleinstes Maß: 0,5 m
größtes Maß: 3,0 m

2.2 Laser Strahlführung

2.2.1 Alternativen

Für die Führung der Applikationen Laser wurden 3 Alternativen betrachtet:
1. Laserstrahlführung integriert durch den Roboter
2. Laserstrahlführung mittels Tracker System
3. Laserstrahlführung extern mit konventionellem Strahlarm

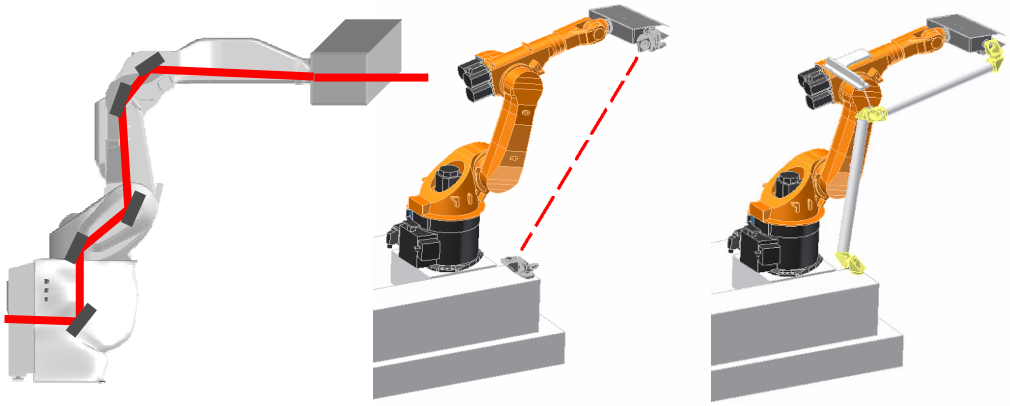


Abb. 3: 1. integriert 2. Tracker 3. extern

Aus diesen Alternativen wurden zwei Lösungen herausgearbeitet, die im Rahmen der Entwicklung weiter verfolgt wurden: Integrierte und freie Führung.

2.2.2 Tracker Strahlführung

Aus den vorliegenden Alternativen wurde die Lösung 2. „Laserstrahlführung mittels Tracker“ für den CO_2 Laserstrahl für den Bau des Versuchsträgers entwickelt.
Kernstück der Strahlführung ist das Trackersystem. Dieses besteht aus einem Sender- und Empfängerteil, die den Strahl entsprechend der jeweiligen Roboterbewegung von einem fixen Punkt auf der Plattform zum beweglichen Arbeitskopf führt.
In der ersten Version wurde das System mit zwei jeweils zweiachsigen Komponenten ausgerüstet. Siehe Abbildungen links und rechts.

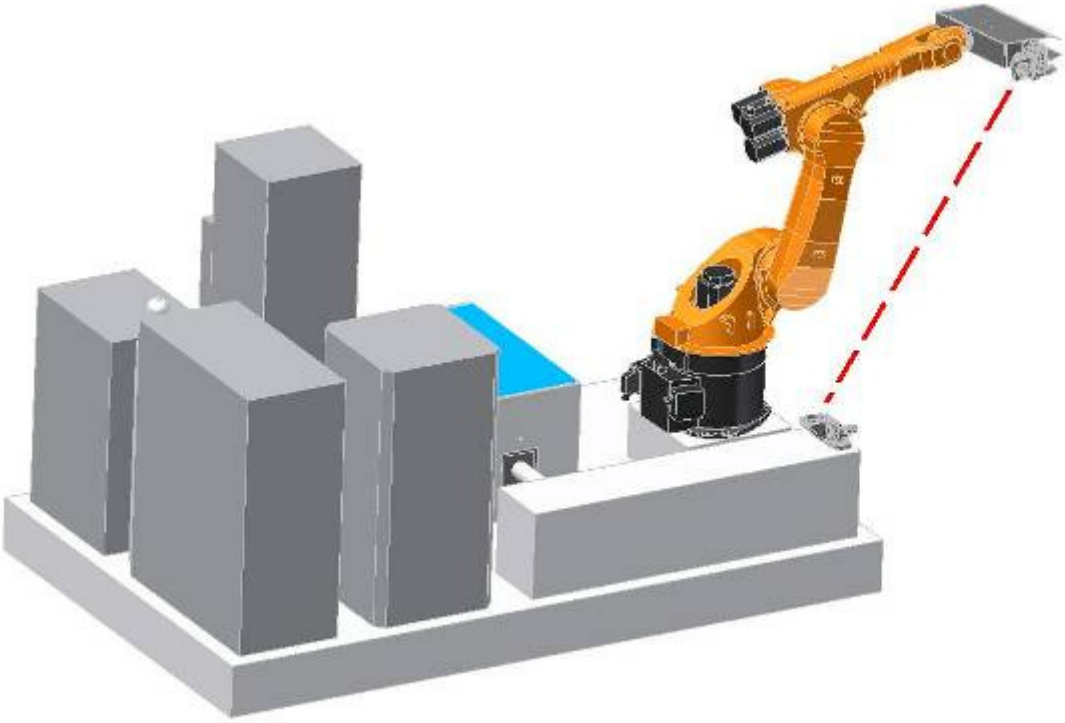
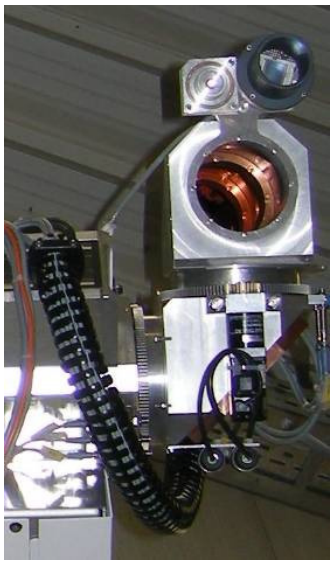
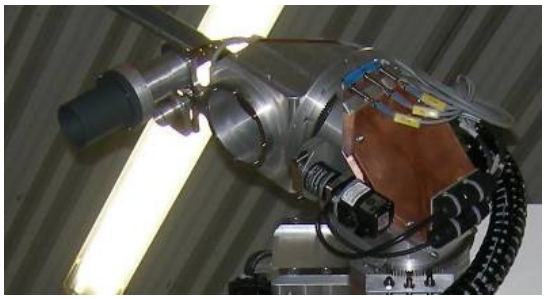


Abb. 4: Ansicht Prinzip Sender Empfänger Laserstrahl als rote Linie angedeutet





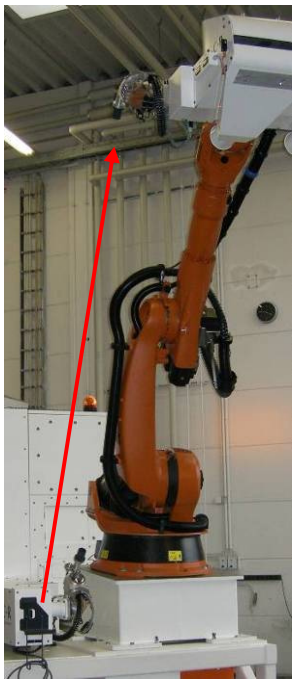


Abb. 5: Sender Empfänger Gesamtaufbau
Strahlführungssystem Tracker aus Sende- und Empfangseinheit

Die Hauptkomponenten der Strahlführung sind der Strahlformkasten, eine Strahlanpassung zum Strahllängenausgleich der Strahlwege am Arbeitskopf und ein Strahldreher zum Ausgleich der Verdrehung des Strahlkopfes.

1. Strahlformung:
   Dient zur Formung des Rohstrahls aus dem Laser zur Anpassung an die Strahlweglänge.
2. Strahllängenausgleich:
   Optische Einheit zum Strahllängenausgleich der Strahlwege zwischen Arbeitskopf und Basisplattform .
3. Strahldreher:
   Für den Ausgleich der auftretenden Strahldrehung durch den Tracker.

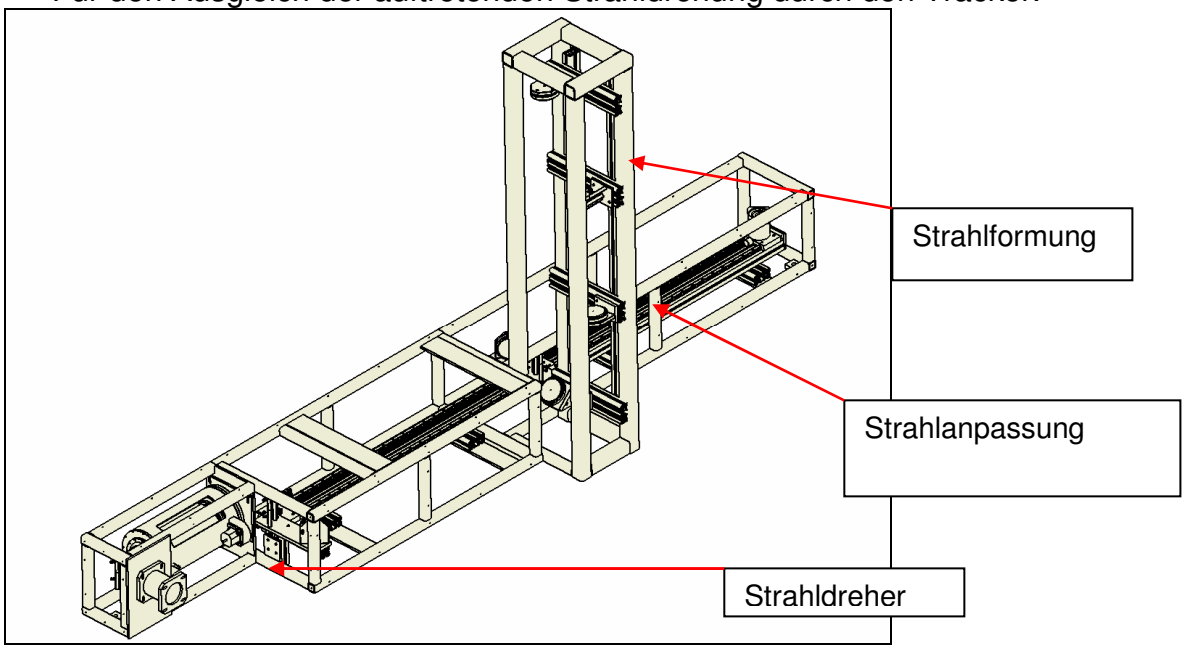


Abb. 6: Zeichnung Strahlführungssystems

Obwohl die grundsätzliche Machbarkeit bereits im Ansatz gezeigt werden konnte, war in diesem ersten Entwicklungsschritt die mechanische Ausführung des Trackers nicht genau genug. Ein Problem war die Schwingungsanfälligkeit, ein weiteres der nur in einer Ebene liegende Positionierbereich. Um diese Einschränkungen zu beseitigen, wurde eine Erweiterung des Scannersystems durchgeführt.

- Erweiterung um eine Achse
  Die mechanischen Freiheiten hinsichtlich der Strahlzustellung des Senders wurden durch den Einbau dieser Achse erweitert. Dazu wurde der Sender mechanisch erweitert und eine dritte Drehachse eingerüstet.
- Erweiterung der Kontrolleinheiten
  Um den zusätzlichen mechanischen Freiheitsgrad steuern zu können musste ein weiteres Lasertrackermodul integriert werden. Dieses musste im Sender- und Empfängersystem integriert werden, was hierzu einen Umbau beider Einheiten zur Folge hatte.
  Zudem erfolgten eine Erweiterung des Steuerungsmodells und die entsprechende Programmierung.

- Im zweiten Schritt wurde die Ansteuerung des Trackers so ausgelegt, dass ein präzises Nachfolgen ohne zeitliche Verzögerung stattfand. Hierzu mussten bestehenden Störgrößen gedämpft werden und über die benutzte Hard- und Software eine stabile Regelung erstellt werden.

Die nachfolgenden Bilder zeigen die mechanische Ausführung der dritten Achse und die Erweiterung der Sensorik zur Trackerregelung.

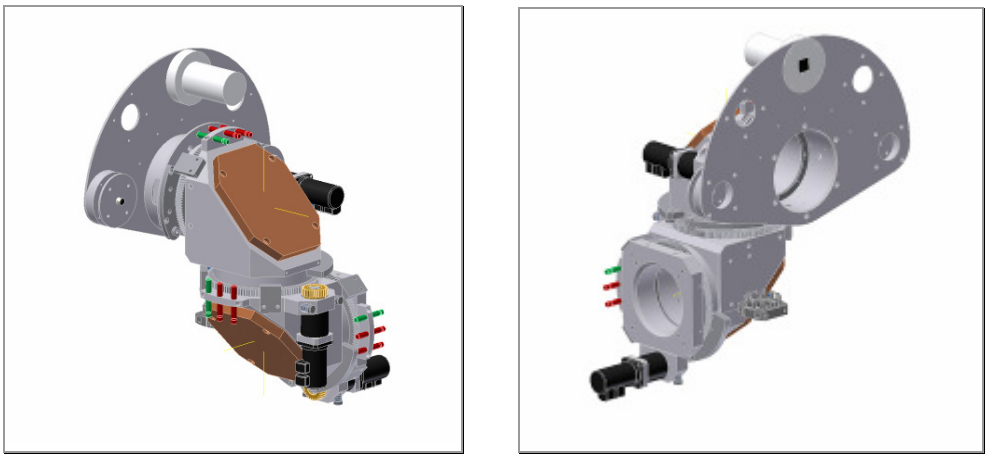


Abb. 7: Sender, dreiachsige Ausführung

Abb. 8: Sender Empfänger
dreiachsige Ausführung mit zusätzlichem Lasertrackermodul

2.2.3 Arbeitskopf

Der erste Bearbeitungskopf für den CO_2 Laser wurde komplettiert und an den Roboter montiert. Erste Tests ergaben, dass er so grundsätzlich funktioniert. Allerdings konnten viele Punkte aufgrund der Regelungenauigkeiten im Trackersystem noch nicht getestet werden. Zur Entwicklung wurde zeitweise in einer offenen Version getestet, um die Einstellungsarbeiten besser gestalten zu können. Die nachfolgende Abbildung zeigt die ausgeführte Verdrahtung des Bearbeitungskopfes mit allen für den Betrieb nötigen Aktoren und Sensoren.

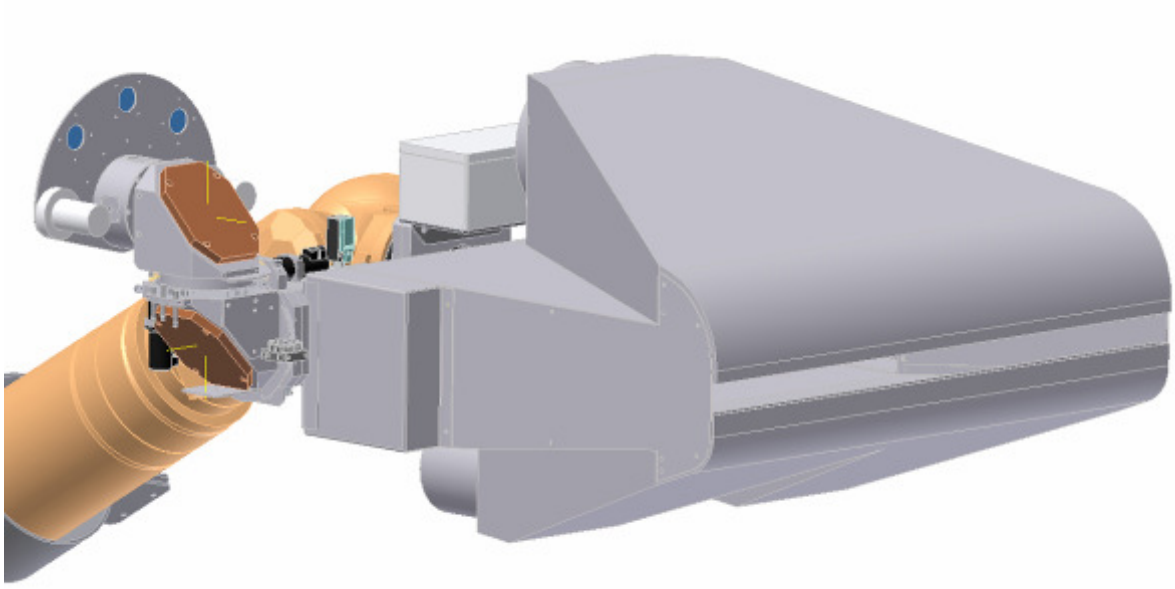


Abb. 9: Bearbeitungskopf Auslegung 3D Modell

Abb. 10: Arbeitskopf Ausführung mit Umhausung am Roboter montiert

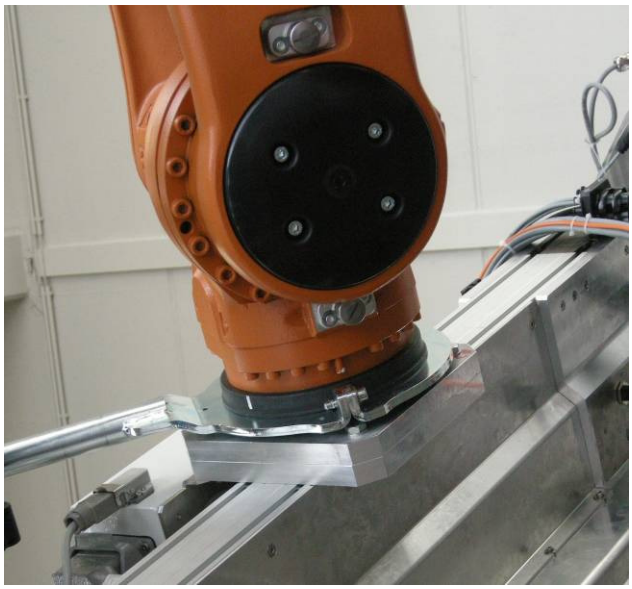


Abb. 11: Halterung Arbeitskopf

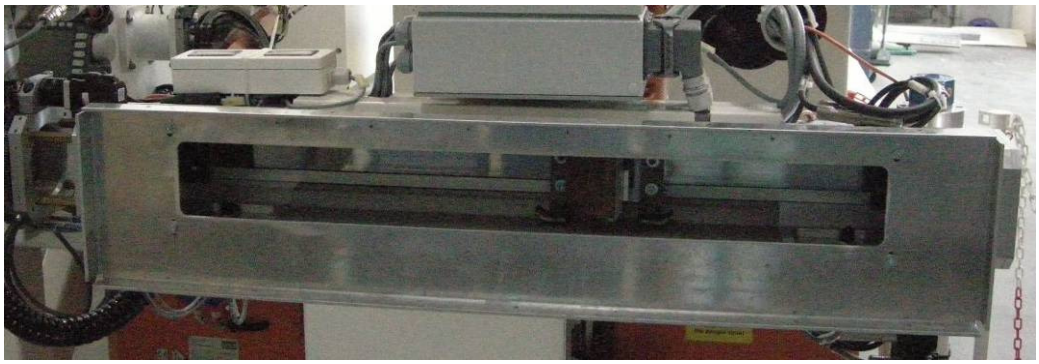


Abb. 12: Darstellung des offenen Kopfes für Komponentenversuche

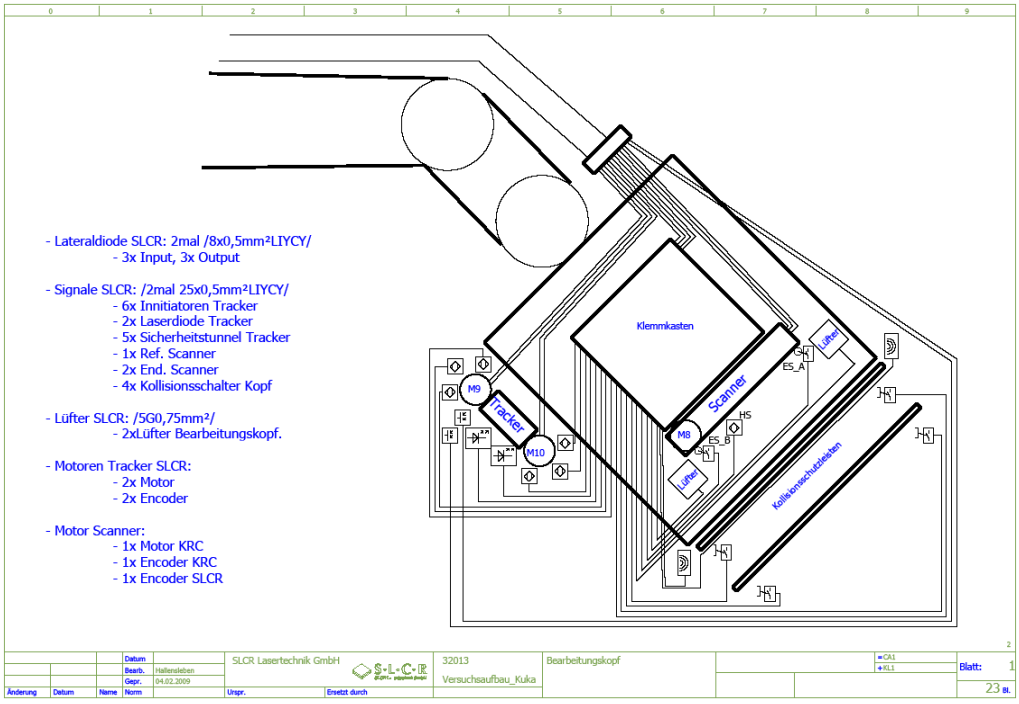


Abb. 13: Darstellung der Elektrotechnik am Bearbeitungskopf

2.3 Mobiles Plattformsystem

Für das mobile Plattformsystem wurden verschiedene Lösungsansätze ausgearbeitet.

