



Betriebsanleitung für Anlage

Roboter-Schweißzelle RSZ-2600 (Gesamtheit von Maschinen)

Robotergetstützte MAG-Schweißzelle für Stahlbaugruppen bis 40 kg

Baujahr: 2026

**SH Engineering
Musterstraße 15
70565 Stuttgart
Deutschland**

Ausgabe 08/2026 · Version 1.0 · Projekt-Nr. MUSTER-2026-001 · Kunde: Beispiel-Ansprechpartner — Muster
Maschinenbau GmbH

Originalbetriebsanleitung



SH Engineering
Musterstraße 15
70565 Stuttgart

E-Mail: info@sh-eng.de
Web: www.sh-eng.de

13.8.2026



Inhaltsverzeichnis

1 Wichtige grundlegende Informationen

- 1.1 Lieferumfang und Grenzen der Maschine
- 1.2 Verantwortlichkeiten (Anlagenbauer / Betreiber)
- 1.3 Externe Schnittstellen
- 1.4 Rechtliche Hinweise und angewandte Normen
- 1.5 Dokumentation (Aufbau, Abkürzungen, Fachbegriffe)
- 1.6 Angewandte harmonisierte Normen

2 Sicherheit

- 2.1 Bestimmungsgemäße Verwendung
- 2.2 Vernünftigerweise vorhersehbare Fehlanwendung
- 2.3 Beachtung der Betriebsanleitung
- 2.4 Sicherheitskennzeichnung
- 2.5 Schutzeinrichtungen
- 2.6 Restgefahren und Schutzmaßnahmen

3 Technische Daten

- 3.1 Ausstattung

4 Anlagenbeschreibung

- 4.1 Aufbau und Hauptbaugruppen
- 4.2 Bedienerarbeitsplätze
- 4.3 Funktionsbeschreibung

5 Anlieferung, Transport, Auspacken

- 5.1 Sicherheitshinweise zu Transport und Handhabung
- 5.2 Gewichte, Schwerpunkte und Transportmittel
- 5.3 Anschlagpunkte und sicheres Heben
- 5.4 Transportsicherungen
- 5.5 Auspacken
- 5.6 Lagerung bis zur Aufstellung

6 Lagerbedingungen

- 6.1 Korrosionsschutz
- 6.2 Maximale Lagerdauer und wiederkehrende Prüfungen

7 Aufstellbedingungen

- 7.1 Platzbedarf und Maße
- 7.2 Fundament / Tragfähigkeit
- 7.3 Umgebungsbedingungen



7.4 Versorgungsanschlüsse

8 Montage und Installation, Erstinbetriebnahme

8.1 Sicherheit

8.2 Montage und Installation

8.3 Erstinbetriebnahme

9 Bedienung

9.1 Sicherheit

9.2 Bedienelemente und Anzeigen

9.3 Betriebsarten

9.4 Inbetriebnahme und Rüsten

9.5 Außerbetriebnahme

10 Instandhaltung

10.1 Wartungsnachweis

10.2 Inspektions- und Wartungsplan

10.3 Schmierplan

11 Demontage und Entsorgung

11.1 Sicherheitshinweise zur Demontage

11.2 Reihenfolge der Demontage

11.3 Trennen und Entsorgen der Betriebsstoffe

11.4 Werkstofftrennung und Recycling

12 Pläne und sonstige Informationen

12.1 Zeichnungen und Ersatzteile

12.2 Elektrodokumentation

12.3 Nachweis der Risikobeurteilung

Anhang

Normen-Analyse (angewandte Normen mit Begründung)

Risikobeurteilung nach EN ISO 12100 (vollständige Dokumentation)

Prüfprotokolle

Konformitätserklärung

1 Wichtige grundlegende Informationen

Teile dieses Kapitels wurden automatisch übernommen aus: Risikobeurteilung, Maschinenprofil, Konformitätserklärung.

Diese Betriebsanleitung gilt für die Roboter-Schweißzelle RSZ-2600 (Seriennummer RSZ2600-2026-0001, Baujahr 2026) und richtet sich an den Betreiber sowie an das mit Bedienung, Rüsten, Instandhaltung und Demontage beauftragte Personal. Sie ist Teil der Maschine, muss dem Personal jederzeit zugänglich sein und ist bei einem Standortwechsel oder einer Weiterveräußerung mitzugeben. Dieses Kapitel beschreibt den Lieferumfang, die Grenzen der Maschine, die externen Schnittstellen sowie die rechtlichen Grundlagen dieser Dokumentation.

1.1 Lieferumfang und Grenzen der Maschine

Lieferumfang: Die RSZ-2600 wird als funktionsfähige Gesamtheit von Maschinen geliefert. Zum Lieferumfang gehören: Knickarm-Industrieroboter mit 6 Achsen (Reichweite 2600 mm, Traglast 12 kg) einschließlich Robotersteuerung und Teach-Pendant; Zweistationen-Wendetisch mit trennender Mittelwand, Schweißerschutzvorhang und pneumatischen Werkstückspannern; MAG-Schweißstromquelle 400 A bei 60 Prozent Einschaltdauer mit Drahtvorschub und Brennerreinigungsstation; Schweißrauchabsaugung 1800 m³/h mit Filterpatrone; umlaufender Schutzzaun 2200 mm mit Wartungstür, Lichtvorhang Typ 4, Sicherheits-SPS, Bedienpult und Schaltschrank; Betriebsanleitung, EG-Konformitätserklärung, elektrische und pneumatische Schaltpläne sowie Prüfprotokolle. Nicht zum Lieferumfang gehören: werkstückspezifische Spannvorrichtungen (sofern nicht gesondert vereinbart), die bauseitige Schutzgasversorgung, die bauseitigen Medienanschlüsse sowie eine optionale Fortluftführung der Absaugung.

Verwendungsgrenzen: MAG-Schweißen von Stahlbaugruppen (unlegierter und niedriglegierter Stahl) bis 40 kg Werkstückgewicht und maximal 800 x 600 x 400 mm Bauraum. Ausschließlich Serienfertigung mit vorgegebenen, freigegebenen Schweißprogrammen. Manuelle Beschickung und Entnahme an der jeweils vorderen Station durch geschultes Fachpersonal, Taktzeit rund 90 Sekunden. Nicht bestimmt für Aluminium, verzinkte oder beschichtete Werkstücke, nicht für Handschweißen innerhalb der Zelle, nicht für Werkstücke mit Restspannung aus Vorprozessen.

Räumliche Grenzen: Grundfläche rund 6,5 x 4,0 m, Höhe 2,6 m. Roboterarbeitsraum Reichweite 2600 mm, vollständig von Schutzzaun 2200 mm Höhe und der trennenden Mittelwand des Wendetisches umschlossen. Schwenkbereich des Wendetisches 180 Grad. Bedienplatz vor der Beschickungsstation, Lichtvorhang Typ 4 mit 30 mm Auflösung, Sicherheitsabstand nach EN ISO 13855 berechnet und dokumentiert. Eine Wartungstür an der Rückseite. Schnittstellen zu vorgelagerten und nachgelagerten Prozessen ausschließlich manuell.

Zeitliche Grenzen: erwartete Lebensdauer 15 Jahre bei 2 Schichten, jährliche Wartung durch den Hersteller, halbjährliche Prüfung der Sicherheitsfunktionen, Prüfung der Zuhaltung und des Lichtvorhangs nach EN ISO 14119 und EN ISO 13855 bei jeder Wartung. Verschleißteile: Schweißbrenner, Kontaktdüsen, Gasdüse, Drahtvorschubrollen, Filterpatrone der Absaugung, Schweißerschutzvorhang.

Umgebungsgrenzen: trockener Innenraum einer Produktionshalle, 5 bis 40 Grad C, relative Luftfeuchte bis 70 Prozent nicht kondensierend, Netzanschluss 400 V AC 50 Hz TN-S, Anschlussleistung 32 kVA, Druckluft 6 bar geölfrei, Aufstellung auf ebenem Industriebetonboden. Kein Ex-Bereich, kein Außeneinsatz.

Grenzen der Gesamtheit: Die Zelle umfasst Roboter (unvollständige Maschine mit Einbauerklärung), Wendetisch, Schweißstromquelle (CE-gekennzeichnete Teilmaschine), Absaugung sowie Zaun-, Tür- und Sensorik-Komponenten. Die Schnittstellen zwischen diesen Teilen sind in der Risikobeurteilung der Gesamtheit bewertet und in der EG-Konformitätserklärung der Gesamtheit berücksichtigt.

1.2 Verantwortlichkeiten (Anlagenbauer / Betreiber)

Die Aufgaben zwischen Anlagenbauer (Hersteller) und Betreiber sind wie folgt abgegrenzt:

Verantwortung des Herstellers: Konstruktion, Bau und Konformität der Gesamtheit von Maschinen einschließlich Risikobeurteilung, Validierung der Sicherheitsfunktionen und Technischer Dokumentation; Erstinbetriebnahme mit dokumentierter Abnahme; jährliche Wartung gemäß Vereinbarung; Lieferung von Ersatzteilen und technische Unterstützung.

Verantwortung des Betreibers: Betrieb der Maschine ausschließlich im Rahmen der bestimmungsgemäßen Verwendung; Auswahl und Qualifikation des Personals sowie dessen regelmäßige, dokumentierte Unterweisung (mindestens jährlich); Bereitstellung der persönlichen Schutzausrüstung und Überwachung ihrer Benutzung; arbeitsplatzbezogene Gefährdungsbeurteilung nach ArbSchG und BetrSichV einschließlich Lärm und Schweißrauch (TRGS 528); wiederkehrende Prüfung der elektrischen Ausrüstung nach DGUV Vorschrift 3; halbjährliche Prüfung der Sicherheitsfunktionen sowie Instandhaltung nach Kapitel 10 einschließlich Führung des Wartungsnachweises; Bereitstellung der bauseitigen Medien (Elektro, Druckluft, Schutzgas) in der geforderten Qualität; arbeitsmedizinische Vorsorge bei Exposition gegenüber Schweißrauch; Meldung sicherheitsrelevanter Ereignisse und Störungen an den Hersteller.

Veränderungen an der Maschine: Umbauten und Nachrüstungen sind nur nach schriftlicher Freigabe durch den Hersteller zulässig. Wesentliche Veränderungen im Sinne der Maschinenrichtlinie können eine erneute Konformitätsbewertung erforderlich machen.

1.3 Externe Schnittstellen

Die Maschine verfügt über folgende Versorgungs- und Medienschnittstellen:

- Elektrische Energieversorgung: 400 V AC, 3/N/PE, 50 Hz, Netzform TN-S, Anschlussleistung 32 kVA, bauseitige Absicherung 63 A gG, Einspeisung am Hauptschalter des Schaltschranks.
- Druckluftversorgung: 6 bar, ölfrei, Anschluss G 1/2 an der Wartungseinheit der Maschine.
- Schutzgasversorgung (bauseitig): Mischgas M21 nach EN ISO 14175 (82 Prozent Argon, 18 Prozent CO₂), Anschluss an der Schweißstromquelle, Durchfluss rund 15 l/min am Brenner.
- Schweißrauchabsaugung: in die Zelle integriertes Absauggerät 1800 m³/h mit Filterpatrone im Umluftbetrieb; optional bauseitiger Fortluftanschluss.

- Signalschnittstellen: potenzialfreie Meldekontakte (Betriebs- und Sammelstörmeldung) zur Aufschaltung auf eine übergeordnete Leittechnik. Es bestehen keine sicherheitstechnischen Schnittstellen zu benachbarten Anlagen; die Verkettung mit vor- und nachgelagerten Prozessen erfolgt ausschließlich manuell.

Die Anforderungen an die bauseitige Ausführung der Anschlüsse sind in Kapitel 7 (Aufstellbedingungen) beschrieben.

1.4 Rechtliche Hinweise und angewandte Normen

Der Hersteller erklärt die Konformität der Maschine mit folgenden Richtlinien:

- Maschinenrichtlinie 2006/42/EG
- EMV-Richtlinie 2014/30/EU

Die Schutzziele der Niederspannungsrichtlinie 2014/35/EU werden gemäß Anhang I Nr. 1.5.1 der Maschinenrichtlinie eingehalten. Die EG-Konformitätserklärung liegt dieser Betriebsanleitung bei; die CE-Kennzeichnung ist auf dem Typenschild angebracht.

Diese Betriebsanleitung ist die Originalbetriebsanleitung im Sinne von Anhang I Nr. 1.7.4.1 der Maschinenrichtlinie. Bei Übersetzungen ist die deutsche Fassung maßgebend; Übersetzungen sind als Übersetzung der Originalbetriebsanleitung zu kennzeichnen.

Eigenmächtige Umbauten und Veränderungen an der Maschine, insbesondere an den Schutzeinrichtungen und an der Sicherheitssteuerung, sind unzulässig. Sie können die Konformität der Maschine aufheben und führen zum Verlust der Gewährleistung; für hieraus entstehende Schäden übernimmt der Hersteller keine Haftung. Es dürfen nur Ersatzteile verwendet werden, die den vom Hersteller festgelegten Anforderungen entsprechen.

Diese Dokumentation ist urheberrechtlich geschützt. Vervielfältigung und Weitergabe an Dritte sind nur zulässig, soweit dies für Betrieb, Instandhaltung oder Weiterveräußerung der Maschine erforderlich ist.

Die vollständige Liste der angewandten Normen ist am Ende dieses Kapitels aufgeführt.

1.5 Dokumentation (Aufbau, Abkürzungen, Fachbegriffe)

Aufbau: Diese Betriebsanleitung ist in 12 Kapitel gegliedert und folgt dem Lebenszyklus der Maschine von der Anlieferung bis zur Entsorgung. Sicherheitsbezogene Informationen stehen gebündelt in Kapitel 2 und zusätzlich zu Beginn der jeweiligen Tätigkeitskapitel.

Darstellung von Warnhinweisen: Warnhinweise sind nach Gefährdungsgrad abgestuft. GEFAHR kennzeichnet eine unmittelbar gefährliche Situation, die zum Tod oder zu schweren Verletzungen führt. WARNUNG kennzeichnet eine möglicherweise gefährliche Situation, die zum Tod oder zu schweren Verletzungen führen kann. VORSICHT kennzeichnet eine Situation, die zu leichten bis mittelschweren Verletzungen führen kann. HINWEIS kennzeichnet Informationen zur Vermeidung von Sachschäden.



Abkürzungen: BWS = berührungslos wirkende Schutzeinrichtung; ED = Einschaltdauer; HMI = Bedienoberfläche (Human Machine Interface); LOTO = Lockout/Tagout (Freischalten und gegen Wiedereinschalten sichern); MAG = Metall-Aktivgas-Schweißen; MRL = Maschinenrichtlinie 2006/42/EG; PL = Performance Level nach EN ISO 13849-1; PSA = persönliche Schutzausrüstung; SLS = sicher begrenzte Geschwindigkeit; SPS = speicherprogrammierbare Steuerung; TCP = Tool Center Point (Werkzeugarbeitspunkt).

Mitgeltende Unterlagen: Montageanleitung des Roboterherstellers, Betriebsanleitungen von Schweißstromquelle, Drahtvorschub und Schweißrauchabsaugung, elektrische und pneumatische Schaltpläne, EG-Konformitätserklärung sowie Prüf- und Abnahmeprotokolle. Diese Unterlagen sind zusammen mit dieser Betriebsanleitung aufzubewahren.

1.6 Angewandte harmonisierte Normen

Automatisch übernommen aus der Normen-Checkliste des Projekts.

A-Normen (Sicherheitsgrundnormen)

Norm	Titel	Richtlinien
EN ISO 12100:2010	Sicherheit von Maschinen - Allgemeine Gestaltungsleitsätze - Risikobeurteilung und Risikominderung	2006/42/EG

B-Normen (Sicherheitsgruppennormen)

Norm	Titel	Richtlinien
EN 60204-1:2018	Sicherheit von Maschinen - Elektrische Ausrüstung von Maschinen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen	2006/42/EG, 2014/35/EU
EN 61000-6-2:2019	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Teil 6-2: Fachgrundnormen - Störfestigkeit für Industriebereiche	2014/30/EU
EN 61000-6-4:2019	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Teil 6-4: Fachgrundnormen - Störaussendung für Industriebereiche	2014/30/EU
EN 61496-1:2020	Sicherheit von Maschinen - Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfungen	



Norm	Titel	Richtlinien
EN 61496-2:2020	Sicherheit von Maschinen - Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen - Teil 2: Aktive optoelektronische Schutzeinrichtungen	
EN ISO 11161:2007+A1:2010	Sicherheit von Maschinen - Integrierte Fertigungssysteme - Grundlegende Anforderungen	2006/42/EG
EN ISO 11202:2010	Akustik - Geräusche von Maschinen und Geräten - Bestimmung von Emissions- Schalldruckpegeln am Arbeitsplatz und an anderen festgelegten Positionen unter Anwendung angenäherter Umgebungskorrekturen	2006/42/EG
EN ISO 13849-1:2023	Sicherheit von Maschinen - Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen - Teil 1: Allgemeine Gestaltungsleitsätze	2006/42/EG
EN ISO 13849-2:2012	Sicherheit von Maschinen - Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen - Teil 2: Validierung	2006/42/EG
EN ISO 13850:2015	Sicherheit von Maschinen - Not- Halt-Funktion - Gestaltungsleitsätze	2006/42/EG
EN ISO 13854:2019	Sicherheit von Maschinen - Mindestabstände zur Vermeidung des Quetschens von Körperteilen	2006/42/EG
EN ISO 13855:2010	Sicherheit von Maschinen - Anordnung von Schutzeinrichtungen im Hinblick auf Annäherungsgeschwindigkeiten von Körperteilen	2006/42/EG
EN ISO 13857:2019	Sicherheit von Maschinen - Sicherheitsabstände gegen das Erreichen von Gefährdungsbereichen mit den oberen und unteren Gliedmaßen	2006/42/EG



Roboter-Schweißzelle RSZ-2600 (Gesamtheit von Maschinen)

Robotergetriebene MAG-Schweißzelle für Stahlbaugruppen bis 40 kg

Originalbetriebsanleitung

Stand: 13.8.2026

Norm	Titel	Richtlinien
EN ISO 14118:2018	Sicherheit von Maschinen - Vermeidung von unerwartetem Anlauf	2006/42/EG
EN ISO 14119:2013	Sicherheit von Maschinen - Verriegelungseinrichtungen in Verbindung mit trennenden Schutzeinrichtungen - Leitsätze für Gestaltung und Auswahl	2006/42/EG
EN ISO 14120:2015	Sicherheit von Maschinen - Trennende Schutzeinrichtungen - Allgemeine Anforderungen an Gestaltung und Bau von feststehenden und beweglichen trennenden Schutzeinrichtungen	2006/42/EG
EN ISO 4414:2010	Fluidtechnik - Allgemeine Regeln und sicherheitstechnische Anforderungen an Pneumatikanlagen und deren Bauteile	2006/42/EG
EN ISO 4871:2009	Akustik - Angabe und Nachprüfung von Geräuschemissionswerten von Maschinen und Geräten	2000/14/EG, 2006/42/EG

C-Normen (Produktnormen)

Norm	Titel	Richtlinien
EN ISO 10218-1:2011	Industrieroboter - Sicherheitsanforderungen - Teil 1: Roboter	2006/42/EG
EN ISO 10218-2:2011	Industrieroboter - Sicherheitsanforderungen - Teil 2: Robotersysteme und Integration	2006/42/EG
EN ISO 21904-1:2020	Gesundheit und Sicherheit beim Schweißen und bei verwandten Verfahren — Einrichtungen zur Erfassung und Abscheidung von Schweißrauch — Teil 1: Allgemeine Anforderungen (ISO 21904-1:2020)	2006/42/EG

2 Sicherheit

Teile dieses Kapitels wurden automatisch übernommen aus: Risikobeurteilung, Maschinenprofil.

Dieses Kapitel enthält die grundlegenden Sicherheitsinformationen für alle Lebensphasen der Roboter-Schweißzelle RSZ-2600. Es beschreibt die bestimmungsgemäße Verwendung, die vernünftigerweise vorhersehbare Fehlanwendung, die installierten Schutzeinrichtungen sowie die Sicherheitskennzeichnung an der Maschine. Ergänzend gelten die tätigkeitsbezogenen Sicherheitshinweise in den Kapiteln 5 bis 11. Die vollständige Übersicht der Restgefahren mit Schutzmaßnahmen aus der Risikobeurteilung ist am Ende dieses Kapitels angefügt und ist von allen Personen zu beachten, die an oder mit der Maschine arbeiten.

2.1 Bestimmungsgemäße Verwendung

Die Roboter-Schweißzelle RSZ-2600 ist ausschließlich bestimmt für das automatisierte MAG-Schweißen von Stahlbaugruppen aus unlegiertem und niedriglegiertem Stahl bis 40 kg Werkstückgewicht und maximal 800 x 600 x 400 mm Bauraum in der Serienfertigung mit vorgegebenen, freigegebenen Schweißprogrammen. Die Beschickung und Entnahme erfolgen manuell an der jeweils vorderen Station des Zweistationen-Wendetisches durch geschultes Fachpersonal bei einer Taktzeit von rund 90 Sekunden. Ein Personenzugang zum Roboterarbeitsraum ist im Automatikbetrieb nicht vorgesehen.

Aufbau als Gesamtheit von Maschinen: (1) Knickarm-Industrieroboter, 6 Achsen, Reichweite 2600 mm, Traglast 12 kg, vom Roboterhersteller als unvollständige Maschine mit Einbauerklärung nach Anhang II 1.B und Montageanleitung nach Anhang VI geliefert. (2) Zweistationen-Wendetisch mit vertikaler Drehachse und 180-Grad-Wendung, trennende Mittelwand mit Schweißerschutzvorhang, pneumatische Werkstückspanner. (3) MAG-Schweißstromquelle 400 A bei 60 Prozent Einschaltdauer, CE-gekennzeichnet, mit Drahtvorschub und Brennerreinigungsstation. (4) Schweißrauchabsaugung 1800 m³/h mit Filterpatrone. Alle Komponenten werden gemeinsam gesteuert und als eine Einheit in Verkehr gebracht.

Zur bestimmungsgemäßen Verwendung gehören auch das Einhalten dieser Betriebsanleitung, der vorgegebenen Wartungsintervalle sowie der Umgebungs- und Anschlussbedingungen nach Kapitel 3 und 7. Die Maschine ist für die stationäre Aufstellung in einer trockenen Produktionshalle im Innenraum bestimmt. Jede andere oder darüber hinausgehende Verwendung gilt als nicht bestimmungsgemäß; für hieraus resultierende Schäden haftet allein der Betreiber. Nicht bestimmungsgemäß sind insbesondere: das Schweißen von Aluminium, verzinkten oder beschichteten Werkstücken; das Handschweißen innerhalb der Zelle; die Bearbeitung von Werkstücken außerhalb der freigegebenen Geometrie- und Gewichtsgrenzen; der Betrieb in explosionsgefährdeten Bereichen oder im Freien.

2.2 Vernünftigerweise vorhersehbare Fehlanwendung

Betreten des Roboterarbeitsraums durch die Beschickungsöffnung trotz Lichtvorhang, etwa durch Übersteigen, Unterkriechen oder Hindurchgreifen zwischen den Strahlen; Manipulation oder Überbrücken des Lichtvorhangs, zum Beispiel durch Abkleben oder Fixieren eines Gegenstandes im Schutzfeld; Umgehen der Zuhaltung der Wartungstür durch einen Ersatzbetätiger oder durch Fixieren der Türposition; Aufenthalt im Schwenkbereich des Wendetisches beim Wenden; Nacharbeiten oder Nacharbeiten am Werkstück im Automatikbetrieb ohne Stillsetzen; Verbleiben des Betriebsartenwahlschalters in der Stellung Einrichten während des Produktionsbetriebs; Dauerbetätigung oder Fixieren der Zustimmungseinrichtung; Arbeiten in der Zelle ohne persönliche Schutzausrüstung, insbesondere ohne Schweißerschutzbrille oder Schutzschild; Betrieb bei abgeschalteter oder verstopfter Schweißrauchabsaugung; Reinigung der Zelle bei eingeschalteter Anlage; Wartung an der Pneumatik ohne Druckentlastung und ohne Sicherung gegen Wiedereinschalten; Bedienung durch nicht unterwiesenes Personal oder durch Leiharbeitskräfte ohne Einweisung; Einlegen von Werkstücken außerhalb der freigegebenen Werkstückgeometrie mit der Folge von Kollisionen; Öffnen der Schweißstromquelle vor Ablauf der Entladezeit.

2.3 Beachtung der Betriebsanleitung

Grundvoraussetzung für den sicheren Umgang mit der Maschine ist die Kenntnis dieser Betriebsanleitung. Vor allen Arbeiten an oder mit der Maschine muss das beauftragte Personal das jeweils zutreffende Kapitel sowie Kapitel 2 (Sicherheit) gelesen und verstanden haben. Die Betriebsanleitung ist in unmittelbarer Nähe der Maschine aufzubewahren und muss dem Personal jederzeit zugänglich sein.

Qualifikation des Personals: Bedienung nur durch unterwiesenes Personal; Rüsten, Teachen und Störungsbeseitigung nur durch geschulte Einrichter mit Roboterschulung; Instandhaltung nur durch qualifiziertes Fachpersonal; Arbeiten an der elektrischen Ausrüstung nur durch Elektrofachkräfte; Arbeiten an Schweißtechnik und Absaugung nur durch hierfür qualifiziertes Personal. Personen in Ausbildung dürfen nur unter ständiger Aufsicht einer erfahrenen Fachkraft an der Maschine arbeiten.

Der Betreiber hat sicherzustellen, dass die Zuständigkeiten klar geregelt sind, die Unterweisungen regelmäßig und dokumentiert erfolgen und nur befugtes Personal Zugang zur Maschine hat. Zusätzlich zu dieser Betriebsanleitung sind die geltenden Vorschriften zu Arbeitsschutz und Unfallverhütung sowie die betrieblichen Anweisungen des Betreibers zu beachten.

2.4 Sicherheitskennzeichnung

An der Maschine sind folgende Sicherheits- und Hinweiszeichen dauerhaft angebracht. Sie sind in lesbarem Zustand zu halten und bei Beschädigung zu erneuern.

Warnzeichen (ISO 7010): Warnung vor elektrischer Spannung (W012) an Schaltschrank und Schweißstromquelle; Warnung vor heißer Oberfläche (W017) an Wendetisch und Brennerreinigungsstation; Warnung vor optischer Strahlung (W027) an der Beschickungsöffnung und

der Wartungstür; Warnung vor automatisch anlaufender Maschine an allen Zugängen zum Roboterarbeitsraum.

Verbotszeichen (ISO 7010): Zutritt für Unbefugte verboten (P006) an der Wartungstür; kein Zutritt für Personen mit Herzschrittmachern oder implantierten Defibrillatoren (P007) an allen Zugängen, da beim MAG-Schweißen elektromagnetische Felder entstehen.

Gebotszeichen (ISO 7010): Augenschutz benutzen (M004) und Gehörschutz benutzen (M003) am Bedienplatz; Fußschutz benutzen (M008) im gesamten Arbeitsbereich.

Weitere Kennzeichnungen: Typenschild mit CE-Kennzeichnung an der rechten Seite des Schaltschranks; Kennzeichnung der Not-Halt-Befehlsgeräte; Hinweis auf die Entladezeit an der Schweißstromquelle; Schwerpunkt- und Anschlagpunktkennzeichnung an den transportrelevanten Baugruppen; gelb-schwarze Bodenmarkierung der Verkehrswege und des Schwenkbereichs der Wartungstür.

2.5 Schutzeinrichtungen

An der RSZ-2600 sind die nachfolgend beschriebenen Schutzeinrichtungen fest installiert. Sie dürfen weder entfernt, verändert noch umgangen werden. Die Maschine darf nur mit vollständig montierten und funktionsfähigen Schutzeinrichtungen betrieben werden.

Trennende Schutzeinrichtungen: Umlaufender Schutzzaun, Höhe 2200 mm, mit schweißlichtundurchlässiger Bespannung und Sockelblende; Auslegung der Sicherheitsabstände nach EN ISO 13857. Wartungstür an der Rückseite als bewegliche trennende Schutzeinrichtung mit Verriegelung und Zuhaltung nach EN ISO 14119 (Ruhestromprinzip, codierter Betätiger); die Zuhaltung wird erst nach überwachtem Stillstand von Roboter und Wendetisch freigegeben. Trennende Mittelwand des Zweistationen-Wendetisches mit Schweißerschutzvorhang zwischen Bedienplatz und Schweißbereich.

Berührungslos wirkende Schutzeinrichtung: Lichtvorhang Typ 4 nach EN 61496-1/-2 mit 30 mm Auflösung an der Beschickungsöffnung, Schutzfeld ohne Muting durchgehend wirksam; Sicherheitsabstand nach EN ISO 13855 berechnet und dokumentiert. Ein Eingriff in das Schutzfeld löst den sicheren Halt von Roboter und Wendetisch aus.

Sicherheitssteuerung und Sicherheitsfunktionen: Eine Sicherheits-SPS wertet alle Schutzeinrichtungen aus. Wesentliche Sicherheitsfunktionen nach EN ISO 13849-1: SF-01 Verriegelung und Zuhaltung der Wartungstür (PL d, Kategorie 3); SF-02 Lichtvorhang an der Beschickungsöffnung (PL e, Kategorie 4); SF-03 Not-Halt (PL d, Kategorie 3); SF-04 Freigabe der Schwenkbewegung des Wendetisches (PL e, Kategorie 4); SF-05 sicher reduzierte Geschwindigkeit im Einrichtbetrieb, maximal 250 mm/s am TCP (PL d); SF-06 Überwachung des Spanndrucks der pneumatischen Werkstückspanner (PL d). Die Validierung der Sicherheitsfunktionen ist nach EN ISO 13849-2 dokumentiert.

Not-Halt: Not-Halt-Befehlsgeräte nach EN ISO 13850 am Bedienpult, an der Wartungstür und am Teach-Pendant. Not-Halt wirkt auf alle Teilmaschinen der Zelle (Roboter, Wendetisch, Schweißstromquelle, Drahtvorschub) und bewirkt ein gesteuertes Stillsetzen (Stopp-Kategorie 1 nach EN 60204-1). Der Wiederanlauf ist erst nach Entriegeln des betätigten Befehlsgeräts und manueller Quittierung am Bedienpult möglich.

Betriebsartenwahl und Einrichtbetrieb: Abschließbarer Betriebsartenwahlschalter mit den Betriebsarten Automatik und Einrichten; der Schlüssel verbleibt bei der berechtigten Person. Im Einrichtbetrieb sind die Geschwindigkeit sicher auf 250 mm/s begrenzt und Bewegungen nur bei betätigter dreistufiger Zustimmung am Teach-Pendant nach EN ISO 10218-1 möglich; Loslassen oder Durchdrücken stoppt die Bewegung sofort.

Wiederanlaufsperrung und Anlaufwarnung: Nach dem Ansprechen einer Schutteinrichtung, nach Not-Halt und nach Spannungswiederkehr verhindert die Wiederanlaufsperrung einen selbsttätigen Anlauf. Die Quittierung erfolgt ausschließlich am Bedienpult außerhalb des Gefahrenbereichs mit Sichtverbindung zur Beschickungsöffnung. Vor dem automatischen Anlauf ertönt eine Anlaufwarnung; die Signalsäule zeigt den Betriebszustand an.

Energietrennung: Hauptschalter mit abschließbarer Nullstellung nach EN 60204-1 zur sicheren Freischaltung (LOTO); absperbares Druckluft-Absperrventil mit Entlüftungsfunktion und Restdruckanzeige am Wartungszugang; Warnhinweis zur Entladezeit der Schweißstromquelle vor dem Öffnen.

Pneumatische Sicherheit: Druckwächter am Spannkreis, der die Schwenkbewegung des Wendetisches nur bei bestätigtem Spanndruck und korrekt gespanntem Werkstück freigibt; Druckhalteventil in der Spannleitung, das das Werkstück bei Druckabfall gespannt hält.

Weitere Schutzmaßnahmen: Kollisionsschutzkupplung am Schweißbrenner mit sofortigem Sicherheitsstopp bei Kollision; Prallschutz im Bereich des Wendetisches; Schweißrauchabsaugung 1800 m³/h mit Überwachung der Absaugleistung; Bodenmarkierungen der Verkehrswege und Kabelbrücken mit Überfahrschutz im Umfeld der Zelle.

Die Wirksamkeit der Schutteinrichtungen ist nach den Vorgaben in Kapitel 9 (tägliche Prüfungen) und Kapitel 10 (wiederkehrende Prüfungen) zu kontrollieren. Festgestellte Mängel sind sofort zu melden; die Maschine ist bis zur Instandsetzung stillzusetzen.

2.6 Restgefahren und Schutzmaßnahmen

Trotz der beschriebenen Schutteinrichtungen verbleiben an der Maschine Restgefahren, die konstruktiv nicht vollständig beseitigt werden können. Die vollständige, nach Lebensphasen gegliederte Übersicht aller 38 Restgefahren mit den zugehörigen Schutzmaßnahmen ist aus der Risikobeurteilung übernommen und am Ende dieses Kapitels angefügt.

Wesentliche Restgefahren im Überblick: Quetsch- und Stoßgefahr durch Roboter und Wendetisch bei Arbeiten mit geöffneten Schutteinrichtungen (Einrichten, Störungsbeseitigung); optische Strahlung des Lichtbogens sowie heiße Oberflächen und Schweißspritzer im Umfeld der Stationen;

Gefährdung durch Schweißrauch bei unzureichender Absaugung; elektrische Gefährdung an Schaltschrank und Schweißstromquelle; gespeicherte pneumatische Energie im Spannkreis; Lärmexposition am Bedienplatz (84 dB(A)); elektromagnetische Felder im Umfeld des Schweißprozesses.

Persönliche Schutzausrüstung: Beim Bedienen der Maschine sind mindestens zu tragen: Sicherheitsschuhe (S1P oder höher), eng anliegende schwer entflammbare Arbeitskleidung, Schutzbrille mit Seitenschutz sowie Gehörschutz. Beim Umgang mit Werkstücken zusätzlich Schutzhandschuhe. Bei Einricht-, Wartungs- und Reinigungsarbeiten in der Zelle zusätzlich: Schweißerschutzbrille oder Schutzschild bei Sichtkontakt zum Lichtbogen, Schweißerschutzhandschuhe bei Arbeiten an noch warmen Bauteilen. Die PSA wird vom Betreiber bereitgestellt; ihre Benutzung ist zu überwachen.

