BEISPIEL · AUSZUG AUS DEM MUSTERDOSSIER

Risikobeurteilung nach EN ISO 12100

Roboter-Schweißzelle RSZ-2600, fiktives Musterprojekt

Inhalt	Kapitel 1 des Musterdossiers, unverändert: Grenzen der Maschine, 42 Gefährdungen mit Risikoeinschätzung vor und nach den Maßnahmen, Schutzmaßnahmen, Restrisiken, Bedrohungsanalyse „Schutz gegen Korrumpierung“
Seiten	126 Seiten aus dem Gesamt-Export (S. 3 bis 128)
Stand	29. Oktober 2026

Das Projekt ist ein fiktives Beispiel. Hersteller, Maschine und Seriennummern sind erfunden; die Risikobeurteilung zeigt Aufbau und Tiefe, sie ist keine Vorlage für eine reale Maschine. Erstellt mit CE-Copilot, der CE-Software für Maschinenbauer. Das vollständige Musterdossier (Normen, Konformitätserklärung, technische Dokumentation, Prüfprotokolle, Betriebsanleitung) und weitere Beispiele: www.ce-copilot.de/musterdossier

1. Risikobeurteilung

nach EN ISO 12100

Maschinenbeschreibung

Robotergestützte MAG-Schweißzelle RSZ-2600 für das Lichtbogenschweißen von Stahlbaugruppen bis 40 kg Werkstückgewicht in der Serienfertigung. Sondermaschine, Einzelanfertigung.

Aufbau als Gesamtheit von Maschinen: (1) Knickarm-Industrieroboter, 6 Achsen, Reichweite 2600 mm, Traglast 12 kg, vom Roboterhersteller als unvollständige Maschine mit EU-Einbauerklärung nach Anhang V Teil B und Montageanleitung nach Anhang XI 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.

Schutzkonzept: umlaufender Schutzzaun 2200 mm hoch mit schweißlichtdichten Füllungen und Schweißerschutz-Sichtfenstern; eine Wartungstür als bewegliche trennende Schutzeinrichtung mit Verriegelung und Zuhaltung nach Ruhestromprinzip, Fluchtentriegelung von innen und Sperrvorrichtung für persönliche Vorhängeschlösser; Lichtvorhang Typ 4 mit 30 mm Auflösung am Beschickungsplatz, Sicherheitsabstand nach EN ISO 13855 berechnet; Sicherheits-SPS; Not-Halt am Bedienpult, an der Wartungstür und am Teach-Pendant, wirkt auf alle Teilmaschinen der Zelle; abschließbarer Betriebsartenwahlschalter mit den Betriebsarten Automatik und Einrichten; im Einrichtbetrieb sicher reduzierte Geschwindigkeit 250 mm/s und Zustimmeinrichtung.

Bedienung: manuelle Beschickung und Entnahme an der jeweils vorderen Station durch geschultes Fachpersonal, Taktzeit rund 90 Sekunden. Kein Personenzugang zum Roboterarbeitsraum im Automatikbetrieb.

Gefährdungen: Quetschen und Stoßen durch Roboter und Wendetisch, Lichtbogenstrahlung im UV- und IR-Bereich, Schweißrauch und Schweißgase, heiße Oberflächen und Schweißspritzer, Lärm, elektrische Gefährdung, gespeicherte pneumatische Energie.

Technische Daten: Nennspannung 400 V AC 50 Hz, Anschlussleistung 32 kVA, Druckluft 6 bar, Emissionsschalldruckpegel am Beschickungsplatz 84 dB(A) mit Messunsicherheit K gleich 2,5 dB, A-bewerteter Schallleistungspegel 96 dB(A). Stationäre Aufstellung in einer Produktionshalle im Innenraum.

Datenanbindung: Die Zellensteuerung ist über PROFINET mit PROFIsafe mit Roboter, Wendetisch und Schweißstromquelle verbunden. Über eine OPC-UA-Schnittstelle übernimmt die Zelle Aufträge aus dem MES des Betreibers und meldet Produktionsdaten zurück. Die Fernwartung durch den Hersteller läuft über ein VPN-Gateway, das der Betreiber am Bedienpult freischaltet. Am HMI-Panel gibt es einen USB-Anschluss für Datensicherungen.

Erstes Inverkehrbringen: März 2027. Vollständige Maschine.

Roboter-Schweißzelle RSZ-2600 (Gesamtheit von Maschinen)

Bestimmungsgemäße Verwendung: Automatisiertes MAG-Schweißen von Stahlbaugruppen bis 40 kg Werkstückgewicht in der Serienfertigung. Der Bediener legt die Werkstücke an der jeweils vorderen Station des Zweistationen-Wendetischs manuell ein, spannt sie pneumatisch und entnimmt die geschweißten Baugruppen; der Schweißprozess läuft vollautomatisch durch den Roboter hinter der trennenden Mittelwand. Die Zelle ist für den stationären Einsatz in einer Produktionshalle (Innenraum) bestimmt und darf nur von unterwiesenem Fachpersonal in den Betriebsarten Automatik und Einrichten betrieben werden. Zulässige Werkstoffe: unbeschichtete Baustähle gemäß freigegebener Schweißanweisung (WPS). Jede andere Verwendung, insbesondere das Schweißen beschichteter oder verzinkter Teile, gilt als nicht bestimmungsgemäß.

Grenzen der Maschine: Verwendungsgrenzen: Werkstücke bis 40 kg, maximale Abmessungen 800 x 600 x 400 mm; Werkstücke über 15 kg werden mit einer bauseitigen Hebehilfe eingelegt (Tragfähigkeit mindestens 40 kg). MAG-Schweißen (Verfahren 135) von unbeschichtetem Baustahl S235 bis S355, Massivdraht 1,0 bis 1,2 mm, Schutzgas M21 (Argon-CO2-Gemisch), Taktzeit rund 90 Sekunden.

Räumliche Grenzen: Aufstellfläche der Zelle rund 6,5 x 4,0 m zuzüglich umlaufend mindestens 1,0 m Wartungsgang um den Schutzzaun; Personenzugang nur über den Beschickungsplatz mit Lichtvorhang sowie die verriegelte Wartungstür.

Zeitliche Grenzen: Auslegung für Zweischichtbetrieb (16 h je Arbeitstag); Wartungsintervalle nach Betriebsanleitung; vorgesehene Nutzungsdauer 12 Jahre.

Umgebungsgrenzen: Innenraum, +5 bis +40 Grad C, relative Luftfeuchte bis 70 Prozent nicht kondensierend, ebener tragfähiger Industrieboden, ausreichende Hallenbelüftung.

Energiegrenzen und Schnittstellen: 400 V AC 50 Hz, Anschlussleistung 32 kVA; Druckluft 6 bar (+/- 0,5 bar); Schutzgasversorgung über betreiberseitige Ringleitung oder Flaschenbatterie; Schweißrauchabsaugung 1800 m3/h mit Filterpatrone, Rückführung der gereinigten Luft in die Halle.

Vorhersehbare Fehlanwendung: Umgehen oder Manipulieren von Schutzeinrichtungen: Übersteigen des Schutzzauns, Durch- oder Übergreifen am Lichtvorhang, Manipulation der Zuhaltung der Wartungstür oder der Zustimmeinrichtung. Aufenthalt einer zweiten Person in der Zelle im Einrichtbetrieb außerhalb des Sichtbereichs des Einrichters. Eingreifen in den Wendetisch während der Wendung, etwa zum Nachrichten eines verrutschten Werkstücks. Einlegen unzulässiger Werkstücke: zu schwer, zu groß, verölt, beschichtet oder verzinkt (erhöhte Schadstoffemission). Manuelles Heben von Werkstücken über 15 kg ohne Hebehilfe. Betrieb mit gesättigter Filterpatrone oder abgeschalteter Absaugung. Reinigungs-, Wartungs- und Störungsbeseitigungsarbeiten ohne Freischalten und Sichern gegen Wiedereinschalten (elektrische Energie, Druckluft-Restenergie). Bedienung durch nicht unterwiesenes Personal. Ungeschützter Blick in den Lichtbogen durch Umstehende bei geöffneter Wartungstür im Einrichtbetrieb.

Betriebsarten: Automatikbetrieb, Einrichten / Tippen, Wartungsbetrieb, Transport und Aufstellung, Reinigung, Störungsbeseitigung, Außerbetriebnahme / Demontage

Angewandtes Verfahren der Risikobeurteilung

Nachweis der Risikobeurteilung

- Datum der Risikobeurteilung: 18.08.2026
- Revisionsstand: Rev. 2
- Beteiligte: M. Beispiel, CE-Beauftragter (Moderation); Jonas Weber, Prüfer Inbetriebnahme; Konstruktion Mechanik; Elektrokonstruktion und Steuerungstechnik; Fertigung und Montage

Die Beurteilung folgt EN ISO 12100:2010: Grenzen der Maschine festlegen (Abschnitt 5.3), Gefährdungen identifizieren (5.4), Risiko einschätzen (5.5), Risiko bewerten (5.6) und die Risikominderung in drei Stufen vornehmen (Abschnitt 6).

Risikozahl (RZ) = Schwere (S) × Eintrittswahrscheinlichkeit (W) (2D-Matrix in Anlehnung an EN ISO 12100, max. 25).

Die Schwere (S) beschreibt nach EN ISO 12100 Abschnitt 5.5.2.2 das Ausmaß des möglichen Schadens: reversibel oder irreversibel und die Zahl der betroffenen Personen.

Die Eintrittswahrscheinlichkeit (W) fasst nach EN ISO 12100 Abschnitt 5.5.2.3 drei Elemente zusammen: Häufigkeit und Dauer der Exposition, Wahrscheinlichkeit des Eintritts eines Gefährdungsereignisses und Möglichkeit zur Vermeidung oder Begrenzung des Schadens.

Schwere des möglichen Schadens (S)

- S 1 (Leichte Verletzung): reversibel, mit Erster Hilfe abgetan, keine ärztliche Behandlung und keine Ausfallzeit (Schürfung, leichte Prellung)
- S 2 (Mittlere Verletzung): reversibel, ärztliche Behandlung nötig, Heilung ohne bleibende Folgen, Ausfallzeit bis zu wenigen Tagen (Schnittwunde, Verstauchung)
- S 3 (Schwere Verletzung): reversibel, aber stationäre Behandlung und längere Heilung, Ausfallzeit über eine Woche (Knochenbruch, tiefe Schnittverletzung, Verbrennung zweiten Grades)
- S 4 (Sehr schwere Verletzung): irreversibel: bleibender Schaden, Verlust oder dauerhafter Funktionsverlust eines Körperteils, Berufskrankheit (Amputation, Erblindung, Lärmschwerhörigkeit)
- S 5 (Tödlich): irreversibel: Tod einer Person oder mehrerer Personen, auch mit zeitlichem Abstand zum Ereignis

Eintrittswahrscheinlichkeit (W)

- W 1 (Unwahrscheinlich): Exposition selten und kurz; das Gefährdungsereignis setzt mehrere unabhängige Fehler voraus; der Schaden lässt sich in aller Regel abwenden
- W 2 (Selten): Exposition gelegentlich (seltener als monatlich); das Gefährdungsereignis setzt ein Bauteilversagen oder ein Fehlverhalten voraus; der Schaden ist meist abwendbar
- W 3 (Gelegentlich): Exposition regelmäßig (monatlich bis wöchentlich); ein einzelner Fehler führt bereits zum Gefährdungsereignis; der Schaden ist nur unter günstigen Bedingungen abwendbar
- W 4 (Häufig): Exposition häufig (täglich) oder über längere Zeit; das Gefährdungsereignis ist im üblichen Ablauf zu erwarten; der Schaden ist kaum abwendbar
- W 5 (Sehr häufig): Exposition dauernd oder bei jedem Arbeitsspiel; das Gefährdungsereignis tritt ohne Schutzmaßnahme regelmäßig ein; der Schaden ist nicht abwendbar

Bewertung und Akzeptanz des Restrisikos

- Akzeptanzkriterium: Ein Restrisiko gilt als angemessen gemindert, wenn alle Lebensphasen und Betriebsarten betrachtet sind, die Rangfolge der drei Stufen eingehalten ist, nach dem Stand der Technik keine weitere Maßnahme der Stufe 1 oder 2 praktikabel ist, die Maßnahmen keine neuen Gefährdungen erzeugen und die verbleibenden Restrisiken in der Benutzerinformation stehen (EN ISO 12100 Abschnitt 5.6.2).
- niedrig (RZ ≤ 4): Restrisiko akzeptabel; Restrisiken in der Benutzerinformation nennen.
- mittel (RZ ≤ 9): Akzeptanz nur mit schriftlicher Begründung, warum nach dem Stand der Technik keine weitere Maßnahme der Stufe 1 oder 2 praktikabel ist; Benutzerinformation zwingend.
- hoch (RZ ≤ 15): nicht akzeptabel; weitere Maßnahmen der Stufe 1 oder 2 sind erforderlich, bevor das Restrisiko bewertet wird.
- sehr hoch (RZ ≤ 25): nicht akzeptabel; die Maschine darf in diesem Zustand nicht in Verkehr gebracht werden.

Risikostufen: ≤4 niedrig · ≤9 mittel · ≤15 hoch · ≥16 sehr hoch. Maßnahmen-Stufen nach EN ISO 12100: Stufe 1 = inhärent sichere Konstruktion (Abschnitt 6.2) · Stufe 2 = technische und ergänzende Schutzmaßnahmen (Abschnitt 6.3) · Stufe 3 = Benutzerinformation (Abschnitt 6.4).

Schutz gegen Korrumpierung (Security for Safety)

Bedrohungsanalyse nach prEN 50742 (Entwurf) Weg A als Teil dieser Risikobeurteilung; 9 Szenarien der Gefährdungsart „Korrumpierung/Security“ bewertet, Rechtsgrundlage je Szenario in eckigen Klammern (MVO (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.1.9, 1.2.1, 1.2.6). IEC 62443-3-3 wird je Szenario als Referenz für Weg B genannt. Keine Konformitätsvermutung, solange keine Amtsblatt-Fundstelle vorliegt.

Schnittstellen-Inventar: Netzwerk / Feldbus / Linienintegration; Fernzugriff / Fernwartung; USB / Wechseldatenträger; Bedienpanel (HMI) mit Benutzer- und Parameterverwaltung; Engineering- / Programmierzugang

Lebensphasen-Abdeckung:
Entsorgung: keine Gefährdungen identifiziert

Zitierte Normen ohne Konformitätsvermutung: EN 149 (filtrierende Halbmasken zum Schutz gegen Partikel; Rechtsrahmen: Verordnung (EU) 2016/425 über persönliche Schutzausrüstungen), EN 169 (Schweißerschutzfilter), EN 388 (Schutzhandschuhe gegen mechanische Risiken; Rechtsrahmen: Verordnung (EU) 2016/425 über persönliche Schutzausrüstungen), EN 407 (Schutzhandschuhe gegen thermische Risiken; Rechtsrahmen: Verordnung (EU) 2016/425 über persönliche Schutzausrüstungen), EN 60903 (isolierende Handschuhe für Arbeiten unter Spannung; Rechtsrahmen: Verordnung (EU) 2016/425 über persönliche Schutzausrüstungen), EN ISO 11611 (Schutzkleidung für Schweißen und verwandte Verfahren; Rechtsrahmen: Verordnung (EU) 2016/425 über persönliche Schutzausrüstungen), EN ISO 16321 (Augen- und Gesichtsschutz bei der Arbeit; Rechtsrahmen: Verordnung (EU) 2016/425 über persönliche Schutzausrüstungen), EN ISO 20345 (Sicherheitsschuhe; Rechtsrahmen: Verordnung (EU) 2016/425 über persönliche Schutzausrüstungen), EN ISO 25980 (transparente Schweißerschutzvorhänge, -streifen und -abschirmwände), ISO 7010 (registrierte Sicherheitszeichen). Diese Normen sind nicht als harmonisierte Normen zur Maschinenrichtlinie bzw. Maschinenverordnung im Amtsblatt der EU gelistet und lösen dafür keine Konformitätsvermutung aus; ihre Anwendung als anerkannte Regel der Technik ist zulässig.

Gefährdungen je Teilmaschine

Teilmaschine / Schnittstelle	Gefährdungen	Höchstes Risiko vorher	Höchstes Restrisiko
Beschickungsplatz	1	RZ 15 (hoch)	RZ 6 (mittel)
Beschickungsplatz (Bedienerstation)	1	RZ 16 (sehr hoch)	RZ 8 (mittel)
Beschickungsplatz (Entnahmeseite)	1	RZ 12 (hoch)	RZ 6 (mittel)
Beschickungsplatz (Lichtvorhang-Schnittstelle)	1	RZ 10 (hoch)	RZ 5 (mittel)
Beschickungsplatz / Wartungsgang	2	RZ 9 (mittel)	RZ 6 (mittel)
Datenanbindung MES / Cloud	1	RZ 9 (mittel)	RZ 3 (niedrig)
Elektrische Anlage (Schaltschrank / Schweißstromquelle)	1	RZ 10 (hoch)	RZ 5 (mittel)
Fernwartungs-Gateway / Zellensteuerung	1	RZ 12 (hoch)	RZ 4 (niedrig)
Gesamtanlage (Absaugung / Schweißbereich)	1	RZ 16 (sehr hoch)	RZ 8 (mittel)
Gesamtanlage (Aufstellung)	1	RZ 8 (mittel)	RZ 4 (niedrig)
Gesamtanlage (Demontage / Entsorgung)	1	RZ 8 (mittel)	RZ 4 (niedrig)
Gesamtanlage (EMV-Schnittstelle)	1	RZ 8 (mittel)	RZ 4 (niedrig)
Gesamtanlage (Not-Halt-Koordination)	1	RZ 10 (hoch)	RZ 5 (mittel)
Gesamtanlage (Schweißbereich / Wendetisch)	1	RZ 16 (sehr hoch)	RZ 8 (mittel)
Gesamtanlage (Steuerung / Sicherheitssteuerung)	1	RZ 10 (hoch)	RZ 5 (mittel)
Gesamtanlage (Systemintegration)	1	RZ 10 (hoch)	RZ 5 (mittel)
Gesamtanlage (Transport / Aufstellung)	1	RZ 10 (hoch)	RZ 5 (mittel)
Gesamtanlage (Wiederanlauf-Koordination)	1	RZ 15 (hoch)	RZ 5 (mittel)
Gesamtanlage (Zonenzugang)	1	RZ 10 (hoch)	RZ 5 (mittel)
HMI / Parametrierung	1	RZ 12 (hoch)	RZ 4 (niedrig)
Kommunikationsnetz	1	RZ 12 (hoch)	RZ 4 (niedrig)
Pneumatische Spannvorrichtung (Wendetisch)	1	RZ 12 (hoch)	RZ 4 (niedrig)
Pneumatische Spannvorrichtung / Druckluftsystem	1	RZ 12 (hoch)	RZ 3 (niedrig)
Schnittstelle Wendetisch / Schweißroboter	1	RZ 10 (hoch)	RZ 5 (mittel)

Teilmaschine / Schnittstelle	Gefährdungen	Höchstes Risiko vorher	Höchstes Restrisiko
Schnittstellen zu Fremdeinrichtungen	1	RZ 8 (mittel)	RZ 4 (niedrig)
Schutzgasversorgung / Leitungssystem	1	RZ 8 (mittel)	RZ 4 (niedrig)
Schweißbrenner	1	RZ 9 (mittel)	RZ 3 (niedrig)
Schweißbrenner / Drahtvorschub	1	RZ 12 (hoch)	RZ 6 (mittel)
Schweißrauchabsaugung (Filtereinheit)	2	RZ 9 (mittel)	RZ 3 (niedrig)
Schweißroboter	2	RZ 15 (hoch)	RZ 5 (mittel)
Schweißroboter / Schweißbereich	2	RZ 12 (hoch)	RZ 4 (niedrig)
Schweißstromquelle / Schweißleitungen	1	RZ 8 (mittel)	RZ 4 (niedrig)
Schweißstromquelle / Vorrichtung	1	RZ 8 (mittel)	RZ 4 (niedrig)
Sicherheitssteuerung / Engineering	1	RZ 10 (hoch)	RZ 5 (mittel)
Software / Dokumentation	1	RZ 9 (mittel)	RZ 3 (niedrig)
Steuerung / Netzwerk	1	RZ 12 (hoch)	RZ 4 (niedrig)
Steuerung / Protokollierung	1	RZ 9 (mittel)	RZ 3 (niedrig)
Wendetisch (Drehtisch-Einheit)	1	RZ 15 (hoch)	RZ 5 (mittel)

42 Gefährdungen insgesamt. Eine Gefährdung, die mehrere Lebensphasen betrifft, steht unter jeder davon; daraus ergeben sich 106 Einträge.

Transport (1 Gefährdung)

Nr. 28 Mechanisch

Risiko vorher: S 5 · W 2 · **RZ 10**

Gefährdung durch Herabfallen von Teilen beim Transport und Aufstellen der Zelle: Beim Kranen oder Gabelstaplertransport von Zellenkomponenten (Schutzzaun-Segmente, Schaltschrank, Roboter-Grundgestell) können Teile durch Anschlagfehler oder Lastpendelung herabfallen und Personen treffen.

Teilmaschine: Gesamtanlage (Transport / Aufstellung) · auch in: Montage · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Alle Zellenkomponenten (Schutzzaun-Segmente, Schaltschrank, Roboter-Grundgestell) erhalten konstruktiv fest integrierte, normgerecht ausgelegte Anschlagpunkte (z.B. Ringschrauben nach DIN 580 oder Ringmuttern nach DIN 582) mit eindeutig gekennzeichneter zulässiger Traglast (WLL) je Anschlagpunkt. Der Schwerpunkt jeder Komponente wird konstruktiv so gelegt oder durch Kennzeichnung am Bauteil dokumentiert, dass ein stabiler, pendelfreier Anschlag mit einem Neigungswinkel der Anschlagmittel von höchstens 60 Grad zur Vertikalen (β ≤ 60°) eingehalten werden kann (Auslegung nach DGUV Regel 109-017 als Planungsgrundlage). Damit wird die Wahrscheinlichkeit eines Anschlagfehlers durch die Konstruktion selbst reduziert.
Stufe 2 · Technisch	Restrisiko durch Lastpendelung und Personenaufenthalt im Gefahrenbereich: (1) Technische Transportdokumentation: Für jede Komponente ist ein Anschlagplan (Zeichnung mit Anschlagpunkten, Schwerpunktlage, Anschlagmittelauswahl und WLL) als Teil der Montageunterlagen bereitzustellen ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4.2, Angaben zu Transport und Handhabung). (2) Absperrung des Gefahrenbereichs: Während aller Kranhübe ist der Bereich unterhalb und seitlich der Last durch physische Absperrung (Absperrband, Absperrgitter) zu sichern, sodass kein unbeabsichtigter Personenzutritt möglich ist. (3) Anschlagmittel: Auswahl und Einsatz geprüfter Anschlagmittel (Ketten, Hebebänder, Schäkel) mit ausreichender WLL und gültigem Prüfnachweis gemäß Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV). Eine Sicherheitsfunktion im Sinne von EN ISO 13849-1 ist für diese Transportphase nicht anwendbar; ein PLr ist nicht zuzuordnen.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4.2): (1) Anschlagpläne mit Anschlagpunkten, Schwerpunktlage und WLL je Komponente in Kapitel 5.2 und 5.3 aufnehmen. (2) Qualifikationsanforderung: Kranarbeiten und Anschlagen von Lasten dürfen nur durch unterwiesene und beauftragte Anschläger (Qualifikation nach DGUV Information 209-013) durchgeführt werden. (3) Warnkennzeichnung an jeder Komponente: Warnung vor schwebender Last (W015 nach EN ISO 7010:2020), Angabe der Masse und der WLL je Anschlagpunkt direkt am Bauteil. (4) PSA-Angabe: Schutzhelm, Sicherheitsschuhe (S3) und Warnweste sind während aller Transportvorgänge Pflicht. (5) Hinweis: Aufenthalt unter schwebenden Lasten ist verboten.

Risiko nachher: S 5 · W 1 · **RZ 5 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 5 (S 5, W 1) beim Transport und Aufstellen. Die Schwere bleibt bei 5, weil Baugruppen bis rund 1.900 kg (Wendetisch) gehoben werden. Nach Stufe 1 tragen alle Transporteinheiten fest integrierte, gekennzeichnete Anschlagpunkte mit zulässiger Traglast und dokumentierter Schwerpunktlage für einen Anschlag mit höchstens 60 Grad zur Vertikalen. Hebezeug, Stapler und Anschlagmittel sind nicht Teil der Maschine; auf den Hebevorgang selbst wirkt der Hersteller nur über Anschlagpunkte, Anschlagplan und Kennzeichnung ein, und diese Mittel sind umgesetzt (Stufe 2: Anschlagplan je Komponente, Absperrung des Gefahrenbereichs, Vorgabe geprüfter Anschlagmittel nach BetrSichV). Eine weitere Maßnahme der Stufe 1 oder 2 an der Maschine, die Anschlagfehler oder Pendeln beim Kranen verhindert, ist nicht erkennbar. Verbleibend sind Fehler beim Anschlagen und der Aufenthalt unter der Last. Massen, Anschlagpunkte, das Verbot des Aufenthalts unter schwebender Last und die PSA stehen in der Betriebsanleitung (Kap. 5) und an den Bauteilen (Zeichen W015, Kap. 2.4).

Montage (3 Gefährdungen)

Nr. 28 Mechanisch

Risiko vorher: S 5 · W 2 · **RZ 10**

Gefährdung durch Herabfallen von Teilen beim Transport und Aufstellen der Zelle: Beim Kranen oder Gabelstaplertransport von Zellenkomponenten (Schutzzaun-Segmente, Schaltschrank, Roboter-Grundgestell) können Teile durch Anschlagfehler oder Lastpendelung herabfallen und Personen treffen.

Teilmaschine: Gesamtanlage (Transport / Aufstellung) · auch in: Transport · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Alle Zellenkomponenten (Schutzzaun-Segmente, Schaltschrank, Roboter-Grundgestell) erhalten konstruktiv fest integrierte, normgerecht ausgelegte Anschlagpunkte (z.B. Ringschrauben nach DIN 580 oder Ringmuttern nach DIN 582) mit eindeutig gekennzeichneter zulässiger Traglast (WLL) je Anschlagpunkt. Der Schwerpunkt jeder Komponente wird konstruktiv so gelegt oder durch Kennzeichnung am Bauteil dokumentiert, dass ein stabiler, pendelfreier Anschlag mit einem Neigungswinkel der Anschlagmittel von höchstens 60 Grad zur Vertikalen (β ≤ 60°) eingehalten werden kann (Auslegung nach DGUV Regel 109-017 als Planungsgrundlage). Damit wird die Wahrscheinlichkeit eines Anschlagfehlers durch die Konstruktion selbst reduziert.
Stufe 2 · Technisch	Restrisiko durch Lastpendelung und Personenaufenthalt im Gefahrenbereich: (1) Technische Transportdokumentation: Für jede Komponente ist ein Anschlagplan (Zeichnung mit Anschlagpunkten, Schwerpunktlage, Anschlagmittelauswahl und WLL) als Teil der Montageunterlagen bereitzustellen ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4.2, Angaben zu Transport und Handhabung). (2) Absperrung des Gefahrenbereichs: Während aller Kranhübe ist der Bereich unterhalb und seitlich der Last durch physische Absperrung (Absperrband, Absperrgitter) zu sichern, sodass kein unbeabsichtigter Personenzutritt möglich ist. (3) Anschlagmittel: Auswahl und Einsatz geprüfter Anschlagmittel (Ketten, Hebebänder, Schäkel) mit ausreichender WLL und gültigem Prüfnachweis gemäß Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV). Eine Sicherheitsfunktion im Sinne von EN ISO 13849-1 ist für diese Transportphase nicht anwendbar; ein PLr ist nicht zuzuordnen.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4.2): (1) Anschlagpläne mit Anschlagpunkten, Schwerpunktlage und WLL je Komponente in Kapitel 5.2 und 5.3 aufnehmen. (2) Qualifikationsanforderung: Kranarbeiten und Anschlagen von Lasten dürfen nur durch unterwiesene und beauftragte Anschläger (Qualifikation nach DGUV Information 209-013) durchgeführt werden. (3) Warnkennzeichnung an jeder Komponente: Warnung vor schwebender Last (W015 nach EN ISO 7010:2020), Angabe der Masse und der WLL je Anschlagpunkt direkt am Bauteil. (4) PSA-Angabe: Schutzhelm, Sicherheitsschuhe (S3) und Warnweste sind während aller Transportvorgänge Pflicht. (5) Hinweis: Aufenthalt unter schwebenden Lasten ist verboten.

Risiko nachher: S 5 · W 1 · **RZ 5 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 5 (S 5, W 1) beim Transport und Aufstellen. Die Schwere bleibt bei 5, weil Baugruppen bis rund 1.900 kg (Wendetisch) gehoben werden. Nach Stufe 1 tragen alle Transporteinheiten fest integrierte, gekennzeichnete Anschlagpunkte mit zulässiger Traglast und dokumentierter Schwerpunktlage für einen Anschlag mit höchstens 60 Grad zur Vertikalen. Hebezeug, Stapler und Anschlagmittel sind nicht Teil der Maschine; auf den Hebevorgang selbst wirkt der Hersteller nur über Anschlagpunkte, Anschlagplan und Kennzeichnung ein, und diese Mittel sind umgesetzt (Stufe 2: Anschlagplan je Komponente, Absperrung des Gefahrenbereichs, Vorgabe geprüfter Anschlagmittel nach BetrSichV). Eine weitere Maßnahme der Stufe 1 oder 2 an der Maschine, die Anschlagfehler oder Pendeln beim Kranen verhindert, ist nicht erkennbar. Verbleibend sind Fehler beim Anschlagen und der Aufenthalt unter der Last. Massen, Anschlagpunkte, das Verbot des Aufenthalts unter schwebender Last und die PSA stehen in der Betriebsanleitung (Kap. 5) und an den Bauteilen (Zeichen W015, Kap. 2.4).

Nr. 29 Mechanisch

Risiko vorher: S 4 · W 2 · **RZ 8**

Gefährdung durch unzureichende Standsicherheit der Zelle bei der Aufstellung: Wird die Zelle auf unebenem oder nicht tragfähigem Boden aufgestellt oder werden die Schwerlastanker nicht vorschriftsmäßig gesetzt und angezogen, kann die Anlage kippen oder sich verschieben; Personen in der Nähe werden getroffen.

Teilmaschine: Gesamtanlage (Aufstellung) · auch in: Inbetriebnahme · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Konstruktive Sicherstellung der Standsicherheit durch ein ausreichend dimensioniertes, verwindungssteifes Grundgestell (Schweißrahmenkonstruktion oder Profilstahlrahmen) mit breiter Standfläche und niedrigem Schwerpunkt nach EN ISO 12100:2010 Abschnitt 6.2.6 (Standsicherheit). Befestigungsbohrungen im Grundrahmen für die Bodenverankerung mit 2 × 4 Schwerlastankern M16 vorsehen, sodass eine Verankerung ohne Nacharbeit möglich ist; die Verankerung ist so ausgeführt, dass ein selbsttätiges Lösen ausgeschlossen und ein Lösen nur mit Werkzeug möglich ist. Schwerpunktlage und Kippsicherheit sind im Rahmen der Konstruktion rechnerisch nachzuweisen (Standsicherheitsnachweis nach EN ISO 12100:2010 Abschnitt 6.2.6).
Stufe 2 · Technisch	(1) Bereitstellung eines maschinenspezifischen Aufstellplans (Maßblatt mit Mindestbodenbelastbarkeit 10 kN/m², Ebenheitstoleranz des Untergrunds und Ankerpunktpositionen) als Teil der Lieferdokumentation, der vor Beginn der Montage vom Betreiber freizugeben ist. (2) Kennzeichnung der Ankerpunkte am Grundrahmen durch dauerhafte Markierungen (Pfeil oder Beschriftung), sodass Montagepersonal die Positionen eindeutig identifiziert. (3) Für den Montagezustand vor dem Setzen der Anker: Nachweis der Standsicherheit ohne Verankerung (Kippsicherheitsnachweis, Verhältnis stabilisierende Momente zu kippenden Momenten mindestens 1,5 als Herstellerfestlegung). Diese Maßnahmen sind keine Sicherheitsfunktionen im Sinne von EN ISO 13849-1 und erfordern keinen PLr.
Stufe 3 · Information	(1) Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Kapitel 7 (Aufstellbedingungen) und Kapitel 8 (Montage und Installation) mit verbindlichen Angaben zu: Mindest-Bodenbelastbarkeit (mindestens 10 kN/m²), geforderter Ebenheit des Untergrunds, Pflicht zur Bodenverankerung mit 2 × 4 Schwerlastankern M16 (Anzugsmoment 110 Nm) mit Angabe des Ankertyps und der Einbautiefe sowie Verweis auf den Aufstellplan. (2) Warnkennzeichnung am Grundrahmen: allgemeines Warnzeichen W001 nach EN ISO 7010:2020 mit Zusatztext 'Kippgefahr vor der Verankerung' an mindestens zwei gegenüberliegenden Seiten des Grundrahmens, sichtbar während der Montage. (3) Qualifikationsanforderung: Aufstellung und Verankerung dürfen nur durch qualifiziertes Fachpersonal (Industriemechaniker oder Monteure mit Erfahrung in der Maschinenaufstellung) durchgeführt werden; Anforderung in der Betriebsanleitung benennen. (4) PSA-Hinweis: Sicherheitsschuhe (EN ISO 20345, Schutzklasse S3) und Schutzhandschuhe während der Montage; Angabe in der Betriebsanleitung.

Risiko nachher: S 4 · W 1 · **RZ 4 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 39 Korrumpierung/Security — Risiko vorher: S 4 · W 2 · **RZ 8**

Anschluss fremder Einrichtungen erzeugt eine gefährliche Situation: Eine angeschlossene Fremdeinrichtung (übergeordnete Liniensteuerung oder MES des Betreibers, Fernwartungs-Gateway, betreiberseitige Signale der Absaugung oder der Gasversorgung) sendet unerwartete Signale, schreibt auf Steuerungsvariablen oder belegt Ressourcen. Die Maschine startet, ändert die Betriebsart oder ignoriert Stopp-Bedingungen, weil Funktionen der Fremdeinrichtung nicht in der Risikobeurteilung berücksichtigt wurden. [MVO (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.1.9 Abs. 1, 1.2.1 lit. h, 1.2.4.4]

Teilmaschine: Schnittstellen zu Fremdeinrichtungen · auch in: Inbetriebnahme, Betrieb

Stufe 1 · Inhärent	Schnittstellen zu Fremdeinrichtungen als definierte Signalschnittstellen mit festgelegter Semantik ausführen (keine Freigabe von Bewegungen allein durch Fremdsignale), sicherheitsrelevante Signale nur über sichere Ein-/Ausgänge, Stopp- und Not-Halt-Kette der Fremdeinrichtung eindeutig zugeordnet.
Stufe 2 · Technisch	Whitelist zugelassener Teilnehmer und Variablen, Plausibilitätsprüfung eingehender Befehle, Verriegelung von Betriebsartenwechseln über Fremdschnittstellen, Diagnose fehlender oder unbekannter Teilnehmer. Nachweis-Referenz Weg B: IEC 62443-3-3 SR 1.2, SR 2.1, SR 3.5, SR 5.2, SR 7.7.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung und Schnittstellenbeschreibung für den Integrator (Signale, Zustände, Anforderungen an die Gesamtheit nach Anhang III Nr. 1.2.4.4), Hinweis, dass der Anschluss nicht freigegebener Einrichtungen eine erneute Risikobeurteilung erfordert.