Abb. 14: Beispiele KUKA OmniMove

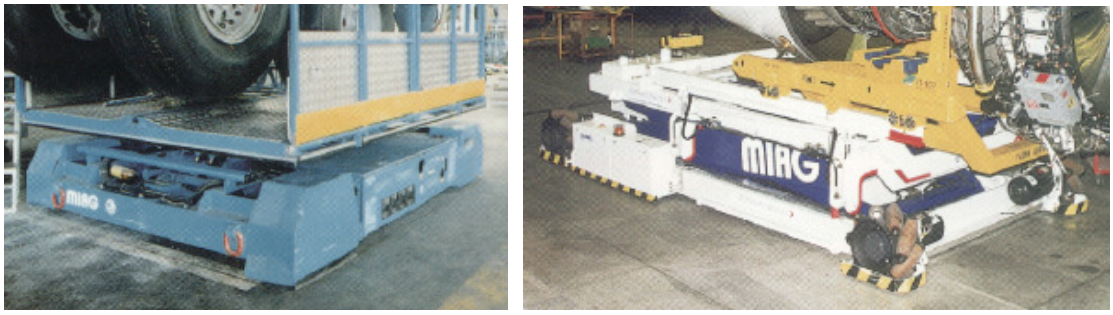


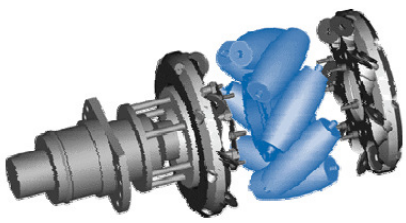
Abb. 15: Beispiele MIAG OMNIDRIVE

Besondere Beachtung bei der Auswahl fand das Antriebskonzept.

Alle Fahrzeugtypen verfügen über eine flexible Bewegungsmöglichkeit, ähnlich wie bei Luftkissenfahrzeugen. Dadurch können sie in alle Richtungen bewegt und gleichzeitig gedreht werden. Hierdurch können sie auf engstem Raum manövrieren. Die Anforderungen an die Bodenqualität sind aber wesentlich geringer im Vergleich zu Luftkissensystemen.

Der Kern dieser Technologie ist bei allen Systemen eine spezielle Radkonstruktion, wobei alle Räder einzeln angetrieben werden. Die Räder bestehen aus balligen Rollen, die unter einem Winkel z.B. 45° auf einer Felge über den Abrollumfang kreisförmig aufgebracht sind.

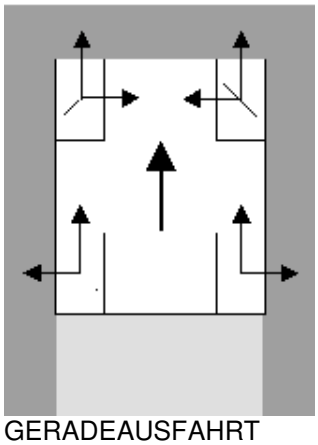
MIAG



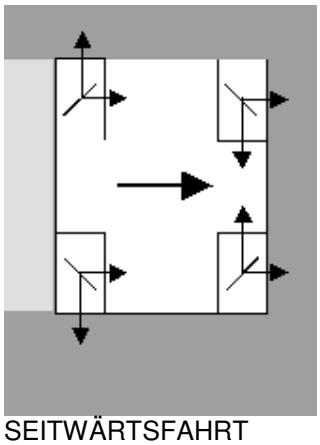
KUKA

Abb. 16:

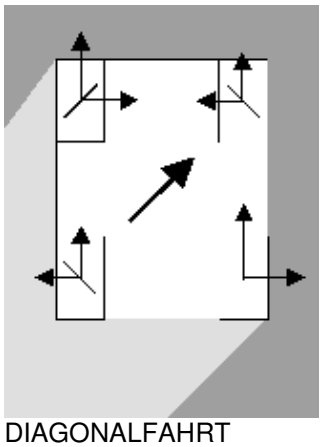
Durch die Schräganordnung der Rollen ergeben sich die unten dargestellten Bewegungsmöglichkeiten.



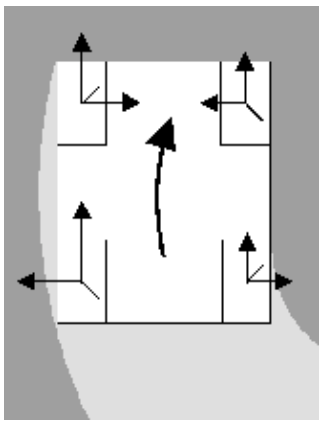
GERADEAUSFAHRT
Alle Räder bewegen sich mit gleicher Geschwindigkeit und gleicher Richtung.



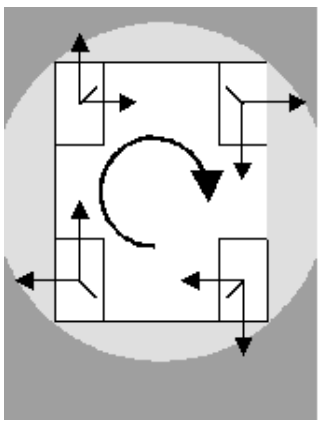
SEITWÄRTSFAHRT
Jedes Rad dreht gegenläufig zum benachbarten, alle Räder bewegen sich mit gleicher Geschwindigkeit.



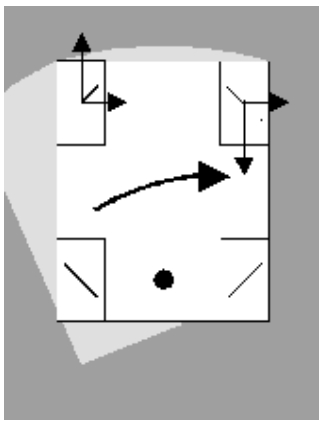
DIAGONALFAHRT
Je 2 Räder bewegen sich über die Diagonale mit gleicher Geschwindigkeit und alle Räder mit gleichem Drehsinn.



KURVENFAHRT
Je 2 Räder auf gleicher Seite bewegen sich mit gleicher Geschwindigkeit und alle Räder mit gleichem Drehsinn.



DREHUNG
Eine Seite dreht gegenläufig zur anderen mit gleicher Geschwindigkeit.



um den Mittelpunkt einer Achse
Je 2 Räder einer Achse laufen gegeneinander mit gleicher Geschwindigkeit.

2.3.1 OmniMove

Ausgewählt wurde die Lösung basierend auf einem KuKa OmniMove. Kern der Technologie ist eine spezielle Radkonstruktion, bei der alle Räder einzeln angetrieben werden. Das OmniMove-Rad besteht aus mehreren speziell geformten antriebslosen Rollen, die zwischen zwei identischen, stabilen Felgen montiert sind. Die besondere Anordnung der Rollen – bezogen auf die Radmitte unter einem Winkel von 45° - führt dazu, dass das Rad die Kreisform nachbildet.

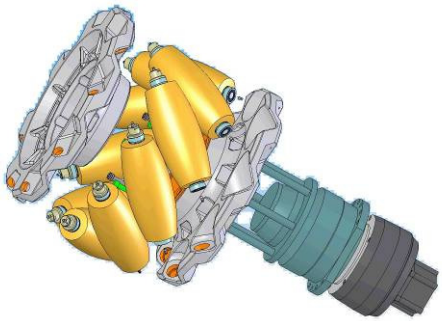
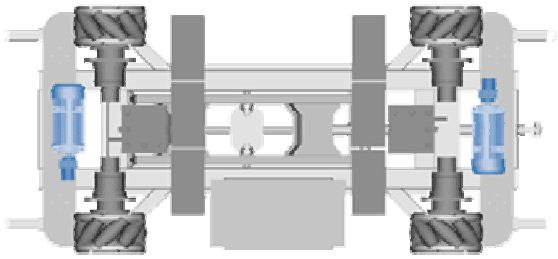


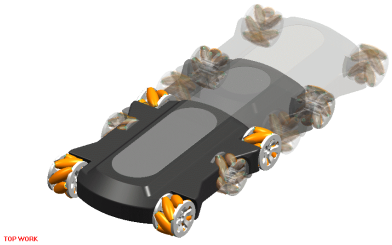
Abb. 17: KUKA OmniMove Rad



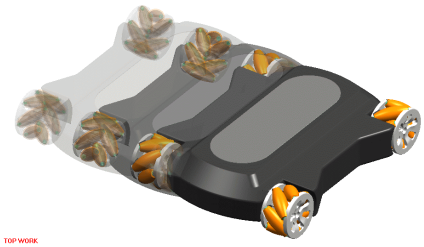
Fahrzeug

Das OmniMove-Fahrzeug besteht aus einem stabilen Chassis, einem Energiespeicher, einer Steuerungseinheit und mindestens vier OmniMove-Rädern. Jedes Rad hat einen eigenen Antriebsmotor mit Bremse und Getriebe.

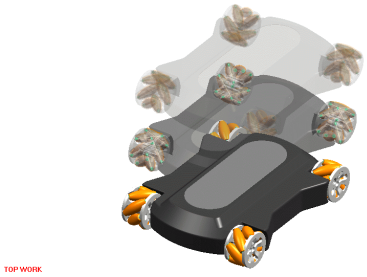
- Manövrierfähigkeit des KUKA OmniMove-Fahrzeugs
  Mit einem Joystick, bei manueller Bedienung, steuern Sie das KUKA OmniMove-Fahrzeug. Auf diese einfache Art und Weise positionieren Sie millimetergenau. Der Joystick ist über Bus mit der elektronischen Steuerung verbunden.



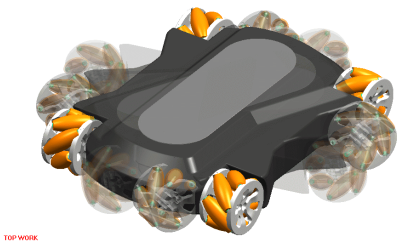
<u>Geradeausfahrt</u>
Alle Räder bewegen sich mit gleicher Geschwindigkeit in eine Richtung.



<u>Seitwärtsfahrt</u>
Jedes Rad dreht gegenläufig zum benachbarten. Alle Räder bewegen sich gleich schnell.



<u>Diagonalfahrt</u>
Je zwei Räder bewegen sich über die Diagonale mit gleicher Geschwindigkeit und alle Räder mit gleichem Drehsinn.



<u>Drehung</u>
Eine Seite dreht gegenläufig zur anderen mit gleicher Geschwindigkeit.

Ursprünglich wurden 3 Bearbeitungsmodi betrachtet

1. Manueller Modus
   Hierbei wird der Systemträger in die Bearbeitungsposition gefahren. An dieser Stelle bearbeitet er die Oberfläche soweit sie vom Manipulator aus dieser Position zu erreichen ist. Danach wird der Systemträger manuell in die nächste Bearbeitungsposition gefahren.
2. Halbautomatischer Modus
   Der Systemträger wird in ein Bearbeitungsfenster gefahren. An dieser Stelle bearbeitet er die Oberfläche soweit sie vom Manipulator zu erreichen ist.
   Der Systemträger fährt dann selbstständig in das nächste Bearbeitungsfenster. Das Verfahren wird dazu entweder fest programmiert oder von Sensoren gesteuert. Eine Alternative ist zudem, dass der Systemträger eine aktive Bearbeitungsachse übernimmt. Dies bedeutet, dass sich das gesamte System bei der Bearbeitung bewegt.
3. Vollautomatischer Modus
   Die Bearbeitungsvorgabe für das gesamte Objekt wird voreingestellt. Nach Systemstart fährt der Systemträger aus einer definierten Startposition selbstständig in die Bearbeitungsposition. Danach bearbeitet er die gesamte Oberfläche und wechselt automatisch von einer zur nächsten Bearbeitungsposition.
   (Nutzung der 3D Marker an neueren Flugzeugen)

Im Rahmen des Projektes konnte nur der Modus 1 realisiert werden. Der Modus 3 ist aufgrund der Konfiguration des OmniMove nicht möglich.

Für die Integration von Systemkomponenten befindet sich im Mittelteil über die gesamte Länge ein Freiraum von über 400 x 670 mm².

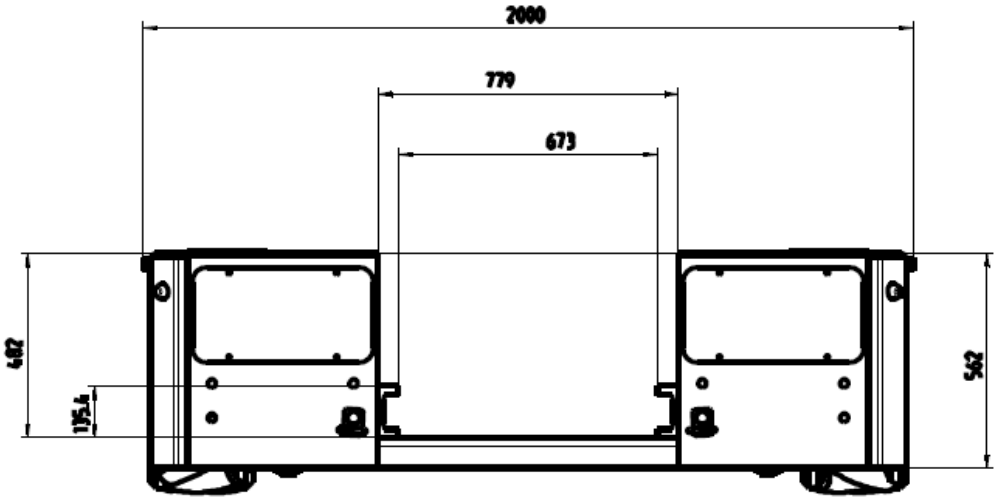


Abb. 18: Darstellung OmniMove mit Freiraum im mittleren Teil

Abb. 19: OmniMove

2.3.2 Versuchsträger Gesamtsystem

Der Systemträger wurde basierend auf den letzten Konzeptentwürfen aufgebaut.

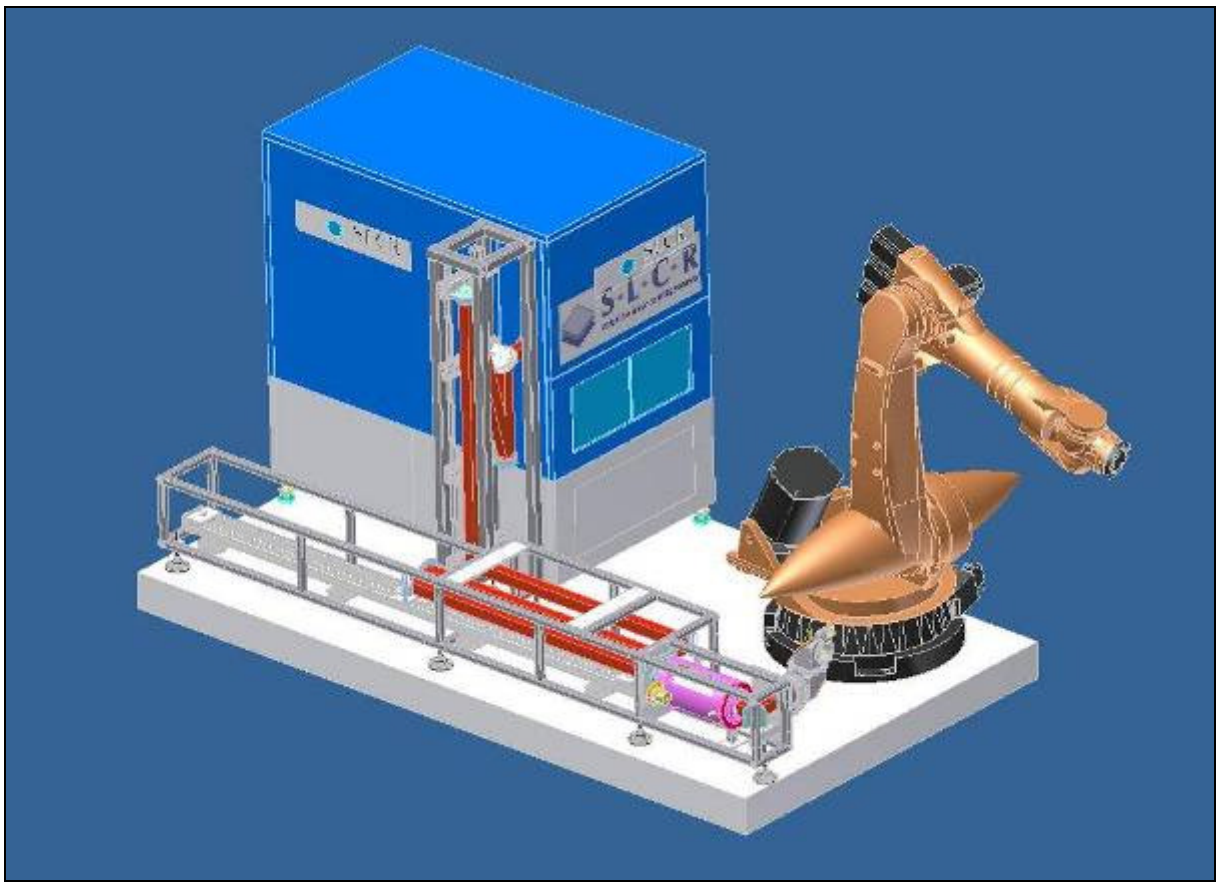


Abb. 20: 1. Konzept mit Roboter & Strahltracker

Abb. 21: Versionen mit obenliegender Strahlführung, Schaltschränke im hinteren seitlichen Bereich der Plattform positioniert

Abb. 22: Darstellung finale Auslegung mit OmniMove, Roboter und Arbeitskopf

Als Ergebnis für die finale Auslegung wurde die Version mit obenliegender Strahlführung, einer Positionierung der Schaltschränke im hinteren seitlichen Bereich der Plattform über dem Strahlkasten positioniert gewählt. Der Unterbau wurde aber bereits so angedacht, dass er für eine spätere Integration der Optik ebenfalls nutzbar wäre.

Nachfolgende Bilder zeigen den Aufbau des Systems bei SLCR in Düren:

Abb. 23: Komponentenaufbau bei SLCR in Düren

Abb. 24: Aufbau erste Stufe nur Rahmen Optik und Roboter

Abb. 25: Anlieferung OmniMove

Abb. 26: Verbinden Gestell mit OmniMove

2.4 Laser

2.4.1 TEA

Im ersten Ansatz wurde für die Bearbeitung ein gepulster TEA-CO_2 Laser verwendet. Diese Technologie beruht auf den bereits bestehenden Erkenntnissen zur Entlackung und Aktivierung von LFZ Oberflächen. Grundsätzlich wurde der Einsatz zweier Lasertypen untersucht. Zur Erreichung von Bearbeitungsvorgaben entschieden wir uns für die Anwendung mittels eines Lasers Typ HL.

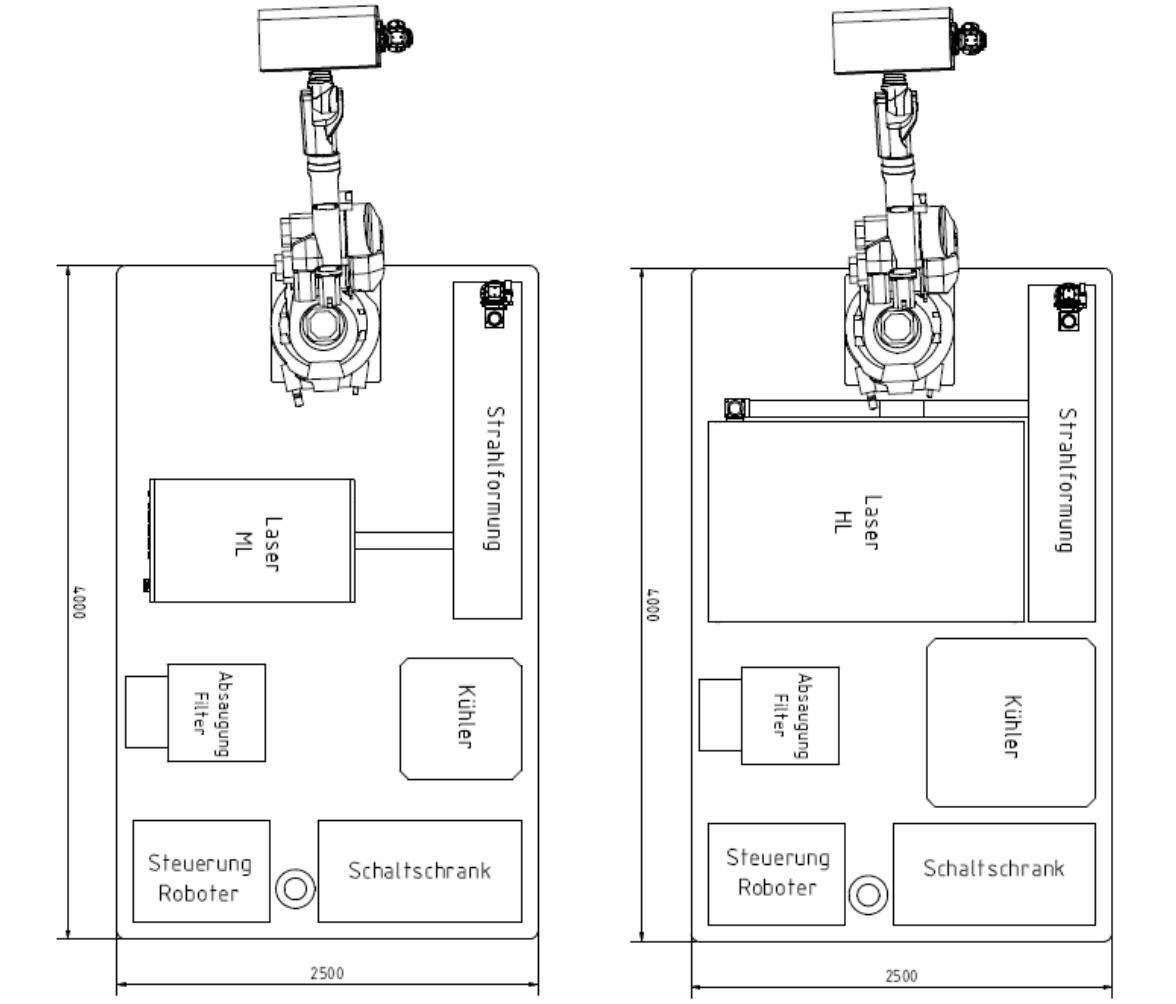


Abb. 27: Plattformentwurf mit Laser ML und HL

2.4.2 Faserlaseranwendung

Im Anschluss an die bereits gemachten Vorversuche zur Integration des Faserlasersystems mussten baulichen Veränderungen an der Systemplattform vorgenommen werden, um den Faserlaser zu integrieren. Ursprünglich sollte das Faserlasersystem zwischen Roboter und TEA-CO_2 Laser auf dem Gestell montiert werden. Dies wurde aber aus mehreren Gründen verworfen, da sowohl der Bauraum aber auch die erweiterten Nutzungsmöglichkeiten dem entgegenstanden. Als geeignete Lösung wurde der Anbau des Gerätes an den hinteren Teil des OmniMove gewählt. Hier ist genügend Freiraum.