Verhalten im Gefahrenfall: Bei erkennbaren Gefahren sofort Not-Halt betätigen, die Maschine am Hauptschalter freischalten und den Vorgesetzten informieren. Brände an der elektrischen Ausrüstung nur mit CO₂- oder Pulverlöscher bekämpfen, niemals mit Wasser. Bei Unfällen Erste Hilfe leisten und die innerbetriebliche Rettungskette einhalten.

Automatisch übernommen aus der Risikobeurteilung des Projekts.

Lebensphase: Transport

Mechanisch

Gefährdung durch Kippen, Verrutschen oder Herabfallen von Maschinenkomponenten (Roboter, Wendetisch, Schutzzaunelemente) beim Transport, Heben und Aufstellen der Anlage.

Schwerpunktlage und Anschlagpunkte müssen korrekt berücksichtigt werden.

Lebensphasen: Transport, Montage

SCHUTZMASSNAHMEN

- Konstruktive Maßnahmen zur Schwerpunktstabilität: Maschinenkomponenten (Roboter, Wendetisch, Schutzzaunelemente) werden so ausgelegt und auf dem Transportrahmen positioniert, dass der Gesamtschwerpunkt tief und innerhalb der Standfläche liegt. Transportrahmen mit ausreichend dimensionierten Aufstandsflächen und Kippstabilität nach statischer Berechnung. Geeignete, normgerecht ausgelegte und dauerhaft gekennzeichnete Anschlagpunkte (Ringschrauben, Hebeösen) werden konstruktiv integriert und auf den tatsächlichen Schwerpunkt abgestimmt (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.1.5). Lösbare Verbindungen zwischen Teilkomponenten werden für den Transport formschlüssig gesichert (z.B. Transportbolzen, Sicherungsbleche), sodass ein unbeabsichtigtes Lösen ausgeschlossen ist.
- Technische Sicherung der Transporteinheit: Alle Komponenten werden mit kalkulierten Zurrmitteln (Zurrgurte, Ketten, Spannratschensysteme) nach EN 12195-1 auf dem Transportrahmen gesichert. Schwerpunktlage und zulässige Anschlagpunkte werden durch dauerhaft angebrachte Schilder und Markierungen (Schwerpunktsymbol nach ISO 7000-0629, Anschlagpunktmarkierungen) direkt an der Maschine kenntlich gemacht (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.3). Transportrahmen mit integrierten Gabelstaplertaschen und Kranösen, die auf das Gesamtgewicht und den Schwerpunkt ausgelegt und nach EN 13155 geprüft sind. Kippsicherung durch mechanische Anschläge oder Sicherungsbolzen an kippgefährdeten Komponenten (z.B. Roboterarm in Transportstellung arretiert). Für den Aufstellvorgang: Einsatz von Montagehilfen (Ausrichthilfen, Stellfüße mit Arretierung), die ein unkontrolliertes Verschieben während des Absetzens verhindern.
- Benutzerinformation und Warnhinweise: In der Betriebsanleitung der Gesamtanlage RSZ-2600 sind gemäß 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.4.2 und Nr. 1.1.5 folgende Angaben enthalten: Gesamtgewicht der Anlage und aller Teilkomponenten, Lage des Schwerpunkts mit Maßangaben, zulässige Anschlagpunkte mit Tragfähigkeitsangaben, vorgeschriebene Transportstellung aller beweglichen Komponenten (z.B. Roboter in Transportpose, Wendetisch arretiert), Anforderungen an Hebezeuge und Anschlagmittel (Mindest-Tragfähigkeit, Anschlagwinkel nach EN 1492-1), Schritt-für-Schritt-Anweisung für Heben, Transport und Aufstellen. Warnhinweis in der Betriebsanleitung und als Aufkleber an der Maschine: 'WARNUNG: Kippgefahr. Nur an gekennzeichneten Anschlagpunkten heben. Anschlagmittel auf Tragfähigkeit prüfen. Transport und Montage nur durch unterwiesenes Fachpersonal.' Anforderung an das ausführende Personal: Nachweis der Unterweisung im Umgang mit Hebezeugen und Anschlagmitteln. Hinweis auf einzuhaltende nationale Vorschriften (z.B. DGUV Regel 100-500, Kapitel 2.8 Heben und Tragen).

Restrisiko: Akzeptiertes Restrisiko.

Lebensphase: Montage

Elektrisch

Gefährdung durch direktes oder indirektes Berühren spannungsführender Teile der Schweißstromquelle (400 V AC, 32 kVA) und des Schweißstromkreises (Leerlaufspannung bis ca. 80 V DC/AC). Gefährdung besteht insbesondere beim Öffnen der Schweißstromquelle vor Ablauf der Entladezeit der Kondensatoren sowie bei beschädigter Isolation.

Lebensphasen: Wartung, Fehlersuche, Inbetriebnahme, Montage

SCHUTZMASSNAHMEN

- Stufe 1 (Inhärent sichere Konstruktion, 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.3.2 und Nr. 1.5.1): Schutzkleinspannung (SELV/PELV) für alle Steuer- und Signalstromkreise, soweit technisch realisierbar. Schweißstromquelle mit integrierter Spannungsreduziereinrichtung (VRD, Voltage Reduction Device) zur automatischen Absenkung der Leerlaufspannung auf ungefährliche Werte (kleiner 35 V DC) im Nichtschweißbetrieb, gemäß IEC 60974-1. Kondensatoren mit aktiver Entladeschaltung (Entladewiderstände fest verbaut), sodass die Restspannung nach Abschalten der Versorgung innerhalb definierter Zeit (typisch kleiner 1 s auf kleiner 60 V) abgebaut wird. Gehäuse und Abdeckungen der Schweißstromquelle aus isolierendem Material oder mit Schutzgrad mindestens IP23 nach IEC 60529, um unbeabsichtigten Kontakt mit spannungsführenden Teilen zu verhindern.
- Stufe 2 (Technische Schutzmaßnahmen, 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.5.1 und Nr. 1.6.3): Verriegelter Hauptschalter (Lockout-fähig, abschließbar nach EN ISO 14118) als trennende Schutzmaßnahme: Öffnen der Gehäuseabdeckung der Schweißstromquelle nur möglich, wenn Hauptschalter in Stellung AUS und gegen Wiedereinschalten gesichert (Schloss-/Mehrfachverriegelung, LOTO-Vorrichtung). Zuhaltung der Wartungsöffnung mit Sicherheitsschalter (EN ISO 14119): Abdeckung kann erst geöffnet werden, wenn eine integrierte Entladezeitüberwachung (Zeitrelais oder Spannungsüberwachungsrelais) die sichere Restspannung (kleiner 60 V) bestätigt hat. Schutzleiterüberwachung und Isolationsüberwachungsrelais (gemäß IEC 60974-1 und IEC 61557-8) zur automatischen Abschaltung bei Isolationsfehler. Potenzialausgleich aller leitfähigen Maschinenteile nach DIN VDE 0100-410 (Schutz durch automatische Abschaltung). Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD Typ B, da Gleichfehlerströme möglich) im Einspeisepfad der Schweißstromquelle gemäß DIN VDE 0100-410 und IEC 60974-1. Klar gekennzeichnete Mindestwartezeit (Entladezeit) als Aufkleber direkt an der Wartungsöffnung, kombiniert mit Spannungsanzeigelampe (Kondensator geladen: rot leuchtend).
- Stufe 3 (Benutzerinformation und Warnhinweise, 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.1, Nr. 1.7.2 und Nr. 1.7.4): Dauerhafter Warnaufkleber an der Schweißstromquelle: Warnung vor gefährlicher elektrischer Spannung (Piktogramm nach ISO 7010-W012), Angabe der Leerlaufspannung (bis ca. 80 V DC/AC) und der Netzspannung (400 V AC), Mindestwartezeit vor Öffnen des Gehäuses nach Abschalten (Entladezeit in Sekunden, vom Hersteller zu ermitteln und anzugeben). Betriebsanleitung (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.4): Beschreibung der Gefährdung durch Kondensatorrestspannung und Leerlaufspannung, verbindliche Anweisung zur Durchführung von



LOTO (Lockout/Tagout) vor jeder Wartungs- und Fehlersuchttätigkeit an der Schweißstromquelle, Verweis auf Qualifikationsanforderung (Elektrofachkraft gemäß DGUV Vorschrift 3 bzw. TRBS 1203). Unterweisung der Bediener und Wartungspersonen: Jährliche Wiederholung, dokumentiert, mit Schwerpunkt auf elektrischen Gefährdungen beim Schweißen (DGUV Regel 100-500 Kapitel 2.26, BGR 500). Persönliche Schutzausrüstung (PSA): Vorschrift zum Tragen von isolierenden Handschuhen (Schutzklasse nach EN 60903 entsprechend der anliegenden Spannung) und isoliertem Werkzeug bei Arbeiten an spannungsführenden Teilen. Hinweis auf Messgeräteprüfung vor Beginn der Fehlersuche (Spannungsfreiheit messen und feststellen).

Restrisiko: Akzeptiertes Restrisiko.

Elektrisch

Gefährdung durch unzureichende Schutzleiterverbindung oder fehlende Potenzialausgleichsverbindung zwischen den Teilmaschinen (Roboter, Wendetisch, Schweißstromquelle, Absaugung, Schutzzaun). Berührungsspannung an Gehäusen oder Schutzzaunelementen bei Isolationsfehler.

Lebensphasen: Montage, Inbetriebnahme, Wartung

SCHUTZMASSNAHMEN

- Inhärent sichere Konstruktion nach 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.5.1: Alle Teilmaschinen (Roboter, Wendetisch, Schweißstromquelle, Absaugung, Schutzzaun) werden mit einem durchgehenden, niederohmigen Schutzleitersystem (PE) ausgeführt. Schutzleiterquerschnitte werden nach IEC 60204-1 Abschnitt 8.2 dimensioniert (mindestens gleicher Querschnitt wie der zugehörige Außenleiter bis 16 mm², darüber nach Tabelle). Alle metallischen Gehäuse, Rahmen und Schutzzaunelemente werden konstruktiv in den Potenzialausgleich einbezogen. Schutzleiteranschlüsse werden als schraubgesicherte, korrosionsgeschützte Klemmpunkte mit PE-Symbol ausgeführt, sodass ein versehentliches Lösen ohne Werkzeug ausgeschlossen ist. Die Schweißstromquelle wird mit galvanisch getrenntem Schweißstromkreis (Sekundärseite) ausgeführt, um Schweißstrom-Rückflüsse über den Schutzleiter zu vermeiden. Der Schutzzaun wird als leitfähige, geerdete Konstruktion ausgeführt, sodass kein Spannungsverschleppungsrisiko durch isolierte Zaunelemente entsteht.
- Technische Schutzmaßnahmen nach 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.5.1 in Verbindung mit IEC 60204-1 Abschnitt 8 und 18: (1) Isolationsüberwachung: Einsatz eines Isolationsüberwachungsgeräts (IMD) gemäß IEC 61557-8 für das gesamte Anlagennetz, das bei Isolationswiderstand unterhalb des eingestellten Schwellenwerts (projektspezifisch festzulegen) einen Alarm auslöst und die Anlage sicher abschaltet. (2) Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD): Einsatz von RCDs Typ B (allstromsensitiv) nach IEC 62423 im Hauptstromkreis, da Frequenzumrichter und Schweißstromquellen Gleichfehlerströme erzeugen können. (3) Potenzialausgleichsschiene: Zentrale Potenzialausgleichsschiene (PAS) im Hauptschaltschrank, an die alle Teilmaschinen-Schutzleiter sternförmig angeschlossen werden. Verbindungsleitungen werden mit Aderendhülsen und beschrifteten Klemmen ausgeführt. (4) Durchgängigkeitsprüfung: Vor Inbetriebnahme und nach jeder Wartung wird die Schutzleiterdurchgängigkeit zwischen allen Teilmaschinen und der PAS messtechnisch geprüft (Messung nach IEC 60204-1 Abschnitt 18.2.2, Widerstand kleiner als projektspezifisch festzulegender Grenzwert). Messprotokolle werden dokumentiert und der Anlage beigelegt. (5) Verriegelung: Hauptschalter mit Schutzleiterkontrolle, sodass die Anlage bei offenem oder unterbrochenem Schutzleiter nicht eingeschaltet werden kann.
- Benutzerinformation nach 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.4: (1) Betriebsanleitung: Expliziter Abschnitt zur Schutzleiter- und Potenzialausgleichsprüfung vor Erstinbetriebnahme, nach Umbau, nach Wartungsarbeiten und nach Austausch von Teilmaschinen. Prüfschritte, Messverfahren und Dokumentationspflichten werden beschrieben. Verweis auf IEC 60204-1 Abschnitt 18 als Prüfgrundlage. (2) Warnhinweis in der Betriebsanleitung: Eindeutiger Hinweis, dass Arbeiten am

elektrischen System der Anlage ausschließlich durch Elektrofachkräfte gemäß DGUV Vorschrift 3 (BGV A3) durchzuführen sind. (3) Kennzeichnung an der Anlage: PE-Symbole (gelb-grün) an allen Schutzleiteranschlusspunkten und an der Potenzialausgleichsschiene. Warnschild 'Vor Wartungsarbeiten: Schutzleiterdurchgängigkeit prüfen' am Hauptschaltschrank. (4) Wartungsplan: Wiederkehrende Prüfung der Schutzleiterdurchgängigkeit und des Isolationswiderstands als Pflichtpunkt im Wartungsplan (Intervall projektspezifisch festzulegen, mindestens jährlich oder nach Umbau). (5) Übergabedokumentation: Übergabe der Messprotokolle der Erstprüfung nach IEC 60204-1 Abschnitt 18 an den Betreiber als Bestandteil der technischen Dokumentation.

Restrisiko: Akzeptiertes Restrisiko.



Sonstige

Gefährdung durch unterschiedliche Sicherheitsniveaus der Teilmaschinen: Der Roboter wird als unvollständige Maschine mit Einbauerklärung nach Anhang II 1.B geliefert. Die Integration in die Gesamtheit erfordert die Sicherstellung, dass das Gesamtsystem die Anforderungen der MRL erfüllt. Fehlende oder unvollständige Schnittstellenverriegelung zwischen Robotersteuerung und Sicherheits-SPS kann zu Gefährdungen führen.

Lebensphasen: Montage, Inbetriebnahme

SCHUTZMASSNAHMEN

- Systemarchitektur inhärent sicher auslegen: Sicherheitsrelevante Signale zwischen Robotersteuerung und Sicherheits-SPS ausschließlich über dedizierte, redundante Sicherheits-E/A-Kanäle (zweikanalig, querschlusssicher) führen. Keine sicherheitsrelevante Funktion über Standard-Feldbus ohne zertifiziertes Sicherheitsprotokoll (z.B. PROFI-safe nach IEC 61784-3) realisieren. Fail-Safe-Prinzip: Jeder Signalausfall oder Kommunikationsfehler führt zwingend in den sicheren Zustand (Energie-Trennung, Stillstand). Roboter-Sicherheitsfunktionen (z.B. sicheres Stillsetzen, sichere Geschwindigkeitsüberwachung) auf dem Sicherheits-Controller des Roboters belassen und NICHT in die externe Sicherheits-SPS verlagern, um Redundanz zu erhalten. Gesamtheit von Maschinen mit einheitlichem Sicherheits-Integritätslevel (SIL/PLr) für alle sicherheitsrelevanten Funktionen der Schnittstelle auslegen (Anforderung: PLr nach EN ISO 13849-1 oder SIL nach EN IEC 62061, abgeleitet aus der Risikobeurteilung der Gesamtheit gemäß 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.1.2).
- Technische Schnittstellenverriegelung vollständig und nachweisbar realisieren: (1) Sicherheits-SPS überwacht zyklisch alle sicherheitsrelevanten Statussignale der Robotersteuerung (Betriebsart, Schutzraumfreigabe, Quittierung, Fehlerbit). Fehlendes oder inkonsistentes Signal löst sofortigen Not-Halt der Gesamtanlage aus. (2) Not-Halt-Kreis der Gesamtheit gemäß EN ISO 13850 als durchgehende, zweikanalige Schleife ausführen, in die sowohl Robotersteuerung als auch Sicherheits-SPS eingebunden sind. Stopp-Kategorie gemäß EN IEC 60204-1 festlegen und dokumentieren. (3) Betriebsartenwahlschalter der Gesamtheit (Automatik / Einrichten / Wartung) mit Roboter-Betriebsartenwahlschalter verriegeln: Automatikbetrieb der Gesamtheit nur freigegeben, wenn Roboter ebenfalls im Automatikbetrieb. (4) Sicherheitsvalidierung der Schnittstelle nach EN ISO 13849-2 durchführen und den erreichten Performance Level (PL) messtechnisch oder rechnerisch nachweisen (z.B. mittels SISTEMA oder gleichwertigem Werkzeug). Nachweis in der technischen Dokumentation der Gesamtheit ablegen (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.2.1, 1.2.3). (5) Einbauerklärung des Roboterherstellers (2006/42/EG Anhang II 1.B) und die darin genannten Restrisiken sowie Montagebedingungen vollständig in die Risikobeurteilung der Gesamtheit übernehmen und durch Maßnahmen des Integrators schließen.
- Benutzerinformation und Dokumentation: (1) Betriebsanleitung der Gesamtheit (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.4) enthält ein eigenes Kapitel 'Sicherheitskonzept der Schnittstelle Roboter / Sicherheits-SPS' mit Blockschaltbild aller sicherheitsrelevanten Signalpfade, Stopp-Kategorien und PLr-Nachweisen. (2) Montageanweisung für Integratoren und Inbetriebnehmer: Schritt-für-Schritt-Prüfliste zur Verifikation der Schnittstellenverriegelung vor Erstinbetriebnahme (Signaltest,

Querschlusstest, Not-Halt-Test, Betriebsartentest). (3) Warnhinweis in der Betriebsanleitung: 'Vor jeder Änderung an der Robotersteuerung oder der Sicherheits-SPS ist die Schnittstellenverriegelung erneut vollständig zu validieren und zu dokumentieren.' (4) Qualifikationsanforderungen für Inbetriebnehmer und Wartungspersonal festlegen und dokumentieren: Nachweis der Kenntnisse in EN ISO 13849-1 und EN IEC 62061 erforderlich. (5) Kennzeichnung der Sicherheits-E/A-Klemmen und Sicherheitsbusleitungen an der Anlage (z.B. farbliche Markierung, Beschriftung 'SAFETY') zur Vermeidung von Verwechslungen bei Wartungsarbeiten (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.1, 1.7.4).

Restrisiko: Akzeptiertes Restrisiko.

Lebensphase: Inbetriebnahme

Mechanisch

Quetsch- und Stoßgefahr durch Roboterarm (6-Achs-Knickarmroboter, Reichweite 2600 mm, Traglast 12 kg) bei unerwarteter Bewegung im Einrichtbetrieb oder bei Versagen der Sicherheitsfunktion im Automatikbetrieb. Gefährdung betrifft Personen im oder in der Nähe des Roboterarbeitsraums.

Lebensphasen: Einrichten, Wartung, Fehlersuche, Inbetriebnahme

SCHUTZMASSNAHMEN

- 1. Begrenzung des Arbeitsraums auf das funktional notwendige Minimum durch mechanische Achsanschläge (Hardware-Endanschläge) an allen relevanten Achsen gemäß EN ISO 10218-1:2011 Abschn. 5.4.2 — dadurch wird der geometrische Gefährdungsbereich real verkleinert. 2. Reduzierung der TCP-Geschwindigkeit im Einrichtbetrieb auf maximal 250 mm/s durch hardwareseitige Geschwindigkeitsbegrenzung (Safety-PLC / sicherer Antrieb), sodass bei Kontakt die Aufprallenergie konstruktiv begrenzt ist (inhärente Kraftminderung gemäß EN ISO 10218-1:2011 Abschn. 5.4.3). 3. Auswahl eines Roboters mit integrierter sicherer Überwachung (Safety-Rated Monitored Stop, Speed & Separation Monitoring) als Grundarchitektur, um gefährliche Bewegungen konstruktiv zu verhindern. 4. Gestaltung der Greifwerkzeuge ohne scharfe Kanten und vorstehende Elemente, um Schnitt- und Stichgefährdungen inhärent zu reduzieren (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.3.2).
- 1. Trennende Schutzeinrichtung: Vollständige Umzäunung des Roboterarbeitsraums (Schutzgitter, Mindesthöhe nach EN ISO 13857:2019 Tabelle 1/2 für die jeweilige Öffnungsgeometrie und Gefährdungsbereichsabstand) mit verriegelten Schutztüren mit Zuhaltung (Kategorie 3 / PL d nach EN ISO 13849-1:2023) gemäß EN ISO 10218-2:2011 Abschn. 5.10.4. Zuhaltung wird erst freigegeben, wenn der Roboter den sicheren Stillstand (Safety-Rated Monitored Stop) erreicht hat. 2. Sicherheitsgerichtete Steuerung: Sicherheitsfunktionen (Not-Halt, Schutztür-Verriegelung, Geschwindigkeitsüberwachung, Arbeitsraumbegrenzung) ausgeführt in Kategorie 3 / PL d nach EN ISO 13849-1:2023 gemäß 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.2.1. Not-Halt-Taster (Kategorie 0 oder 1 nach EN ISO 13850:2015) an allen Bedienpositionen und am Handbediengerät. 3. Einrichtbetrieb (Tipp-Betrieb): Zustimmungseinrichtung (3-stufig, Kategorie 3 / PL d) am Handprogrammiergerät (Teach Pendant) nach EN ISO 10218-1:2011 Abschn. 5.8.3 — Roboterbewegung nur bei bewusstem Halten der mittleren Rastschwelle möglich; Loslassen oder Durchdrücken stoppt sofort. 4. Sicherheitsgerichtete Geschwindigkeits- und Positionsüberwachung (Speed & Separation Monitoring, SSM) im Einrichtbetrieb über sichere Antriebsregelung (SIL 2 / PL d), ergänzt durch optoelektronische Schutzeinrichtungen (Lichtvorhang oder Laserscanner, Typ 4 nach EN IEC 61496-1:2020) an Zugangsbereichen, die nicht durch feste Umzäunung gesichert sind. 5. Koordinierter Not-Halt auf Gesamtanlagenebene: Not-Halt des Roboters löst gleichzeitig den Stopp aller verketteten Teilmaschinen aus (Not-Halt-Koordination gemäß EN ISO 10218-2:2011 Abschn. 5.4.3 und 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.2.4). 6. Regelmäßige Validierung der Sicherheitsfunktionen nach EN ISO 13849-2:2012 und Dokumentation im Sicherheitsnachweis.

- 1. Betriebsanleitung (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.4) mit expliziten Anweisungen zu: erlaubten Betriebsarten, Verhalten im Einrichtbetrieb, Vorgehensweise bei Störungen, Wiederanlaufverbot nach Not-Halt ohne Quittierung durch befugte Person. 2. Warnhinweise am Roboter und an der Schutzumzäunung: Piktogramm 'Roboter — Quetsch- und Stoßgefahr', Hinweis 'Arbeitsraum nicht betreten, solange Anlage in Betrieb' gemäß ISO 11684-1 und 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.1. 3. Kennzeichnung der Betriebsarten am Schlüsselschalter (Automatik / Einrichten / Wartung) mit dauerhaften Beschriftungen. 4. Unterweisung und Qualifikationsanforderungen: Nur unterwiesene und autorisierte Personen dürfen den Einrichtbetrieb durchführen. Nachweis der Unterweisung dokumentieren. Hinweis in der Betriebsanleitung, dass Einrichten ausschließlich mit aktivierter Zustimmungseinrichtung und bei geschlossener oder gesicherter Schutzumzäunung erfolgt. 5. Wiederanlaufschutz: Deutlich sichtbares Hinweisschild 'Wiederanlauf nur nach Quittierung — Sicherstellen, dass sich keine Personen im Gefahrenbereich befinden' an allen Quittierungsstellen (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.2.4). 6. Angabe der Restrisiken in der Betriebsanleitung, insbesondere für den Einrichtbetrieb und die Fehlersuche bei geöffneter Schutzeinrichtung.

Restrisiko: Akzeptiertes Restrisiko.

Mechanisch

Stoß- und Quetschgefahr durch den Schweißbrenner (am Roboterflansch montiert) bei Kollision mit Werkstück, Spannvorrichtung oder Zellenwand infolge Fehlparametrierung des Schweißprogramms oder Einlegens eines nicht freigegebenen Werkstücks. Der Brenner kann mit hoher Kraft und Geschwindigkeit auf Hindernisse treffen.

Lebensphasen: Betrieb, Einrichten, Inbetriebnahme

SCHUTZMASSNAHMEN

- Stufe 1: Inhärent sichere Konstruktion nach 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.1.2: (a) Kraftbegrenzung durch Reduzierung der TCP-Geschwindigkeit und Roboterleistung im Einricht- und Inbetriebnahmebetrieb auf ein sicherheitstechnisch vertretbares Minimum (sicherheitsbewertete Geschwindigkeits- und Momentenüberwachung gemäß EN ISO 10218-1, Funktion 'Power and Force Limiting', PFL). (b) Kollisionserkennungsfunktion im Robotersteuerungssystem (softwarebasierte Drehmomenten-/Stromüberwachung) als erste inhärente Barriere: Bei Überschreitung definierter Grenzwerte stoppt der Roboter automatisch (Stopp-Kategorie 0 oder 1 nach EN IEC 60204-1). (c) Werkstückfreigabe-Konzept: Nur freigegebene Werkstücktypen werden im Programm hinterlegt; Werkstückidentifikation (z.B. RFID, Barcode, Konturprüfung) verhindert den Programmstart mit nicht freigegebenem Werkstück. (d) Programm-Validierungsprozess: Neue oder geänderte Schweißprogramme durchlaufen eine mehrstufige Freigabe (Simulation, Trockenlauf mit reduzierter Geschwindigkeit, Abnahme durch Fachkraft) vor dem Produktivbetrieb.
- Stufe 2: Technische und trennende Schutzmaßnahmen nach 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.4: (a) Trennende Schutteinrichtung: Vollständige Umhausung der Roboterzelle mit verriegelten Schutztüren (Zuhaltung nach EN ISO 14119) an allen Zugangspunkten; Zuhaltung wird erst freigegeben, wenn der Roboter in sicherem Zustand (Stopp-Kategorie 1 oder 2, Energie abgebaut) ist. (b) Sicherheitsbewertete Überwachung: Einsatz eines Sicherheitssteuerungssystems (PLr d / SIL 2 nach EN ISO 13849-1 bzw. EN IEC 62061) zur Überwachung von Schutztürkontakten, Not-Halt und Geschwindigkeitsgrenzen. (c) Einrichtbetrieb: Zugang zur Zelle im Einrichtbetrieb ausschließlich mit aktiviertem Zustimmungsschalter (3-stufig, EN ISO 10218-1 Abschnitt 5.7) und sicherheitsbewerteter reduzierter Geschwindigkeit (max. 250 mm/s am TCP gemäß EN ISO 10218-1). (d) Kollisionsschutz am Brenner: Mechanische Brennerbruchsicherung (Kollisionsschutz-Kupplung am Roboterflansch), die bei definierter Kollisionskraft auslöst und einen sofortigen Sicherheitsstopp des Roboters initiiert; schützt zusätzlich den Brenner vor Beschädigung. (e) Sicherheitsabstände: Auslegung der Zellengeometrie mit ausreichenden Sicherheitsabständen zwischen Roboter-Arbeitsraum und Zellenwand nach EN ISO 13857, sodass kein Quetschraum zwischen beweglichem Roboter und fester Struktur entsteht. (f) Not-Halt: Mindestens ein Not-Halt-Befehlsgerät (EN IEC 60204-1, Kategorie 0 oder 1) an jedem Bedienpanel und Handbediengerät, koordiniert über die Gesamtanlagensteuerung.
- Stufe 3: Benutzerinformation und Warnhinweise nach 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7: (a) Betriebsanleitung (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.4): Klare Beschreibung des Programm-

Freigabeprozesses, der zulässigen Werkstücktypen und der Vorgehensweise beim Einrichten; Verbot des Einlegens nicht freigegebener Werkstücke in der Betriebsanleitung explizit dokumentieren. (b) Warnkennzeichnung: Gut sichtbare Warnschilder an allen Zellenzugängen (Piktogramm 'Roboter, Quetschgefahr', ISO 11684-1) mit Hinweis auf Zuhaltung und Zustimmungsschalter-Pflicht im Einrichtbetrieb. (c) Unterweisung: Schriftliche Betreiberpflicht zur regelmäßigen Unterweisung aller Bediener und Einrichter in der Betriebsanleitung festhalten; Unterweisung umfasst Fehlparametrierungsrisiken, Werkstückfreigabeprozess und Verhalten bei Kollisionsalarm. (d) Zutrittsbeschränkung: Hinweis in der Betriebsanleitung, dass der Einrichtbetrieb ausschließlich durch qualifiziertes, unterwiesenes Fachpersonal durchgeführt werden darf. (e) Restrisiko-Hinweis: Dokumentierter Restrisiko-Hinweis in der Betriebsanleitung auf verbleibende Kollisionsgefahr bei Softwarefehlern oder Fehlbedienung trotz aller Schutzmaßnahmen.

Restrisiko: Akzeptiertes Restrisiko.

Elektrisch

Gefährdung durch EMV-Störbeeinflussung zwischen der Schweißstromquelle (Hochstromimpulse, Lichtbogen) und der Sicherheits-SPS sowie den Sicherheitssensoren (Lichtvorhang, Zuhaltung). Störimpulse können Sicherheitsfunktionen beeinflussen oder Fehlauslösungen verursachen.

Lebensphasen: Betrieb, Einrichten, Inbetriebnahme

SCHUTZMASSNAHMEN

- Räumliche Trennung der Schweißstromquelle (Hochstromkreis, Lichtbogen) von der Sicherheits-SPS und den Sicherheitssensoren durch maximalen Abstand im Schaltschrankkonzept und im Kabelführungsplan. Schweißstromkabel und Sensorleitungen in getrennten, metallischen Kabelkanälen verlegen (Mindestabstand gemäß Herstellervorgabe der Sicherheits-SPS, typisch mind. 200 mm ohne Schirmung). Sicherheits-SPS und Sicherheitssensoren ausschließlich mit Komponenten auswählen, die eine nachgewiesene EMV-Immunität gemäß EN 61000-6-2 (Industrienumgebung, Störfestigkeit) aufweisen. Schweißstromquelle mit integrierter EMV-Entstörung (Netzfilter, Schirmung des Lichtbogenkreises) wählen, die EN 61000-6-4 (Industrienumgebung, Störaussendung) erfüllt. Sternpunkt-Erdungskonzept (Single-Point-Ground) für den Sicherheitskreis umsetzen, um Ausgleichsströme über Signalleitungen zu vermeiden. Twisted-Pair-Leitungen oder geschirmte Kabel für alle Sicherheitssignale (Lichtvorhang, Zuhaltung, Not-Halt) verwenden; Schirmauflage beidseitig niederohmig auf PE-Schiene. Anforderung nach 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.2.1 (Sicherheit und Zuverlässigkeit von Steuerungen) sowie Nr. 1.6.3 (Trennung von Energiequellen).
- Einsatz einer Sicherheits-SPS mit zertifizierter EMV-Immunität und kategoriegerechter Architektur (Kategorie 3 oder 4 / PL d oder e nach EN ISO 13849-1), die Einzelfehler durch interne Diagnose erkennt und in den sicheren Zustand geht. Lichtvorhänge und Zuhaltungen ausschließlich mit Geräten einsetzen, die eine eigene EMV-Prüfung nach EN 61496-1 (Lichtvorhänge) bzw. EN ISO 14119 (Zuhaltungen) nachweisen. Ferritkerne (Klappferrite) auf Sensorleitungen und Versorgungsleitungen der Sicherheitskomponenten an den Kabeleinführungen montieren, um hochfrequente Störimpulse zu dämpfen. Trennverstärker oder galvanische Trennung (Optokoppler, Signaltrenner) zwischen Schweißstromkreis-nahen Signalen und dem Sicherheitsbus einsetzen. Sicherheitsgerichtete Kommunikation (z.B. PROFI-safe, FSoE) verwenden, die Übertragungsfehler durch CRC und Sequenznummern erkennt und bei Fehler den sicheren Zustand erzwingt. Schaltschrank mit durchgehender Schirmung (Stahlblech, lackfrei an Erdungspunkten) ausführen; Kabeleinführungen mit EMV-Kabelverschraubungen (360-Grad-Schirmkontakt) versehen. Anforderung nach 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.2.1 und Nr. 1.2.7 (Fehler in der Steuerlogik).
- Betriebsanleitung (gemäß 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.4) enthält: (1) Expliziten Hinweis auf EMV-empfindliche Sicherheitskomponenten und Verbot, Schweißstromkabel parallel zu Sensorleitungen zu verlegen. (2) Vorgabe des Mindestabstands zwischen Schweißstrom- und Sicherheitsleitungen sowie Pflicht zur getrennten Kabelkanalführung. (3) Anweisung zur regelmäßigen Sichtprüfung der Schirmauflagen, Ferritkerne und Kabelverschraubungen im Rahmen der Wartung (Intervall vom Hersteller festzulegen). (4) Hinweis, dass Änderungen an der

Kabelführung, am Erdungskonzept oder am Schweißprozessparameter (z.B. Stromstärke, Impulsfrequenz) eine erneute EMV-Validierung der Sicherheitsfunktionen erfordern. (5)

Qualifikationsanforderung: Inbetriebnahme und Einrichten der Sicherheits-SPS sowie der EMV-Maßnahmen nur durch elektrotechnisch unterwiesene Fachkräfte mit Kenntnissen in funktionaler Sicherheit (EN ISO 13849) und EMV (EN 61000-Reihe). (6) Warnhinweis in der Betriebsanleitung und am Schaltschrank: 'EMV-empfindliche Sicherheitssteuerung, Schweißstromkabel fernhalten, Schirmung nicht unterbrechen.'

Restrisiko: Akzeptiertes Restrisiko.

Ergonomisch

Gefährdung durch Zwangshaltung und eingeschränkte Sichtverhältnisse beim Einrichten und Programmieren des Roboters im Einrichtbetrieb (Teach-in) innerhalb oder in der Nähe des Roboterarbeitsraums. Ungünstige Körperhaltung beim Bedienen des Handbediengeräts über längere Zeiträume.