Risiko nachher: S 4 · W 1 · **RZ 4 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Inbetriebnahme (9 Gefährdungen)

Nr. 12 Elektrisch — Risiko vorher: S 5 · W 2 · **RZ 10**

Gefährdung durch direktes oder indirektes Berühren spannungsführender Teile der Schweißstromquelle, des Roboterschaltschranks und der Zellensteuerung (400 V AC, 32 kVA): Berühren von Klemmen, Leitungen oder Schaltschrankinnenseiten bei geöffnetem Schrank ohne Freischaltung kann zu Stromschlag mit Herzflimmern oder Verbrennungen führen.

Teilmaschine: Elektrische Anlage (Schaltschrank / Schweißstromquelle) · auch in: Wartung, Fehlersuche · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Alle spannungsführenden Teile im Schaltschrankinneren (Klemmen, Sammelschienen, Leistungsklemmen der Schweißstromquelle) werden mit berührungssicheren Abdeckungen (Schutzgrad mindestens IP 2X bzw. IPXXB nach EN 60204-1:2018 Abschnitt 6.2.2) ausgeführt, sodass das Berühren aktiver Teile durch die Schutzform selbst verhindert wird, ohne dass eine Schutzeinrichtung erforderlich ist. Zusätzlich werden Mindestabstände zwischen spannungsführenden und berührbaren Teilen so ausgelegt, dass der Schutzgrad IP 2X auch bei geöffneter Schranktür gewahrt bleibt (Abdeckkappen, Isolierstoffabdeckungen auf Klemmenreihen). Dies adressiert (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.5.1 (Elektrische Energieversorgung) sinngemäß sowie EN 60204-1:2018 Abschnitt 6.2.
Stufe 2 · Technisch	1. Freischaltung und Energielosigkeit (LOTO): Hauptschalter mit abschließbarer Nullstellung nach EN 60204-1:2018 Abschnitt 5.3 und EN ISO 14118:2018 (Vermeidung von unerwartetem Anlauf / Energietrennung). Der Hauptschalter muss als Trenneinrichtung die gesamte Anlage allpolig vom Netz trennen; Restspannung an Kondensatoren der Schweißstromquelle ist durch Entladezeit oder aktive Entladeschaltung auf unter 60 V DC innerhalb von 5 s zu begrenzen; wo das nicht erreicht wird, steht am Gehäuse ein Warnhinweis mit der Entladezeit (EN 60204-1:2018 Abschnitt 6.2.4). Verriegelung der Schranktür: Schranktüren der Hauptschaltschränke erhalten einen Verschluss, der sich nur mit Schlüssel öffnen lässt und das unbefugte Öffnen verhindert (EN 60204-1:2018 Abschnitt 6.2.2). 2. Schutzpotenzialausgleich und Schutzleiter: Alle Schaltschrankgehäuse, Schweißstromquelle und Roboterschaltschrank werden über einen durchgehenden Schutzleiter (PE) mit ausreichendem Querschnitt verbunden (EN 60204-1:2018 Abschnitt 8.2), sodass bei einem Isolationsfehler der Fehlerstrom sicher abgeleitet und die Schutzeinrichtung (Leitungsschutzschalter / FI-Schutzschalter) auslöst. 3. Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD): Einsatz eines RCD (Typ B, da Gleichfehlerströme aus Frequenzumrichtern und Schweißstromquelle möglich) mit einem Bemessungsdifferenzstrom von 30 mA für Stromkreise, an denen Personen tätig sind; in Stromkreisen, in denen ein RCD mit dem Schweißprozess nicht vereinbar ist, stattdessen Isolationsüberwachung (EN 60204-1:2018 Abschnitte 6.3.3 und 7.7). Keine Sicherheitsfunktion mit PLr-Anforderung; die Maßnahmen wirken passiv-konstruktiv (Warnkennzeichnung siehe Stufe 3).
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Freischaltprozedur (LOTO) mit Schritt-für-Schritt-Anweisung dokumentieren, einschließlich Entladezeit der Kondensatoren der Schweißstromquelle und Prüfung auf Spannungsfreiheit mit geeignetem Messgerät (Spannungsprüfer Kategorie CAT III 600 V). Qualifikationsanforderung: Arbeiten an der elektrischen Anlage dürfen ausschließlich durch Elektrofachkräfte (EFK) gemäß DGUV Vorschrift 3 oder unter Aufsicht einer EFK durch elektrotechnisch unterwiesene Personen durchgeführt werden. PSA-Angabe: Isolierende Handschuhe (nach EN 60903, Klasse 00 für Spannungen bis 500 V AC), Schutzbrille (Lichtbogenschutz) und elektrisch isolierendes Schuhwerk sind bei Arbeiten im geöffneten Schrank zu tragen. Warnkennzeichnung: Warnzeichen W012 'Warnung vor elektrischer Spannung' nach EN ISO 7010:2020 dauerhaft und gut sichtbar an allen Schranktüren und an der Schweißstromquelle anbringen. Restrisiko-Hinweis in der Betriebsanleitung: Nach Betätigung des Hauptschalters können Kondensatoren in der Schweißstromquelle und im Frequenzumrichter des Roboters noch gefährliche Spannungen führen (Wartezeit bei der Schweißstromquelle mindestens 1 Minute, beim Roboterantrieb nach Angabe des Roboterherstellers); Spannungsfreiheit ist stets messtechnisch zu prüfen.

Risiko nachher: S 5 · W 1 · **RZ 5 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 5 (S 5, W 1) durch elektrische Spannung 400 V AC. Nach Stufe 1 sind die aktiven Teile fingersicher abgedeckt (IP 2X nach EN 60204-1:2018 Abschnitt 6.2.2), auch bei geöffneter Schranktür. Nach Stufe 2 trennt der abschließbare Hauptschalter allpolig, die Schranktüren lassen sich nur mit Schlüssel öffnen, der Zwischenkreis der Schweißstromquelle entlädt gemessen in 1,9 s auf höchstens 60 V, Schutzleiter (0,08 Ω), Fehlerschleifenimpedanz (0,28 Ω) und Isolationswiderstand (> 100 MΩ) sind geprüft, und der Fehlerschutz erfolgt über RCD Typ B oder Isolationsüberwachung. Verbleibend ist die Tätigkeit der Elektrofachkraft, die bei Inbetriebnahme und Fehlersuche am geöffneten Schrank unter Spannung messen muss. Diese Messungen sind ohne Spannung nicht durchführbar; für diese Lebensphasen ist deshalb keine weitere Maßnahme der Stufe 1 oder 2 praktikabel, und die Schwere bleibt bei 5. Freischaltverfahren mit Prüfung auf Spannungsfreiheit, Qualifikation als Elektrofachkraft, isolierende PSA und das Zeichen W012 stehen in der Betriebsanleitung (Kap. 2.4, 2.6, 8.1 und 10).

Nr. 29 Mechanisch — Risiko vorher: S 4 · W 2 · **RZ 8**

Gefährdung durch unzureichende Standsicherheit der Zelle bei der Aufstellung: Wird die Zelle auf unebenem oder nicht tragfähigem Boden aufgestellt oder werden die Schwerlastanker nicht vorschriftsmäßig gesetzt und angezogen, kann die Anlage kippen oder sich verschieben; Personen in der Nähe werden getroffen.

Teilmaschine: Gesamtanlage (Aufstellung) · auch in: Montage · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Konstruktive Sicherstellung der Standsicherheit durch ein ausreichend dimensioniertes, verwindungssteifes Grundgestell (Schweißrahmenkonstruktion oder Profilstahlrahmen) mit breiter Standfläche und niedrigem Schwerpunkt nach EN ISO 12100:2010 Abschnitt 6.2.6 (Standsicherheit). Befestigungsbohrungen im Grundrahmen für die Bodenverankerung mit 2 × 4 Schwerlastankern M16 vorsehen, sodass eine Verankerung ohne Nacharbeit möglich ist; die Verankerung ist so ausgeführt, dass ein selbsttätiges Lösen ausgeschlossen und ein Lösen nur mit Werkzeug möglich ist. Schwerpunktlage und Kippsicherheit sind im Rahmen der Konstruktion rechnerisch nachzuweisen (Standsicherheitsnachweis nach EN ISO 12100:2010 Abschnitt 6.2.6).
Stufe 2 · Technisch	(1) Bereitstellung eines maschinenspezifischen Aufstellplans (Maßblatt mit Mindestbodenbelastbarkeit 10 kN/m², Ebenheitstoleranz des Untergrunds und Ankerpunktpositionen) als Teil der Lieferdokumentation, der vor Beginn der Montage vom Betreiber freizugeben ist. (2) Kennzeichnung der Ankerpunkte am Grundrahmen durch dauerhafte Markierungen (Pfeil oder Beschriftung), sodass Montagepersonal die Positionen eindeutig identifiziert. (3) Für den Montagezustand vor dem Setzen der Anker: Nachweis der Standsicherheit ohne Verankerung (Kippsicherheitsnachweis, Verhältnis stabilisierende Momente zu kippenden Momenten mindestens 1,5 als Herstellerfestlegung). Diese Maßnahmen sind keine Sicherheitsfunktionen im Sinne von EN ISO 13849-1 und erfordern keinen PLr.
Stufe 3 · Information	(1) Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Kapitel 7 (Aufstellbedingungen) und Kapitel 8 (Montage und Installation) mit verbindlichen Angaben zu: Mindest-Bodenbelastbarkeit (mindestens 10 kN/m²), geforderter Ebenheit des Untergrunds, Pflicht zur Bodenverankerung mit 2 × 4 Schwerlastankern M16 (Anzugsmoment 110 Nm) mit Angabe des Ankertyps und der Einbautiefe sowie Verweis auf den Aufstellplan. (2) Warnkennzeichnung am Grundrahmen: allgemeines Warnzeichen W001 nach EN ISO 7010:2020 mit Zusatztext 'Kippgefahr vor der Verankerung' an mindestens zwei gegenüberliegenden Seiten des Grundrahmens, sichtbar während der Montage. (3) Qualifikationsanforderung: Aufstellung und Verankerung dürfen nur durch qualifiziertes Fachpersonal (Industriemechaniker oder Monteure mit Erfahrung in der Maschinenaufstellung) durchgeführt werden; Anforderung in der Betriebsanleitung benennen. (4) PSA-Hinweis: Sicherheitsschuhe (EN ISO 20345, Schutzklasse S3) und Schutzhandschuhe während der Montage; Angabe in der Betriebsanleitung.

Risiko nachher: S 4 · W 1 · **RZ 4 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 30 Kombination — Risiko vorher: S 5 · W 2 · **RZ 10**

Gefährdung durch Fehlparametrierung der Robotersteuerung oder der Sicherheitssteuerung (z.B. falsche Sicherheitsabstände, falsche Geschwindigkeitsgrenzen im Einrichtbetrieb, falsche Zonenfreigaben): Fehlerhafte Parameter können dazu führen, dass Sicherheitsfunktionen nicht wie vorgesehen wirken und Personen durch Roboterbewegungen oder Wendetisch-Bewegungen gefährdet werden.

Teilmaschine: Gesamtanlage (Steuerung / Sicherheitssteuerung) · auch in: Einrichten, Wartung · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Sicherheitsrelevante Parameter (Geschwindigkeitsgrenzen, Schutzzonen, Zonenfreigaben) werden ausschließlich in der Sicherheitssteuerung (Sicherheits-SPS) hinterlegt und dort durch ein passwortgeschütztes, rollenbasiertes Zugriffskonzept gegen unbefugte oder versehentliche Änderung gesichert. Parametersätze für die Sicherheitsfunktionen SF-01 bis SF-05 werden als unveränderliche, checksummengesicherte Datensätze (z.B. CRC-32 oder gleichwertig) in der Sicherheitssteuerung abgelegt, sodass jede unbeabsichtigte Änderung beim Systemstart automatisch erkannt und ein sicherer Zustand erzwungen wird. Dieses Prinzip entspricht dem inhärent sicheren Steuerungsprinzip nach EN ISO 12100 Abschnitt 6.2.11 (Steuerungsprinzipien, die das Auftreten von Gefährdungen begrenzen) und reduziert die Möglichkeit, dass fehlerhafte Parameter überhaupt wirksam werden.
Stufe 2 · Technisch	1. Validierungspflicht vor Freigabe: Jede Änderung sicherheitsrelevanter Parameter erfordert eine dokumentierte Abnahmeprüfung (Funktionstest aller betroffener Sicherheitsfunktionen SF-01 bis SF-05) durch zwei autorisierte Personen (Vier-Augen-Prinzip) vor der Wiederinbetriebnahme. Die Sicherheitssteuerung darf den Automatikbetrieb erst nach positiver Quittierung freigeben. Grundlage: EN ISO 13849-2:2012 (Validierung von Sicherheitsfunktionen) sowie EN ISO 11161:2007+A1:2010 (Verifizierung und Validierung bei integrierten Fertigungssystemen). 2. Parameterverifikation durch die Sicherheitssteuerung: Die Sicherheitssteuerung (PLr e für SF-02 und SF-04, PLr d für SF-01, SF-03 und SF-05 nach EN ISO 13849-1:2023) prüft beim Hochlauf und zyklisch die Konsistenz der sicherheitsrelevanten Parameter gegen hinterlegte Referenzwerte (Checksummenvergleich). Bei Abweichung wird Stopp-Kategorie 1 nach EN 60204-1:2018 ausgelöst und ein Wiederanlauf gesperrt (kein automatischer Wiederanlauf nach EN ISO 14118:2018). 3. Einrichtbetrieb SF-05: Die sicher reduzierte Geschwindigkeit von 250 mm/s (SF-05, PLr d) wird hardwareseitig in der Sicherheitssteuerung begrenzt und ist nicht durch Parameter der Robotersteuerung überschreibbar. Die Überwachung erfolgt durch eine SRP/CS nach EN ISO 13849-1:2023, Kategorie und PL gemäß SF-05 (PLr d). 4. Zonenfreigabe Wendetisch SF-04: Die Freigabe der 180-Grad-Schwenkbewegung (SF-04, PLr e) erfolgt ausschließlich über die Sicherheitssteuerung auf Basis verifizierter Sensorsignale; eine Freigabe durch fehlerhafte Zonenparameter in der Robotersteuerung allein ist konstruktiv ausgeschlossen. 5. Änderungsmanagement: Alle Parameteränderungen werden mit Zeitstempel, Benutzerkennung und Vorgänger-/Nachfolger-Wert in einem manipulationssicheren Änderungsprotokoll (Audit-Trail) der Sicherheitssteuerung gespeichert. Grundlage: EN ISO 11161:2007+A1:2010.
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Beschreibung des Parameteränderungsverfahrens mit Schritt-für-Schritt-Anleitung, Auflistung aller sicherheitsrelevanten Parameter je Sicherheitsfunktion (SF-01 bis SF-05), Pflicht zur Validierungsprüfung nach jeder Änderung und Dokumentationspflicht im Änderungsprotokoll. 2. Qualifikationsanforderung: Parameteränderungen an der Sicherheitssteuerung dürfen ausschließlich von Fachpersonal mit nachgewiesener Qualifikation in funktionaler Sicherheit (z.B. TÜV-Zertifizierung Functional Safety Engineer oder gleichwertig) und Kenntnis der Anlage durchgeführt werden. Dies ist in der Betriebsanleitung und in einer Betriebsanweisung festzuhalten. 3. Warnkennzeichnung: An der Sicherheitssteuerung und am Schaltschrank ist das Warnzeichen 'Warnung vor elektrischer Spannung' (W012 nach EN ISO 7010:2020) sowie das Verbotszeichen 'Zutritt für Unbefugte verboten' (D-P006 nach ASR A1.3) anzubringen. Zusätzlich Hinweisschild: 'Parameteränderungen nur durch autorisiertes Fachpersonal, anschließend Validierungsprüfung erforderlich'. 4. Inbetriebnahme-Checkliste: Vor jeder Erstinbetriebnahme und nach jeder Parameteränderung ist eine anlagenspezifische Inbetriebnahme-Checkliste abzuarbeiten und zu unterzeichnen (Grundlage: EN ISO 11161:2007+A1:2010).

Risiko nachher: S 5 · W 1 · **RZ 5 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 5 (S 5, W 1) durch Fehlparametrierung. Nach Stufe 1 liegen die sicherheitsrelevanten Parameter nur in der Sicherheits-SPS, geschützt durch ein rollenbasiertes Zugriffskonzept und prüfsummengesicherte Parametersätze. Nach Stufe 2 prüft die Sicherheits-SPS die Parameter beim Hochlauf und zyklisch gegen die Referenz und löst bei Abweichung einen Stopp mit Wiederanlaufsperre aus, die Geschwindigkeitsgrenze von SF-05 ist über die Robotersteuerung nicht überschreibbar, die Schwenkfreigabe SF-04 kommt nur aus der Sicherheits-SPS, und jede Änderung wird protokolliert und vor der Freigabe im Vier-Augen-Prinzip nach EN ISO 13849-2:2012 validiert. Verbleibend ist ein Parameter, der von befugtem Personal fachlich falsch festgelegt und bei der Validierung nicht erkannt wird. Die Parameter müssen für Inbetriebnahme, Umbauten und neue Spannvorrichtungen änderbar bleiben; eine Maßnahme, die einen fachlich falschen, aber ordnungsgemäß eingegebenen und validierten Wert erkennt, ist nach dem Stand der Technik nicht verfügbar. Änderungsverfahren, Qualifikation, Inbetriebnahme-Checkliste und das Textschild zur Validierungspflicht am Schaltschrank: Betriebsanleitung Kap. 2.4 und 2.6.

Nr. 31 Kombination — Risiko vorher: S 5 · W 2 · **RZ 10**

Gefährdung durch unterschiedliche Sicherheitsniveaus der Teilmaschinen verschiedener Hersteller (Roboter, Schweißstromquelle, Wendetisch, Absaugung): Fehlende oder unvollständige Schnittstellenverriegelung zwischen den Teilmaschinen kann dazu führen, dass eine Teilmaschine anläuft, obwohl eine andere sich in einem unsicheren Zustand befindet (EN ISO 11161).

Teilmaschine: Gesamtanlage (Systemintegration) · auch in: Betrieb, Fehlersuche · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Systemarchitektur mit einer einzigen, übergeordneten Sicherheitssteuerung (Safety-Master) als inhärent sicheres Steuerungsprinzip nach EN ISO 12100 Abschnitt 6.2.11: Alle sicherheitsrelevanten Zustandssignale der Teilmaschinen (Roboter-Betriebsart, Wendetisch-Endlage, Absaugung-Betrieb, Schweißstromquelle-Bereit) werden ausschließlich über den Safety-Master geführt. Kein Teilmaschinen-Antrieb erhält eine Freigabe, ohne dass der Safety-Master den Gesamtzustand als sicher bewertet hat. Durch diese Zentralisierung wird die Möglichkeit einer unvollständigen Schnittstellenverriegelung konstruktiv auf ein Minimum reduziert: Es gibt keine parallelen, voneinander unabhängigen Freigabepfade zwischen den Teilmaschinen. Die Schnittstellendefinition erfolgt nach EN ISO 11161:2007+A1:2010 (Systemintegration, Verantwortlichkeiten, Schnittstellenbeschreibung) und wird im Sicherheitskonzept der Gesamtanlage dokumentiert.
Stufe 2 · Technisch	1. Verriegelungsmatrix nach EN ISO 11161:2007+A1:2010: Für jede Teilmaschinen-Kombination wird eine vollständige Zustandsmatrix (Betriebsart x Zustand der anderen Teilmaschinen) erstellt und in der Sicherheitssteuerung implementiert. Jede Freigabe ist als UND-Verknüpfung aller relevanten Sicherheitszustände ausgeführt. 2. Sicherheitsfunktion SF-04 (Freigabe der 180-Grad-Schwenkbewegung des Wendetisches nur bei freiem Schwenkbereich, PLr e) stellt sicher, dass der Wendetisch nur schwenkt, wenn das Schutzfeld des Lichtvorhangs frei ist, die Spanner gespannt sind und der Roboter nachweislich außerhalb des Schwenkbereichs steht. Die Sicherheitsfunktion wird nach EN ISO 13849-1:2023 auf PLr e ausgelegt und nach EN ISO 13849-2:2012 validiert. 3. Sicherheitsfunktion SF-01 (Sicheres Stillsetzen beim Öffnen der Wartungstür, Stopp-Kategorie 1, PLr d) und SF-02 (Sicheres Stillsetzen bei Unterbrechung des Lichtvorhangs, PLr e) werden gesamtanlagenweit koordiniert: Ein Stopp-Signal einer Teilmaschine löst über den Safety-Master den koordinierten Stopp aller Teilmaschinen aus. Für Roboter und Wendetisch gilt Stopp-Kategorie 1 nach EN 60204-1:2018 Abschnitt 9.2.2. 4. Not-Halt der Gesamtanlage (SF-03, Stopp-Kategorie 1, PLr d) nach EN ISO 13850:2015 wirkt auf alle Teilmaschinen gleichzeitig über den Safety-Master. Not-Halt-Befehlsgeräte sind am Bedienpult, an der Wartungstür und am Teach-Pendant angeordnet. 5. Wiederanlaufsperre nach EN ISO 14118:2018: Nach jedem Stopp (Not-Halt, Schutzeinrichtungsauslösung, Energieunterbrechung) ist ein bewusster Wiederanlaufbefehl erforderlich; automatischer Wiederanlauf ist ausgeschlossen. 6. Einrichtbetrieb mit sicher reduzierter Geschwindigkeit (SF-05, 250 mm/s, PLr d) und Zustimmeinrichtung nach EN ISO 10218-2:2025 Abschnitt 5.7.7; Roboter und Wendetisch bewegen sich in diesem Modus nur mit betätigter Zustimmeinrichtung und sicher reduzierter Geschwindigkeit, die Schweißstromquelle wird bei geöffneter Wartungstür über SF-01 sicher abgeschaltet.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung der Gesamtanlage nach (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4: Die Schnittstellenverriegelungslogik (Zustandsmatrix, Freigabebedingungen je Teilmaschine) ist vollständig zu dokumentieren. Für jede Teilmaschine ist der Übergabepunkt der Sicherheitsverantwortung (Hersteller der Teilmaschine bis Schnittstelle, Integrator ab Schnittstelle) gemäß EN ISO 11161:2007+A1:2010 im Sicherheitskonzept der Gesamtanlage schriftlich festgelegt und in der Betriebsanleitung auszuweisen. Qualifikationsanforderung: Inbetriebnahme, Parametrierung und Änderungen an der Sicherheitssteuerung dürfen ausschließlich durch qualifiziertes Fachpersonal mit Kenntnissen in EN ISO 13849-1:2023 und EN ISO 11161 durchgeführt werden. Warnkennzeichnung am Bedienpult: Warnung vor automatischem Anlauf (W018 nach EN ISO 7010:2020). Betriebsanleitung muss Verfahren für Fehlersuche und Inbetriebnahme beschreiben, einschließlich der Reihenfolge, in der Teilmaschinen in Betrieb genommen werden dürfen, und der Prüfschritte zur Verifikation der Schnittstellenverriegelung vor dem ersten Automatikbetrieb.

Risiko nachher: S 5 · W 1 · **RZ 5 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 5 (S 5, W 1) an den Schnittstellen der Teilmaschinen verschiedener Hersteller. Roboter (unvollständige Maschine mit Einbauerklärung), Schweißstromquelle und Absaugung bringen eigene Steuerungen mit, ihre Integration verlangt eine übergeordnete Logik. Nach Stufe 1 laufen alle sicherheitsrelevanten Zustände über eine einzige Sicherheits-SPS ohne parallele Freigabepfade. Nach Stufe 2 ist eine Verriegelungsmatrix aller Betriebsarten und Zustände als UND-Verknüpfung umgesetzt, SF-01 bis SF-05 wirken gesamtanlagenweit, jeder Stopp führt zum koordinierten Stopp aller Teilmaschinen, und die Validierung erfolgt nach EN ISO 13849-2:2012 und EN ISO 11161:2007+A1:2010. Verbleibend ist ein systematischer Fehler in der Spezifikation der Matrix, der bei der Validierung unentdeckt bleibt. Die interne Sicherheit der zugekauften Teilmaschinen liegt beim jeweiligen Hersteller; an den Schnittstellen, für die der Hersteller der Gesamtheit verantwortlich ist, ist keine weitere Maßnahme der Stufe 1 oder 2 erkennbar, die über die zentrale Verriegelung und ihre Validierung hinausgeht. Übergabepunkte der Verantwortung, Inbetriebnahmereihenfolge und Prüfschritte der Schnittstellenverriegelung: Betriebsanleitung Kap. 1.1, 2.6 und 8.3.

Nr. 37 Korrumpierung/Security — Risiko vorher: S 4 · W 3 · **RZ 12**

Unbeabsichtigte Korrumpierung durch Fehlkonfiguration oder Bedienfehler: Falsche Rezept- oder Parameterdatei geladen, Rollen und Passwörter nicht eingerichtet (Standardpasswort aktiv), Konfiguration nach Störung unvollständig wiederhergestellt. Sicherheitsrelevante Einstellungen weichen unbemerkt von der freigegebenen Konfiguration ab. [MVO (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.1.9 Abs. 3, 1.2.1 lit. b, 1.2.1 lit. d, 1.2.1 lit. e]

Teilmaschine: HMI / Parametrierung · auch in: Einrichten, Betrieb

Stufe 1 · Inhärent	Sicherheitsrelevante Einstellungen von Prozessrezepten trennen, sodass ein Rezeptwechsel sie nicht verändern kann; Wertebereiche in der Sicherheitssteuerung hart begrenzen (Grenzen aus der Risikobeurteilung, Anhang III Nr. 1.2.1 lit. d).
Stufe 2 · Technisch	Erzwungener Passwortwechsel bei Inbetriebnahme, Rollenmodell mit Vier-Augen-Freigabe für sicherheitsrelevante Änderungen, Vergleich der aktiven Konfiguration mit der freigegebenen Referenz (Prüfsumme) beim Hochlauf mit Anzeige der Abweichung, Änderungsprotokoll. Nachweis-Referenz Weg B: IEC 62443-3-3 SR 1.5, SR 2.1, SR 3.4, SR 7.6.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung: Inbetriebnahme-Checkliste (Passwörter, Rollen, Referenzkonfiguration sichern), Beschreibung der als sicherheitsrelevant benannten Daten, Anweisung zur Funktionsprüfung nach Konfigurationsänderungen.

Risiko nachher: S 4 · W 1 · **RZ 4 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 38 Korrumpierung/Security — Risiko vorher: S 4 · W 3 · **RZ 12**

Ausfall oder Störung der Kommunikationsnetzverbindung: Netzwerkausfall, Überlast (Broadcast-Sturm, Denial of Service), Kabelbruch oder Wechsel des Netzsegments unterbricht die Kommunikation zwischen Steuerungskomponenten oder zur sicherheitsgerichteten Kommunikation (PROFIsafe). Bei Wiederherstellung kommt es zu unerwartetem Anlauf oder zur unkontrollierten Übernahme veralteter Sollwerte. [MVO (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.2.6, 1.2.1 lit. a, 1.2.3]

Teilmaschine: Kommunikationsnetz · auch in: Betrieb

Stufe 1 · Inhärent	Sicherheitsfunktionen so auslegen, dass Kommunikationsverlust in den sicheren Zustand führt (Watchdog, Zeitüberwachung der sicheren Telegramme) und ein Wiederanlauf nur nach bewusster Quittierung erfolgt (Anhang III Nr. 1.2.3). Sicherheitsgerichtete Kommunikation von der Standardkommunikation entkoppeln.
Stufe 2 · Technisch	Netzsegmentierung und Lastbegrenzung (Rate-Limiting, Sturm-Schutz an Switches), Überwachung der Netzqualität mit Diagnosemeldung, definiertes Verhalten bei Verbindungsverlust in allen Betriebsarten getestet und dokumentiert. Nachweis-Referenz Weg B: IEC 62443-3-3 SR 7.1, SR 7.2, SR 5.1, SR 5.2.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung: Anforderungen an das Netz des Betreibers (Segmentierung, zulässige Teilnehmer, keine fremden Geräte im Safety-Segment), Beschreibung des Verhaltens bei Kommunikationsausfall und der Wiederanlaufprozedur.

Risiko nachher: S 4 · W 1 · **RZ 4 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 39 Korrumpierung/Security — Risiko vorher: S 4 · W 2 · **RZ 8**

Anschluss fremder Einrichtungen erzeugt eine gefährliche Situation: Eine angeschlossene Fremdeinrichtung (übergeordnete Liniensteuerung oder MES des Betreibers, Fernwartungs-Gateway, betreiberseitige Signale der Absaugung oder der Gasversorgung) sendet unerwartete Signale, schreibt auf Steuerungsvariablen oder belegt Ressourcen. Die Maschine startet, ändert die Betriebsart oder ignoriert Stopp-Bedingungen, weil Funktionen der Fremdeinrichtung nicht in der Risikobeurteilung berücksichtigt wurden. [MVO (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.1.9 Abs. 1, 1.2.1 lit. h, 1.2.4.4]

Teilmaschine: Schnittstellen zu Fremdeinrichtungen · auch in: Montage, Betrieb

Stufe 1 · Inhärent	Schnittstellen zu Fremdeinrichtungen als definierte Signalschnittstellen mit festgelegter Semantik ausführen (keine Freigabe von Bewegungen allein durch Fremdsignale), sicherheitsrelevante Signale nur über sichere Ein-/Ausgänge, Stopp- und Not-Halt-Kette der Fremdeinrichtung eindeutig zugeordnet.
Stufe 2 · Technisch	Whitelist zugelassener Teilnehmer und Variablen, Plausibilitätsprüfung eingehender Befehle, Verriegelung von Betriebsartenwechseln über Fremdschnittstellen, Diagnose fehlender oder unbekannter Teilnehmer. Nachweis-Referenz Weg B: IEC 62443-3-3 SR 1.2, SR 2.1, SR 3.5, SR 5.2, SR 7.7.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung und Schnittstellenbeschreibung für den Integrator (Signale, Zustände, Anforderungen an die Gesamtheit nach Anhang III Nr. 1.2.4.4), Hinweis, dass der Anschluss nicht freigegebener Einrichtungen eine erneute Risikobeurteilung erfordert.

Risiko nachher: S 4 · W 1 · **RZ 4 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 40 Korrumpierung/Security — Risiko vorher: S 3 · W 3 · **RZ 9**

Sicherheitsrelevante Software nicht identifizierbar oder gekennzeichnet: Versionsstand und Prüfsumme der Sicherheitssoftware sind an der Maschine nicht abrufbar, sicherheitsrelevante Software und Daten sind nicht als solche benannt. Nach einem Eingriff, Update oder Gerätetausch lässt sich nicht feststellen, ob die Maschine noch im geprüften Zustand ist; ein Betrieb mit nicht freigegebener Software bleibt unerkannt. [MVO (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.1.9 Abs. 3, 1.1.9 Abs. 4, 1.7.4.2]

Teilmaschine: Software / Dokumentation · auch in: Wartung, Betrieb

Stufe 1 · Inhärent	Sicherheitsrelevante Software als abgegrenzte Einheit mit eigener Versionsnummer und Prüfsumme gestalten (getrennt von Standard- und Visualisierungssoftware), sodass eine eindeutige Identifikation technisch möglich ist.
Stufe 2 · Technisch	Infoseite am HMI mit Version und Prüfsumme aller sicherheitsrelevanten Softwarekomponenten (jederzeit ohne Anmeldung leicht zugänglich, Anhang III Nr. 1.1.9 Abs. 4), Kennzeichnung sicherheitsrelevanter Daten in Dateinamen, Menüs und Exporten, Abgleich mit dem Abnahmeprotokoll beim Hochlauf. Nachweis-Referenz Weg B: IEC 62443-3-3 SR 3.4.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung: Verzeichnis der sicherheitsrelevanten Software und Daten mit Versionen (Anhang III Nr. 1.7.4.2), Anleitung zum Abruf der Versionsinformation, Hinweis auf die Bedeutung für die Konformität und auf die Meldepflicht bei Abweichungen.

Risiko nachher: S 3 · W 1 · **RZ 3 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 43 Korrumpierung/Security

Risiko vorher: S 5 · W 2 · **RZ 10**

Ungesicherter Engineering-Zugang zur Sicherheitssteuerung: Der Programmierzugang der Sicherheitssteuerung oder der Sicherheits-SPS ist ohne Passwort oder mit Herstellerstandard erreichbar, das Sicherheitsprogramm kann im laufenden Betrieb überschrieben oder in den Stopp-Zustand versetzt werden, Forcen von Ein- und Ausgängen ist möglich. Schutzfunktionen werden unwirksam oder Aktoren direkt angesteuert. [MVO (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.1.9 Abs. 2, 1.1.9 Abs. 3, 1.2.1 lit. a]

Teilmaschine: Sicherheitssteuerung / Engineering · auch in: Wartung, Fehlersuche

Stufe 1 · Inhärent	Programmierzugang der Sicherheitssteuerung physisch getrennt vom Prozessnetz (eigener Port, im verschlossenen Schaltschrank), kein Forcen sicherheitsrelevanter Signale im Serienstand, Programmänderung nur im gesicherten Stopp-Zustand der Maschine.
Stufe 2 · Technisch	Individuelles Passwort für den Sicherheitsprogrammzugang mit Passwortpflicht bei Inbetriebnahme, Schreibschutz und Zugriffsschutzstufen der Steuerung aktiviert, Protokollierung aller Zugriffe und Programmänderungen mit Version und Prüfsumme, Anzeige des Programmzustands am HMI. Nachweis-Referenz Weg B: IEC 62443-3-3 SR 1.1, SR 1.5, SR 2.1, SR 2.8, SR 3.4, SR 7.7.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung: Zugriffsschutz und Passwortverwaltung als Betreiberpflicht, Verbot der Programmänderung ohne erneute Prüfung und Dokumentation, Verweis auf die Anforderungen bei wesentlicher Veränderung.

Risiko nachher: S 5 · W 1 · **RZ 5 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 5 (S 5, W 1) über den Engineering-Zugang der Sicherheitssteuerung. Der Zugang muss für Inbetriebnahme, Wartung und Fehlersuche erhalten bleiben. Nach Stufe 1 liegt der Programmierport getrennt vom Prozessnetz im verschlossenen Schaltschrank, Forcen sicherheitsrelevanter Signale ist im Serienstand ausgeschlossen, und Programmänderungen sind nur im gesicherten Stopp-Zustand zulässig. Nach Stufe 2 sind individuelles Passwort, Schreibschutz und Zugriffsschutzstufen aktiv, jeder Zugriff und jede Programmänderung wird mit Version und Prüfsumme protokolliert, und der Programmzustand ist am HMI-Panel abrufbar (Nachweis nach IEC 62443-3-3 SR 1.1, 1.5, 2.1, 2.8, 3.4 und 7.7). Verbleibend ist der Missbrauch oder Fehler einer Person mit gültigem Passwort und Schrankschlüssel. Eine technische Maßnahme, die berechtigte von missbräuchlichen Änderungen unterscheidet, ist nach dem Stand der Technik nicht verfügbar; Abweichungen werden über den Abgleich von Version und Prüfsumme mit dem Abnahmeprotokoll erkennbar. Die Passwortverwaltung als Betreiberpflicht und das Verbot von Programmänderungen ohne erneute Prüfung und Dokumentation stehen in der Betriebsanleitung (Kap. 2.6 und 13).

Einrichten (24 Gefährdungen)

Nr. 1 Mechanisch

Risiko vorher: S 5 · W 3 · **RZ 15**

Quetsch- und Schergefahr durch den Wendetisch beim automatischen Wendevorgang: Körperteile des Bedieners (Hände, Arme) können zwischen dem rotierenden Tisch und der feststehenden Mittelwand oder dem Schutzzaun eingezogen und gequetscht werden, insbesondere beim Eingreifen in den Wendetisch während der Wendung zum Nachrichten eines verrutschten Werkstücks (vorhersehbare Fehlanwendung).