Abb. 28: Plattformentwurf mit Laser ML und HL

Die anderen Systemkomponenten werden von dieser Stelle aus nicht beeinflusst. Die Versorgung des Lasers erfolgt durch die Zuleitung im Tunnel des Gestells. In gleicher Form wird hier das Faserkabel geführt und dann am Roboter bis zum Kopf geführt. Die Führung des Faserkabels am Roboter erfolgt außen. Hintergrund ist die dadurch mögliche flexible Nutzung auch außerhalb der Systemplattform. (Konzept der modularen Nutzung von Teilsystemen.)

2.5 Laserentlackung

2.5.1 Entlackungsleistung

Als Vorbereitung auf die Versuche auf realen Bauteilen wurden zunächst kleine Panels in verschiedenen Positionen zum Einstellen der Laserparameter und Abgleich der Variation in verschiedenen Arbeitspositionen bearbeitet.

Abb. 29: Vorbereitung der Versuche auf realen Bauteilen. Bearbeitung von Teststreifen.

Danach wurden erste komplette 3D-Strukturen bearbeitet. Zunächst wurde die Struktur abgedeckt und Teststreifen aufgebracht. Nachdem diese ordnungsgemäß bearbeitet werden konnten, erfolgte die Bearbeitung des kompletten Bauteils.

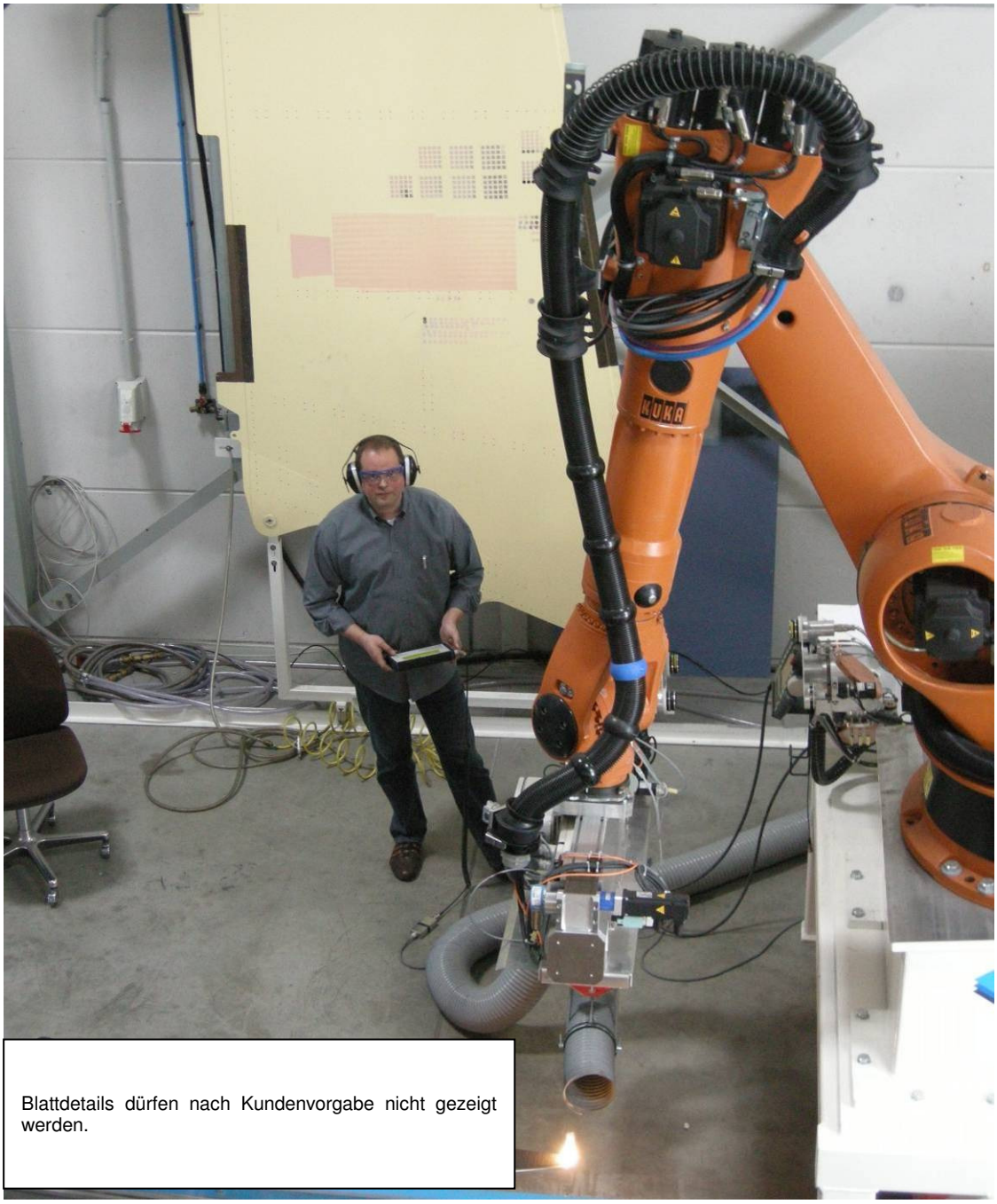


Abb. 30: Bearbeitung eines kompletten 3D-Bauteils

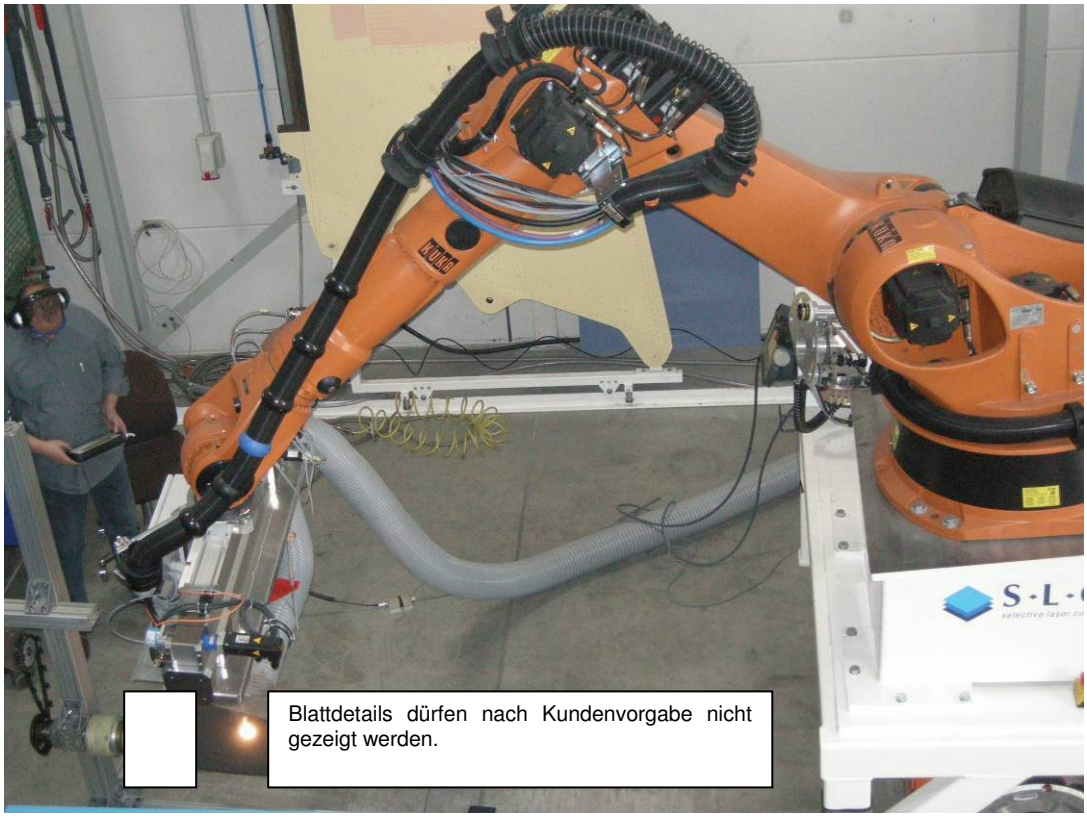


Abb. 31: Bearbeitung eines kompletten 3D-Bauteils

Abb. 32: Bearbeitung eines kompletten 3D-Bauteils

Die Ergebnisse der Bearbeitung wurden vom Kunden dokumentiert und getestet. Es sind jetzt weitere Tests geplant, um die Ergebnisse zu verifizieren und die Wirtschaftlichkeit der Laserbearbeitung zu untersuchen.

Faserlaseranwendung
Die durchgeführten Tests haben verdeutlicht, dass das Potential der Faserlaseranwendung im Bereich des besseren Handlings und der vereinfachten Zugänglichkeit unterschiedlicher Bauteildimensionen liegt. Die Möglichkeit das Faserlasersystem sowohl als integrativen Anteil am Gesamtsystem als auch als Einzel-System nutzen zu können hat sich bewährt. Die Verlegung des Lichtwellenleiters wird daher weiterhin außen am System und am Roboterarm bis zum Kopf sein. In einer späteren Ausbauphase kann mit 2 LWL und entsprechenden Steckverbindungen gearbeitet werden. Hierdurch würde der Umrüstaufwand erheblich reduziert.
Auch im Bereich der Ansteuerung des Faserlasers bleibt die Lösung über einen eigenständigen Steuerungsanteil erhalten. Auch im Hinblick auf die späteren Verwertungsmöglichkeiten bietet dies die deutlich flexiblere Alternative.

Im Bereich der Anstrichsysteme bestätigte sich die grundsätzliche Tendenz, dass bei Verwendung der Wellenlänge um 1µm die Farbe des zu entfernenden Lackes einen erheblichen Einfluss auf den Prozess hat. Dies ist zwar kein Ausschlusskriterium, allerdings wird immer wieder festgestellt, dass helle Anstriche bei dieser Wellenlänge nur schwer oder teilweise gar nicht zu bearbeiten sind.

Typischer Aufbau mit Primer, Zwischenlack und Decklack. Bei Faserverbundwerkstoffen wird teilweise auch ein Filler benutzt.

Abb. 33: Aufbau des Lacksystems für Tests

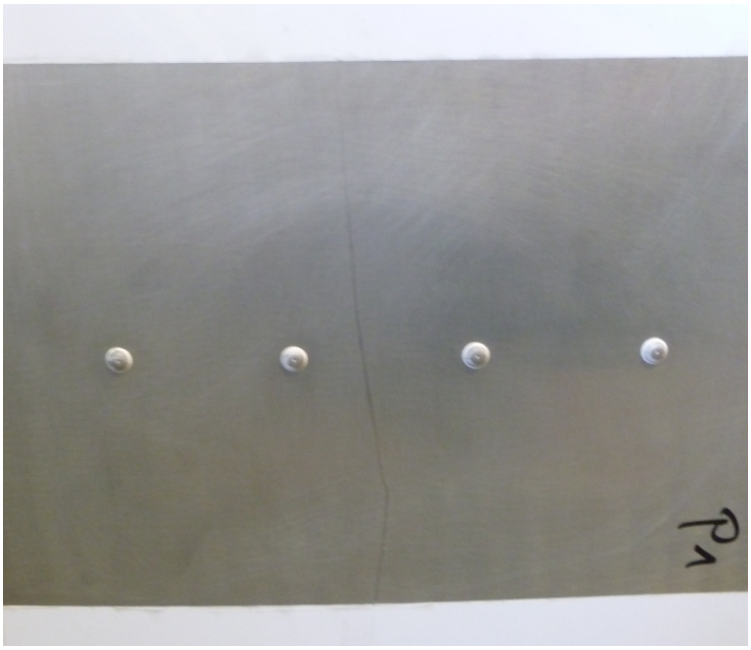


Abb. 34: mit TEA-Laser, gutes Abtragbild erkennbar, ohne jeglichen Angriff des Substrates.

Gleichmäßiger Abtrag, auch um die Nietverbindungen herum. Kein Angriff des Substrates. Selbst die Vorbehandlungsspuren (Kratzer) sind nach dem Entlacken auf der Oberfläche wieder zu erkennen.

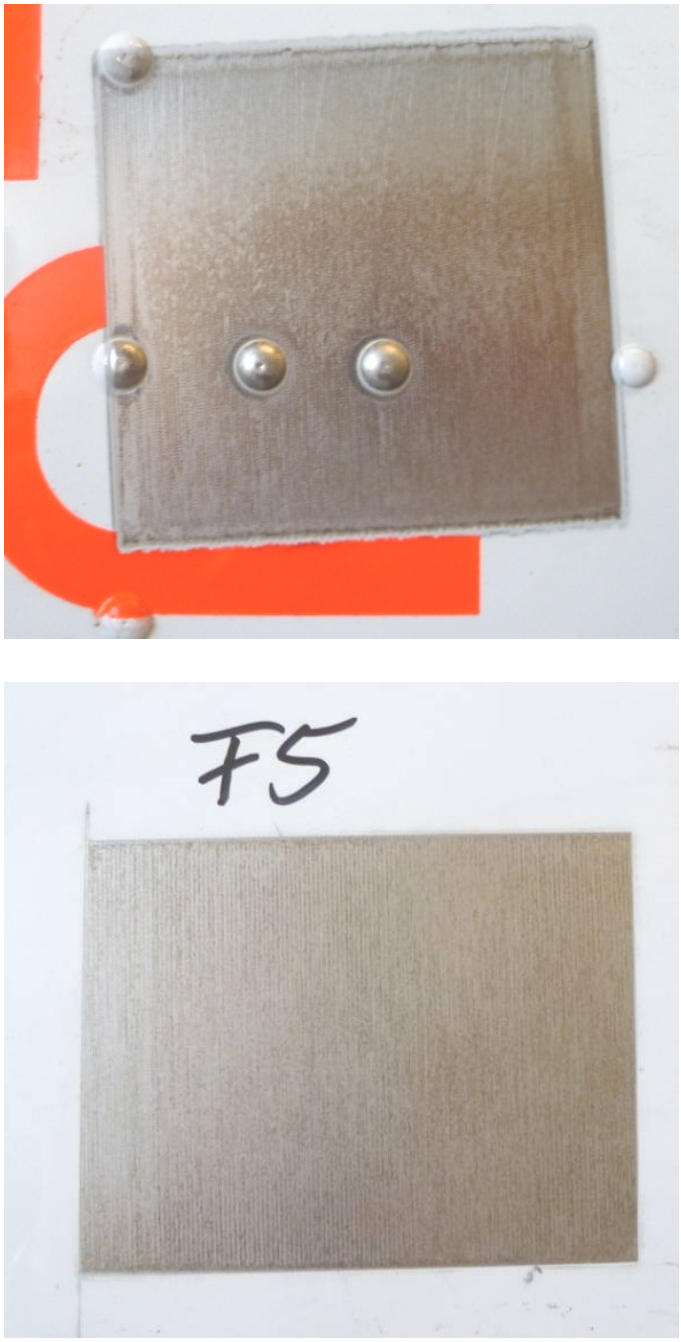


Abb. 35: mit Faser-Laser

Gutes Entlackungsergebnis bei Bearbeitung mit 1,06µm Wellenlänge auf weißem Lack. Um eine Schädigung des Grundwerkstoffes zu vermeiden dürfen, abhängig vom Grundwerkstoff und der Bauteilgeometrie, maximal zulässige Prozessparameter nicht überschritten werden. Diese bestehen aus einer Kombination aus Pulsspitzenleistung, Fluenz und kumulierte Energie.

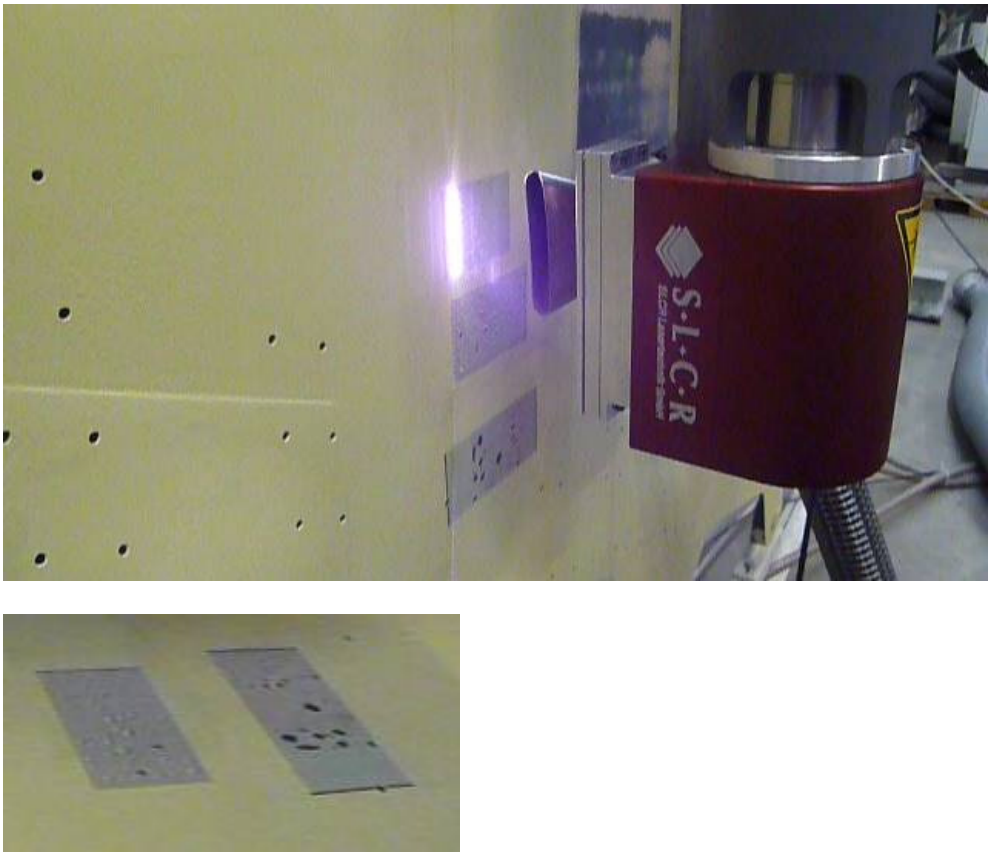


Abb. 36: Entlackung mit Faser-Laser .

Auf diesem Anstrichsystem sind allerdings deutlich die Aufkochungen des Lacks zu erkennen. Schlechte Absorption der Wellenlängen bei ~ 1 µm.

2.5.2 Wechselsystem Adapter

Die Integration von Faser und CO_2 Laserkopf war deutlich schwieriger als zunächst vermutet. Hierbei ist weniger die rein mechanische Anbindung die Schwierigkeit, sondern ein Konzept zu finden, welches die unterschiedlichen Größen sinnvoll in einem Kopf verbindet. Die Funktionalität des ursprünglich geplanten Wechselkopfsystems konnte nicht umgesetzt werden, da:

- Die Abmessungen der Köpfe baulich stark voneinander abweichen.
- Der Abstand der Optik zur Oberfläche bei der Bearbeitung sehr unterschiedlich ist.
- Die fehlenden Möglichkeiten der sauberen Trennung der Signalkabel (Anfälligkeit des Trackersystems auf Fremdeinflüsse). Eine Lösung die Signale kabellos zu übertragen ist bei den gestellten Anforderungen nicht möglich. Zum einen wegen der Übertragungsgeschwindigkeit, zum anderen wegen der Systemkontrolle und Prozesssicherheit bei Datenverlust oder -verzögerung auf dem Übertragungsweg (elektrische und optische Einflüsse).

2.5.3 Bauteilspektrum

Wie zuvor beschrieben sollte das System für die entsprechende Bauteildimensionen ausgelegt werden. Der gebaute Systemträger sollte die rechts dargestellten Bereiche bearbeiten.