Lebensphasen: Einrichten, Inbetriebnahme

SCHUTZMASSNAHMEN

- Roboterarbeitsraum so dimensionieren und positionieren, dass ausreichend Bewegungsfreiheit für den Bediener beim Teach-in besteht (Mindestbewegungsraum nach EN ISO 9283 und EN ISO 10218-2 berücksichtigen). Teach-in-Punkte soweit möglich durch Offline-Programmierung (OLP) vorbereiten, um die Aufenthaltsdauer im Roboterarbeitsraum zu minimieren. Bedienelemente und Anzeigen des Handbediengeräts (HBG) ergonomisch gestalten (Gewicht, Griffform, Tastenlayout) gemäß EN ISO 9355-1/-2 und EN ISO 10218-1 Abschnitt 5.8. Teach-Geschwindigkeit konstruktiv auf maximal 250 mm/s begrenzen (EN ISO 10218-1 Abschnitt 5.6.3), um Reaktionszeit und Stressbelastung des Bedieners zu reduzieren.
- Bereitstellung eines leichten, ergonomisch geformten Handbediengeräts mit Zustimmungstaster (3-stufig nach EN ISO 10218-1 Abschnitt 5.8.3) und gut ablesbarem Display auch bei wechselnden Lichtverhältnissen. Kabellose oder kabelgeführte HBG-Variante mit ausreichender Kabellänge, um Zwangshaltungen durch Kabelzug zu vermeiden. Tragegurt oder Ablagepunkt für das HBG vorsehen, um statische Haltearbeit zu reduzieren. Ausreichende Beleuchtung des Einrichtbereichs sicherstellen (Beleuchtungsstärke gemäß Arbeitsstättenregel ASR A3.4). Bodenmarkierungen und freie Fluchtwege im Einrichtbereich gemäß EN ISO 10218-2 Abschnitt 5.4 kennzeichnen, um sichere Standpositionen vorzugeben.
- Betriebsanleitung (gemäß 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.4) mit expliziten Hinweisen zu ergonomisch günstigen Körperhaltungen beim Teach-in, empfohlenen Standpositionen und maximalen Einrichtzeiten ohne Pause. Hinweis auf regelmäßige Pausen bei längerem Teach-in-Betrieb (Empfehlung: spätestens alle 45 Minuten). Schulung und Unterweisung der Einrichtpersonen in ergonomischer Bedienung des HBG sowie in der Nutzung der Offline-Programmierung zur Reduzierung der Aufenthaltsdauer im Gefahrenbereich. Warnhinweis am HBG und in der Betriebsanleitung: Teach-in nur durch unterwiesenes Fachpersonal. Hinweis auf persönliche Schutzausrüstung (Sicherheitsschuhe, ggf. Schutzhelm bei Überkopfarbeiten) gemäß 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.4.2.

Restrisiko: Akzeptiertes Restrisiko.

Sonstige

Gefährdung durch Fehlparametrierung oder fehlerhafte Programmierung des Roboters (falsches Schweißprogramm, falsche Werkstückgeometrie, falsche Achsgeschwindigkeiten). Kollisionen des Roboters mit Werkstück, Spannvorrichtung oder Zellenwand können zu unkontrollierten Bewegungen und Gefährdungen von Personen führen.

Lebensphasen: Inbetriebnahme, Einrichten, Betrieb

SCHUTZMASSNAHMEN

- **Inhärent sichere Konstruktion (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.1.2):** Begrenzung der maximalen Achsgeschwindigkeiten und TCP-Geschwindigkeit auf konstruktiv festgelegte Maximalwerte durch die Robotersteuerung (hardwareseitige Geschwindigkeitsbegrenzung, nicht nur softwareseitig überschreibbar). Einsatz einer Robotersteuerung mit integrierter sicherer Bewegungsüberwachung (Safe Motion) nach EN ISO 10218-1, die Geschwindigkeits-, Positions- und Raumgrenzen sicher überwacht (SIL 2 / PLd). Konstruktive Begrenzung des Arbeitsraums durch mechanische Achsanschläge an kritischen Achsen, sodass eine Kollision mit der Zellenwand konstruktiv ausgeschlossen oder der Aufprallimpuls begrenzt wird. Auswahl einer Robotersteuerung mit Programm-Checksummen-Prüfung und Versionsverwaltung, sodass fehlerhafte oder nicht freigegebene Programme nicht unbemerkt aktiviert werden können.
- **Technische Schutzmaßnahmen (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.2.1, 1.2.3, 1.4.1):** (1) Softwareseitige Raumüberwachung (kartesische Schutzräume / Arbeitsraumgrenzen) in der sicheren Robotersteuerung, die bei Überschreitung einen sicheren Stopp (Safe Stop 1 oder Safe Stop 2 nach EN IEC 62061 / EN ISO 13849-1, mindestens PLd Kat. 3) auslöst. (2) Kollisionserkennungsfunktion in der Robotersteuerung (Drehmomenten-/Stromüberwachung), die bei unerwarteten Kraftspitzen einen sofortigen Stopp einleitet. (3) Verpflichtende Testfahrt (Trockenlauf) nach jedem Programmwechsel oder Parameteränderung ausschließlich in reduzierter Geschwindigkeit (Tipp-Betrieb, max. 250 mm/s gemäß EN ISO 10218-1 Abschnitt 5.6) mit aktivierter Zustimmungseinrichtung (Enabling Device nach EN ISO 10218-1), bevor der Automatikbetrieb freigegeben wird. (4) Zugriffskontrolle auf Programmiersystem und Steuerung durch Schlüsselschalter oder passwortgeschütztes Benutzerrechtssystem (mindestens zwei Berechtigungsstufen: Bediener / Programmierer), sodass nur autorisiertes Personal Programme laden oder Parameter ändern kann (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.2.5). (5) Verriegelung der Schutzeinhausung (trennende Schutzeinrichtung mit Zuhaltung nach EN ISO 14119) während des Automatikbetriebs, sodass ein Betreten der Zelle nur nach sicherem Stillstand möglich ist. (6) Einsatz eines Programm-Freigabeprozesses (4-Augen-Prinzip): Jedes neue oder geänderte Schweißprogramm muss vor Produktionsfreigabe durch eine zweite autorisierte Person geprüft und quittiert werden (organisatorisch-technische Maßnahme, in der Steuerung als Freigabe-Workflow abgebildet).
- **Benutzerinformation und Warnhinweise (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.1, 1.7.2, 1.7.4):** (1) Betriebsanleitung enthält verbindliche Verfahrensanweisung für Programmerstellung, Parameteränderung und Programmfreigabe, einschließlich der vorgeschriebenen Testfahrt-Prozedur in reduzierter Geschwindigkeit. (2) Warnhinweis (Piktogramm und Text) am Bedienpanel



und am Programmierhandgerät: 'Achtung: Nach jeder Programmänderung Testfahrt in reduzierter Geschwindigkeit mit Zustimmungseinrichtung durchführen. Automatikbetrieb erst nach Freigabe durch zweite autorisierte Person starten.' (3) Schulungsnachweis: Nur nachweislich geschultes Personal (Roboterprogrammierer-Qualifikation) darf Programme erstellen oder ändern. Schulungsinhalt und -intervall sind in der Betriebsanleitung festgelegt. (4) Kennzeichnung der freigegebenen Programm-/Parametersätze durch eindeutige Versionsnummern und Änderungsprotokoll (Logbuch oder elektronische Versionsverwaltung). (5) Hinweis in der Betriebsanleitung auf die Restgefährdung durch Fehlparametrierung trotz aller Schutzmaßnahmen sowie auf die Pflicht des Betreibers zur Unterweisung nach BetrSichV.

Restrisiko: Akzeptiertes Restrisiko.

Lebensphase: Einrichten

Mechanisch

Gefährdung im Teach-Betrieb bei reduzierter Geschwindigkeit

SCHUTZMASSNAHMEN

- Inhärent sichere Konstruktion (Stufe 1): Begrenzung der Teach-Geschwindigkeit auf maximal 250 mm/s durch hardwareseitige Parametrierung (nicht softwareseitig überschreibbar), sodass die kinetische Energie des Roboters/der Achsen auf ein Niveau reduziert wird, bei dem Verletzungen im Regelfall auf leichte Quetschungen begrenzt bleiben. Zusätzlich: Kraftbegrenzung der Antriebe im Teach-Modus gemäß einschlägiger C-Norm (z.B. EN ISO 10218-1 für Industrieroboter) auf den dort definierten Grenzwert. Teach-Betrieb nur bei geöffneter Schutzeinrichtung zulässig, wenn der Bediener sich im Gefahrenbereich befindet; alle anderen Antriebe der Gesamtheit, die nicht zum Teach-Vorgang gehören, werden in sicherem Zustand (Energie getrennt, gesichert) gehalten. Konstruktive Auslegung des Teach-Pendants mit Zustimmungstaster (3-stufig: Losgelassen/Mittelstellung/Durchgedrückt = Stopp) nach 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.2.2.
- Technische Schutzmaßnahmen (Stufe 2): (a) Zustimmungstaster (Enabling Device) am Teach-Pendant als 3-stufige Einrichtung nach EN ISO 10218-1 und 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.2.2: Losgelassen und Durchgedrückt (Panikstellung) bewirken sofortigen Stopp der Bewegung; nur Mittelstellung gibt Bewegung frei. (b) Betriebsartenwahlschalter mit abschließbarem Schlüsselschalter nach 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.2.5: Teach-Modus nur mit Schlüssel wählbar; Schlüssel verbleibt beim Bediener. (c) Sicherheitsgerichtete Geschwindigkeitsüberwachung (SLS, Safely Limited Speed) über ein Sicherheitssteuerungssystem mindestens PLd/Kat. 3 nach EN ISO 13849-1, das die parametrisierte Maximalgeschwindigkeit hardwareseitig überwacht und bei Überschreitung einen sicheren Stopp (SS1 oder SS2 nach EN IEC 62061 bzw. EN ISO 13849-1) auslöst. (d) Teach-Pendant mit Not-Halt-Taster nach EN ISO 13850 und 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.2.4, der direkt und ohne Umweg über die Steuerungslogik auf die Antriebsabschaltung wirkt. (e) Schnittstellenverriegelung zur Gesamtheit: Alle benachbarten Teilmaschinen (z.B. Presse, Förderer, weitere Roboter) werden beim Aktivieren des Teach-Modus über eine sicherheitsgerichtete Kommunikation (z.B. PROFIsafe) in den gesicherten Stillstand versetzt und gegen unerwarteten Wiederanlauf gesichert (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.2.6). (f) Tragbares Teach-Pendant mit eindeutiger Zuordnung zur aktiven Teilmaschine (z.B. farbliche Kennzeichnung, elektronische Verriegelung), um Verwechslungen bei Gesamtheiten mit mehreren Robotern/Achsen auszuschließen.
- Benutzerinformation und Warnhinweise (Stufe 3): (a) Betriebsanleitung nach 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.4 mit explizitem Kapitel zum Teach-Betrieb: Beschreibung der zulässigen Personenzahl im Gefahrenbereich (maximal eine Person), Verhalten bei Störungen, Vorgehensweise bei Energiefreischaltung benachbarter Teilmaschinen, Pflicht zur Nutzung des Zustimmungstasters. (b) Warnhinweise am Teach-Pendant und an der Anlage (Piktogramme nach ISO 11684-1) mit dem Hinweis auf reduzierte, aber vorhandene Restgefährdung durch Roboterbewegungen im Teach-Modus. (c) Unterweisungspflicht: Nur unterwiesene und autorisierte Personen dürfen den Teach-Betrieb durchführen; Nachweis durch Schulungsdokumentation. (d) Arbeitsanweisung (Aushang



an der Anlage) mit Kurzdarstellung der Teach-Prozedur, Hinweis auf Zustimmungstaster-Funktion und Verhalten bei unerwartetem Wiederanlauf. (e) Hinweis in der Betriebsanleitung, dass PSA (enganliegende Kleidung, keine losen Teile) beim Teach-Betrieb Pflicht ist. (f) Kennzeichnung der Gefahrenbereiche benachbarter Teilmaschinen, die während des Teach-Betriebs gesichert sind, mit entsprechenden Warnschildern (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.1).

Restrisiko: Akzeptiertes Restrisiko.



Mechanisch

Quetsch- und Scherergerfahr durch den Zweistationen-Wendetisch bei der 180-Grad-Schwenkbewegung. Personen oder Körperteile können zwischen der drehenden Tischplatte, der Mittelwand und dem Schutzzaun eingequetscht oder abgesichert werden, insbesondere beim Aufenthalt im Schwenkbereich während des Wendevorgangs.

Lebensphasen: Betrieb, Einrichten, Fehlersuche

SCHUTZMASSNAHMEN

- Konstruktive Minimierung der Quetsch- und Scherspalte: Mindestabstände zwischen drehender Tischplatte, Mittelwand und Schutzzaun gemäß EN ISO 13854 einhalten (Mindestspalt 500 mm für Körper, 25 mm für Finger) ODER Spalte so klein gestalten, dass kein Körperteil eindringen kann (Spalt kleiner als 4 mm). Schwenkgeschwindigkeit der 180-Grad-Bewegung konstruktiv auf ein sicherheitstechnisch vertretbares Minimum reduzieren, um kinetische Energie und damit Verletzungsschwere zu begrenzen. Antriebsauslegung so wählen, dass die maximal erreichbare Quetschkraft im gesamten Schwenkbereich durch konstruktive Kraftbegrenzung (z.B. Rutschkupplung, Drehmomentbegrenzer) auf ein vertretbares Maß reduziert wird. Anforderung: 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.1.2 (inhärent sichere Konstruktion). [Fundstelle prüfen: „4 mm“ → Tabelle 1 kennt 25/50/100/120/180/300/500 mm (EN ISO 13854 Tabelle 1)]
- 1. Trennende Schutteinrichtung: Vollständige Umzäunung des Schwenkbereichs des Wendetisches mit verriegelter Schutztür (Zuhaltung) gemäß EN ISO 14119. Die Zuhaltung wird erst freigegeben, wenn der Wendetisch vollständig zum Stillstand gekommen ist und eine definierte Ruheposition erreicht hat. Anforderung: 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.4.1, 1.4.2.2. 2. Sicherheitsgerichtete Steuerung: Verriegelung und Zuhaltung der Wartungstür in Steuerungsarchitektur PLr d / Kategorie 3 nach EN ISO 13849-1 einbinden (Sicherheitsfunktion SF-01, Herleitung S2/F1/P2). Die Freigabe der 180-Grad-Schwenkbewegung selbst ist als eigene Sicherheitsfunktion SF-04 mit PLr e / Kategorie 4 ausgeführt (Herleitung S2/F2/P2), da der Bediener bei jedem Takt am Beschickungsplatz steht. Öffnen der Schutztür löst sicheren Halt (STO oder SS1) des Wendetisch-Antriebs aus. Anforderung: 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.2.1. 3. Ergänzende berührungslos wirkende Schutteinrichtung (BWS): Im Einrichtbetrieb und bei Fehlersuche, wenn ein Betreten des Schwenkbereichs erforderlich ist, Einsatz eines Sicherheits-Laserscanner oder Lichtvorhangs (Typ 4 nach EN IEC 61496-1/-3) als Zonenüberwachung. Bei Detektion: sofortiger Stopp des Wendetisches. Sicherheitsabstände nach EN ISO 13857 und Ansprechzeit nach EN ISO 13855 berechnen und einhalten. Anforderung: 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.4.3. 4. Einrichtbetrieb / Fehlersuche: Zustimmungseinrichtung (Totmannschalter) nach EN ISO 10218-1 (sinngemäß) in Verbindung mit reduzierter Schwenkgeschwindigkeit (Tipp-Betrieb) als Betriebsart für Einrichten und Fehlersuche. Betriebsartenwahl über abschließbaren Schlüsselschalter. Anforderung: 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.2.5. 5. Not-Halt: Mindestens ein Not-Halt-Befehlsgerät (Kategorie 0 oder 1 nach EN ISO 13850) im Bedienpanel und im Schwenkbereich, in die übergeordnete Not-Halt-Kette der Gesamtanlage eingebunden. Anforderung: 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.2.4.



- 1. Warn- und Hinweisschilder: Piktogramm 'Quetschgefahr durch drehende Teile' (ISO 11684-3) und Verbotsschilder 'Aufenthalt im Schwenkbereich verboten' dauerhaft und gut sichtbar an der Schutzzumzäunung und am Wendetisch anbringen. Anforderung: 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.1, 1.7.2. 2. Betriebsanleitung: Beschreibung der bestimmungsgemäßen Verwendung, der zulässigen Betriebsarten (Automatik, Einrichten, Fehlersuche), der Schutzeinrichtungen und ihrer Funktion sowie der Restrisiken im Schwenkbereich. Klare Handlungsanweisungen für Einrichten und Fehlersuche (Zustimmungseinrichtung, Schlüsselschalter, Tipp-Betrieb). Anforderung: 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.4. 3. Unterweisung und Zutrittsbeschränkung: Schriftliche Betriebsanweisung für alle Bediener und Instandhalter. Regelmäßige Unterweisung (mindestens jährlich) über Gefährdungen am Wendetisch, korrekte Nutzung der Betriebsarten und Verhalten im Störfall. Zugang zum Schwenkbereich auf autorisiertes und unterwiesenes Personal beschränken. Anforderung: 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.1. 4. Restrisiko-Hinweis in der Betriebsanleitung: Expliziter Hinweis, dass im Einricht- und Fehlersuche-Betrieb ein Restrisiko durch die Schwenkbewegung verbleibt und persönliche Schutzausrüstung (eng anliegende Kleidung, keine losen Teile) zu tragen ist.

Restrisiko: Akzeptiertes Restrisiko.

Mechanisch

Quetschgefahr an der Schnittstelle zwischen Roboterarm und Wendetisch im Übergabe- und Schweißbereich. Bei gleichzeitiger Bewegung von Roboter und Wendetisch (z.B. koordinierte Achsbewegung) können Personen, die sich unbefugt im Innenraum aufhalten, zwischen beiden Komponenten eingequetscht werden.

Lebensphasen: Betrieb, Einrichten, Fehlersuche, Wartung

SCHUTZMASSNAHMEN

- 1. Geometrische Entflechtung: Bewegungsbahnen von Roboterarm und Wendetisch konstruktiv so auslegen, dass kein gemeinsamer Quetschraum entsteht (Mindestabstände gegen Quetschen nach EN ISO 13854 einhalten, Mindestspalte ≥ 500 mm oder ≤ 25 mm). 2. Kraftbegrenzung: Roboter mit inhärenter Kraft-/Leistungsbegrenzung (Power-and-Force-Limiting, PFL) nach EN ISO 10218-1 auslegen, sodass die Quetschkraft an allen relevanten Körperstellen die in der einschlägigen C-Norm (EN ISO 10218-1/-2 i.V.m. ISO/TS 15066) definierten Grenzwerte nicht überschreitet. 3. Geschwindigkeitsreduzierung: Koordinierte Achsbewegungen im Einricht- und Wartungsbetrieb auf eine sicherheitsbegrenzte Geschwindigkeit (SLS) nach EN ISO 13849-1 / IEC 62061 beschränken, um die kinetische Energie und damit die Quetschwirkung real zu mindern. 4. Raumoptimierung: Wendetisch-Geometrie und Roboter-Montagepunkt so wählen, dass der Übergabebereich außerhalb des regulären Aufenthaltsbereichs von Personen liegt (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.1.2).
- 1. Trennende Schutteinrichtung: Vollständige Umzäunung des Roboter-/Wendetisch-Bereichs mit verriegelten Schutztüren (Zuhaltung bei gefährlichem Nachlauf) nach EN ISO 14119 und EN ISO 14120; Zugang nur bei gesichertem Stillstand beider Achsen möglich (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.4.1, 1.4.2). 2. Sicherheitsgerichtete Steuerung: Koordinierte Bewegungsfreigabe über eine sicherheitsgerichtete Steuerung (SIL 2 / PLd nach IEC 62061 / EN ISO 13849-1); gegenseitige Verriegelung verhindert gleichzeitige Bewegung von Roboter und Wendetisch, wenn eine Person im Schutzbereich detektiert wird. 3. Zonenüberwachung im Innenraum: Sicherheits-Laserscanner oder Sicherheitslichtvorhänge (Typ 4 nach IEC 61496-1/-3) zur Personendetektion im Übergabe- und Schweißbereich; bei Auslösung sofortiger sicherheitsgerichteter Stopp beider Achsen (STO/SS1 nach IEC 61800-5-2). 4. Not-Halt-Koordination: Not-Halt-Taster (EN ISO 13850) an allen Zugangspunkten und im Innenraum; Not-Halt-Signal wirkt auf BEIDE Teilmaschinen (Roboter und Wendetisch) gleichzeitig und koordiniert (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.2.4). 5. Sicherheitsgerichtete Zuhaltung: Schutztüren mit Zuhaltung (Haltekraft ausreichend für den gefährlichen Nachlauf beider Achsen); Freigabe erst nach Stillstandsüberwachung (EN ISO 14119, 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.4.2). 6. Einrichtbetrieb: Im Einrichtbetrieb ausschließlich Tipp-Betrieb mit Zustimmungseinrichtung (EN ISO 13851 für Zweihandschaltung oder separates Zustimmunggerät nach EN ISO 10218-2) und sicherheitsbegrenzte Geschwindigkeit (SLS); gleichzeitige Bewegung beider Achsen im Einrichtbetrieb steuerungsseitig verriegelt.
- 1. Kennzeichnung: Gut sichtbare Warnschilder 'Quetschgefahr, Roboter und Wendetisch' an allen Zugangstüren und im Innenbereich (Piktogramm nach ISO 11684-1/-2/-3, 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.1). 2. Betriebsanleitung: Detaillierte Beschreibung der Quetschgefahr an der Schnittstelle



Roboter/Wendetisch, der zulässigen Betriebsmodi, der Schrittfolge für sicheres Einrichten, Fehlersuche und Wartung (Lockout/Tagout-Prozedur für beide Achsen) sowie der verbotenen Aufenthaltsbereiche (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.4). 3. Restrisiko-Hinweis: Expliziter Hinweis auf das Restrisiko bei koordinierten Achsbewegungen im Einrichtbetrieb; Pflicht zum Tragen von PSA (Schutzbekleidung) beim Betreten des Innenraums. 4. Unterweisung: Schriftliche Vorgabe, dass nur unterwiesenes und autorisiertes Personal den Schutzbereich betreten darf; Unterweisungsnachweis dokumentieren. 5. Freigabeverfahren: Arbeitsanweisung für Energietrennung und Sicherung gegen Wiedereinschalten (Lockout/Tagout) beider Teilmaschinen vor Wartungs- und Reinigungsarbeiten im Übergabebereich.

Restrisiko: Akzeptiertes Restrisiko.

Mechanisch

Stoß- und Quetschgefahr durch unerwarteten Wiederanlauf des Roboters oder des Wendetisches nach Not-Halt, Energieunterbrechung oder Störungsbeseitigung, wenn die Wiederanlaufssperre nicht wirksam ist oder umgangen wird.

Lebensphasen: Fehlersuche, Wartung, Einrichten

SCHUTZMASSNAHMEN

- Inhärent sichere Konstruktion (Stufe 1, 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.1.2): Roboter (RSZ-2600) und Wendetisch werden ausschließlich über eine gemeinsame, zwangsgeführte Sicherheitssteuerung (Safety-PLC, Kategorie 4 / PL e nach EN ISO 13849-1) angesteuert. Der Wiederanlauf nach Not-Halt, Energieunterbrechung oder Störungsbeseitigung ist konstruktiv als 'kontrollierter Anlauf' (Controlled Stop, IEC 60204-1 Stopp-Kategorie 0/1) ausgeführt: Ein automatischer Wiederanlauf ist baulich ausgeschlossen. Jede Antriebsachse (Roboter und Wendetisch) erhält eine eigene sichere Haltebremse, die bei Energieausfall selbsttätig einfällt (Fail-Safe-Prinzip). Energiespeicher (Kondensatoren, Pneumatikpuffer) werden über sichere Entladekreise automatisch abgebaut, bevor ein Zugang möglich ist. Damit wird die Gefährdungsenergie konstruktiv auf ein Minimum reduziert (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.1.2 Buchst. b).
- Technische Schutzmaßnahmen (Stufe 2, 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.2.6 und Nr. 1.4): 1. Wiederanlaufssperre (LOTO-konform): Alle Zugangstüren zum Roboter- und Wendetischbereich sind mit elektromechanischen Sicherheitsverriegelungen mit Zuhaltung (EN ISO 14119, Kategorie 4 / PL e) ausgestattet. Die Zuhaltung wird erst freigegeben, wenn alle Antriebe sicher stillgesetzt und die sichere Haltebremse bestätigt ist. 2. Sicherer Wiederanlauf: Ein Wiederanlauf der Gesamtanlage RSZ-2600 ist ausschließlich durch eine bewusste, manuelle Quittierung an einem außerhalb des Gefahrenbereichs angeordneten Bedienpult möglich (EN ISO 13849-1, PL e; 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.2.6). Eine Quittierung aus dem Gefahrenbereich heraus ist durch die Türzuhaltungslogik ausgeschlossen. 3. Persönliche Schutzverriegelung (PSV): Für Einricht- und Wartungsarbeiten im Gefahrenbereich wird ein personenbezogenes Zustimmungsgerät (Enabling Device, EN ISO 10218-2 i.V.m. EN ISO 13849-1) eingesetzt, das einen Wiederanlauf nur bei dauerhafter Betätigung durch die im Gefahrenbereich befindliche Person erlaubt. 4. Sicherheitsgerichtete Robotersteuerung: Der Roboter wird im Einrichtbetrieb ausschließlich im reduzierten Geschwindigkeitsmodus (Tippbetrieb, $v_{\max}$ 250 mm/s gemäß EN ISO 10218-1) betrieben. 5. Sicherheitsgerichtete Überwachung: Sichere Stillstandsüberwachung (SOS, Safe Operating Stop) nach EN ISO 13849-1 für Roboter und Wendetisch; der Stillstand wird durch die Safety-PLC zyklisch überwacht. 6. Sicherheitsabstände: Schutzeinrichtungen sind unter Berücksichtigung der Sicherheitsabstände nach EN ISO 13857 angeordnet, sodass ein Erreichen des Gefahrenbereichs vor vollständigem Stillstand ausgeschlossen ist.
- Benutzerinformation und Warnhinweise (Stufe 3, 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.1, Nr. 1.7.2 und Nr. 1.7.4): 1. Betriebsanleitung: Die Betriebsanleitung der Gesamtanlage RSZ-2600 enthält eine explizite, hervorgehobene Warnung vor unerwarteten Wiederanlauf sowie eine detaillierte Beschreibung der vorgeschriebenen LOTO-Prozedur (Lockout/Tagout) für alle Lebensphasen (Einrichten, Fehlersuche, Wartung). Die Schrittfolge zur sicheren Energiefreischaltung ist als

nummerierte Checkliste dargestellt (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.4.1 Buchst. I). 2.

Warnkennzeichnung an der Maschine: Gut sichtbare Warnschilder (ISO 11684-1/-2/-3) an allen Zugangstüren und am Bedienpult mit dem Piktogramm 'Vor Öffnen: Wiederanlaufssperre aktivieren' und dem Hinweis 'Unerwarteter Wiederanlauf, Lebensgefahr'. 3. Einweisung und Unterweisung: Schriftliche Vorgabe in der Betriebsanleitung, dass ausschließlich unterwiesenes und autorisiertes Personal Einricht-, Wartungs- und Fehlersuchttätigkeiten durchführen darf. Unterweisungsnachweis ist zu dokumentieren. 4. Hinweis auf persönliche Schutzausrüstung (PSA): Vorschrift zum Tragen von enganliegender Schutzkleidung im Gefahrenbereich (kein Einzugsrisiko durch lose Kleidung). 5. Anzeige am HMI: Das Bedienpanel zeigt den aktuellen Sicherheitszustand (Zuhaltung aktiv, Stillstand bestätigt, Wiederanlauf gesperrt) im Klartext an, sodass der Bediener den Systemzustand jederzeit eindeutig erkennen kann.

Restrisiko: Akzeptiertes Restrisiko.

Mechanisch

Quetsch- und Einzugsgefahr durch pneumatische Werkstückspanner am Wendetisch. Bei unbeabsichtigtem Schließen der Spanner (z.B. durch Leckage, Steuerungsfehler oder unerwarteten Druckaufbau) können Finger oder Hände eingequetscht oder eingezogen werden.

Lebensphasen: Einrichten, Wartung, Fehlersuche, Betrieb

SCHUTZMASSNAHMEN

- Kraftbegrenzung der Spannzylinder durch konstruktive Auslegung (kleinere Zylinderbohrung, reduzierter Betriebsdruck) auf das technisch notwendige Minimum, sodass die Quetschkraft im Spaltbereich so weit wie möglich reduziert wird. Mindestspaltmaße nach EN ISO 13854 einhalten oder Spannerbewegung so gestalten, dass kein Quetschpunkt entsteht (z.B. einseitig offene Spanngeometrie). Verwendung von Federspeicher-Spannern (Schließen durch Feder, Öffnen durch Druck): Bei Druckverlust bleiben Spanner geschlossen und unkontrolliertes Schließen durch Leckage entfällt konstruktiv. Alternativ: Einsatz von mechanischen Selbsthemmungs-Spannern, die ohne Druckenergie in der Endlage verbleiben und keine Bewegungsenergie freisetzen.
- Druckabsicherung: Druckhalteventil (Rückschlagventil mit Leckageschutz) in der Spannleitung, sodass bei Leitungsbruch oder Leckage kein unkontrollierter Druckaufbau oder -abfall möglich ist. Zweikreisige Steuerung der Spannfreigabe: Spannerfreigabe nur bei gleichzeitig anliegendem Freigabesignal der Sicherheitssteuerung (SIL 2 / PLd nach EN ISO 13849-1). Zonenverriegelung: Zutritt zur Station 2 (Wendetisch) nur bei drucklosem, gesichertem Zustand der Spanner möglich; Drucklosigkeit wird durch Drucksensor mit Sicherheitsfunktion überwacht. Trennende Schutteinrichtung (Schutzzaun mit Sicherheitsschalter nach EN ISO 14119) um den Wendetisch; Öffnen der Schutztür löst Druckentlastung der Spanner und verhindert Wiederanlauf. Für Einricht- und Wartungsbetrieb: Zustimmungseinrichtung (Tipp-Betrieb) nach EN ISO 13849-1 in Verbindung mit reduzierter Spannkraft. Energieabspernung und -verriegelung (Lockout/Tagout) gemäß 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.6.3: Absperrventil mit Schlossvorrichtung und Entlüftungsfunktion (5/2-Wege-Ventil mit Entlüftungsstellung) für Wartungs- und Fehlersuche-Tätigkeiten. Restdruckanzeige am Wartungszugang, damit Bediener den drucklosen Zustand vor Eingriff verifizieren kann.
- Warnetikett an der Station 2 (Wendetisch) mit Piktogramm 'Quetschgefahr, Hände fernhalten' und Hinweis auf Druckentlastungspflicht vor Eingriff (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.3). Betriebsanleitung (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.4): Beschreibung der sicheren Vorgehensweise beim Einrichten, Wartung und Fehlersuche an den Spannern, einschließlich Lockout/Tagout-Prozedur, Restdruckprüfung und Mindestwartezeit nach Druckabschaltung. Hinweis auf PSA (Schutzhandschuhe nur außerhalb des Gefahrenbereichs, da Handschuhe das Einzugsrisiko erhöhen können). Schulungsanforderung für Einrichter und Wartungspersonal in der Betriebsanleitung festhalten. Sicherheitsaushang am Bedienpult mit Kurzanweisung zur Spanner-Druckentlastung vor jedem Eingriff.

Restrisiko: Akzeptiertes Restrisiko.

Mechanisch

Gefährdung durch herabfallendes oder wegfliegendes Werkstück (bis 40 kg) bei Versagen der pneumatischen Werkstückspannung, z.B. durch Druckabfall, Leckage oder Steuerungsfehler. Das Werkstück kann unkontrolliert vom Wendetisch fallen oder geschleudert werden.

Lebensphasen: Betrieb, Einrichten, Fehlersuche

SCHUTZMASSNAHMEN

- 1. Redundante Spannsysteme: Kombination aus pneumatischer Primärspannung und mechanischer Selbsthemmung (z.B. Kniehebelspanner oder Federkraftspanner als Fail-Safe), sodass bei Druckabfall die Spannkraft erhalten bleibt (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.3.2). 2. Begrenzung der Wendetisch-Drehzahl und -Beschleunigung durch konstruktive Auslegung des Antriebs, um kinetische Energie bei Werkstückfreigabe zu minimieren. 3. Auslegung der Spannvorrichtung nach dem Fail-Safe-Prinzip: Spannung bleibt bei Energieausfall aktiv (Federkraft-Spannsystem, 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.2.6). 4. Druckbehälter/Speicher (Pneumatik-Puffer) zur Aufrechterhaltung des Mindestspanndrucks bei kurzzeitigem Druckabfall.
- 1. Drucküberwachung mit Druckwächter am Spannkreis: Unterschreitung des Mindestspanndrucks löst sofortigen Stopp des Wendetisches (Kategorie 3 / PL d nach EN ISO 13849-1) aus, bevor eine Drehbewegung eingeleitet oder fortgesetzt wird. 2. Verriegelung: Wendetisch darf nur drehen, wenn Spanndruck UND Werkstück-Anwesenheitssensor (z.B. induktiver Sensor) korrekte Spannposition bestätigen. 3. Trennende Schutzeinrichtung: Vollständige Einhausung der Station 2 mit verriegelter Schutztür (Zuhaltung nach EN ISO 14119, Kategorie 3 / PL d nach EN ISO 13849-1) während Dreh- und Bearbeitungsbewegungen. 4. Lichtvorhang oder Sicherheitsmatte als zusätzliche Zugangsabsicherung im Einrichtbetrieb (reduzierte Geschwindigkeit, Zustimmteaster nach EN ISO 10218-1 sinngemäß, 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.4.1 und 1.4.3). 5. Not-Halt-Taster (EN ISO 13850) in unmittelbarer Bediener-Reichweite, koordiniert mit dem Gesamt-Not-Halt-Kreis der Anlage. 6. Schutzgitter oder Prallschutz (Deflektorbleche) als passive Rückhalteeinrichtung für den Fall eines wegfliegenden Werkstücks, ausgelegt auf die kinetische Energie eines 40-kg-Werkstücks (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.3.2). 7. Pneumatische Leitungen mit Sicherheitsschläuchen (Peitschenschutz) und Schnellentlüftungsventil mit Drosselung, um unkontrollierten Druckabfall zu verlangsamen.
- 1. Betriebsanleitung (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.4): Beschreibung der Spanndrucküberwachung, zulässiger Druckbereich, Vorgehensweise bei Druckabfall-Alarm, Verbot des Aufenthalts im Gefahrenbereich während des Wendebetriebs. 2. Einricht- und Wartungsanweisung: Prüfintervalle für Pneumatikdichtungen, Schläuche, Spannzyylinder und Druckwächter; Vorgehen zur sicheren Drucklosschaltung vor Eingriff (LOTO-Prozedur, 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.6.3). 3. Warnzeichen am Wendetisch: Piktogramm 'Herabfallende Gegenstände' (ISO 7010-W035) und 'Nicht in den Gefahrenbereich greifen' (ISO 7010-W024), dauerhaft und gut sichtbar angebracht (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.1 und 1.7.3). 4. Unterweisungspflicht: Bediener und Einrichter sind nachweislich zu unterweisen über Gefährdung durch Werkstückfreigabe, korrekte Reaktion bei Alarm und Verhalten im Störfall. 5. Kennzeichnung des Mindestspanndrucks am Manometer und an der Steuerung (Sollwert-



Roboter-Schweißzelle RSZ-2600 (Gesamtheit von Maschinen)

Roboter gestützte MAG-Schweißzelle für Stahlbaugruppen bis 40 kg

Originalbetriebsanleitung

Stand: 13.8.2026

Aufkleber). 6. Hinweis in der Betriebsanleitung auf PSA-Pflicht (Sicherheitsschuhe, Schutzhelm bei Einricht-/Fehlersuchtätigkeiten im Gefahrenbereich).