Teilmaschine: Wendetisch (Drehtisch-Einheit) · auch in: Betrieb, Fehlersuche · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Spaltmaße zwischen rotierender Tischkante und feststehender Mittelwand sowie Schutzzaun nach EN ISO 13854:2019 Tabelle 1 auslegen: Mindestabstände 25 mm (Finger), 100 mm (Hand), 120 mm (Arm) und 500 mm (Körper) nicht unterschreiten. Alternativ den Spalt so klein halten, dass kein Körperteil hineingelangt (Öffnungsweiten nach EN ISO 13857:2019 Tabelle 4). Wo sich keines der beiden Spaltmaße verwirklichen lässt, Tischrahmengeometrie ohne einziehende Keilform gestalten (parallele oder divergierende Flanken). Masse und Schwenkgeschwindigkeit des Wendetisches auf das funktional notwendige Minimum reduzieren, um die im Quetschspalt wirkende kinetische Energie zu begrenzen.
Stufe 2 · Technisch	Restrisiko nach Stufe 1: Der Schwenkbereich bleibt eine Gefahrstelle, die bei laufendem Antrieb nicht sicher betreten werden darf. Technische Schutzmaßnahmen: 1. Freigabe der Schwenkbewegung nur bei freiem Schwenkbereich (SF-04, PLr e, EN ISO 13849-1:2023): BWS (Lichtvorhang Typ 4 nach EN IEC 61496-1:2020) überwacht den Schwenkbereich vollständig; Anordnung und Sicherheitsabstand nach EN ISO 13855:2024. 2. Zuhaltung der Wartungstür nach EN ISO 14119:2025 mit Fluchtentriegelung (SF-01, PLr d; Stopp-Kategorie 1 nach EN 60204-1:2018). 3. Einrichtbetrieb: Schwenkbewegung nur mit sicher reduzierter Geschwindigkeit 250 mm/s und betätigter Zustimmeinrichtung (SF-05, PLr d, Stopp-Kategorie 1 nach EN 60204-1:2018). 4. Not-Halt im Bedienerbereich nach EN ISO 13850:2015, eingebunden in SF-03 (PLr d, Stopp-Kategorie 1 nach EN 60204-1:2018). 5. Energiefreischaltung vor Eingriffen: Absperrventil mit mechanischer Verrastung (Lockout) nach EN ISO 4414:2010; Wendetisch in Endlage formschlüssig arretieren (EN ISO 14118:2018).
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung: Eingreifen in den Schwenkbereich ist bei laufendem oder nicht gesichertem Wendetisch verboten. Vor jedem Eingriff (z. B. Werkstück nachrichten) muss die Anlage vollständig abgeschaltet und gesichert werden (Lockout/Tagout). Für das Einrichten gilt eine eigene Prozedur mit Zustimmeinrichtung, die in der Anleitung beschrieben ist. 2. Warnschilder an der Maschine: Am Wendetisch sind angebracht: Warnzeichen W019 "Warnung vor Quetschgefahr" und W024 "Warnung vor Handverletzungen" sowie Verbotszeichen P015 "Hineinfassen verboten" (nach EN ISO 7010:2020). 3. Wer darf eingreifen: Einrichten und Störungsbeseitigung nur durch eingewiesenes Personal. Die Einweisung muss mindestens einmal jährlich wiederholt und schriftlich festgehalten werden. 4. Schutzausrüstung: Schutzhandschuhe schützen nicht vor Quetschen. Eingriff in den Schwenkbereich nur bei stillgesetztem Wendetisch. Im gesamten Anlagenbereich sind Sicherheitsschuhe S3 nach EN ISO 20345 Pflicht.

Risiko nachher: S 5 · W 1 · **RZ 5 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026



Warnung vor Quetschgefahr

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 5 (S 5, W 1). Die Schwere bleibt bei 5: Masse und Antrieb des Wendetisches sind für die 180-Grad-Wendung mit bis zu 2 x 40 kg Zuladung zuzüglich Spannvorrichtungen im Takt von rund 90 Sekunden erforderlich und nach Stufe 1 bereits auf das funktional notwendige Maß begrenzt; die Spalte sind nach EN ISO 13854:2019 und EN ISO 13857:2019 ausgelegt, die Tischkanten ohne einziehende Keilform. Eine weitere Senkung der Energie hebt die Wendung auf. Nach Stufe 2 schwenkt der Tisch nur bei freiem Schwenkbereich (SF-04, PL e), die Wartungstür ist zugehalten (SF-01, PL d), im Einrichtbetrieb gelten 250 mm/s mit Zustimmeinrichtung (SF-05), und vor Eingriffen wird der Tisch formschlüssig arretiert. Ein Unfall setzt damit das bewusste Eingreifen in den laufenden Tisch unter Umgehung dieser Einrichtungen voraus; eine zusätzliche Maßnahme der Stufe 1 oder 2, die dieses Fehlverhalten weiter erschwert, ohne die Wendung zu verhindern, ist nicht erkennbar. Das Verbot und die Freischaltpflicht vor jedem Eingriff stehen in der Betriebsanleitung (Kap. 2.2, 2.6 und 9.1), am Wendetisch die Zeichen W019, W024 und P015.

Nr. 2 Mechanisch — Risiko vorher: S 5 · W 3 · **RZ 15**

Quetsch- und Einzugsgefahr durch den Schweißroboter (Industrieroboter) im Einrichtbetrieb: Bei reduzierter Geschwindigkeit (Tippbetrieb) können Bediener oder Einrichter durch unerwartete Roboterbewegungen zwischen Roboterarm und Peripherie (Schutzzaun, Wendetisch, Schweißvorrichtung) gequetscht oder eingezogen werden.

Teilmaschine: Schweißroboter · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Geschwindigkeitsbegrenzung auf maximal 250 mm/s (TCP-Geschwindigkeit) im Einrichtbetrieb durch die Robotersteuerung als inhärente Auslegungsanforderung an den Roboter (EN ISO 10218-1:2025 Abschnitte 5.2.7 und 5.5.3). Zusätzlich: Mindestabstände zwischen den äußersten Roboterpositionen im Einrichtbetrieb und fester Peripherie (Schutzzaun, Wendetisch, Schweißvorrichtung) konstruktiv maximieren, soweit die Anlagentopologie es erlaubt, um Quetsch- und Einzugsstellen geometrisch zu entschärfen. Verbleibende Quetschstellen, die einen Mindestabstand von 500 mm (Körper) bzw. 300 mm (Kopf) nach EN ISO 13854:2019 Tabelle 1 unterschreiten und konstruktiv nicht auflösbar sind, werden als Restrisiko an Stufe 2 übergeben.
Stufe 2 · Technisch	SF-05 'Sicher reduzierte Geschwindigkeit 250 mm/s mit Zustimmeinrichtung im Einrichtbetrieb', PLr d nach EN ISO 13849-1:2023: Die Sicherheitsfunktion SLS (sicher reduzierte Geschwindigkeit, Safely-Limited Speed) wird über eine SRP/CS PLr d realisiert. Die Zustimmeinrichtung (3-stufig, Panikfunktion) nach EN ISO 10218-2:2025 Abschnitt 5.7.7 muss dauerhaft betätigt werden; bei Loslassen oder Durchdrücken erfolgt ein Stopp der Kategorie 1 nach EN 60204-1:2018. Der Einrichter führt das Handprogrammiergerät (Teach-Pendant, kurz HG) mit sich; das HG muss die alleinige Bewegungsfreigabe besitzen, solange sich Personen im Schutzbereich aufhalten (EN ISO 10218-2:2025 Abschnitt 5.7.5). Zutritt zum Schutzbereich im Einrichtbetrieb nur über die Wartungstür mit Zuhaltung nach EN ISO 14119:2025. Die Zuhaltung gibt die Tür für den Einrichtbetrieb erst frei, wenn am abschließbaren Betriebsartenwahlschalter die Betriebsart 'Einrichten' gewählt ist. Energiefreischaltung vor Betreten des Schutzbereichs ohne HG: Sichere Trennung nach EN ISO 14118:2018 (Lockout/Tagout-Vorbereitung). Die verbleibenden Quetschstellen sind bei der Werksabnahme gegen die Mindestabstände nach EN ISO 13854:2019 Tabelle 1 geprüft.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Einrichtbetrieb ausschließlich durch unterwiesene und autorisierte Einrichter mit nachgewiesener Roboter-Bedienerqualifikation. Beschreibung der zulässigen Körperhaltungen und Bewegungsräume im Einrichtbetrieb. Warnkennzeichnung an der Wartungstür: Warnzeichen W018 'Warnung vor automatischem Anlauf' nach EN ISO 7010:2020 sowie Hinweis 'Zustimmeinrichtung stets mitführen'. PSA-Angabe: Sicherheitsschuhe S3 (EN ISO 20345), eng anliegende Schutzkleidung (kein Einzugsrisiko durch lose Kleidung). Hinweis in der Betriebsanleitung, dass das Betreten des Schutzbereichs ohne aktives HG und ohne Zustimmeinrichtung verboten ist.

Risiko nachher: S 5 · W 1 · **RZ 5 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026


Warnung vor automatischem Anlauf

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 5 (S 5, W 1) im Einrichtbetrieb. Das Teachen und Prüfen der Schweißbahnen verlangt, dass der Einrichter den Brenner an der Vorrichtung aus der Nähe beobachtet, während der Roboter sich bewegt; der Aufenthalt im Schutzbereich lässt sich für diese Tätigkeit nicht konstruktiv ausschließen. Nach Stufe 1 ist die TCP-Geschwindigkeit auf 250 mm/s begrenzt (EN ISO 10218-1:2025), und die Abstände zur Peripherie sind vergrößert, soweit die Anlagentopologie es zulässt. Nach Stufe 2 sind Bewegungen nur mit sicher überwachter Geschwindigkeit (SF-05, PL d) und dauernd betätigter dreistufiger Zustimmeinrichtung möglich, das Handbediengerät hat die alleinige Bewegungsfreigabe, und die Zuhaltung gibt die Wartungstür nur in der am abschließbaren Wahlschalter gewählten Betriebsart Einrichten frei. Damit sind die für den Einrichtbetrieb nach EN ISO 10218-2:2025 vorgesehenen Schutzmaßnahmen umgesetzt; eine weitere Maßnahme der Stufe 1 oder 2, die das Einrichten in Bahnnähe noch zulässt, ist nach dem Stand der Technik nicht erkennbar. Verbleibend ist eine Quetschung durch Fehlbedienung trotz Zustimmeinrichtung; Qualifikation, zulässige Körperhaltungen und das Verhalten im Schutzbereich regelt die Betriebsanleitung (Kap. 2.3, 2.6 und 9.3).

Nr. 4 Mechanisch — Risiko vorher: S 5 · W 2 · **RZ 10**

Quetschgefahr an der Schnittstelle Wendetisch zu Schweißroboter (Übergabebereich): Beim Wendevorgang bewegt sich die bestückte Vorrichtung in den Arbeitsbereich des Roboters; unkoordiniertes Einfahren des Roboters in den Wendebereich oder fehlende Verriegelung zwischen Wendetisch-Bewegung und Roboter-Freigabe kann zu Kollisionen und Quetschungen führen.

Teilmaschine: Schnittstelle Wendetisch / Schweißroboter · auch in: Betrieb, Fehlersuche · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Schwenkradius des Wendetisches und Arbeitsraumgrenze des Roboters (TCP-Hüllkurve) werden in der Konstruktionsphase so aufeinander abgestimmt, dass der maximale Schwenkbereich der Vorrichtung und der minimale Roboter-Arbeitsraum einen geometrischen Mindestabstand von >= 500 mm (Mindestabstand gegen das Quetschen des Körpers nach EN ISO 13854:2019 Tabelle 1) zueinander aufweisen, wenn beide Bewegungen gleichzeitig aktiv wären. Dadurch wird die Überschneidungszone konstruktiv minimiert; eine vollständige Beseitigung der Überschneidung ist bei dieser Anlagentopologie funktionsbedingt nicht möglich, sodass die verbleibende Restüberschneidung durch Stufe 2 abgesichert wird.
Stufe 2 · Technisch	SF-04 'Freigabe der 180-Grad-Schwenkbewegung des Wendetisches nur bei freiem Schwenkbereich' mit PLr e nach EN ISO 13849-1:2023 (Risikograph: S2/F2/P2). Umsetzung als verriegelte Sicherheitsfunktion in der Sicherheits-SPS: (a) Roboter-Stillstandsüberwachung: Der Roboter muss sich in einer definierten Ruheposition außerhalb der Schwenkzone befinden und dies über ein sicheres Rückmeldungssignal (sicherer Ausgang der Robotersteuerung nach EN ISO 10218-2:2025 Abschnitte 5.4.7 und 5.5.8) bestätigen, bevor die Wendetisch-Freigabe erteilt wird. (b) Wendetisch-Freigabe an Roboter: Solange der Wendetisch nicht in Endlage und verriegelt ist, erhält die Robotersteuerung kein Freigabesignal für den Einfahrbereich; der Wendetisch ist in Endlage formschlüssig arretiert. (c) Zuhaltung der Wartungstür zum Schwenkbereich nach EN ISO 14119:2025 mit Fluchtentriegelung, eingebunden in SF-01 (PLr d). (d) Not-Halt der Gesamtanlage nach EN ISO 13850:2015, eingebunden in SF-03 (PLr d), Stopp-Kategorie 1 nach EN 60204-1:2018. (e) Im Einrichtbetrieb gilt SF-05: sicher reduzierte Geschwindigkeit <= 250 mm/s mit Zustimmeinrichtung (PLr d); der Einrichter darf den Schwenkbereich nur bei aktivierter Zustimmeinrichtung und reduzierter Geschwindigkeit betreten. Der Abstand des Schutzzauns zum Schwenkbereich entspricht EN ISO 13857:2019 Tabelle 2; der Schutzzaun ist nach EN ISO 14120:2015 ausgeführt.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Beschreibung der Verriegelungslogik SF-04 und der Betriebsarten Automatik und Einrichten; ausdrücklicher Hinweis, dass ein Betreten des Schwenkbereichs bei laufender Anlage verboten ist. Einrichtbetrieb: Qualifikationsanforderung dokumentieren (nur unterwiesene Fachkraft mit Kenntnis der Zustimmeinrichtung). Warnkennzeichnung am Schwenkbereich: Warnzeichen W019 'Warnung vor Quetschgefahr' und W024 'Warnung vor Handverletzungen' nach EN ISO 7010:2020; an der Wartungstür zusätzlich Verbotszeichen 'Zutritt für Unbefugte verboten' (D-P006 nach ASR A1.3). PSA-Angabe in der Betriebsanleitung: Sicherheitsschuhe S3 nach EN ISO 20345; im Einrichtbetrieb zusätzlich eng anliegende Schutzkleidung (kein Einzugsrisiko durch lose Kleidung). Hinweis auf Restrisiko bei Einrichtbetrieb und Fehlersuche: Zustimmeinrichtung stets aktiviert halten, Schwenkbereich nie ohne Zustimmeinrichtung betreten.

Risiko nachher: S 5 · W 1 · **RZ 5 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 5 (S 5, W 1) an der Übergabe zwischen Wendetisch und Roboter. Der Roboter muss die frisch gewendete Station erreichen; eine vollständige geometrische Trennung von Schwenkbereich und Roboterarbeitsraum ist bei dieser Anlagentopologie funktionsbedingt nicht möglich. Die Überschneidung ist nach Stufe 1 durch einen Mindestabstand von 500 mm zwischen Schwenkradius und TCP-Hüllkurve verkleinert. Die verbleibende Überschneidung ist gegenseitig verriegelt: Der Wendetisch schwenkt nur, wenn die Robotersteuerung die Ruheposition außerhalb der Schwenkzone über einen sicheren Ausgang zurückmeldet, und der Roboter erhält die Freigabe erst bei arretiertem Tisch in Endlage (SF-04, PL e nach Risikograph S2/F2/P2). Ein Unfall setzt damit das Versagen dieser Verriegelung oder ein Betreten bei laufender Anlage unter Umgehung der Zuhaltung (SF-01) voraus. Die Freigabe ist bereits im erforderlichen Performance Level ausgeführt; eine weitere Maßnahme der Stufe 1 oder 2 würde die Eintrittswahrscheinlichkeit nicht messbar senken. Im Einrichtbetrieb gilt SF-05 mit 250 mm/s und Zustimmeinrichtung. Verriegelungslogik, Verbot des Betretens und Verhalten im Einrichtbetrieb stehen in der Betriebsanleitung (Kap. 2.5, 2.6 und 9.3).

Nr. 5 Mechanisch — Risiko vorher: S 4 · W 3 · **RZ 12**

Herabfallen von Werkstücken oder Vorrichtungsteilen durch Versagen der pneumatischen Spanneinrichtung: Bei Druckluftausfall oder Leckage öffnen die Spannelemente unkontrolliert; Werkstücke bis 40 kg können vom Wendetisch fallen und Personen am Beschickungsplatz treffen.

Teilmaschine: Pneumatische Spannvorrichtung (Wendetisch) · auch in: Betrieb, Fehlersuche · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Einsatz pneumatisch schließender Spanner mit entsperrbarem Rückschlagventil (Druckhalteventil) in der Spannleitung direkt am Spannzylinder: Bei Druckluftausfall oder Leckage in der Zuleitung bleibt der Spanndruck im Zylinder eingeschlossen und das Werkstück gespannt; geöffnet wird nur durch aktives Entsperren des Ventils. Auslegung der Spannkraft auf das maximale Werkstückgewicht von 40 kg zuzüglich eines Sicherheitsfaktors gemäß EN ISO 4414:2010. Ergänzend: Begrenzung des Betriebsdrucks auf das für die Spannfunktion erforderliche Maß, um die gespeicherte pneumatische Energie zu minimieren (EN ISO 4414:2010).
Stufe 2 · Technisch	1. Spanndrucküberwachung mit Sicherheitsfunktion: Ein Druckwächter in der Spannleitung überwacht den Spanndruck; bei Unterschreitung des Mindestspanndrucks wird die Freigabe der Schwenkbewegung des Wendetisches gesperrt (Verknüpfung mit SF-04, PLr e nach EN ISO 13849-1:2023). Solange der Spanndruck nicht bestätigt ist, schwenkt der Wendetisch nicht. 2. Mechanische Verriegelung der Schwenkbewegung: Formschlüssige Arretierung des Wendetisches in der Beschickungsposition, sodass ein unbeabsichtigtes Schwenken mit eingespanntem oder losem Werkstück verhindert wird; Aufhebung der Arretierung nur nach bestätigtem Spanndruck (Verknüpfung mit SF-04, PLr e). 3. Einhausung/Auffangeinrichtung: Mechanische Auffangvorrichtung (Abweisblech) unterhalb des Wendetisches, ausgelegt auf das maximale Werkstückgewicht von 40 kg und die maximale Fallhöhe, um herabfallende Teile vom Beschickungsplatz fernzuhalten; Auslegung nach EN ISO 14120:2015. 4. Sicherheitsabstand am Beschickungsplatz: Anordnung des Beschickungsplatzes so, dass der Gefahrbereich unterhalb des Wendetisches außerhalb des regulären Aufenthaltsbereichs liegt.
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Beschreibung des Spannprinzips (pneumatisch schließende Spanner mit Druckhalteventil) und der Spanndrucküberwachung; Verbot des Aufenthalts unterhalb des Wendetisches bei laufendem Betrieb und bei Fehlersuche ohne gesicherten Stillstand; Vorgehensweise bei Druckluftausfall (Anlage stillsetzen, Druckluftversorgung wiederherstellen, Werkstück erst nach Druckprüfung entnehmen). 2. Energietrennung vor Eingriffen: Anweisung zur vollständigen Druckentlastung der Pneumatikanlage vor Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten gemäß EN ISO 4414:2010 und EN ISO 14118:2018 (Vermeidung von unerwartetem Wiederanlauf und unerwarteter Energiefreisetzung); wegen des Druckhalteventils bleibt der Spanndruck in den Spannzylindern eingeschlossen, die Spanner sind deshalb vor Arbeiten an der Spannvorrichtung zu öffnen und drucklos zu machen; Absperr- und Entlüftungsventil mit Schlossvorrichtung (Lockout) vorsehen. 3. Warnkennzeichnung: Warnzeichen W015 "Warnung vor schwebender Last" und W024 "Warnung vor Handverletzungen" nach EN ISO 7010:2020 am Wendetisch und am Beschickungsplatz anbringen. 4. Qualifikation: Fehlersuche und Einrichten nur durch unterwiesenes Fachpersonal; Anforderungen in der Betriebsanleitung benennen. 5. PSA: Tragen von Sicherheitsschuhen (S3 nach EN ISO 20345) am Beschickungsplatz als Restrisikoschutz vorschreiben.

Risiko nachher: S 4 · W 1 · **RZ 4 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 6 Mechanisch — Risiko vorher: S 5 · W 3 · **RZ 15**

Quetsch- und Stoßgefahr durch unerwarteten Wiederanlauf des Wendetischs oder des Roboters nach Not-Halt oder Störungsbeseitigung: Fehlt eine koordinierte Wiederanlaufsperre (EN ISO 11161), können einzelne Teilmaschinen selbsttätig anlaufen, während sich Personen noch im Gefahrenbereich befinden.

Teilmaschine: Gesamtanlage (Wiederanlauf-Koordination) · auch in: Fehlersuche, Wartung · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Inhärente Möglichkeiten ausgeschöpft: Der Wiederanlauf nach Not-Halt oder Störungsbeseitigung ist ein steuerungstechnisches Ereignis, das vom Funktionsprinzip der Gesamtanlage (koordinierter Automatikbetrieb von Roboter und Wendetisch) nicht konstruktiv eliminiert werden kann. Eine geometrische oder energetische Maßnahme, die den Wiederanlauf selbst verhindert, ohne die Maschinenfunktion aufzuheben, existiert nicht. Die Absicherung muss daher vollständig über Stufe 2 (Steuerung und Verriegelung) erfolgen.
Stufe 2 · Technisch	1. Koordinierter Wiederanlaufschutz nach EN ISO 11161:2007+A1:2010: Die Gesamtanlagensteuerung darf den Wiederanlauf einer Teilmaschine (Wendetisch, Roboter) erst freigeben, nachdem ein bewusster, manueller Wiederanlaufbefehl von einem sicheren Standort außerhalb aller Gefahrenbereiche ausgelöst wurde. Der Wiederanlaufbefehl darf nicht automatisch nach Quittierung des Not-Halts oder nach Störungsbeseitigung erfolgen. 2. Sicherheitsfunktion SF-01 (Sicheres Stillsetzen Stopp-Kategorie 1 beim Öffnen der Wartungstür, PLr d nach EN ISO 13849-1:2023) und SF-03 (Not-Halt der Gesamtanlage, Stopp-Kategorie 1, PLr d nach EN ISO 13849-1:2023) stellen sicher, dass alle Antriebe sicher stillgesetzt werden. Die Wiederanlaufsperre wird als Bestandteil der Sicherheitsfunktionen SF-01, SF-03 und SF-04 realisiert und mit deren jeweiligem PLr ausgeführt (SF-04: PLr e; SF-01 und SF-03: PLr d nach EN ISO 13849-1:2023). 3. Sicherheitsfunktion SF-04 (Freigabe der 180-Grad-Schwenkbewegung des Wendetischs nur bei freiem Schwenkbereich, PLr e nach EN ISO 13849-1:2023): Der Wendetisch darf seine Schwenkbewegung nur ausführen, wenn der Schwenkbereich durch den Lichtvorhang Typ 4 nach EN IEC 61496-1:2020 (angeordnet nach EN ISO 13855:2024) als frei erkannt wurde. Diese Funktion bleibt auch nach Wiederanlauf aktiv und verhindert das Anlaufen bei Personenpräsenz. 4. Sicherheitsfunktion SF-05 (Sicher reduzierte Geschwindigkeit 250 mm/s mit Zustimmeinrichtung im Einrichtbetrieb, PLr d nach EN ISO 13849-1:2023): Im Einrichtbetrieb ist der Wiederanlauf ausschließlich über eine Zustimmeinrichtung (3-stufig nach EN ISO 10218-2:2025 Abschnitt 5.7.7) freizugeben, sodass ein unerwarteter Wiederanlauf mit voller Geschwindigkeit ausgeschlossen ist. 5. Energielosschaltung und Energiefreisetzung nach EN ISO 14118:2018: Vor Betreten des Gefahrenbereichs zur Fehlersuche oder Wartung ist die Energiezufuhr aller relevanten Antriebe (elektrisch, pneumatisch nach EN ISO 4414:2010) durch ein abschließbares Trenngerät zu unterbrechen und gegen unbeabsichtigtes Einschalten zu sichern (Lockout/Tagout). Restenergie (gespeicherte pneumatische Energie) ist vor dem Eingriff abzubauen; der Wendetisch ist in Endlage formschlüssig zu arretieren. 6. Zuhaltung der Wartungstür nach EN ISO 14119:2025 mit Fluchtentriegelung: Die Zuhaltung hält die Wartungstür geschlossen, solange gefährliche Bewegungen nicht sicher stillgesetzt sind (Stopp-Kategorie 1 abgeschlossen). Die Einbindung erfolgt im Rahmen von SF-01 (PLr d).
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Beschreibung der Wiederanlaufreihenfolge nach Not-Halt und nach Störungsbeseitigung; ausdrücklicher Hinweis, dass ein Wiederanlauf ausschließlich nach vollständigem Verlassen aller Gefahrenbereiche und manuellem Quittierbefehl von außen zulässig ist. Beschreibung der Lockout/Tagout-Prozedur nach EN ISO 14118:2018 für alle Wartungs- und Fehlersuchtätigkeiten. 2. Warnkennzeichnung an der Wartungstür und an den Quittiereinheiten: Warnung vor unerwartetem Wiederanlauf (Warnzeichen W018 'Warnung vor automatischem Anlauf' nach EN ISO 7010:2020), Hinweis auf Pflicht zur Quittierung von außen. 3. Qualifikationsanforderung: Einricht- und Wartungstätigkeiten dürfen nur durch unterwiesenes Fachpersonal durchgeführt werden, das in der Wiederanlaufprozedur und im Lockout/Tagout-Verfahren geschult ist (EN ISO 10218-2:2025 Abschnitt 7.5.12). 4. PSA-Angabe: Beim Betreten des Gefahrenbereichs zur Fehlersuche oder Wartung ist Sicherheitsschuhwerk (S3 nach EN ISO 20345) zu tragen; weitere PSA nach betrieblicher Gefährdungsbeurteilung des Betreibers.

Risiko nachher: S 5 · W 1 · **RZ 5 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 5 (S 5, W 1) durch unerwarteten Wiederanlauf. Der Wiederanlauf ist ein Steuerungsereignis des koordinierten Automatikbetriebs von Roboter und Wendetisch; eine konstruktive Maßnahme, die ihn verhindert, ohne die Funktion der Zelle aufzuheben, gibt es nicht (Stufe 1). Nach Stufe 2 gibt die Gesamtsteuerung den Wiederanlauf nach EN ISO 11161:2007+A1:2010 nur auf einen bewussten Befehl vom Bedienpult außerhalb der Gefahrenbereiche frei, die Wiederanlaufsperre ist Teil von SF-01, SF-03 (PL d) und SF-04 (PL e), die Schwenkfreigabe prüft den Schwenkbereich auch nach dem Wiederanlauf, und die Sperrvorrichtung für persönliche Vorhängeschlösser verhindert das Schließen der Wartungstür, solange eine Person in der Zelle ist. Für Fehlersuche und Wartung stehen der abschließbare Hauptschalter und das abschließbare Druckluftventil mit Entlüftung nach EN ISO 14118:2018 bereit. Verbleibend ist ein Anlauf, wenn eine Person weder ihr Schloss einhängt noch freischaltet und zugleich die Wiederanlaufsperre versagt. Eine technische Maßnahme, die das Freischalten durch die Person ersetzt, ist nach dem Stand der Technik nicht verfügbar. Wiederanlaufreihenfolge und Freischaltverfahren beschreibt die Betriebsanleitung (Kap. 9.5 und 10.4).

Nr. 7 Mechanisch — Risiko vorher: S 5 · W 2 · **RZ 10**

Fehlende oder unkoordinierte Not-Halt-Funktion zwischen Teilmaschinen (Roboter, Wendetisch, Schweißstromquelle, Absaugung): Ein Not-Halt an einer Teilmaschine stoppt nicht zwingend alle anderen Teilmaschinen; Personen können durch weiterlaufende Komponenten gefährdet werden.

Teilmaschine: Gesamtanlage (Not-Halt-Koordination) · auch in: Betrieb, Fehlersuche · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Inhärente Möglichkeiten ausgeschöpft: Die Koordination mehrerer eigenständiger Steuerungen erfordert zwingend eine übergeordnete Steuerungslogik. Eine rein konstruktive Maßnahme (Geometrie, Energiebegrenzung, Substitution) kann die fehlende Verknüpfung der Not-Halt-Kreise nicht ersetzen. Das Funktionsprinzip der verketteten Anlage bedingt die Notwendigkeit einer aktiven Steuerungskoordination.
Stufe 2 · Technisch	Übergeordneter Not-Halt-Kreis (SF-03) nach EN ISO 13850:2015 und EN ISO 11161:2007+A1:2010: Alle Not-Halt-Befehlsgeräte der Gesamtanlage werden in einen gemeinsamen, übergeordneten Sicherheitskreis eingebunden, der beim Auslösen an beliebiger Stelle alle gefahrbringenden Teilmaschinen (Roboter, Wendetisch, Schweißstromquelle, Pneumatik) koordiniert stillsetzt; die Absaugung läuft betrieblich nach. Stopp-Kategorie 1 nach EN 60204-1:2018 (gesteuertes Stillsetzen, danach Energietrennung): Der Roboter führt einen kontrollierten Stopp entlang seiner Bahn aus, der Wendetisch bremst aktiv ab, die Schweißstromquelle wird spannungsfrei geschaltet, die Spanner bleiben über das Druckhalteventil gespannt. Der Nachlauf der Absaugung ist keine Sicherheitsfunktion, aber betrieblich erforderlich. Die Sicherheitsfunktion SF-03 ist mit PLr d nach EN ISO 13849-1:2023 festgelegt und in Kategorie 3 mit PL d ausgeführt. Die Einbindung des Roboters erfolgt über die Robotersteuerung gemäß EN ISO 10218-2:2025 Abschnitt 5.3.3 (Wirkungsbereich des Not-Halts, Sicherheitsschnittstelle zur übergeordneten Steuerung). Die Not-Halt-Befehlsgeräte sind nach EN ISO 13850:2015 auszuführen (Pilzdrucktaster, gelber Hintergrund, selbstarretierend, Entriegelung nur durch bewusste Handlung). Anordnung der Not-Halt-Befehlsgeräte so, dass von jeder Bedienstelle aus mindestens ein Befehlsgerät ohne Gefährdung erreichbar ist (EN ISO 13850:2015). Verriegelung der Wiederanlauffreigabe: Nach einem Not-Halt ist ein manueller Reset erforderlich, bevor die Anlage wieder anlaufen kann (EN ISO 13850:2015 Abschnitt 4.1.4), um unerwarteten Wiederanlauf nach EN ISO 14118:2018 zu verhindern.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Beschreibung der Not-Halt-Topologie der Gesamtanlage mit Lageplan aller Not-Halt-Befehlsgeräte und Wirkungsbereich je Befehlsgerät. Klare Anweisung, dass nach einem Not-Halt vor dem Reset der Gefahrbereich aller Teilmaschinen zu inspizieren ist. Einrichtbetrieb und Fehlersuche: Anweisung, dass Eingriffe in den Gefahrbereich nur nach vollständigem Stillstand aller Teilmaschinen und bei gegen Schließen gesicherter Wartungstür (persönliches Vorhängeschloss in der Sperrvorrichtung) zulässig sind. Qualifikationsanforderung: Einrichten und Fehlersuche nur durch unterwiesenes Fachpersonal, das die Not-Halt-Topologie kennt. Kennzeichnung am Bedienpult: Textschild mit dem Wirkungsbereich der Not-Halt-Befehlsgeräte (Not-Halt wirkt auf alle Teilmaschinen der Zelle), ergänzt durch Warnzeichen W018 'Warnung vor automatischem Anlauf' nach EN ISO 7010:2020.

Risiko nachher: S 5 · W 1 · **RZ 5 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 5 (S 5, W 1) bei der Not-Halt-Koordination. Die Verknüpfung der Not-Halt-Kreise mehrerer Teilmaschinen ist nur steuerungstechnisch möglich; eine Maßnahme der Stufe 1 gibt es dafür nicht. Umgesetzt ist ein übergeordneter Not-Halt-Kreis SF-03 in Kategorie 3 mit PL d, der von jedem Befehlsgerät (Bedienpult, Wartungstür, Teach-Pendant) Roboter, Wendetisch, Schweißstromquelle und Pneumatik gemeinsam stillsetzt, mit manuellem Reset nach EN ISO 13850:2015 und Wirkungsbereich nach EN ISO 11161:2007+A1:2010; der erforderliche Performance Level ist erreicht, die Prüfpunkte zum Not-Halt sind bestanden. Verbleibend ist der Nachlauf während des gesteuerten Stillsetzens nach Stopp-Kategorie 1. Diese Kategorie ist gewählt, weil der Roboter geführt auf seiner Bahn bremst und die Spanner das Werkstück über das Druckhalteventil halten; ein Stillsetzen nach Kategorie 0 gäbe diese Führung auf, ohne den Nachlauf zu beseitigen. Der Not-Halt ist eine ergänzende Schutzmaßnahme und ersetzt keine Schutzeinrichtung. Anordnung und Wirkungsbereich der Befehlsgeräte stehen in der Betriebsanleitung (Kap. 2.5 und 9.5) und auf dem Textschild am Bedienpult.

Nr. 8 Mechanisch

Risiko vorher: S 3 · W 4 · **RZ 12**

Schnitt- und Stichgefahr durch den Schweißdraht (Massivdraht 1,0 bis 1,2 mm) am Schweißbrenner: Der aus dem Brenner herausragende Draht wirkt wie eine Nadel; beim Einrichten, Drahteinlegen oder Brennerreinigung können Hände und Finger gestochen oder geschnitten werden.

Teilmaschine: Schweißbrenner / Drahtvorschub · auch in: Wartung, Reinigung · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Automatischer Drahtrückzug nach Schweißende: Die Drahtvorschubsteuerung zieht den Draht nach jedem Schweißzyklus automatisch um einen definierten Betrag (5 bis 10 mm) in den Brenner zurück, sodass die scharfe Drahtspitze im Kontaktrohr versenkt ist und nicht mehr frei herausragt. Damit wird die Gefahrstelle (freistehende Drahtspitze) für die Lebensphasen Einrichten und Reinigung konstruktiv minimiert. Zusätzlich: Auswahl eines Drahtvorschubsystems, das im Tipp-Betrieb (Einrichten) nur bei dauerhaft betätigter Taste fördert (Totmannprinzip), sodass der Draht nicht unkontrolliert vorgeschoben wird.
Stufe 2 · Technisch	1. Mechanische Drahtlängenbegrenzung: Am Brennerhals wird ein einstellbarer Drahtlängenanschlag (Brennerschutzkappe mit definierter Öffnung) vorgesehen, der den maximal herausragenden Draht auf das für den Prozess notwendige Mindestmaß begrenzt. 2. Sperre des automatischen Drahtvorschubs: Der automatische Drahtvorschub ist gesperrt, sobald die Wartungstür geöffnet ist; bei geöffneter Tür lässt sich der Draht nur im Tippbetrieb mit reduzierter Einfädelgeschwindigkeit fördern. 3. Tippbetrieb des Drahtvorschubs: Der Tippbetrieb mit reduzierter Einfädelgeschwindigkeit ist eine Funktion der Stromquelle, keine Sicherheitsfunktion; er ist so ausgeführt, dass ein unbeabsichtigtes schnelles Vorschießen des Drahtes verhindert wird. 4. Kennzeichnung der Gefahrstelle am Brenner und Drahtvorschub mit Warnzeichen W022 'Warnung vor spitzem Gegenstand' nach EN ISO 7010:2020.
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Expliziter Hinweis, dass der Schweißdraht auch im Stillstand eine scharfe, stichfähige Spitze aufweist. Beschreibung der sicheren Vorgehensweise beim Drahteinlegen (Draht nur im Tippbetrieb mit reduzierter Einfädelgeschwindigkeit fördern, Drahtende mit Seitenschneider sauber abschneiden, niemals mit bloßer Hand tasten). 2. Warnkennzeichnung am Brennerhalter und am Drahtvorschubgerät: Warnzeichen W022 'Warnung vor spitzem Gegenstand' nach EN ISO 7010:2020. 3. Qualifikationsanforderung: Tätigkeiten am Brenner und Drahtvorschub (Drahteinlegen, Reinigung) dürfen nur durch unterwiesenes Fachpersonal durchgeführt werden; Anforderung in der Betriebsanleitung dokumentieren. 4. PSA-Angabe: Beim Drahteinlegen und bei der Brennerreinigung sind schnittfeste Schutzhandschuhe (nach EN 388, Durchstichfestigkeit mindestens Leistungsstufe 2) zu tragen; Angabe in der Betriebsanleitung und am Aushang am Arbeitsplatz. 5. Hinweis auf sicheres Abschneiden der Drahtspitze: Vor jeder manuellen Tätigkeit am Brenner ist die Drahtspitze mit einem geeigneten Seitenschneider sauber und gratfrei abzuschneiden; Werkzeug ist am Arbeitsplatz bereitzustellen.