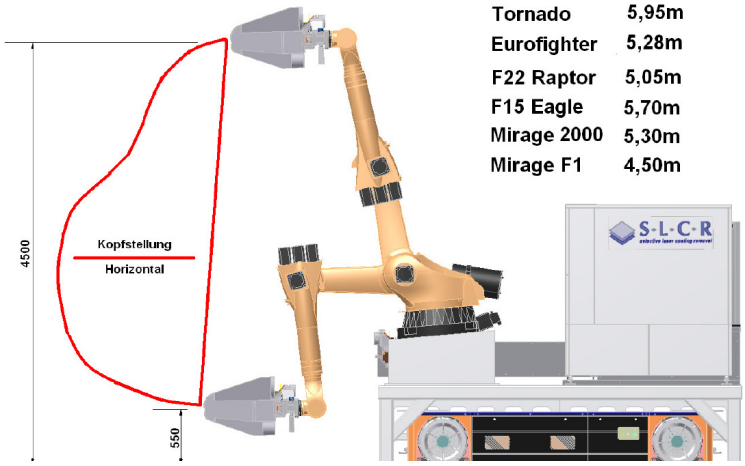


Abb. 37: Die Skizze zeigt die geplante Vorgabe des Lastenheftes. Hier waren bis 4.500mm geplant.

Abb. 38: Gesamtansicht mit TEA und Faser Laser, Roboterkinematik und beiden Köpfen.

Eine Erweiterung der Zugänglichkeit konnte durch die in der Testphase durchgeführten Modifikationen erreicht werden.

Abb. 39: Bearbeitung mit dem System und TEA CO_2 Laser
links in maximaler Höhe rechts in mittlerer Höhe

Der Bearbeitungsraum umfasst nun:

- Horizontale Bearbeitungstiefe von max. 4,65 erreicht.
  Bei der horizontalen Bearbeitung kann der Arm nicht in der voll ausgestreckten Position genutzt werden. Dies liegt daran, dass in diesem Falle der Raum zwischen OmniMove und Bauteil zu klein ist, als dass der Kopf dann nach unten gefahren werden kann.
- Vertikale Bearbeitungshöhe von max. 5,75 erreicht.
  Bei der Bearbeitung in vertikaler Richtung ist der angegebene Wert die maximal erreichbare Position. Da bei voll ausgestrecktem Arm aber keine Positionsregelung entlang der Oberfläche erfolgen kann, muss die effektive Arbeitshöhe begrenzt werden. In der bestehenden Konfiguration liegt diese bei ca. 5m.

Mobilität

Für die flexible Nutzung gehörte neben dem Verfahren am Objekt auch die Nutzung an ggfs. unterschiedlichen Standorten. Dies konnte im Rahmen einer Präsentation gezeigt werden.

Abb. 40: OmniMove beim Verladen für Transport

2.6 Steuerung

2.6.1 Systemsteuerung

Die Systemsteuerung wurde gemäß dem Konzept der Komponenten angepasst. Daraus ergeben sich für die Umsetzung folgende Systemelemente:

- Systemträger inkl. OmniMove zum Verfahren und Grobpositionierung.
- Hubeinheit als vertikale Verfahrachse für die benötigte Arbeitshöhe.
- Interne Verfahrachse zur Erweiterung des Bearbeitungsbereiches.
- Roboter.
- Kopf mit Sensoren und Steuerungselement.
- Peripheriegeräte: Kühlung, Filter, etc.

Dazu wurde ein Steuerungskonzept aufgestellt mit zwei Basiskomponenten: Der Steuerung des Roboters und der dabei möglichen Erweiterungen. Eine zweite Steuerungskomponente zur Systembedienung und Ansteuerung der peripheren Geräte sowie als weiteres Modul in diesem Teil die Trackersteuerung.

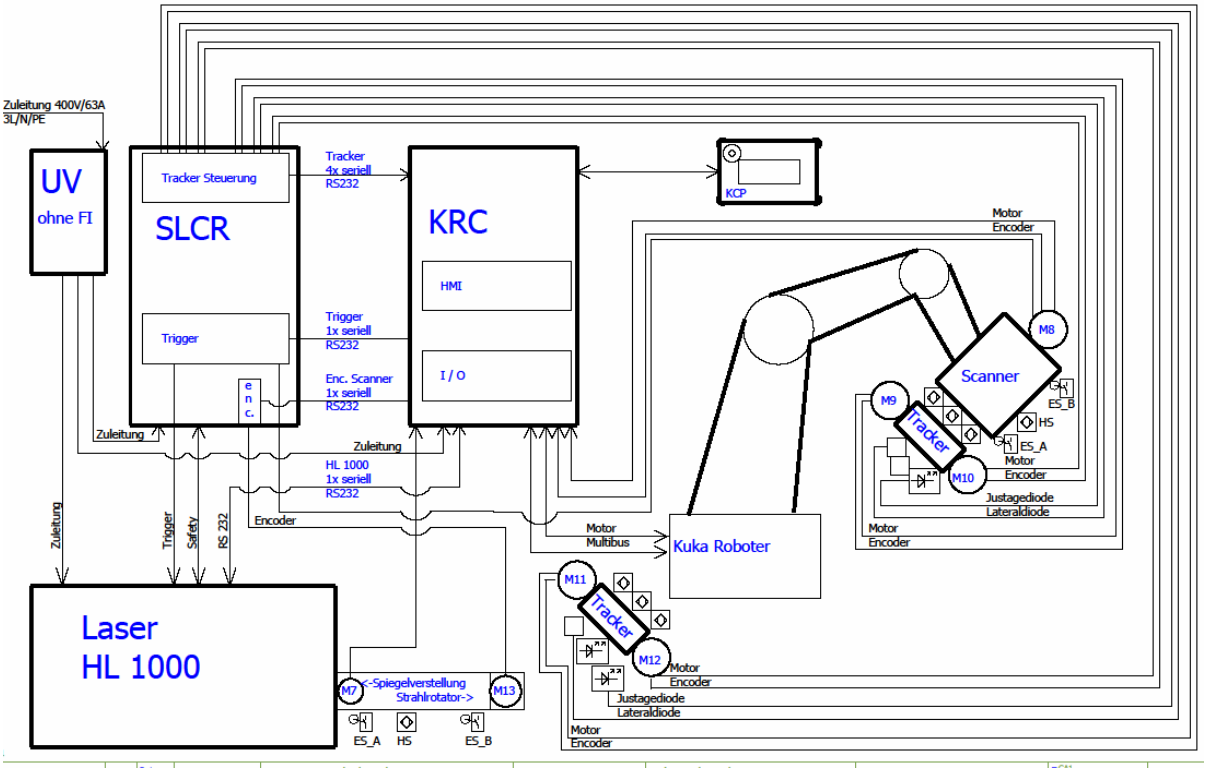


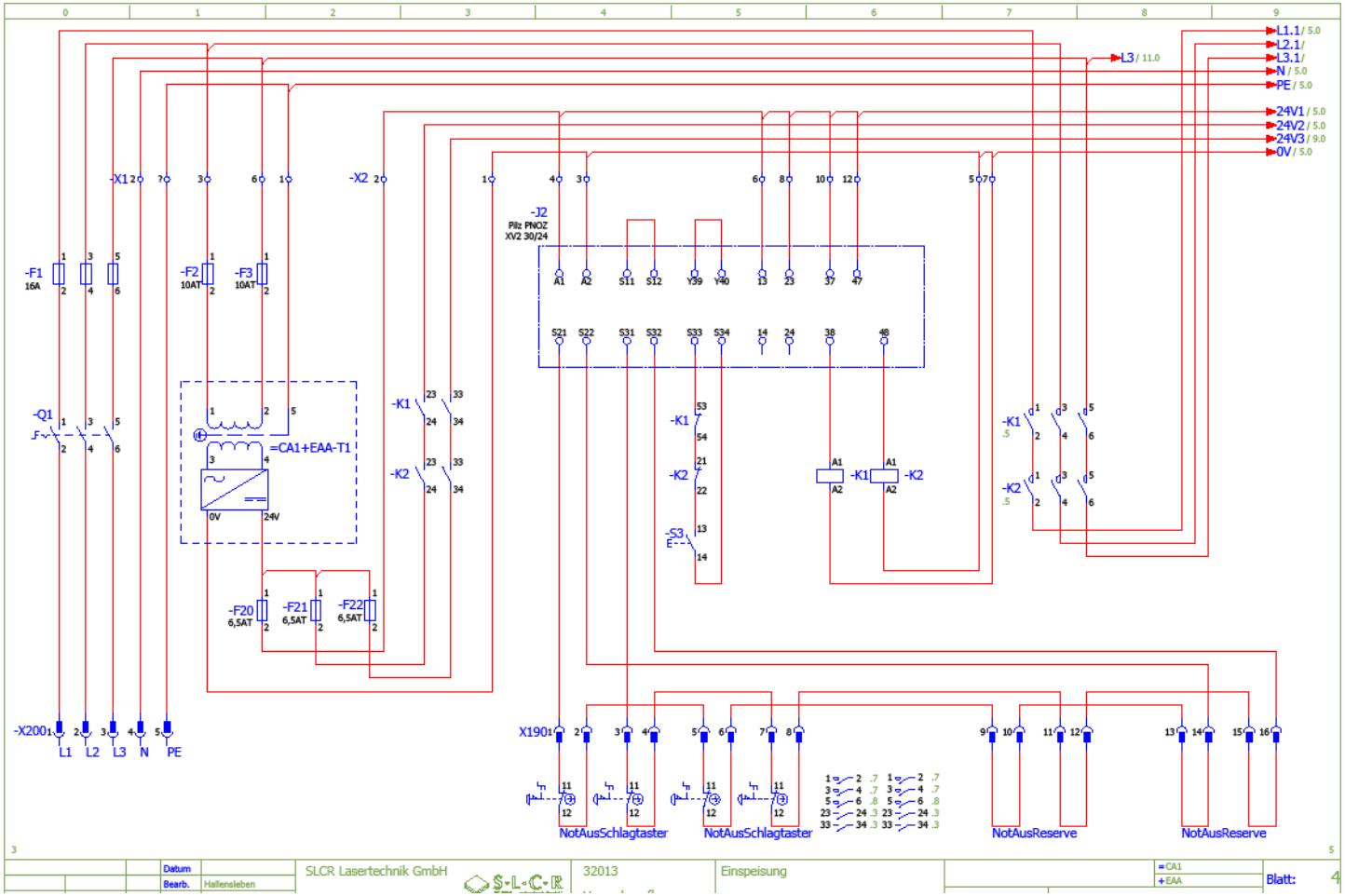
Abb. 41: Steuerungsarchitektur

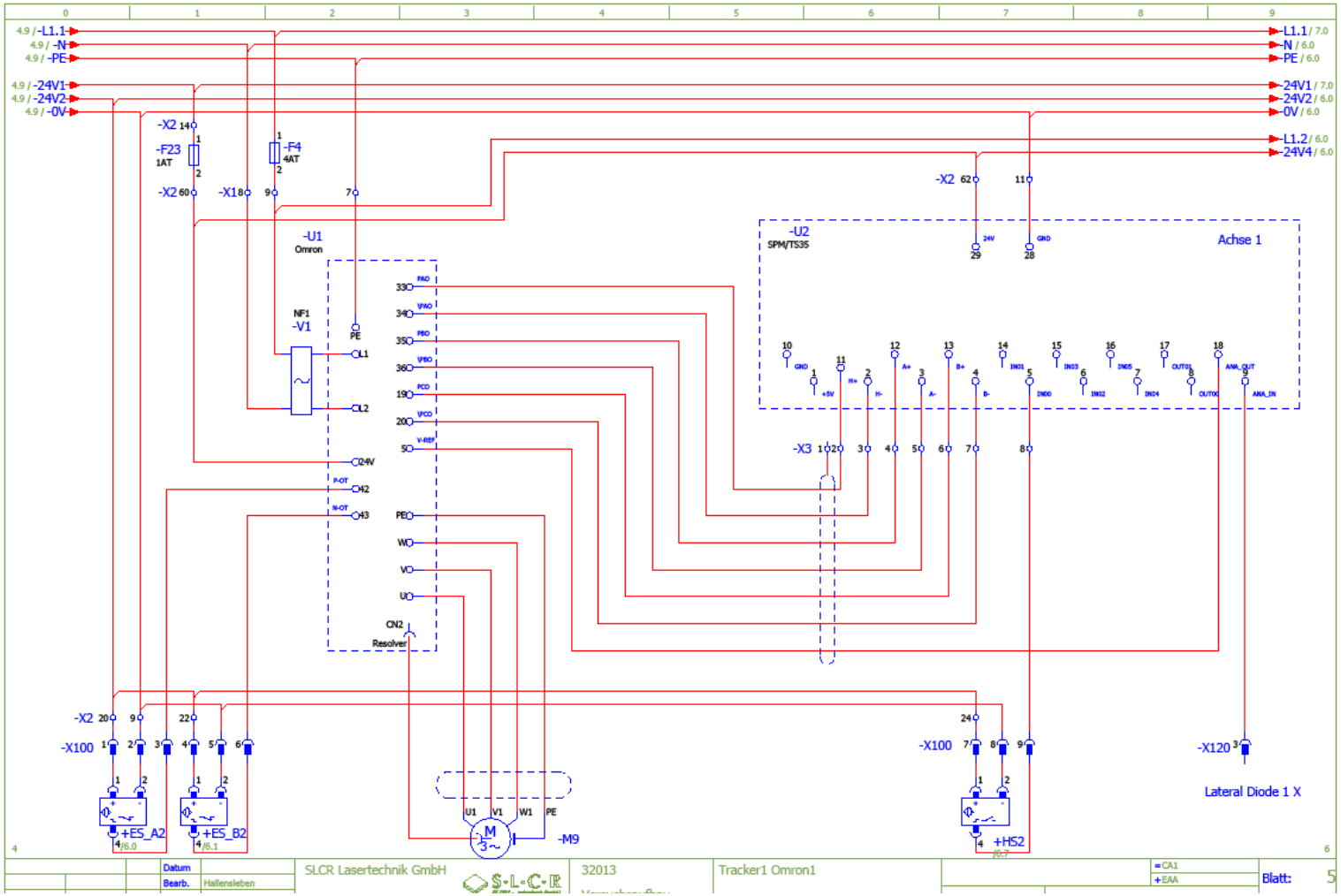
Legende

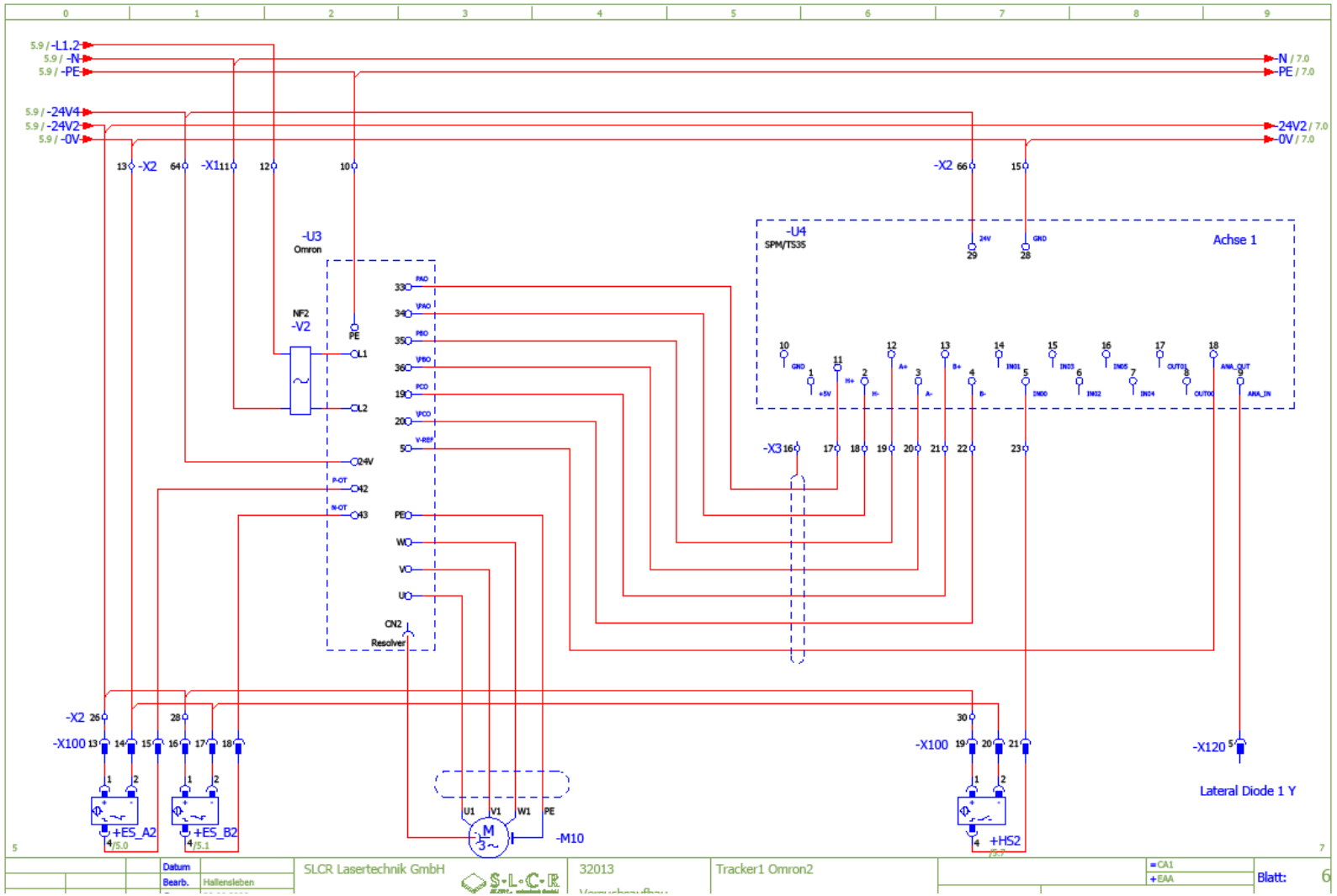
KRC KUKA Roboter Control	SLCR Tracker control	UV Unterverteilung Spannungsversorgung