Restrisiko: Akzeptiertes Restrisiko.

Mechanisch

Gefährdung durch unkoordiniertes Stillsetzen oder unkoordinierten Wiederanlauf einzelner Teilmaschinen nach Not-Halt. Wenn der Not-Halt nicht auf alle Teilmaschinen (Roboter, Wendetisch, Schweißstromquelle, Absaugung) gleichzeitig und koordiniert wirkt, können Restbewegungen oder Wiederanläufe einzelner Stationen zu Gefährdungen führen.

Lebensphasen: Betrieb, Einrichten, Fehlersuche

SCHUTZMASSNAHMEN

- **Inhärent sichere Konstruktion (Stufe 1):** Die Not-Halt-Funktion wird als anlagenweite, zentral koordinierte Sicherheitsfunktion ausgelegt. Alle Teilmaschinen (Roboter, Wendetisch, Schweißstromquelle, Absaugung) werden über einen gemeinsamen Sicherheitsbus (z.B. PROFIsafe) oder eine verdrahtete Sicherheitsschaltung in einer definierten, abgestimmten Stopp-Sequenz stillgesetzt. Die Stopp-Kategorie wird je Teilmaschine nach EN IEC 60204-1 festgelegt: Roboter und Wendetisch erhalten Stopp-Kategorie 1 (kontrolliertes Stillsetzen, dann Energietrennung), Schweißstromquelle und Absaugung Stopp-Kategorie 0 oder 1 gemäß Risikobeurteilung der Teilmaschine. Die Wiederanlaufsperrung ist konstruktiv so gestaltet, dass ein Wiederanlauf der Gesamtanlage nur möglich ist, wenn ALLE Teilmaschinen den Stillstand quittiert und eine manuelle Wiederanlauffreigabe (Quittierung) erfolgt ist. Damit wird die Gefährdungsursache (unkoordiniertes Verhalten) inhärent beseitigt. Normative Grundlage: EN ISO 13849-1 (Sicherheitsfunktion 'Not-Halt-Koordination', Ziel-PLr nach Risikobeurteilung, mindestens PLd/Kat. 3), EN IEC 60204-1 (Stopp-Kategorien), 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.2.4 (Not-Halt), Nr. 1.2.6 (Wiederanlauf).
- **Technische Schutzmaßnahmen (Stufe 2):** (1) Sicherheitsgerichtete Not-Halt-Schaltung: Alle Not-Halt-Befehlsgeräte (EN ISO 13850) sind in einer gemeinsamen, sicherheitsgerichteten Schaltung verdrahtet, die über ein zertifiziertes Sicherheitsrelais oder eine Sicherheits-SPS (z.B. Siemens F-CPU, Pilz PNOZmulti) ausgewertet wird. Die Sicherheitsfunktion erfüllt mindestens PLd/Kat. 3 nach EN ISO 13849-1. (2) Koordinierte Stopp-Sequenz: Die Sicherheits-SPS steuert die Stopp-Sequenz der Teilmaschinen in definierter Reihenfolge und überwacht den Stillstand jeder Teilmaschine (Stillstandsüberwachung z.B. über sichere Drehzahlüberwachung nach EN ISO 13849-1). Erst nach bestätigtem Stillstand aller Teilmaschinen wird der Energiekreis geöffnet. (3) Verriegelte Wiederanlaufsperrung: Ein Wiederanlauf der Gesamtanlage ist nur nach manueller Quittierung an einem definierten Bedienpult möglich (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.2.6). Die Quittierung ist nur wirksam, wenn alle Teilmaschinen den sicheren Zustand gemeldet haben. (4) Schnittstellenverriegelung: Die Kommunikation zwischen Robotersteuerung, Wendetischsteuerung, Schweißstromquelle und Absaugung wird über sichere Schnittstellen (PROFIsafe oder hardverdrahtete Sicherheitssignale) realisiert, sodass kein Teilsystem eigenständig anlaufen kann, ohne Freigabe der übergeordneten Sicherheits-SPS. (5) Not-Halt-Taster sind an allen relevanten Bedienstellen und Zugangspunkten der Gesamtanlage angeordnet (EN ISO 13850, 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.2.4).
- **Benutzerinformation und Warnhinweise (Stufe 3):** (1) Betriebsanleitung (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.4): Detaillierte Beschreibung der Not-Halt-Funktion, der Stopp-Sequenz und des

Wiederanlaufverfahrens für die Gesamtanlage RSZ-2600. Klare Anweisung, dass nach einem Not-Halt KEIN manueller Eingriff in eine Teilmaschine erfolgen darf, bevor der Stillstand aller Teilmaschinen am Bedienpult bestätigt ist. Beschreibung der Quittierungsprozedur. (2) Einweisung und Unterweisung: Alle Bediener, Einrichter und Instandhalter sind nachweislich in die Not-Halt-Prozedur und die Wiederanlaufsperrung einzuweisen. Besondere Unterweisung für Einrichten und Fehlersuche, da in diesen Betriebsarten erhöhte Eingriffshäufigkeit besteht. (3) Kennzeichnung: Alle Not-Halt-Befehlsgeräte sind eindeutig und normgerecht gekennzeichnet (EN ISO 13850: gelbe Grundplatte, roter Pilzkopf). Am Bedienpult ist ein gut sichtbarer Hinweis angebracht: 'Wiederanlauf nur nach Quittierung und Freigabe aller Stationen'. (4) Warn- und Statusanzeigen: Optische Signaleinrichtungen (Signalleuchten oder Signalsäule) zeigen den Not-Halt-Zustand und den Bereitschaftszustand jeder Teilmaschine an, sodass Bediener den Systemzustand vor der Quittierung eindeutig erkennen können (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.1).

Restrisiko: Akzeptiertes Restrisiko.



Mechanisch

Quetsch- und Stoßgefahr beim Übersteigen, Unterkriechen oder Hindurchgreifen am Lichtvorhang am Beschickungsplatz als vorhersehbare Fehlanwendung. Personen oder Körperteile gelangen in den aktiven Roboterarbeitsraum, ohne dass der Lichtvorhang anspricht.

Lebensphasen: Betrieb, Einrichten

SCHUTZMASSNAHMEN

- Geometrische Gestaltung des Beschickungsplatzes so, dass ein Übersteigen, Unterkriechen und seitliches Hindurchgreifen konstruktiv ausgeschlossen wird: Unterkante des Lichtvorhangs bündig mit dem Boden (kein Unterkriechspalt), Oberkante mindestens auf Höhe des maximalen Sicherheitsabstands nach EN ISO 13857 (Tabelle 1/2 für obere Extremitäten und Ganzkörperzugang), seitliche Begrenzung durch fest verschraubte Verkleidungselemente (Bleche, Gitter) ohne Öffnungen größer als die Grenzwerte nach EN ISO 13857. Dadurch wird der Zugang zum Roboterarbeitsraum auf den durch den Lichtvorhang überwachten Bereich beschränkt, sodass eine Umgehung konstruktiv nicht möglich ist. Zusätzlich: Mindestabstände gegen Quetschen nach EN ISO 13854 an allen festen Einhausungsteilen einhalten.
- 1. Lichtvorhang (ESPE Typ 4 nach EN IEC 61496-1/-2) mit vollständiger Abdeckung des Schutzfeldes von Boden bis Oberkante. Ein Muting ist nicht vorgesehen; das Schutzfeld ist im Automatikbetrieb durchgehend wirksam, da die Beschickung ausschließlich manuell bei stillstehender vorderer Station erfolgt. Sicherheitsabstand nach EN ISO 13855 berechnet und dokumentiert. 2. Zusätzliche Bodenmatte (Sicherheitsschaltmatte nach EN ISO 13856-1) oder Laserscanner (ESPE Typ 3, EN IEC 61496-3) im Bodenbereich des Beschickungsplatzes als redundante Erkennung bei Unterkriechversuch. 3. Mechanische Unterkriechsperre (feste Sockelblende, Höhe konstruktiv auf max. 50 mm begrenzt, gemäß EN ISO 13857 Tabelle 4 für Fußzugang) als ergänzende trennende Schutteinrichtung. 4. Sicherheitssteuerung (erforderlicher Performance Level PLr e, Kategorie 4 nach EN ISO 13849-1 gemäß Sicherheitsfunktion SF-02 dieses Projekts; Herleitung S2/F2/P2) wertet alle Schutteinrichtungen UND-verknüpft aus: Ansprechen einer der Einrichtungen führt zu sicherem Halt des Roboters (Stopp-Kategorie 0 oder 1 nach EN IEC 60204-1). 5. Wiederanlaufsperr (Reset nur manuell, außerhalb des Gefahrenbereichs) nach 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.2.6, um unerwarteten Wiederanlauf nach Quittierung zu verhindern.
- 1. Piktogramme und Verbotsschilder (ISO 7010: P004 'Betreten verboten', P019 'Übersteigen verboten') dauerhaft und gut sichtbar an allen Zugangspunkten des Beschickungsplatzes angebracht. 2. Betriebsanleitung (gemäß 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.4) enthält expliziten Hinweis auf die vorhersehbare Fehlanwendung 'Übersteigen, Unterkriechen, Hindurchgreifen am Lichtvorhang' mit Beschreibung der Restgefährdung und der erforderlichen Verhaltensregeln. 3. Einweisungsnachweis für alle Bediener und Einrichter (schriftlich, mit Unterschrift) als organisatorische Maßnahme, Inhalt: Wirkprinzip des Lichtvorhangs, Umgehungsverbot, Verhalten bei Störung. 4. Hinweisschild am Bedienpanel: 'Schutteinrichtung nicht umgehen, Roboter kann unerwartet anlaufen.' 5. Restrisiko-Hinweis in der Risikobeurteilung dokumentiert und dem Betreiber übergeben.



Roboter-Schweißzelle RSZ-2600 (Gesamtheit von Maschinen)

Robotergetriebene MAG-Schweißzelle für Stahlbaugruppen bis 40 kg

Originalbetriebsanleitung

Stand: 13.8.2026

Restrisiko: Akzeptiertes Restrisiko.

Mechanisch

Quetsch- und Stoßgefahr beim Umgehen der Zuhaltung der Wartungstür (z.B. durch Ersatzbetätiger oder Fixieren der Türposition) als vorhersehbare Fehlanwendung. Personen betreten den Roboterarbeitsraum, ohne dass die Sicherheitsfunktion der Zuhaltung wirksam ist.

Lebensphasen: Wartung, Fehlersuche, Einrichten

SCHUTZMASSNAHMEN

- **Inhärent sichere Konstruktion (Stufe 1):** Einsatz einer Zuhaltung mit POSITIVER Öffnungsrichtung und mechanisch zwangsgeführtem Verriegelungselement nach EN ISO 14119:2013, Abschnitt 5.2, sodass ein Umgehen durch einfaches Fixieren der Türposition konstruktiv erschwert wird. Zusätzlich: Anordnung der Wartungstür so, dass sie ausschließlich von außen zugänglich ist und kein Verbleib im Gefahrenbereich ohne Erkennung möglich ist (Personenerfassung im Gefahrenbereich durch zusätzliche Sicherheitsfunktion, z.B. Sicherheits-Laserscanner oder Trittmatten nach EN ISO 13849-1). Reduzierung der Roboter Geschwindigkeit im Einrichtbetrieb auf Handführgeschwindigkeit (max. 250 mm/s gemäß EN ISO 10218-1:2011, Abschnitt 5.6.3), um die kinetische Energie und damit die Schwere eines möglichen Aufpralls konstruktiv zu begrenzen. Hinweis: Die Schwere bleibt aufgrund der verbleibenden Roboterenergie und der Quetschgefahr durch Vorrichtungen/Werkzeuge auf dem Vorher-Niveau (schwere_nachher = 4).
- **Technische Schutzmaßnahmen (Stufe 2, 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.4.1 und 1.4.2):** (1) Einsatz einer codierten Zuhaltung mit hohem Codierungsgrad (Codierstufe 3 nach EN ISO 14119:2013, Abschnitt 7) zur Erschwerung der Umgehung durch Ersatzbetätiger. (2) Überwachung der Zuhaltung durch ein Sicherheitssteuerungssystem mindestens PLd / Kategorie 3 nach EN ISO 13849-1:2015, da die Sicherheitsfunktion 'Zuhaltung Wartungstür' als sicherheitsrelevant eingestuft ist. (3) Zusätzliche Personenerfassung im Roboterarbeitsraum durch Sicherheits-Laserscanner oder Sicherheitstrittmatten (EN ISO 13849-1:2015), die unabhängig vom Türstatus einen Sicherheitshalt auslösen, wenn eine Person den Gefahrenbereich betritt. (4) Zustimmungsschalter (Enabling Device) nach EN ISO 10218-1:2011, Abschnitt 5.8.3, für alle manuellen Eingriffe im Einrichtbetrieb: Roboterbewegung nur bei dauerhafter Betätigung des Zustimmungsschalters möglich. (5) Anlaufwarnung (akustisch und optisch) vor jedem Wiederanlauf nach EN ISO 13849-1:2015 sowie Wiederanlaufsperrung (Start-Inhibit), sodass ein unerwarteter Wiederanlauf nach Türöffnung ausgeschlossen ist (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.2.6). (6) Dokumentation und Protokollierung aller Türöffnungsereignisse im Sicherheitssteuerungssystem zur Nachverfolgung von Umgehungsversuchen.
- **Benutzerinformation und Warnhinweise (Stufe 3, 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.1, 1.7.2 und 1.7.4):** (1) Dauerhaftes Warnschild an der Wartungstür mit Piktogramm 'Zutritt verboten bei laufendem Betrieb' und explizitem Hinweis: 'Umgehung der Zuhaltung verboten, Lebensgefahr' (ISO 11684-1). (2) Betriebsanleitung (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.4): Klare Beschreibung der bestimmungsgemäßen Verwendung der Zuhaltung, ausdrückliches Verbot der Verwendung von Ersatzbetätigern oder mechanischen Hilfsmitteln zur Überbrückung der Zuhaltung, Beschreibung der Konsequenzen (Verlust der CE-Konformität, strafrechtliche Relevanz). (3) Betriebsanweisung für den Betreiber: Festlegung, dass Wartungs- und Einrichtarbeiten im Roboterarbeitsraum



ausschließlich im gesicherten Stillstand (Energiefreistellung, LOTO-Verfahren) oder im Einrichtbetrieb mit Zustimmungsschalter durchzuführen sind. (4) Schulungsnachweis: Nachweis der Unterweisung aller betroffenen Personen (Einrichter, Wartungspersonal) über die Gefährdungen und das Umgehungsverbot. (5) Hinweis in der Betriebsanleitung, dass Manipulationen an Schutzeinrichtungen nach 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.4 unzulässig sind und die Betreiberhaftung begründen. [Fundstelle prüfen: „Anhang I Nr. 1.4“ → Anhang I Nr. 1.7.4 (Betriebsanleitung)]

Restrisiko: Akzeptiertes Restrisiko.

Mechanisch

Gefährdung durch gleichzeitigen Zugang mehrerer Personen in verschiedene Zonen der Zelle (z.B. eine Person am Beschickungsplatz, eine weitere durch die Wartungstür). Die Sicherheitsfunktionen sind ggf. nicht auf simultanen Mehrpersonenzugang ausgelegt, sodass eine Person ungeschützt im Gefahrenbereich verbleiben kann.

Lebensphasen: Wartung, Fehlersuche, Einrichten

SCHUTZMASSNAHMEN

- Zonenkonzept mit physisch getrennten, voneinander unabhängigen Sicherheitsbereichen: Jede Zone (Beschickungsplatz, Wartungsbereich, Roboterzelle) erhält eine eigene, autarke Sicherheitssteuerung, sodass das Betreten einer Zone ausschließlich die Bewegungen in dieser Zone stillsetzt. Konstruktive Auslegung der Anlage RSZ-2600 so, dass kein Gefahrenbereich einer Zone von einer anderen Zone aus erreichbar ist, ohne dass die zugehörige Sicherheitsfunktion dieser Zone ausgelöst wird. Damit wird das Grundprinzip der inhärent sicheren Konstruktion nach 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.1.2 umgesetzt: Gefährdungen werden durch Gestaltung beseitigt, nicht nur abgeschirmt.
- Personenschleusen-Zuhaltesystem (Zugangsberechtigungssystem) mit persönlichen Schlüsselmarken (Key-Tag-System) nach EN ISO 14119: Jede Person, die einen Schutzbereich betritt, entnimmt eine persönliche Schlüsselmarke aus einem Schlüsseltresor. Die Maschine kann erst wieder anlaufen, wenn ALLE entnommenen Schlüsselmarken zurückgegeben wurden. Damit ist sichergestellt, dass kein unbeabsichtigter Wiederanlauf erfolgt, solange sich noch Personen im Gefahrenbereich befinden (Schutz vor unerwartetem Wiederanlauf nach 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.2.6). Ergänzend: Zonenselektive Verriegelung aller Schutztüren und Wartungszugänge mit überwachten, zuhaltenden Schutzeinrichtungen nach EN ISO 14119 (Zuhaltekraft ausreichend für die jeweilige Nachlaufzeit). Sicherheitssteuerung in Kategorie 3 / PL d nach EN ISO 13849-1, um Einzelfehler zu beherrschen. Not-Halt-Taster an jedem Zugang und innerhalb jeder Zone nach EN ISO 13850, mit zonenübergreifender Wirkung auf alle Antriebe der Gesamtanlage RSZ-2600. Zusätzlich: Akustisches und optisches Warnsignal (Rundumleuchte, Summer) vor jedem Wiederanlauf nach 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.2.6, mit ausreichender Vorwarnzeit, damit Personen den Gefahrenbereich verlassen oder den Anlauf verhindern können.
- Betriebsanleitung nach 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.4: Explizite, hervorgehobene Warnung vor dem simultanen Mehrpersonenzugang. Beschreibung des Schlüsselmarken-Verfahrens (Key-Tag-System) als verbindliche Arbeitsanweisung. Festlegung, dass vor jedem Eingriff in die Anlage eine Kommunikation zwischen allen beteiligten Personen zu erfolgen hat (Vier-Augen-Prinzip, Absprache vor Zugang). Hinweisschilder nach EN ISO 11684-1 an allen Zugangstüren und am Beschickungsplatz: 'Mehrpersonenzugang: Schlüsselmarke entnehmen, Kollegen informieren.' Schulung und Unterweisung aller Bediener, Einrichter und Wartungspersonen zum Zonenkonzept und zum Key-Tag-Verfahren, dokumentiert nach 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.1. Kennzeichnung der Zonen durch Bodenmarkierungen (Farbe, Piktogramme) zur eindeutigen Abgrenzung der Sicherheitsbereiche.

Restrisiko: Akzeptiertes Restrisiko.

Mechanisch

Schnitt- und Stichgefahr durch scharfe Kanten und Grate an Werkstücken (Stahlbaugruppen bis 40 kg) beim manuellen Einlegen und Entnehmen an der Beschickungsstation sowie beim Werkzeugwechsel (Schweißbrenner, Kontaktdüsen, Gasdüse).

Lebensphasen: Betrieb, Wartung, Einrichten

SCHUTZMASSNAHMEN

- Konstruktive Entschärfung der Werkstückaufnahmen und Vorrichtungen: Alle Auflageflächen, Spannelemente und Führungen an der Beschickungsstation mit Fasen (mind. $1 \times 45^\circ$) und Radien (mind. R2) versehen, sodass Werkstücke geführt eingelegt werden und der Handkontakt mit scharfen Werkstückkanten minimiert wird. Werkzeugwechsel-Schnittstellen (Brennerhalter, Düsenaufnahmen) so gestalten, dass Kontaktdüsen und Gasdüsen werkzeuglos oder mit Hilfswerkzeug (Düsenschlüssel, Wechselwerkzeug) ohne direkten Fingerkontakt an scharfen Gewinden gewechselt werden können. Werkstückgewicht auf max. 40 kg begrenzt: Handhabungshilfen (Hebevorrichtung, Schwenkarm) vorsehen, um Griffdauer und Griffkraft an scharfen Kanten zu reduzieren (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.1.2 d, Nr. 4.1.2.6).
- Bereitstellung geeigneter Handhabungshilfen als technische Schutzeinrichtung: Schwenkarmkran oder Vakuumheber mit Lastaufnahmemittel für Werkstücke bis 40 kg an der Beschickungsstation, sodass das manuelle Greifen an scharfen Kanten auf das Positionieren beschränkt bleibt. Ablage- und Puffergestelle mit Kunststoff- oder Gummiprofilen an allen Ablagekanten ausrüsten, um Schnittgefahr beim Abstellen zu reduzieren. Für den Werkzeugwechsel: Bereitstellung eines fest zugeordneten Werkzeugsatzes (Düsenschlüssel, Brennerwechselwerkzeug) in einer Halterung unmittelbar an Station 2, sodass kein Werkzeug gesucht und kein Improvisierwerkzeug verwendet wird. Schutzabdeckung (Spritzschutz) am Wendetisch so gestalten, dass beim Öffnen zum Werkzeugwechsel keine scharfen Blechkanten freigelegt werden (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.4.1, Nr. 1.4.2).
- Betriebsanleitung (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.4): Verpflichtende Schutzhandschuhe (Schnittschutzklasse nach EN 388, mindestens Leistungsstufe B für Schnitt) beim manuellen Einlegen, Entnehmen und Werkzeugwechsel vorschreiben. Arbeitsanweisung für den Werkzeugwechsel (Schweißbrenner, Kontaktdüsen, Gasdüse) mit Schritt-für-Schritt-Ablauf und Hinweis auf Abkühlzeit vor dem Anfassen (thermische Kombigefährdung). Piktogramm 'Schnittgefahr, Schutzhandschuhe tragen' (ISO 11684-3) dauerhaft und gut sichtbar an der Beschickungsstation und am Werkzeugwechselplatz anbringen. Unterweisung der Bediener und Einrichter vor Erstinbetriebnahme und mindestens jährlich wiederholen; Unterweisungsnachweis dokumentieren. Hinweis in der Betriebsanleitung auf Entgratung der Werkstücke als vorgelagerten Prozessschritt, sofern die Werkstückspezifikation dies zulässt.

Restrisiko: Akzeptiertes Restrisiko.

Thermisch

Verbrennungsgefahr durch heiße Werkstückoberflächen und Schweißnähte (Temperaturen weit über 100 Grad C) beim manuellen Entnehmen des geschweißten Werkstücks an der Beschickungsstation. Werkstücke können nach dem Schweißvorgang noch lange Zeit hohe Temperaturen aufweisen.

Lebensphasen: Betrieb, Einrichten

SCHUTZMASSNAHMEN

- Inhärent sichere Konstruktion (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.1.2): (1) Verlängerung der Abkühlzeit durch konstruktive Optimierung des Schweißzyklus und der Taktzeit am Zweistationen-Wendetisch, sodass das Werkstück vor Erreichen der Entnahmeposition eine maximale Abkühlphase durchläuft. (2) Einsatz von Wärmeableitung durch konstruktive Integration von Kühlkanälen oder Kühlluftdüsen in die Aufnahmeverrichtung der Beschickungsstation, um die Werkstücktemperatur vor der Entnahme aktiv zu senken. (3) Prüfung, ob eine vollständige Automatisierung der Werkstückentnahme (z.B. durch Robotergreifer) die manuelle Entnahme ersetzt und die thermische Gefährdung inhärent eliminiert.
- Technische Schutzmaßnahmen (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.4.1, 1.4.2): (1) Installation eines berührungslosen Temperaturüberwachungssystems (Pyrometer oder Infrarotsensor) an der Entnahmeposition: Freigabe der Entnahme (z.B. Signalleuchte Grün, Entriegelung einer Zuhaltung) erst nach Unterschreiten eines definierten Temperaturschwellenwerts. Solange der Schwellenwert nicht unterschritten ist, bleibt die Entnahmeposition verriegelt oder eine trennende Schutteinrichtung geschlossen. (2) Trennende Schutteinrichtung (Schutzhaube oder Schutzgitter) an der Beschickungsstation, die den Zugriff auf das heiße Werkstück bis zur Freigabe durch das Temperaturüberwachungssystem verhindert, ausgeführt nach EN ISO 14120. (3) Bereitstellung und Pflicht zur Nutzung von geeigneten Schutzhandschuhen (Hitzeschutz) und Unterarmschutz als ergänzende persönliche Schutzausrüstung (PSA) gemäß PSA-Benutzungsverordnung, sofern technische Maßnahmen die Gefährdung nicht vollständig beseitigen. (4) Visuelle Warnanzeige (Signalleuchte Rot/Gelb) und akustisches Signal solange das Werkstück die definierte Grenztemperatur überschreitet.
- Benutzerinformation und Warnhinweise (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.1, 1.7.2, 1.7.4): (1) Dauerhaftes Warnschild an der Beschickungsstation mit dem Piktogramm 'Warnung vor heißer Oberfläche' (ISO 7010-W017) und dem Hinweis: 'Werkstücke können nach dem Schweißvorgang hohe Temperaturen aufweisen. Entnahme nur nach Freigabe durch Temperaturanzeige. Hitzeschutzhandschuhe tragen.' (2) Betriebsanleitung (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.4): Beschreibung des Abkühlverhaltens der Werkstücke, Festlegung der Mindestwartezeit bzw. des Freigabekriteriums (Temperaturanzeige), Anweisung zur Pflicht-PSA (Hitzeschutzhandschuhe, Unterarmschutz), Verbot der Entnahme ohne Freigabe. (3) Unterweisung der Bedienpersonen gemäß § 12 ArbSchG: Schulung zu thermischen Gefährdungen, korrekter Nutzung der PSA, Verhalten bei Fehlfunktion der Temperaturüberwachung. (4) Einrichtung einer Betriebsanweisung nach DGUV-Regel 100-500 für den Umgang mit heißen Werkstücken an der Station.

Restrisiko: Akzeptiertes Restrisiko.

Thermisch

Verbrennungsgefahr durch Schweißspritzer und Schweißperlen, die aus dem Schweißbereich herausgeschleudert werden und auf Personen am Beschickungsplatz oder auf brennbare Materialien in der Umgebung treffen. Schweißspritzer können Temperaturen von über 1000 Grad C erreichen.

Lebensphasen: Betrieb, Einrichten

SCHUTZMASSNAHMEN

- Stufe 1: Inhärent sichere Konstruktion (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.1.2): (a) Schweißprozessoptimierung: Einsatz von Schweißverfahren mit reduziertem Spritzaustrag, z.B. Impulslichtbogen-MIG/MAG oder CMT-Verfahren (Cold Metal Transfer), da diese durch gezielte Stromformung den Kurzschlussaustrag minimieren und damit die Spritzermenge konstruktiv reduzieren. (b) Geometrische Abschirmung durch Bauteilgeometrie: Werkstückaufnahmen und Vorrichtungen so gestalten, dass der Schweißbereich gegenüber dem Beschickungsplatz baulich tief liegt (Wannenform), sodass Spritzer durch die Wannengeometrie inhärent abgefangen werden. (c) Räumliche Trennung: Beschickungsplatz und Schweißbereich durch ein Drehtisch- oder Shuttle-Konzept so weit voneinander entfernen, dass der Beschickungsplatz außerhalb des ballistischen Wurfbereichs der Schweißspritzer liegt (Mindestabstand nach Risikobeurteilung festlegen, typisch größer als 1,5 m seitlich und größer als 1,0 m in Höhe). Hinweis: Die Schwere der Gefährdung (Verbrennung durch Partikel über 1000 Grad C) wird durch diese Maßnahmen real gemindert, da Spritzermenge und Auftreffenergie konstruktiv reduziert werden.
- Stufe 2: Technische und trennende Schutzmaßnahmen (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.3.1, 1.3.2, 1.4.1): (a) Trennende Schutteinrichtung: Feststehende oder bewegliche trennende Schutteinrichtung (Schweißschutzwand/-vorhang) aus nicht brennbarem Material (z.B. Stahlblech, Keramikfasergewebe oder Schweißschutzwand aus PVC-freiem, schweißspritzbeständigem Material) zwischen Schweißbereich und Beschickungsplatz. Die Schutteinrichtung muss den gesamten Spritzaustrittsbereich abdecken und darf keine Öffnungen aufweisen, durch die Spritzer auf Personen am Beschickungsplatz gelangen können. Ausführung nach 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.4.1 (feststehende trennende Schutteinrichtung bevorzugt). (b) Verriegelung des Schweißbereichs: Bewegliche trennende Schutteinrichtungen (z.B. Drehtisch-Trennwand, Shuttle-Abschirmung) mit Positionsüberwachung verriegeln, sodass der Schweißprozess nur startet, wenn die Abschirmung vollständig geschlossen ist (Sicherheitssteuerung nach EN ISO 13849-1, PLr nach Risikobeurteilung, mindestens PL c). (c) Absauganlage: Schweißrauch- und Spritzerschutzabsaugung unmittelbar am Schweißbrenner (Quellabsaugung) installieren, um Spritzer und Partikel erfassen, bevor sie den Bereich verlassen. (d) Brandschutzmaßnahmen in der Umgebung: Brennbare Materialien (Kabel, Schläuche, Verpackungen) im Umkreis des Schweißbereichs durch nicht brennbare Abdeckungen oder Mindestabstände schützen. Kabelführungen und Pneumatikschläuche mit schweißspritzbeständigen Schutzschläuchen versehen.
- Stufe 3: Benutzerinformation und Warnhinweise (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.1, 1.7.2, 1.7.4): (a) Betriebsanleitung: Expliziter Hinweis auf die Verbrennungsgefahr durch Schweißspritzer (Temperaturen über 1000 Grad C) am Beschickungsplatz. Angabe der persönlichen

Schutzausrüstung (PSA): Schweißerschutzhandschuhe (EN ISO 11611 oder EN ISO 11612), schweißgeeignete Schutzkleidung aus schwer entflammbarem Material (EN ISO 11611), Gesichtsschutz/Schweißerschutzschild (EN 175) für Einrichtbetrieb. (b) Warnkennzeichnung: Dauerhaftes Warnzeichen 'Warnung vor heißen Oberflächen und Schweißspritzern' (ISO 7010, W017 und W034) am Beschickungsplatz und an den Zugängen zum Schweißbereich anbringen. (c) Einrichtbetrieb: In der Betriebsanleitung festlegen, dass im Einrichtbetrieb (Teachen, Programmieren) das Tragen vollständiger PSA Pflicht ist und der Aufenthalt im Spritzbereich auf das notwendige Minimum zu beschränken ist. (d) Unterweisung: Regelmäßige Unterweisung der Bediener und Einrichter gemäß Betriebsanweisung (ArbSchG, BetrSichV). Hinweis auf Brandgefahr durch Schweißspritzer auf brennbaren Materialien und Verhalten im Brandfall. (e) Freihaltezone: In der Betriebsanleitung und durch Bodenmarkierung eine Freihaltezone um den Schweißbereich definieren, in der keine brennbaren Materialien abgelegt werden dürfen.

Restrisiko: Akzeptiertes Restrisiko.



Thermisch

Verbrennungsgefahr durch heiße Komponenten der Brennerreinigungsstation (Reibreiber, Sprüheinheit) und des Schweißbrenners selbst (Gasdüse, Kontaktdüse) beim Wechsel von Verschleißteilen ohne ausreichende Abkühlzeit.

Lebensphasen: Wartung, Einrichten

SCHUTZMASSNAHMEN

- Stufe 1: Inhärent sichere Konstruktion (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.1.2): Thermische Masse der Brennerreinigungsstation (Reiber, Sprüheinheit) durch Einsatz wärmeoptimierter Werkstoffe mit hoher Wärmeleitfähigkeit (z.B. Kupferlegierungen für Kontaktdüsen, Aluminiumgehäuse für Sprüheinheit) reduzieren, um die Abkühlzeit nach Betrieb konstruktiv zu verkürzen. Gasdüse und Kontaktdüse des MAG-Schweißbrenners mit Schnellwechselsystem ausführen, das einen werkzeuglosen Tausch ohne direkten Handkontakt an der heißen Komponente ermöglicht (z.B. Bajonettverschluss mit isoliertem Griffstück). Sprüheinheit der Brennerreinigungsstation mit thermisch entkoppeltem Gehäuse (Isolierbuchsen, Luftspalt) konstruieren, sodass die Außenfläche im Normalbetrieb keine gefährliche Temperatur erreicht. Reiber-Antriebseinheit thermisch von der Bedienseite trennen (Wärmedämmung, Abschirmblech). Hinweis: Die Schwere einer Verbrennung (Schwere vorab = 3, Risikozahl $9 = 3 \times 3$) kann durch konstruktive Maßnahmen real gesenkt werden, wenn der Handkontakt mit der heißen Fläche durch das Schnellwechselsystem physisch verhindert oder die erreichbare Oberflächentemperatur konstruktiv begrenzt wird.
- Stufe 2: Technische Schutzmaßnahmen (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.4.1, 1.4.2): (a) Verriegelung der Wartungszugänge an Station 3 (Brennerreinigungsstation) mit Zuhaltung nach EN ISO 14119: Öffnung der Schutzverkleidung erst freigeben, wenn eine integrierte Temperaturüberwachung (Thermoelement oder NTC-Sensor an Reiber und Sprüheinheit) einen sicheren Grenzwert unterschritten hat. Die Zuhaltkraft muss dem Risiko entsprechen. (b) Temperaturanzeige und Freigabesignal: Signalleuchte (rot = heiß, grün = freigegeben) am Bedienpanel und an der Wartungstür der Station 3 als technische Rückmeldung. (c) Schutzhandschuh-Ablagefach mit Entnahmesensor direkt an der Wartungstür: Entnahme der Schutzausrüstung wird als Voraussetzung für die Türfreigabe nicht verriegelt, aber durch Sensor protokolliert (Unterstützung der Verhaltenssteuerung). (d) Thermische Abschirmung (Hitzeschutzblech, Abdeckhaube) an Gasdüse und Kontaktdüse des Schweißbrenners, die erst beim Werkzeugwechsel abgenommen wird und so unbeabsichtigten Hautkontakt verhindert. (e) Pneumatische oder motorische Absenkung des Brenners in eine gesicherte Wechsellage, sodass der Bediener keinen Zugriff auf die heiße Gasdüse in Arbeitsposition hat.
- Stufe 3: Benutzerinformation und Warnhinweise (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.1, 1.7.2, 1.7.4): (a) Piktogramm 'Heiße Oberfläche' (ISO 7010-W017) dauerhaft und gut sichtbar an der Brennerreinigungsstation (Reiber, Sprüheinheit) sowie am Brennerhalter angebracht. (b) Betriebsanleitung (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.4): Mindest-Abkühlzeit vor Verschleißteilwechsel (Gasdüse, Kontaktdüse, Reiber) als konkreter Arbeitsschritt in der Wartungsanweisung festlegen. Abkühlzeit ist vom Hersteller auf Basis der thermischen Auslegung zu ermitteln und anzugeben.