Risiko nachher: S 3 · W 2 · **RZ 6 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 6 (S 3, W 2) durch die Drahtspitze. Der Draht muss für den Lichtbogen aus dem Kontaktrohr herausragen. Der automatische Rückzug nach jedem Zyklus und der Tippbetrieb nach dem Totmannprinzip (Stufe 1), die Längenbegrenzung durch die Brennerschutzkappe, die Sperre des automatischen Vorschubs bei geöffneter Wartungstür und der Drahtabschneider der Brennerreinigungsstation (Stufe 2) begrenzen die frei liegende Drahtlänge auf das Prozessmaß. Das Einfädeln beim Drahtwechsel und die Arbeiten am Brenner bleiben Handtätigkeiten, bei denen die Hand zwangsläufig am Draht arbeitet; eine Schutzeinrichtung zwischen Hand und Draht ist bei diesen Tätigkeiten nicht anwendbar, deshalb ist eine weitere Maßnahme der Stufe 1 oder 2 nicht praktikabel. Die verbleibende Stich- oder Schnittverletzung ist reversibel. Dagegen wirken nach Stufe 3 schnittfeste Handschuhe nach EN 388, das saubere Abschneiden der Drahtspitze vor jeder Handtätigkeit, die Beschränkung auf unterwiesenes Personal und das Zeichen W022 an Brennerhalter und Drahtvorschub (Betriebsanleitung Kap. 2.4 und 2.6).

Nr. 9 Mechanisch

Risiko vorher: S 4 · W 4 · **RZ 16**

Ergonomische Gefährdung und Quetschgefahr beim manuellen Einlegen und Entnehmen von Werkstücken bis 40 kg: Werkstücke bis 15 kg werden von Hand, Werkstücke über 15 kg mit der bauseitigen Hebehilfe eingelegt; bei Fehlanwendung (Heben ohne Hebehilfe) entstehen Muskel-Skelett-Belastungen und das Risiko des Loslassens mit nachfolgendem Herabfallen des Werkstücks auf Füße oder Hände.

Teilmaschine: Beschickungsplatz (Bedienerstation) · auch in: Betrieb · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Begrenzung der manuell handhabbaren Werkstückmasse auf höchstens 15 kg. Die Schwelle ist eine Herstellerfestlegung für rund 40 Hübe je Stunde, abgeleitet aus der Referenzmasse nach EN 1005-2:2003+A1:2008. Für Werkstücke über 15 kg bis 40 kg ist die Werkstückaufnahme am Beschickungsplatz so gestaltet, dass das Einlegen mit der bauseitigen Hebehilfe von oben ohne Umgreifen möglich ist (freier Zugang, Einlegetiefe, Anschlaggeometrie).
Stufe 2 · Technisch	1. Der Beschickungsplatz ist für eine bauseitige Hebehilfe vorbereitet (Hebehilfe nicht im Lieferumfang, Tragfähigkeit mindestens 40 kg, Aktionsradius über die gesamte Einlegezone). Der Zugang von oben ist frei, sodass der Bediener die Einlegeposition ohne Umgreifen oder Loslassen des Werkstücks erreicht. 2. Bodenmarkierung (gelb/schwarz nach ASR A1.3) des Absetz- und Schwenkbereichs der Hebehilfe am Beschickungsplatz, damit der Bediener beim Einlegen nicht unter der schwebenden Last steht. 3. Der Lichtvorhang am Beschickungsplatz (SF-02, PLr e) sichert den Gefahrenbereich der Maschinenöffnung; er schützt nicht vor dem Herabfallen des Werkstücks selbst, begrenzt jedoch den Bereich, in dem sich Hände während des Einlegens befinden dürfen.
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Klare Angabe der Handhabungsregel (bis 15 kg von Hand, über 15 kg mit der bauseitigen Hebehilfe, Tragfähigkeit mindestens 40 kg) sowie der korrekten Anschlagpunkte am Werkstück. Angabe der Körperhaltung beim Einlegen gemäß EN 1005-4. 2. Warnkennzeichnung am Beschickungsplatz: Warnzeichen W015 'Warnung vor schwebender Last' und W024 'Warnung vor Handverletzungen' sowie Gebotszeichen M008 'Fußschutz benutzen' nach EN ISO 7010:2020. Textschild 'Manuelle Handhabung höchstens 15 kg, darüber Hebehilfe benutzen' direkt am Einlegeplatz. 3. Qualifikationsanforderung: Bediener sind vor Aufnahme der Tätigkeit in die Nutzung der Hebehilfe und in die ergonomisch korrekte Handhabung einzuweisen (dokumentierte Unterweisung). 4. PSA-Angabe: Sicherheitsschuhe S3 nach EN ISO 20345 und Schutzhandschuhe (schnittfest, griffsicher) sind als Mindest-PSA für alle Einlege- und Entnahmetätigkeiten vorzuschreiben.

Risiko nachher: S 4 · W 2 · **RZ 8 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 8 (S 4, W 2) beim Einlegen und Entnehmen. Werkstücke bis 40 kg gehören zur bestimmungsgemäßen Verwendung, und die Beschickung von Hand ist das Konzept der Maschine (Betriebsanleitung Kap. 2.1); eine automatische Beschickung würde dieses Konzept aufheben. Nach Stufe 1 ist die Handhabung von Hand auf 15 kg begrenzt (Herstellerfestlegung nach der Referenzmasse von EN 1005-2:2003+A1:2008), und die Aufnahme ist so gestaltet, dass schwerere Teile mit der Hebehilfe von oben ohne Umgreifen eingelegt werden. Nach Stufe 2 ist der Beschickungsplatz für die bauseitige Hebehilfe vorbereitet und deren Schwenkbereich am Boden markiert. An der Maschine ist nicht feststellbar, ob ein Werkstück über 15 kg ohne Hebehilfe gehoben wird; das verbleibende Risiko ist dieses Fehlverhalten mit Überlastung des Bewegungsapparats oder herabfallendem Werkstück. Eine weitere Maßnahme der Stufe 1 oder 2, die dieses Fehlverhalten verhindert, ohne die manuelle Beschickung aufzuheben, ist nicht erkennbar. Das Textschild „Manuelle Handhabung höchstens 15 kg, darüber Hebehilfe benutzen“, Sicherheitsschuhe S3, die Unterweisung und die Betreiberpflicht zur Bereitstellung der Hebehilfe stehen in der Betriebsanleitung (Kap. 1.2, 2.4 und 9.1).

Nr. 10 Mechanisch — Risiko vorher: S 3 · W 3 · **RZ 9**

Stolper-, Rutsch- und Sturzgefahr im Bereich des Beschickungsplatzes und des Wartungsgangs durch Schweißspritzer auf dem Boden, Kabel, Schläuche (Druckluft, Schutzgas) und nasse Stellen bei Reinigungsarbeiten.

Teilmaschine: Beschickungsplatz / Wartungsgang · auch in: Betrieb, Wartung, Reinigung, Fehlersuche · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Kabel und Schläuche (Druckluft, Schutzgas) durch konstruktive Führung in Kabelkanälen, Energieführungsketten oder deckenseitig abgehängten Leitungsführungen aus dem Bodenbereich des Beschickungsplatzes und des Wartungsgangs heraushalten, sodass keine Stolperstellen entstehen. Anschlüsse am Beschickungsplatz als Deckenpendel oder wandseitige Steckdosenfelder ausführen. Schweißspritzer-Exposition am Boden durch konstruktive Abschirmbleche (Spritzschutzbleche) an der Schweißstation reduzieren, sodass der Austrag in den Bedienbereich minimiert wird. Der Hallenboden gehört nicht zum Lieferumfang; die Anforderung an den Aufstellort (rutschhemmender Bodenbelag) wird in Stufe 3 an den Betreiber weitergegeben.
Stufe 2 · Technisch	Restrisiko durch verbleibende Stolper- und Rutschstellen mit folgenden technischen Maßnahmen begrenzen: (1) Bodenmarkierungen (gelb/schwarz nach ASR A1.3) zur Kennzeichnung der Verkehrswege und Gefahrenbereiche gemäß (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.5.15. (2) Ausreichende ortsfeste Beleuchtung des Beschickungsplatzes und Wartungsgangs nach (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.1.4, sodass Hindernisse und nasse Stellen frühzeitig erkannt werden können; die maschinenintegrierte Beleuchtung nach EN 1837 liefert 500 lx am Beschickungsplatz, 200 lx im Wartungsgang. (3) Spritzschutzmatten im unmittelbaren Schweißbereich, die einfach zu entnehmen und zu reinigen sind.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): (1) Hinweis auf Stolper- und Rutschgefahr durch Schweißspritzer, Schläuche und Nässe; Reinigungsintervalle und Reinigungsverfahren für den Bodenbereich vorschreiben. (2) Qualifikationsanforderung: Alle Personen, die den Beschickungsplatz und Wartungsgang betreten, müssen in die Gefahren und die Verkehrswegeführung eingewiesen sein. (3) PSA-Angabe: Sicherheitsschuhe mit rutschhemmender Sohle (S3 nach EN ISO 20345) sind beim Betreten des Beschickungsplatzes und Wartungsgangs zu tragen. (4) Warnkennzeichnung am Zugang zum Beschickungsplatz und Wartungsgang: Warnzeichen W011 'Warnung vor Rutschgefahr' und Gebotszeichen M008 'Fußschutz benutzen' nach EN ISO 7010:2020 anbringen. (5) Anforderung an den Aufstellort: rutschhemmender Bodenbelag am Beschickungsplatz und im Wartungsgang, Bewertungsgruppe mindestens R 11 nach DGUV Regel 108-003.

Risiko nachher: S 3 · W 2 · **RZ 6 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 6 (S 3, W 2) durch Stolpern, Rutschen und Stürzen. Nach Stufe 1 sind Kabel und Schläuche aus dem Bodenbereich herausgeführt, Spritzschutzbleche verringern den Spritzeraustrag. Verbleibend sind Schweißspritzer, die durch die für die Beschickung offene Öffnung auf den Boden gelangen, und Nässe bei Reinigungsarbeiten. Die Öffnung muss für das Einlegen offen bleiben, und der Hallenboden gehört nicht zum Lieferumfang; weitere konstruktive Maßnahmen an der Maschine erreichen diese Ursachen nicht. Nach Stufe 2 sind die Verkehrswege markiert, der Beschickungsplatz mit 500 lx und der Wartungsgang mit 200 lx beleuchtet und im Schweißbereich entnehmbare Spritzschutzmatten vorgesehen; die Prüfung der Stolper- und Rutschstellen ist bestanden. Eine darüber hinausgehende technische Maßnahme würde nur die Bodenreinigung ersetzen, die als tägliche Tätigkeit festgelegt ist. Die tägliche Reinigung (Betriebsanleitung Kap. 10.2), rutschhemmende Sicherheitsschuhe S3, die Zeichen W011 und W007 (Kap. 2.4) und die Anforderung an einen rutschhemmenden Bodenbelag am Aufstellort (Übersicht der Restgefahren, Kap. 2.6) bilden die Benutzerinformation.

Nr. 11 Mechanisch

Risiko vorher: S 5 · W 2 · **RZ 10**

Gefährdung durch gleichzeitigen Zugang mehrerer Personen in verschiedene Zonen der Zelle (EN ISO 11161): Eine zweite Person hält sich im Zelleninneren auf, ohne dass der Einrichter dies erkennt; beim Anlauf des Roboters oder des Wendetischs wird die zweite Person getroffen.

Teilmaschine: Gesamtanlage (Zonenzugang) · auch in: Wartung, Fehlersuche · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Inhärente Möglichkeiten ausgeschöpft: Das Funktionsprinzip der Gesamtanlage erfordert begehbare Zonen für Einricht-, Wartungs- und Fehlersucharbeiten. Die Gefährdung entsteht durch das gleichzeitige Vorhandensein mehrerer Personen in verschiedenen Zonen, was konstruktiv nicht durch Geometrie, Abstand oder Energiebegrenzung allein aufgelöst werden kann, ohne den Betriebszweck zu unterbinden. Eine Reduktion der Roboter- oder Wendetischenergie auf ein Maß, das Verletzungen sicher ausschließt, ist bei diesem Anlagentyp technisch nicht realisierbar.
Stufe 2 · Technisch	1. Personensicherung beim Zugang mehrerer Personen nach EN ISO 11161:2007+A1:2010: Die Wartungstür hat eine Sperrvorrichtung für persönliche Vorhängeschlösser. Jede Person, die die Zelle betritt, hängt ihr persönliches Vorhängeschloss in die Sperrvorrichtung der geöffneten Tür ein. Solange ein Schloss eingehängt ist, lässt sich die Tür nicht schließen und der Automatikbetrieb nicht starten. Bewegungen sind dann nur in der Betriebsart Einrichten mit betätigter Zustimmeinrichtung und sicher reduzierter Geschwindigkeit möglich. Quittiert wird ausschließlich von außen am Bedienpult. 2. Zuhaltung der Wartungstür nach EN ISO 14119:2025 mit Fluchtentriegelung von innen nach EN ISO 14119:2025 Abschnitt 6.9.1, damit eingeschlossene Personen die Zelle jederzeit verlassen können. 3. Die Freigabe des Automatikanlaufs (Roboter und Wendetisch) ist als Sicherheitsfunktion ausgeführt: Automatikanlauf nur möglich, wenn die Wartungstür geschlossen und zugehalten ist und von außen quittiert wurde. Die Zugangsfunktion ist SF-01 (Stillsetzen beim Öffnen der Wartungstür) mit PLr d nach EN ISO 13849-1:2023. Die Schwenkfreigabe des Wendetisches bleibt unabhängig davon durch SF-04 (PLr e) abgesichert. 4. Im Einrichtbetrieb gilt SF-05 (sicher reduzierte Geschwindigkeit 250 mm/s mit Zustimmeinrichtung, PLr d nach EN ISO 13849-1:2023). Die Zustimmeinrichtung ist personengebunden. Die Zelle hat genau eine Zustimmeinrichtung am Teach-Pendant; Bewegungen im Einrichtbetrieb sind deshalb nur zulässig, wenn sich außer der Person mit der Zustimmeinrichtung niemand im Zelleninneren aufhält (Verfahrensanweisung siehe Stufe 3). 5. Sicherheitsabstände zwischen Roboter-Arbeitsraum und Aufenthaltsbereichen nach EN ISO 13857:2019 Tabelle 2 und EN ISO 10218-2:2025 Abschnitte 5.4.6 und 5.8.9 sind eingehalten.
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Beschreibung der Personensicherung an der Wartungstür (persönliches Vorhängeschloss je Person in der Sperrvorrichtung, Fluchtentriegelung von innen), der Pflicht zum Einhängen des Schlosses vor dem Betreten und zum Entfernen erst nach dem Verlassen der Zelle. Verfahrensanweisung für Mehrpersoneneinsätze (Einrichten, Wartung, Fehlersuche) mit klarer Rollenzuweisung (verantwortliche Person, Koordination). 2. Warnkennzeichnung an der Wartungstür: Warnzeichen W018 'Warnung vor automatischem Anlauf' nach EN ISO 7010:2020, Textschild 'Vor dem Betreten persönliches Schloss einhängen'. 3. Qualifikationsanforderung: Einricht- und Wartungspersonal muss in das Mehrpersonen-Zugangskonzept und den Gebrauch der Sperrvorrichtung für persönliche Vorhängeschlösser und der Fluchtentriegelung eingewiesen sein. Die Einweisung ist zu dokumentieren. 4. PSA-Angabe in der Betriebsanleitung: Sicherheitsschuhe S3 nach EN ISO 20345, eng anliegende Schutzkleidung (kein Einzugsrisiko durch lose Kleidung) beim Aufenthalt im Zelleninneren.

Risiko nachher: S 5 · W 1 · **RZ 5 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 5 (S 5, W 1) beim Zugang mehrerer Personen. Einricht-, Wartungs- und Fehlersucharbeiten verlangen begehbare Zonen; die Gefährdung einer zweiten Person lässt sich nicht durch Geometrie oder Energiebegrenzung auflösen (Stufe 1). Nach Stufe 2 hängt jede eintretende Person ihr persönliches Vorhängeschloss in die Sperrvorrichtung der Wartungstür; solange ein Schloss hängt, lässt sich die Tür nicht schließen und der Automatikbetrieb nicht starten, quittiert wird nur von außen (SF-01, PL d). Bewegungen sind dann nur im Einrichtbetrieb mit der einzigen, personengebundenen Zustimmeinrichtung und 250 mm/s möglich (SF-05, PL d), und die Fluchtentriegelung erlaubt jederzeit das Verlassen von innen. Diese Personensicherung folgt EN ISO 11161:2007+A1:2010. Verbleibend ist eine Person, die die Zelle ohne eigenes Schloss betritt, während der Einrichter Bewegungen auslöst; auch dann bewegt sich die Anlage nur mit reduzierter Geschwindigkeit unter der Zustimmeinrichtung des Einrichters. Das Einhängen des Schlosses bleibt eine Handlung jeder einzelnen Person; eine weitere Maßnahme der Stufe 1 oder 2, die dieses Fehlverhalten verhindert, ohne die Einrichtarbeiten einzuschränken, wurde nicht ermittelt. Verfahrensanweisung für Mehrpersoneneinsätze, Textschild an der Tür und Unterweisung: Betriebsanleitung Kap. 2.4, 2.5, 2.6 und 9.3.

Nr. 13 Elektrisch — Risiko vorher: S 4 · W 2 · **RZ 8**

Gefährdung durch Schweißstrom am Werkstück und an der Vorrichtung: Der Schweißstromkreis führt hohe Ströme (typisch 100 bis 350 A); bei fehlerhafter Masseverbindung oder beschädigter Isolation können Personen, die das Werkstück oder die Vorrichtung berühren, einen Stromschlag erhalten.

Teilmaschine: Schweißstromquelle / Vorrichtung · auch in: Betrieb, Fehlersuche · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Vorrichtungsrahmen und Werkstückaufnahmen so gestalten, dass berührbare leitfähige Flächen, die im Schweißstromkreis liegen, durch konstruktive Isolation (Isolierplatten aus Glasfaser-Epoxid zwischen Vorrichtungsgrundplatte und Maschinentisch sowie isolierende Spannbacken-Einsätze) galvanisch vom Maschinengestell getrennt sind. Dadurch wird der unbeabsichtigte Strompfad über das Gestell und berührbare Außenflächen bereits konstruktiv unterbrochen. Zusätzlich: Masseband-Anschlusspunkt direkt am Werkstück oder an einer definierten, für Bediener nicht berührbaren Stelle der Vorrichtung festlegen und durch Formgebung (Vertiefung, Kabelführungskanal) so integrieren, dass eine Fehlpositionierung der Masseklemme konstruktiv erschwert wird.
Stufe 2 · Technisch	1. Schweißstromquelle: Die Schweißstromquelle hat Schutzklasse I und IP23S nach EN IEC 60974-1; die Einbindung in die Schutzleiterkette der Gesamtanlage erfolgt nach EN 60204-1:2018 Abschnitt 8 (Schutzleiterquerschnitte, Anschlusspunkte). 2. Überwachung der Masseverbindung: Die Massestromüberwachung der Schweißstromquelle ist aktiviert; bei Unterbrechung oder unzulässig hohem Übergangswiderstand wird der Schweißprozess gesperrt. Die Funktion ist eine betriebliche Verriegelung ohne PL-Anforderung (keine Sicherheitsfunktion im Sinne der EN ISO 13849-1:2023); eine Risikominderung wird dafür nicht angerechnet. 3. Potenzialausgleich: Alle leitfähigen Teile der Vorrichtung, die nicht bewusst isoliert sind, werden in den Schutzpotenzialausgleich der Anlage einbezogen (EN 60204-1:2018 Abschnitt 8.2). 4. Zugangsbeschränkung während des Schweißprozesses: Der Beschickungsplatz ist durch den Lichtvorhang (SF-02, PLr e nach EN ISO 13849-1:2023) gesichert; während aktiver Schweißung ist der Zugang zum Schweißbereich durch die verriegelte Wartungstür (SF-01, PLr d) und die Freigabelogik des Wendetisches (SF-04, PLr e) unterbunden, sodass eine Berührung spannungsführender Teile im Automatikbetrieb konstruktiv und steuerungstechnisch verhindert wird. 5. Kabelmanagement: Schweißkabel und Massekabel werden in geschlossenen Kabelkanälen oder Schutzschläuchen geführt (Schutz gegen mechanische Beschädigung); Mindestbiegeradien nach Herstellervorgabe einhalten; Kabel mit Zugentlastung befestigen.
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Beschreibung des korrekten Anschlusses der Masseklemme (Position, Reinigung der Kontaktfläche, zulässige Klemmbereiche); Hinweis, dass das Berühren von Werkstück und Vorrichtung während des Schweißprozesses verboten ist; Prüfintervalle für Isolation und Kabelzustand (arbeitstäglich Sichtprüfung, halbjährlich Isolationsmessung durch Elektrofachkraft, siehe Kapitel 10.2). 2. Qualifikationsanforderung: Einrichten, Fehlersuche und Wartung an der Schweißstromquelle und deren Anschlüssen dürfen nur durch eine Elektrofachkraft oder elektrotechnisch unterwiesene Person unter Aufsicht einer Elektrofachkraft durchgeführt werden (Begriffe nach EN 60204-1:2018 Abschnitt 3.1). 3. Warnkennzeichnung an der Vorrichtung und am Schweißbereich: Warnzeichen W012 'Warnung vor elektrischer Spannung' nach EN ISO 7010:2020 an gut sichtbarer Stelle anbringen; Textschild 'Masseklemme vor Schweißbeginn prüfen'. 4. PSA-Angabe in der Betriebsanleitung: Beim Einrichten und bei der Fehlersuche im Schweißbereich sind isolierende Handschuhe (Schutzklasse geeignet für Niederspannung) sowie Schweißerschutzkleidung zu tragen.

Risiko nachher: S 4 · W 1 · **RZ 4 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 14 Elektrisch — Risiko vorher: S 4 · W 2 · **RZ 8**

EMV-Störbeeinflussung zwischen Schweißstromquelle und Sicherheitssteuerung (Robotersteuerung, Lichtvorhang-Auswerteeinheit, Zuhaltungssteuerung): Hochfrequente Störimpulse des MAG-Lichtbogens können Sicherheitsfunktionen beeinflussen und zu Fehlauslösungen oder, kritischer, zu unerkanntem Ausfall von Sicherheitsfunktionen führen (EN ISO 11161).

Teilmaschine: Gesamtanlage (EMV-Schnittstelle) · auch in: Betrieb · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Räumliche und galvanische Trennung der Schweißstromkreise von den Sicherheitsstromkreisen durch konstruktive Festlegung: (1) Schweißstromrückleitung als dedizierter, werkstücknaher Rückleiter direkt an der Schweißvorrichtung zurückführen, sodass keine großflächigen Stromschleifen entstehen, die als Antenne wirken. (2) Schweißstromleitungen und Sicherheitssignal-/Steuerleitungen in getrennten Kabelkanälen mit einem Mindestabstand von 200 mm verlegen (Trennungsabstände nach EN 50174-2 und EN 60204-1:2018 Anhang H); Kreuzungen nur im rechten Winkel. (3) Schweißstromquelle und Sicherheitssteuerung auf getrennten, niederohmig mit dem Anlagen-Schutzleiter verbundenen Potenzialausgleichsschienen erden, um gemeinsame Impedanzpfade zu vermeiden. Diese Maßnahmen reduzieren die Einkopplung an der Quelle, ohne eine Schutzeinrichtung zu erfordern.
Stufe 2 · Technisch	Für das verbleibende Restrisiko leitungsgebundener und abgestrahlter Störungen: (1) Alle Sicherheitssignal- und Steuerleitungen (Lichtvorhang SF-02, Zuhaltung SF-01, Schwenkfreigabe SF-04, Not-Halt SF-03) als geschirmte Leitungen ausführen; Schirm beidseitig niederohmig auf die Potenzialausgleichsschiene auflegen. (2) Einsatz von Netzfiltern (Entstörfilter) an der Einspeisung der Sicherheitssteuerung und der Lichtvorhang-Auswerteeinheit, ausgelegt nach EN IEC 61000-6-2:2019 (Störfestigkeitsanforderungen Industrieumgebung). (3) Robotersteuerung, Lichtvorhang-Auswerteeinheit und Zuhaltungssteuerung nur in Schaltschränken mit durchgehender Schirmung (Metallgehäuse, EMV-gerechte Kabeldurchführungen) einbauen. (4) Sicherheitssteuerung und alle Komponenten der Sicherheitsfunktionen SF-01 bis SF-05 müssen die Störfestigkeitsanforderungen der EN IEC 61000-6-2:2019 nachweislich erfüllen (Herstellernachweise der Komponenten liegen vor). (5) Die Sicherheitsfunktionen SF-01 (PLr d), SF-02 (PLr e), SF-03 (PLr d), SF-04 (PLr e) und SF-05 (PLr d) sind nach EN ISO 13849-1:2023 und EN ISO 13849-2:2012 zu validieren; die Validierung muss die Störfestigkeit der SRP/CS nach EN ISO 13849-1:2023 Anhang L sowie die CCF-Maßnahmen (Anhang F) nachweisen. (6) Schweißstromquelle: CE-gekennzeichnetes Gerät mit EU-Konformitätserklärung, auch nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU; Störaussendung der Stromquelle nach EN IEC 60974-10 (EMV von Lichtbogenschweißeinrichtungen), Störaussendung der Gesamtanlage nach EN IEC 61000-6-4:2019 (Bericht RSZ-2600-EMV-001). (7) Gesamtanlage: EMV-Abnahmeprüfung nach EN IEC 61000-6-2:2019 im Betriebszustand mit aktivem Schweißprozess durchführen, um die Störfestigkeit der Sicherheitsfunktionen im realen Betrieb zu verifizieren.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): (1) Hinweis, dass Änderungen an der Kabelverlegung (Schweißstromleitungen, Steuerleitungen) nur durch qualifiziertes Fachpersonal mit EMV-Kenntnissen durchgeführt werden dürfen. (2) Wartungsanweisung: Sichtprüfung der Schirmauflagen, Potenzialausgleichsverbindungen und Kabelkanaltrennung; Prüfintervall halbjährlich (siehe Kapitel 10.2). (3) Hinweis, dass nach jedem Austausch von Schweißstromquelle, Robotersteuerung oder Sicherheitskomponenten eine erneute EMV-Funktionsprüfung der Sicherheitsfunktionen erforderlich ist. (4) Qualifikationsanforderung: Einrichtpersonal (Betriebsart Einrichten, SF-05 aktiv) muss zu EMV-bedingten Fehlerbildern an Sicherheitssteuerungen unterwiesen sein. (5) Kennzeichnung am Schaltschrank der Sicherheitssteuerung: Textschild 'Kabelverlegung nur nach Elektroschaltplan RSZ-2600-EPL-001 ändern'.

Risiko nachher: S 4 · W 1 · **RZ 4 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 15 Thermisch — Risiko vorher: S 3 · W 4 · **RZ 12**

Verbrennungsgefahr durch heiße Werkstücke und Schweißnähte: Frisch geschweißte Baugruppen erreichen im Nahtbereich mehrere hundert Grad Celsius; beim Entnehmen ohne geeignete Schutzhandschuhe oder bei Berühren der Naht können schwere Verbrennungen entstehen.

Teilmaschine: Beschickungsplatz (Entnahmeseite) · auch in: Betrieb · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Inhärente Möglichkeiten ausgeschöpft: Das Funktionsprinzip des Lichtbogen- bzw. Schutzgasschweißens erfordert zwingend den Wärmeeintrag in das Werkstück; die entstehende Nahttemperatur ist physikalisch nicht auf ein ungefährliches Niveau reduzierbar, ohne den Schweißprozess selbst zu unterbinden. Eine Substitution des Fügeverfahrens (z.B. Kleben, Schrauben) ist nicht vorgesehen und würde die Produktanforderungen nicht erfüllen. Eine geometrische Maßnahme (Abstand zur Naht durch Formgebung) ist am Entnahmegreifpunkt konstruktiv nicht realisierbar, da die Bedienperson die Baugruppe greifen muss.
Stufe 2 · Technisch	1. Erzwungene Abkühlzeit: Steuerungsseitige Sperrzeit nach Schweißende (Zeitglied in der Anlagensteuerung), während der die Entnahmefreigabe am Beschickungsplatz (Entnahmeseite) gesperrt bleibt. Die Sperrzeit ist je Schweißprogramm hinterlegt; sie richtet sich nach Werkstückgeometrie und Wärmeeintrag. Diese Funktion ist keine Sicherheitsfunktion im Sinne EN ISO 13849-1 (kein PLr zugewiesen), sondern eine prozesstechnische Verriegelung; sie mindert die Eintrittswahrscheinlichkeit, ersetzt aber nicht die PSA-Pflicht. 2. Warnleuchte / Signaleinrichtung: Optische Anzeige (rote Signalleuchte am Entnahmeplatz), die während der Abkühlsperrzeit aktiv ist und erlischt, sobald die Freigabe erteilt wird. 3. Thermische Abschirmung: Die trennende Mittelwand mit Schweißerschutzvorhang zwischen Schweißbereich und Entnahmeplatz schirmt die Strahlungswärme zum Bediener ab (Auslegung nach EN ISO 13732-1:2008 hinsichtlich Kontakttemperaturgrenzen als Auslegungsreferenz für Oberflächen, die unbeabsichtigt berührt werden können).
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Hinweis auf Verbrennungsgefahr durch heiße Werkstücke und Schweißnähte; Angabe der erforderlichen Abkühlzeit vor der Entnahme; Verpflichtung zum Tragen von Hitzeschutzhandschuhen (PSA Kategorie II, geeignet für Kontaktwärme gemäß EN 407, Leistungsstufe mindestens Kontaktwärme Level 3) und ggf. Unterarmschutz. 2. Warnkennzeichnung am Entnahmeplatz: Warnzeichen W017 'Warnung vor heißer Oberfläche' und Gebotszeichen M009 'Handschutz benutzen' nach EN ISO 7010:2020 dauerhaft und gut sichtbar am Beschickungsplatz (Entnahmeseite) anbringen ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.1). 3. Qualifikation und Unterweisung: Bediener und Einrichter sind vor Aufnahme der Tätigkeit über die Verbrennungsgefahr, die Abkühlzeiten und die PSA-Pflicht zu unterweisen; die Unterweisung ist zu dokumentieren. 4. PSA-Bereitstellung: Der Betreiber ist in der Betriebsanleitung anzuweisen, geeignete Hitzeschutzhandschuhe (EN 407) bereitzustellen und deren Benutzung zu überwachen.

Risiko nachher: S 3 · W 2 · **RZ 6 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 6 (S 3, W 2) durch heiße Werkstücke. Der Wärmeeintrag gehört zum Schweißverfahren und lässt sich nicht auf ein ungefährliches Niveau senken, und die Bedienperson muss die Baugruppe greifen (Stufe 1 ausgeschöpft). Nach Stufe 2 sperrt die Steuerung die Entnahme je Schweißprogramm für eine Abkühlzeit, die rote Signalleuchte am Entnahmeplatz zeigt die Sperre an, und die trennende Mittelwand schirmt die Strahlungswärme ab. Ein Abwarten, bis die Naht die Grenzwerte der Kontakttemperatur nach EN ISO 13732-1:2008 unterschreitet, würde die Taktzeit von rund 90 Sekunden deutlich überschreiten und die Serienfertigung nach der bestimmungsgemäßen Verwendung aufheben; eine weitere Maßnahme der Stufe 1 oder 2 ist deshalb nicht praktikabel. Verbleibend ist das Berühren noch warmer Nahtbereiche nach Ablauf der Sperrzeit, eine reversible Verbrennung. Dagegen wirken Hitzeschutzhandschuhe nach EN 407, die Zeichen W017 und M009 an der Entnahmeseite und die Unterweisung (Betriebsanleitung Kap. 2.4, 2.6 und 9.1).

Nr. 16 Thermisch — Risiko vorher: S 4 · W 3 · **RZ 12**

Verbrennungs- und Brandgefahr durch Schweißspritzer (Funkenflug): Beim MAG-Schweißen entstehen Spritzer mit Temperaturen über 1500 Grad C; sie können auf brennbare Materialien (Verpackungen, Öle, Kleidung) in der Umgebung treffen und Brände oder Verbrennungen verursachen.

Teilmaschine: Schweißroboter / Schweißbereich · auch in: Betrieb · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Schweißparameter-Optimierung zur Spritzminimierung: Einsatz eines spritzarmen Lichtbogenverfahrens (z. B. Impulslichtbogen oder CMT-ähnlicher Kurzlichtbogen) anstelle des konventionellen Kurzlichtbogens, soweit die Fügeaufgabe dies zulässt. Durch die gezielte Reduktion der übertragenen Spritzenergie und -menge wird die Wahrscheinlichkeit zündfähiger Spritzer auf brennbaren Materialien konstruktiv gesenkt. Zusätzlich: Anordnung des Schweißbereichs so, dass keine brennbaren Betriebsmittel (Öle, Schmierstoffe, Verpackungen) innerhalb des Spritzerschutzradius von 1 m um den Schweißbereich gelagert oder geführt werden. Leitungen mit brennbaren Medien sind aus dem Spritzbereich heraus zu verlegen oder mit nicht brennbaren Abschirmungen zu versehen.
Stufe 2 · Technisch	1. Trennende Schutzeinrichtung: Der Schweißbereich ist vom Schutzzaun mit schweißlichtdichten Füllungen und Schweißerschutz-Sichtfenstern (EN ISO 14120:2015) und von der trennenden Mittelwand des Wendetisches umschlossen; Füllungen und Mittelwand sind nicht brennbar und schweißspritzerfest. Die Umhausung verhindert den Austritt von Spritzern in den allgemeinen Arbeitsbereich. Zum Beschickungsplatz hin schirmt die Mittelwand des Wendetisches mit Schweißerschutzvorhang nach EN ISO 25980 den Schweißbereich ab. 2. Absauganlage im Schweißbereich: Erfassung von Schweißrauch und Partikeln unmittelbar an der Entstehungsstelle nach EN ISO 21904-1:2020, um glühende Partikel abzusaugen und die thermische Belastung der Umgebung zu reduzieren. 3. Freihaltezone von 1 m um den Schutzzaun sichern: dauerhafte Bodenmarkierung gelb/schwarz nach ASR A1.3 und, wo möglich, physische Barrieren; innerhalb der Zone keine Lager- oder Abstellflächen vorsehen. 4. Brandschutz: Halterung für einen Feuerlöscher (CO2 oder Pulver, kein Wasser wegen der elektrischen Anlage) an der Zelle vorsehen; Bereitstellung und Prüfung der Löschmittel obliegen dem Betreiber (Hinweis in der Betriebsanleitung, Stufe 3). 5. Sicherheitsfunktionen: Die Wartungstür ist über SF-01 (PLr d) und die Beschickungsöffnung über SF-02 (PLr e) in die Sicherheitssteuerung eingebunden; geschweißt wird nur bei geschlossener und zugehaltener Wartungstür.
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung (gemäß (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Hinweis auf Spritzerschutzradius und Verbot der Lagerung brennbarer Materialien im Schweißbereich. Angabe der zulässigen Schweißparameterbereiche (Strom, Spannung, Drahtvorschub) zur Minimierung des Spritzauswurfs. Anweisung zur regelmäßigen Reinigung von Spritzern auf Maschinenoberflächen und im Schweißbereich (Brandlastreduzierung). Verfahrensanweisung für den Brandfall (Alarmierung, Erstlöschung, Evakuierung). 2. Warnkennzeichnung am Schutzzaun nach EN ISO 7010:2020: allgemeines Warnzeichen W001 mit Zusatztext 'Brandgefahr durch Schweißspritzer'. Warnung vor heißer Oberfläche (W017) im Schweißbereich. Gebotszeichen M010 'Schutzkleidung benutzen' an der Wartungstür. 3. Qualifikationsanforderung: Einrichter und Bediener müssen in der Bedienung der Schweißanlage und im Umgang mit Brandschutzeinrichtungen unterwiesen sein. Einrichter benötigen eine Qualifikation als Schweißfachkraft oder gleichwertige nachgewiesene Unterweisung. 4. PSA-Angabe: Bei Einrichtarbeiten im Schweißbereich ist folgende PSA zu tragen: flammhemmende Schweißerschutzkleidung (nach EN ISO 11611), Schweißerschutzhandschuhe (nach EN 12477), Schweißerschutzschirm oder -helm mit Schweißerschutzfilter nach EN ISO 16321-2 (vormals EN 169). Im Automatikbetrieb bei geschlossener Wartungstür ist keine Schweißer-PSA erforderlich, jedoch ist das Betreten des Schweißbereichs während des Betriebs verboten (Betriebsanleitung).