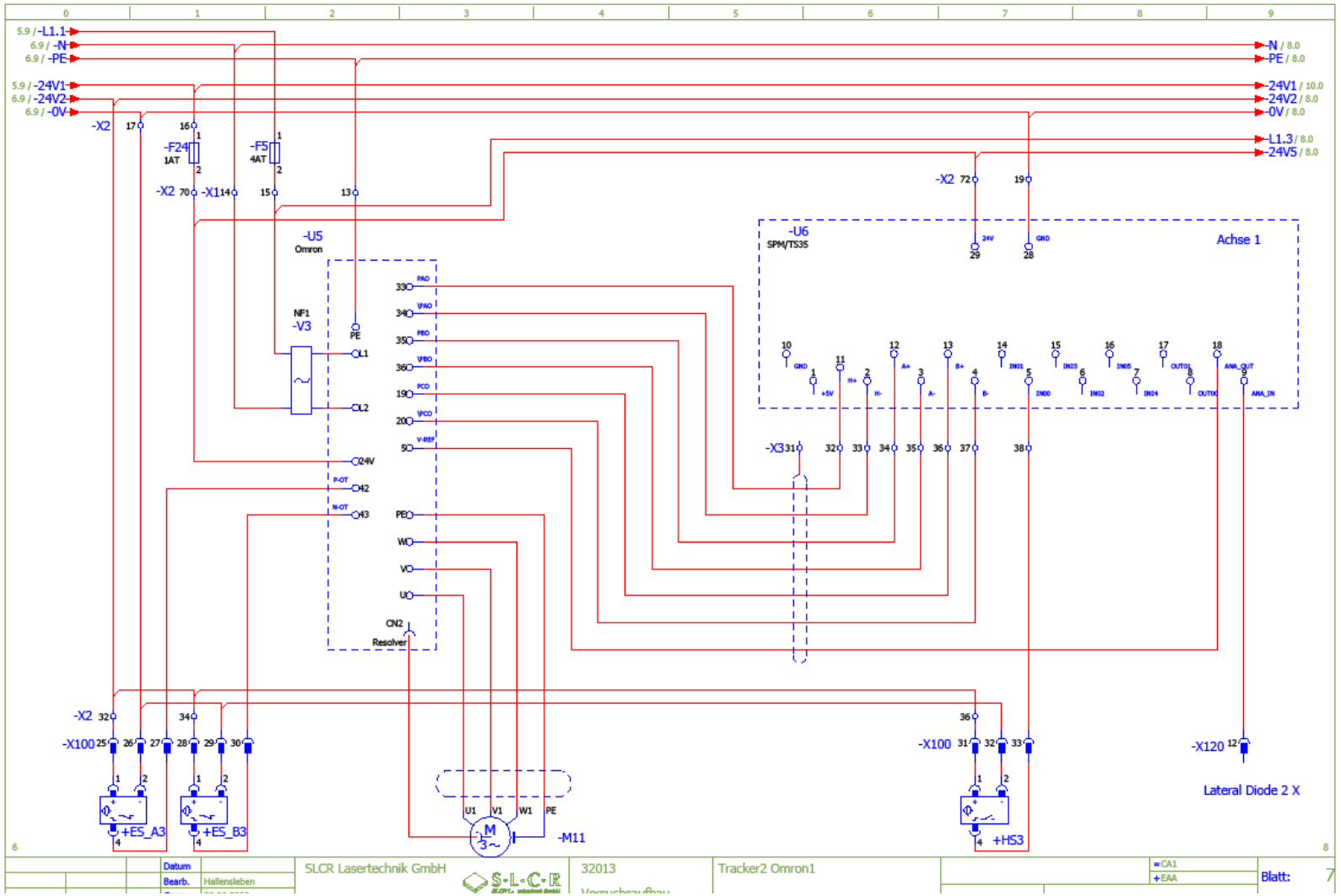
Steuerung

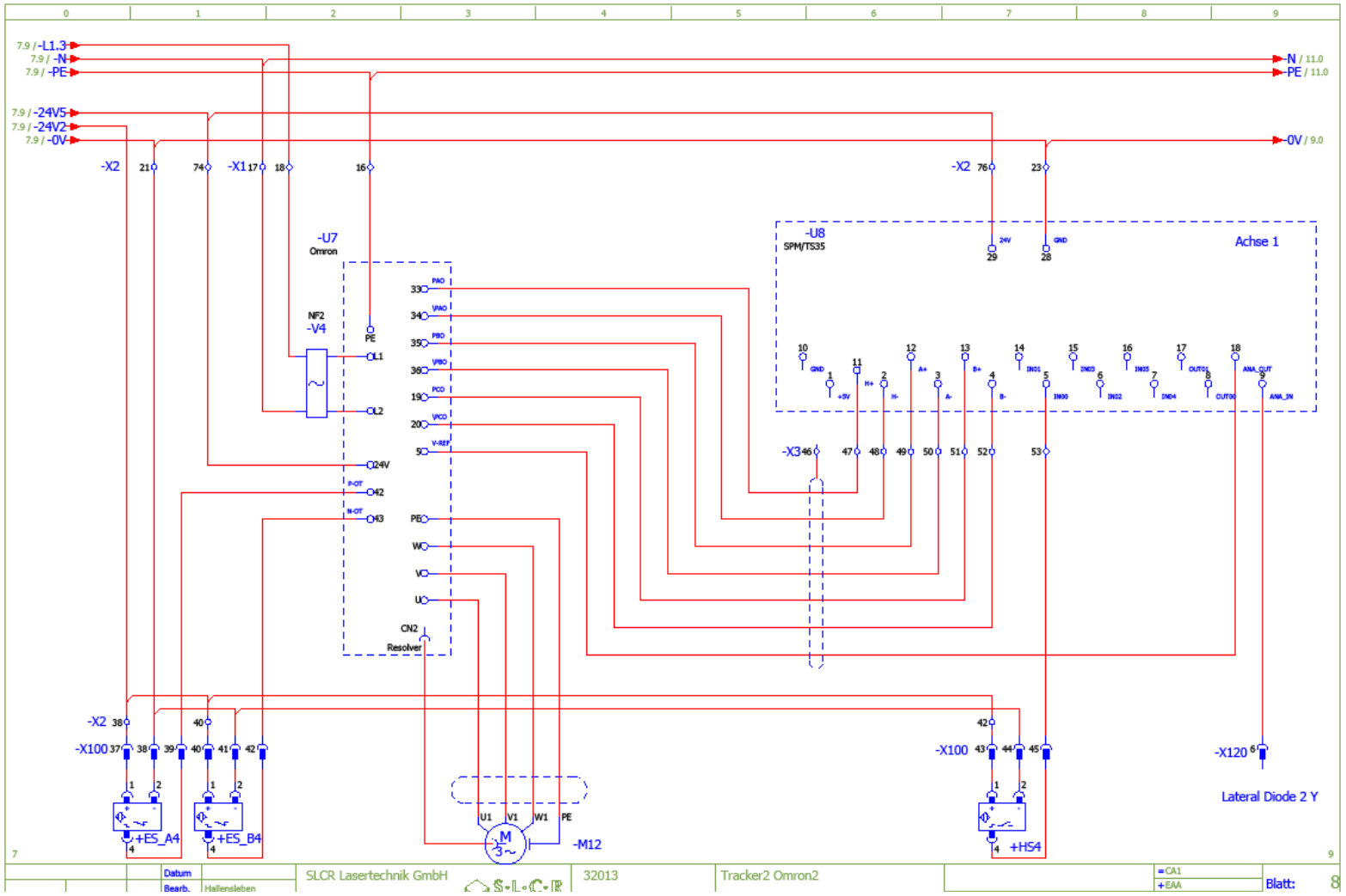
Basis für die Steuerung und Programmierung ist die Auslegung der Hardware und Verschaltung. Die nachfolgenden Seiten zeigt die grundlegende Auslegung von Hardware und Verschaltung.

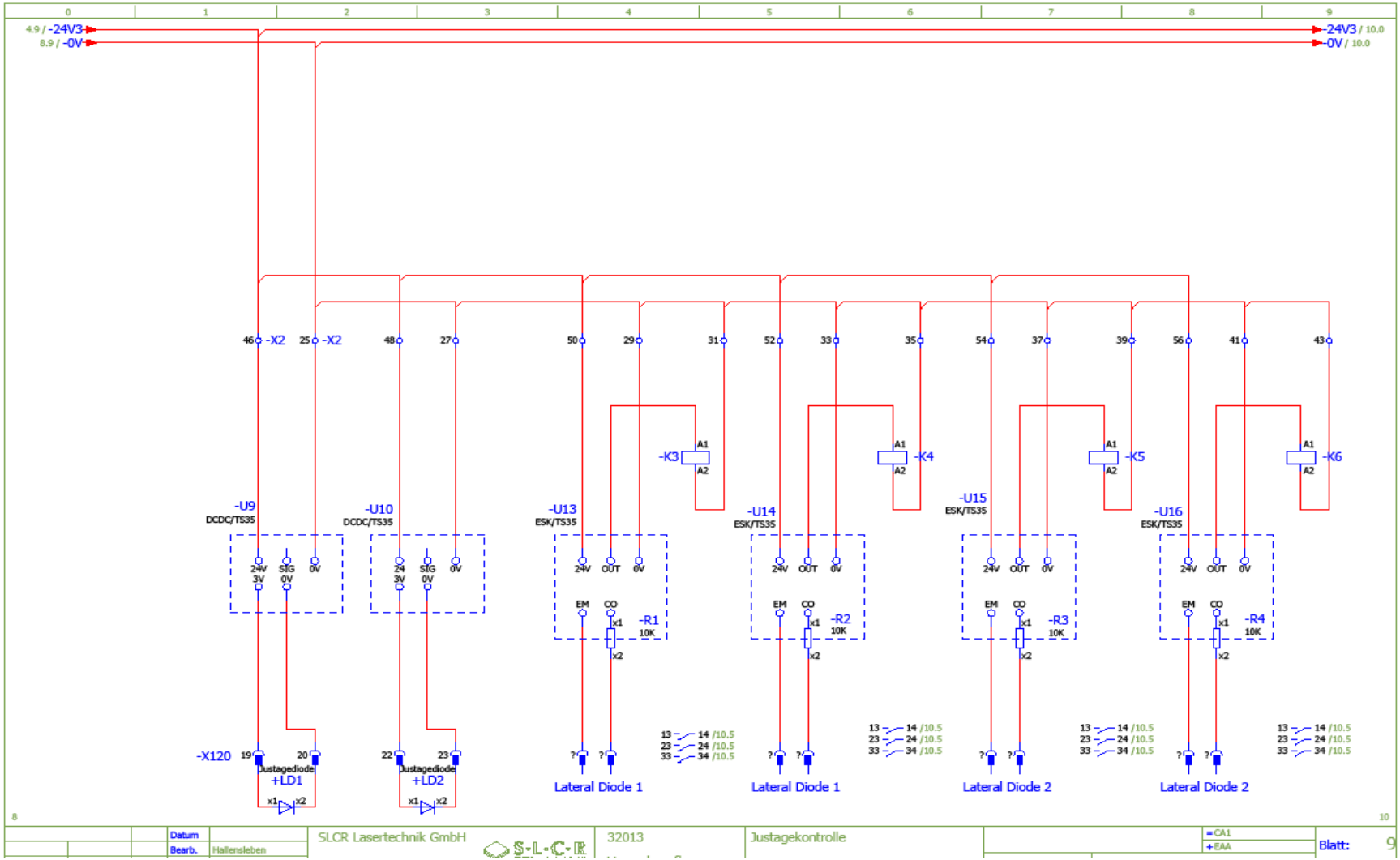


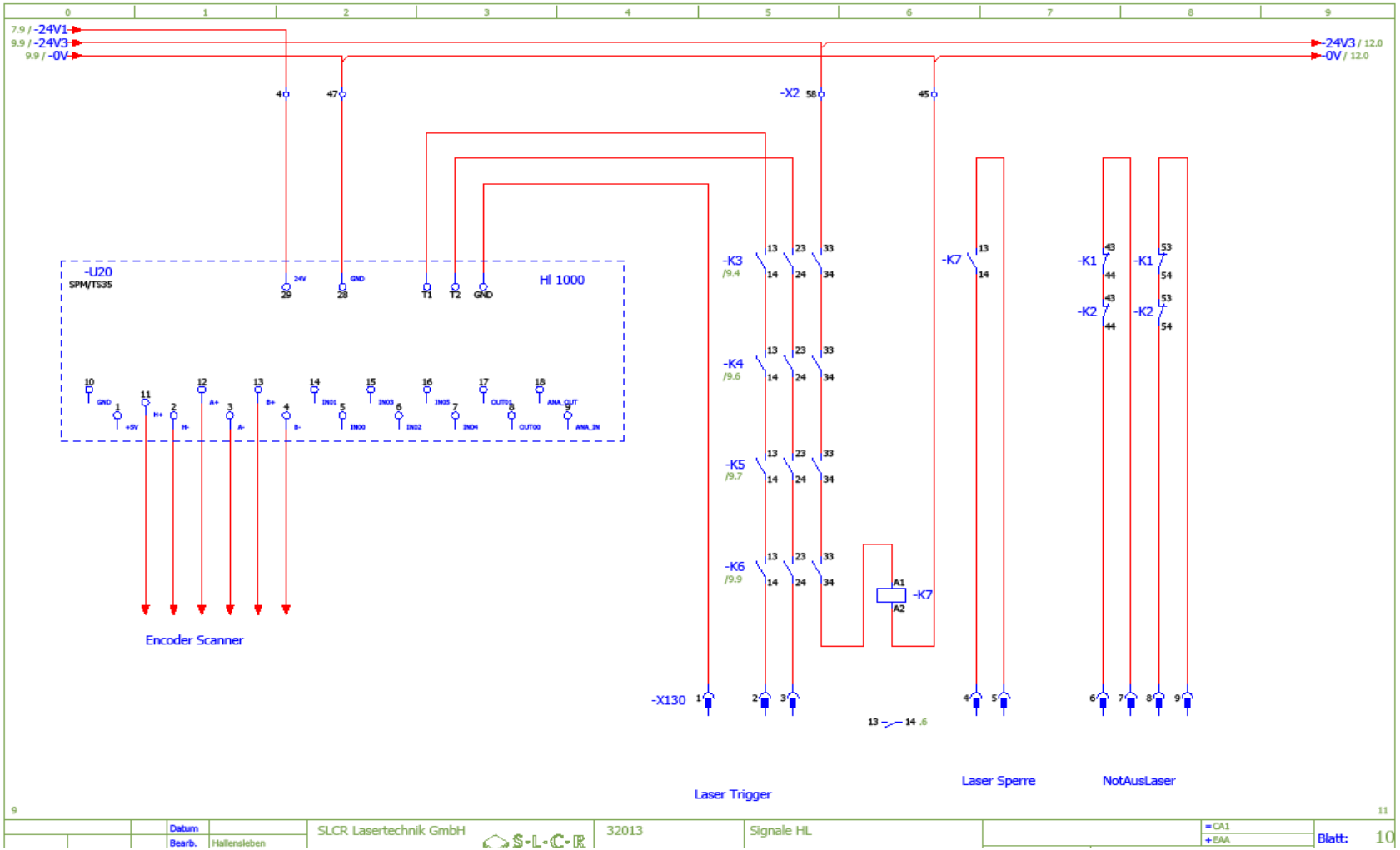

-L1.1
-N
-PE
-24V1
-24V2
-0V
-X2
-F23
1AT
-F4
4AT
-X18
-U1
Omron
-U2
SPM/TS35
Achse 1
NF1
-V1
PE
L1
L2
24V
CN2
Resolver
-X3
-X100
-X120
+ES_A2
+ES_B2
+HS2
-M9
Lateral Diode 1 X
SLCR Lasertechnik GmbH
32013
Tracker1 Omron1
Datum
Bearb.
Hallensleben
Blatt:


-L1.2
-N
-PE
-24V4
-24V2
-0V
N / 7.0
PE / 7.0
24V2 / 7.0
0V / 7.0
-X2
-X1
-U3
Omron
NF2
-V2
-U4
SPM/TS35
Achse 1
-X3
-X100
-X120
+ES_A2
+ES_B2
+HS2
-M10
Lateral Diode 1 Y
SLCR Lasertechnik GmbH
32013
Tracker1 Omron2
Blatt:

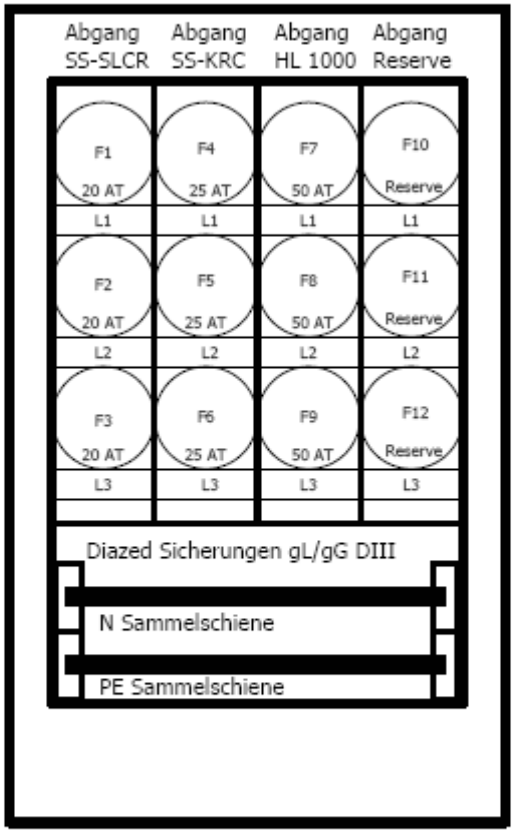

-L1.1
-N
-PE
-24V1
-24V2
-0V
-X2
-F24
1AT
-F5
4AT
-X1
-U5
Omron
NF1
-V3
-U6
SPM/TS35
Achse 1
-X3
-X100
-X120
+ES_A3
+ES_B3
+HS3
-M11
CN2
Resolver
Lateral Diode 2 X
SLCR Lasertechnik GmbH
32013
Tracker2 Omron1
Blatt:


7.9 / -L1.3
7.9 / -N
7.9 / -PE
7.9 / -24V5
7.9 / -24V2
7.9 / -0V
N / 11.0
PE / 11.0
0V / 9.0
-X2
-X1
-U7
Omron
NF2
-V4
-U8
SPM/TS35
Achse 1
-X3
-X100
-X120
+ES_A4
+ES_B4
-M12
+HS4
Lateral Diode 2 Y
CN2
Resolver
SLCR Lasertechnik GmbH
32013
Tracker2 Omron2
Datum
Bearb.
Hallensleben
Blatt:
8


-24V3
-0V
-X2
-K3
-K4
-K5
-K6
-U9
DCDC/TS35
-U10
DCDC/TS35
-U13
ESK/TS35
-U14
ESK/TS35
-U15
ESK/TS35
-U16
ESK/TS35
-R1
-R2
-R3
-R4
-X120
+LD1
+LD2
Justagediode
Lateral Diode 1
Lateral Diode 1
Lateral Diode 2
Lateral Diode 2
SLCR Lasertechnik GmbH
32013
Justagekontrolle
Blatt: 9

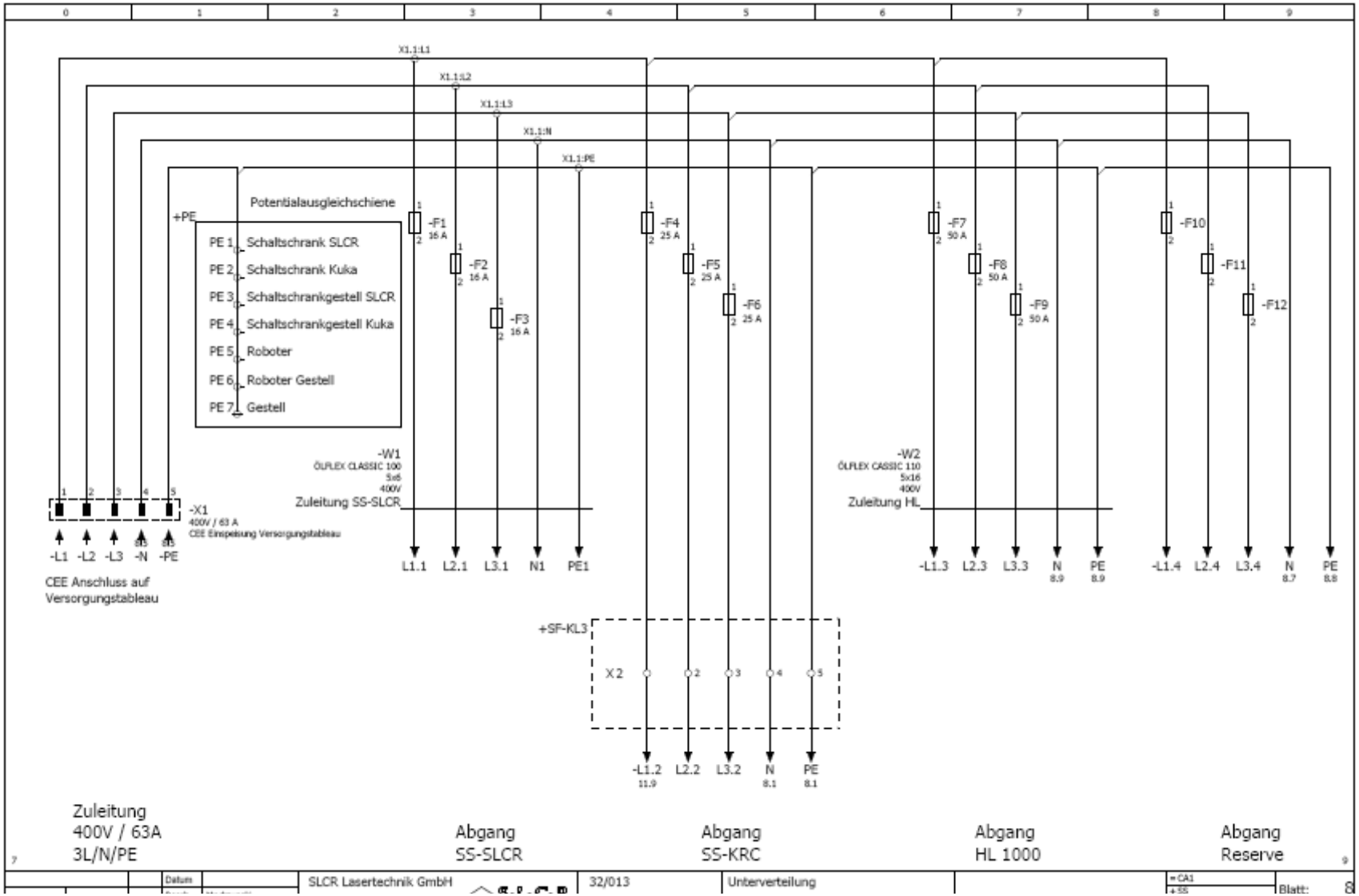

-24V1
-24V3
-0V
-24V3 / 12.0
-0V / 12.0
-U20
SPM/TS35
HI 1000
Encoder Scanner
-K3
-K4
-K5
-K6
-K7
-K1
-K2
-X2
-X130
Laser Trigger
Laser Sperre
NotAusLaser
SLCR Lasertechnik GmbH
32013
Signale HL
Blatt: 10