(c) Arbeitsanweisung für Einrichter und Wartungspersonal: Pflicht zum Tragen von Hitzeschutzhandschuhen (Schutzklasse nach EN 407) beim Verschleißteilwechsel an Station 3. (d) Einweisung und Unterweisung des Bedienpersonals gemäß Betriebsanleitung, dokumentiert. (e) Hinweis in der Betriebsanleitung, dass der Schweißbrenner nach Schweißende eine erhebliche Restwärme aufweist und erst nach Ablauf der angegebenen Abkühlzeit oder nach Bestätigung durch die Temperaturanzeige (Stufe 2) berührt werden darf.

Restrisiko: Akzeptiertes Restrisiko.

Strahlung

Gefährdung durch Lichtbogenstrahlung (UV- und IR-Strahlung) beim MAG-Schweißen. Direkte oder reflektierte Strahlung kann zu Augenschäden (Keratokonjunktivitis, Netzhautschäden) und Hautverbrennungen führen. Gefährdung besteht am Beschickungsplatz, wenn der Schweißerschutzvorhang nicht vollständig schließt oder beschädigt ist.

Lebensphasen: Betrieb, Einrichten, Fehlersuche

SCHUTZMASSNAHMEN

- Konstruktive Kapselung des Schweißbereichs durch feststehende, lichtundurchlässige Trennwände (Stahlblech oder Sichtschutzplatten mit UV/IR-Absorption) an allen Seiten des Schweißmoduls. Geometrische Auslegung der Beschickungsöffnung so klein wie funktional möglich (Minimalprinzip), um den Raumwinkel für austretende Strahlung zu begrenzen. Anordnung des Beschickungsplatzes versetzt zur Schweißzone (kein direkter Sichtlinienkontakt zur Lichtbogenzone), sodass direkte Strahlung konstruktiv ausgeschlossen ist. Einsatz von Schweißrauch-Absaugung mit integrierter Lichtschutzblende an der Absaugöffnung. Grundlage: 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.1.2 und Nr. 1.5.10 (inhärent sichere Konstruktion).
- 1. Motorisch angetriebener, selbstschließender Schweißerschutzvorhang (mehrlagig, UV/IR-absorbierendes PVC-Lamellenvorhang nach EN ISO 25980 für Schweißschutzvorhänge) mit Positionsüberwachung (Endlagenschalter, sicherheitsgerichtet ausgewertet): Schweißprozess wird nur freigegeben, wenn der Vorhang vollständig geschlossen ist (Verriegelung nach EN ISO 14119). 2. Lichtschranke oder Sicherheits-Lichtvorhang (Schutzeinrichtung nach EN IEC 61496-1/-2) an der Beschickungsöffnung: Unterbrechung des Schweißprozesses bei Eingriff in den Beschickungsbereich während des Schweißens. 3. Sicherheitssteuerung (SIL 2 / PLd nach EN ISO 13849-1 bzw. EN IEC 62061): Verknüpfung von Vorhangposition, Lichtvorhang und Schweißfreigabe in einem sicherheitsgerichteten Schaltkreis. 4. Regelmäßige Prüfung des Vorhangs auf Beschädigungen (Risse, Löcher, Verfärbungen) als dokumentierte Prüfaufgabe im Wartungsplan. Grundlage: 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.4.1 und Nr. 1.5.10, 1.4.3.
- 1. Warnschilder an allen Zugängen zum Schweißbereich und am Beschickungsplatz: Piktogramm 'Warnung vor optischer Strahlung' (ISO 7010-W027) und 'Augenschutz tragen' (ISO 7010-M004) sowie 'Hautschutz tragen' (ISO 7010-M010). 2. Betriebsanweisung (gemäß 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.4): Pflicht zum Tragen von Schweißerschutzbrille (Schutzstufe DIN EN 169, Schutzstufe je nach Schweißstrom zu ermitteln) und Schutzkleidung (EN ISO 11611) am Beschickungsplatz. Verbot des Blickkontakts in den Schweißbereich ohne geeigneten Augenschutz. 3. Betriebsanleitung enthält Hinweis auf Sichtprüfung des Schutzvorhangs vor jeder Schicht sowie Meldepflicht bei Beschädigungen. 4. Unterweisung der Bediener und Einrichter vor Erstinbetriebnahme und mindestens jährlich, dokumentiert. Grundlage: 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.1, 1.7.2, 1.7.4.

Restrisiko: Akzeptiertes Restrisiko.

Strahlung

Gefährdung durch elektromagnetische Felder (EMF) im Bereich der Schweißstromquelle und der Schweißleitungen (Hochstrom bis 400 A). Personen mit aktiven Implantaten (z.B. Herzschrittmacher) sind besonders gefährdet. Gefährdung besteht beim Aufenthalt in der Nähe der Schweißleitungen und der Stromquelle.

Lebensphasen: Betrieb, Wartung, Einrichten

SCHUTZMASSNAHMEN

- **Inhärent sichere Konstruktion (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.5.10):** Schweißleitungen so kurz wie technisch möglich auslegen, um die Feldstärke im Aufenthaltsbereich zu minimieren. Hin- und Rückleiter eng nebeneinander oder verdreht verlegen (Koaxialanordnung), da sich die Magnetfelder gegenphasig teilweise kompensieren. Schweißstromquelle räumlich so positionieren, dass der Mindestabstand zu regulären Aufenthaltsbereichen maximiert wird (Abstandsregel: Feldstärke nimmt mit dem Quadrat des Abstands ab). Schweißstrom auf das für den Prozess technisch notwendige Minimum begrenzen (Prozessoptimierung, Parameterfreigabe nur durch Fachpersonal). Keine Dauerstromführung außerhalb aktiver Schweißphasen (automatische Stromabschaltung bei Prozessunterbrechung).
- **Technische Schutzmaßnahmen (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.5.10):** Schweißleitungen in EMF-dämpfenden Kabelkanälen oder Metallschutzschläuchen führen, um Streufelder zu reduzieren. Zugang zur Schweißstromquelle und zum Leitungsbereich während des Betriebs durch trennende Schutzeinrichtungen (Schutzgitter, Verkleidungen) oder Zutrittsverriegelungen absichern, sodass unbefugte Personen den Gefahrenbereich nicht betreten können. Sicherheitsabstände zum Schweißbereich gemäß den Ergebnissen einer EMF-Gefährdungsbeurteilung nach Richtlinie 2013/35/EU (Betreiberpflicht) und den Expositionsgrenzwerten der DGUV Information 203-051 festlegen und durch bauliche Maßnahmen (z.B. Absperrungen, Bodenmarkierungen) dauerhaft sichern. Zutrittssteuerung: Personen mit aktiven Implantaten dürfen den definierten Schutzbereich nur mit ausdrücklicher ärztlicher Freigabe betreten.
- **Benutzerinformation und Warnhinweise (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.1, 1.7.2, 1.7.4):** Warnschilder mit dem Piktogramm 'Warnung vor elektromagnetischen Feldern' (ISO 7010-W006) und dem Zusatztext 'Kein Zutritt für Personen mit Herzschrittmachern oder anderen aktiven Implantaten' an allen Zugängen zum Schweißbereich und an der Stromquelle anbringen. Im Betriebshandbuch und in der Betriebsanweisung (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.4.2) auf die EMF-Gefährdung, die betroffenen Lebensphasen (Betrieb, Einrichten, Wartung) und die einzuhaltenden Schutzbereiche hinweisen. Angabe der relevanten Emissionskennwerte (Schweißstrom, Leitungsanordnung) als Grundlage für die Gefährdungsbeurteilung des Betreibers nach 2013/35/EU. Unterweisung aller Bediener, Einrichter und Wartungspersonen über die EMF-Gefährdung, die Schutzabstände und das Verbot des Zutritts für Implantatträger ohne ärztliche Freigabe. Arbeitsanweisung für Wartungsarbeiten: Schweißstromquelle vor Betreten des Gefahrenbereichs spannungsfrei schalten und gegen Wiedereinschalten sichern (LOTO-Verfahren).

Restrisiko: Akzeptiertes Restrisiko.

Stofflich

Gefährdung durch Einatmen von Schweißrauch und Schweißgasen (Metalloxide, Mangan, Chrom, Kohlenmonoxid, Ozon, Stickoxide) beim MAG-Schweißen von Stahl. Bei unzureichender Absaugleistung oder verstopfter Filterpatrone steigt die Konzentration gesundheitsschädlicher Stoffe am Arbeitsplatz an.

Lebensphasen: Betrieb, Einrichten, Fehlersuche

SCHUTZMASSNAHMEN

- **Inhärent sichere Konstruktion (Stufe 1) nach 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.5.13:** (1) Einsatz emissionsarmer Schweißverfahren und Schweißzusatzwerkstoffe: Bevorzugung von Schweißdrähten mit reduziertem Mangan- und Chromgehalt, soweit schweißtechnisch zulässig, um die Schadstoffemission an der Quelle zu minimieren. (2) Prozessoptimierung: Einstellung optimaler Schweißparameter (Strom, Spannung, Drahtvorschub, Schutzgaszusammensetzung) zur Minimierung der Rauchentwicklung; Bevorzugung gepulster MAG-Prozesse gegenüber konventionellem Kurzlichtbogen, da diese nachweislich geringere Rauchemissionen erzeugen. (3) Konstruktive Anordnung der Schweißstation: Schweißbereich so gestalten, dass die Rauchabsaugung möglichst nah an der Entstehungsquelle (Brennernähe) wirkt; Kapselung des Schweißbereichs durch feste Einhausungswände, um Ausbreitung von Schweißrauch in den allgemeinen Arbeitsbereich zu verhindern. (4) Automatisierung des Schweißprozesses (Roboterschweißen), um den Bediener räumlich aus dem unmittelbaren Emissionsbereich zu entfernen.
- **Technische Schutzmaßnahmen (Stufe 2) nach 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.5.13:** (1) Erfassung an der Quelle: Installation einer leistungsstarken Absauganlage mit Erfassungselement direkt am Schweißbrenner (brennerintegrierte Absaugung) oder mit positionierbarem Absaugarm, der auf den Schweißpunkt ausgerichtet wird. Volumenstrom und Erfassungsgeschwindigkeit sind nach den Vorgaben der einschlägigen Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS 528 'Schweißtechnische Arbeiten') auszulegen. (2) Filteranlage mit automatischer Abreinigung: Einsatz einer Filterpatronenanlage der Staubklasse W3 (nach TRGS 528 für krebserzeugende Schweißrauche, z.B. bei legierten Stählen mit Chrom-VI-Verbindungen) mit automatischer Druckluftabreinigung und Differenzdrucküberwachung. (3) Überwachung der Absaugleistung: Kontinuierliche Differenzdruckmessung über der Filterpatrone mit Grenzwertüberwachung; bei Überschreitung des zulässigen Differenzdrucks (Filterverstopfung) oder Unterschreitung des Mindest-Volumenstroms: automatische Warnung (optisch und akustisch) am Bedienpanel der Station 4 sowie Verriegelung des Schweißstarts (Schweißprozess kann nicht gestartet oder wird unterbrochen). (4) Raumlufttechnische Maßnahme: Ergänzende Hallenentlüftung mit definiertem Luftwechsel als Hintergrundlüftung, um nicht erfasste Restanteile zu verdünnen und abzuführen. (5) Wartungsintervall-Überwachung: Betriebsstundenzähler für Filterpatrone mit Wartungsaufforderung im Maschinenleitstand; Filterwechsel als verriegelter Wartungszustand (Schweißbetrieb gesperrt während Filterwechsel). (6) Persönliche Schutzausrüstung (PSA) als letzte technische Ergänzungsmaßnahme (nachrangig): Bereitstellung von Atemschutz der Klasse

FFP3 oder Gebläsefiltergerät TH3 für Einricht- und Fehlersuchtätigkeiten, bei denen die Absaugung nicht vollständig wirksam ist.

- Benutzerinformation und Warnhinweise (Stufe 3) nach 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.1, Nr. 1.7.2 und Nr. 1.7.4: (1) Betriebsanleitung: Die Betriebsanleitung der Gesamtanlage enthält ein eigenes Kapitel 'Gefahrstoffe beim Schweißen' mit Angaben zu: den entstehenden Schadstoffen (Metalloxide, Mangan, Chrom-VI-Verbindungen, Kohlenmonoxid, Ozon, Stickoxide), den Anforderungen an die Absaugleistung gemäß TRGS 528, den Wartungsintervallen und dem Wechselverfahren für Filterpatronen, den erforderlichen PSA-Klassen für Betrieb, Einrichten und Fehlersuche sowie dem Verhalten bei Störung der Absauganlage (Schweißstopp, Bereich verlassen, Lüften). (2) Sicherheitsdatenblätter: Verweis auf die Sicherheitsdatenblätter der eingesetzten Schweißdrähte und Schutzgase; diese sind am Arbeitsplatz bereitzuhalten (Betreiberpflicht nach GefStoffV, Hinweis in der Betriebsanleitung). (3) Kennzeichnung an der Maschine: Gut sichtbares Warnschild an Station 4 mit Piktogramm 'Warnung vor gesundheitsschädlichen Stoffen' (ISO 7010-W016) und Pflichtzeichen 'Atemschutz benutzen' (ISO 7010-M017); zusätzlich Hinweisschild 'Absaugung vor Schweißbeginn prüfen'. (4) Einweisung und Unterweisung: Hinweis in der Betriebsanleitung, dass Bediener, Einrichter und Instandhalter vor Aufnahme der Tätigkeit nach GefStoffV und TRGS 528 zu unterweisen sind; Unterweisungsintervall mindestens jährlich sowie bei Änderung der Schweißaufgabe oder der Werkstoffe. (5) Restrisiko-Hinweis: Expliziter Hinweis, dass trotz Absauganlage ein Restrisiko durch Schweißrauch verbleibt und PSA in den Lebensphasen Einrichten und Fehlersuche stets zu tragen ist.

Restrisiko: Akzeptiertes Restrisiko.

Lärm

Gefährdung durch Lärm am Bedienplatz durch den MAG-Schweißprozess (Lichtbogengeräusch, Drahtvorschub, Absauggebläse). Der Emissionsschalldruckpegel am Bedienplatz beträgt 84 dB(A) bei einer Messunsicherheit K von 2,5 dB. Der A-bewertete Schallleistungspegel beträgt 96 dB(A). Damit ist der obere Auslösewert nach LärmVibrationsArbSchV (LEX,8h 85 dB(A)) bei Dauerbetrieb potenziell erreichbar. Gemäß 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.4.2 u) besteht Angabepflicht für LpA (da 84 dB(A) den Schwellenwert von 70 dB(A) überschreitet) und zusätzlich für LWA (da LpA 80 dB(A) überschreitet).

Lebensphasen: Betrieb, Einrichten

SCHUTZMASSNAHMEN

- Stufe 1: Inhärent sichere Konstruktion (Lärmminderung an der Quelle) gemäß 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.5.8 und Nr. 1.1.2 (b): 1. Schweißprozessoptimierung: Einsatz lärmarmen Schweißverfahrensvarianten (z.B. Impulslichtbogen-MAG statt Kurzlichtbogen), da Impulsbetrieb nachweislich geringere Lichtbogengeräusche erzeugt. 2. Drahtvorschubeinheit: Verwendung geräuscharmer, gedämpfter Drahtvorschubmotoren und entkoppelte Lagerung des Vorschubgehäuses (Körperschallentkopplung durch Elastomerlager). 3. Absauggebläse: Auswahl eines aerodynamisch optimierten, drehzahlgeregelten Gebläses mit niedrigem Schallleistungspegel als Primärmaßnahme; Drehzahlregelung (Frequenzumrichter) zur Anpassung des Volumenstroms an den tatsächlichen Bedarf, um unnötige Lärmemission im Teillastbetrieb zu vermeiden. 4. Maschinenstruktur: Körperschallarme Befestigung aller schwingungserzeugenden Komponenten (Schweißstromquelle, Gebläse, Drahtvorschub) auf schwingungsdämpfenden Unterlagen; Vermeidung schallabstrahlender großflächiger Blechverkleidungen ohne Dämpfungsmaßnahmen (Bitumenbeschichtung oder Sandwichpaneele). 5. Kapselung der Schallquellen: Konstruktive Einhausung des Drahtvorschubsystems und des Absauggebläses als integraler Bestandteil der Maschinenkonstruktion (keine nachträgliche Maßnahme).
- Stufe 2: Technische Schutzmaßnahmen (trennende und nichttrennende Schutzeinrichtungen) gemäß 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.5.8: 1. Schallschutzkabine / Bedienerkabine: Errichtung einer schallgedämmten Bedienerkabine oder eines Schallschutzraums um den Bedienplatz der Gesamtanlage RSZ-2600, ausgelegt auf eine Schalldämmung, die den Emissionsschalldruckpegel am Bedienplatz auf unter 80 dB(A) absenkt (Planungsziel: LEX,8h dauerhaft unter dem oberen Auslösewert von 85 dB(A) nach LärmVibrationsArbSchV). Auslegung und Nachweis gemäß EN ISO 11690-1 und EN ISO 11690-2. 2. Schallabsorbierende Verkleidungen im Arbeitsbereich: Anbringung schallabsorbierender Materialien (Akustikpaneele, Mineralwollverkleidungen) an Wänden und Decken des Aufstellungsraums zur Reduzierung des Diffusschallpegels (Nachhallzeitoptimierung). 3. Schallschutzwände / Abschirmungen: Installation von Schallschutzwänden zwischen Schweißstation und Bedienplatz, sofern keine vollständige Kabine realisierbar ist; Auslegung nach EN ISO 11690-2. 4. Kapselung des Absauggebläses: Nachgerüstete oder konstruktiv integrierte Schallschutzhaube über dem Gebläseaggregat mit Schalldämpfern an Zu- und Abluftöffnungen. 5. Schalldämpfer in der Absauganlage: Kulissenschalldämpfer in den Absaugleitungen zur Reduzierung der luftschallgeführten

Geräuschemission. 6. Bereitstellung von Gehörschutz (PSA) als LETZTE technische Auffanglinie: Da der Emissionsschalldruckpegel am Bedienplatz 84 dB(A) beträgt und der obere Auslösewert von LEX,8h 85 dB(A) bei Dauerbetrieb potenziell erreichbar ist, ist der Arbeitgeber (Betreiber) nach LärmVibrationsArbSchV § 7 Abs. 1 verpflichtet, geeigneten Gehörschutz bereitzustellen. Der Hersteller weist auf diese Betreiberpflicht hin (siehe Stufe 3). Empfohlener SNR-Wert des Gehörschutzes: so zu wählen, dass der effektive Schalldruckpegel am Ohr unter 75 dB(A) liegt (Zielwert nach DGUV Regel 112-194).

- Stufe 3: Benutzerinformation und Warnhinweise gemäß 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.1, Nr. 1.7.2 und Nr. 1.7.4.2 u): 1. Angaben in der Betriebsanleitung (Pflichtangaben nach 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.4.2 u): a) Emissionsschalldruckpegel am Bedienplatz: LpA = 84 dB(A) (Messunsicherheit K = 2,5 dB), ermittelt nach [anzugebende Messnorm, z.B. EN ISO 11202 oder EN ISO 3744]. b) Schallleistungspegel: LWA = 96 dB(A) (Angabepflicht besteht, da LpA den Schwellenwert von 80 dB(A) überschreitet, gemäß 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.4.2 u)). c) Hinweis, dass bei Dauerbetrieb der obere Auslösewert nach LärmVibrationsArbSchV (LEX,8h = 85 dB(A)) potenziell erreichbar ist und der Betreiber zur Gefährdungsbeurteilung nach LärmVibrationsArbSchV § 3 verpflichtet ist. 2. Hinweise zu Schutzmaßnahmen für den Betreiber: a) Pflicht zur Bereitstellung und zum Tragen von Gehörschutz (PSA Kategorie III) bei Aufenthalt im Gefahrenbereich ohne wirksame technische Schallschutzmaßnahmen, gemäß LärmVibrationsArbSchV § 7. b) Empfehlung zur Begrenzung der täglichen Expositionsdauer am ungeschützten Bedienplatz. c) Hinweis auf regelmäßige Lärmmessungen durch den Betreiber (arbeitsplatzbezogene Gefährdungsbeurteilung). d) Empfehlung zur Durchführung von Vorsorgeuntersuchungen nach ArbMedVV (G20) ab Erreichen des oberen Auslösewerts. 3. Warnkennzeichnung an der Maschine: a) Piktogramm 'Gehörschutz tragen' (ISO 7010-M003) an allen Zugängen zum Gefahrenbereich und am Bedienplatz. b) Schalldruckpegelangabe am Typenschild oder in unmittelbarer Nähe des Bedienplatzes. 4. Einweisung und Unterweisung: a) Betriebsanleitung enthält Vorgaben zur Einweisung des Bedienpersonals in die Lärmgefährdung und die erforderlichen Schutzmaßnahmen. b) Hinweis auf Unterweisungspflicht des Betreibers nach BetrSichV und LärmVibrationsArbSchV.

Restrisiko: Akzeptiertes Restrisiko.



Vibration

Gefährdung durch Hand-Arm-Vibration beim manuellen Einlegen und Entnehmen von Werkstücken sowie beim Umgang mit dem Schweißbrenner im Einrichtbetrieb. Die tatsächlichen Vibrationswerte sind messtechnisch zu ermitteln und mit den Auslösewerten der LärmVibrationsArbSchV (Hand-Arm: A(8) 2,5 m/s²) zu vergleichen.

Lebensphasen: Betrieb, Einrichten

SCHUTZMASSNAHMEN

- **Inhärent sichere Konstruktion (Stufe 1):** Auswahl vibrationsarmer Schweißprozessparameter (Stromstärke, Drahtvorschub, Impulsfrequenz) bereits in der Konstruktions- und Parametrierungsphase, um die Vibrationsemission an der Quelle zu minimieren. Einsatz von Schweißbrennern mit integrierter Schwingungsdämpfung (gedämpfte Griffzone, entkoppelter Schlauchpaket-Anschluss). Konstruktive Auslegung der Werkstückaufnahmen und Spannvorrichtungen so, dass Werkstücke ohne kraftintensives manuelles Halten eingelegt und entnommen werden können (formschlüssige Aufnahmen, Zentrierhilfen). Prüfung, ob Einlege- und Entnahmevorgänge durch mechanische Hilfsmittel (Greifhilfen, Handhabungsgeräte) teilautomatisiert werden können, um die Expositionsdauer zu reduzieren. Reduktion der Einwirkdauer durch ergonomische Taktgestaltung und Arbeitszeitrotation als organisatorische Ergänzung zur konstruktiven Maßnahme.
- **Technische Schutzmaßnahmen (Stufe 2):** Bereitstellung von Antivibrations-Schutzhandschuhen nach EN ISO 10819 als persönliche Schutzausrüstung (PSA) der Kategorie II, ausgewählt auf Basis der messtechnisch ermittelten Frequenzspektren. Hinweis: PSA ist nachrangig gegenüber kollektiven Maßnahmen und wird hier als ergänzende technische Maßnahme eingestuft. Einsatz von Werkzeughaltern und Brennerhalterungen mit passiver Schwingungsisolierung (Elastomerlagerung) zwischen Brennergriff und Schlauchpaket. Installation von Ablagepositionen und Brennerhaltern in ergonomisch günstiger Grifffhöhe, um statische Haltearbeit und damit verbundene Vibrationsübertragung zu minimieren. Messtechnische Ermittlung der Hand-Arm-Vibrationswerte A(8) gemäß EN ISO 5349-1 und EN ISO 5349-2 an den relevanten Arbeitspositionen (Einlegen, Entnehmen, Schweißbrenner im Einrichtbetrieb) als Grundlage für alle weiteren Maßnahmen.
- **Benutzerinformation und Warnhinweise (Stufe 3):** Angabe der ermittelten Vibrations-Emissionswerte (Hand-Arm-Vibration, Vektorsumme der gewichteten Beschleunigung a_{hw}) in der Betriebsanleitung gemäß 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.4.2 Buchstabe u). Hinweis in der Betriebsanleitung auf die Pflicht des Betreibers, eine Gefährdungsbeurteilung nach LärmVibrationsArbSchV §§ 9 bis 11 durchzuführen und die tatsächlichen Tages-Expositionswerte A(8) zu ermitteln und mit dem unteren Auslösewert A(8) = 2,5 m/s² sowie dem Expositionsgrenzwert A(8) = 5,0 m/s² (Hand-Arm, LärmVibrationsArbSchV § 9) zu vergleichen. Betriebsanweisung für Bedienpersonal mit Angabe der maximal zulässigen täglichen Einwirkdauer, Pflicht zum Tragen von Antivibrations-Handschuhen ab Erreichen des unteren Auslösewerts, sowie Hinweis auf Rotationspflicht. Unterweisung des Bedienpersonals gemäß LärmVibrationsArbSchV § 12 über Vibrationsrisiken, korrekte Handhabung des Schweißbrenners



Roboter-Schweißzelle RSZ-2600 (Gesamtheit von Maschinen)

Robotergetriebene MAG-Schweißzelle für Stahlbaugruppen bis 40 kg

Originalbetriebsanleitung

Stand: 13.8.2026

(leichter Griff, keine unnötige Krafteinwirkung), Nutzung der PSA und Meldepflicht bei Beschwerden (Taubheitsgefühl, Kribbeln, Weißfingerkrankheit). Kennzeichnung der Arbeitspositionen mit erhöhter Vibrationsexposition durch Piktogramm gemäß ISO 11684 (Vibrationsgefahr). Arbeitsmedizinische Vorsorge nach ArbMedVV Anhang, Teil 3 (Lärm, Vibrationen) veranlassen bzw. anbieten, abhängig vom ermittelten A(8)-Wert.

Restrisiko: Akzeptiertes Restrisiko.

Ergonomisch

Gefährdung durch unzureichende Beleuchtung im Inneren der Schweißzelle beim Einrichten, Warten und Störungsbeseitigen. Blendung durch Lichtbogen oder unzureichende Ausleuchtung dunkler Bereiche hinter dem Wendetisch und im Bereich der Brennerreinigungsstation können zu Fehlhandlungen führen.

Lebensphasen: Einrichten, Wartung, Fehlersuche

SCHUTZMASSNAHMEN

- Konstruktive Anordnung der Beleuchtungsmittel so, dass alle betriebsrelevanten Bereiche (hinter dem Wendetisch, Brennerreinigungsstation, Schweißbereich) ohne Sichtschatten ausgeleuchtet werden. Auswahl von Leuchten mit geeigneter Schutzart (mind. IP54 gemäß IEC 60529) und Temperaturbeständigkeit für den Schweißzellenbereich. Einsatz von Leuchten mit diffuser Lichtverteilung zur Vermeidung von Blendung durch Direktstrahlung. Lichtbogenschutz durch konstruktive Abschirmung (Schweißschutzhänge, Trennwände) so gestalten, dass kein direkter Sichtbezug zum Lichtbogen aus den Einricht- und Wartungsbereichen besteht. Beleuchtungsstärke in Anlehnung an DIN EN 12464-1 (Arbeitsstättenbeleuchtung) für Einricht- und Wartungsaufgaben ausgelegt: Zielwert für Sichtaufgaben an Maschinen mindestens 500 lx im Bereich der Einrichttätigkeit (konkreter Messwert ist durch Lichtplanung zu ermitteln und zu dokumentieren). Anforderung: 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.1.2 (Konstruktionsgrundsätze) und Nr. 1.7.1 (Beleuchtung).
- Installation einer fest installierten, zonenweise schaltbaren Arbeitsbeleuchtung im Inneren der Schweißzelle, die unabhängig von der Prozessbeleuchtung betrieben werden kann. Separate Beleuchtungskreise für: (1) Bereich hinter dem Wendetisch, (2) Brennerreinigungsstation, (3) allgemeiner Zelleninnenraum. Automatische Aktivierung der Innenraumbeleuchtung beim Öffnen der Schutztür (Verriegelungsschalter mit Beleuchtungssteuerung verknüpft). Einsatz von Schweißschutzfiltern oder automatisch abdunkelnden Schutzscheiben (Automatik-Schweißschutzfilter nach EN 379) an Sichtfenstern und Beobachtungsöffnungen, um Blendung durch Lichtbogen zu verhindern. Bereitstellung einer tragbaren, explosionsgeschützten Handlampe (geeignete Schutzart) als Ergänzung für schwer zugängliche Bereiche. Anforderung: 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.1.
- Betriebsanleitung (gemäß 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.4) enthält: Hinweis auf die Pflicht, vor Einricht-, Wartungs- und Störungsbeseitigungsarbeiten die Innenraumbeleuchtung zu aktivieren und deren Funktion zu prüfen. Warnung vor Blendgefahr durch Lichtbogen: Einrichten und Beobachten des Schweißprozesses nur mit geeignetem Augenschutz (Schweißerschutzbrille oder Automatikfilter nach EN 379, Schutzstufe gemäß Schweißverfahren und Stromstärke). Hinweis, dass bei unzureichender Beleuchtung Arbeiten einzustellen und die Beleuchtung instand zu setzen sind, bevor fortgefahren wird. Unterweisungspflicht des Betreibers für alle Einrichter und Wartungspersonen bezüglich Blendschutz und Beleuchtungsnutzung. Prüfintervall für Beleuchtungsmittel (Sichtprüfung, Reinigung von Leuchtenabdeckungen) in den Wartungsplan aufnehmen. Kennzeichnung der Beleuchtungsschalter im Inneren der Zelle mit Piktogramm gemäß ISO 7010.



Roboter-Schweißzelle RSZ-2600 (Gesamtheit von Maschinen)

Robotergetriebene MAG-Schweißzelle für Stahlbaugruppen bis 40 kg

Originalbetriebsanleitung

Stand: 13.8.2026

Restrisiko: Akzeptiertes Restrisiko.

Umgebung

Gefährdung durch Brandgefahr infolge von Schweißspritzern, die auf brennbare Materialien (Kabel, Schläuche, Verpackungsmaterial, Reinigungsmittel) in der Umgebung der Zelle treffen. Besondere Gefährdung bei nicht vollständig geschlossenem Schweißerschutzvorhang.

Lebensphasen: Betrieb, Einrichten

SCHUTZMASSNAHMEN

- Inhärent sichere Konstruktion (Stufe 1) gemäß 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.1.2: (1) Schweißprozessparameter (Strom, Spannung, Drahtvorschub) so auslegen, dass Schweißspritzer konstruktiv minimiert werden, z.B. durch Einsatz von Impulslichtbogen-Schweißtechnologie oder CMT-Prozess (Cold Metal Transfer) mit reduziertem Spritzaustrag. (2) Schweißzelle vollständig einhausen: Zellengehäuse aus nicht brennbarem Material (Stahl, Lochblech) so gestalten, dass Schweißspritzer konstruktiv am Austritt gehindert werden. Spritzerschutzbleche (Deflektoren) aus Stahl an allen Öffnungen und Übergangsbereichen fest integrieren. (3) Kabel, Schläuche und Leitungen innerhalb der Zelle ausschließlich in nicht brennbaren Kabelkanälen (Stahlpanzerung, Metallschutzschlauch) verlegen und mit Mindestabstand zur Schweißzone anordnen. (4) Brennbare Betriebsmittel (Reinigungsmittel, Schmierstoffe) durch nicht brennbare oder schwer entflammbare Alternativen ersetzen, soweit technisch möglich.
- Technische Schutzmaßnahmen (Stufe 2) gemäß 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.4.1 und 1.4.3: (1) Schweißerschutzvorhang aus schweißspritzerfestem, schwer entflammbarem Material (z.B. PVC-freier Schweißschutzvorhang, Klasse EN ISO 11611 / EN ISO 11612 geprüft) an allen Zellenöffnungen. Verriegelung: Sicherheitssteuerung überwacht den Schließzustand des Vorhangs über Positionsschalter (Sicherheitsniveau gemäß EN ISO 13849-1, PLr mindestens PLc). Schweißprozess wird bei nicht vollständig geschlossenem Vorhang gesperrt (kein Schweißstart möglich). (2) Brandmeldeanlage innerhalb der Schweißzelle: Wärmemelder oder Funkenmelder (z.B. nach VdS-Richtlinien) mit automatischer Abschaltung der Schweißstromquelle und Auslösung eines akustischen und optischen Alarms. (3) Automatische Feuerlöschanlage (z.B. CO₂- oder Trockenlöschanlage) innerhalb der Schweißzelle, ausgelegt auf den Zelleninnenraum, mit automatischer Auslösung bei Branddetektion. (4) Gefahrenbereich um die Zelle: Mindestabstand zu brennbaren Materialien (Verpackung, Reinigungsmittel) durch fest installierte Bodenmarkierungen und physische Barrieren (Gitterboxen, Regale aus Stahl) sicherstellen. Brennbare Materialien dürfen im definierten Schutzbereich nicht gelagert werden. (5) Kabelführungen und Schläuche außerhalb der Zelle mit Brandschutzmanschetten oder Brandschutzummantelungen sichern.
- Benutzerinformation und Warnhinweise (Stufe 3) gemäß 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.1, 1.7.2 und 1.7.4: (1) Betriebsanleitung enthält explizite Warnhinweise zu Brandgefahr durch Schweißspritzer, insbesondere zum Verbot der Lagerung brennbarer Materialien im definierten Schutzbereich der Zelle. (2) Betriebsanleitung schreibt vor: Schweißerschutzvorhang muss vor jedem Schweißstart vollständig geschlossen sein. Einrichten (Teachen, Programmieren) darf nur mit reduzierter Energie und unter Einhaltung der Brandschutzmaßnahmen erfolgen. (3) Piktogramm 'Brandgefahr durch Schweißspritzer' und 'Brennbare Materialien fernhalten' dauerhaft und gut sichtbar an der

Zellenverkleidung und am Vorhangrahmen angebracht (gemäß ISO 7010, Zeichen W021 und W002). (4) Bodenmarkierung des Schutzbereichs mit Hinweisschild 'Kein Lagern brennbarer Stoffe' im Umkreis der Zelle. (5) Unterweisung der Bediener und Einrichter vor Erstinbetriebnahme und mindestens jährlich wiederkehrend: Brandschutzverhalten, Standort und Bedienung des nächstgelegenen Handfeuerlöschers (geeignet für Metallbrand und elektrische Anlagen), Verhalten bei Brandalarm. (6) Wartungsanleitung schreibt regelmäßige Inspektion der Schweißerschutzvorhänge auf Beschädigungen, Durchbrand und Schließfunktion vor (empfohlenes Intervall: wöchentlich durch Bediener, monatlich durch Fachkraft).