Risiko nachher: S 4 · W 1 · **RZ 4 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 17 Thermisch

Risiko vorher: S 3 · W 3 · **RZ 9**

Verbrennungsgefahr durch heißen Schweißbrenner und Brennerhals: Der Brennerhals und die Kontaktdüse sind nach dem Schweißprozess stark erhitzt; beim Brennerwechsel, bei der Reinigung oder beim Einrichten ohne Abkühlzeit können Hände und Finger verbrannt werden.

Teilmaschine: Schweißbrenner · auch in: Wartung, Reinigung · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Einsatz einer aktiven Brennerkühlung (wassergekühlter Brenner anstelle eines luftgekühlten Brenners): Durch die kontinuierliche Wasserkühlung wird die thermische Energie im Brennerhals und an der Kontaktdüse konstruktiv auf ein deutlich niedrigeres Temperaturniveau begrenzt. Ergänzend: Gestaltung der Brennerhalterung und des Wechselsystems so, dass der Bediener beim Brennerwechsel ausschließlich thermisch entkoppelte Griffbereiche (Kunststoff- oder Keramikgriff, kein direkter Metallkontakt zum Brennerhals) berührt. Auslegung nach EN ISO 13732-1:2008 (Verbrennungsschwelle für blankes Metall rund 51 °C bei 1 min und 48 °C bei 10 min Kontaktdauer).
Stufe 2 · Technisch	1. Abkühlzeitüberwachung: Ein Temperatursensor am Brennerhals meldet an die Anlagensteuerung; das HMI zeigt die Freigabe für Brennerwechsel und Reinigung erst an, wenn der Temperaturgrenzwert unterschritten ist. Die Funktion ist eine betriebliche Verriegelung ohne PL-Anforderung nach EN ISO 13849-1; eine Risikominderung wird dafür nicht angerechnet. 2. Trennende Schutzeinrichtung: Der Schweißbereich ist vom Schutzzaun mit schweißlichtdichten Füllungen und Schweißerschutz-Sichtfenstern (EN ISO 14120:2015) umschlossen; der Zugang zum Brenner für Wartung und Reinigung erfolgt ausschließlich über die gesicherte Wartungstür (SF-01, PLr d). Damit ist der unbeabsichtigte Zugriff auf den heißen Brenner im Automatikbetrieb konstruktiv ausgeschlossen. 3. Bereitstellung einer Brennerablage mit thermisch isolierter Aufnahme (Keramik- oder Silikonauflage) unmittelbar an der Schweißstation, sodass der Brenner nach dem Prozess definiert abgelegt und nicht auf leitfähigen Metallflächen abgestellt wird.
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung: Abkühlzeit nach Schweißende vor Brennerwechsel, Reinigung oder Einrichtarbeiten am Brenner explizit angeben (Richtwert nach Angabe des Brennerherstellers); Verfahrensanweisung für Brennerwechsel mit Schritt 'Abkühlzeit abwarten oder Temperatur prüfen' aufnehmen. 2. Warnkennzeichnung: Warnzeichen 'Warnung vor heißer Oberfläche' (W017 nach EN ISO 7010:2020) dauerhaft und gut sichtbar am Brennerbereich und an der Wartungstür anbringen. 3. Qualifikation: Nur unterwiesene Personen dürfen Brennerwechsel und Reinigung durchführen; Unterweisung umfasst Verbrennungsrisiko, Abkühlzeiten und korrekte PSA-Nutzung. 4. PSA-Angabe: Hitzeschutzhandschuhe (geeignet für Kontaktwärme, Schutzklasse nach EN 407) sind beim Brennerwechsel, bei der Reinigung und bei Einrichtarbeiten am Brenner verpflichtend zu tragen; Angabe in der Betriebsanleitung und durch Gebotszeichen 'Handschutz benutzen' (M009 nach EN ISO 7010:2020) an der Wartungstür.

Risiko nachher: S 3 · W 1 · **RZ 3 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 18 Strahlung

Risiko vorher: S 4 · W 3 · **RZ 12**

Gefährdung durch optische Strahlung des MAG-Lichtbogens (UV, sichtbar, IR): Der Lichtbogen emittiert intensive ultraviolette, sichtbare und infrarote Strahlung; ungeschützter Blick in den Lichtbogen (auch durch geöffnete Wartungstür im Einrichtbetrieb) kann zu Augenschäden (Keratokonjunktivitis, Netzhautschäden) und Hautverbrennungen führen.

Teilmaschine: Schweißroboter / Schweißbereich · auch in: Betrieb · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Inhärente Möglichkeiten ausgeschöpft: Das Funktionsprinzip des MAG-Schweißens erfordert zwingend einen offenen Lichtbogen mit hoher Strahlungsintensität; Strom, Spannung und Lichtbogenenergie können nicht so weit reduziert werden, dass die Strahlungsgefährdung entfällt, ohne den Schweißprozess zu unterbinden. Eine geometrische Verlagerung der Gefahrstelle ist bei einem Roboterschweißsystem mit wechselnden Schweißpositionen nicht möglich.
Stufe 2 · Technisch	1. Umhausung des Schweißbereichs: Schutzzaun mit schweißlichtdichten Füllungen und Schweißerschutz-Sichtfenstern als trennende Schutzeinrichtung nach EN ISO 14120:2015; Füllungen und Beschichtung (mattschwarze, lichtabsorbierende Oberfläche) so auslegen, dass keine relevante UV-/IR-Reflexion nach außen gelangt. Sichtfenster und Schweißerschutzvorhänge nach EN ISO 25980 ausführen. 2. Wartungstür: Die Wartungstür ist mit einer Zuhaltung nach EN ISO 14119:2025 auszurüsten (Verriegelung mit Zuhaltung, Fluchtentriegelung gemäß EN ISO 14119:2025 Abschnitt 6.9.1). Die Sicherheitsfunktion "SF-01 Sicheres Stillsetzen (Stopp-Kategorie 1) beim Öffnen der Wartungstür" ist mit PLr d nach EN ISO 13849-1:2023 zu realisieren: Die Zuhaltung gibt die Tür erst frei, wenn der Lichtbogen erloschen ist und der Roboter stillsteht; ein Sicherheitsabstand nach EN ISO 13855:2024 ist deshalb nicht zu berechnen. 3. Einrichtbetrieb bei geöffneter Wartungstür: Die Schweißstromquelle wird bei geöffneter Wartungstür über SF-01 sicher abgeschaltet (Abschaltpfad der Sicherheits-SPS wie bei SF-03, PLr d nach EN ISO 13849-1:2023), sodass bei offener Tür kein Lichtbogen gezündet werden kann. Die zusätzliche Sperre der Schweißfreigabe in der Standardsteuerung (Schweißfreigabe nur bei geschlossener und zugehaltener Wartungstür) ist eine betriebliche Verriegelung ohne PL-Anforderung. Die Funktion "SF-05 Sicher reduzierte Geschwindigkeit 250 mm/s mit Zustimmeinrichtung im Einrichtbetrieb" (PLr d) gilt für die Bewegungen von Roboter und Wendetisch. Bei geschlossener Wartungstür schützt die Zuhaltung (SF-01) vor der Lichtbogenstrahlung. 4. Strahlungsschutz an der Beschickungsöffnung: Die trennende Mittelwand des Wendetisches mit Schweißerschutzvorhang nach EN ISO 25980 schirmt den Beschickungsplatz ab, sodass kein direkter Strahlungsdurchtritt zum Bediener möglich ist.
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung: Hinweis auf Strahlungsgefährdung durch MAG-Lichtbogen (UV, sichtbar, IR) gemäß (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4.1 und Nr. 1.7.4.2; Angabe, dass die Schweißstromquelle bei geöffneter Wartungstür über SF-01 sicher abgeschaltet ist; Beschreibung der PSA-Anforderungen für Einricht- und Wartungstätigkeiten in der Nähe des Schweißbereichs. 2. Qualifikationsanforderung: Einricht- und Wartungspersonal muss über Kenntnisse der Strahlungsgefährdung beim Lichtbogenschweißen verfügen; Unterweisung gemäß OStrV (Arbeitsschutzrecht, Betreiberpflicht) ist in der Betriebsanleitung als Betreiberpflicht zu benennen. 3. PSA-Angabe: Für Tätigkeiten, bei denen ein Restrisiko durch Streustrahlung (z.B. Reflexionen beim Einrichten in unmittelbarer Nähe) nicht vollständig ausgeschlossen werden kann: Schweißerschutzbrille oder Schweißerschutzschild mit Schweißerschutzfilter nach EN ISO 16321-2 (vormals EN 169), UV-beständige Schutzkleidung und Schutzhandschuhe. 4. Warnkennzeichnung: Warnzeichen "Warnung vor optischer Strahlung" (W027 nach EN ISO 7010:2020) an der Wartungstür und an der Beschickungsöffnung; Gebotszeichen M004 "Augenschutz benutzen" und M010 "Schutzkleidung benutzen" nach EN ISO 7010:2020 an der Wartungstür anbringen. 5. Emissionsangaben: Angaben zur optischen Strahlung des Lichtbogens in der Betriebsanleitung gemäß (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.5.10 und 1.7.4.2; Grundlage sind die Herstellerangaben der Schweißstromquelle und die Bewertung der Strahlungsemission nach EN 12198 (Strahlung von Maschinen).

Risiko nachher: S 4 · W 1 · **RZ 4 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 19 Strahlung — Risiko vorher: S 4 · W 2 · **RZ 8**

Gefährdung durch elektromagnetische Felder (EMF) der Schweißstromquelle und der Schweißleitungen: Hohe Schweißströme erzeugen starke Magnetfelder; Personen mit aktiven Implantaten (Herzschrittmacher, Insulinpumpen) können durch die Felder gefährdet werden.

Teilmaschine: Schweißstromquelle / Schweißleitungen · auch in: Betrieb, Wartung · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Schweißleitungen (Strom- und Rückleiter) so verlegen und bündeln, dass Hin- und Rückleiter räumlich eng zusammengeführt werden (verdrillte oder parallel geführte Leitungspaare mit minimalem Abstand zueinander): Die Magnetfelder beider Leiter kompensieren sich teilweise gegenseitig, was die resultierende Feldstärke im Umfeld deutlich reduziert. Leitungen so kurz wie technisch möglich halten und nicht unnötig aufspulen oder in Schleifen verlegen, da Schleifen die Feldstärke erhöhen. Schweißstromquelle mit Abstand zum Beschickungsplatz und zum Bedienpult aufstellen.
Stufe 2 · Technisch	Zugang zum Schweißbereich (Schweißzelle) während des Betriebs durch die vorhandene trennende Schutzeinrichtung (Schutzzaun nach EN ISO 14120:2015) absichern, sodass Personen den Nahbereich der aktiven Schweißleitungen im Automatikbetrieb nicht betreten können. Wartungstür mit Zuhaltung nach EN ISO 14119:2025 ausführen (SF-01, PLr d), die ein Betreten erst nach Abschalten des Schweißstroms freigibt. Im Einrichtbetrieb und bei Wartungsarbeiten in Leitungsnähe: Schweißstrom vor dem Betreten des Gefahrbereichs abschalten und gegen Wiedereinschalten sichern (Energietrennung und Stillsetzen nach EN ISO 14118:2018). Die Schweißleitungen verlaufen vollständig innerhalb des Schutzzauns, sodass Personen außerhalb der Zelle Abstand zu den aktiven Leitungen halten.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung: Expliziter Hinweis, dass der Betrieb der Schweißanlage starke elektromagnetische Felder erzeugt. Personen mit aktiven oder passiven metallischen Implantaten (Herzschrittmacher, Insulinpumpen, Cochlea-Implantate, Metallimplantate) dürfen den Nahbereich der Schweißleitungen und der Schweißstromquelle nicht betreten. Vor Aufnahme von Einricht- oder Wartungstätigkeiten in Leitungsnähe ist der Schweißstrom abzuschalten. Qualifikationsanforderung: Einricht- und Wartungspersonal ist über die EMF-Gefährdung zu unterweisen; Personen mit bekannten Implantaten sind von Tätigkeiten im Nahbereich aktiver Schweißleitungen auszuschließen. Warnkennzeichnung: Warnung vor magnetischem Feld (W006 nach EN ISO 7010:2020) an der Wartungstür, am Beschickungsplatz und an der Schweißstromquelle anbringen. Zusätzlich Verbotszeichen für Personen mit Herzschrittmachern (P007 nach EN ISO 7010:2020) an denselben Stellen. EMF-Emissionen sind in der Betriebsanleitung qualitativ zu beschreiben; Bewertungsgrundlage sind die Herstellerangaben der Schweißstromquelle nach EN IEC 62822-2 (Bewertung von Lichtbogenschweißeinrichtungen hinsichtlich der EMF-Exposition von Personen).

Risiko nachher: S 4 · W 1 · **RZ 4 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 20 Stofflich — Risiko vorher: S 4 · W 4 · **RZ 16**

Gefährdung durch Einatmen von Schweißrauch und -dämpfen (Metalloxide, Mangan, Eisenoxide): MAG-Schweißen von Baustahl erzeugt gesundheitsschädliche Partikel und Gase; bei unzureichender Absaugung (gesättigte Filterpatrone, abgeschaltete Anlage) überschreiten die Konzentrationen am Atembereich des Bedieners die Arbeitsplatzgrenzwerte.

Teilmaschine: Gesamtanlage (Absaugung / Schweißbereich) · auch in: Betrieb, Wartung, Reinigung · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Substitution des Schweißzusatzwerkstoffs: Einsatz von Massivdraht-Elektroden mit nachweislich reduziertem Mangangehalt (Mn-arme Legierung, z.B. Mn-Gehalt < 1,0 % gemäß Sicherheitsdatenblatt) anstelle von Fülldrahtelektroden oder hochmanganhaltigen Drähten, soweit die Schweißaufgabe (Baustahl, Nahtqualität) dies zulässt. Zusätzlich: Optimierung der Schweißparameter (Lichtbogenspannung, Drahtvorschub, Schutzgaszusammensetzung) auf raucharme Einstellung gemäß Herstellerempfehlung der Schweißstromquelle, um die Rauchentwicklung an der Quelle zu minimieren. Beides reduziert die emittierte Schadstoffmasse und senkt damit die Wahrscheinlichkeit einer gesundheitsschädlichen Exposition; die Schwere des möglichen Schadens bleibt unverändert.
Stufe 2 · Technisch	Technische Lüftung und Absaugung nach EN ISO 21904-1:2020 (Schweißrauchabsaugung): Erfassung des Schweißrauchs durch die Erfassungshaube über dem Schweißbereich mit einem Volumenstrom von 1800 m3/h, der die Erfassungsgeschwindigkeit an der Entstehungsstelle sicherstellt. Die Absauganlage muss mit einer Filterüberwachung (Differenzdruckwächter) ausgestattet sein, die bei gesättigter Filterpatrone oder gestörter Absaugung einen Alarm auslöst; die Zelle stoppt kontrolliert, ein Wiederanlauf ist erst nach Beseitigung der Störung möglich (betriebliche Verriegelung ohne PL-Anforderung nach EN ISO 13849-1, eine Risikominderung wird dafür nicht angerechnet). Abschirmung des Schweißbereichs durch den Schutzzaun mit schweißlichtdichten Füllungen (EN ISO 14120:2015) und die trennende Mittelwand des Wendetisches, um Rauchaustritt in den Bedienerbereich zu minimieren. Raumluftüberwachung am Beschickungsplatz auf Schweißrauchkonzentration als zusätzliche Betreibermaßnahme empfohlen.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung (gemäß (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Angabe der emittierten Schweißraucharten und Hinweis auf einzuhaltende AGW nach TRGS 900 und TRGS 528; Anweisung zur regelmäßigen Prüfung und zum Wechsel der Filterpatronen (Wartungsintervall nach Herstellervorgabe EN ISO 21904-1:2020); Verbot des Schweißbetriebs bei ausgefallener oder abgeschalteter Absauganlage. Warnkennzeichnung am Schweißbereich: allgemeines Warnzeichen W001 nach EN ISO 7010:2020 mit Zusatztext 'Gesundheitsschädlicher Schweißrauch' und Gebotszeichen 'Atemschutz benutzen' (M017) als Restrisikokennzeichnung. PSA-Anforderung: partikelfiltrierende Halbmaske FFP3 nach EN 149 oder Gebläseatemschutz für Einricht-, Wartungs- und Reinigungsarbeiten im Schweißbereich bei abgeschalteter Absaugung; Qualifikationsanforderung: Bediener und Einrichter müssen in den Gefahren von Schweißrauchen und der korrekten Bedienung der Absauganlage unterwiesen sein (TRGS 528 Abschnitt 5).

Risiko nachher: S 4 · W 2 · **RZ 8 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 8 (S 4, W 2) durch Schweißrauch. Die Schwere folgt aus den Stoffeigenschaften des Schweißrauchs (Metalloxide, Mangan) und bleibt unverändert; das MAG-Verfahren ist der Zweck der Maschine und nicht ersetzbar. Nach Stufe 1 sind manganarmer Massivdraht, soweit die Schweißaufgabe es zulässt, und raucharme Parameter vorgesehen. Nach Stufe 2 erfasst die Haube über dem Schweißbereich den Rauch mit 1.800 m³/h, bei gestörter Absaugung oder gesättigter Filterpatrone stoppt die Zelle kontrolliert (Störmeldeschwelle 1.400 m³/h), die Abscheidung erfolgt in Klasse W3, und Schutzzaun und trennende Mittelwand schirmen den Beschickungsplatz ab; Erfassung, Wirksamkeit und Abscheideklasse sind geprüft. Eine vollständige Einhausung ist nicht möglich, weil die Beschickungsöffnung für das manuelle Einlegen offen bleiben muss, und bei Arbeiten im Schweißbereich ist die Absaugung abgeschaltet; eine weitere Maßnahme der Stufe 1 oder 2 für diese Restexposition ist nicht erkennbar. Verbleibend sind Restemissionen am Beschickungsplatz und die Exposition bei Einricht-, Wartungs- und Reinigungsarbeiten. Atemschutz FFP3 für diese Arbeiten, das Verbot des Schweißens ohne wirksame Absaugung, die Filterwartung und die Betreiberpflichten nach TRGS 528 stehen in der Betriebsanleitung (Kap. 1.2, 2.6, 9.1 und 10.2).

Nr. 24 Lärm

Risiko vorher: S 4 · W 4 · **RZ 16**

Gefährdung durch Lärm beim MAG-Schweißprozess und durch den Wendetisch-Antrieb: Der Schweißprozess (Lichtbogengeräusch, Spritzer) sowie mechanische Antriebe erzeugen relevante Schalldruckpegel am Beschickungsplatz; bei Dauerbetrieb (Zweischichtbetrieb, 16 h) kann der Tages-Lärmexpositionspegel LEX,8h die Auslösewerte der LärmVibrationsArbSchV erreichen oder überschreiten.

Teilmaschine: Gesamtanlage (Schweißbereich / Wendetisch) · auch in: Betrieb · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Lärmminderung an der Quelle durch konstruktive Maßnahmen nach EN ISO 11688-1: (1) Schweißprozessoptimierung: Auswahl emissionsarmer Schweißparameter (Impulslichtbogen statt Kurzlichtbogen, wo prozesstechnisch möglich), da der Kurzlichtbogen höhere Spritzer- und Geräuschemission erzeugt. (2) Antriebskapselung und Körperschallentkopplung des Wendetisch-Antriebs: Elastische Lagerung des Antriebsmotors und des Getriebes auf dem Maschinengestell, um Körperschallübertragung auf abstrahlende Flächen zu reduzieren. (3) Maschinengestell aus schallabsorbierenden oder gedämpften Profilen (z.B. mit Bitumendämmmatten belegte Blechverkleidungen) anstelle ungedämpfter Stahlblechflächen, um Schallabstrahlung zu verringern. Die Messung und Deklaration der Geräuschemissionswerte erfolgt in Stufe 2 und Stufe 3.
Stufe 2 · Technisch	(1) Akustische Abschirmung des Schweißbereichs durch die trennende Mittelwand des Wendetisches und die geschlossenen Füllungen des Schutzzauns zwischen Schweißbereich und Beschickungsplatz. (2) Kapselung oder Verkleidung des Wendetisch-Antriebs mit schallabsorbierendem Material, sofern Wartungszugänglichkeit gewährleistet bleibt (Verkleidung als trennende Schutzeinrichtung nach EN ISO 14120:2015 ausführen). (3) Lärmmessung am Beschickungsplatz nach EN ISO 11202:2010 im repräsentativen Betriebszustand (Automatikbetrieb, MAG-Schweißen aktiv, Wendetisch in Betrieb) zur Ermittlung des Emissionsschalldruckpegels LpA (gemessen: 84 dB(A), K = 2,5 dB). Den Tages-Lärmexpositionspegel LEX,8h ermittelt der Betreiber nach LärmVibrationsArbSchV. Hinweis: Keine Sicherheitsfunktion nach EN ISO 13849-1 betroffen; PLr-Bestimmung entfällt für diese Gefährdung.
Stufe 3 · Information	(1) Betriebsanleitung (MVO (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4.2 u)): Angabe des gemessenen Emissions-Schalldruckpegels LpA am Beschickungsplatz nach EN ISO 11202:2010 und EN ISO 4871:2009 (mit Messunsicherheit K); bei LpA über 80 dB(A) zusätzlich Angabe des Schallleistungspegels LWA nach EN ISO 3746:2010. Hinweis auf Betreiberpflichten nach LärmVibrationsArbSchV (Gefährdungsbeurteilung, Lärmminderungsprogramm ab oberem Auslösewert LEX,8h 85 dB(A), Pflicht zur Bereitstellung von Gehörschutz ab 80 dB(A), Tragepflicht ab 85 dB(A)). (2) Warnkennzeichnung am Beschickungsplatz: Gebotszeichen 'Gehörschutz benutzen' (M003 nach EN ISO 7010:2020) an gut sichtbarer Stelle anbringen. (3) Qualifikation und Unterweisung: Bedienpersonen sind durch den Betreiber über die Lärmgefährdung, die Auslösewerte und die korrekte Verwendung von Gehörschutz zu unterweisen. (4) PSA-Angabe: Geeigneter Gehörschutz (Kapselgehörschützer oder Gehörschutzstöpsel) mit ausreichendem Dämmwert (SNR) entsprechend dem vom Betreiber ermittelten LEX,8h ist vom Betreiber bereitzustellen; Auswahl nach EN 458.

Risiko nachher: S 4 · W 2 · **RZ 8 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 8 (S 4, W 2) durch Lärm; Schwere 4, weil eine Lärmschwerhörigkeit irreversibel ist. Das Lichtbogengeräusch entsteht am Schweißprozess selbst; nach Stufe 1 sind emissionsarme Schweißparameter, eine körperschallentkoppelte Lagerung und gedämpfte Verkleidungen des Wendetischantriebs vorgesehen. Nach Stufe 2 schirmen die Mittelwand und die geschlossenen Zaunfüllungen den Beschickungsplatz ab, und der Antrieb ist verkleidet. Gemessen sind am Beschickungsplatz LpA = 84 dB(A) mit K = 2,5 dB nach EN ISO 11202:2010 und LWA = 96 dB(A) nach EN ISO 3746:2010. Die Beschickungsöffnung zum Bediener muss offen bleiben, eine weitere Kapselung an dieser Seite ist deshalb nicht möglich, und das Lichtbogengeräusch lässt sich nicht weiter mindern, ohne das Verfahren zu ändern; eine weitere Maßnahme der Stufe 1 oder 2 ist nicht praktikabel. Den Tages-Lärmexpositionspegel bestimmt die Arbeitsorganisation des Betreibers. Die Geräuschangaben nach EN ISO 4871:2009, die Pflichten zu Gehörschutz ab 80 und 85 dB(A) und das Zeichen M003 stehen in der Betriebsanleitung (Kap. 2.4 und 3).

Nr. 27 Ergonomisch — Risiko vorher: S 2 · W 3 · **RZ 6**

Unzureichende Beleuchtung am Beschickungsplatz und im Wartungsgang: Zu geringe Beleuchtungsstärke erschwert das sichere Einlegen und Entnehmen von Werkstücken sowie Wartungsarbeiten und erhöht das Risiko von Fehlhandlungen und Unfällen.

Teilmaschine: Beschickungsplatz / Wartungsgang · auch in: Betrieb, Wartung, Reinigung · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Maschinenintegrierte Arbeitsplatzbeleuchtung am Beschickungsplatz und im Wartungsgang konstruktiv vorsehen: Leuchten werden fest in die Maschinenstruktur integriert (in den Rahmen des Schutzzauns eingebaut), sodass die Beleuchtungsstärke am Beschickungsplatz und im Wartungsgang unabhängig von der Hallenbeleuchtung dauerhaft sichergestellt ist. Die Auslegung erfolgt nach EN ISO 12100:2010 Abschnitt 6.2.8 (Ergonomie) in Verbindung mit EN 1837 (maschinenintegrierte Beleuchtung); ausgeführt sind 500 lx am Beschickungsplatz, 200 lx im Wartungsgang. Durch die konstruktive Integration entfällt die Abhängigkeit von externen, ggf. unzureichenden Beleuchtungsquellen.
Stufe 2 · Technisch	Restrisiko durch Ausfall oder Abschattung der integrierten Leuchten: Überwachung der Betriebsbereitschaft der Arbeitsplatzbeleuchtung durch die Maschinensteuerung (Meldung bei Leuchtmittelausfall). Zusätzlich Kennzeichnung der Wartungsgangbereiche mit retroreflektierenden Bodenmarkierungen gelb/schwarz nach ASR A1.3 (Stolperstellen, Gangbegrenzungen) sowie Warnzeichen W007 'Warnung vor Hindernissen am Boden' nach EN ISO 7010:2020 an Stolperstellen. Eine Sicherheitsfunktion im Sinne von EN ISO 13849-1 ist für die Beleuchtungsüberwachung nicht erforderlich; bei Beleuchtungsausfall sind die Arbeiten einzustellen (Stufe 3).
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Angabe der Beleuchtungsstärke der Arbeitsplatzbeleuchtung (500 lx am Beschickungsplatz, 200 lx im Wartungsgang); Hinweis, dass Arbeiten bei Ausfall der integrierten Beleuchtung einzustellen sind, bis die Beleuchtung wiederhergestellt ist. Textschild an der Wartungstür: 'Bei Ausfall der Beleuchtung Arbeiten einstellen'. Qualifikationsanforderung: Wartungspersonal muss in der Prüfung der Beleuchtungsfunktion vor Arbeitsbeginn unterwiesen sein. Für kurzzeitige Kontrollen bei Beleuchtungsausfall geeignete mobile Leuchten verwenden; reguläre Arbeiten erst nach Wiederherstellung der Beleuchtung fortsetzen.

Risiko nachher: S 2 · W 1 · **RZ 2 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 30 Kombination — Risiko vorher: S 5 · W 2 · **RZ 10**

Gefährdung durch Fehlparametrierung der Robotersteuerung oder der Sicherheitssteuerung (z.B. falsche Sicherheitsabstände, falsche Geschwindigkeitsgrenzen im Einrichtbetrieb, falsche Zonenfreigaben): Fehlerhafte Parameter können dazu führen, dass Sicherheitsfunktionen nicht wie vorgesehen wirken und Personen durch Roboterbewegungen oder Wendetisch-Bewegungen gefährdet werden.

Teilmaschine: Gesamtanlage (Steuerung / Sicherheitssteuerung) · auch in: Inbetriebnahme, Wartung · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Sicherheitsrelevante Parameter (Geschwindigkeitsgrenzen, Schutzzonen, Zonenfreigaben) werden ausschließlich in der Sicherheitssteuerung (Sicherheits-SPS) hinterlegt und dort durch ein passwortgeschütztes, rollenbasiertes Zugriffskonzept gegen unbefugte oder versehentliche Änderung gesichert. Parametersätze für die Sicherheitsfunktionen SF-01 bis SF-05 werden als unveränderliche, checksummengesicherte Datensätze (z.B. CRC-32 oder gleichwertig) in der Sicherheitssteuerung abgelegt, sodass jede unbeabsichtigte Änderung beim Systemstart automatisch erkannt und ein sicherer Zustand erzwungen wird. Dieses Prinzip entspricht dem inhärent sicheren Steuerungsprinzip nach EN ISO 12100 Abschnitt 6.2.11 (Steuerungsprinzipien, die das Auftreten von Gefährdungen begrenzen) und reduziert die Möglichkeit, dass fehlerhafte Parameter überhaupt wirksam werden.
Stufe 2 · Technisch	1. Validierungspflicht vor Freigabe: Jede Änderung sicherheitsrelevanter Parameter erfordert eine dokumentierte Abnahmeprüfung (Funktionstest aller betroffener Sicherheitsfunktionen SF-01 bis SF-05) durch zwei autorisierte Personen (Vier-Augen-Prinzip) vor der Wiederinbetriebnahme. Die Sicherheitssteuerung darf den Automatikbetrieb erst nach positiver Quittierung freigeben. Grundlage: EN ISO 13849-2:2012 (Validierung von Sicherheitsfunktionen) sowie EN ISO 11161:2007+A1:2010 (Verifizierung und Validierung bei integrierten Fertigungssystemen). 2. Parameterverifikation durch die Sicherheitssteuerung: Die Sicherheitssteuerung (PLr e für SF-02 und SF-04, PLr d für SF-01, SF-03 und SF-05 nach EN ISO 13849-1:2023) prüft beim Hochlauf und zyklisch die Konsistenz der sicherheitsrelevanten Parameter gegen hinterlegte Referenzwerte (Checksummenvergleich). Bei Abweichung wird Stopp-Kategorie 1 nach EN 60204-1:2018 ausgelöst und ein Wiederanlauf gesperrt (kein automatischer Wiederanlauf nach EN ISO 14118:2018). 3. Einrichtbetrieb SF-05: Die sicher reduzierte Geschwindigkeit von 250 mm/s (SF-05, PLr d) wird hardwareseitig in der Sicherheitssteuerung begrenzt und ist nicht durch Parameter der Robotersteuerung überschreibbar. Die Überwachung erfolgt durch eine SRP/CS nach EN ISO 13849-1:2023, Kategorie und PL gemäß SF-05 (PLr d). 4. Zonenfreigabe Wendetisch SF-04: Die Freigabe der 180-Grad-Schwenkbewegung (SF-04, PLr e) erfolgt ausschließlich über die Sicherheitssteuerung auf Basis verifizierter Sensorsignale; eine Freigabe durch fehlerhafte Zonenparameter in der Robotersteuerung allein ist konstruktiv ausgeschlossen. 5. Änderungsmanagement: Alle Parameteränderungen werden mit Zeitstempel, Benutzerkennung und Vorgänger-/Nachfolger-Wert in einem manipulationssicheren Änderungsprotokoll (Audit-Trail) der Sicherheitssteuerung gespeichert. Grundlage: EN ISO 11161:2007+A1:2010.
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Beschreibung des Parameteränderungsverfahrens mit Schritt-für-Schritt-Anleitung, Auflistung aller sicherheitsrelevanten Parameter je Sicherheitsfunktion (SF-01 bis SF-05), Pflicht zur Validierungsprüfung nach jeder Änderung und Dokumentationspflicht im Änderungsprotokoll. 2. Qualifikationsanforderung: Parameteränderungen an der Sicherheitssteuerung dürfen ausschließlich von Fachpersonal mit nachgewiesener Qualifikation in funktionaler Sicherheit (z.B. TÜV-Zertifizierung Functional Safety Engineer oder gleichwertig) und Kenntnis der Anlage durchgeführt werden. Dies ist in der Betriebsanleitung und in einer Betriebsanweisung festzuhalten. 3. Warnkennzeichnung: An der Sicherheitssteuerung und am Schaltschrank ist das Warnzeichen 'Warnung vor elektrischer Spannung' (W012 nach EN ISO 7010:2020) sowie das Verbotszeichen 'Zutritt für Unbefugte verboten' (D-P006 nach ASR A1.3) anzubringen. Zusätzlich Hinweisschild: 'Parameteränderungen nur durch autorisiertes Fachpersonal, anschließend Validierungsprüfung erforderlich'. 4. Inbetriebnahme-Checkliste: Vor jeder Erstinbetriebnahme und nach jeder Parameteränderung ist eine anlagenspezifische Inbetriebnahme-Checkliste abzuarbeiten und zu unterzeichnen (Grundlage: EN ISO 11161:2007+A1:2010).

Risiko nachher: S 5 · W 1 · **RZ 5 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 5 (S 5, W 1) durch Fehlparametrierung. Nach Stufe 1 liegen die sicherheitsrelevanten Parameter nur in der Sicherheits-SPS, geschützt durch ein rollenbasiertes Zugriffskonzept und prüfsummengesicherte Parametersätze. Nach Stufe 2 prüft die Sicherheits-SPS die Parameter beim Hochlauf und zyklisch gegen die Referenz und löst bei Abweichung einen Stopp mit Wiederanlaufsperre aus, die Geschwindigkeitsgrenze von SF-05 ist über die Robotersteuerung nicht überschreibbar, die Schwenkfreigabe SF-04 kommt nur aus der Sicherheits-SPS, und jede Änderung wird protokolliert und vor der Freigabe im Vier-Augen-Prinzip nach EN ISO 13849-2:2012 validiert. Verbleibend ist ein Parameter, der von befugtem Personal fachlich falsch festgelegt und bei der Validierung nicht erkannt wird. Die Parameter müssen für Inbetriebnahme, Umbauten und neue Spannvorrichtungen änderbar bleiben; eine Maßnahme, die einen fachlich falschen, aber ordnungsgemäß eingegebenen und validierten Wert erkennt, ist nach dem Stand der Technik nicht verfügbar. Änderungsverfahren, Qualifikation, Inbetriebnahme-Checkliste und das Textschild zur Validierungspflicht am Schaltschrank: Betriebsanleitung Kap. 2.4 und 2.6.