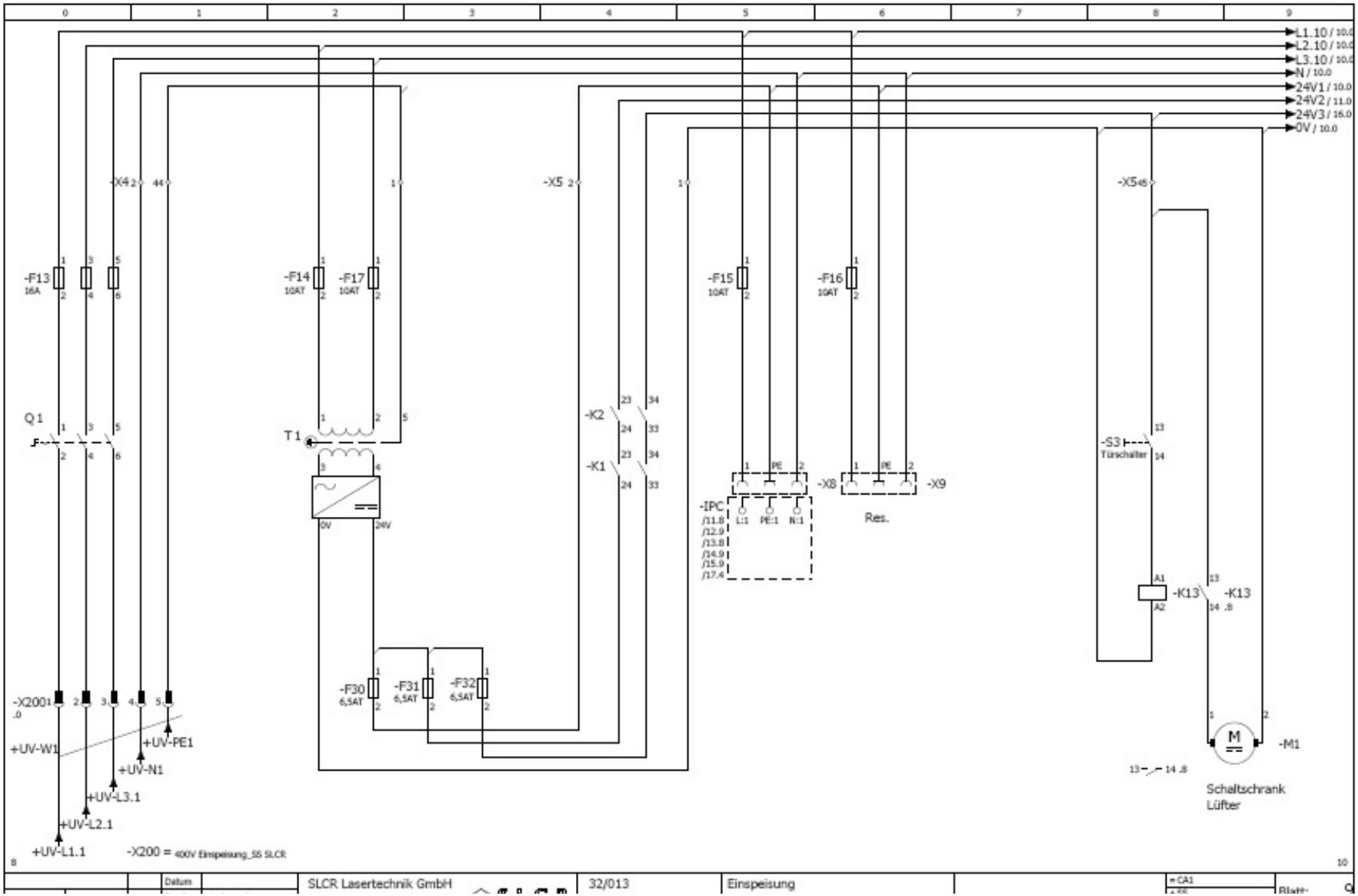
Unterverteilung

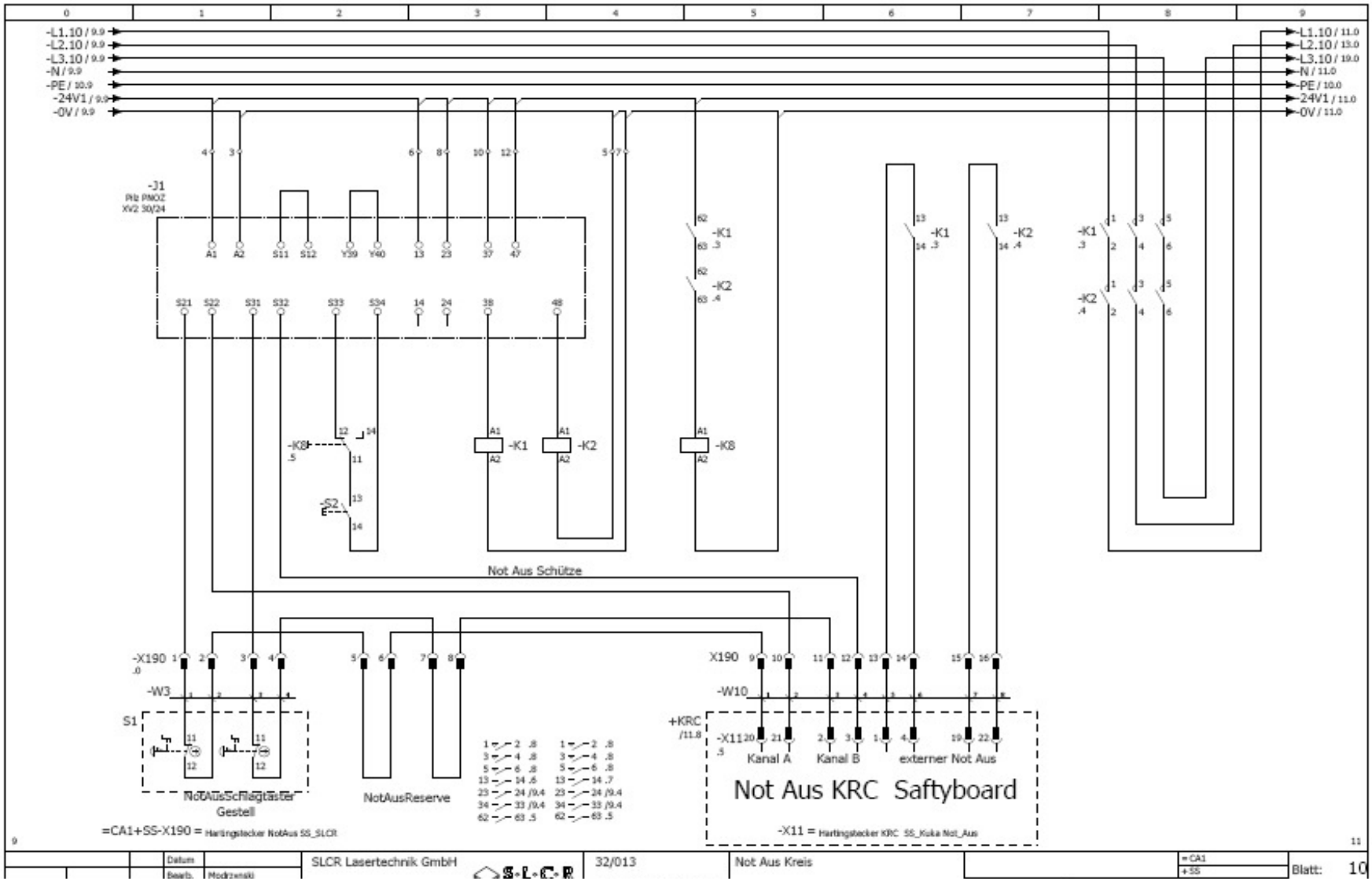


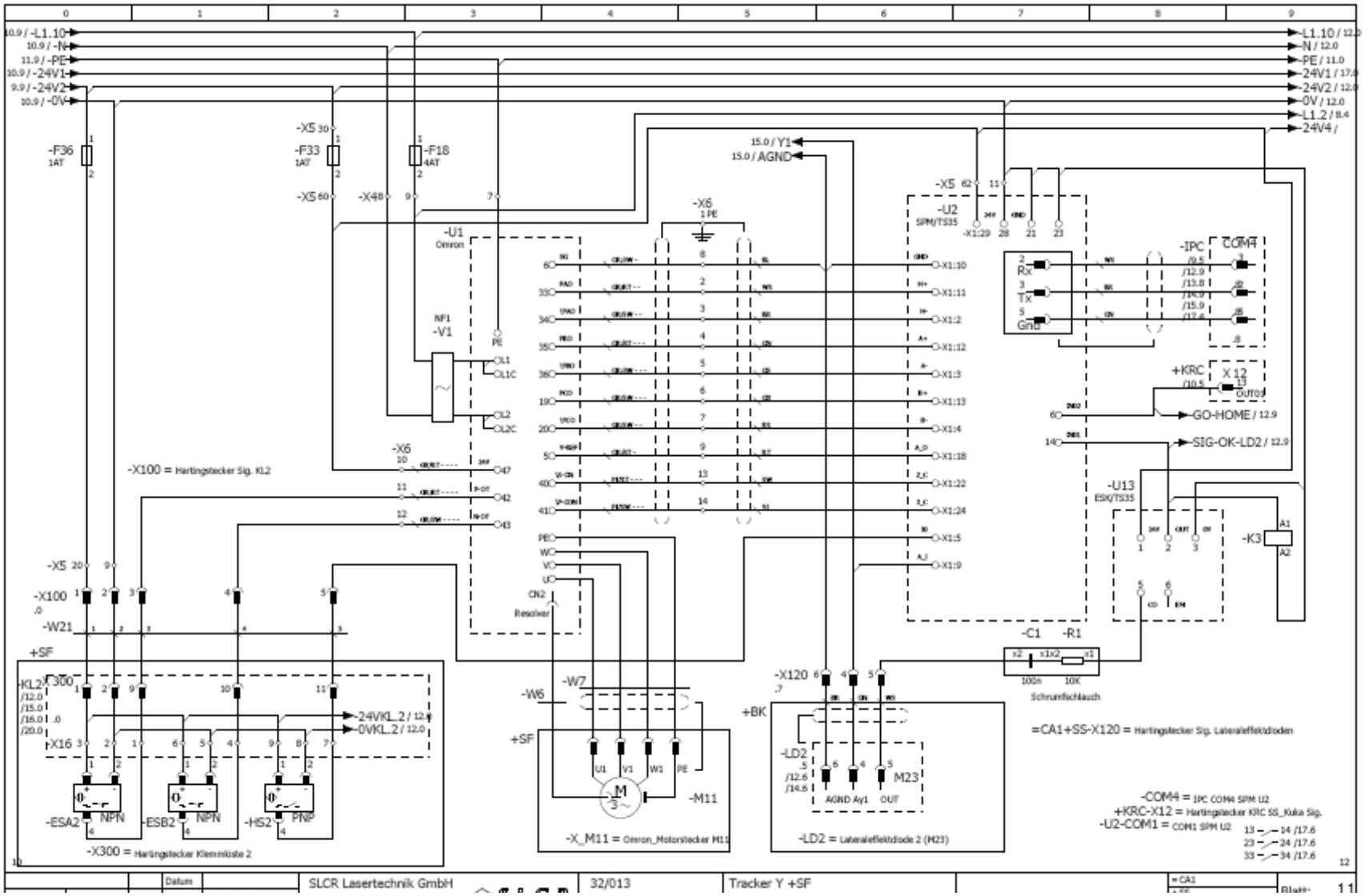
=CA1+UV

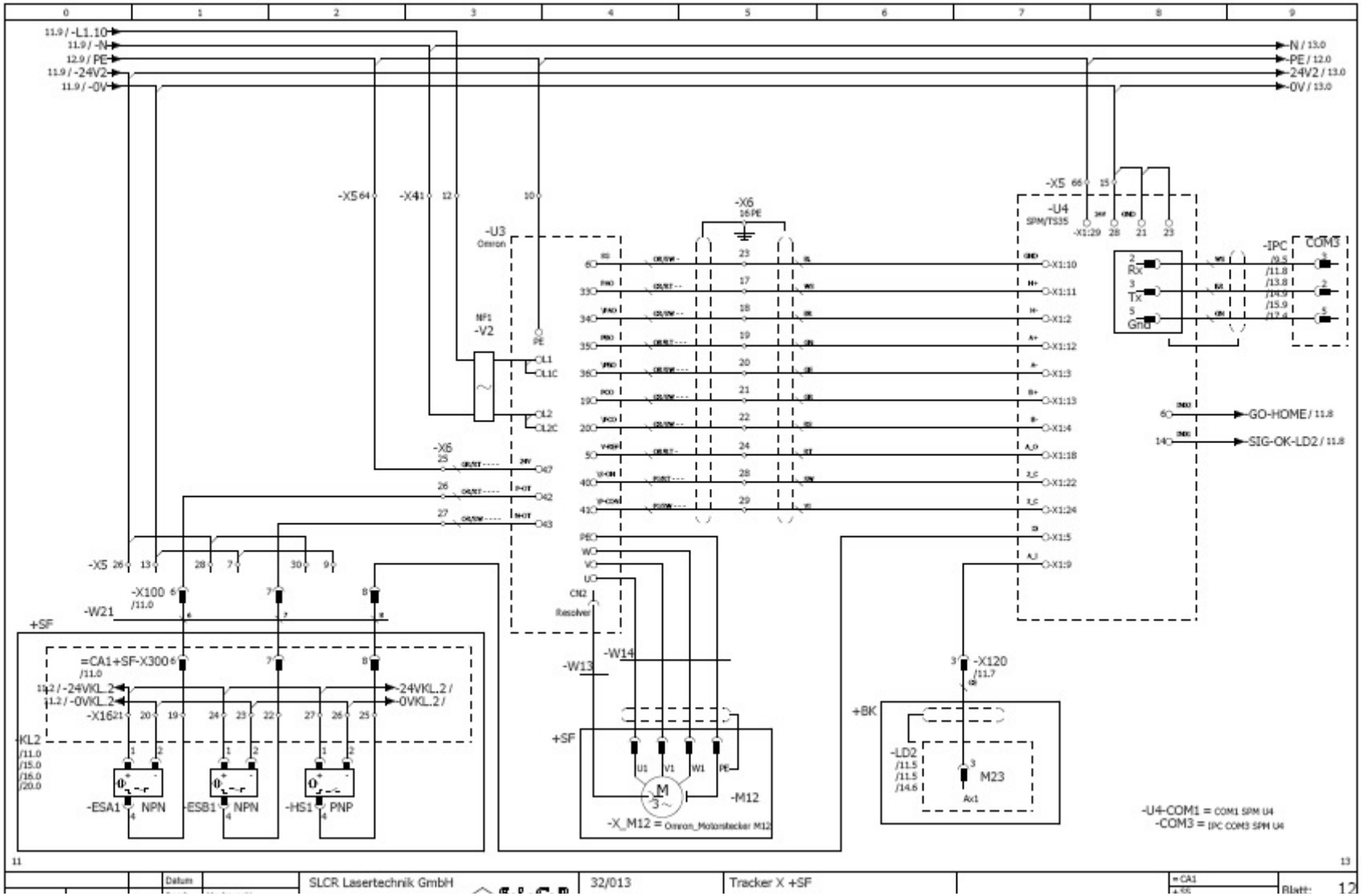
			Datum		SLCR Lasertechnik GmbH		32/013	Unterverteilung Übersicht		=CA1	Blatt: 6
			Bearb.	Modrzynski						+SS	
			Gepr.	28.07.2009			Versuchsaufbau_Kuka				21 Bl.
Änderung	Datum	Name	Norm		Urspr.	Ersetzt durch					

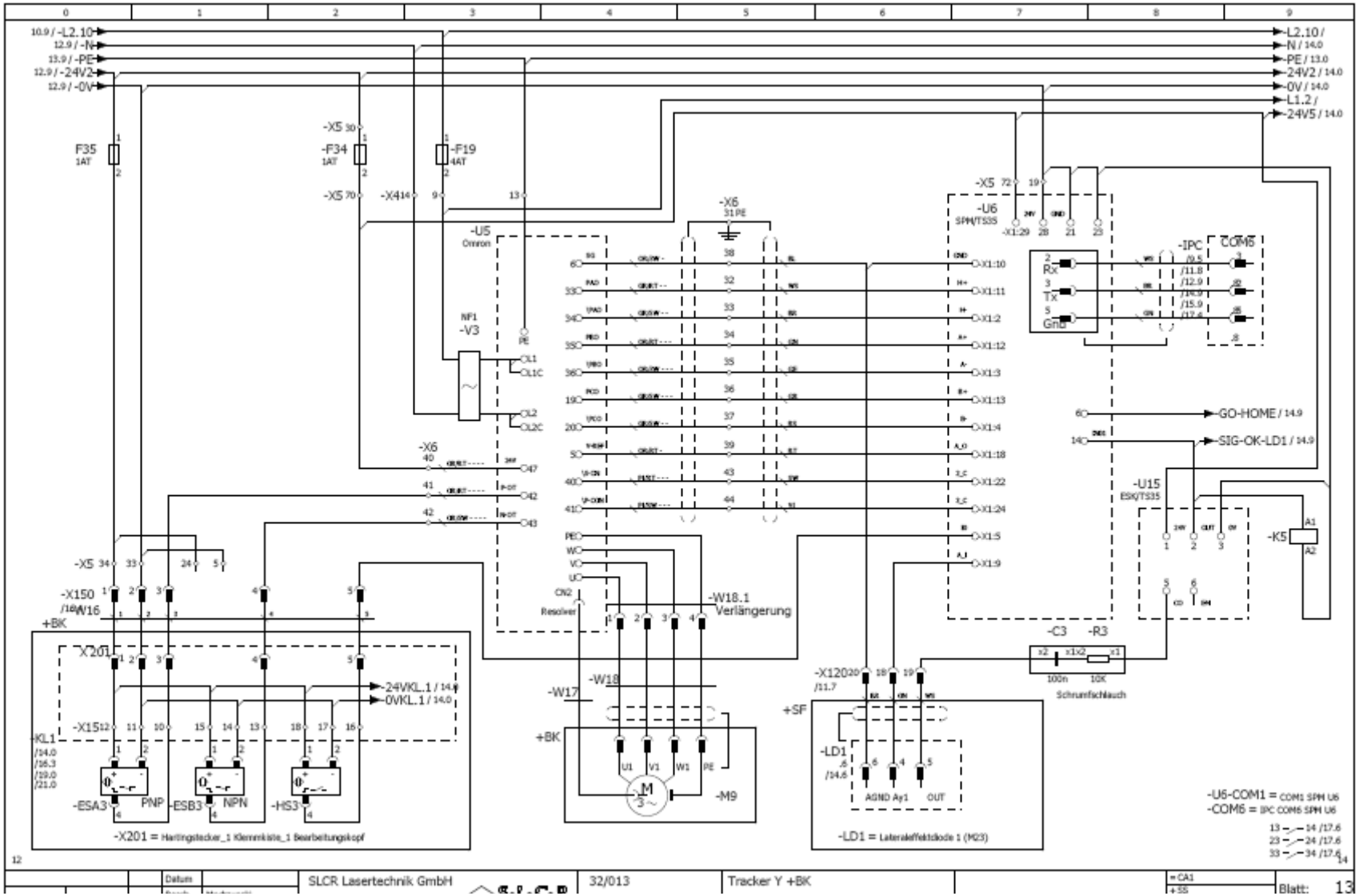

X1.1:L1
X1.1:L2
X1.1:L3
X1.1:N
X1.1:PE
Potentialausgleichschiene
+PE
PE 1 Schaltschrank SLCR
PE 2 Schaltschrank Kuka
PE 3 Schaltschrankgestell SLCR
PE 4 Schaltschrankgestell Kuka
PE 5 Roboter
PE 6 Roboter Gestell
PE 7 Gestell
-F1 16 A
-F2 16 A
-F3 16 A
-F4 25 A
-F5 25 A
-F6 25 A
-F7 50 A
-F8 50 A
-F9 50 A
-F10
-F11
-F12
-W1
ÖLFLEX CLASSIC 100
5x6
400V
Zuleitung SS-SLCR
-W2
ÖLFLEX CASSIC 110
5x16
400V
Zuleitung HL
-X1
400V / 63 A
CEE Einspeisung Versorgungstableau
-L1 -L2 -L3 -N -PE
CEE Anschluss auf
Versorgungstableau
L1.1 L2.1 L3.1 N1 PE1
-L1.3 L2.3 L3.3 N PE
-L1.4 L2.4 L3.4 N PE
+SF-KL3
X2
-L1.2 L2.2 L3.2 N PE
Zuleitung
400V / 63A
3L/N/PE
Abgang
SS-SLCR
Abgang
SS-KRC
Abgang
HL 1000
Abgang
Reserve
SLCR Lasertechnik GmbH
32/013
Unterverteilung
Blatt:

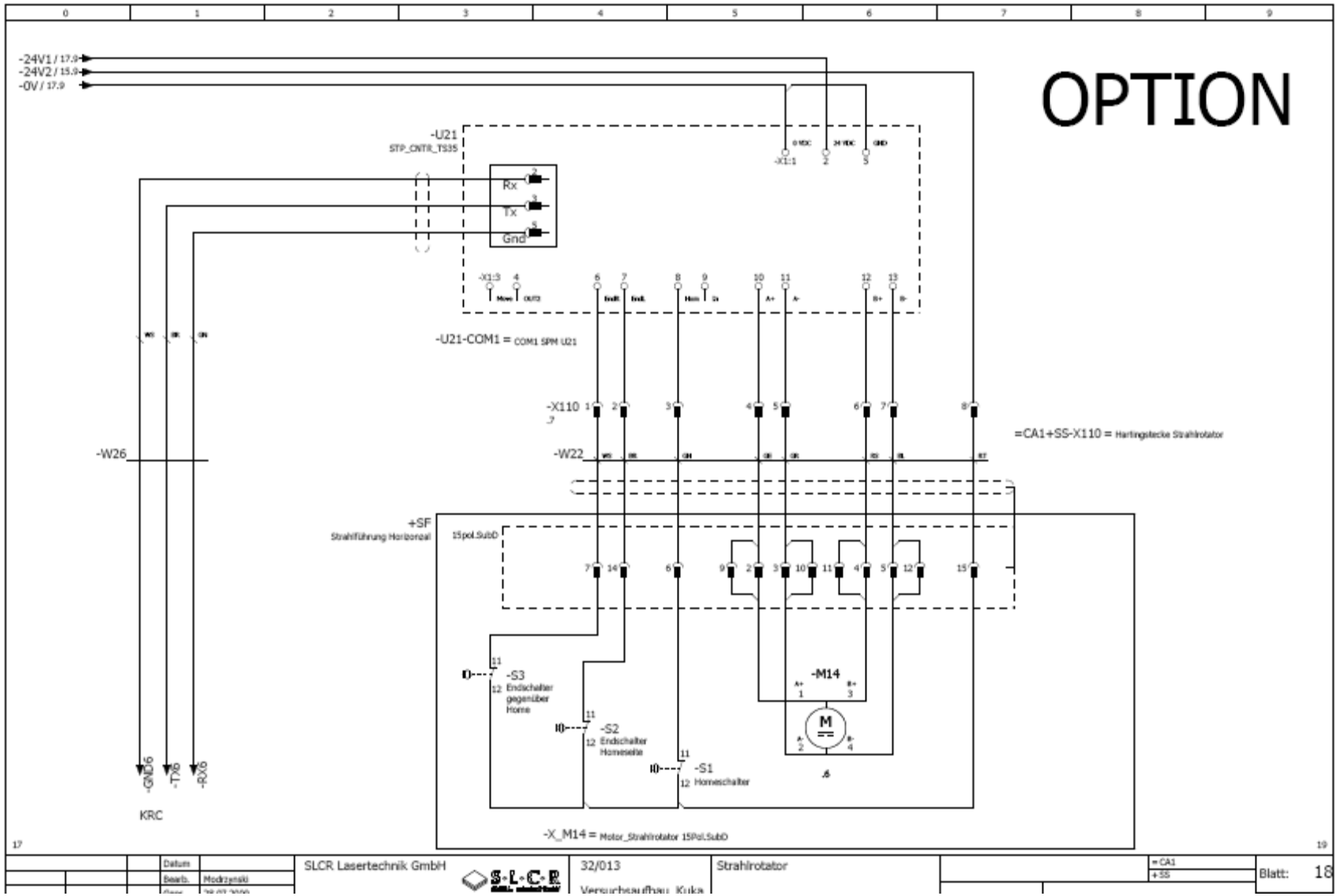

L1.10 / 10.0
L2.10 / 10.0
L3.10 / 10.0
N / 10.0
24V1 / 10.0
24V2 / 11.0
24V3 / 16.0
0V / 10.0
-F13 16A
-F14 10AT
-F17 10AT
-F15 10AT
-F16 10AT
-X4
-X5
-X5
Q1
T1
-K2
-K1
-S3 Türschalter
-IPC
/11.8
/12.9
/13.8
/14.9
/15.9
/17.4
L:1
PE:1
N:1
-X8
-X9
Res.
-K13
-K13
-F30 6,5AT
-F31 6,5AT
-F32 6,5AT
-X200
+UV-W1
+UV-PE1
+UV-N1
+UV-L3.1
+UV-L2.1
+UV-L1.1
-X200 = 400V Einspeisung_SS SLCR
-M1
Schaltschrank Lüfter
SLCR Lasertechnik GmbH
32/013
Einspeisung