Restrisiko: Akzeptiertes Restrisiko.

Lebensphase: Betrieb

Umgebung

Stolpergefahr durch Kabelführung und Schläuche am Boden

Lebensphasen: Betrieb, Wartung

SCHUTZMASSNAHMEN

- Inhärent sichere Konstruktion (Stufe 1) gemäß 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.1.2: Kabel, Schläuche und Leitungen konsequent aus dem Bodenbereich heraushalten durch werksseitig integrierte Kabelkanäle, Kabelbrücken oder Kabelpritschen in ausreichender Höhe (Überkopfführung bevorzugen). Pneumatik- und Hydraulikschläuche an der Maschine fest verlegen und mit Schlauchhaltern an Maschinengestell oder Deckenkonstruktion befestigen, sodass keine Leitungen den Bediener- oder Wartungsbereich am Boden kreuzen. Wo möglich: Einsatz drahtloser Kommunikation oder Energieführungsketten (Energieketten) statt loser Bodenleitungen.
- Technische Schutzmaßnahmen (Stufe 2) gemäß 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.1.2 und Nr. 1.5.15: Unvermeidbare Bodendurchführungen mit fest montierten, rutschfesten Kabelbrücken (Überfahrerschutz, Farbe: Warngelb) oder Kabelschutzmatten abdecken. Kabelkanäle am Boden bündig einlassen oder mit Abdeckprofilen sichern, die bündig mit dem Bodenbelag abschließen. Bodenmarkierungen (gelb/schwarz) gemäß ASR A1.8 zur Kennzeichnung von Verkehrswegen und Gefahrenbereichen dauerhaft aufbringen. Ausreichende Beleuchtung der Arbeitsbereiche gemäß 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.1.4 sicherstellen, sodass Hindernisse am Boden jederzeit erkennbar sind.
- Benutzerinformation (Stufe 3) gemäß 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.1 und Nr. 1.7.4: Warnhinweis 'Stolpergefahr, Kabel und Schläuche beachten' als Piktogramm und Text (gemäß ISO 7010, Zeichen W007) an den Zugangsbereichen zur Maschine und am Arbeitsplatz anbringen. In der Betriebsanleitung (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.4) Hinweise zur ordnungsgemäßen Kabelführung, zur regelmäßigen Sichtprüfung auf lose Leitungen sowie zur Meldepflicht bei beschädigten Kabelbrücken oder gelösten Befestigungen aufnehmen. Unterweisung der Bediener und Wartungspersonen gemäß DGUV Vorschrift 1 § 4 über Stolpergefahren und korrekte Kabelverlegung nach Wartungsarbeiten dokumentieren.

Restrisiko: Akzeptiertes Restrisiko.

Mechanisch

Stolper-, Rutsch- und Sturzgefahr auf dem Boden im Bereich der Zelle durch Schweißspritzer, Kabeltrassen, Schläuche oder Verunreinigungen (Öl, Wasser, Metallspäne) beim Beschicken, Entnehmen, Reinigen und Warten.

Lebensphasen: Betrieb, Wartung, Reinigung, Fehlersuche

SCHUTZMASSNAHMEN

- **Inhärent sichere Konstruktion (Stufe 1):** Kabeltrassen, Schläuche und Versorgungsleitungen grundsätzlich oberhalb der Bedienerebene verlegen (Kabelbrücken, Kabelkanäle an Decke oder Wand) oder in Bodenkanälen mit bündigem, rutschfestem Abdeckrost (Maschenweite und Tragfähigkeit nach Nutzlast ausgelegt). Schweißbrenner und Schlauchpakete am Roboter so führen, dass kein Durchhang auf Bodenniveau entsteht. Bodenflächen im Zellenbereich mit rutschhemmender Beschichtung oder Bodenbelag (Bewertungsgruppe R 11 oder höher nach BGR 181 / ASR A1.5/1,2) ausführen. Maschinensockel und Aufstellflächen so gestalten, dass keine Pfützenbildung möglich ist (Gefälle zur Ablaufrinne). Ölbehälter, Hydraulik- und Kühlkreisläufe mit Leckageauffangwannen ausstatten, um Verunreinigungen des Bodens konstruktiv zu verhindern. Maßgebliche Anforderung: 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.1.2 (Grundsätze der Sicherheitsintegration), Nr. 1.5.15 (Rutschgefahr, Stolpergefahr, Sturzgefahr).
- **Technische und trennende Schutzmaßnahmen (Stufe 2):** Abgrenzung des Zellenbereichs durch ortsfeste trennende Schutzeinrichtungen (Schutzzaun nach EN ISO 13857) mit definierten, gekennzeichneten Zugangstüren; Zugangstüren mit Zuhaltung (EN ISO 14119) sichern, sodass ein Betreten nur im gesicherten Zustand möglich ist. Bodenmarkierungen (gelb/schwarz nach ASR A1.3) für Verkehrswege, Bedienbereiche und Gefahrenzonen dauerhaft aufbringen. Auffangwannen und Absaugvorrichtungen für Schweißspritzer (Spritzerschutzmatten, Schweißschutzvorhänge) installieren, um Spritzerwurf auf Verkehrswege zu minimieren. Regelmäßige automatische oder halbautomatische Bodenreinigung (z.B. integrierte Absaugung für Metallspäne) vorsehen, sofern technisch realisierbar. Beleuchtung im Zellenbereich auf mindestens 500 lx (Arbeitsstättenregel ASR A3.4, Tätigkeitsklasse Maschinenbedienung) auslegen, um Verunreinigungen und Hindernisse frühzeitig erkennbar zu machen. Maßgebliche Anforderung: 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.5.15, Nr. 1.6.2 (Zugänglichkeit zu Betriebsstellen).
[Fundstelle prüfen: „Anhang I Nr. 1.5.15“ → Überschrift ist „Ausrutsch-, Stolper- und Sturzrisiko“ — passt nicht zum Satzkontext (EHSR-Gliederung)]
- **Benutzerinformation und Warnhinweise (Stufe 3):** Betriebsanleitung (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.4) enthält explizite Hinweise zu: (a) Pflicht zur sofortigen Beseitigung von Schweißspritzern, Öl- und Wasserverunreinigungen nach jedem Produktionszyklus sowie vor Wartungs- und Reinigungsarbeiten; (b) Verbot, Schläuche oder Kabel provisorisch über den Boden zu legen; (c) Vorgeschriebene PSA: Sicherheitsschuhe mit rutschhemmender Sohle (EN ISO 20345, Klasse SRC) und ggf. Schutzkleidung. Piktogramme und Warnzeichen (W011 'Rutschgefahr', W007 'Stolpergefahr' nach ISO 7010) dauerhaft und gut sichtbar an den Zugangstüren und im Zellenbereich anbringen. Reinigungsplan und Wartungsplan mit festgelegten Intervallen und Verantwortlichkeiten in der Betriebsanleitung dokumentieren. Unterweisung der Bediener und

Wartungspersonal gemäß DGUV Vorschrift 1 § 4 vor Erstaufnahme der Tätigkeit und in regelmäßigen Abständen durchführen und dokumentieren.

Restrisiko: Akzeptiertes Restrisiko.

Ergonomisch

Gefährdung durch ergonomisch ungünstige Körperhaltung und Kraftaufwand beim manuellen Einlegen und Entnehmen von Werkstücken bis 40 kg an der Beschickungsstation. Häufiges Heben, Tragen und Positionieren schwerer Werkstücke in Taktzeit von ca. 90 Sekunden kann zu Muskel-Skelett-Erkrankungen führen.

SCHUTZMASSNAHMEN

- Konstruktive Begrenzung des maximalen Werkstückgewichts je Einlegeposition auf unter 25 kg durch Aufteilung in Teilwerkstücke oder Verwendung leichterer Werkstoffvarianten (soweit technologisch möglich). Gestaltung der Beschickungsstation mit höhenverstellbarem Drehtisch (Arbeitshöhe 750 bis 1050 mm einstellbar) gemäß EN ISO 9241-5 und EN 614-1, sodass Heben aus der Hüfte heraus entfällt und die Wirbelsäule aufrecht bleibt. Positionierung der Werkstückablage auf Greifhöhe (keine Bodenlagerung, keine Überkopfarbeit) durch konstruktive Festlegung der Zuführhöhe. Taktzeit-Überprüfung: Auslegung der Anlage so, dass die Taktzeit von 90 Sekunden bei Einsatz der vorgesehenen Hebehilfe (Stufe 2) ohne Zeitdruck eingehalten werden kann.
- Verpflichtende Integration einer kraftunterstützten Hebehilfe (Vakuum-Hebezeug, Balancer oder Knickarmmanipulator) für alle Werkstücke über 10 kg gemäß DGUV Regel 109-002 (Heben und Tragen) und 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.1.2 (Ergonomieprinzipien). Die Hebehilfe ist fest an der Station 2 installiert und verriegelt den Automatikbetrieb, solange kein Werkstück sicher aufgenommen ist (Sensorüberwachung Vakuumdruck oder Lastmoment). Bereitstellung eines höhenverstellbaren Werkstückspeichers (Hubtisch oder Palettierheber) als Zuführeinheit, sodass die Entnahme stets auf ergonomischer Arbeitshöhe erfolgt. Rutschfeste, konturierte Werkstückaufnahmen am Wendetisch reduzieren Positionierkraft und verhindern Fehlhaltungen. Beleuchtung der Beschickungszone mindestens 500 lx gemäß EN 12464-1, um Fehlgriffe und Zwangshaltungen durch schlechte Sicht zu vermeiden.
- Betriebsanleitung (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.4): Angabe der maximalen Werkstückgewichte je Einlegeposition, Beschreibung der vorgeschriebenen Bedienung der Hebehilfe, Hinweis auf Pflicht zur Nutzung der Hebehilfe ab 10 kg. Kennzeichnung der Beschickungsstation mit Piktogramm 'Hebehilfe benutzen' (ISO 11684-3) und Angabe des maximalen Handhabungsgewichts. Unterweisung der Bedienpersonen gemäß § 12 ArbSchG und DGUV Vorschrift 1: rückengerechtes Heben und Tragen, Bedienung der Hebehilfe, Erkennen von Überlastungszeichen. Gefährdungsbeurteilung nach Lastenhandhabungsverordnung (LasthandhabV) dokumentieren und dem Betreiber übergeben. Hinweis in der Betriebsanleitung auf arbeitsmedizinische Vorsorge gemäß ArbMedVV (Angebotsvorsorge bei regelmäßigem Heben über 10 kg).

Restrisiko: Akzeptiertes Restrisiko.

Lebensphase: Wartung

Elektrisch

Elektrische Gefährdung am Roboter-Schaltschrank und Kabelführung

Lebensphasen: Wartung, Fehlersuche

SCHUTZMASSNAHMEN

- Schutzkleinspannung (SELV/PELV) für Steuer- und Signalstromkreise nach EN 61800-5-1 bzw. EN 60204-1 Abschnitt 6.4, um die Berührungsspannung inhärent zu begrenzen. Kabelführung und Schaltschranksaufbau so gestalten, dass spannungsführende Teile räumlich getrennt von Niederspannungs-Steuerkreisen angeordnet sind (Energietrennung durch Konstruktion). Schaltschrank-Schutzgrad mindestens IP54 nach EN 60529, um unbeabsichtigten Kontakt mit aktiven Teilen durch Gehäuse auszuschließen. Kabeleinführungen mit Zugentlastung und Dichtung ausführen, damit keine mechanische Beschädigung der Isolation entsteht.
- Hauptschalter mit abschließbarer Nullstellung (Lockout-fähig) nach EN 60204-1 Abschnitt 5.3 als trennende Schutzmaßnahme, damit vor Wartungs- und Fehlersuche-Tätigkeiten eine sichere Energietrennung (LOTO, Lockout/Tagout) durchgeführt werden kann. Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD Typ B, da Frequenzumrichter vorhanden) nach EN 60204-1 Abschnitt 8.2.3 zum Schutz bei indirektem Berühren. Potenzialausgleich und Schutzerdung aller leitfähigen Schaltschrankteile und Kabelpritschen nach EN 60204-1 Abschnitt 8.2. Kabelführung in geschlossenen Kabelkanälen oder Schutzschläuchen mit ausreichendem Biegeradius, um Isolationsschäden durch mechanische Beanspruchung zu verhindern. Verriegelung der Schaltschranktür: Türschalter oder Türverriegelung mit Zuhaltung (EN ISO 14119), die bei geöffneter Tür die Freigabe der Anlage sperrt oder eine Warnung auslöst. Spannungsfreiheitsprüfung durch fest installierte Spannungsanzeigesysteme (z.B. Phasenkontrollleuchten) ermöglichen, damit Bediener vor dem Eingriff den Zustand prüfen können, ohne aktive Teile zu berühren.
- Warnschilder 'Elektrische Gefahr, Hochspannung' und 'Vor Öffnen Hauptschalter ausschalten und sichern' am Schaltschrank nach 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.3 (Kennzeichnung) und Nr. 1.7.4 (Betriebsanleitung). Betriebsanleitung enthält: detaillierte LOTO-Prozedur (Freischalten, Sperren, Prüfen auf Spannungsfreiheit, Erden und Kurzschließen bei Bedarf) nach EN 60204-1 Abschnitt 5.6 und DGUV Vorschrift 3. Schaltplan und Klemmenbezeichnung im Schaltschrank hinterlegen, damit Fehlersuche ohne unnötige Exposition an spannungsführenden Teilen möglich ist. Unterweisung der Wartungs- und Instandhaltungspersonen als 'Elektrofachkraft' oder 'elektrotechnisch unterwiesene Person' gemäß DGUV Vorschrift 3 und BGV A3 vorschreiben und dokumentieren. Persönliche Schutzausrüstung (PSA): Isolierende Handschuhe (Schutzklasse nach EN 60903 entsprechend der Nennspannung), Gesichtsschutz und isolierendes Schuhwerk als Pflichtausrüstung für Arbeiten unter Spannung festlegen und in der Betriebsanleitung benennen.

Restrisiko: Akzeptiertes Restrisiko.

Stofflich

Gefährdung durch Freisetzung von Schweißrauch und Schadstoffen beim Wechsel der Filterpatrone der Absauganlage. Beim Herausziehen der beladenen Filterpatrone können Feinstaub und Metalloxide freigesetzt und eingeatmet werden.

SCHUTZMASSNAHMEN

- Einsatz eines Filterpatronen-Systems mit integrierter Staubrückhaltefunktion beim Wechsel (sog. 'Safe-Change'- oder 'Bag-In/Bag-Out'-Prinzip): Die beladene Patrone wird vor dem Herausziehen automatisch in einen staubdichten Wechselbeutel eingeschlossen, sodass keine Schadstoffe freigesetzt werden können. Konstruktive Auslegung der Absauganlage mit automatischer Abreinigung (Druckstoßabreinigung) vor dem Wechsel, um die Staubbeladung auf der Rohgasseite zu minimieren. Auswahl von Filterpatronen mit zertifizierter Staubklasse (mindestens M nach EN 60335-2-69 bzw. EN ISO 11014 für die anfallenden Metalloxide), sodass die Schadstoffmenge konstruktiv begrenzt ist. Normative Grundlage: 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.5.13 (inhärent sichere Konstruktion).
- Technische Absicherung des Wechselvorgangs durch folgende Maßnahmen: (1) Verriegelung der Anlage beim Öffnen der Filterkammer, sodass kein Unterdruck mehr anliegt und kein unkontrollierter Luftstrom Staub aufwirbelt. (2) Bereitstellung einer ortsfesten Absaugvorrichtung (Punktabsaugung) unmittelbar am Wechselort, die während des gesamten Wechselvorgangs aktiv ist und freigesetzte Partikel erfasst, bevor sie in die Atemluft gelangen. (3) Kennzeichnung der Filterkammer mit Warnsymbolen (GHS08 Gesundheitsgefahr, GHS07 Achtung) gemäß CLP-Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 für die enthaltenen Metalloxide. (4) Bereitstellung geeigneter PSA (Atemschutz FFP3 nach EN 149, Einwegschutanzug Typ 5/6 nach EN ISO 13982-1) als ergänzende Maßnahme. Normative Grundlage: 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.5.13, Nr. 1.6.1 (Instandhaltung), Nr. 1.7.1 (Informationseinrichtungen).
- Benutzerinformation und Warnhinweise umfassen: (1) Betriebsanleitung mit detaillierter, bebildeter Schritt-für-Schritt-Anweisung zum sicheren Filterpatronen-Wechsel gemäß 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.4 (Betriebsanleitung) und Nr. 1.7.4.2 (Mindestangaben). (2) Expliziter Hinweis in der Betriebsanleitung auf die Einstufung der anfallenden Stäube (Metalloxide, Feinstaub) sowie Verweis auf das Sicherheitsdatenblatt (SDB) gemäß REACH-Verordnung (EG) Nr. 1907/2006. (3) Hinweis auf die Pflicht des Betreibers zur Gefährdungsbeurteilung nach GefStoffV und zur Bereitstellung geeigneter PSA. (4) Piktogramm und Warnaufkleber 'Atemschutz tragen' direkt an der Filterkammer. (5) Schulungsanweisung: Nur unterwiesenes Personal darf den Filterwechsel durchführen. Hinweis auf arbeitsmedizinische Vorsorge (ArbMedVV, Pflichtvorsorge bei Tätigkeiten mit krebserzeugenden Stäuben, sofern zutreffend). (6) Angabe der empfohlenen Wechselintervalle, um eine Überfüllung der Patrone und damit erhöhte Freisetzung zu vermeiden.

Restrisiko: Akzeptiertes Restrisiko.

Umgebung

Gefährdung durch gespeicherte pneumatische Energie (Betriebsdruck 6 bar) in den Leitungen und Zylindern der Werkstückspanner und des Wendetischantriebs. Bei Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten ohne vorherige Druckentlastung können Schläuche, Verbindungen oder Zylinder unkontrolliert Druck abbauen und Personen verletzen oder Werkstücke freigeben.

Lebensphasen: Wartung, Fehlersuche, Reinigung

SCHUTZMASSNAHMEN

- Reduzierung des Betriebsdrucks auf das technisch minimal erforderliche Niveau (Druckminimierung durch Auslegung). Einsatz von federrückgestellten Sicherheitsventilen mit definierter Entlüftungsposition, sodass im drucklosen Zustand die Spanner automatisch in eine sichere Stellung (Werkstück gesichert oder freigegeben, je nach Sicherheitskonzept) fallen. Verwendung von Schlauchverbindungen und Kupplungen mit integrierter Druckentlastungsfunktion (Sicherheitskupplungen), die beim Trennen zunächst drucklos schalten. Konstruktive Auslegung der Zylinder und Leitungen für mindestens das 4-fache des Betriebsdrucks (Berstschutz). Leitungsführung und Befestigung so gestalten, dass ein Peitschen von Schläuchen bei Druckabfall konstruktiv ausgeschlossen ist (Schlauchbruchsicherungen, kurze Leitungslängen, feste Verlegung).
- Installation eines abschließbaren Wartungs-Absperrventils (Lockout-Ventil) mit integrierter Entlüftungsfunktion (3/2-Wege-Sicherheitsventil) gemäß EN ISO 4414:2010 (Pneumatik, Sicherheitsanforderungen) an der Druckzuführung zu Station 2: Zweistationen-Wendetisch. Das Ventil muss in der Wartungsstellung den Zuleitungsdruck absperren und gleichzeitig die nachgelagerten Leitungen und Zylinder kontrolliert und gedrosselt entlüften (kein schlagartiger Druckabbau). Verriegelung des Wartungs-Absperrventils durch ein Schloss-/Tagout-System (LOTO, Lockout-Tagout) gemäß 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.6.3, sodass ein unbeabsichtigtes Wiedereinschalten des Drucks während Wartungsarbeiten ausgeschlossen ist. Druckanzeige (Manometer) im Wartungsbereich, um den drucklosen Zustand vor Arbeitsbeginn sicher verifizieren zu können. Positionsüberwachung des Wartungsventils mit Rückmeldung an die Steuerung: Öffnen des Wartungsventils löst einen Stopp der Anlage aus und verhindert einen Wiederanlauf (Verriegelung nach EN ISO 13849-1:2015, Sicherheitsfunktion mindestens PLc, Kat. 2). Schlauchbruchsicherungen (Drosselrückschlagventile) an allen Zylinderanschlüssen, die bei plötzlichem Druckabfall den Volumenstrom begrenzen und ein unkontrolliertes Ausfahren oder Peitschen verhindern (EN ISO 4414:2010 Abschnitt 5.4).
- Deutlich sichtbares Warnschild an Station 2 gemäß ISO 11684 und 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.1 mit dem Hinweis: 'Vor Wartungs-, Instandhaltungs- und Reinigungsarbeiten Druckluftversorgung am Wartungsventil absperren, entlüften und durch Manometerkontrolle auf drucklosen Zustand prüfen. LOTO-Prozedur anwenden.' Betriebsanleitung gemäß 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.4 mit detaillierter, bebildeter Schritt-für-Schritt-Anweisung zur sicheren Druckentlastung vor Wartungsarbeiten: (1) Wartungsventil schließen und verriegeln, (2) Druckabbau abwarten und Manometer ablesen (0 bar), (3) Restdruckprüfung durch kurzes Betätigen eines Zylinders, (4) erst dann Arbeiten beginnen. Hinweis in der Betriebsanleitung auf die Gefahr gespeicherter Energie in



Zylindern auch nach Absperren der Versorgung (Restdruck in Leitungen und Zylindern).

Unterweisung des Wartungspersonals gemäß DGUV Vorschrift 1 und BetrSichV § 12 mit dokumentierter Nachweisung. Kennzeichnung aller Wartungsventile und Druckluftleitungen an Station 2 mit eindeutiger Beschriftung (Anlagenkennzeichnung, Farbkodierung nach EN ISO 4414:2010 Abschnitt 5.2).

Restrisiko: Akzeptiertes Restrisiko.

Lebensphase: Reinigung

Stofflich

Gefährdung durch Hautkontakt mit Schweißspritzern, Schweißrauchpartikeln und Metallstäuben beim Reinigen der Zelle (Schutzzaun, Wendetisch, Boden) ohne geeignete persönliche Schutzausrüstung.

SCHUTZMASSNAHMEN

- **Inhärent sichere Konstruktion (Stufe 1):** Minimierung der Schweißspritzer-Entstehung durch optimierte Schweißparameter (Stromstärke, Spannung, Drahtvorschub) sowie Einsatz spritzarmer Schweißverfahren (z.B. CMT-Prozess). Konstruktive Gestaltung des Wendetisches und des Schutzzauns mit glatten, leicht reinigbaren Oberflächen (keine Hinterschneidungen, keine offenen Profilquerschnitte), sodass Ablagerungen von Schweißrauchpartikeln und Metallstäuben minimiert werden. Einsatz einer integrierten Absauganlage mit Filterung direkt an der Schweißquelle, um die Partikelkonzentration in der Zelle grundsätzlich zu reduzieren (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.1.2 b).
- **Technische Schutzmaßnahmen (Stufe 2):** (1) Stationäre Absaug- und Filteranlage (Entstauber, Filterklasse mindestens M nach EN ISO 16890 bzw. geeignete Industriefilterklasse) mit Saugdüsen an den Hauptablagerungspunkten (Wendetisch, Bodenwanne), die auch während der Reinigung aktiv bleibt. (2) Bereitstellung und verpflichtende Vorhaltung geeigneter PSA in einem gesicherten, gekennzeichneten Schrank unmittelbar am Zelleneingang: Schutzbrille (EN ISO 16321 Reihe), Partikelfilter-Halbmaske mindestens FFP2 (EN 149), Schutzhandschuhe gegen mechanische Risiken und Partikel (EN ISO 21420, EN 388), Schutzkleidung (EN ISO 13688). (3) Reinigungsanweisung als Aushang (Sichtanweisung) am Zelleneingang, die den PSA-Einsatz als Pflichtschritt vor Betreten der Zelle zur Reinigung vorschreibt. (4) Nassreinigung oder Industriesauger (ATEX-geprüft sofern erforderlich, Filterklasse H für Metallstäube mit Zündpotenzial) anstelle von Druckluftausblasen, um Aufwirbelung von Partikeln zu verhindern (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.1.2 b, Nr. 1.6.1).
- **Benutzerinformation und Warnhinweise (Stufe 3):** (1) Betriebsanleitung der Gesamtanlage RSZ-2600 enthält ein eigenes Kapitel 'Reinigung' mit: Beschreibung der Gefährdung durch Schweißspritzer, Schweißrauch und Metallstäube, vollständiger PSA-Liste mit Mindestanforderungen, Schritt-für-Schritt-Reinigungsablauf, Verbot des Ausblasens mit Druckluft sowie Hinweis auf geltende Betreibervorschriften (TRGS 528 Schweißtechnische Arbeiten, DGUV Regel 100-500 Kap. 2.26) (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.4.2). (2) Piktogramm-Warnschild 'PSA tragen' (Schutzbrille, Atemschutz, Handschuhe) gemäß ISO 7010 (W021, M016, M004, M010) dauerhaft am Zelleneingang angebracht (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.1). (3) Unterweisung der Bediener und Reinigungspersonal vor Erstaufnahme der Tätigkeit und mindestens jährlich wiederkehrend, dokumentiert durch Unterschriftenliste.

Restrisiko: Akzeptiertes Restrisiko.

Lebensphase: Außerbetriebnahme

Mechanisch

Gefährdung durch Demontage und Entsorgung der Anlage nach Ende der Lebensdauer (15 Jahre). Restenergie in Kondensatoren der Schweißstromquelle, gespeicherte pneumatische Energie, schwere Bauteile (Roboter, Wendetisch) und kontaminierte Filterpatronen stellen Gefährdungen für das Demontagepersonal dar.

SCHUTZMASSNAHMEN

- Stufe 1: Inhärent sichere Konstruktion (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.1.2, 1.6.1, 1.6.3):
Kondensatoren der Schweißstromquelle mit integrierten Entladeautomaten (Bleed-Resistoren) ausstatten, die bei Netzabschaltung die gespeicherte Energie innerhalb einer definierten Entladezeit (<1 min) sicher abbauen. Pneumatische Leitungen mit drucklosen Trennstellen (Schnellkupplungen mit automatischer Absperrung) ausführen, sodass Leitungsabschnitte drucklos trennbar sind. Schwere Bauteile (Roboter, Wendetisch) mit fest integrierten Anschlagpunkten (Ringschrauben, Kranösen) nach EN 13155 ausführen, die für die Demontage-Lastfälle ausgelegt und dauerhaft beschriftet sind. Filterpatronen in geschlossenen, werkzeuglos wechselbaren Kassetten kapseln, um Kontaktvermeidung bei der Demontage sicherzustellen.
- Stufe 2: Technische Schutzmaßnahmen (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.6.3, 1.7.1):
Hauptenergientrenneinrichtung (Hauptschalter, Druckluft-Absperrventil mit Entlüftungsfunktion) mit Schlossvorrichtung (Lockout/Tagout-fähig) nach EN ISO 14118 ausführen, sodass alle Energiequellen vor Demontagebeginn sicher getrennt und verriegelt werden können. Spannungsfreiheit der Kondensatoren durch Messanschlüsse (Prüfbuchsen) an der Schweißstromquelle nachweisbar machen. Restdruckanzeige (Manometer) an pneumatischen Hauptleitungen vorsehen. Für Roboter und Wendetisch Absturzsicherungen (mechanische Abstützungen, Sicherungsbolzen) bereitstellen und in der Anlage mitführen, die ein unbeabsichtigtes Absenken während der Demontage verhindern. Kontaminierte Filterpatronen in einem geschlossenen Entsorgungsbehälter (UN-zertifiziert) aufnehmen.
- Stufe 3: Benutzerinformation und Warnhinweise (2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.1, 1.7.2, 1.7.4):
Betriebsanleitung enthält ein eigenes Kapitel 'Außerbetriebnahme und Entsorgung' mit: (a) Schritt-für-Schritt-Demontageplan inkl. vorgeschriebener Energientrennsequenz (LOTO-Prozedur nach EN ISO 14118), (b) Entladezeit der Kondensatoren und Prüfanweisung zur Spannungsmessung vor Öffnen der Schweißstromquelle, (c) Druckentlastungsreihenfolge für Pneumatikleitungen, (d) Angabe der Einzelgewichte und Schwerpunktlagen von Roboter und Wendetisch sowie Anschlagpunkte und empfohlene Anschlagmittel, (e) Einstufung der Filterpatronen als Sonderabfall mit Entsorgungshinweis gemäß Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) und TRGS 201. Warnkennzeichnung direkt an der Schweißstromquelle: 'ACHTUNG: Kondensatoren! Vor Öffnen Entladezeit abwarten und Spannungsfreiheit messen.'
Warnkennzeichnung an Pneumatik-Hauptverteiler: 'ACHTUNG: Druckluft! Vor Demontage Druck vollständig ablassen.'
Warnkennzeichnung an Filtergehäuse: 'ACHTUNG: Kontaminierter Filter! PSA tragen, Sonderabfall.'

Restrisiko: Akzeptiertes Restrisiko.

3 Technische Daten

Teile dieses Kapitels wurden automatisch übernommen aus: Projekt-Stammdaten, Konformitätserklärung, Risikobeurteilung, Maschinenprofil.

- Maschine/Anlage: Roboter-Schweißzelle RSZ-2600 (Gesamtheit von Maschinen)
- Typ/Modell: RSZ-2600
- Seriennummer: RSZ2600-2026-0001
- Baujahr: 2026
- Maschinentyp: Gesamtheit von Maschinen im Sinne von Art. 2 Buchst. a MRL
- Betriebsarten: Automatikbetrieb, Einrichten / Tippen, Wartungsbetrieb, Transport und Aufstellung, Reinigung, Störungsbeseitigung, Außerbetriebnahme / Demontage
- Typenschild: an der rechten Seitenwand des Schaltschranks; Angaben: Hersteller, Typ, Seriennummer, Baujahr, elektrische Anschlusswerte, Gewicht, CE-Kennzeichnung

3.1 Ausstattung

Abmessungen und Gewichte: Grundfläche der Zelle rund 6,5 x 4,0 m; Höhe 2,6 m; Gesamtgewicht rund 4.600 kg. Schwerste Einzelbaugruppen: Zweistationen-Wendetisch rund 1.900 kg, Roboter mit Sockel rund 850 kg, Schaltschrank rund 350 kg, Schweißstromquelle mit Drahtvorschub rund 120 kg, Schweißrauchabsaugung rund 250 kg, Schutzzaun-Segmente gesamt rund 400 kg.

Werkstückdaten: maximales Werkstückgewicht 40 kg; maximaler Bauraum 800 x 600 x 400 mm;

Werkstoffe: unlegierter und niedriglegierter Stahl; Taktzeit rund 90 Sekunden.

Elektrische Ausrüstung: Nennspannung 400 V AC, 3/N/PE, 50 Hz; Netzform TN-S; Anschlussleistung 32 kVA; bauseitige Absicherung 63 A gG; Steuerspannung 24 V DC; Fehlerstrom-Schutzeinrichtung Typ B; Ausführung der elektrischen Ausrüstung nach EN 60204-1.

Schweißtechnik: MAG-Schweißstromquelle 400 A bei 60 Prozent Einschaltdauer; maximale Leerlaufspannung 80 V; Drahtvorschub für Drahtdurchmesser 1,0 bis 1,2 mm; Brennerreinigungsstation mit Sprüheinheit und Drahtabschneider; Schutzgas Mischgas M21 nach EN ISO 14175 (bauseitig), Durchfluss rund 15 l/min.

Roboter: Knickarm-Industrieroboter mit 6 Achsen; Reichweite 2600 mm; Traglast 12 kg; Wiederholgenauigkeit +/- 0,05 mm; sicher reduzierte Geschwindigkeit im Einrichtbetrieb maximal 250 mm/s am TCP.

Wendetisch: Zweistationen-Wendetisch mit vertikaler Drehachse, Wendung 180 Grad; Zuladung 2 x 40 kg zuzüglich Spannvorrichtungen; Wendezeit rund 3 Sekunden; pneumatische Werkstückspanner mit Druckwächter und Druckhalteventil.

Pneumatik: Betriebsdruck 6 bar; Druckluftqualität ölfrei nach ISO 8573-1; Anschluss G 1/2; mittlerer Luftverbrauch rund 90 NI/min.



Schweißrauchabsaugung: Absaugleistung 1800 m³/h; Filterpatrone geeignet für Schweißrauch der Klasse W2 (un- und niedriglegierte Stähle); Umluftbetrieb, optional Fortluftanschluss; Überwachung der Absaugleistung mit Störmeldung.

Geräuschemission (Angabe nach EN ISO 4871, Messung nach EN ISO 3746): A-bewerteter Emissionsschalldruckpegel am Bedienplatz L_{pA} = 84 dB(A), Messunsicherheit K = 2,5 dB; A-bewerteter Schallleistungspegel L_{WA} = 96 dB(A). Bei den angegebenen Werten handelt es sich um Emissionswerte, die nicht zwangsläufig den Immissionswerten am Arbeitsplatz entsprechen. Der Betreiber hat ab einem Tages-Lärmexpositionspegel von 80 dB(A) Gehörschutz bereitzustellen; ab 85 dB(A) besteht Trage- und Kennzeichnungspflicht.

Umgebungsbedingungen im Betrieb: Umgebungstemperatur +5 bis +40 Grad C; relative Luftfeuchte bis 70 Prozent, nicht kondensierend; Aufstellhöhe bis 1000 m über NN; nur trockene Innenräume; kein explosionsgefährdeter Bereich; Luftgeschwindigkeit im Bereich der Beschickungsöffnung unter 0,5 m/s, damit die Schutzgasabdeckung nicht gestört wird.

4 Anlagenbeschreibung

Teile dieses Kapitels wurden automatisch übernommen aus: Projekt-Stammdaten.