Nr. 32 Mechanisch

Risiko vorher: S 5 · W 2 · **RZ 10**

Gefährdung durch Durch- oder Übergreifen am Lichtvorhang am Beschickungsplatz (vorhersehbare Fehlanwendung): Personen greifen seitlich am Lichtvorhang vorbei oder unter dem Lichtvorhang hindurch in den Wendebereich, ohne dass die Schutzfunktion ausgelöst wird; der Wendetisch oder der Roboter kann anlaufen und Hände oder Arme erfassen.

Teilmaschine: Beschickungsplatz (Lichtvorhang-Schnittstelle) · auch in: Betrieb · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Inhärente Möglichkeiten ausgeschöpft: Der Beschickungsplatz erfordert eine dauerhaft offene Zugangsöffnung für den manuellen Werkstückeinlauf. Eine vollständige geometrische Schließung dieser Öffnung durch Konstruktion würde die Funktion der Maschine aufheben. Mindestabstände nach EN ISO 13854:2019 können das seitliche Umgehen eines Lichtvorhangs konstruktiv nicht verhindern, solange die Öffnung für den Bedienzugang bestehen bleiben muss. Eine Kraft- oder Energiebegrenzung am Wendetisch oder Roboter auf ein ungefährliches Niveau (Stufe 1) ist bei den vorliegenden Massen und Drehmomenten technisch nicht realisierbar, ohne die Funktion zu beeinträchtigen.
Stufe 2 · Technisch	1. Schutzfeld und Untergriff-Absicherung: Den Lichtvorhang (Typ 4 nach EN IEC 61496-1:2020, SF-02, PLr e) so anordnen, dass das Schutzfeld die Einlegeöffnung vollständig abdeckt. Verbleibende Öffnungen unter und neben dem Schutzfeld sind mit festen trennenden Schutzeinrichtungen (EN ISO 14120:2015) nach EN ISO 13857:2019 Tabelle 4 geschlossen, sodass kein Unter- oder Umgreifen möglich ist. 2. Seitliche Flankenabsicherung: Beidseitig neben dem Lichtvorhang feste trennende Schutzeinrichtungen (Seitenbleche oder Kanalführungen) nach EN ISO 14120:2015 anbringen, die ein seitliches Vorbeigreifen konstruktiv verhindern. Die Tiefe dieser Flanken ist nach EN ISO 13857:2019 Tabelle 4 (Sicherheitsabstand in Abhängigkeit von der Öffnungsweite) zu bemessen, sodass die Gefahrstelle aus der seitlichen Richtung nicht erreichbar ist. 3. Lichtvorhang-Auslegung: Der Lichtvorhang ist als Typ 4 nach EN IEC 61496-1:2020 auszuwählen und in die Sicherheitsfunktion SF-02 (PLr e) einzubinden. Der Sicherheitsabstand zwischen Lichtvorhang und nächster Gefahrstelle ist nach EN ISO 13855:2024 (Durchgreifen, Auflösung 30 mm für Handerkennung) zu berechnen und einzuhalten. Die Einbindung in die Steuerung erfolgt nach EN ISO 13849-1:2023, PLr e (SF-02).
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Expliziter Hinweis, dass ein seitliches Umgehen oder Untergreifen des Lichtvorhangs verboten ist und die Schutzfunktion SF-02 umgeht. Beschreibung der korrekten Beschickungshandlung (Werkstück von vorn durch den Lichtvorhang einlegen). Hinweis auf die Gefahr durch den Wendetisch und den Roboter bei nicht ausgelöster Schutzfunktion. 2. Warnkennzeichnung (EN ISO 7010:2020): Warnung vor Handverletzungen (W024) beidseitig an den Flankenblechen und am Lichtvorhang-Rahmen anbringen. Verbotszeichen 'Hineinfassen verboten' (P015) an der Zugangsöffnung. 3. Qualifikationsanforderung: Im Einrichtbetrieb (SF-05, PLr d, sicher reduzierte Geschwindigkeit 250 mm/s mit Zustimmeinrichtung) darf nur unterwiesenes Fachpersonal tätig sein, das die Wirkungsweise und die Grenzen des Lichtvorhangs kennt. Diese Anforderung ist in der Betriebsanleitung und in der Unterweisungsdokumentation festzuhalten. 4. PSA: Schutzhandschuhe bieten keinen Schutz gegen Quetsch- und Erfassungsgefahren durch den Wendetisch oder Roboter und sind für diese Gefährdung nicht als Schutzmaßnahme geeignet. Dieser Hinweis ist in der Betriebsanleitung aufzunehmen, um Fehlannahmen zu vermeiden.

Risiko nachher: S 5 · W 1 · **RZ 5 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 5 (S 5, W 1) durch Um- oder Untergreifen des Lichtvorhangs. Die Beschickungsöffnung muss für das Einlegen im Takt von rund 90 Sekunden dauernd offen sein, eine Kraft- oder Energiebegrenzung an Wendetisch und Roboter ist nicht realisierbar (Stufe 1). Nach Stufe 2 deckt ein Lichtvorhang Typ 4 mit 30 mm Auflösung (SF-02, PL e, Kategorie 4) die Öffnung ohne Muting ab, Flanken und Öffnungen unter und neben dem Schutzfeld sind mit festen trennenden Schutzeinrichtungen nach EN ISO 13857:2019 Tabelle 4 verschlossen, und der Sicherheitsabstand ist nach EN ISO 13855:2024 berechnet; der gemessene Nachlaufweg des Wendetisches liegt mit 45 mm unter dem zulässigen Wert von 60 mm. Eine bewegliche trennende Schutzeinrichtung an der Öffnung müsste in jedem Takt öffnen und schließen und brächte eine eigene Quetschstelle an der Schließkante; sie mindert das Risiko gegenüber der umgesetzten Lösung nicht. Verbleibend ist das vorsätzliche Überbrücken, etwa durch Abkleben des Schutzfelds. Das Verbot, die tägliche Prüfung mit dem Prüfstab, die Zeichen W024 und P015 an der Öffnung und der Hinweis, dass Handschuhe nicht vor Quetschen schützen, stehen in der Betriebsanleitung (Kap. 2.2, 2.4, 9.1 und 9.4).

Nr. 36 Korrumpierung/Security — Risiko vorher: S 4 · W 3 · **RZ 12**

Manipulation sicherheitsrelevanter Parameter über das Netzwerk: Unautorisierter Schreibzugriff über Feldbus, OPC UA oder MES-Anbindung verändert sicherheitsrelevante Parameter (z. B. Überwachung der Wartungstür, Parameter des Lichtvorhangs, Geschwindigkeitsgrenze im Einrichtbetrieb). Die Schutzfunktion wird unwirksam oder die Maschine arbeitet außerhalb der in der Risikobeurteilung festgelegten Grenzen. [MVO (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.1.9 Abs. 1, 1.1.9 Abs. 3, 1.2.1 lit. a, 1.2.1 lit. d]

Teilmaschine: Steuerung / Netzwerk · auch in: Betrieb

Stufe 1 · Inhärent	Sicherheitsrelevante Parameter nur in der Sicherheitssteuerung halten und über das Prozessnetz grundsätzlich nicht beschreibbar machen (Schreibzugriff physisch oder architektonisch getrennt, Safety-Netz von der Standard-Kommunikation segmentiert). Grenzwerte, die aus der Risikobeurteilung stammen, als Konstanten im Sicherheitsprogramm hinterlegen, nicht als Rezeptdaten.
Stufe 2 · Technisch	Authentifizierung und Autorisierung für jeden schreibenden Zugriff (Rollen, keine Standardpasswörter), Integritätsprüfung sicherheitsrelevanter Konfiguration (Prüfsumme/CRC mit Freigabeverfahren), Plausibilitätsprüfung eingehender Werte gegen die zulässigen Grenzen, Protokollierung jeder Parameteränderung mit Zeitstempel und Benutzer. Nachweis-Referenz Weg B: IEC 62443-3-3 SR 1.1, SR 2.1, SR 3.4, SR 3.5, SR 5.1, SR 2.8.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung: Netzwerkanforderungen an den Betreiber (Segmentierung, Firewall, keine direkte Internetanbindung der Steuerung), Liste der sicherheitsrelevanten Parameter mit Hinweis, dass Änderungen nur durch autorisiertes Personal und mit anschließender Funktionsprüfung der Sicherheitsfunktionen zulässig sind.

Risiko nachher: S 4 · W 1 · **RZ 4 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 37 Korrumpierung/Security — Risiko vorher: S 4 · W 3 · **RZ 12**

Unbeabsichtigte Korrumpierung durch Fehlkonfiguration oder Bedienfehler: Falsche Rezept- oder Parameterdatei geladen, Rollen und Passwörter nicht eingerichtet (Standardpasswort aktiv), Konfiguration nach Störung unvollständig wiederhergestellt. Sicherheitsrelevante Einstellungen weichen unbemerkt von der freigegebenen Konfiguration ab. [MVO (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.1.9 Abs. 3, 1.2.1 lit. b, 1.2.1 lit. d, 1.2.1 lit. e]

Teilmaschine: HMI / Parametrierung · auch in: Betrieb, Inbetriebnahme

Stufe 1 · Inhärent	Sicherheitsrelevante Einstellungen von Prozessrezepten trennen, sodass ein Rezeptwechsel sie nicht verändern kann; Wertebereiche in der Sicherheitssteuerung hart begrenzen (Grenzen aus der Risikobeurteilung, Anhang III Nr. 1.2.1 lit. d).
Stufe 2 · Technisch	Erzwungener Passwortwechsel bei Inbetriebnahme, Rollenmodell mit Vier-Augen-Freigabe für sicherheitsrelevante Änderungen, Vergleich der aktiven Konfiguration mit der freigegebenen Referenz (Prüfsumme) beim Hochlauf mit Anzeige der Abweichung, Änderungsprotokoll. Nachweis-Referenz Weg B: IEC 62443-3-3 SR 1.5, SR 2.1, SR 3.4, SR 7.6.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung: Inbetriebnahme-Checkliste (Passwörter, Rollen, Referenzkonfiguration sichern), Beschreibung der als sicherheitsrelevant benannten Daten, Anweisung zur Funktionsprüfung nach Konfigurationsänderungen.

Risiko nachher: S 4 · W 1 · **RZ 4 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Betrieb (29 Gefährdungen)

Nr. 1 Mechanisch — Risiko vorher: S 5 · W 3 · **RZ 15**

Quetsch- und Schergefahr durch den Wendetisch beim automatischen Wendevorgang: Körperteile des Bedieners (Hände, Arme) können zwischen dem rotierenden Tisch und der feststehenden Mittelwand oder dem Schutzzaun eingezogen und gequetscht werden, insbesondere beim Eingreifen in den Wendetisch während der Wendung zum Nachrichten eines verrutschten Werkstücks (vorhersehbare Fehlanwendung).

Teilmaschine: Wendetisch (Drehtisch-Einheit) · auch in: Einrichten, Fehlersuche · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Spaltmaße zwischen rotierender Tischkante und feststehender Mittelwand sowie Schutzzaun nach EN ISO 13854:2019 Tabelle 1 auslegen: Mindestabstände 25 mm (Finger), 100 mm (Hand), 120 mm (Arm) und 500 mm (Körper) nicht unterschreiten. Alternativ den Spalt so klein halten, dass kein Körperteil hineingelangt (Öffnungsweiten nach EN ISO 13857:2019 Tabelle 4). Wo sich keines der beiden Spaltmaße verwirklichen lässt, Tischrahmengeometrie ohne einziehende Keilform gestalten (parallele oder divergierende Flanken). Masse und Schwenkgeschwindigkeit des Wendetisches auf das funktional notwendige Minimum reduzieren, um die im Quetschspalt wirkende kinetische Energie zu begrenzen.
Stufe 2 · Technisch	Restrisiko nach Stufe 1: Der Schwenkbereich bleibt eine Gefahrstelle, die bei laufendem Antrieb nicht sicher betreten werden darf. Technische Schutzmaßnahmen: 1. Freigabe der Schwenkbewegung nur bei freiem Schwenkbereich (SF-04, PLr e, EN ISO 13849-1:2023): BWS (Lichtvorhang Typ 4 nach EN IEC 61496-1:2020) überwacht den Schwenkbereich vollständig; Anordnung und Sicherheitsabstand nach EN ISO 13855:2024. 2. Zuhaltung der Wartungstür nach EN ISO 14119:2025 mit Fluchtentriegelung (SF-01, PLr d; Stopp-Kategorie 1 nach EN 60204-1:2018). 3. Einrichtbetrieb: Schwenkbewegung nur mit sicher reduzierter Geschwindigkeit 250 mm/s und betätigter Zustimmeinrichtung (SF-05, PLr d, Stopp-Kategorie 1 nach EN 60204-1:2018). 4. Not-Halt im Bedienerbereich nach EN ISO 13850:2015, eingebunden in SF-03 (PLr d, Stopp-Kategorie 1 nach EN 60204-1:2018). 5. Energiefreischaltung vor Eingriffen: Absperrventil mit mechanischer Verrastung (Lockout) nach EN ISO 4414:2010; Wendetisch in Endlage formschlüssig arretieren (EN ISO 14118:2018).
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung: Eingreifen in den Schwenkbereich ist bei laufendem oder nicht gesichertem Wendetisch verboten. Vor jedem Eingriff (z. B. Werkstück nachrichten) muss die Anlage vollständig abgeschaltet und gesichert werden (Lockout/Tagout). Für das Einrichten gilt eine eigene Prozedur mit Zustimmeinrichtung, die in der Anleitung beschrieben ist. 2. Warnschilder an der Maschine: Am Wendetisch sind angebracht: Warnzeichen W019 "Warnung vor Quetschgefahr" und W024 "Warnung vor Handverletzungen" sowie Verbotszeichen P015 "Hineinfassen verboten" (nach EN ISO 7010:2020). 3. Wer darf eingreifen: Einrichten und Störungsbeseitigung nur durch eingewiesenes Personal. Die Einweisung muss mindestens einmal jährlich wiederholt und schriftlich festgehalten werden. 4. Schutzausrüstung: Schutzhandschuhe schützen nicht vor Quetschen. Eingriff in den Schwenkbereich nur bei stillgesetztem Wendetisch. Im gesamten Anlagenbereich sind Sicherheitsschuhe S3 nach EN ISO 20345 Pflicht.

Risiko nachher: S 5 · W 1 · **RZ 5 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026



Warnung vor Quetschgefahr

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 5 (S 5, W 1). Die Schwere bleibt bei 5: Masse und Antrieb des Wendetisches sind für die 180-Grad-Wendung mit bis zu 2 x 40 kg Zuladung zuzüglich Spannvorrichtungen im Takt von rund 90 Sekunden erforderlich und nach Stufe 1 bereits auf das funktional notwendige Maß begrenzt; die Spalte sind nach EN ISO 13854:2019 und EN ISO 13857:2019 ausgelegt, die Tischkanten ohne einziehende Keilform. Eine weitere Senkung der Energie hebt die Wendung auf. Nach Stufe 2 schwenkt der Tisch nur bei freiem Schwenkbereich (SF-04, PL e), die Wartungstür ist zugehalten (SF-01, PL d), im Einrichtbetrieb gelten 250 mm/s mit Zustimmeinrichtung (SF-05), und vor Eingriffen wird der Tisch formschlüssig arretiert. Ein Unfall setzt damit das bewusste Eingreifen in den laufenden Tisch unter Umgehung dieser Einrichtungen voraus; eine zusätzliche Maßnahme der Stufe 1 oder 2, die dieses Fehlverhalten weiter erschwert, ohne die Wendung zu verhindern, ist nicht erkennbar. Das Verbot und die Freischaltpflicht vor jedem Eingriff stehen in der Betriebsanleitung (Kap. 2.2, 2.6 und 9.1), am Wendetisch die Zeichen W019, W024 und P015.

Nr. 3 Mechanisch — Risiko vorher: S 5 · W 2 · **RZ 10**

Stoß- und Quetschgefahr durch den Schweißroboter im Automatikbetrieb bei unbefugtem Zugang: Personen, die den Schutzzaun übersteigen oder die Wartungstür manipulieren, werden von der mit voller Geschwindigkeit und Kraft bewegten Roboterachse getroffen oder gegen feste Teile gedrückt.

Teilmaschine: Schweißroboter · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Inhärente Möglichkeiten ausgeschöpft: Das Funktionsprinzip des Schweißroboters erfordert die freie, schnelle Bewegung des Roboterarms mit voller Nutzlast im Arbeitsraum. Eine Kraft- oder Geschwindigkeitsbegrenzung auf ein für den Menschen ungefährliches Niveau (Stoßkraft unter Schmerzschwelle) ist im Automatikbetrieb mit den geforderten Prozessparametern technisch nicht vereinbar und würde den Schweißprozess unterbinden. Eine geometrische Auflösung der Gefahrstelle durch Formgebung allein ist bei einem 6-Achs-Industrieroboter nicht möglich.
Stufe 2 · Technisch	1. Trennende Schutzeinrichtung (Schutzzaun): Fester Schutzzaun mit schweißlichtdichten Füllungen und Schweißerschutz-Sichtfenstern nach EN ISO 14120:2015 rund um den gesamten Roboterarbeitsraum, Höhe 2200 mm. Höhe und Abstand zum Gefahrbereich nach EN ISO 13857:2019 Tabelle 2 so auslegen, dass ein Hinüberreichen und ein Übersteigen ohne Hilfsmittel nicht möglich sind. Verbleibende Öffnungen nach EN ISO 13857:2019 Tabelle 4 ausführen, sodass kein Untergreifen oder Durchgreifen in den Gefahrbereich möglich ist. 2. Verriegelte Wartungstür mit Zuhaltung (SF-01): Die Wartungstür ist eine verriegelte trennende Schutzeinrichtung mit Zuhaltung nach EN ISO 14119:2025. Beim Öffnen der Tür wird SF-01 'Sicheres Stillsetzen, Stopp-Kategorie 1' ausgelöst. Die Zuhaltung hält die Tür bis zum sicheren Stillstand des Roboters geschlossen. Fluchtentriegelung nach EN ISO 14119:2025 Abschnitt 6.9.1 vorsehen. SF-01 ist mit PLr d festgelegt; Einbindung in die Sicherheitssteuerung nach EN ISO 13849-1:2023. 3. Manipulationsschutz der Schutzeinrichtungen: Die Verriegelungseinrichtung der Wartungstür ist nach EN ISO 14119:2025 Abschnitt 8 gegen Umgehen geschützt: Betätiger mit hoher Codierstufe nach EN ISO 14119:2025, Schalter und Betätiger mit nicht lösbaren Befestigungselementen montiert. Zusätzlich: Schutzzaunpaneele mit Werkzeug lösbar befestigen (keine Schnellverschlüsse), sodass ein unbefugtes Öffnen ohne Werkzeug nicht möglich ist. 4. Not-Halt-Einrichtungen (SF-03): Not-Halt-Befehlsgeräte am Bedienpult, an der Wartungstür und am Teach-Pendant nach EN ISO 13850:2015, eingebunden in SF-03 'Not-Halt der Gesamtanlage, Stopp-Kategorie 1', PLr d. 5. Schutz gegen unerwarteten Wiederanlauf: Energietrennung und Wiederanlaufsperre nach EN ISO 14118:2018 sicherstellen; Wiederanlauf nach Türöffnung nur durch bewusste Quittierung an einem außerhalb des Gefahrbereichs angeordneten Bedienpult möglich. 6. Einrichtbetrieb (SF-05): Im Einrichtbetrieb Roboterbewegung nur mit sicher reduzierter Geschwindigkeit 250 mm/s und Zustimmeinrichtung gemäß SF-05, PLr d; Einbindung nach EN ISO 10218-2:2025 Abschnitte 5.5.6 und 5.7.7 und EN ISO 13849-1:2023.
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Beschreibung der Zugangsregelung zum Roboterarbeitsraum, Verbot des Übersteigens des Schutzzauns, Verfahren zur Energietrennung vor Betreten (Lockout/Tagout nach EN ISO 14118:2018), Qualifikationsanforderungen für Bediener und Einrichter (Roboter-Sicherheitsunterweisung nach EN ISO 10218-2:2025). 2. Warnkennzeichnung am Schutzzaun und an der Wartungstür: Warnzeichen W018 'Warnung vor automatischem Anlauf' nach EN ISO 7010:2020 und Verbotszeichen 'Zutritt für Unbefugte verboten' (D-P006 nach ASR A1.3). Kennzeichnung gut sichtbar und dauerhaft anbringen. 3. Unterweisung: Bedienpersonal und Einrichter sind vor Erstinbetriebnahme und danach regelmäßig zu unterweisen. Unbefugter Zugang ist organisatorisch zu unterbinden (Zutrittskontrolle, Schlüsselschalter für Betriebsartenwahl nach EN ISO 10218-2:2025 Abschnitt 5.7.2). 4. Restrisiko-Hinweis in der Betriebsanleitung: Trotz aller Schutzmaßnahmen besteht ein Restrisiko bei Manipulation der Schutzeinrichtungen; Hinweis auf strafrechtliche und haftungsrechtliche Konsequenzen bei Manipulation.

Risiko nachher: S 5 · W 1 · **RZ 5 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 5 (S 5, W 1) bei unbefugtem Zugang im Automatikbetrieb. Eine Begrenzung von Kraft oder Geschwindigkeit des Roboters auf ein für Personen ungefährliches Maß ist mit den Prozessparametern des Schweißens nicht vereinbar (Stufe 1), die Schwere bleibt deshalb bei 5. Der Roboterarbeitsraum ist rundum von einem 2200 mm hohen Schutzzaun nach EN ISO 14120:2015 mit Abständen nach EN ISO 13857:2019 umschlossen, die Paneele sind nur mit Werkzeug lösbar, und die einzige Tür ist verriegelt und zugehalten (SF-01, PL d) und nach EN ISO 14119:2025 Abschnitt 8 mit hoch codiertem Betätiger und nicht lösbarer Befestigung gegen Umgehen geschützt. Der Zugang setzt damit ein vorsätzliches Übersteigen mit Hilfsmitteln oder eine Manipulation mit Werkzeug voraus. Gegen vorsätzliches Überwinden mit Werkzeug bietet eine weitere Schutzeinrichtung keinen grundsätzlich anderen Schutz, weil sie mit vergleichbarem Aufwand überwunden werden kann; die Maßnahmen gegen vernünftigerweise vorhersehbares Umgehen sind umgesetzt. Verbot und Folgen der Manipulation, Zugangsregelung und Unterweisung stehen in der Betriebsanleitung (Kap. 2.2, 2.5 und 2.6), am Zaun und an der Tür die Zeichen W018 und D-P006.

Nr. 4 Mechanisch

Risiko vorher: S 5 · W 2 · **RZ 10**

Quetschgefahr an der Schnittstelle Wendetisch zu Schweißroboter (Übergabebereich): Beim Wendevorgang bewegt sich die bestückte Vorrichtung in den Arbeitsbereich des Roboters; unkoordiniertes Einfahren des Roboters in den Wendebereich oder fehlende Verriegelung zwischen Wendetisch-Bewegung und Roboter-Freigabe kann zu Kollisionen und Quetschungen führen.

Teilmaschine: Schnittstelle Wendetisch / Schweißroboter · auch in: Einrichten, Fehlersuche · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Schwenkradius des Wendetisches und Arbeitsraumgrenze des Roboters (TCP-Hüllkurve) werden in der Konstruktionsphase so aufeinander abgestimmt, dass der maximale Schwenkbereich der Vorrichtung und der minimale Roboter-Arbeitsraum einen geometrischen Mindestabstand von >= 500 mm (Mindestabstand gegen das Quetschen des Körpers nach EN ISO 13854:2019 Tabelle 1) zueinander aufweisen, wenn beide Bewegungen gleichzeitig aktiv wären. Dadurch wird die Überschneidungszone konstruktiv minimiert; eine vollständige Beseitigung der Überschneidung ist bei dieser Anlagentopologie funktionsbedingt nicht möglich, sodass die verbleibende Restüberschneidung durch Stufe 2 abgesichert wird.
Stufe 2 · Technisch	SF-04 'Freigabe der 180-Grad-Schwenkbewegung des Wendetisches nur bei freiem Schwenkbereich' mit PLr e nach EN ISO 13849-1:2023 (Risikograph: S2/F2/P2). Umsetzung als verriegelte Sicherheitsfunktion in der Sicherheits-SPS: (a) Roboter-Stillstandsüberwachung: Der Roboter muss sich in einer definierten Ruheposition außerhalb der Schwenkzone befinden und dies über ein sicheres Rückmeldungssignal (sicherer Ausgang der Robotersteuerung nach EN ISO 10218-2:2025 Abschnitte 5.4.7 und 5.5.8) bestätigen, bevor die Wendetisch-Freigabe erteilt wird. (b) Wendetisch-Freigabe an Roboter: Solange der Wendetisch nicht in Endlage und verriegelt ist, erhält die Robotersteuerung kein Freigabesignal für den Einfahrbereich; der Wendetisch ist in Endlage formschlüssig arretiert. (c) Zuhaltung der Wartungstür zum Schwenkbereich nach EN ISO 14119:2025 mit Fluchtentriegelung, eingebunden in SF-01 (PLr d). (d) Not-Halt der Gesamtanlage nach EN ISO 13850:2015, eingebunden in SF-03 (PLr d), Stopp-Kategorie 1 nach EN 60204-1:2018. (e) Im Einrichtbetrieb gilt SF-05: sicher reduzierte Geschwindigkeit <= 250 mm/s mit Zustimmeinrichtung (PLr d); der Einrichter darf den Schwenkbereich nur bei aktivierter Zustimmeinrichtung und reduzierter Geschwindigkeit betreten. Der Abstand des Schutzzauns zum Schwenkbereich entspricht EN ISO 13857:2019 Tabelle 2; der Schutzzaun ist nach EN ISO 14120:2015 ausgeführt.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Beschreibung der Verriegelungslogik SF-04 und der Betriebsarten Automatik und Einrichten; ausdrücklicher Hinweis, dass ein Betreten des Schwenkbereichs bei laufender Anlage verboten ist. Einrichtbetrieb: Qualifikationsanforderung dokumentieren (nur unterwiesene Fachkraft mit Kenntnis der Zustimmeinrichtung). Warnkennzeichnung am Schwenkbereich: Warnzeichen W019 'Warnung vor Quetschgefahr' und W024 'Warnung vor Handverletzungen' nach EN ISO 7010:2020; an der Wartungstür zusätzlich Verbotszeichen 'Zutritt für Unbefugte verboten' (D-P006 nach ASR A1.3). PSA-Angabe in der Betriebsanleitung: Sicherheitsschuhe S3 nach EN ISO 20345; im Einrichtbetrieb zusätzlich eng anliegende Schutzkleidung (kein Einzugsrisiko durch lose Kleidung). Hinweis auf Restrisiko bei Einrichtbetrieb und Fehlersuche: Zustimmeinrichtung stets aktiviert halten, Schwenkbereich nie ohne Zustimmeinrichtung betreten.

Risiko nachher: S 5 · W 1 · **RZ 5 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 5 (S 5, W 1) an der Übergabe zwischen Wendetisch und Roboter. Der Roboter muss die frisch gewendete Station erreichen; eine vollständige geometrische Trennung von Schwenkbereich und Roboterarbeitsraum ist bei dieser Anlagentopologie funktionsbedingt nicht möglich. Die Überschneidung ist nach Stufe 1 durch einen Mindestabstand von 500 mm zwischen Schwenkradius und TCP-Hüllkurve verkleinert. Die verbleibende Überschneidung ist gegenseitig verriegelt: Der Wendetisch schwenkt nur, wenn die Robotersteuerung die Ruheposition außerhalb der Schwenkzone über einen sicheren Ausgang zurückmeldet, und der Roboter erhält die Freigabe erst bei arretiertem Tisch in Endlage (SF-04, PL e nach Risikograph S2/F2/P2). Ein Unfall setzt damit das Versagen dieser Verriegelung oder ein Betreten bei laufender Anlage unter Umgehung der Zuhaltung (SF-01) voraus. Die Freigabe ist bereits im erforderlichen Performance Level ausgeführt; eine weitere Maßnahme der Stufe 1 oder 2 würde die Eintrittswahrscheinlichkeit nicht messbar senken. Im Einrichtbetrieb gilt SF-05 mit 250 mm/s und Zustimmeinrichtung. Verriegelungslogik, Verbot des Betretens und Verhalten im Einrichtbetrieb stehen in der Betriebsanleitung (Kap. 2.5, 2.6 und 9.3).

Nr. 5 Mechanisch — Risiko vorher: S 4 · W 3 · **RZ 12**

Herabfallen von Werkstücken oder Vorrichtungsteilen durch Versagen der pneumatischen Spanneinrichtung: Bei Druckluftausfall oder Leckage öffnen die Spannelemente unkontrolliert; Werkstücke bis 40 kg können vom Wendetisch fallen und Personen am Beschickungsplatz treffen.

Teilmaschine: Pneumatische Spannvorrichtung (Wendetisch) · auch in: Einrichten, Fehlersuche · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Einsatz pneumatisch schließender Spanner mit entsperrbarem Rückschlagventil (Druckhalteventil) in der Spannleitung direkt am Spannzylinder: Bei Druckluftausfall oder Leckage in der Zuleitung bleibt der Spanndruck im Zylinder eingeschlossen und das Werkstück gespannt; geöffnet wird nur durch aktives Entsperren des Ventils. Auslegung der Spannkraft auf das maximale Werkstückgewicht von 40 kg zuzüglich eines Sicherheitsfaktors gemäß EN ISO 4414:2010. Ergänzend: Begrenzung des Betriebsdrucks auf das für die Spannfunktion erforderliche Maß, um die gespeicherte pneumatische Energie zu minimieren (EN ISO 4414:2010).
Stufe 2 · Technisch	1. Spanndrucküberwachung mit Sicherheitsfunktion: Ein Druckwächter in der Spannleitung überwacht den Spanndruck; bei Unterschreitung des Mindestspanndrucks wird die Freigabe der Schwenkbewegung des Wendetisches gesperrt (Verknüpfung mit SF-04, PLr e nach EN ISO 13849-1:2023). Solange der Spanndruck nicht bestätigt ist, schwenkt der Wendetisch nicht. 2. Mechanische Verriegelung der Schwenkbewegung: Formschlüssige Arretierung des Wendetisches in der Beschickungsposition, sodass ein unbeabsichtigtes Schwenken mit eingespanntem oder losem Werkstück verhindert wird; Aufhebung der Arretierung nur nach bestätigtem Spanndruck (Verknüpfung mit SF-04, PLr e). 3. Einhausung/Auffangeinrichtung: Mechanische Auffangvorrichtung (Abweisblech) unterhalb des Wendetisches, ausgelegt auf das maximale Werkstückgewicht von 40 kg und die maximale Fallhöhe, um herabfallende Teile vom Beschickungsplatz fernzuhalten; Auslegung nach EN ISO 14120:2015. 4. Sicherheitsabstand am Beschickungsplatz: Anordnung des Beschickungsplatzes so, dass der Gefahrbereich unterhalb des Wendetisches außerhalb des regulären Aufenthaltsbereichs liegt.
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Beschreibung des Spannprinzips (pneumatisch schließende Spanner mit Druckhalteventil) und der Spanndrucküberwachung; Verbot des Aufenthalts unterhalb des Wendetisches bei laufendem Betrieb und bei Fehlersuche ohne gesicherten Stillstand; Vorgehensweise bei Druckluftausfall (Anlage stillsetzen, Druckluftversorgung wiederherstellen, Werkstück erst nach Druckprüfung entnehmen). 2. Energietrennung vor Eingriffen: Anweisung zur vollständigen Druckentlastung der Pneumatikanlage vor Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten gemäß EN ISO 4414:2010 und EN ISO 14118:2018 (Vermeidung von unerwartetem Wiederanlauf und unerwarteter Energiefreisetzung); wegen des Druckhalteventils bleibt der Spanndruck in den Spannzylindern eingeschlossen, die Spanner sind deshalb vor Arbeiten an der Spannvorrichtung zu öffnen und drucklos zu machen; Absperr- und Entlüftungsventil mit Schlossvorrichtung (Lockout) vorsehen. 3. Warnkennzeichnung: Warnzeichen W015 "Warnung vor schwebender Last" und W024 "Warnung vor Handverletzungen" nach EN ISO 7010:2020 am Wendetisch und am Beschickungsplatz anbringen. 4. Qualifikation: Fehlersuche und Einrichten nur durch unterwiesenes Fachpersonal; Anforderungen in der Betriebsanleitung benennen. 5. PSA: Tragen von Sicherheitsschuhen (S3 nach EN ISO 20345) am Beschickungsplatz als Restrisikoschutz vorschreiben.

Risiko nachher: S 4 · W 1 · **RZ 4 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 7 Mechanisch — Risiko vorher: S 5 · W 2 · **RZ 10**

Fehlende oder unkoordinierte Not-Halt-Funktion zwischen Teilmaschinen (Roboter, Wendetisch, Schweißstromquelle, Absaugung): Ein Not-Halt an einer Teilmaschine stoppt nicht zwingend alle anderen Teilmaschinen; Personen können durch weiterlaufende Komponenten gefährdet werden.

Teilmaschine: Gesamtanlage (Not-Halt-Koordination) · auch in: Einrichten, Fehlersuche · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Inhärente Möglichkeiten ausgeschöpft: Die Koordination mehrerer eigenständiger Steuerungen erfordert zwingend eine übergeordnete Steuerungslogik. Eine rein konstruktive Maßnahme (Geometrie, Energiebegrenzung, Substitution) kann die fehlende Verknüpfung der Not-Halt-Kreise nicht ersetzen. Das Funktionsprinzip der verketteten Anlage bedingt die Notwendigkeit einer aktiven Steuerungskoordination.
Stufe 2 · Technisch	Übergeordneter Not-Halt-Kreis (SF-03) nach EN ISO 13850:2015 und EN ISO 11161:2007+A1:2010: Alle Not-Halt-Befehlsgeräte der Gesamtanlage werden in einen gemeinsamen, übergeordneten Sicherheitskreis eingebunden, der beim Auslösen an beliebiger Stelle alle gefahrbringenden Teilmaschinen (Roboter, Wendetisch, Schweißstromquelle, Pneumatik) koordiniert stillsetzt; die Absaugung läuft betrieblich nach. Stopp-Kategorie 1 nach EN 60204-1:2018 (gesteuertes Stillsetzen, danach Energietrennung): Der Roboter führt einen kontrollierten Stopp entlang seiner Bahn aus, der Wendetisch bremst aktiv ab, die Schweißstromquelle wird spannungsfrei geschaltet, die Spanner bleiben über das Druckhalteventil gespannt. Der Nachlauf der Absaugung ist keine Sicherheitsfunktion, aber betrieblich erforderlich. Die Sicherheitsfunktion SF-03 ist mit PLr d nach EN ISO 13849-1:2023 festgelegt und in Kategorie 3 mit PL d ausgeführt. Die Einbindung des Roboters erfolgt über die Robotersteuerung gemäß EN ISO 10218-2:2025 Abschnitt 5.3.3 (Wirkungsbereich des Not-Halts, Sicherheitsschnittstelle zur übergeordneten Steuerung). Die Not-Halt-Befehlsgeräte sind nach EN ISO 13850:2015 auszuführen (Pilzdrucktaster, gelber Hintergrund, selbstarretierend, Entriegelung nur durch bewusste Handlung). Anordnung der Not-Halt-Befehlsgeräte so, dass von jeder Bedienstelle aus mindestens ein Befehlsgerät ohne Gefährdung erreichbar ist (EN ISO 13850:2015). Verriegelung der Wiederanlauffreigabe: Nach einem Not-Halt ist ein manueller Reset erforderlich, bevor die Anlage wieder anlaufen kann (EN ISO 13850:2015 Abschnitt 4.1.4), um unerwarteten Wiederanlauf nach EN ISO 14118:2018 zu verhindern.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Beschreibung der Not-Halt-Topologie der Gesamtanlage mit Lageplan aller Not-Halt-Befehlsgeräte und Wirkungsbereich je Befehlsgerät. Klare Anweisung, dass nach einem Not-Halt vor dem Reset der Gefahrbereich aller Teilmaschinen zu inspizieren ist. Einrichtbetrieb und Fehlersuche: Anweisung, dass Eingriffe in den Gefahrbereich nur nach vollständigem Stillstand aller Teilmaschinen und bei gegen Schließen gesicherter Wartungstür (persönliches Vorhängeschloss in der Sperrvorrichtung) zulässig sind. Qualifikationsanforderung: Einrichten und Fehlersuche nur durch unterwiesenes Fachpersonal, das die Not-Halt-Topologie kennt. Kennzeichnung am Bedienpult: Textschild mit dem Wirkungsbereich der Not-Halt-Befehlsgeräte (Not-Halt wirkt auf alle Teilmaschinen der Zelle), ergänzt durch Warnzeichen W018 'Warnung vor automatischem Anlauf' nach EN ISO 7010:2020.