-L1.10 / 9.9
-L2.10 / 9.9
-L3.10 / 9.9
-N / 9.9
-PE / 10.9
-24V1 / 9.9
-0V / 9.9
-L1.10 / 11.0
-L2.10 / 13.0
-L3.10 / 19.0
-N / 11.0
-PE / 10.0
-24V1 / 11.0
-0V / 11.0
-J1
Pilz PNOZ XV2 30/24
-K1
-K2
-K8
-S2
Not Aus Schütze
-X190
-W3
S1
NotAusSchlagtaster Gestell
NotAusReserve
=CA1+SS-X190 = Hartingstecker NotAus SS_SLCR
X190
-W10
+KRC /11.8
-X11
Kanal A
Kanal B
externer Not Aus
Not Aus KRC Saftyboard
-X11 = Hartingstecker KRC SS_Kuka Not_Aus
SLCR Lasertechnik GmbH
32/013
Not Aus Kreis
=CA1
+SS
Blatt: 10


-X100 = Hartingstecker Sig. KL2
-X300 = Hartingstecker Klemmkiste 2
-X_M11 = Omron_Motorstecker M11
-LD2 = Lateraleffektdiode 2 (M23)
=CA1+SS-X120 = Hartingstecker Sig. Lateraleffektdioden
-COM4 = IPC COM4 SPM U2
+KRC-X12 = Hartingstecker KRC SS_Kuka Sig.
-U2-COM1 = COM1 SPM U2
SLCR Lasertechnik GmbH
32/013
Tracker Y +SF


-L1.10
-N
PE
-24V2
-0V
N / 13.0
PE / 12.0
24V2 / 13.0
0V / 13.0
-U3
Omron
-V2
-U4
SPM/TS35
-IPC
COM3
Rx
Tx
Gnd
GO-HOME / 11.8
SIG-OK-LD2 / 11.8
-X6
16 PE
-X5
-X41
-X100
-W21
+SF
=CA1+SF-X300
-24VKL.2 /
0VKL.2 /
-X16
-KL2
-ESA1 NPN
-ESB1 NPN
-HS1 PNP
-W14
-W13
-M12
-X_M12 = Omron_Motorstecker M12
Resolver
-X120
+BK
-LD2
M23
-U4-COM1 = COM1 SPM U4
-COM3 = IPC COM3 SPM U4
SLCR Lasertechnik GmbH
32/013
Tracker X +SF
Blatt: 12

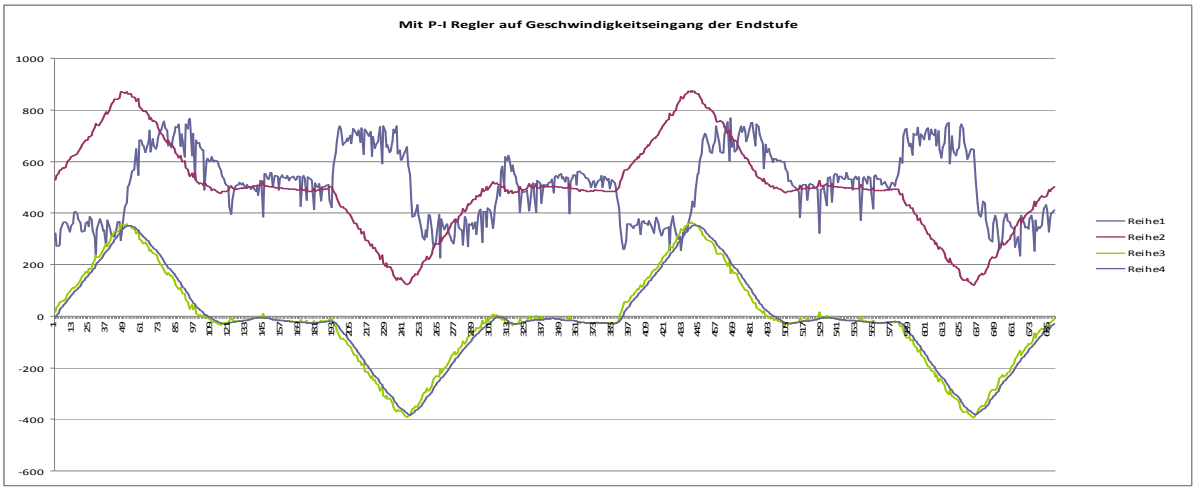

-L2.10
-N
-PE
-24V2
-0V
-L2.10 /
N / 14.0
PE / 13.0
24V2 / 14.0
0V / 14.0
L1.2 /
24V5 / 14.0
F35
1AT
-F34
1AT
-F19
4AT
-X5
-X4
-U5
Omron
NF1
-V3
-X6
31 PE
-U6
SPM/TS35
-IPC
COM6
Rx
Tx
Gnd
GO-HOME / 14.9
SIG-OK-LD1 / 14.9
-U15
ESK/TS35
-K5
-X150
-W16
+BK
X201
-X15
-KL1
-24VKL.1 / 14.0
0VKL.1 / 14.0
-ESA3
PNP
-ESB3
NPN
-HS3
-X201 = Hartingstecker_1 Klemmkiste_1 Bearbeitungskopf
-W18.1
Verlängerung
Resolver
-W17
-W18
-M9
-X120
+SF
-LD1
AGND Ay1
OUT
-LD1 = Lateraleffektdiode 1 (M23)
-C3
-R3
100n
10K
Schrumfschlauch
-U6-COM1 = COM1 SPM U6
-COM6 = IPC COM6 SPM U6
SLCR Lasertechnik GmbH
32/013
Tracker Y +BK
Blatt: 13


OPTION
-24V1 / 17.9
-24V2 / 15.9
-0V / 17.9
-U21
STP_CNTR_TS35
Rx
Tx
Gnd
-U21-COM1 = COM1 SPN U21
-X110
=CA1+SS-X110 = Hartingstecke Strahlrotator
-W26
-W22
+SF
Strahlführung Horizontal
15pol.SubD
-S3
Endschalter gegenüber Home
-S2
Endschalter Homeseite
-S1
Homeschalter
-M14
M
-GND6
-TX6
-RX6
KRC
-X_M14 = Motor_Strahlrotator 15Pol.SubD
SLCR Lasertechnik GmbH
32/013
Versuchsaufbau Kuka
Strahlrotator
Blatt: 18

Während der Testphase wurden kontinuierliche Modifikationen in die Software eingepflegt. Der Fokus lag dabei zum einen auf dem Zusammenspiel von Scanner und Tracker. Zum anderen musste die grundsätzliche Stabilität des Systems nach der ersten Testphase noch deutlich verbessert werden. In vielen Versuchen zeigte sich, dass das System wegen mechanischer oder elektrischer Störungen so aufschaukelt, dass einige Regelgrößen außerhalb des zulässigen Bereichs lagen.

Beispiele für die Lösung solcher Probleme mit Störgrößen die eine Ungenauigkeit der Nachführung bedingen sind nachfolgend aufgeführt.

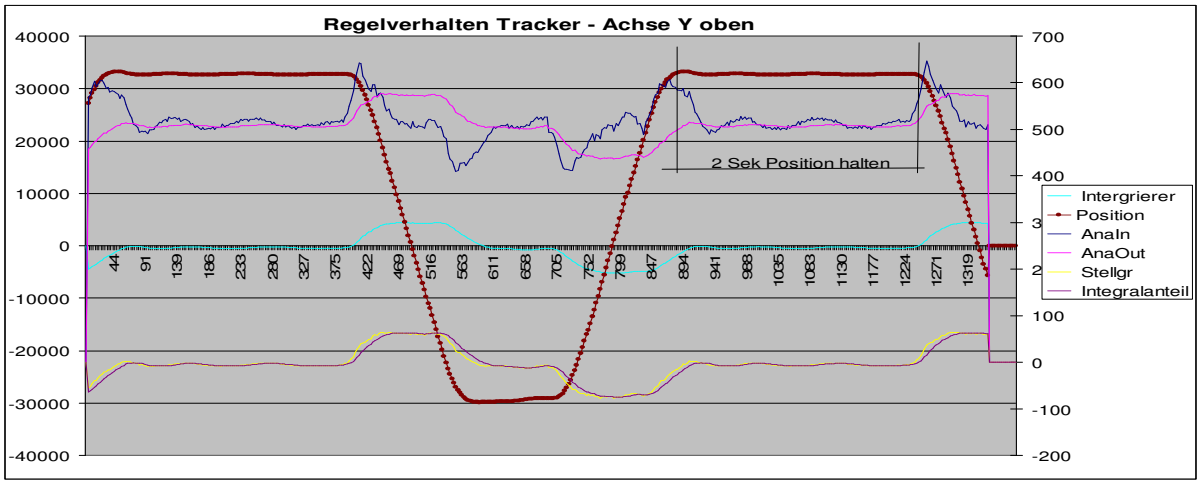
Problem #1:
Das Positionssignal der Lateraleffektdiode zum Steuern der Servomotoren des Trackers ist verrauscht. Dadurch werden Schwingungen verursacht. Zusätzlich muss der Regler gedämpft werden, damit das System nicht schwingt. Das führt dazu, dass die Positionierung verlangsamt wird.



(blau gezackte Linie = Positionssignal der Lateraleffektdiode – min. = 0 max. = 1024 -)

Lösungsansatz:
Das Analogsignal der Lateraleffektdiode direkt am Eingang des Analogwandlers dämpfen (RC-Glied).

Resultat:
Das Rauschen auf dem Positionssignal ist jetzt kleiner geworden, jedoch nicht beseitigt! Ob dieses Signal bereits zum Bearbeiten von Oberflächen zu verwenden ist, ist unklar!



(blau gezackte Linie = Positionssignal der Lateraleffektdiode – min. = 0 max. = 1024 -)

Problem #2:
Wenn Tageslicht auf die Lateraleffektdiode fällt, ändert sich das Positionssignal auf dem Analogausgang.

Lösung:
Zum Herausfiltern von Tageslicht werden Spektralfilterscheiben eingesetzt, die alle Wellenlängen unterhalb von 630nm liegen rausfiltern (verwendete Laserdiode hat eine Wellenlänge von 635nm).

Resultat:
Durch die eingesetzten Filter sind die Störungen durch einfallendes Sonnenlicht deutlich geringer.

Weiterer Lösungsansatz:
Abschließend wurde das Problem durch eine geänderte Steuerung mit einer dynamischer Schaltung der Lateraleffektdiode gelöst. Die Laserdiode wird mit ca. 1KHz moduliert und bei der Auswertung der Signale der Lateraleffektdiode werden nur die Signalanteile weiter verarbeitet die in Frequenz und Phasenlage mit dieser Modulation korrelieren.

Problem #3:
Bei hohen Beschleunigungen des Roboters ist die Positionierung für eine Laserbearbeitung noch zu ungenau. Da während des Bearbeitens auf flachen Bauteilen keine Beschleunigungen zu erwarten sind, sollte dies aber kein Problem darstellen. Wenn der Roboter zwischen einer Bahn und der nächsten verfahren wird, wird die Verfahrgeschwindigkeit begrenzt durch die begrenzt zugelassene Beschleunigung.
Sollten allerdings gekrümmte Oberflächen mit großer Geschwindigkeit bearbeitet werden, muss dieses Problem behoben werden.

Lösung:
Zum Kompensieren der Beschleunigung muss ein zusätzlicher Regler (Differenzierer) hinzugefügt werden.

2.6.2 Ansteuerung Faserlaser

Für die Ansteuerung des Faserlasersystems musste ein komplett neuer Steuerungsanteil entwickelt werden. Dafür standen zwei Optionen zur Wahl. Die Einbindung in die vorhandene Kuka Steuerung oder die Steuerung über einen eigenständigen Steuerungsanteil, der dann mit der Kuka Steuerung kommuniziert. Obwohl die direkte Ansteuerung durch die Kuka Steuerung zunächst die einfachere Option gewesen wäre, haben wir uns für den Aufbau einer eigenständigen Steuerung entschlossen. Zum einen, um das Konzept der Eigenständigkeit der Subsysteme weiter kontinuierlich zu betreiben, dadurch ist die Unabhängigkeit von der Robotersteuerung gegeben. Zum zweiten, um den Vorteil des Faserlasers zu nutzen, ggfs. den Kopf vom OmniMove zu trennen und für eine manuelle Ergänzungsarbeit zu nutzen. Die interne Steuerung des Faserlasers über eine eigenständige Anwenderoberfläche ist mittlerweile möglich. Die Verknüpfung mit der Gesamtsteuerung ist noch nicht abgeschlossen, siehe auch oben Roboter /Systemsteuerung.

2.6.3 Robotersteuerung Lackieranteil

Für die Anbindung der SLF Roboterlösung wurde basierend auf den Vorgaben von SLF von uns das Steuerungskonzept entwickelt und die Steuerung erstellt. Hierzu wurden Schaltpläne gemacht, und die Steuerungsstruktur entworfen.
Für Entwicklung der Kinematik und der Programmierung wurde ein eigenes Programmier- und Testtool für die Programmentwicklung und Tests aufgebaut. Hieran wurden auch die Systemoptimierung und die Weiterentwicklung simuliert.

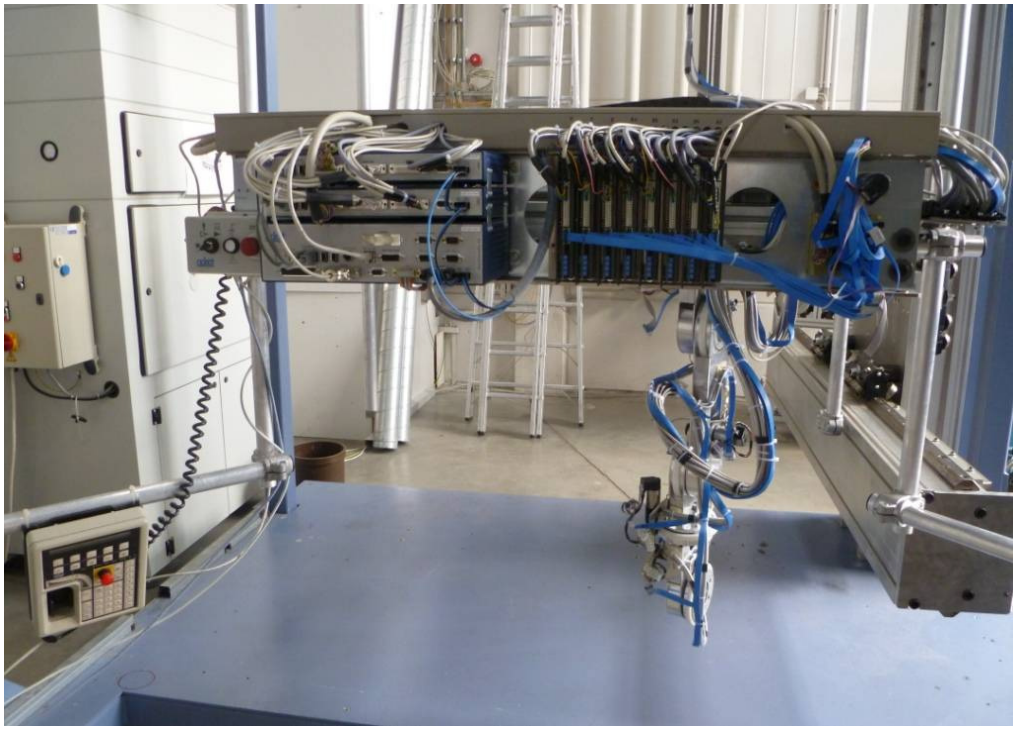


Abb. 42: Gesamtansicht mit Steuerungskomponenten und Bedienpult

Abb. 43: Detailansicht Roboterkinematik

Abb. 44: Seitenansicht

Bedienpanel

Basierend auf diesen Erkenntnissen wurde die Hardware aufgebaut sowie die Programmierung und Inbetriebnahme der Komponenten, soweit bei uns im Hause möglich war, durchgeführt. Dann wurden die Komponenten der Steuerung nach Greven gesendet. Dort erfolgte die Inbetriebnahme der Kinematik.

Abb. 45: Bedienkabine und Steuerschrank

Danach wurde die weitere Entwicklung gemeinsam mit SLF bei SLF in Greven vorangetrieben.

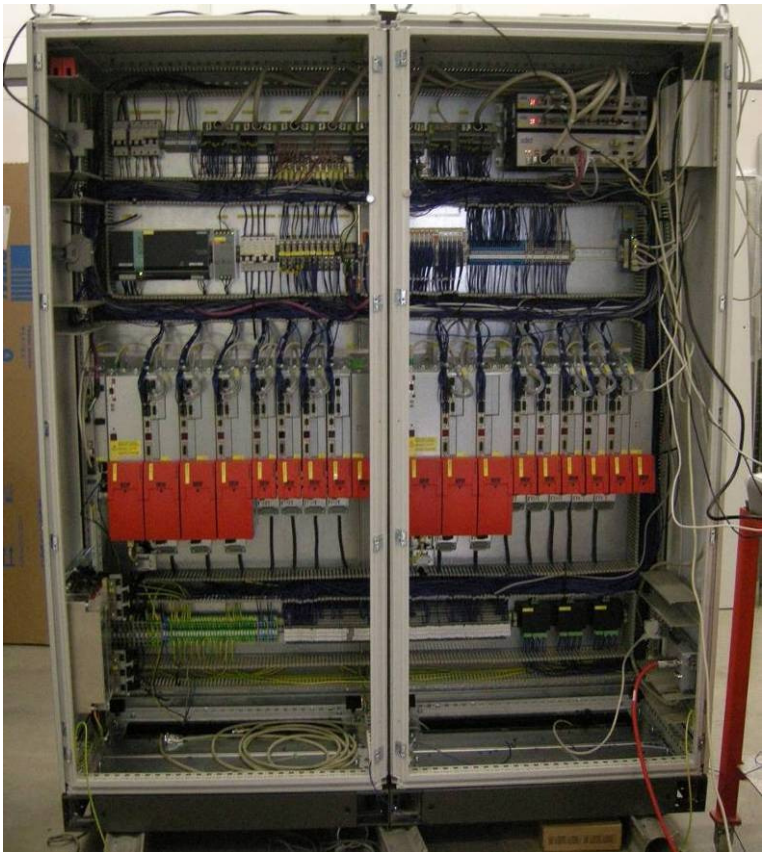


Abb. 46: Detailansicht Steuerschrank für SLF Roboteranteil

Abb. 47: Bedienkabine mit Steuerpult

2.7 Positionierung der Bauteile, MoDuPoSys

Das modulare Positionierkonzept ist dafür ausgelegt, Bauteile aufzunehmen, zu positionieren sowie Fügebewegungen auszuführen. Aufgrund der bewegungs- und lastkapazitiven Restriktionen werden daher lediglich Off A/C-Bauteile betrachtet werden.

Aufgrund des modularen Baukastensystems kann die Anordnung der Positioniereinheit sowie die Anzahl der Positionierer und Positioniertürme entsprechend der spezifischen Bauteilgröße in x, z- Richtung ausgelegt werden.
Eine Auflistung von Größen und Gewichten unterschiedlicher Flugzeugkomponenten ist entsprechend aufgeführt (siehe auch Analyse und Beschreibung objektbezogener Bauteile).