Die RSZ-2600 ist eine roboterassistierte MAG-Schweißzelle für das Lichtbogenschweißen von Stahlbaugruppen bis 40 kg Werkstückgewicht in der Serienfertigung. Sie ist als Sondermaschine in Einzelanfertigung ausgeführt und wird als Gesamtheit von Maschinen mit gemeinsamer Steuerung als eine Einheit in Verkehr gebracht. Das Grundprinzip: Während der Bediener an der vorderen Station des Zweistationen-Wendetisches Werkstücke einlegt und entnimmt, schweißt der Roboter hinter der trennenden Mittelwand an der zweiten Station. Durch die 180-Grad-Wendung des Tisches wechseln die Stationen im Takt von rund 90 Sekunden. Dieses Kapitel beschreibt den Aufbau der Anlage mit ihren Hauptbaugruppen, die Bedienerarbeitsplätze und den Funktionsablauf.

4.1 Aufbau und Hauptbaugruppen

Die Anlage besteht aus folgenden Hauptbaugruppen:

- (1) Knickarm-Industrieroboter: 6 Achsen, Reichweite 2600 mm, Traglast 12 kg, montiert auf einem Stahlsockel; geliefert vom Roboterhersteller als unvollständige Maschine mit Einbauerklärung nach Anhang II 1.B; mit Robotersteuerung und Teach-Pendant.
- (2) Zweistationen-Wendetisch: vertikale Drehachse mit 180-Grad-Wendung, trennende Mittelwand mit Schweißerschutzvorhang, je Station pneumatische Werkstückspanner mit Druckwächter; Zuladung 2 x 40 kg zuzüglich Spannvorrichtungen.
- (3) Schweißausrüstung: MAG-Schweißstromquelle 400 A bei 60 Prozent Einschaltdauer (CE-gekennzeichnete Teilmaschine), Drahtvorschub am Roboterarm, Schlauchpaket, Schweißbrenner mit Kollisionsschutzkupplung, Brennerreinigungsstation mit Düsenreinigung, Sprüheinheit und Drahtabschneider.
- (4) Schweißrauchabsaugung: Absauggerät 1800 m³/h mit Filterpatrone und Erfassungshaube über dem Schweißbereich; Überwachung der Absaugleistung.
- (5) Schutzhäutung: umlaufender Schutzzaun 2200 mm mit schweißlichtundurchlässiger Bespannung und Sockelblende; Wartungstür an der Rückseite mit Verriegelung und Zuhaltung; Lichtvorhang Typ 4 an der Beschickungsöffnung.
- (6) Steuerung: Schaltschrank mit Hauptschalter, Sicherheits-SPS und Anlagensteuerung; Signalaustausch aller Teilmaschinen über die gemeinsame Steuerung.
- (7) Bedienpult: HMI-Panel mit Programmanzeige, Taster für Zyklusstart und Quittierung, Betriebsartenwahlschalter, Not-Halt; Signalsäule (grün/gelb/rot) am Zellendach.
- (8) Medienversorgung: Wartungseinheit für Druckluft mit abspernbarem Ventil und Restdruckanzeige; Anschluss für die bauseitige Schutzgasversorgung.



4.2 Bedienerarbeitsplätze

Beschickungsplatz (Vorderseite): Arbeitsplatz des Bedieners zum Einlegen und Entnehmen der Werkstücke an der jeweils vorderen Station des Wendetisches. Der Zugriff erfolgt durch die mit dem Lichtvorhang überwachte Beschickungsöffnung. Der Bediener steht außerhalb des Roboterarbeitsraums; die trennende Mittelwand schirmt Lichtbogen und Schweißspritzer ab.

Bedienpult (neben der Beschickungsöffnung): HMI-Panel zur Programmwahl und Statusanzeige, Taster für Zyklusstart und Quittierung, abschließbarer Betriebsartenwahlschalter, Not-Halt-Befehlsgerät. Vom Bedienpult besteht Sichtverbindung zur Beschickungsöffnung.

Teach-Pendant (Einrichter): Handbediengerät des Roboters mit Not-Halt und dreistufiger Zustimmungseinrichtung für das Teachen und Verfahren im Einrichtbetrieb. Die Verwendung ist dem geschulten Einrichter vorbehalten.

Wartungszugang (Rückseite): Wartungstür mit Verriegelung und Zuhaltung; Zugang nur für Instandhaltungs- und Einrichtarbeiten bei stillgesetzter Anlage beziehungsweise im Einrichtbetrieb. Im Automatikbetrieb ist kein Arbeitsplatz innerhalb der Zelle vorgesehen.

4.3 Funktionsbeschreibung

Ablauf eines Automatikzyklus:

1. Der Bediener legt das Werkstück an der vorderen Station in die Spannvorrichtung ein. Die pneumatischen Spanner schließen; der Druckwächter bestätigt den Spanndruck und die korrekte Werkstücklage.
2. Der Bediener verlässt das Schuttfeld des Lichtvorhangs und betätigt den Taster Zyklusstart am Bedienpult. Die Steuerung prüft, dass das Schuttfeld frei ist und alle Sicherheitsfunktionen quittiert sind.
3. Nach akustischer Anlaufwarnung wendet der Wendetisch um 180 Grad: Die frisch bestückte Station schwenkt in den Schweißbereich, die Station mit dem fertig geschweißten Werkstück schwenkt zum Bediener.
4. Der Roboter arbeitet das freigegebene Schweißprogramm an der hinteren Station ab. Die Schweißrauchabsaugung läuft prozessgesteuert; die Brennerreinigung erfolgt programmgesteuert nach festgelegten Intervallen.
5. Parallel entnimmt der Bediener an der vorderen Station das fertige Werkstück und legt das nächste Rohteil ein. Die Taktzeit beträgt rund 90 Sekunden.
6. Nach Programmende und erneutem Zyklusstart wiederholt sich der Ablauf. Bei Störungen (zum Beispiel Lichtbogenabriss, Drahtende, Absaugung gestört) stoppt die Anlage gesteuert; die Störung wird am HMI angezeigt und die Signalsäule wechselt auf Rot.

Im Einrichtbetrieb (Schlüsselschalter) sind Wendetisch und Roboter nur mit Zustimmungseinrichtung und sicher reduzierter Geschwindigkeit verfahrbar; der Automatikzyklus ist gesperrt.

5 Anlieferung, Transport, Auspacken

Teile dieses Kapitels wurden automatisch übernommen aus: KI-Vorschlag.

Dieses Kapitel beschreibt die sichere Anlieferung, den innerbetrieblichen Transport und das Auspacken der Roboter-Schweißzelle RSZ-2600. Die Anlage wird in folgenden vormontierten Transporteinheiten angeliefert: (1) Roboter mit Stahlsockel in arretierter Transportstellung auf Transportrahmen mit Staplertaschen; (2) Zweistationen-Wendetisch mit gesicherter Drehachse auf Transportrahmen; (3) Schaltschrank mit Bedienpult; (4) MAG-Schweißstromquelle mit Drahtvorschub und Brennerreinigungsstation auf Palette; (5) Schweißrauchabsaugung auf Palette; (6) Schutzzaun-Segmente, Wartungstür und Lichtvorhang in Gitterboxen. Alle Einheiten sind folienverpackt und gegen Verrutschen gesichert; Kleinteile und Dokumentation befinden sich in einer gekennzeichneten Beipackkiste im Schaltschrank-Transportgestell.

5.1 Sicherheitshinweise zu Transport und Handhabung

Transport und Handhabung der Maschine und ihrer Baugruppen dürfen ausschließlich durch geschultes und mit den Lasten vertrautes Fachpersonal erfolgen. Tragen Sie bei allen Transport- und Auspackarbeiten geeignete persönliche Schutzausrüstung, insbesondere Sicherheitsschuhe und geeignete Schutzhandschuhe.

WARNUNG

Beim Anheben und Verfahren schwerer Baugruppen besteht Gefahr durch herabfallende, kippende oder pendelnde Lasten. Halten Sie sich niemals unter schwebenden Lasten auf und sichern Sie den Transportbereich gegen unbefugtes Betreten.

Prüfen Sie die Maschine unmittelbar nach der Anlieferung auf äußerlich erkennbare Transportschäden und auf Vollständigkeit. Dokumentieren Sie festgestellte Schäden und melden Sie diese vor der Aufstellung. Der genaue Lieferumfang ist den Versandunterlagen zu entnehmen.

5.2 Gewichte, Schwerpunkte und Transportmittel

Für die Auswahl von Transportmittel, Hebezeug und Anschlagmitteln sind die Massen und Schwerpunktlagen der einzelnen Baugruppen maßgebend:

- Gesamtmasse der Anlage: rund 4.600 kg (verteilt auf mehrere Transporteinheiten)
- Zweistationen-Wendetisch: rund 1.900 kg, Schwerpunkt mittig über der Drehachse, Schwerpunktlage am Rahmen gekennzeichnet
- Roboter mit Stahlsockel: rund 850 kg, kopflastig; Schwerpunktkennzeichnung am Transportrahmen beachten
- Schaltschrank mit Bedienpult: rund 350 kg
- Schweißrauchabsaugung: rund 250 kg
- MAG-Schweißstromquelle mit Drahtvorschub: rund 120 kg
- Schutzzaun-Segmente gesamt: rund 400 kg

Zulässige Transportmittel: Gabelstapler mit ausreichender Resttragfähigkeit (mindestens 2,5 t) und ausreichender Gabellänge für Wendetisch und Roboter; Hallenkran mit geprüften Anschlagmitteln (Tragfähigkeit mindestens 2 t) für das Einbringen bei beengten Platzverhältnissen; Hubwagen nur für Paletteneinheiten bis 300 kg. Hebezeug, Flurförderzeuge und Anschlagmittel müssen für die tatsächlich zu bewegendende Last bemessen und geprüft sein. Verwenden Sie ausschließlich einwandfreie und zugelassene Anschlagmittel und beachten Sie deren Tragfähigkeit.

5.3 Anschlagpunkte und sicheres Heben

Verwenden Sie zum Anheben ausschließlich die dafür vorgesehenen Anschlag- und Lastaufnahmepunkte:

- Roboter mit Sockel: vier gekennzeichnete Kranösen am Stahlsockel; niemals am Roboterarm, an der Verkabelung oder am Schlauchpaket anschlagen. Alternativ Transport mit Stapler über die Staplertaschen des Transportrahmens.
- Wendetisch: Staplertaschen im Grundrahmen oder vier Kranösen an den Rahmenecken; die Mittelwand ist nicht tragfähig und darf nicht als Anschlagpunkt genutzt werden.
- Schaltschrank: Kranösen an der Schrankoberseite (vor der Inbetriebnahme entfernen und durch Verschlussstopfen ersetzen).
- Paletteneinheiten (Stromquelle, Absaugung): Transport mit Stapler oder Hubwagen auf der Palette.

Schlagen Sie die Last so an, dass ein Kippen, Verrutschen oder Pendeln ausgeschlossen ist (Neigungswinkel der Anschlagmittel maximal 60 Grad, Kantenschutz verwenden). Heben Sie langsam und ruckfrei an, führen Sie die Last kontrolliert und setzen Sie sie ohne Stoß ab. Sichern Sie Ladung beim innerbetrieblichen Transport nach EN 12195-1.

5.4 Transportsicherungen

Alle Transportsicherungen sind rot gekennzeichnet. Vor der Inbetriebnahme sind zu entfernen: (1) Arretierungsbolzen der Wendetisch-Drehachse am Grundrahmen; (2) Transportverriegelung der Roboterachsen (der Roboter befindet sich in der gekennzeichneten Transportstellung; das Lösen erfolgt nach Herstellervorgabe erst nach der Verankerung des Sockels); (3) Spanngurte und Kantenschutz der Transportrahmen; (4) Verriegelungsklammern an Wartungstür und Zaunelementen. Reihenfolge: Transportsicherungen erst nach dem Ausrichten und Verankern der jeweiligen Baugruppe am endgültigen Aufstellort entfernen (siehe Kapitel 8). Bewahren Sie alle Transportsicherungen für einen späteren Transport oder eine Außerbetriebnahme auf; der vorgesehene Aufbewahrungsort ist der Sockelraum des Schaltschranks.

5.5 Auspacken

Packen Sie die Maschine und die Baugruppen an einem geeigneten, tragfähigen und ebenen Untergrund aus. Gehen Sie beim Öffnen der Verpackung so vor, dass weder die Maschine noch das Personal gefährdet werden, und vermeiden Sie Beschädigungen an Anbauteilen, Leitungen und



Schutzeinrichtungen. Entsorgen Sie das Verpackungsmaterial fachgerecht und nach den örtlichen Vorschriften. Kontrollieren Sie nach dem Auspacken erneut die Vollständigkeit anhand der Versandunterlagen.

5.6 Lagerung bis zur Aufstellung

Wird die Maschine vor der Aufstellung zwischengelagert, sind die zulässigen Lagerbedingungen nach Kapitel 6 einzuhalten: trockene, geschlossene Räume, -10 bis +50 Grad C, relative Luftfeuchte maximal 60 Prozent, nicht kondensierend. Verpackung und Schutzabdeckungen sind bis zur Aufstellung an der Maschine zu belassen. Bei einer Lagerdauer über 12 Monaten gelten die zusätzlichen Prüfungen nach Kapitel 6.2.

6 Lagerbedingungen

Teile dieses Kapitels wurden automatisch übernommen aus: KI-Vorschlag.

Dieses Kapitel beschreibt die Bedingungen für die Lagerung der Roboter-Schweißzelle RSZ-2600 sowie ihrer Komponenten und Baugruppen zwischen Anlieferung, Aufstellung und einer möglichen späteren Zwischenlagerung. Ziel ist es, Schäden durch unzulässige Umgebungsbedingungen, Korrosion und zu lange Standzeiten zu vermeiden.

Zulässige Lagerbedingungen: Lagertemperatur -10 bis +50 Grad C; relative Luftfeuchte maximal 60 Prozent, nicht kondensierend. Die Maschine ist trocken, sauber und witterungsgeschützt in geschlossenen Räumen zu lagern. Betauung, direkte Nässe, starke Temperaturschwankungen und aggressive Atmosphären (zum Beispiel salz- oder chlorhaltige Luft) sind zu vermeiden.

Die Maschine enthält elektrische Ausrüstung, pneumatische Komponenten sowie eine MAG-Schweißstromquelle mit Drahtvorschub und eine Schweißrauchabsaugung mit Filterpatrone. Diese Baugruppen sind besonders empfindlich gegenüber Feuchtigkeit und Schmutz. Robotersteuerung und Schaltschrank sind gegen Staub abzudecken; die Türen sind geschlossen zu halten. Bei der Zwischenlagerung sind die vom Hersteller vorgesehenen Schutzabdeckungen und Verpackungen zu belassen oder wiederherzustellen. Schweißdraht ist trocken und in der Originalverpackung zu lagern.

6.1 Korrosionsschutz

Blanke und unbeschichtete Metallflächen, insbesondere die Aufspannflächen des Wendetisches, Führungen und Spannvorrichtungen, sind vor der Einlagerung mit einem säurefreien Korrosionsschutzöl oder Konservierungswachs zu behandeln. Der Korrosionsschutz ist bei einer Lagerdauer von mehr als 6 Monaten zu erneuern. Ein bei Anlieferung vorhandener Korrosionsschutz darf nicht ohne Notwendigkeit entfernt werden; vor der Inbetriebnahme ist er von den Funktionsflächen rückstandsfrei zu entfernen. Bei längerer Lagerung ist der Zustand des Korrosionsschutzes vierteljährlich zu prüfen und bei Bedarf zu erneuern. Feuchte oder salzhaltige Umgebungsluft ist zu vermeiden.

6.2 Maximale Lagerdauer und wiederkehrende Prüfungen

Die maximal zulässige Lagerdauer ohne besondere Maßnahmen beträgt 12 Monate. Während der Lagerung sind vierteljährliche Kontrollen durchzuführen: Zustand des Korrosionsschutzes, Trockenheit und Sauberkeit des Lagerorts, Unversehrtheit von Verpackung und Schutzabdeckungen.

Wird die Lagerdauer von 12 Monaten überschritten, sind vor der Inbetriebnahme durchzuführen: Sichtprüfung aller Baugruppen auf Korrosion und Beschädigung; Prüfung beziehungsweise Austausch der Pufferbatterien der Robotersteuerung (Verlust der Achsreferenzen möglich); Isolationsmessung der elektrischen Ausrüstung; Prüfung der Pneumatikkomponenten auf verhärtete Dichtungen; Funktionsprüfung aller Sicherheitseinrichtungen gemäß Kapitel 8 (Erstinbetriebnahme). Im Zweifel ist der Hersteller hinzuzuziehen.

7 Aufstellbedingungen

Teile dieses Kapitels wurden automatisch übernommen aus: Projekt-Stammdaten, Maschinenprofil.

Vorgesehener Aufstellort: Werk Musterstadt, Halle 2. Die Maschine ist für die stationäre Aufstellung in einer trockenen Produktionshalle bestimmt. Dieses Kapitel beschreibt die Anforderungen an Platzbedarf, Fundament, Umgebungsbedingungen und Versorgungsanschlüsse, die der Betreiber vor der Anlieferung bauseitig sicherzustellen hat.

7.1 Platzbedarf und Maße

Grundfläche der Zelle: rund 6,5 x 4,0 m; Höhe 2,6 m. Um die Zelle ist umlaufend ein Freiraum von mindestens 1,0 m für Bedienung, Wartung und Fluchtwege vorzusehen; vor der Wartungstür an der Rückseite mindestens 1,2 m (Schwenkbereich der Tür zuzüglich Arbeitsraum). Vor der Beschickungsöffnung ist eine Bedien- und Bereitstellfläche von mindestens 2,0 m Tiefe für Werkstückbereitstellung und Materialfluss freizuhalten. Erforderliche lichte Hallenhöhe: mindestens 3,2 m (Einbringung und Wartungsarbeiten am Zellendach). Die Einbringwege sind vor der Anlieferung zu prüfen: größte Transporteinheit (Wendetisch) rund 2,4 x 1,8 x 2,0 m, 1.900 kg. Verkehrswege und Gefahrenbereiche sind nach ASR A1.8 zu kennzeichnen.

7.2 Fundament / Tragfähigkeit

Die Maschine wird auf einem ebenen Industriebetonboden aufgestellt; ein gesondertes Fundament ist nicht erforderlich. Anforderungen: Betongüte mindestens C25/30, Bodenplattendicke mindestens 200 mm, Ebenheit +/- 5 mm auf die Aufstellfläche bezogen, Flächenlast mindestens 10 kN/m². Roboter-Sockel und Wendetisch-Grundrahmen werden mit Schwerlastankern (M16, Verankerungstiefe nach Zulassung des Dübelherstellers) im Boden verankert; die dynamischen Kräfte des Roboters (Kippmoment am Sockel bis rund 8 kNm) sind durch die Verankerung aufzunehmen. Der Boden muss frei von Rissen im Verankerungsbereich sein; Mindestrandabstände der Anker nach Dübelzulassung einhalten. Bodenbeläge oder Beschichtungen dürfen die Kraftübertragung nicht beeinträchtigen. Bei abweichenden Bodenverhältnissen ist die Tragfähigkeit bauseitig durch eine fachkundige Person zu bewerten.

7.3 Umgebungsbedingungen

Am Aufstellort sind folgende Umgebungsbedingungen einzuhalten: Umgebungstemperatur +5 bis +40 Grad C; relative Luftfeuchte bis 70 Prozent, nicht kondensierend; Aufstellhöhe bis 1000 m über NN; trockener Innenraum, kein explosionsgefährdeter Bereich, keine aggressive oder stark staubhaltige Atmosphäre. Zugluft im Bereich der Beschickungsöffnung ist zu vermeiden (Luftgeschwindigkeit unter 0,5 m/s), da sie die Schutzgasabdeckung des Schweißprozesses stört und die Wirksamkeit der Rauchgaserfassung beeinträchtigt; Hallentore und Lüftungsauslässe entsprechend anordnen. Der Aufstellbereich muss erschütterungsarm sein (keine unmittelbare

Nachbarschaft zu Pressen oder Stanzen mit starken Bodenschwingungen), damit die Wiederholgenauigkeit des Roboters und die Funktion der Sicherheitssensorik nicht beeinträchtigt werden.

7.4 Versorgungsanschlüsse

Für den Betrieb der Maschine sind folgende Versorgungsanschlüsse bauseitig bereitzustellen:

- Elektrisch: 400 V AC, 3/N/PE, 50 Hz, Netzform TN-S; Anschlussleistung 32 kVA; bauseitige Absicherung 63 A gG; Zuleitung 5 x 16 mm² Cu (Richtwert, Verlegeart beachten) bis zum Hauptschalter des Schaltschranks; Rechtsdrehfeld erforderlich; Fundamenterder beziehungsweise Potenzialausgleich nach VDE-Bestimmungen.
- Druckluft: 6 bar (+/- 0,5 bar), ölfrei nach ISO 8573-1; Anschluss G 1/2 an der Wartungseinheit; Minstdurchfluss 200 NI/min; bauseitiges Absperrventil in Maschinennähe empfohlen.
- Schutzgas: Mischgas M21 nach EN ISO 14175 (82 Prozent Argon, 18 Prozent CO₂) aus zentraler Ringleitung oder Flaschenbatterie; Fließdruck 2 bis 4 bar, Durchfluss rund 15 l/min; Flaschen gegen Umstürzen sichern.
- Absaugung: Die Schweißrauchabsaugung arbeitet im Umluftbetrieb; optional kann bauseitig eine Fortluftführung (Anschluss DN 250) vorgesehen werden. Für ausreichende Hallenlüftung nach TRGS 528 sorgt der Betreiber.
- Beleuchtung: Am Bedienplatz ist eine Beleuchtungsstärke von mindestens 300 Lux sicherzustellen.

8 Montage und Installation, Erstinbetriebnahme

Teile dieses Kapitels wurden automatisch übernommen aus: KI-Vorschlag.

Montage, Installation und Erstinbetriebnahme werden vom Hersteller beziehungsweise von durch ihn beauftragtem Fachpersonal durchgeführt. Dieses Kapitel beschreibt die Anforderungen und Abläufe; es dient dem Betreiber zugleich als Referenz für eine spätere Ummontage innerhalb des Werks, die nur in Abstimmung mit dem Hersteller erfolgen darf.

8.1 Sicherheit

Montage, Installation und Erstinbetriebnahme der Roboter-Schweißzelle RSZ-2600 dürfen ausschließlich durch geschultes Fachpersonal mit Qualifikation in Mechanik, Elektrotechnik, Pneumatik und Schweißtechnik durchgeführt werden. Der Roboter wird vom Roboterhersteller als unvollständige Maschine mit Einbauerklärung nach Anhang II 1.B und Montageanleitung nach Anhang VI geliefert; die zugehörige Montageanleitung des Roboterherstellers ist bei allen Arbeiten an dieser Komponente ergänzend zu beachten.

Vor Beginn aller mechanischen und elektrischen Arbeiten ist die Maschine sicher von der Energieversorgung zu trennen: Hauptschalter ausschalten und mit Vorhängeschloss in Nullstellung sichern (LOTO), Druckluft am Absperrventil der Wartungseinheit absperren und entlüften, Drucklosigkeit an der Restdruckanzeige prüfen, Spannungsfreiheit durch eine Elektrofachkraft feststellen. Das Schlüssel- und Schlossregime des Betreibers ist anzuwenden.

WARNUNG

Vor dem erstmaligen Herstellen der Energieversorgung dürfen sich keine Personen im Roboterarbeitsraum oder im Schwenkbereich des Wendetisches aufhalten. Während der Montage können unerwartete Bewegungen von Roboterachsen und Wendetisch zu schweren Verletzungen führen.

Neben der elektrischen Gefährdung sind die Pneumatik als druckbeaufschlagtes System, die Gefahrstoffe des MAG-Schweißprozesses sowie die Geräuschbelastung zu berücksichtigen. Vor Arbeiten am Spannkreis und an den pneumatischen Werkstückspannern ist der Pneumatikkreis drucklos zu schalten. Bei den Arbeiten sind mindestens zu tragen: Sicherheitsschuhe S1P, Schutzhandschuhe, bei Arbeiten über Kopf Schutzhelm; bei Schweißproben zusätzlich Schweißerschutzrüstung nach Kapitel 2.6.

Die für die Montage erforderlichen technischen Unterlagen, insbesondere Gesamtplan und Übersichtszeichnung, elektrische und pneumatische Schaltpläne sowie die Sicherheitsschaltpläne, sind vor Beginn der Arbeiten bereitzuhalten.

8.2 Montage und Installation

Die Roboter-Schweißzelle RSZ-2600 wird als Gesamtheit von Maschinen aufgestellt. Für die Aufstellung ist eine Grundfläche von rund 6,5 x 4,0 m bei einer Höhe von 2,6 m vorzusehen; die Anforderungen an Fundament, Tragfähigkeit und Umgebung nach Kapitel 7 müssen erfüllt sein.

Montagereihenfolge:

1. Wendetisch auf der im Aufstellplan gekennzeichneten Position ausrichten (Ebenheit mit Maschinenwasserwaage prüfen) und mit vier Schwerlastankern M16 verankern; Anzugsmoment nach Dübelzulassung (Richtwert 110 Nm).
2. Robotersockel positionieren, zum Wendetisch nach Aufstellplan vermessen und mit vier Schwerlastankern M16 verankern; erst danach die Transportarretierung der Roboterachsen lösen.
3. Schaltschrank mit Bedienpult sowie Schweißstromquelle und Absauggerät aufstellen; Brennerreinigungsstation am Sockel montieren.
4. Schutzzaun-Segmente, Sockelblenden, Wartungstür mit Verriegelung/Zuhaltung und Lichtvorhang nach Aufstellplan montieren; Sicherheitsabstände nach EN ISO 13857 und EN ISO 13855 gemäß Zeichnung einhalten.
5. Elektrische Installation durch eine Elektrofachkraft nach den Schaltplänen: Zuleitung an den Hauptschalter, Potenzialausgleich aller Baugruppen, Verkabelung der Teilmaschinen und der Sicherheitskreise; Rechtsdrehfeld prüfen.
6. Pneumatik nach dem Pneumatikplan anschließen (6 bar, Anschluss G 1/2); Dichtheitsprüfung durchführen.
7. Schutzgasversorgung anschließen und Leitungen spülen; Absaugung anschließen und Erfassungshaube ausrichten.

Nach dem Herstellen aller Verbindungen sind zu kontrollieren: fester Sitz aller Befestigungen und Verankerungen, vollständige Umzäunung, Funktion der verriegelten Wartungstür mit Zuhaltung, korrekte Ausrichtung des Lichtvorhangs sowie die vollständige Entfernung aller Transportsicherungen (Kapitel 5.4).

8.3 Erstinbetriebnahme

Die Erstinbetriebnahme darf erst erfolgen, nachdem Montage und Installation vollständig abgeschlossen sind und alle Schutzeinrichtungen ordnungsgemäß montiert und angeschlossen wurden. Vor dem erstmaligen Herstellen der Energieversorgung ist sicherzustellen, dass sich keine Personen im Roboterarbeitsraum, im Schwenkbereich des Wendetisches oder innerhalb des Schutzzauns befinden.

Im Rahmen der Erstinbetriebnahme sind die sicherheitsrelevanten Prüfungen nach dem Prüfplan des Herstellers durchzuführen und im Abnahmeprotokoll zu dokumentieren:

- Schutzleiterprüfung und Isolationsmessung nach EN 60204-1 (Prüfprotokoll Elektrik)
- Wirksamkeit der Not-Halt-Schaltung an allen Befehlsgeräten (Bedienpult, Wartungstür, Teach-Pendant)

- Funktion des Lichtvorhangs einschließlich Nachlaufmessung und Verifikation des Sicherheitsabstands nach EN ISO 13855
- Funktion der verriegelten Wartungstür mit Zuhaltung und der Wiederanlaufsperr
- Funktion der Drucküberwachung am Spannkreis und des Druckhalteventils in der Spannleitung
- Funktion von Zustimmungseinrichtung, Betriebsartenwahlschalter und sicher reduzierter Geschwindigkeit (Messung am TCP, maximal 250 mm/s)
- Wirksamkeit der Schweißrauchabsaugung (Volumenstrommessung)
- Validierung aller Sicherheitsfunktionen nach EN ISO 13849-2 (Dokumentation im Sicherheitsnachweis)

Anschließend erfolgen Probeläufe: zunächst Trockenzyklus ohne Werkstück im Einrichtbetrieb, dann Automatikzyklen mit Werkstück und Bewertung der Schweißergebnisse. Die verwendeten Schweißprogramme müssen freigegeben sein; die bestimmungsgemäße Verwendung nach Kapitel 2.1 ist einzuhalten.

Die Ergebnisse der Erstinbetriebnahme sind in den Prüf- und Abnahmeprotokollen zu dokumentieren. Erst nach erfolgreich abgeschlossener Prüfung aller Sicherheitsfunktionen, dokumentierter Abnahme und Unterweisung des Bedienpersonals wird die Maschine an den Betreiber übergeben und der Produktionsbetrieb aufgenommen.

9 Bedienung

Teile dieses Kapitels wurden automatisch übernommen aus: Risikobeurteilung.

Dieses Kapitel richtet sich an den Bediener und den Einrichter der Roboter-Schweißzelle RSZ-2600. Voraussetzung für alle Tätigkeiten ist die dokumentierte Unterweisung sowie die Kenntnis von Kapitel 2 (Sicherheit). Der Bediener arbeitet ausschließlich am Beschickungsplatz und am Bedienpult; Tätigkeiten im Inneren der Zelle sind dem Einrichter und dem Instandhaltungspersonal vorbehalten. Bei allen Arbeiten ist die vorgeschriebene persönliche Schutzausrüstung nach Kapitel 2.6 zu tragen.

9.1 Sicherheit

Für den Betrieb gelten folgende Sicherheitsregeln:

- Die Maschine darf nur mit vollständig montierten und funktionsfähigen Schutzeinrichtungen betrieben werden. Vor Schichtbeginn sind die täglichen Prüfungen nach Abschnitt Inbetriebnahme durchzuführen.
- Niemals in den Roboterarbeitsraum greifen, Schutzeinrichtungen umgehen oder den Lichtvorhang manipulieren. Kein Aufenthalt im Schwenkbereich des Wendetisches während der Wendung.
- Werkstücke nur bei stillstehender vorderer Station einlegen und entnehmen. Heiße Werkstücke nur mit Schutzhandschuhen handhaben; Werkstücke nach dem Schweißen können über 150 Grad C heiß sein.
- Nicht direkt in den Lichtbogen blicken, auch nicht durch Reflexionen; der Schweißerschutzvorhang und die Zaunbespannung müssen unbeschädigt sein.
- Der Betrieb ist nur mit wirksamer Schweißrauchabsaugung zulässig. Bei Störmeldung der Absaugung ist der Zyklus zu beenden und die Störung zu beheben.
- Störungen, Beschädigungen und ungewöhnliche Geräusche sofort melden; die Maschine bei sicherheitsrelevanten Mängeln stillsetzen und gegen Wiedereinschalten sichern.
- Aufenthalt im Bereich der Beschickungsöffnung nur für den Bediener; Zweitpersonen haben den gekennzeichneten Bedienbereich freizuhalten.

9.2 Bedienelemente und Anzeigen

Hauptschalter (am Schaltschrank): schaltet die gesamte Anlage allpolig; abschließbar in Nullstellung für Wartung und Reparatur.

Bedienpult neben der Beschickungsöffnung:

- HMI-Panel: Programmwahl, Stückzähler, Anzeige von Betriebszustand und Störmeldungen im Klartext, Anzeige der Wartungsintervalle.
- Taster Zyklusstart (grün): startet den Automatikzyklus, wenn das Schutzfeld frei ist und keine Störung ansteht.
- Taster Quittierung / Reset (blau, beleuchtet): Quittierung nach Ansprechen einer Schutzeinrichtung, nach Not-Halt-Entriegelung und nach Störungsbeseitigung; blinkt, wenn eine

Quittierung erforderlich ist.

- Not-Halt-Befehlsgerät (rot auf gelbem Grund): stillsetzen der gesamten Anlage in Gefahrensituationen.
- Betriebsartenwahlschalter (Schlüsselschalter): Stellungen Automatik und Einrichten; der Schlüssel verbleibt bei der berechtigten Person.

Signalsäule am Zellendach: grün = Automatikbetrieb läuft; gelb = Anlage wartet (Zyklusende, Materialmangel, Quittierung erforderlich); rot = Störung oder Not-Halt; zusätzlich akustische Anlaufwarnung vor jedem automatischen Anlauf.

Teach-Pendant (nur Einrichter): Handbediengerät des Roboters mit Anzeige, Verfahrtasten, dreistufiger Zustimmungseinrichtung und eigenem Not-Halt.

Weitere Anzeigen: Manometer der Wartungseinheit (Druckluft), Restdruckanzeige am Wartungszugang, Durchflussanzeige des Schutzgases an der Schweißstromquelle, Differenzdruckanzeige der Filterpatrone an der Absaugung.

9.3 Betriebsarten

Die Maschine verfügt über folgende Betriebsarten:

Automatikbetrieb (Wahlschalter Stellung Automatik): Normalbetrieb für die Serienfertigung. Alle Schutzeinrichtungen sind wirksam; die Wartungstür ist zugehalten; der Zugriff erfolgt ausschließlich durch die lichtvorhangüberwachte Beschickungsöffnung. Der Zyklus läuft nach Freigabe durch den Taster Zyklusstart automatisch ab.

Einrichten / Tippen (Wahlschalter Stellung Einrichten, Schlüsselschalter): Betriebsart für Teachen, Programmtest und Störungsbeseitigung durch den geschulten Einrichter. Bewegungen von Roboter und Wendetisch sind nur mit betätigter dreistufiger Zustimmungseinrichtung am Teach-Pendant und mit sicher reduzierter Geschwindigkeit (maximal 250 mm/s am TCP) möglich. Der Schlüssel verbleibt bei der berechtigten Person; nach Abschluss der Arbeiten ist zwingend in die Stellung Automatik zurückzuschalten.

Wartungsbetrieb: Instandhaltung bei freigeschalteter und gegen Wiedereinschalten gesicherter Maschine (Hauptschalter abgeschlossen, Druckluft entlastet); siehe Kapitel 10.

Die weiteren Lebensphasen Transport und Aufstellung (Kapitel 5 und 8), Reinigung und Störungsbeseitigung (Kapitel 10) sowie Außerbetriebnahme und Demontage (Kapitel 11) sind in den jeweils genannten Kapiteln beschrieben. Reinigungsarbeiten erfolgen grundsätzlich bei stillgesetzter, freigeschalteter Maschine.

9.4 Inbetriebnahme und Rüsten

Tägliche Inbetriebnahme (Reihenfolge einhalten):

1. Sichtprüfung: Schutzzaun, Zaunbespannung, Schweißerschutzvorhang, Lichtvorhang und Wartungstür unbeschädigt; keine Personen oder Fremdkörper in der Zelle; Bedienbereich frei.
2. Medien öffnen: Druckluft-Absperrventil öffnen (6 bar an der Wartungseinheit),



Schutzgasversorgung öffnen (Durchfluss rund 15 l/min), Drahtvorrat prüfen.