Risiko nachher: S 5 · W 1 · **RZ 5 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 5 (S 5, W 1) bei der Not-Halt-Koordination. Die Verknüpfung der Not-Halt-Kreise mehrerer Teilmaschinen ist nur steuerungstechnisch möglich; eine Maßnahme der Stufe 1 gibt es dafür nicht. Umgesetzt ist ein übergeordneter Not-Halt-Kreis SF-03 in Kategorie 3 mit PL d, der von jedem Befehlsgerät (Bedienpult, Wartungstür, Teach-Pendant) Roboter, Wendetisch, Schweißstromquelle und Pneumatik gemeinsam stillsetzt, mit manuellem Reset nach EN ISO 13850:2015 und Wirkungsbereich nach EN ISO 11161:2007+A1:2010; der erforderliche Performance Level ist erreicht, die Prüfpunkte zum Not-Halt sind bestanden. Verbleibend ist der Nachlauf während des gesteuerten Stillsetzens nach Stopp-Kategorie 1. Diese Kategorie ist gewählt, weil der Roboter geführt auf seiner Bahn bremst und die Spanner das Werkstück über das Druckhalteventil halten; ein Stillsetzen nach Kategorie 0 gäbe diese Führung auf, ohne den Nachlauf zu beseitigen. Der Not-Halt ist eine ergänzende Schutzmaßnahme und ersetzt keine Schutzeinrichtung. Anordnung und Wirkungsbereich der Befehlsgeräte stehen in der Betriebsanleitung (Kap. 2.5 und 9.5) und auf dem Textschild am Bedienpult.

Nr. 9 Mechanisch

Risiko vorher: S 4 · W 4 · **RZ 16**

Ergonomische Gefährdung und Quetschgefahr beim manuellen Einlegen und Entnehmen von Werkstücken bis 40 kg: Werkstücke bis 15 kg werden von Hand, Werkstücke über 15 kg mit der bauseitigen Hebehilfe eingelegt; bei Fehlanwendung (Heben ohne Hebehilfe) entstehen Muskel-Skelett-Belastungen und das Risiko des Loslassens mit nachfolgendem Herabfallen des Werkstücks auf Füße oder Hände.

Teilmaschine: Beschickungsplatz (Bedienerstation) · auch in: Einrichten · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Begrenzung der manuell handhabbaren Werkstückmasse auf höchstens 15 kg. Die Schwelle ist eine Herstellerfestlegung für rund 40 Hübe je Stunde, abgeleitet aus der Referenzmasse nach EN 1005-2:2003+A1:2008. Für Werkstücke über 15 kg bis 40 kg ist die Werkstückaufnahme am Beschickungsplatz so gestaltet, dass das Einlegen mit der bauseitigen Hebehilfe von oben ohne Umgreifen möglich ist (freier Zugang, Einlegetiefe, Anschlaggeometrie).
Stufe 2 · Technisch	1. Der Beschickungsplatz ist für eine bauseitige Hebehilfe vorbereitet (Hebehilfe nicht im Lieferumfang, Tragfähigkeit mindestens 40 kg, Aktionsradius über die gesamte Einlegezone). Der Zugang von oben ist frei, sodass der Bediener die Einlegeposition ohne Umgreifen oder Loslassen des Werkstücks erreicht. 2. Bodenmarkierung (gelb/schwarz nach ASR A1.3) des Absetz- und Schwenkbereichs der Hebehilfe am Beschickungsplatz, damit der Bediener beim Einlegen nicht unter der schwebenden Last steht. 3. Der Lichtvorhang am Beschickungsplatz (SF-02, PLr e) sichert den Gefahrenbereich der Maschinenöffnung; er schützt nicht vor dem Herabfallen des Werkstücks selbst, begrenzt jedoch den Bereich, in dem sich Hände während des Einlegens befinden dürfen.
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Klare Angabe der Handhabungsregel (bis 15 kg von Hand, über 15 kg mit der bauseitigen Hebehilfe, Tragfähigkeit mindestens 40 kg) sowie der korrekten Anschlagpunkte am Werkstück. Angabe der Körperhaltung beim Einlegen gemäß EN 1005-4. 2. Warnkennzeichnung am Beschickungsplatz: Warnzeichen W015 'Warnung vor schwebender Last' und W024 'Warnung vor Handverletzungen' sowie Gebotszeichen M008 'Fußschutz benutzen' nach EN ISO 7010:2020. Textschild 'Manuelle Handhabung höchstens 15 kg, darüber Hebehilfe benutzen' direkt am Einlegeplatz. 3. Qualifikationsanforderung: Bediener sind vor Aufnahme der Tätigkeit in die Nutzung der Hebehilfe und in die ergonomisch korrekte Handhabung einzuweisen (dokumentierte Unterweisung). 4. PSA-Angabe: Sicherheitsschuhe S3 nach EN ISO 20345 und Schutzhandschuhe (schnittfest, griffsicher) sind als Mindest-PSA für alle Einlege- und Entnahmetätigkeiten vorzuschreiben.

Risiko nachher: S 4 · W 2 · **RZ 8 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 8 (S 4, W 2) beim Einlegen und Entnehmen. Werkstücke bis 40 kg gehören zur bestimmungsgemäßen Verwendung, und die Beschickung von Hand ist das Konzept der Maschine (Betriebsanleitung Kap. 2.1); eine automatische Beschickung würde dieses Konzept aufheben. Nach Stufe 1 ist die Handhabung von Hand auf 15 kg begrenzt (Herstellerfestlegung nach der Referenzmasse von EN 1005-2:2003+A1:2008), und die Aufnahme ist so gestaltet, dass schwerere Teile mit der Hebehilfe von oben ohne Umgreifen eingelegt werden. Nach Stufe 2 ist der Beschickungsplatz für die bauseitige Hebehilfe vorbereitet und deren Schwenkbereich am Boden markiert. An der Maschine ist nicht feststellbar, ob ein Werkstück über 15 kg ohne Hebehilfe gehoben wird; das verbleibende Risiko ist dieses Fehlverhalten mit Überlastung des Bewegungsapparats oder herabfallendem Werkstück. Eine weitere Maßnahme der Stufe 1 oder 2, die dieses Fehlverhalten verhindert, ohne die manuelle Beschickung aufzuheben, ist nicht erkennbar. Das Textschild „Manuelle Handhabung höchstens 15 kg, darüber Hebehilfe benutzen“, Sicherheitsschuhe S3, die Unterweisung und die Betreiberpflicht zur Bereitstellung der Hebehilfe stehen in der Betriebsanleitung (Kap. 1.2, 2.4 und 9.1).

Nr. 10 Mechanisch — Risiko vorher: S 3 · W 3 · **RZ 9**

Stolper-, Rutsch- und Sturzgefahr im Bereich des Beschickungsplatzes und des Wartungsgangs durch Schweißspritzer auf dem Boden, Kabel, Schläuche (Druckluft, Schutzgas) und nasse Stellen bei Reinigungsarbeiten.

Teilmaschine: Beschickungsplatz / Wartungsgang · auch in: Einrichten, Wartung, Reinigung, Fehlersuche · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Kabel und Schläuche (Druckluft, Schutzgas) durch konstruktive Führung in Kabelkanälen, Energieführungsketten oder deckenseitig abgehängten Leitungsführungen aus dem Bodenbereich des Beschickungsplatzes und des Wartungsgangs heraushalten, sodass keine Stolperstellen entstehen. Anschlüsse am Beschickungsplatz als Deckenpendel oder wandseitige Steckdosenfelder ausführen. Schweißspritzer-Exposition am Boden durch konstruktive Abschirmbleche (Spritzschutzbleche) an der Schweißstation reduzieren, sodass der Austrag in den Bedienbereich minimiert wird. Der Hallenboden gehört nicht zum Lieferumfang; die Anforderung an den Aufstellort (rutschhemmender Bodenbelag) wird in Stufe 3 an den Betreiber weitergegeben.
Stufe 2 · Technisch	Restrisiko durch verbleibende Stolper- und Rutschstellen mit folgenden technischen Maßnahmen begrenzen: (1) Bodenmarkierungen (gelb/schwarz nach ASR A1.3) zur Kennzeichnung der Verkehrswege und Gefahrenbereiche gemäß (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.5.15. (2) Ausreichende ortsfeste Beleuchtung des Beschickungsplatzes und Wartungsgangs nach (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.1.4, sodass Hindernisse und nasse Stellen frühzeitig erkannt werden können; die maschinenintegrierte Beleuchtung nach EN 1837 liefert 500 lx am Beschickungsplatz, 200 lx im Wartungsgang. (3) Spritzschutzmatten im unmittelbaren Schweißbereich, die einfach zu entnehmen und zu reinigen sind.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): (1) Hinweis auf Stolper- und Rutschgefahr durch Schweißspritzer, Schläuche und Nässe; Reinigungsintervalle und Reinigungsverfahren für den Bodenbereich vorschreiben. (2) Qualifikationsanforderung: Alle Personen, die den Beschickungsplatz und Wartungsgang betreten, müssen in die Gefahren und die Verkehrswegeführung eingewiesen sein. (3) PSA-Angabe: Sicherheitsschuhe mit rutschhemmender Sohle (S3 nach EN ISO 20345) sind beim Betreten des Beschickungsplatzes und Wartungsgangs zu tragen. (4) Warnkennzeichnung am Zugang zum Beschickungsplatz und Wartungsgang: Warnzeichen W011 'Warnung vor Rutschgefahr' und Gebotszeichen M008 'Fußschutz benutzen' nach EN ISO 7010:2020 anbringen. (5) Anforderung an den Aufstellort: rutschhemmender Bodenbelag am Beschickungsplatz und im Wartungsgang, Bewertungsgruppe mindestens R 11 nach DGUV Regel 108-003.

Risiko nachher: S 3 · W 2 · **RZ 6 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 6 (S 3, W 2) durch Stolpern, Rutschen und Stürzen. Nach Stufe 1 sind Kabel und Schläuche aus dem Bodenbereich herausgeführt, Spritzschutzbleche verringern den Spritzeraustrag. Verbleibend sind Schweißspritzer, die durch die für die Beschickung offene Öffnung auf den Boden gelangen, und Nässe bei Reinigungsarbeiten. Die Öffnung muss für das Einlegen offen bleiben, und der Hallenboden gehört nicht zum Lieferumfang; weitere konstruktive Maßnahmen an der Maschine erreichen diese Ursachen nicht. Nach Stufe 2 sind die Verkehrswege markiert, der Beschickungsplatz mit 500 lx und der Wartungsgang mit 200 lx beleuchtet und im Schweißbereich entnehmbare Spritzschutzmatten vorgesehen; die Prüfung der Stolper- und Rutschstellen ist bestanden. Eine darüber hinausgehende technische Maßnahme würde nur die Bodenreinigung ersetzen, die als tägliche Tätigkeit festgelegt ist. Die tägliche Reinigung (Betriebsanleitung Kap. 10.2), rutschhemmende Sicherheitsschuhe S3, die Zeichen W011 und W007 (Kap. 2.4) und die Anforderung an einen rutschhemmenden Bodenbelag am Aufstellort (Übersicht der Restgefahren, Kap. 2.6) bilden die Benutzerinformation.

Nr. 13 Elektrisch — Risiko vorher: S 4 · W 2 · **RZ 8**

Gefährdung durch Schweißstrom am Werkstück und an der Vorrichtung: Der Schweißstromkreis führt hohe Ströme (typisch 100 bis 350 A); bei fehlerhafter Masseverbindung oder beschädigter Isolation können Personen, die das Werkstück oder die Vorrichtung berühren, einen Stromschlag erhalten.

Teilmaschine: Schweißstromquelle / Vorrichtung · auch in: Einrichten, Fehlersuche · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Vorrichtungsrahmen und Werkstückaufnahmen so gestalten, dass berührbare leitfähige Flächen, die im Schweißstromkreis liegen, durch konstruktive Isolation (Isolierplatten aus Glasfaser-Epoxid zwischen Vorrichtungsgrundplatte und Maschinentisch sowie isolierende Spannbacken-Einsätze) galvanisch vom Maschinengestell getrennt sind. Dadurch wird der unbeabsichtigte Strompfad über das Gestell und berührbare Außenflächen bereits konstruktiv unterbrochen. Zusätzlich: Masseband-Anschlusspunkt direkt am Werkstück oder an einer definierten, für Bediener nicht berührbaren Stelle der Vorrichtung festlegen und durch Formgebung (Vertiefung, Kabelführungskanal) so integrieren, dass eine Fehlpositionierung der Masseklemme konstruktiv erschwert wird.
Stufe 2 · Technisch	1. Schweißstromquelle: Die Schweißstromquelle hat Schutzklasse I und IP23S nach EN IEC 60974-1; die Einbindung in die Schutzleiterkette der Gesamtanlage erfolgt nach EN 60204-1:2018 Abschnitt 8 (Schutzleiterquerschnitte, Anschlusspunkte). 2. Überwachung der Masseverbindung: Die Massestromüberwachung der Schweißstromquelle ist aktiviert; bei Unterbrechung oder unzulässig hohem Übergangswiderstand wird der Schweißprozess gesperrt. Die Funktion ist eine betriebliche Verriegelung ohne PL-Anforderung (keine Sicherheitsfunktion im Sinne der EN ISO 13849-1:2023); eine Risikominderung wird dafür nicht angerechnet. 3. Potenzialausgleich: Alle leitfähigen Teile der Vorrichtung, die nicht bewusst isoliert sind, werden in den Schutzpotenzialausgleich der Anlage einbezogen (EN 60204-1:2018 Abschnitt 8.2). 4. Zugangsbeschränkung während des Schweißprozesses: Der Beschickungsplatz ist durch den Lichtvorhang (SF-02, PLr e nach EN ISO 13849-1:2023) gesichert; während aktiver Schweißung ist der Zugang zum Schweißbereich durch die verriegelte Wartungstür (SF-01, PLr d) und die Freigabelogik des Wendetisches (SF-04, PLr e) unterbunden, sodass eine Berührung spannungsführender Teile im Automatikbetrieb konstruktiv und steuerungstechnisch verhindert wird. 5. Kabelmanagement: Schweißkabel und Massekabel werden in geschlossenen Kabelkanälen oder Schutzschläuchen geführt (Schutz gegen mechanische Beschädigung); Mindestbiegeradien nach Herstellervorgabe einhalten; Kabel mit Zugentlastung befestigen.
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Beschreibung des korrekten Anschlusses der Masseklemme (Position, Reinigung der Kontaktfläche, zulässige Klemmbereiche); Hinweis, dass das Berühren von Werkstück und Vorrichtung während des Schweißprozesses verboten ist; Prüfintervalle für Isolation und Kabelzustand (arbeitstäglich Sichtprüfung, halbjährlich Isolationsmessung durch Elektrofachkraft, siehe Kapitel 10.2). 2. Qualifikationsanforderung: Einrichten, Fehlersuche und Wartung an der Schweißstromquelle und deren Anschlüssen dürfen nur durch eine Elektrofachkraft oder elektrotechnisch unterwiesene Person unter Aufsicht einer Elektrofachkraft durchgeführt werden (Begriffe nach EN 60204-1:2018 Abschnitt 3.1). 3. Warnkennzeichnung an der Vorrichtung und am Schweißbereich: Warnzeichen W012 'Warnung vor elektrischer Spannung' nach EN ISO 7010:2020 an gut sichtbarer Stelle anbringen; Textschild 'Masseklemme vor Schweißbeginn prüfen'. 4. PSA-Angabe in der Betriebsanleitung: Beim Einrichten und bei der Fehlersuche im Schweißbereich sind isolierende Handschuhe (Schutzklasse geeignet für Niederspannung) sowie Schweißerschutzkleidung zu tragen.

Risiko nachher: S 4 · W 1 · **RZ 4 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 14 Elektrisch — Risiko vorher: S 4 · W 2 · **RZ 8**

EMV-Störbeeinflussung zwischen Schweißstromquelle und Sicherheitssteuerung (Robotersteuerung, Lichtvorhang-Auswerteeinheit, Zuhaltungssteuerung): Hochfrequente Störimpulse des MAG-Lichtbogens können Sicherheitsfunktionen beeinflussen und zu Fehlauslösungen oder, kritischer, zu unerkanntem Ausfall von Sicherheitsfunktionen führen (EN ISO 11161).

Teilmaschine: Gesamtanlage (EMV-Schnittstelle) · auch in: Einrichten · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Räumliche und galvanische Trennung der Schweißstromkreise von den Sicherheitsstromkreisen durch konstruktive Festlegung: (1) Schweißstromrückleitung als dedizierter, werkstücknaher Rückleiter direkt an der Schweißvorrichtung zurückführen, sodass keine großflächigen Stromschleifen entstehen, die als Antenne wirken. (2) Schweißstromleitungen und Sicherheitssignal-/Steuerleitungen in getrennten Kabelkanälen mit einem Mindestabstand von 200 mm verlegen (Trennungsabstände nach EN 50174-2 und EN 60204-1:2018 Anhang H); Kreuzungen nur im rechten Winkel. (3) Schweißstromquelle und Sicherheitssteuerung auf getrennten, niederohmig mit dem Anlagen-Schutzleiter verbundenen Potenzialausgleichsschienen erden, um gemeinsame Impedanzpfade zu vermeiden. Diese Maßnahmen reduzieren die Einkopplung an der Quelle, ohne eine Schutzeinrichtung zu erfordern.
Stufe 2 · Technisch	Für das verbleibende Restrisiko leitungsgebundener und abgestrahlter Störungen: (1) Alle Sicherheitssignal- und Steuerleitungen (Lichtvorhang SF-02, Zuhaltung SF-01, Schwenkfreigabe SF-04, Not-Halt SF-03) als geschirmte Leitungen ausführen; Schirm beidseitig niederohmig auf die Potenzialausgleichsschiene auflegen. (2) Einsatz von Netzfiltern (Entstörfilter) an der Einspeisung der Sicherheitssteuerung und der Lichtvorhang-Auswerteeinheit, ausgelegt nach EN IEC 61000-6-2:2019 (Störfestigkeitsanforderungen Industrieumgebung). (3) Robotersteuerung, Lichtvorhang-Auswerteeinheit und Zuhaltungssteuerung nur in Schaltschränken mit durchgehender Schirmung (Metallgehäuse, EMV-gerechte Kabeldurchführungen) einbauen. (4) Sicherheitssteuerung und alle Komponenten der Sicherheitsfunktionen SF-01 bis SF-05 müssen die Störfestigkeitsanforderungen der EN IEC 61000-6-2:2019 nachweislich erfüllen (Herstellernachweise der Komponenten liegen vor). (5) Die Sicherheitsfunktionen SF-01 (PLr d), SF-02 (PLr e), SF-03 (PLr d), SF-04 (PLr e) und SF-05 (PLr d) sind nach EN ISO 13849-1:2023 und EN ISO 13849-2:2012 zu validieren; die Validierung muss die Störfestigkeit der SRP/CS nach EN ISO 13849-1:2023 Anhang L sowie die CCF-Maßnahmen (Anhang F) nachweisen. (6) Schweißstromquelle: CE-gekennzeichnetes Gerät mit EU-Konformitätserklärung, auch nach EMV-Richtlinie 2014/30/EU; Störaussendung der Stromquelle nach EN IEC 60974-10 (EMV von Lichtbogenschweißeinrichtungen), Störaussendung der Gesamtanlage nach EN IEC 61000-6-4:2019 (Bericht RSZ-2600-EMV-001). (7) Gesamtanlage: EMV-Abnahmeprüfung nach EN IEC 61000-6-2:2019 im Betriebszustand mit aktivem Schweißprozess durchführen, um die Störfestigkeit der Sicherheitsfunktionen im realen Betrieb zu verifizieren.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): (1) Hinweis, dass Änderungen an der Kabelverlegung (Schweißstromleitungen, Steuerleitungen) nur durch qualifiziertes Fachpersonal mit EMV-Kenntnissen durchgeführt werden dürfen. (2) Wartungsanweisung: Sichtprüfung der Schirmauflagen, Potenzialausgleichsverbindungen und Kabelkanaltrennung; Prüfintervall halbjährlich (siehe Kapitel 10.2). (3) Hinweis, dass nach jedem Austausch von Schweißstromquelle, Robotersteuerung oder Sicherheitskomponenten eine erneute EMV-Funktionsprüfung der Sicherheitsfunktionen erforderlich ist. (4) Qualifikationsanforderung: Einrichtpersonal (Betriebsart Einrichten, SF-05 aktiv) muss zu EMV-bedingten Fehlerbildern an Sicherheitssteuerungen unterwiesen sein. (5) Kennzeichnung am Schaltschrank der Sicherheitssteuerung: Textschild 'Kabelverlegung nur nach Elektroschaltplan RSZ-2600-EPL-001 ändern'.

Risiko nachher: S 4 · W 1 · **RZ 4 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 15 Thermisch — Risiko vorher: S 3 · W 4 · **RZ 12**

Verbrennungsgefahr durch heiße Werkstücke und Schweißnähte: Frisch geschweißte Baugruppen erreichen im Nahtbereich mehrere hundert Grad Celsius; beim Entnehmen ohne geeignete Schutzhandschuhe oder bei Berühren der Naht können schwere Verbrennungen entstehen.

Teilmaschine: Beschickungsplatz (Entnahmeseite) · auch in: Einrichten · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Inhärente Möglichkeiten ausgeschöpft: Das Funktionsprinzip des Lichtbogen- bzw. Schutzgasschweißens erfordert zwingend den Wärmeeintrag in das Werkstück; die entstehende Nahttemperatur ist physikalisch nicht auf ein ungefährliches Niveau reduzierbar, ohne den Schweißprozess selbst zu unterbinden. Eine Substitution des Fügeverfahrens (z.B. Kleben, Schrauben) ist nicht vorgesehen und würde die Produktanforderungen nicht erfüllen. Eine geometrische Maßnahme (Abstand zur Naht durch Formgebung) ist am Entnahmegreifpunkt konstruktiv nicht realisierbar, da die Bedienperson die Baugruppe greifen muss.
Stufe 2 · Technisch	1. Erzwungene Abkühlzeit: Steuerungsseitige Sperrzeit nach Schweißende (Zeitglied in der Anlagensteuerung), während der die Entnahmefreigabe am Beschickungsplatz (Entnahmeseite) gesperrt bleibt. Die Sperrzeit ist je Schweißprogramm hinterlegt; sie richtet sich nach Werkstückgeometrie und Wärmeeintrag. Diese Funktion ist keine Sicherheitsfunktion im Sinne EN ISO 13849-1 (kein PLr zugewiesen), sondern eine prozesstechnische Verriegelung; sie mindert die Eintrittswahrscheinlichkeit, ersetzt aber nicht die PSA-Pflicht. 2. Warnleuchte / Signaleinrichtung: Optische Anzeige (rote Signalleuchte am Entnahmeplatz), die während der Abkühlsperrzeit aktiv ist und erlischt, sobald die Freigabe erteilt wird. 3. Thermische Abschirmung: Die trennende Mittelwand mit Schweißerschutzvorhang zwischen Schweißbereich und Entnahmeplatz schirmt die Strahlungswärme zum Bediener ab (Auslegung nach EN ISO 13732-1:2008 hinsichtlich Kontakttemperaturgrenzen als Auslegungsreferenz für Oberflächen, die unbeabsichtigt berührt werden können).
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Hinweis auf Verbrennungsgefahr durch heiße Werkstücke und Schweißnähte; Angabe der erforderlichen Abkühlzeit vor der Entnahme; Verpflichtung zum Tragen von Hitzeschutzhandschuhen (PSA Kategorie II, geeignet für Kontaktwärme gemäß EN 407, Leistungsstufe mindestens Kontaktwärme Level 3) und ggf. Unterarmschutz. 2. Warnkennzeichnung am Entnahmeplatz: Warnzeichen W017 'Warnung vor heißer Oberfläche' und Gebotszeichen M009 'Handschutz benutzen' nach EN ISO 7010:2020 dauerhaft und gut sichtbar am Beschickungsplatz (Entnahmeseite) anbringen ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.1). 3. Qualifikation und Unterweisung: Bediener und Einrichter sind vor Aufnahme der Tätigkeit über die Verbrennungsgefahr, die Abkühlzeiten und die PSA-Pflicht zu unterweisen; die Unterweisung ist zu dokumentieren. 4. PSA-Bereitstellung: Der Betreiber ist in der Betriebsanleitung anzuweisen, geeignete Hitzeschutzhandschuhe (EN 407) bereitzustellen und deren Benutzung zu überwachen.

Risiko nachher: S 3 · W 2 · **RZ 6 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 6 (S 3, W 2) durch heiße Werkstücke. Der Wärmeeintrag gehört zum Schweißverfahren und lässt sich nicht auf ein ungefährliches Niveau senken, und die Bedienperson muss die Baugruppe greifen (Stufe 1 ausgeschöpft). Nach Stufe 2 sperrt die Steuerung die Entnahme je Schweißprogramm für eine Abkühlzeit, die rote Signalleuchte am Entnahmeplatz zeigt die Sperre an, und die trennende Mittelwand schirmt die Strahlungswärme ab. Ein Abwarten, bis die Naht die Grenzwerte der Kontakttemperatur nach EN ISO 13732-1:2008 unterschreitet, würde die Taktzeit von rund 90 Sekunden deutlich überschreiten und die Serienfertigung nach der bestimmungsgemäßen Verwendung aufheben; eine weitere Maßnahme der Stufe 1 oder 2 ist deshalb nicht praktikabel. Verbleibend ist das Berühren noch warmer Nahtbereiche nach Ablauf der Sperrzeit, eine reversible Verbrennung. Dagegen wirken Hitzeschutzhandschuhe nach EN 407, die Zeichen W017 und M009 an der Entnahmeseite und die Unterweisung (Betriebsanleitung Kap. 2.4, 2.6 und 9.1).

Nr. 16 Thermisch

Risiko vorher: S 4 · W 3 · **RZ 12**

Verbrennungs- und Brandgefahr durch Schweißspritzer (Funkenflug): Beim MAG-Schweißen entstehen Spritzer mit Temperaturen über 1500 Grad C; sie können auf brennbare Materialien (Verpackungen, Öle, Kleidung) in der Umgebung treffen und Brände oder Verbrennungen verursachen.

Teilmaschine: Schweißroboter / Schweißbereich · auch in: Einrichten · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Schweißparameter-Optimierung zur Spritzminimierung: Einsatz eines spritzarmen Lichtbogenverfahrens (z. B. Impulslichtbogen oder CMT-ähnlicher Kurzlichtbogen) anstelle des konventionellen Kurzlichtbogens, soweit die Fügeaufgabe dies zulässt. Durch die gezielte Reduktion der übertragenen Spritzenergie und -menge wird die Wahrscheinlichkeit zündfähiger Spritzer auf brennbaren Materialien konstruktiv gesenkt. Zusätzlich: Anordnung des Schweißbereichs so, dass keine brennbaren Betriebsmittel (Öle, Schmierstoffe, Verpackungen) innerhalb des Spritzerschutzradius von 1 m um den Schweißbereich gelagert oder geführt werden. Leitungen mit brennbaren Medien sind aus dem Spritzbereich heraus zu verlegen oder mit nicht brennbaren Abschirmungen zu versehen.
Stufe 2 · Technisch	1. Trennende Schutzeinrichtung: Der Schweißbereich ist vom Schutzzaun mit schweißlichtdichten Füllungen und Schweißerschutz-Sichtfenstern (EN ISO 14120:2015) und von der trennenden Mittelwand des Wendetisches umschlossen; Füllungen und Mittelwand sind nicht brennbar und schweißspritzerfest. Die Umhausung verhindert den Austritt von Spritzern in den allgemeinen Arbeitsbereich. Zum Beschickungsplatz hin schirmt die Mittelwand des Wendetisches mit Schweißerschutzvorhang nach EN ISO 25980 den Schweißbereich ab. 2. Absauganlage im Schweißbereich: Erfassung von Schweißrauch und Partikeln unmittelbar an der Entstehungsstelle nach EN ISO 21904-1:2020, um glühende Partikel abzusaugen und die thermische Belastung der Umgebung zu reduzieren. 3. Freihaltezone von 1 m um den Schutzzaun sichern: dauerhafte Bodenmarkierung gelb/schwarz nach ASR A1.3 und, wo möglich, physische Barrieren; innerhalb der Zone keine Lager- oder Abstellflächen vorsehen. 4. Brandschutz: Halterung für einen Feuerlöscher (CO2 oder Pulver, kein Wasser wegen der elektrischen Anlage) an der Zelle vorsehen; Bereitstellung und Prüfung der Löschmittel obliegen dem Betreiber (Hinweis in der Betriebsanleitung, Stufe 3). 5. Sicherheitsfunktionen: Die Wartungstür ist über SF-01 (PLr d) und die Beschickungsöffnung über SF-02 (PLr e) in die Sicherheitssteuerung eingebunden; geschweißt wird nur bei geschlossener und zugehaltener Wartungstür.
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung (gemäß (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Hinweis auf Spritzerschutzradius und Verbot der Lagerung brennbarer Materialien im Schweißbereich. Angabe der zulässigen Schweißparameterbereiche (Strom, Spannung, Drahtvorschub) zur Minimierung des Spritzauswurfs. Anweisung zur regelmäßigen Reinigung von Spritzern auf Maschinenoberflächen und im Schweißbereich (Brandlastreduzierung). Verfahrensanweisung für den Brandfall (Alarmierung, Erstlöschung, Evakuierung). 2. Warnkennzeichnung am Schutzzaun nach EN ISO 7010:2020: allgemeines Warnzeichen W001 mit Zusatztext 'Brandgefahr durch Schweißspritzer'. Warnung vor heißer Oberfläche (W017) im Schweißbereich. Gebotszeichen M010 'Schutzkleidung benutzen' an der Wartungstür. 3. Qualifikationsanforderung: Einrichter und Bediener müssen in der Bedienung der Schweißanlage und im Umgang mit Brandschutzeinrichtungen unterwiesen sein. Einrichter benötigen eine Qualifikation als Schweißfachkraft oder gleichwertige nachgewiesene Unterweisung. 4. PSA-Angabe: Bei Einrichtarbeiten im Schweißbereich ist folgende PSA zu tragen: flammhemmende Schweißerschutzkleidung (nach EN ISO 11611), Schweißerschutzhandschuhe (nach EN 12477), Schweißerschutzschirm oder -helm mit Schweißerschutzfilter nach EN ISO 16321-2 (vormals EN 169). Im Automatikbetrieb bei geschlossener Wartungstür ist keine Schweißer-PSA erforderlich, jedoch ist das Betreten des Schweißbereichs während des Betriebs verboten (Betriebsanleitung).

Risiko nachher: S 4 · W 1 · **RZ 4 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 18 Strahlung — Risiko vorher: S 4 · W 3 · **RZ 12**

Gefährdung durch optische Strahlung des MAG-Lichtbogens (UV, sichtbar, IR): Der Lichtbogen emittiert intensive ultraviolette, sichtbare und infrarote Strahlung; ungeschützter Blick in den Lichtbogen (auch durch geöffnete Wartungstür im Einrichtbetrieb) kann zu Augenschäden (Keratokonjunktivitis, Netzhautschäden) und Hautverbrennungen führen.

Teilmaschine: Schweißroboter / Schweißbereich · auch in: Einrichten · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Inhärente Möglichkeiten ausgeschöpft: Das Funktionsprinzip des MAG-Schweißens erfordert zwingend einen offenen Lichtbogen mit hoher Strahlungsintensität; Strom, Spannung und Lichtbogenenergie können nicht so weit reduziert werden, dass die Strahlungsgefährdung entfällt, ohne den Schweißprozess zu unterbinden. Eine geometrische Verlagerung der Gefahrstelle ist bei einem Roboterschweißsystem mit wechselnden Schweißpositionen nicht möglich.
Stufe 2 · Technisch	1. Umhausung des Schweißbereichs: Schutzzaun mit schweißlichtdichten Füllungen und Schweißerschutz-Sichtfenstern als trennende Schutzeinrichtung nach EN ISO 14120:2015; Füllungen und Beschichtung (mattschwarze, lichtabsorbierende Oberfläche) so auslegen, dass keine relevante UV-/IR-Reflexion nach außen gelangt. Sichtfenster und Schweißerschutzvorhänge nach EN ISO 25980 ausführen. 2. Wartungstür: Die Wartungstür ist mit einer Zuhaltung nach EN ISO 14119:2025 auszurüsten (Verriegelung mit Zuhaltung, Fluchtentriegelung gemäß EN ISO 14119:2025 Abschnitt 6.9.1). Die Sicherheitsfunktion "SF-01 Sicheres Stillsetzen (Stopp-Kategorie 1) beim Öffnen der Wartungstür" ist mit PLr d nach EN ISO 13849-1:2023 zu realisieren: Die Zuhaltung gibt die Tür erst frei, wenn der Lichtbogen erloschen ist und der Roboter stillsteht; ein Sicherheitsabstand nach EN ISO 13855:2024 ist deshalb nicht zu berechnen. 3. Einrichtbetrieb bei geöffneter Wartungstür: Die Schweißstromquelle wird bei geöffneter Wartungstür über SF-01 sicher abgeschaltet (Abschaltpfad der Sicherheits-SPS wie bei SF-03, PLr d nach EN ISO 13849-1:2023), sodass bei offener Tür kein Lichtbogen gezündet werden kann. Die zusätzliche Sperre der Schweißfreigabe in der Standardsteuerung (Schweißfreigabe nur bei geschlossener und zugehaltener Wartungstür) ist eine betriebliche Verriegelung ohne PL-Anforderung. Die Funktion "SF-05 Sicher reduzierte Geschwindigkeit 250 mm/s mit Zustimmeinrichtung im Einrichtbetrieb" (PLr d) gilt für die Bewegungen von Roboter und Wendetisch. Bei geschlossener Wartungstür schützt die Zuhaltung (SF-01) vor der Lichtbogenstrahlung. 4. Strahlungsschutz an der Beschickungsöffnung: Die trennende Mittelwand des Wendetisches mit Schweißerschutzvorhang nach EN ISO 25980 schirmt den Beschickungsplatz ab, sodass kein direkter Strahlungsdurchtritt zum Bediener möglich ist.
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung: Hinweis auf Strahlungsgefährdung durch MAG-Lichtbogen (UV, sichtbar, IR) gemäß (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4.1 und Nr. 1.7.4.2; Angabe, dass die Schweißstromquelle bei geöffneter Wartungstür über SF-01 sicher abgeschaltet ist; Beschreibung der PSA-Anforderungen für Einricht- und Wartungstätigkeiten in der Nähe des Schweißbereichs. 2. Qualifikationsanforderung: Einricht- und Wartungspersonal muss über Kenntnisse der Strahlungsgefährdung beim Lichtbogenschweißen verfügen; Unterweisung gemäß OStrV (Arbeitsschutzrecht, Betreiberpflicht) ist in der Betriebsanleitung als Betreiberpflicht zu benennen. 3. PSA-Angabe: Für Tätigkeiten, bei denen ein Restrisiko durch Streustrahlung (z.B. Reflexionen beim Einrichten in unmittelbarer Nähe) nicht vollständig ausgeschlossen werden kann: Schweißerschutzbrille oder Schweißerschutzschild mit Schweißerschutzfilter nach EN ISO 16321-2 (vormals EN 169), UV-beständige Schutzkleidung und Schutzhandschuhe. 4. Warnkennzeichnung: Warnzeichen "Warnung vor optischer Strahlung" (W027 nach EN ISO 7010:2020) an der Wartungstür und an der Beschickungsöffnung; Gebotszeichen M004 "Augenschutz benutzen" und M010 "Schutzkleidung benutzen" nach EN ISO 7010:2020 an der Wartungstür anbringen. 5. Emissionsangaben: Angaben zur optischen Strahlung des Lichtbogens in der Betriebsanleitung gemäß (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.5.10 und 1.7.4.2; Grundlage sind die Herstellerangaben der Schweißstromquelle und die Bewertung der Strahlungsemission nach EN 12198 (Strahlung von Maschinen).