	1 Planung	2 Entwicklung	3 Prozessfreigabe	4 Konstruktion	5 Prototypenbau	6 Fertigung und Montage					
						6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6
						Komponentenherstellung (CFK-Laminieren), Stringer, Bauteile ohne Montage	Komponenten-montage	Oberflächenbehandlung von Komponenten	Sektionsmontage	Endmontage	Service, Maintenance, Oberflächenbehandlung gesamtes LFZ
Fahrlo	Fertigungsprozesse	Prozesse	Tests Analysen Zulassungen								
KIMA											
SIMKON											
SLCR	Fertigungsprozesse Aktivierungsmöglich-keiten für - Lackieren - Kleben	Prozesse	Tests Analysen Zulassungen		Musterbearbeitung von Teilen	Aktivieren für: - Lackieren - Kleben	Aktivieren : - Lackieren - Kleben	Aktivieren : - Lackieren - Kleben			
SLF	Fertigungsprozesse - Lackieren - Strahlen (media) - Kleben		Freigaben für neue Prozesse		Bereitstellung von flexiblen Produktionsanlagen	- Lackieren - Strahlen (media) - Kleben	- Kleben	- Lackieren - Strahlen (media) - Kleben			- Lackieren - Strahlen (media) - Kleben
Dürr						Oberflächenbearbeitung von CFK-Schalen-segmenten nach Demolding: Positionieren der Schalensegmente --> Oberflächenaktivierung, Vorlackieren, etc. (AutoLFZ)	Einmess-, Positionier- und Anpressvorgang: Bsp.: Aktivierung von Stringer-Flächen --> Aufnahme von Stringern durch Positioniersystem (seriell, lineare Kinematik); Präsentation gegenüber Aktivierungsapplikation (AutoLFZ); Aktivierung durch Applikation, Positionierung der Stringer auf Schale und Anpressvorgang	Einmessen, Positionierung	Einmessen, Positionieren und Handhaben, Fügebewegung	Einmessen, Positionieren und Handhaben; Fügebewegung	

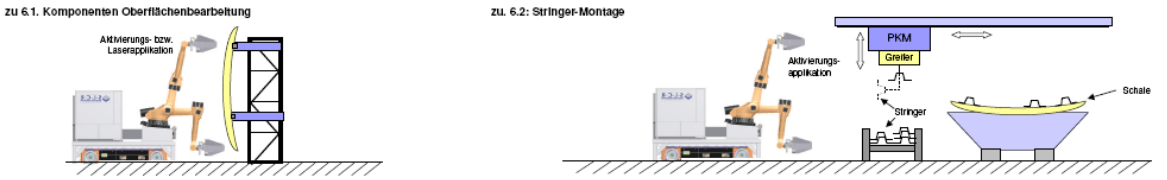


Abb. 48: Modulares Positionierprinzip

Ein Ansatz für den Datenaustausch wurde wie folgt konzipiert:

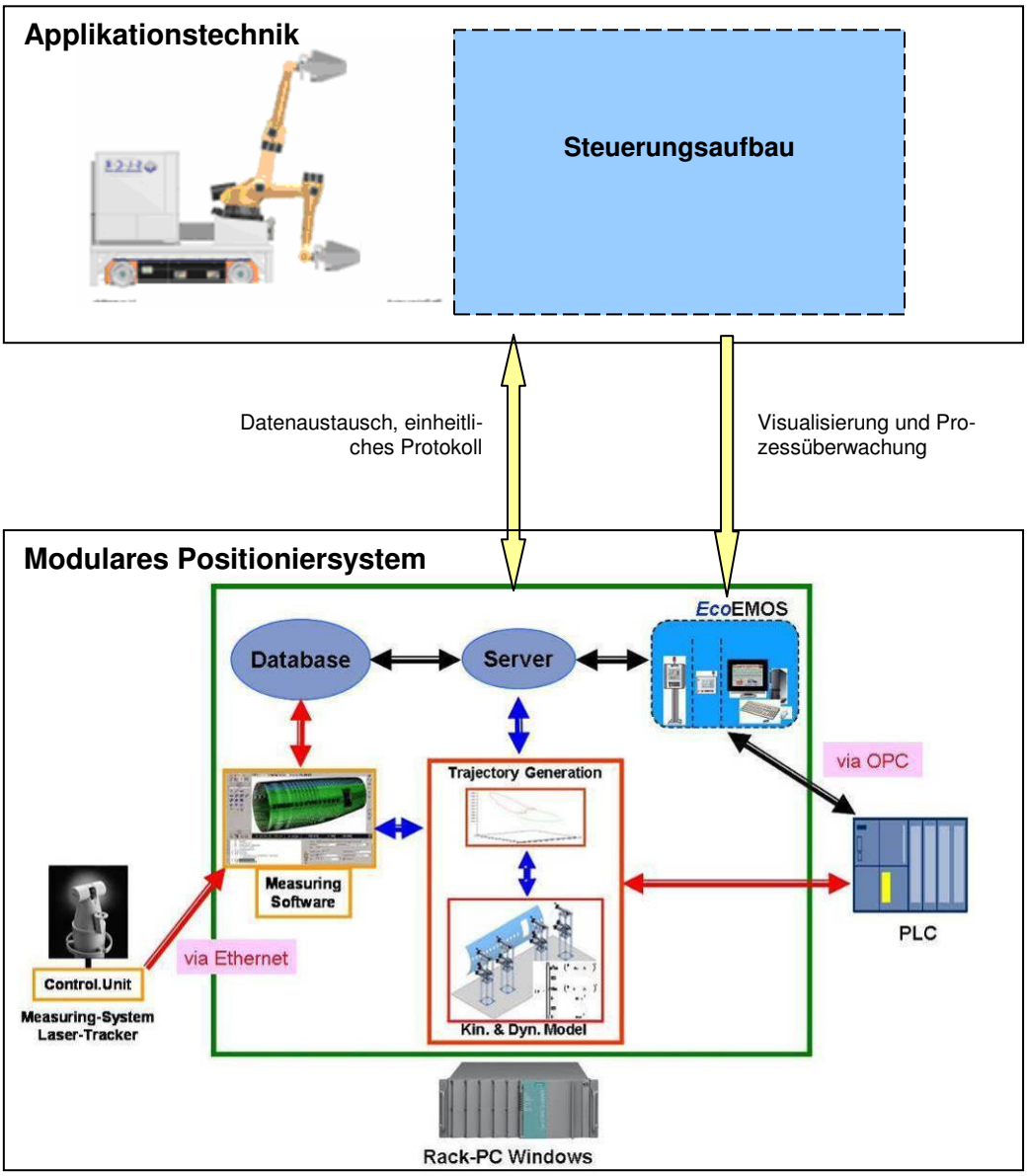


Abb. 49: Möglicher Datenfluss

2.8 Skalierung der Systemanwendung

Der zentrale Punkt bei der Systemskalierung war die Erweiterung der Zugänglichkeit. Hierzu wurden Konzepte erstellt und Systemkomponenten getestet.

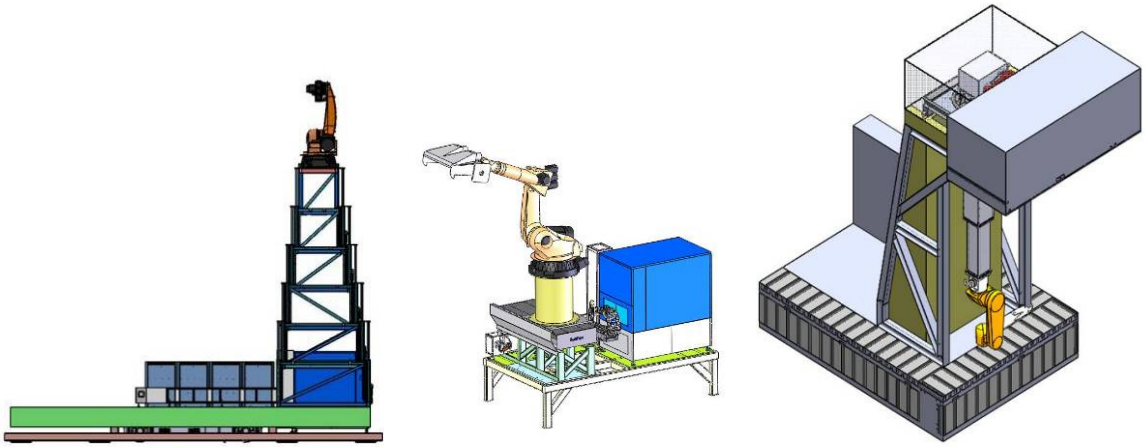


Abb. 50: Verschiedene Einheiten zur Höhenerweiterung bis ca. 10 m. Auf Luftkissen verfahrbar, oder positioniert mit OmniMove.

Arbeitsbereiche

Basierend auf der Ursprungsannahme alle Höhenbereiche mit einem Trägersystem bzw. Trägersystemkonzept zu bedienen stellte sich heraus, dass eine Trennung zwischen niedrigen Höhen und großen Höhen erforderlich ist. Zum einen sind im unteren Bereich kleine Baugrößen notwendig, um auch unter Tragflächen oder unter den Rumpf zu gelangen. Zum anderen sind in großen Höhen auch der Zugang zu Rumpfoberseite und Tragflächenoberseite zu ermöglichen. Daher wurde gemeinsam festgelegt eine Systemgrenze einzuführen. In Höhen bis ca. 5-8 m soll von einem rein bodengeführten System (wie in der ersten Phase bereits konstruiert) agiert werden und darüber hinaus mit einem Brückensystem, welches auf diesem Konzept aufbaut, aber wie eine Brücke dann über Tragflächen und Rumpfe geschoben werden kann. Durch die Verwendung von mind. zwei Auflagepunkten wird eine deutlich bessere Stabilität erreicht. Das Pflichtenheft wird diesbezüglich ergänzt.

Dazu wurde für die Erweiterung und Änderung des Arbeitsbereiches durch Aufsplitten in eine obere und untere Bearbeitungsebene und Optimierung der Systemkomponenten auf diese beiden Applikationsszenarien festgelegt.

Von Seiten Dürr kann der Arbeitsraum des Gesamtsystems um die Bewegungsachsen und den entsprechenden Arbeitsraum der Positionierer ebenfalls vergrößert werden.
Die modulare Struktur und der Aufbau des Systems richten sich hierbei nach der Bauteilgröße (Seitenschalelänge). Die achsspezifischen Bewegungen (Hub- und Verfahrwege) in x, y, z - Richtungen orientieren sich wiederum an den spezifischen Prozessanforderungen der Bauteile und liegen zwischen 50mm und 700mm. Der Bewegungsraum des Positioniersystems kann damit zu einer verbesserten Erreichbarkeit der Applikation zum Bauteil während des Prozesses beitragen.

2.9 Finale Bearbeitung und weitere Möglichkeiten

2.9.1 Abschlusspräsentation

Die gesamten Ergebnisse wurden in einer Abschlusspräsentation zusammen mit den Partnern vorgestellt.

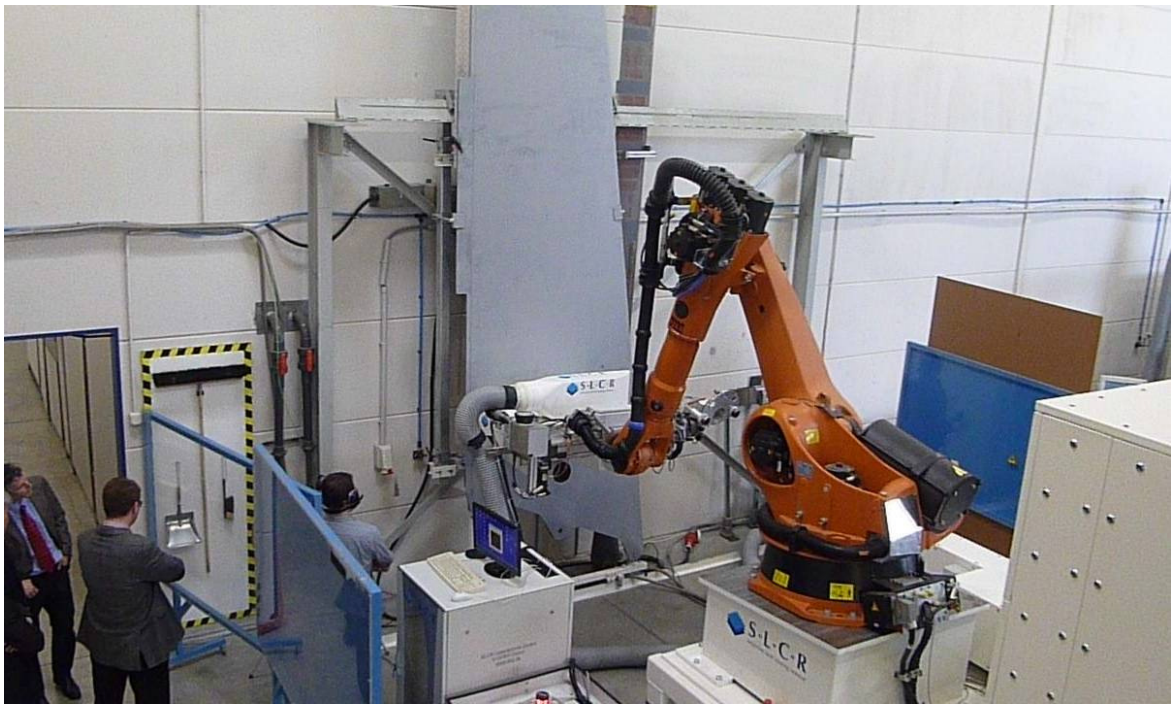


Abb. 51: Gesamtsystem bei der Abschlusspräsentation

Abb. 52: Erklärung der Systemfunktionen bei der Abschlusspräsentation

Abb. 53: Systemansicht mit TEA-CO_2 Laser, Faser Laser und Schaltschrank

Abb. 54: System mit Plattform auf OmniMove montiert

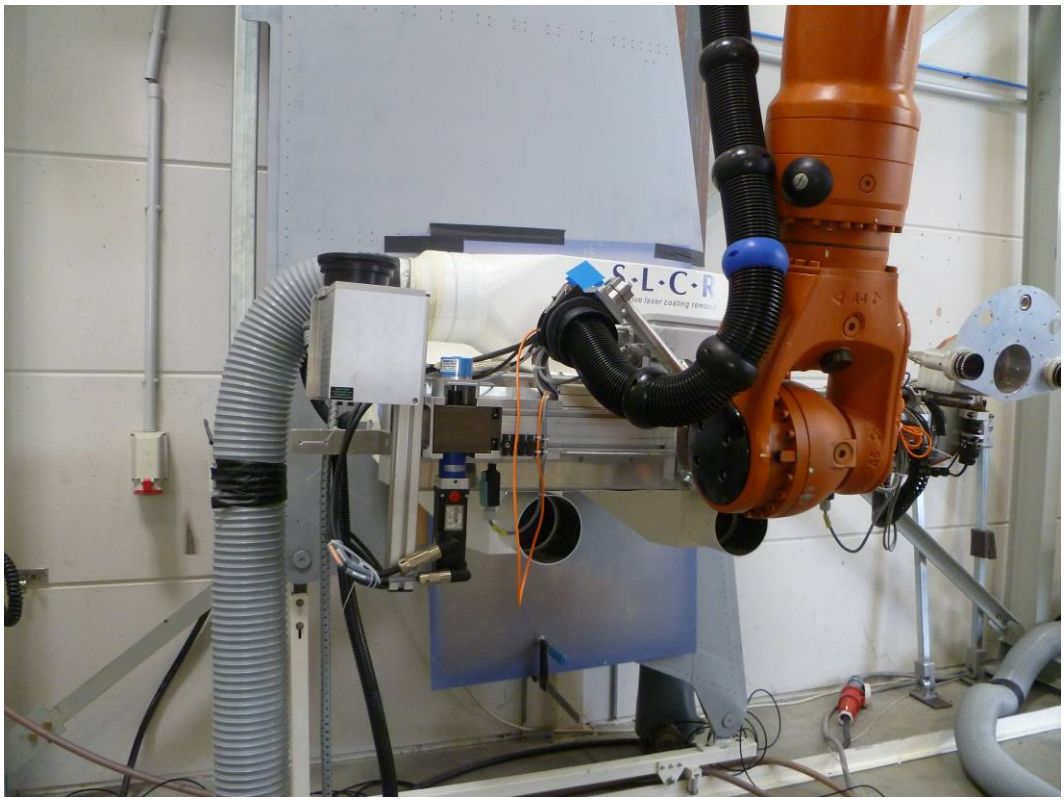


Abb. 55: Roboterarm mit integrierten Bearbeitungsköpfen

Abb. 56: Roboterarm mit integrierten Bearbeitungsköpfen

2.9.2 Weitere Ansätze

Zusammen mit den Partnern wurden weitere Ansätze diskutiert und konzeptionell überprüft. Aus diesen Ansätzen sind nachfolgend einige der möglichen Varianten gezeigt. Detailbeschreibungen sind im Bericht der Fa. Fahrion enthalten.

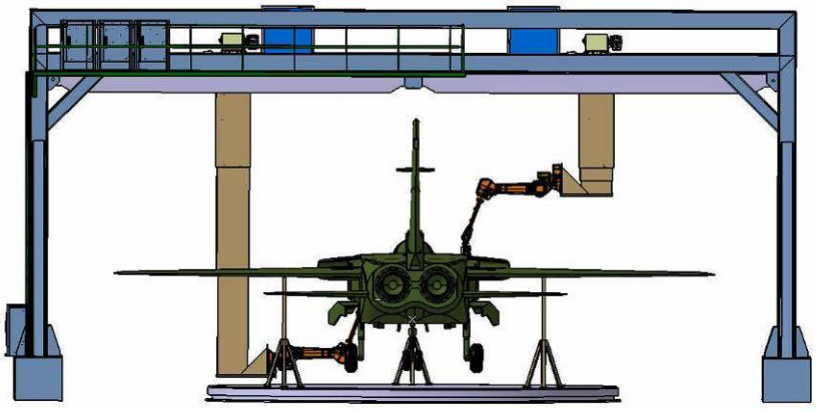


Abb. 57: Portal mit Bearbeitung von oben und unten

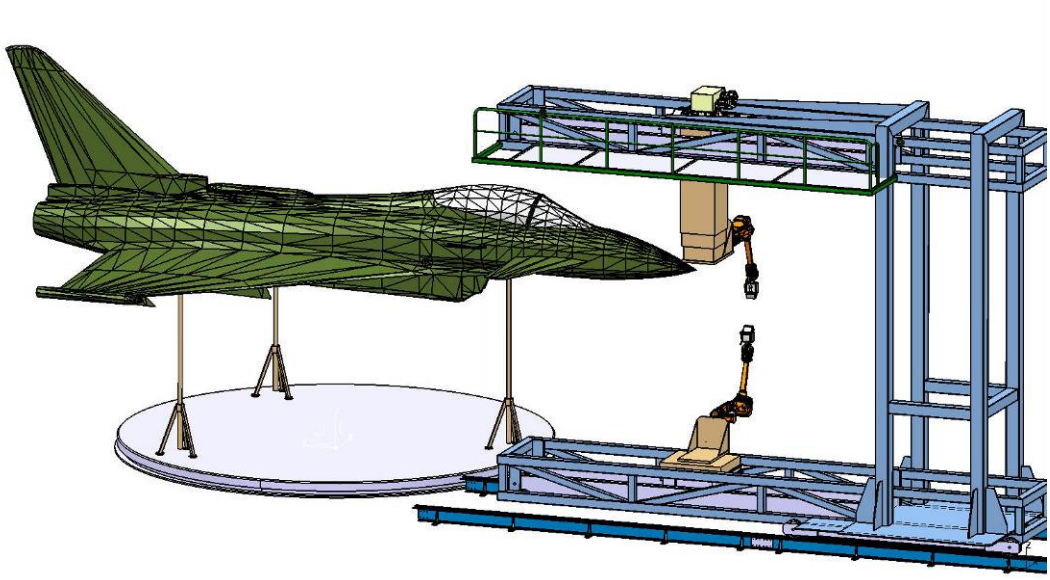


Abb. 58: C-Portal mit Kopfzuführung unten und oben

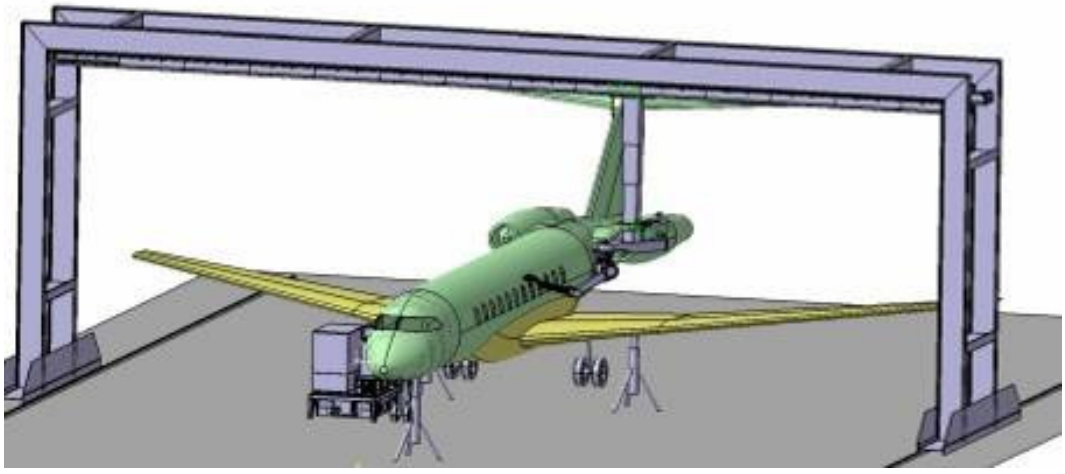


Abb. 59: Portalsystem und OmniMove für größere Lfz

2.10 Sonstiges

Darüber hinaus wurden von uns die Aufgaben als Projektkoordinator wahrgenommen.

3 Veröffentlichungen, Vorträge

Bisher wurden keinerlei Projektergebnisse in Vorträgen oder auf andere Art und Weise veröffentlicht.

4 Zusammenstellung der verwendeten Fachliteratur

Bisher keine

5 Erstellte Dokumentation

- Zwischenberichte gemäß Vorgaben

SLCR Lasertechnik GmbH