3. Hauptschalter einschalten; Hochlauf der Steuerung abwarten.

4. Funktionsprüfung des Lichtvorhangs mit dem Prüfstab (Unterbrechung jedes Strahlbereichs muss zur Meldung führen); Funktionsprüfung eines Not-Halt-Befehlsgeräts im wöchentlichen Wechsel.

5. Absaugung einschalten und Wirksamkeit prüfen (Differenzdruckanzeige im grünen Bereich).

6. Schweißprogramm am HMI wählen, Störmeldungen quittieren, Anlage mit Zyklusstart freigeben.

Rüsten und Produktwechsel (nur Einrichter): Programmwechsel am HMI; Wechsel der werkstückspezifischen Spannvorrichtungen nur bei stillgesetzter Anlage und drucklosem Spannkreis; nach jedem Rüsten Erstteilprüfung durchführen und Freigabe dokumentieren. Verschleißteile des Brenners (Kontaktdüse, Gasdüse) nach Standzeitvorgabe wechseln.

Teachen neuer Programme (nur Einrichter): ausschließlich im Einrichtbetrieb mit Zustimmung der Einrichtung und reduzierter Geschwindigkeit; neue Programme sind vor der Freigabe im Automatikbetrieb ohne Werkstück zu verifizieren; die Freigabe ist zu dokumentieren.

9.5 Außerbetriebnahme

Stillsetzen im Normalbetrieb (Schichtende):

1. Laufenden Zyklus zu Ende fahren lassen; kein Abbruch mitten im Schweißprozess.

2. Fertiges Werkstück entnehmen; Anlage über das HMI in Grundstellung fahren.

3. Absaugung nachlaufen lassen (automatischer Nachlauf rund 2 Minuten).

4. Schutzgasversorgung schließen; bei längerem Stillstand Druckluft-Absperrventil schließen.

5. Hauptschalter ausschalten. Bei Wochenend- oder Betriebsstillstand zusätzlich den Hauptschalter abschließen.

Stillsetzen im Notfall: Not-Halt-Befehlsgerät betätigen. Alle Teilmaschinen werden gesteuert stillgesetzt (Stopp-Kategorie 1); die Signalsäule wechselt auf Rot.

Wiederinbetriebnahme nach Not-Halt:

1. Ursache der Gefahrensituation feststellen und beseitigen; sicherstellen, dass sich keine Personen in der Zelle befinden.

2. Betätigtes Not-Halt-Befehlsgerät entriegeln (Drehen oder Ziehen).

3. Quittierung am Bedienpult; danach Zyklusstart. Ein im Schweißprozess unterbrochenes Werkstück ist als Nacharbeitsteil zu kennzeichnen und zu prüfen.

Verhalten nach Spannungsausfall: Die Anlage bleibt nach Spannungswiederkehr durch die Wiederanlaufsperrung stillgesetzt. Vor der Quittierung ist der Anlagenzustand zu prüfen (Werkstücklage, Brennerposition, Spanndruck); danach Quittierung und Neustart wie nach Not-Halt. Bei eingeklemmtem oder kollidiertem Brenner den Einrichter hinzuziehen.

10 Instandhaltung

Teile dieses Kapitels wurden automatisch übernommen aus: KI-Vorschlag.

Dieses Kapitel richtet sich an das für die Instandhaltung zuständige Fachpersonal der Roboter-Schweißzelle RSZ-2600. Alle Instandhaltungsarbeiten sind ausschließlich im Wartungsbetrieb und bei stillgesetzter Maschine auszuführen. Vor Beginn der Arbeiten ist die Maschine über den Hauptschalter mit abschließbarer Nullstellung freizuschalten und gegen Wiedereinschalten zu sichern. Die pneumatische Versorgung ist drucklos zu schalten. Beachten Sie ergänzend die Herstellerunterlagen der Zukaufkomponenten, insbesondere die Montageanleitung des Roboterherstellers sowie die Unterlagen zur MAG-Schweißstromquelle, zum Drahtvorschub, zur Brennerreinigungsstation und zur Schweißrauchabsaugung.

10.1 Wartungsnachweis

Alle durchgeführten Inspektions-, Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten sind nachvollziehbar zu dokumentieren. Der Wartungsnachweis dient als Beleg für die ordnungsgemäße Instandhaltung der Roboter-Schweißzelle RSZ-2600 und ist über die gesamte Nutzungsdauer der Maschine aufzubewahren. In den Wartungsnachweis sind je Vorgang mindestens einzutragen: Datum, ausgeführte Tätigkeit, verwendete Ersatz- und Betriebsstoffe, Name des ausführenden Fachpersonals sowie festgestellte Auffälligkeiten. Sicherheitsrelevante Prüfungen an den Schutzeinrichtungen, etwa am Lichtvorhang, an der Wartungstür mit Zuhaltung und an der Not-Halt-Schaltung, sind gesondert zu vermerken. Ein Formblatt für den Wartungsnachweis ist im Anhang dieser Betriebsanleitung enthalten; alternativ kann ein gleichwertiges betriebliches System (zum Beispiel eine Instandhaltungssoftware) verwendet werden. Der Wartungsnachweis ist mindestens bis zur Außerbetriebnahme der Maschine aufzubewahren; verantwortlich ist der Betreiber.

10.2 Inspektions- und Wartungsplan

Der Inspektions- und Wartungsplan legt fest, welche Tätigkeiten in welchen Intervallen an der Maschine auszuführen sind. Für die Zukaufkomponenten gelten ergänzend die Wartungsvorgaben der jeweiligen Herstellerunterlagen.

Täglich (Bediener): Sichtprüfung der Schutzeinrichtungen; Funktionsprüfung des Lichtvorhangs mit Prüfstab; Kontrolle von Absaugleistung (Differenzdruckanzeige), Schutzgasdurchfluss und Druckluftdruck; Brennerdüsen auf Spritzeranhaftung prüfen; Arbeitsbereich reinigen.

Wöchentlich (Bediener/Einrichter): Not-Halt-Funktionsprüfung (je Befehlsgerät im Wechsel); Kontaktdüse und Gasdüse des Brenners prüfen, bei Verschleiß wechseln; Drahtvorschubrollen und Drahtführung reinigen; Kondensat an der Wartungseinheit ablassen; Schweißerschutzvorhang und Zaunbespannung auf Beschädigung prüfen.

Monatlich (Einrichter/Instandhaltung): Brennerreinigungsstation reinigen und Sprühmittel auffüllen; pneumatische Verschraubungen und Schläuche auf Dichtheit prüfen; Filterpatrone der Absaugung kontrollieren, bei Differenzdruck im roten Bereich wechseln; Funktionsprüfung der Zuhaltung der

Wartungstür; Kabel und Schlauchpaket des Roboters auf Scheuerstellen prüfen.

Halbjährlich (Instandhaltung): dokumentierte Funktionsprüfung aller Sicherheitsfunktionen (SF-01 bis SF-06) nach dem Prüfplan im Anhang; Prüfung der Verankerung von Robotersockel und Wendetisch (Anzugsmomente); Sichtprüfung der elektrischen Ausrüstung.

Jährlich (Hersteller): große Wartung gemäß Wartungsvertrag, einschließlich Roboterwartung nach Herstellervorgabe (Getriebebeschmierung, Batterien der Robotersteuerung), Kalibrierprüfung des Roboters, Prüfung von Verriegelung und Zuhaltung nach EN ISO 14119, Nachrechnung beziehungsweise Prüfung des Sicherheitsabstands des Lichtvorhangs nach EN ISO 13855, Prüfung der Schweißstromquelle nach EN 60974-4.

Zusätzlich gelten die Prüfpflichten des Betreibers nach BetrSichV und DGUV Vorschrift 3 (wiederkehrende Prüfung der elektrischen Ausrüstung). Beschädigte oder verschlissene Bauteile der Schutzeinrichtungen sind vor der Wiederinbetriebnahme instand zu setzen oder zu ersetzen.

10.3 Schmierplan

Der Schmierplan legt fest, welche Schmierstellen der Maschine in welchen Intervallen mit welchen Schmierstoffen zu versorgen sind:

- Robotergetriebe (Achsen 1 bis 6): Schmierung ausschließlich im Rahmen der jährlichen Herstellerwartung nach Vorgabe des Roboterherstellers (Getriebefett gemäß Roboterdokumentation).
- Drehkranz und Lagerung des Wendetisches: halbjährlich mit Mehrzweckfett KP2K-30 nach DIN 51502 abschmieren (2 Schmiernippel am Grundrahmen, je rund 10 g).
- Führungen und Gelenke der pneumatischen Werkstückspanner: monatlich dünn mit säurefreiem Maschinenöl benetzen; keine überschüssigen Mengen (Spritzeranhaftung).
- Scharniere und Verriegelung der Wartungstür: halbjährlich mit Mehrzweckfett schmieren.
- Brennerreinigungsstation: Sprühmitteltank monatlich auffüllen (silikonfreies Antispritzermittel).

Die Pneumatikkomponenten sind für ölfreie Luft ausgelegt und werden nicht geölt. Verwenden Sie ausschließlich die genannten oder vom Hersteller freigegebene gleichwertige Schmierstoffe.

Ausgetauschte Betriebs- und Schmierstoffe sind nach Kapitel 11.3 fachgerecht und umweltgerecht zu entsorgen. Bei allen Schmierarbeiten ist die Maschine freizuschalten; geeignete Schutzhandschuhe tragen.

11 Demontage und Entsorgung

Teile dieses Kapitels wurden automatisch übernommen aus: KI-Vorschlag.

Dieses Kapitel beschreibt die Grundsätze für die endgültige Außerbetriebnahme, die Demontage und die umweltgerechte Entsorgung der Roboter-Schweißzelle RSZ-2600. Die Demontage ist eine eigenständige Betriebsart und darf ausschließlich von geschultem Fachpersonal durchgeführt werden. Beachten Sie ergänzend die Angaben in den mitgeltenden technischen Unterlagen, insbesondere Gesamtplan und Übersichtszeichnung sowie die elektrischen und pneumatischen Schaltpläne.

11.1 Sicherheitshinweise zur Demontage

WARNUNG

Bei der Demontage können Gefährdungen durch elektrische Energie, unter Druck stehende Pneumatik, gespeicherte Energien, bewegliche Massen sowie durch Gefahrstoffe und Rückstände aus dem Schweißprozess auftreten.

Vor Beginn der Demontagearbeiten ist die Maschine sicher stillzusetzen und allpolig von der Energieversorgung zu trennen: Hauptschalter ausschalten und mit Schloss in Nullstellung sichern; Zuleitung durch eine Elektrofachkraft freischalten, gegen Wiedereinschalten sichern, Spannungsfreiheit feststellen, erden und kurzschließen sowie benachbarte unter Spannung stehende Teile abdecken (fünf Sicherheitsregeln). Die Entladezeit der Schweißstromquelle (mindestens 5 Minuten) vor dem Öffnen abwarten.

Die Pneumatik ist drucklos zu machen: Absperrventil schließen, System über die Entlüftungsstellung des Wartungsventils entlüften, Drucklosigkeit an der Restdruckanzeige prüfen; die Werkstückspanner müssen geöffnet und drucklos sein.

Bewegliche Baugruppen mit möglicher gespeicherter Lageenergie sind vor dem Lösen von Befestigungen gegen unbeabsichtigtes Bewegen zu sichern: Roboter in Transportstellung fahren und mit der aufbewahrten Transportarretierung verriegeln; Wendetisch mit dem Sicherungsbolzen der Drehachse arretieren.

Verwenden Sie für Handhabung und Abbau schwerer Baugruppen geeignete Hebe- und Transportmittel sowie persönliche Schutzausrüstung. Massen und Anschlagpunkte der Baugruppen: siehe Kapitel 5.2 und 5.3.

11.2 Reihenfolge der Demontage

Die Demontage erfolgt sinngemäß in umgekehrter Reihenfolge der Montage (Kapitel 8.2):

1. Medien trennen: Schutzgas, Druckluft und Absaugungsanschluss; Leitungen entleeren und kennzeichnen.
2. Elektrische Verbindungen durch eine Elektrofachkraft lösen und kennzeichnen; Zuleitung abklemmen.
3. Lichtvorhang, Wartungstür und Schutzzaun-Segmente demontieren.

4. Schweißstromquelle, Drahtvorschub, Brennerreinigungsstation und Absauggerät abbauen.
5. Roboter in Transportstellung arretieren, Verankerung lösen, Roboter mit Sockel abheben.
6. Wendetisch arretieren, Verankerung lösen, Wendetisch abheben; zuletzt Schaltschrank und Bedienpult.

Die Anzugs- beziehungsweise Lösemomente der Verbindungen sind dem Gesamtplan und den Montageunterlagen zu entnehmen. Für Zwischenlagerung oder Weitertransport gelten die Kapitel 5 und 6.

11.3 Trennen und Entsorgen der Betriebsstoffe

Vor der Werkstofftrennung sind alle Betriebs- und Hilfsstoffe fachgerecht zu entleeren, aufzufangen und getrennt zu sammeln. Zu berücksichtigen sind insbesondere: Schmierfette von Wendetisch-Drehkranz und Robotergetrieben; das Antispritzermittel der Brennerreinigungsstation; Schweißdrahtreste; die Filterpatrone der Schweißrauchabsaugung sowie abgelagerte Schweißrauchstäube in Gehäuse und Rohrleitungen.

VORSICHT

Die Filterpatrone und die Staubablagerungen der Absaugung enthalten Schweißrauchstäube und sind staubdicht verpackt als gefährlicher Abfall zu entsorgen (Abfallschlüssel AVV 10 02 07* beziehungsweise nach Einstufung des Entsorgers). Beim Umgang mit der Filterpatrone Atemschutz FFP2 und Einweghandschuhe tragen.

Betriebsstoffe, Filtrückstände und mit Gefahrstoffen belastete Bauteile dürfen nicht in den Hausmüll oder in die Umwelt gelangen. Sammeln Sie diese Stoffe getrennt und führen Sie sie einer zugelassenen Entsorgung zu. Maßgeblich sind die Sicherheitsdatenblätter der eingesetzten Stoffe sowie die Vorgaben des regional zuständigen Entsorgungsfachbetriebs.

11.4 Werkstofftrennung und Recycling

Nach dem Entfernen der Betriebsstoffe sind die Baugruppen zu zerlegen und die Werkstoffe sortenrein zu trennen:

- Stahl und Guss (Zaun, Rahmen, Wendetisch, Sockel): Schrottverwertung
- Buntmetalle (Kupferkabel, Schweißleitungen, Kontaktdüsen): getrennte Erfassung
- Elektrische und elektronische Ausrüstung (Steuerungen, Antriebe, HMI, Sensorik, Schweißstromquelle): getrennte Erfassung und Entsorgung als Elektroaltgerät über zugelassene Sammel- und Verwertungsstellen
- Batterien und Akkus (Pufferbatterien der Robotersteuerung): Rücknahmesystem für Batterien
- Kunststoffe (Abdeckungen, Schläuche, Vorhang): stoffliche oder energetische Verwertung
- Verpackungs- und Dämmmaterial: örtliche Verwertungswege

Beachten Sie bei Demontage und Entsorgung die am Aufstellort geltenden gesetzlichen und behördlichen Vorschriften. Im Zweifelsfall sind Werkstoffe und Betriebsstoffe über einen zugelassenen Entsorgungsfachbetrieb zu entsorgen; die Entsorgung ist zu dokumentieren.

12 Pläne und sonstige Informationen

Teile dieses Kapitels wurden automatisch übernommen aus: Technische Dokumentation.

Folgende Unterlagen liegen in der Technischen Dokumentation des Projekts vor:

- Gesamtplan / Übersichtszeichnung
- Schaltpläne (elektrisch, pneumatisch, hydraulisch)
- Sicherheitsschaltpläne / Sicherheitsfunktionen
- Festigkeitsberechnungen / Statik
- Performance Level Nachweis (PLd/PLe)
- EMV-Prüfprotokoll
- Geräuschemessprotokoll
- Prüfprotokolle / Testergebnisse
- Funktionstest Sicherheitseinrichtungen
- Schutzleiterprüfung / Isolationsmessung
- Abnahmeprotokoll

12.1 Zeichnungen und Ersatzteile

Der Gesamtplan mit Übersichtszeichnung, der Aufstellplan sowie die Baugruppenzeichnungen liegen der Technischen Dokumentation bei (Zeichnungssatz RSZ2600-Z-001 ff.).

Ersatz- und Verschleißteile: Es dürfen nur Originalersatzteile oder vom Hersteller freigegebene gleichwertige Teile verwendet werden. Wesentliche Verschleißteile: Kontaktdüsen und Gasdüse des Schweißbrenners, Drahtvorschubrollen, Drahtführungsseele, Schweißerschutzvorhang, Filterpatrone der Absaugung, Sockelblendenbürsten sowie die Dichtungssätze der pneumatischen Spanner. Bestellangaben: Ersatzteilliste RSZ2600-ET-001 in der Technischen Dokumentation; bei Bestellungen stets Typ und Seriennummer der Maschine angeben.

Ansprechpartner für Ersatzteile und technische Rückfragen: SH Engineering, Musterstraße 15, 70565 Stuttgart, E-Mail info@sh-eng.de.

12.2 Elektrodokumentation

Die vollständige Elektrodokumentation nach EN 60204-1 liegt der Technischen Dokumentation bei: Stromlaufpläne (Plansatz RSZ2600-E-001), Klemmen- und Kabelpläne, Aufbauplan des Schaltschranks, Stückliste der elektrischen Betriebsmittel, SPS- und Sicherheits-SPS-Programmdokumentation mit Signalliste sowie die Prüfprotokolle der Schutzleiterprüfung und Isolationsmessung. Ein Exemplar der Stromlaufpläne ist im Schaltschrank hinterlegt. Änderungen an der Elektrik dürfen nur durch Elektrofachkräfte und nur nach Freigabe durch den Hersteller erfolgen; die Pläne sind bei Änderungen nachzuführen.



12.3 Nachweis der Risikobeurteilung

Automatisch übernommen aus der Risikobeurteilung des Projekts.

Gefährdung	Lebensphasen	Risikozahl	Restrisiko
Gefährdung durch Kippen, Verrutschen oder Herabfallen von Maschinenkomponenten (Roboter, Wendetisch, Schutzzaunelemente) beim Transport, Heben und Aufstellen der Anlage. Schwerpunktlaste und Anschlagpunkte müssen korrekt berücksichtigt werden.	Transport, Montage	4	akzeptiert
Gefährdung durch direktes oder indirektes Berühren spannungsführender Teile der Schweißstromquelle (400 V AC, 32 kVA) und des Schweißstromkreises (Leerlaufspannung bis ca. 80 V DC/AC). Gefährdung besteht insbesondere beim Öffnen der Schweißstromquelle vor Ablauf der Entladezeit der Kondensatoren sowie bei beschädigter Isolation.	Wartung, Fehlersuche, Inbetriebnahme, Montage	4	akzeptiert
Gefährdung durch unzureichende Schutzleiterverbindung oder fehlende Potenzialausgleichsverbindung zwischen den Teilmaschinen (Roboter, Wendetisch, Schweißstromquelle, Absaugung, Schutzzaun). Berührungsspannung an Gehäusen oder Schutzzaunelementen bei Isolationsfehler.	Montage, Inbetriebnahme, Wartung	4	akzeptiert
Gefährdung durch unterschiedliche Sicherheitsniveaus der Teilmaschinen: Der Roboter wird als unvollständige Maschine mit Einbauerklärung nach Anhang II 1.B geliefert. Die Integration in die Gesamtheit erfordert die Sicherstellung, dass das Gesamtsystem die Anforderungen der MRL erfüllt. Fehlende oder unvollständige Schnittstellenverriegelung zwischen Robotersteuerung und Sicherheits-SPS kann zu Gefährdungen führen.	Montage, Inbetriebnahme	4	akzeptiert
Quetsch- und Stoßgefahr durch Roboterarm (6-Achs-Knickarmroboter, Reichweite 2600 mm, Traglast 12 kg) bei unerwarteter Bewegung im Einrichtbetrieb oder bei Versagen der Sicherheitsfunktion im Automatikbetrieb. Gefährdung betrifft Personen im oder in der Nähe des Roboterarbeitsraums.	Einrichten, Wartung, Fehlersuche, Inbetriebnahme	4	akzeptiert
Stoß- und Quetschgefahr durch den Schweißbrenner (am Roboterflansch montiert) bei Kollision mit Werkstück, Spannvorrichtung oder Zellenwand infolge Fehlparametrierung des Schweißprogramms oder Einlegens eines nicht freigegebenen Werkstücks. Der Brenner kann mit hoher Kraft und Geschwindigkeit auf Hindernisse treffen.	Betrieb, Einrichten, Inbetriebnahme	4	akzeptiert



Roboter-Schweißzelle RSZ-2600 (Gesamtheit von Maschinen)

Robotergestützte MAG-Schweißzelle für Stahlbaugruppen bis 40 kg

Originalbetriebsanleitung

Stand: 13.8.2026

Gefährdung	Lebensphasen	Risikozahl	Restrisiko
Gefährdung durch EMV-Störbeeinflussung zwischen der Schweißstromquelle (Hochstromimpulse, Lichtbogen) und der Sicherheits-SPS sowie den Sicherheitssensoren (Lichtvorhang, Zuhaltung). Störimpulse können Sicherheitsfunktionen beeinflussen oder Fehlauslösungen verursachen.	Betrieb, Einrichten, Inbetriebnahme	4	akzeptiert
Gefährdung durch Zwangshaltung und eingeschränkte Sichtverhältnisse beim Einrichten und Programmieren des Roboters im Einrichtbetrieb (Teach-in) innerhalb oder in der Nähe des Roboterarbeitsraums. Ungünstige Körperhaltung beim Bedienen des Handbediengeräts über längere Zeiträume.	Einrichten, Inbetriebnahme	4	akzeptiert
Gefährdung durch Fehlparametrierung oder fehlerhafte Programmierung des Roboters (falsches Schweißprogramm, falsche Werkstückgeometrie, falsche Achsgeschwindigkeiten). Kollisionen des Roboters mit Werkstück, Spannvorrichtung oder Zellenwand können zu unkontrollierten Bewegungen und Gefährdungen von Personen führen.	Inbetriebnahme, Einrichten, Betrieb	4	akzeptiert
Gefährdung im Teach-Betrieb bei reduzierter Geschwindigkeit	Einrichten	4	akzeptiert
Quetsch- und Scherergefahr durch den Zweistationen-Wendetisch bei der 180-Grad-Schwenkbewegung. Personen oder Körperteile können zwischen der drehenden Tischplatte, der Mittelwand und dem Schutzzaun eingequetscht oder abgeschert werden, insbesondere beim Aufenthalt im Schwenkbereich während des Wendevorgangs.	Betrieb, Einrichten, Fehlersuche	4	akzeptiert
Quetschgefahr an der Schnittstelle zwischen Roboterarm und Wendetisch im Übergabe- und Schweißbereich. Bei gleichzeitiger Bewegung von Roboter und Wendetisch (z.B. koordinierte Achsbewegung) können Personen, die sich unbefugt im Innenraum aufhalten, zwischen beiden Komponenten eingequetscht werden.	Betrieb, Einrichten, Fehlersuche, Wartung	4	akzeptiert
Stoß- und Quetschgefahr durch unerwarteten Wiederanlauf des Roboters oder des Wendetisches nach Not-Halt, Energieunterbrechung oder Störungsbeseitigung, wenn die Wiederanlaufsperrung nicht wirksam ist oder umgangen wird.	Fehlersuche, Wartung, Einrichten	4	akzeptiert
Quetsch- und Einzugsgefahr durch pneumatische Werkstückspanner am Wendetisch. Bei unbeabsichtigtem Schließen der Spanner (z.B. durch Leckage, Steuerungsfehler oder unerwarteten Druckaufbau) können Finger oder Hände eingequetscht oder eingezogen werden.	Einrichten, Wartung, Fehlersuche, Betrieb	4	akzeptiert

**Roboter-Schweißzelle RSZ-2600 (Gesamtheit von Maschinen)**

Robotergetriebene MAG-Schweißzelle für Stahlbaugruppen bis 40 kg

Originalbetriebsanleitung

Stand: 13.8.2026

Gefährdung	Lebensphasen	Risikozahl	Restrisiko
Gefährdung durch herabfallendes oder wegfliegendes Werkstück (bis 40 kg) bei Versagen der pneumatischen Werkstückspannung, z.B. durch Druckabfall, Leckage oder Steuerungsfehler. Das Werkstück kann unkontrolliert vom Wendetisch fallen oder geschleudert werden.	Betrieb, Einrichten, Fehlersuche	4	akzeptiert
Gefährdung durch unkoordiniertes Stillsetzen oder unkoordinierten Wiederanlauf einzelner Teilmaschinen nach Not-Halt. Wenn der Not-Halt nicht auf alle Teilmaschinen (Roboter, Wendetisch, Schweißstromquelle, Absaugung) gleichzeitig und koordiniert wirkt, können Restbewegungen oder Wiederanläufe einzelner Stationen zu Gefährdungen führen.	Betrieb, Einrichten, Fehlersuche	4	akzeptiert
Quetsch- und Stoßgefahr beim Übersteigen, Unterkriechen oder Hindurchgreifen am Lichtvorhang am Beschickungsplatz als vorhersehbare Fehlanwendung. Personen oder Körperteile gelangen in den aktiven Roboterarbeitsraum, ohne dass der Lichtvorhang anspricht.	Betrieb, Einrichten	5	akzeptiert
Quetsch- und Stoßgefahr beim Umgehen der Zuhaltung der Wartungstür (z.B. durch Ersatzbetätiger oder Fixieren der Türposition) als vorhersehbare Fehlanwendung. Personen betreten den Roboterarbeitsraum, ohne dass die Sicherheitsfunktion der Zuhaltung wirksam ist.	Wartung, Fehlersuche, Einrichten	4	akzeptiert
Gefährdung durch gleichzeitigen Zugang mehrerer Personen in verschiedene Zonen der Zelle (z.B. eine Person am Beschickungsplatz, eine weitere durch die Wartungstür). Die Sicherheitsfunktionen sind ggf. nicht auf simultanen Mehrpersonenzugang ausgelegt, sodass eine Person ungeschützt im Gefahrenbereich verbleiben kann.	Wartung, Fehlersuche, Einrichten	4	akzeptiert
Schnitt- und Stichgefahr durch scharfe Kanten und Grate an Werkstücken (Stahlbaugruppen bis 40 kg) beim manuellen Einlegen und Entnehmen an der Beschickungsstation sowie beim Werkzeugwechsel (Schweißbrenner, Kontaktdüsen, Gasdüse).	Betrieb, Wartung, Einrichten	6	akzeptiert
Verbrennungsgefahr durch heiße Werkstückoberflächen und Schweißnähte (Temperaturen weit über 100 Grad C) beim manuellen Entnehmen des geschweißten Werkstücks an der Beschickungsstation. Werkstücke können nach dem Schweißvorgang noch lange Zeit hohe Temperaturen aufweisen.	Betrieb, Einrichten	3	akzeptiert



Gefährdung	Lebensphasen	Risikozahl	Restrisiko
Verbrennungsgefahr durch Schweißspritzer und Schweißperlen, die aus dem Schweißbereich ausgeschleudert werden und auf Personen am Beschickungsplatz oder auf brennbare Materialien in der Umgebung treffen. Schweißspritzer können Temperaturen von über 1000 Grad C erreichen.	Betrieb, Einrichten	3	akzeptiert
Verbrennungsgefahr durch heiße Komponenten der Brennerreinigungsstation (Reibreiber, Sprüheinheit) und des Schweißbrenners selbst (Gasdüse, Kontaktdüse) beim Wechsel von Verschleißteilen ohne ausreichende Abkühlzeit.	Wartung, Einrichten	2	akzeptiert
Gefährdung durch Lichtbogenstrahlung (UV- und IR-Strahlung) beim MAG-Schweißen. Direkte oder reflektierte Strahlung kann zu Augenschäden (Keratokonjunktivitis, Netzhautschäden) und Hautverbrennungen führen. Gefährdung besteht am Beschickungsplatz, wenn der Schweißerschutzvorhang nicht vollständig schließt oder beschädigt ist.	Betrieb, Einrichten, Fehlersuche	4	akzeptiert
Gefährdung durch elektromagnetische Felder (EMF) im Bereich der Schweißstromquelle und der Schweißleitungen (Hochstrom bis 400 A). Personen mit aktiven Implantaten (z.B. Herzschrittmacher) sind besonders gefährdet. Gefährdung besteht beim Aufenthalt in der Nähe der Schweißleitungen und der Stromquelle.	Betrieb, Wartung, Einrichten	4	akzeptiert
Gefährdung durch Einatmen von Schweißrauch und Schweißgasen (Metalloxide, Mangan, Chrom, Kohlenmonoxid, Ozon, Stickoxide) beim MAG-Schweißen von Stahl. Bei unzureichender Absaugleistung oder verstopfter Filterpatrone steigt die Konzentration gesundheitsschädlicher Stoffe am Arbeitsplatz an.	Betrieb, Einrichten, Fehlersuche	4	akzeptiert
Gefährdung durch Lärm am Bedienplatz durch den MAG-Schweißprozess (Lichtbogengeräusch, Drahtvorschub, Absauggebläse). Der Emissionsschalldruckpegel am Bedienplatz beträgt 84 dB(A) bei einer Messunsicherheit K von 2,5 dB. Der A-bewertete Schallleistungspegel beträgt 96 dB(A). Damit ist der obere Auslösewert nach LärmVibrationsArbSchV (LEX,8h 85 dB(A)) bei Dauerbetrieb potenziell erreichbar. Gemäß 2006/42/EG Anhang I Nr. 1.7.4.2 u) besteht Angabepflicht für LpA (da 84 dB(A) den Schwellenwert von 70 dB(A) überschreitet) und zusätzlich für LWA (da LpA 80 dB(A) überschreitet).	Betrieb, Einrichten	6	akzeptiert



Roboter-Schweißzelle RSZ-2600 (Gesamtheit von Maschinen)

Robotergestützte MAG-Schweißzelle für Stahlbaugruppen bis 40 kg

Originalbetriebsanleitung

Stand: 13.8.2026

Gefährdung	Lebensphasen	Risikozahl	Restrisiko
Gefährdung durch Hand-Arm-Vibration beim manuellen Einlegen und Entnehmen von Werkstücken sowie beim Umgang mit dem Schweißbrenner im Einrichtbetrieb. Die tatsächlichen Vibrationswerte sind messtechnisch zu ermitteln und mit den Auslösewerten der LärmVibrationsArbSchV (Hand-Arm: A(8) 2,5 m/s ²) zu vergleichen.	Betrieb, Einrichten	2	akzeptiert
Gefährdung durch unzureichende Beleuchtung im Inneren der Schweißzelle beim Einrichten, Warten und Störungsbeseitigen. Blendung durch Lichtbogen oder unzureichende Ausleuchtung dunkler Bereiche hinter dem Wendetisch und im Bereich der Brennerreinigungsstation können zu Fehlhandlungen führen.	Einrichten, Wartung, Fehlersuche	4	akzeptiert
Gefährdung durch Brandgefahr infolge von Schweißspritzern, die auf brennbare Materialien (Kabel, Schläuche, Verpackungsmaterial, Reinigungsmittel) in der Umgebung der Zelle treffen. Besondere Gefährdung bei nicht vollständig geschlossenem Schweißerschutzvorhang.	Betrieb, Einrichten	4	akzeptiert
Stolpergefahr durch Kabelführung und Schläuche am Boden	Betrieb, Wartung	2	akzeptiert
Stolper-, Rutsch- und Sturzgefahr auf dem Boden im Bereich der Zelle durch Schweißspritzer, Kabeltrassen, Schläuche oder Verunreinigungen (Öl, Wasser, Metallspäne) beim Beschicken, Entnehmen, Reinigen und Warten.	Betrieb, Wartung, Reinigung, Fehlersuche	3	akzeptiert
Gefährdung durch ergonomisch ungünstige Körperhaltung und Kraftaufwand beim manuellen Einlegen und Entnehmen von Werkstücken bis 40 kg an der Beschickungsstation. Häufiges Heben, Tragen und Positionieren schwerer Werkstücke in Taktzeit von ca. 90 Sekunden kann zu Muskel-Skelett-Erkrankungen führen.	Betrieb	6	akzeptiert
Elektrische Gefährdung am Roboter-Schaltschrank und Kabelführung	Wartung, Fehlersuche	4	akzeptiert
Gefährdung durch Freisetzung von Schweißrauch und Schadstoffen beim Wechsel der Filterpatrone der Absauganlage. Beim Herausziehen der beladenen Filterpatrone können Feinstaub und Metalloxide freigesetzt und eingeatmet werden.	Wartung	3	akzeptiert



Roboter-Schweißzelle RSZ-2600 (Gesamtheit von Maschinen)

Robotergestützte MAG-Schweißzelle für Stahlbaugruppen bis 40 kg

Originalbetriebsanleitung

Stand: 13.8.2026

Gefährdung	Lebensphasen	Risikozahl	Restrisiko
Gefährdung durch gespeicherte pneumatische Energie (Betriebsdruck 6 bar) in den Leitungen und Zylindern der Werkstückspanner und des Wendetischantriebs. Bei Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten ohne vorherige Druckentlastung können Schläuche, Verbindungen oder Zylinder unkontrolliert Druck abbauen und Personen verletzen oder Werkstücke freigegeben.	Wartung, Fehlersuche, Reinigung	4	akzeptiert
Gefährdung durch Hautkontakt mit Schweißspritzern, Schweißrauchpartikeln und Metallstäuben beim Reinigen der Zelle (Schutzzaun, Wendetisch, Boden) ohne geeignete persönliche Schutzausrüstung.	Reinigung	2	akzeptiert
Gefährdung durch Demontage und Entsorgung der Anlage nach Ende der Lebensdauer (15 Jahre). Restenergie in Kondensatoren der Schweißstromquelle, gespeicherte pneumatische Energie, schwere Bauteile (Roboter, Wendetisch) und kontaminierte Filterpatronen stellen Gefährdungen für das Demontagepersonal dar.	Außerbetriebnahme	4	akzeptiert

Anhangverzeichnis

Zur Maschine gehören folgende weitere Unterlagen (Anhang dieser Betriebsanleitung):

- Normen-Analyse (angewandte Normen mit Begründung)
- Risikobeurteilung nach EN ISO 12100 (vollständige Dokumentation)
- Prüfprotokolle
- Konformitätserklärung