Risiko nachher: S 4 · W 1 · **RZ 4 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 19 Strahlung — Risiko vorher: S 4 · W 2 · **RZ 8**

Gefährdung durch elektromagnetische Felder (EMF) der Schweißstromquelle und der Schweißleitungen: Hohe Schweißströme erzeugen starke Magnetfelder; Personen mit aktiven Implantaten (Herzschrittmacher, Insulinpumpen) können durch die Felder gefährdet werden.

Teilmaschine: Schweißstromquelle / Schweißleitungen · auch in: Einrichten, Wartung · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Schweißleitungen (Strom- und Rückleiter) so verlegen und bündeln, dass Hin- und Rückleiter räumlich eng zusammengeführt werden (verdrillte oder parallel geführte Leitungspaare mit minimalem Abstand zueinander): Die Magnetfelder beider Leiter kompensieren sich teilweise gegenseitig, was die resultierende Feldstärke im Umfeld deutlich reduziert. Leitungen so kurz wie technisch möglich halten und nicht unnötig aufspulen oder in Schleifen verlegen, da Schleifen die Feldstärke erhöhen. Schweißstromquelle mit Abstand zum Beschickungsplatz und zum Bedienpult aufstellen.
Stufe 2 · Technisch	Zugang zum Schweißbereich (Schweißzelle) während des Betriebs durch die vorhandene trennende Schutzeinrichtung (Schutzzaun nach EN ISO 14120:2015) absichern, sodass Personen den Nahbereich der aktiven Schweißleitungen im Automatikbetrieb nicht betreten können. Wartungstür mit Zuhaltung nach EN ISO 14119:2025 ausführen (SF-01, PLr d), die ein Betreten erst nach Abschalten des Schweißstroms freigibt. Im Einrichtbetrieb und bei Wartungsarbeiten in Leitungsnähe: Schweißstrom vor dem Betreten des Gefahrbereichs abschalten und gegen Wiedereinschalten sichern (Energietrennung und Stillsetzen nach EN ISO 14118:2018). Die Schweißleitungen verlaufen vollständig innerhalb des Schutzzauns, sodass Personen außerhalb der Zelle Abstand zu den aktiven Leitungen halten.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung: Expliziter Hinweis, dass der Betrieb der Schweißanlage starke elektromagnetische Felder erzeugt. Personen mit aktiven oder passiven metallischen Implantaten (Herzschrittmacher, Insulinpumpen, Cochlea-Implantate, Metallimplantate) dürfen den Nahbereich der Schweißleitungen und der Schweißstromquelle nicht betreten. Vor Aufnahme von Einricht- oder Wartungstätigkeiten in Leitungsnähe ist der Schweißstrom abzuschalten. Qualifikationsanforderung: Einricht- und Wartungspersonal ist über die EMF-Gefährdung zu unterweisen; Personen mit bekannten Implantaten sind von Tätigkeiten im Nahbereich aktiver Schweißleitungen auszuschließen. Warnkennzeichnung: Warnung vor magnetischem Feld (W006 nach EN ISO 7010:2020) an der Wartungstür, am Beschickungsplatz und an der Schweißstromquelle anbringen. Zusätzlich Verbotszeichen für Personen mit Herzschrittmachern (P007 nach EN ISO 7010:2020) an denselben Stellen. EMF-Emissionen sind in der Betriebsanleitung qualitativ zu beschreiben; Bewertungsgrundlage sind die Herstellerangaben der Schweißstromquelle nach EN IEC 62822-2 (Bewertung von Lichtbogenschweißeinrichtungen hinsichtlich der EMF-Exposition von Personen).

Risiko nachher: S 4 · W 1 · **RZ 4 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 20 Stofflich — Risiko vorher: S 4 · W 4 · **RZ 16**

Gefährdung durch Einatmen von Schweißrauch und -dämpfen (Metalloxide, Mangan, Eisenoxide): MAG-Schweißen von Baustahl erzeugt gesundheitsschädliche Partikel und Gase; bei unzureichender Absaugung (gesättigte Filterpatrone, abgeschaltete Anlage) überschreiten die Konzentrationen am Atembereich des Bedieners die Arbeitsplatzgrenzwerte.

Teilmaschine: Gesamtanlage (Absaugung / Schweißbereich) · auch in: Einrichten, Wartung, Reinigung · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Substitution des Schweißzusatzwerkstoffs: Einsatz von Massivdraht-Elektroden mit nachweislich reduziertem Mangangehalt (Mn-arme Legierung, z.B. Mn-Gehalt < 1,0 % gemäß Sicherheitsdatenblatt) anstelle von Fülldrahtelektroden oder hochmanganhaltigen Drähten, soweit die Schweißaufgabe (Baustahl, Nahtqualität) dies zulässt. Zusätzlich: Optimierung der Schweißparameter (Lichtbogenspannung, Drahtvorschub, Schutzgaszusammensetzung) auf raucharme Einstellung gemäß Herstellerempfehlung der Schweißstromquelle, um die Rauchentwicklung an der Quelle zu minimieren. Beides reduziert die emittierte Schadstoffmasse und senkt damit die Wahrscheinlichkeit einer gesundheitsschädlichen Exposition; die Schwere des möglichen Schadens bleibt unverändert.
Stufe 2 · Technisch	Technische Lüftung und Absaugung nach EN ISO 21904-1:2020 (Schweißrauchabsaugung): Erfassung des Schweißrauchs durch die Erfassungshaube über dem Schweißbereich mit einem Volumenstrom von 1800 m3/h, der die Erfassungsgeschwindigkeit an der Entstehungsstelle sicherstellt. Die Absauganlage muss mit einer Filterüberwachung (Differenzdruckwächter) ausgestattet sein, die bei gesättigter Filterpatrone oder gestörter Absaugung einen Alarm auslöst; die Zelle stoppt kontrolliert, ein Wiederanlauf ist erst nach Beseitigung der Störung möglich (betriebliche Verriegelung ohne PL-Anforderung nach EN ISO 13849-1, eine Risikominderung wird dafür nicht angerechnet). Abschirmung des Schweißbereichs durch den Schutzzaun mit schweißlichtdichten Füllungen (EN ISO 14120:2015) und die trennende Mittelwand des Wendetisches, um Rauchaustritt in den Bedienerbereich zu minimieren. Raumluftüberwachung am Beschickungsplatz auf Schweißrauchkonzentration als zusätzliche Betreibermaßnahme empfohlen.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung (gemäß (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Angabe der emittierten Schweißraucharten und Hinweis auf einzuhaltende AGW nach TRGS 900 und TRGS 528; Anweisung zur regelmäßigen Prüfung und zum Wechsel der Filterpatronen (Wartungsintervall nach Herstellervorgabe EN ISO 21904-1:2020); Verbot des Schweißbetriebs bei ausgefallener oder abgeschalteter Absauganlage. Warnkennzeichnung am Schweißbereich: allgemeines Warnzeichen W001 nach EN ISO 7010:2020 mit Zusatztext 'Gesundheitsschädlicher Schweißrauch' und Gebotszeichen 'Atemschutz benutzen' (M017) als Restrisikokennzeichnung. PSA-Anforderung: partikelfiltrierende Halbmaske FFP3 nach EN 149 oder Gebläseatemschutz für Einricht-, Wartungs- und Reinigungsarbeiten im Schweißbereich bei abgeschalteter Absaugung; Qualifikationsanforderung: Bediener und Einrichter müssen in den Gefahren von Schweißrauchen und der korrekten Bedienung der Absauganlage unterwiesen sein (TRGS 528 Abschnitt 5).

Risiko nachher: S 4 · W 2 · **RZ 8 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 8 (S 4, W 2) durch Schweißrauch. Die Schwere folgt aus den Stoffeigenschaften des Schweißrauchs (Metalloxide, Mangan) und bleibt unverändert; das MAG-Verfahren ist der Zweck der Maschine und nicht ersetzbar. Nach Stufe 1 sind manganarmer Massivdraht, soweit die Schweißaufgabe es zulässt, und raucharme Parameter vorgesehen. Nach Stufe 2 erfasst die Haube über dem Schweißbereich den Rauch mit 1.800 m³/h, bei gestörter Absaugung oder gesättigter Filterpatrone stoppt die Zelle kontrolliert (Störmeldeschwelle 1.400 m³/h), die Abscheidung erfolgt in Klasse W3, und Schutzzaun und trennende Mittelwand schirmen den Beschickungsplatz ab; Erfassung, Wirksamkeit und Abscheideklasse sind geprüft. Eine vollständige Einhausung ist nicht möglich, weil die Beschickungsöffnung für das manuelle Einlegen offen bleiben muss, und bei Arbeiten im Schweißbereich ist die Absaugung abgeschaltet; eine weitere Maßnahme der Stufe 1 oder 2 für diese Restexposition ist nicht erkennbar. Verbleibend sind Restemissionen am Beschickungsplatz und die Exposition bei Einricht-, Wartungs- und Reinigungsarbeiten. Atemschutz FFP3 für diese Arbeiten, das Verbot des Schweißens ohne wirksame Absaugung, die Filterwartung und die Betreiberpflichten nach TRGS 528 stehen in der Betriebsanleitung (Kap. 1.2, 2.6, 9.1 und 10.2).

Nr. 21 Stofflich

Risiko vorher: S 4 · W 2 · **RZ 8**

Gefährdung durch Schutzgas (Argon-CO2-Gemisch M21) bei Leckage: Argon und CO2 sind schwerer als Luft, das Schutzgas kann sich in Bodennähe ansammeln; bei größeren Leckagen in schlecht belüfteten Bereichen besteht Erstickungsgefahr durch Sauerstoffverdrängung.

Teilmaschine: Schutzgasversorgung / Leitungssystem · auch in: Wartung, Fehlersuche · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Druckbegrenzung im Leitungssystem: Den Betriebsdruck der Schutzgasversorgung auf das für den Schweißprozess minimal erforderliche Niveau begrenzen (Druckminderer am Versorgungsanschluss der Zelle). Ein niedrigerer Systemdruck reduziert die im Fehlerfall austretende Gasmenge und damit das Ansammlungspotenzial. Zusätzlich: Leitungsführung und Verbindungsstellen so gestalten, dass Leckagen konstruktiv minimiert werden: Einsatz von Schneidringverschraubungen oder Pressfittings anstelle von Schlauchschellen an festen Leitungsabschnitten; Schlauchlängen auf das betrieblich notwendige Minimum kürzen; keine Leitungsführung in Bodennähe von Gruben oder abgeschlossenen Kammern (Trassierung in Deckennähe, soweit möglich). Diese Maßnahmen adressieren die Energiequelle (gespeichertes Druckgas) und die Gefahrstelle (Ansammlungszone) direkt.
Stufe 2 · Technisch	1. Automatische Absperrung der Gaszufuhr: Magnetventil (stromlos geschlossen) in der Schutzgaszuleitung, das die Gaszufuhr bei Anlagenstopp, Not-Halt (SF-03) und in Betriebspausen selbsttätig absperrt; zusätzlich Handabsperrventil außerhalb der Zelle. 2. Dichtheitsüberwachung: Plausibilisierung des Gasverbrauchs über die Anlagensteuerung (Meldung bei Gasfluss ohne aktiven Schweißprozess als Leckageindikator); arbeitstägliche Sichtkontrolle der Schlauchverbindungen als Wartungsvorgabe. 3. Aufstellung der bauseitigen Schutzgasversorgung (Flaschenbatterie oder Entnahmestation) in einem belüfteten Hallenbereich, nicht in Gruben, Kellern oder engen Nischen. Bei Aufstellung in schlecht belüfteten Bereichen ist betreiberseitig eine Sauerstoff-Warneinrichtung vorzusehen (Hinweis in der Betriebsanleitung). Eine Sicherheitsfunktion mit PLr-Anforderung ist für diese Gefährdung nicht erforderlich; das Risiko wird über Absperrung, Aufstellung und Lüftung beherrscht.
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Hinweis auf Erstickungsgefahr durch Sauerstoffverdrängung bei größeren Leckagen in schlecht belüfteten Bereichen; Anforderung ausreichender Hallenlüftung am Aufstellungsort; Arbeiten an der Gasversorgung nur bei abgesperrter und entspannter Leitung (EN ISO 14118:2018). 2. Qualifikation: Arbeiten an Druckgasleitungen und Armaturen nur durch unterwiesenes Fachpersonal; Unterweisung nach DGUV Regel 100-500 Kapitel 2.26 und TRGS 528 (Betreiberpflicht). 3. Warnkennzeichnung: allgemeines Warnzeichen W001 nach EN ISO 7010:2020 mit Zusatztext 'Erstickungsgefahr durch Schutzgas' am Aufstellort der Gasversorgung; Verbotszeichen 'Zutritt für Unbefugte verboten' (D-P006 nach ASR A1.3) an abgeschlossenen Versorgungsbereichen. 4. Bei Arbeiten in engen oder schlecht belüfteten Bereichen (z. B. Flaschenwechsel in Nischen): tragbares Sauerstoff-Warngerät verwenden, keine Alleinarbeit.

Risiko nachher: S 4 · W 1 · **RZ 4 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 24 Lärm

Risiko vorher: S 4 · W 4 · **RZ 16**

Gefährdung durch Lärm beim MAG-Schweißprozess und durch den Wendetisch-Antrieb: Der Schweißprozess (Lichtbogengeräusch, Spritzer) sowie mechanische Antriebe erzeugen relevante Schalldruckpegel am Beschickungsplatz; bei Dauerbetrieb (Zweischichtbetrieb, 16 h) kann der Tages-Lärmexpositionspegel LEX,8h die Auslösewerte der LärmVibrationsArbSchV erreichen oder überschreiten.

Teilmaschine: Gesamtanlage (Schweißbereich / Wendetisch) · auch in: Einrichten · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Lärmminderung an der Quelle durch konstruktive Maßnahmen nach EN ISO 11688-1: (1) Schweißprozessoptimierung: Auswahl emissionsarmer Schweißparameter (Impulslichtbogen statt Kurzlichtbogen, wo prozesstechnisch möglich), da der Kurzlichtbogen höhere Spritzer- und Geräuschemission erzeugt. (2) Antriebskapselung und Körperschallentkopplung des Wendetisch-Antriebs: Elastische Lagerung des Antriebsmotors und des Getriebes auf dem Maschinengestell, um Körperschallübertragung auf abstrahlende Flächen zu reduzieren. (3) Maschinengestell aus schallabsorbierenden oder gedämpften Profilen (z.B. mit Bitumendämmmatten belegte Blechverkleidungen) anstelle ungedämpfter Stahlblechflächen, um Schallabstrahlung zu verringern. Die Messung und Deklaration der Geräuschemissionswerte erfolgt in Stufe 2 und Stufe 3.
Stufe 2 · Technisch	(1) Akustische Abschirmung des Schweißbereichs durch die trennende Mittelwand des Wendetisches und die geschlossenen Füllungen des Schutzzauns zwischen Schweißbereich und Beschickungsplatz. (2) Kapselung oder Verkleidung des Wendetisch-Antriebs mit schallabsorbierendem Material, sofern Wartungszugänglichkeit gewährleistet bleibt (Verkleidung als trennende Schutzeinrichtung nach EN ISO 14120:2015 ausführen). (3) Lärmmessung am Beschickungsplatz nach EN ISO 11202:2010 im repräsentativen Betriebszustand (Automatikbetrieb, MAG-Schweißen aktiv, Wendetisch in Betrieb) zur Ermittlung des Emissionsschalldruckpegels LpA (gemessen: 84 dB(A), K = 2,5 dB). Den Tages-Lärmexpositionspegel LEX,8h ermittelt der Betreiber nach LärmVibrationsArbSchV. Hinweis: Keine Sicherheitsfunktion nach EN ISO 13849-1 betroffen; PLr-Bestimmung entfällt für diese Gefährdung.
Stufe 3 · Information	(1) Betriebsanleitung (MVO (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4.2 u)): Angabe des gemessenen Emissions-Schalldruckpegels LpA am Beschickungsplatz nach EN ISO 11202:2010 und EN ISO 4871:2009 (mit Messunsicherheit K); bei LpA über 80 dB(A) zusätzlich Angabe des Schallleistungspegels LWA nach EN ISO 3746:2010. Hinweis auf Betreiberpflichten nach LärmVibrationsArbSchV (Gefährdungsbeurteilung, Lärmminderungsprogramm ab oberem Auslösewert LEX,8h 85 dB(A), Pflicht zur Bereitstellung von Gehörschutz ab 80 dB(A), Tragepflicht ab 85 dB(A)). (2) Warnkennzeichnung am Beschickungsplatz: Gebotszeichen 'Gehörschutz benutzen' (M003 nach EN ISO 7010:2020) an gut sichtbarer Stelle anbringen. (3) Qualifikation und Unterweisung: Bedienpersonen sind durch den Betreiber über die Lärmgefährdung, die Auslösewerte und die korrekte Verwendung von Gehörschutz zu unterweisen. (4) PSA-Angabe: Geeigneter Gehörschutz (Kapselgehörschützer oder Gehörschutzstöpsel) mit ausreichendem Dämmwert (SNR) entsprechend dem vom Betreiber ermittelten LEX,8h ist vom Betreiber bereitzustellen; Auswahl nach EN 458.

Risiko nachher: S 4 · W 2 · **RZ 8 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 8 (S 4, W 2) durch Lärm; Schwere 4, weil eine Lärmschwerhörigkeit irreversibel ist. Das Lichtbogengeräusch entsteht am Schweißprozess selbst; nach Stufe 1 sind emissionsarme Schweißparameter, eine körperschallentkoppelte Lagerung und gedämpfte Verkleidungen des Wendetischantriebs vorgesehen. Nach Stufe 2 schirmen die Mittelwand und die geschlossenen Zaunfüllungen den Beschickungsplatz ab, und der Antrieb ist verkleidet. Gemessen sind am Beschickungsplatz LpA = 84 dB(A) mit K = 2,5 dB nach EN ISO 11202:2010 und LWA = 96 dB(A) nach EN ISO 3746:2010. Die Beschickungsöffnung zum Bediener muss offen bleiben, eine weitere Kapselung an dieser Seite ist deshalb nicht möglich, und das Lichtbogengeräusch lässt sich nicht weiter mindern, ohne das Verfahren zu ändern; eine weitere Maßnahme der Stufe 1 oder 2 ist nicht praktikabel. Den Tages-Lärmexpositionspegel bestimmt die Arbeitsorganisation des Betreibers. Die Geräuschangaben nach EN ISO 4871:2009, die Pflichten zu Gehörschutz ab 80 und 85 dB(A) und das Zeichen M003 stehen in der Betriebsanleitung (Kap. 2.4 und 3).

Nr. 27 Ergonomisch

Risiko vorher: S 2 · W 3 · **RZ 6**

Unzureichende Beleuchtung am Beschickungsplatz und im Wartungsgang: Zu geringe Beleuchtungsstärke erschwert das sichere Einlegen und Entnehmen von Werkstücken sowie Wartungsarbeiten und erhöht das Risiko von Fehlhandlungen und Unfällen.

Teilmaschine: Beschickungsplatz / Wartungsgang · auch in: Einrichten, Wartung, Reinigung · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Maschinenintegrierte Arbeitsplatzbeleuchtung am Beschickungsplatz und im Wartungsgang konstruktiv vorsehen: Leuchten werden fest in die Maschinenstruktur integriert (in den Rahmen des Schutzzauns eingebaut), sodass die Beleuchtungsstärke am Beschickungsplatz und im Wartungsgang unabhängig von der Hallenbeleuchtung dauerhaft sichergestellt ist. Die Auslegung erfolgt nach EN ISO 12100:2010 Abschnitt 6.2.8 (Ergonomie) in Verbindung mit EN 1837 (maschinenintegrierte Beleuchtung); ausgeführt sind 500 lx am Beschickungsplatz, 200 lx im Wartungsgang. Durch die konstruktive Integration entfällt die Abhängigkeit von externen, ggf. unzureichenden Beleuchtungsquellen.
Stufe 2 · Technisch	Restrisiko durch Ausfall oder Abschattung der integrierten Leuchten: Überwachung der Betriebsbereitschaft der Arbeitsplatzbeleuchtung durch die Maschinensteuerung (Meldung bei Leuchtmittelausfall). Zusätzlich Kennzeichnung der Wartungsgangbereiche mit retroreflektierenden Bodenmarkierungen gelb/schwarz nach ASR A1.3 (Stolperstellen, Gangbegrenzungen) sowie Warnzeichen W007 'Warnung vor Hindernissen am Boden' nach EN ISO 7010:2020 an Stolperstellen. Eine Sicherheitsfunktion im Sinne von EN ISO 13849-1 ist für die Beleuchtungsüberwachung nicht erforderlich; bei Beleuchtungsausfall sind die Arbeiten einzustellen (Stufe 3).
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Angabe der Beleuchtungsstärke der Arbeitsplatzbeleuchtung (500 lx am Beschickungsplatz, 200 lx im Wartungsgang); Hinweis, dass Arbeiten bei Ausfall der integrierten Beleuchtung einzustellen sind, bis die Beleuchtung wiederhergestellt ist. Textschild an der Wartungstür: 'Bei Ausfall der Beleuchtung Arbeiten einstellen'. Qualifikationsanforderung: Wartungspersonal muss in der Prüfung der Beleuchtungsfunktion vor Arbeitsbeginn unterwiesen sein. Für kurzzeitige Kontrollen bei Beleuchtungsausfall geeignete mobile Leuchten verwenden; reguläre Arbeiten erst nach Wiederherstellung der Beleuchtung fortsetzen.

Risiko nachher: S 2 · W 1 · **RZ 2 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 31 Kombination — Risiko vorher: S 5 · W 2 · **RZ 10**

Gefährdung durch unterschiedliche Sicherheitsniveaus der Teilmaschinen verschiedener Hersteller (Roboter, Schweißstromquelle, Wendetisch, Absaugung): Fehlende oder unvollständige Schnittstellenverriegelung zwischen den Teilmaschinen kann dazu führen, dass eine Teilmaschine anläuft, obwohl eine andere sich in einem unsicheren Zustand befindet (EN ISO 11161).

Teilmaschine: Gesamtanlage (Systemintegration) · auch in: Inbetriebnahme, Fehlersuche · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Systemarchitektur mit einer einzigen, übergeordneten Sicherheitssteuerung (Safety-Master) als inhärent sicheres Steuerungsprinzip nach EN ISO 12100 Abschnitt 6.2.11: Alle sicherheitsrelevanten Zustandssignale der Teilmaschinen (Roboter-Betriebsart, Wendetisch-Endlage, Absaugung-Betrieb, Schweißstromquelle-Bereit) werden ausschließlich über den Safety-Master geführt. Kein Teilmaschinen-Antrieb erhält eine Freigabe, ohne dass der Safety-Master den Gesamtzustand als sicher bewertet hat. Durch diese Zentralisierung wird die Möglichkeit einer unvollständigen Schnittstellenverriegelung konstruktiv auf ein Minimum reduziert: Es gibt keine parallelen, voneinander unabhängigen Freigabepfade zwischen den Teilmaschinen. Die Schnittstellendefinition erfolgt nach EN ISO 11161:2007+A1:2010 (Systemintegration, Verantwortlichkeiten, Schnittstellenbeschreibung) und wird im Sicherheitskonzept der Gesamtanlage dokumentiert.
Stufe 2 · Technisch	1. Verriegelungsmatrix nach EN ISO 11161:2007+A1:2010: Für jede Teilmaschinen-Kombination wird eine vollständige Zustandsmatrix (Betriebsart x Zustand der anderen Teilmaschinen) erstellt und in der Sicherheitssteuerung implementiert. Jede Freigabe ist als UND-Verknüpfung aller relevanten Sicherheitszustände ausgeführt. 2. Sicherheitsfunktion SF-04 (Freigabe der 180-Grad-Schwenkbewegung des Wendetisches nur bei freiem Schwenkbereich, PLr e) stellt sicher, dass der Wendetisch nur schwenkt, wenn das Schutzfeld des Lichtvorhangs frei ist, die Spanner gespannt sind und der Roboter nachweislich außerhalb des Schwenkbereichs steht. Die Sicherheitsfunktion wird nach EN ISO 13849-1:2023 auf PLr e ausgelegt und nach EN ISO 13849-2:2012 validiert. 3. Sicherheitsfunktion SF-01 (Sicheres Stillsetzen beim Öffnen der Wartungstür, Stopp-Kategorie 1, PLr d) und SF-02 (Sicheres Stillsetzen bei Unterbrechung des Lichtvorhangs, PLr e) werden gesamtanlagenweit koordiniert: Ein Stopp-Signal einer Teilmaschine löst über den Safety-Master den koordinierten Stopp aller Teilmaschinen aus. Für Roboter und Wendetisch gilt Stopp-Kategorie 1 nach EN 60204-1:2018 Abschnitt 9.2.2. 4. Not-Halt der Gesamtanlage (SF-03, Stopp-Kategorie 1, PLr d) nach EN ISO 13850:2015 wirkt auf alle Teilmaschinen gleichzeitig über den Safety-Master. Not-Halt-Befehlsgeräte sind am Bedienpult, an der Wartungstür und am Teach-Pendant angeordnet. 5. Wiederanlaufsperre nach EN ISO 14118:2018: Nach jedem Stopp (Not-Halt, Schutzeinrichtungsauslösung, Energieunterbrechung) ist ein bewusster Wiederanlaufbefehl erforderlich; automatischer Wiederanlauf ist ausgeschlossen. 6. Einrichtbetrieb mit sicher reduzierter Geschwindigkeit (SF-05, 250 mm/s, PLr d) und Zustimmeinrichtung nach EN ISO 10218-2:2025 Abschnitt 5.7.7; Roboter und Wendetisch bewegen sich in diesem Modus nur mit betätigter Zustimmeinrichtung und sicher reduzierter Geschwindigkeit, die Schweißstromquelle wird bei geöffneter Wartungstür über SF-01 sicher abgeschaltet.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung der Gesamtanlage nach (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4: Die Schnittstellenverriegelungslogik (Zustandsmatrix, Freigabebedingungen je Teilmaschine) ist vollständig zu dokumentieren. Für jede Teilmaschine ist der Übergabepunkt der Sicherheitsverantwortung (Hersteller der Teilmaschine bis Schnittstelle, Integrator ab Schnittstelle) gemäß EN ISO 11161:2007+A1:2010 im Sicherheitskonzept der Gesamtanlage schriftlich festgelegt und in der Betriebsanleitung auszuweisen. Qualifikationsanforderung: Inbetriebnahme, Parametrierung und Änderungen an der Sicherheitssteuerung dürfen ausschließlich durch qualifiziertes Fachpersonal mit Kenntnissen in EN ISO 13849-1:2023 und EN ISO 11161 durchgeführt werden. Warnkennzeichnung am Bedienpult: Warnung vor automatischem Anlauf (W018 nach EN ISO 7010:2020). Betriebsanleitung muss Verfahren für Fehlersuche und Inbetriebnahme beschreiben, einschließlich der Reihenfolge, in der Teilmaschinen in Betrieb genommen werden dürfen, und der Prüfschritte zur Verifikation der Schnittstellenverriegelung vor dem ersten Automatikbetrieb.

Risiko nachher: S 5 · W 1 · **RZ 5 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 5 (S 5, W 1) an den Schnittstellen der Teilmaschinen verschiedener Hersteller. Roboter (unvollständige Maschine mit Einbauerklärung), Schweißstromquelle und Absaugung bringen eigene Steuerungen mit, ihre Integration verlangt eine übergeordnete Logik. Nach Stufe 1 laufen alle sicherheitsrelevanten Zustände über eine einzige Sicherheits-SPS ohne parallele Freigabepfade. Nach Stufe 2 ist eine Verriegelungsmatrix aller Betriebsarten und Zustände als UND-Verknüpfung umgesetzt, SF-01 bis SF-05 wirken gesamtanlagenweit, jeder Stopp führt zum koordinierten Stopp aller Teilmaschinen, und die Validierung erfolgt nach EN ISO 13849-2:2012 und EN ISO 11161:2007+A1:2010. Verbleibend ist ein systematischer Fehler in der Spezifikation der Matrix, der bei der Validierung unentdeckt bleibt. Die interne Sicherheit der zugekauften Teilmaschinen liegt beim jeweiligen Hersteller; an den Schnittstellen, für die der Hersteller der Gesamtheit verantwortlich ist, ist keine weitere Maßnahme der Stufe 1 oder 2 erkennbar, die über die zentrale Verriegelung und ihre Validierung hinausgeht. Übergabepunkte der Verantwortung, Inbetriebnahmereihenfolge und Prüfschritte der Schnittstellenverriegelung: Betriebsanleitung Kap. 1.1, 2.6 und 8.3.

Nr. 32 Mechanisch — Risiko vorher: S 5 · W 2 · **RZ 10**

Gefährdung durch Durch- oder Übergreifen am Lichtvorhang am Beschickungsplatz (vorhersehbare Fehlanwendung): Personen greifen seitlich am Lichtvorhang vorbei oder unter dem Lichtvorhang hindurch in den Wendebereich, ohne dass die Schutzfunktion ausgelöst wird; der Wendetisch oder der Roboter kann anlaufen und Hände oder Arme erfassen.

Teilmaschine: Beschickungsplatz (Lichtvorhang-Schnittstelle) · auch in: Einrichten · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Inhärente Möglichkeiten ausgeschöpft: Der Beschickungsplatz erfordert eine dauerhaft offene Zugangsöffnung für den manuellen Werkstückeinlauf. Eine vollständige geometrische Schließung dieser Öffnung durch Konstruktion würde die Funktion der Maschine aufheben. Mindestabstände nach EN ISO 13854:2019 können das seitliche Umgehen eines Lichtvorhangs konstruktiv nicht verhindern, solange die Öffnung für den Bedienzugang bestehen bleiben muss. Eine Kraft- oder Energiebegrenzung am Wendetisch oder Roboter auf ein ungefährliches Niveau (Stufe 1) ist bei den vorliegenden Massen und Drehmomenten technisch nicht realisierbar, ohne die Funktion zu beeinträchtigen.
Stufe 2 · Technisch	1. Schutzfeld und Untergriff-Absicherung: Den Lichtvorhang (Typ 4 nach EN IEC 61496-1:2020, SF-02, PLr e) so anordnen, dass das Schutzfeld die Einlegeöffnung vollständig abdeckt. Verbleibende Öffnungen unter und neben dem Schutzfeld sind mit festen trennenden Schutzeinrichtungen (EN ISO 14120:2015) nach EN ISO 13857:2019 Tabelle 4 geschlossen, sodass kein Unter- oder Umgreifen möglich ist. 2. Seitliche Flankenabsicherung: Beidseitig neben dem Lichtvorhang feste trennende Schutzeinrichtungen (Seitenbleche oder Kanalführungen) nach EN ISO 14120:2015 anbringen, die ein seitliches Vorbeigreifen konstruktiv verhindern. Die Tiefe dieser Flanken ist nach EN ISO 13857:2019 Tabelle 4 (Sicherheitsabstand in Abhängigkeit von der Öffnungsweite) zu bemessen, sodass die Gefahrstelle aus der seitlichen Richtung nicht erreichbar ist. 3. Lichtvorhang-Auslegung: Der Lichtvorhang ist als Typ 4 nach EN IEC 61496-1:2020 auszuwählen und in die Sicherheitsfunktion SF-02 (PLr e) einzubinden. Der Sicherheitsabstand zwischen Lichtvorhang und nächster Gefahrstelle ist nach EN ISO 13855:2024 (Durchgreifen, Auflösung 30 mm für Handerkennung) zu berechnen und einzuhalten. Die Einbindung in die Steuerung erfolgt nach EN ISO 13849-1:2023, PLr e (SF-02).
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Expliziter Hinweis, dass ein seitliches Umgehen oder Untergreifen des Lichtvorhangs verboten ist und die Schutzfunktion SF-02 umgeht. Beschreibung der korrekten Beschickungshandlung (Werkstück von vorn durch den Lichtvorhang einlegen). Hinweis auf die Gefahr durch den Wendetisch und den Roboter bei nicht ausgelöster Schutzfunktion. 2. Warnkennzeichnung (EN ISO 7010:2020): Warnung vor Handverletzungen (W024) beidseitig an den Flankenblechen und am Lichtvorhang-Rahmen anbringen. Verbotszeichen 'Hineinfassen verboten' (P015) an der Zugangsöffnung. 3. Qualifikationsanforderung: Im Einrichtbetrieb (SF-05, PLr d, sicher reduzierte Geschwindigkeit 250 mm/s mit Zustimmeinrichtung) darf nur unterwiesenes Fachpersonal tätig sein, das die Wirkungsweise und die Grenzen des Lichtvorhangs kennt. Diese Anforderung ist in der Betriebsanleitung und in der Unterweisungsdokumentation festzuhalten. 4. PSA: Schutzhandschuhe bieten keinen Schutz gegen Quetsch- und Erfassungsgefahren durch den Wendetisch oder Roboter und sind für diese Gefährdung nicht als Schutzmaßnahme geeignet. Dieser Hinweis ist in der Betriebsanleitung aufzunehmen, um Fehlannahmen zu vermeiden.

Risiko nachher: S 5 · W 1 · **RZ 5 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 5 (S 5, W 1) durch Um- oder Untergreifen des Lichtvorhangs. Die Beschickungsöffnung muss für das Einlegen im Takt von rund 90 Sekunden dauernd offen sein, eine Kraft- oder Energiebegrenzung an Wendetisch und Roboter ist nicht realisierbar (Stufe 1). Nach Stufe 2 deckt ein Lichtvorhang Typ 4 mit 30 mm Auflösung (SF-02, PL e, Kategorie 4) die Öffnung ohne Muting ab, Flanken und Öffnungen unter und neben dem Schutzfeld sind mit festen trennenden Schutzeinrichtungen nach EN ISO 13857:2019 Tabelle 4 verschlossen, und der Sicherheitsabstand ist nach EN ISO 13855:2024 berechnet; der gemessene Nachlaufweg des Wendetisches liegt mit 45 mm unter dem zulässigen Wert von 60 mm. Eine bewegliche trennende Schutzeinrichtung an der Öffnung müsste in jedem Takt öffnen und schließen und brächte eine eigene Quetschstelle an der Schließkante; sie mindert das Risiko gegenüber der umgesetzten Lösung nicht. Verbleibend ist das vorsätzliche Überbrücken, etwa durch Abkleben des Schutzfelds. Das Verbot, die tägliche Prüfung mit dem Prüfstab, die Zeichen W024 und P015 an der Öffnung und der Hinweis, dass Handschuhe nicht vor Quetschen schützen, stehen in der Betriebsanleitung (Kap. 2.2, 2.4, 9.1 und 9.4).

Nr. 34 Thermisch

Risiko vorher: S 3 · W 3 · **RZ 9**

Brandgefahr in der Schweißrauchabsaugung (Filterbrand): Vom Prozess eingesaugte Funken und glühende Partikel können sich in der Filterpatrone einlagern und einen Schwel- oder Filterbrand auslösen, auch zeitverzögert nach Schichtende. Brandrauch kann sich über das Rohrleitungssystem und die Luftrückführung in der Halle ausbreiten.

Teilmaschine: Schweißrauchabsaugung (Filtereinheit) · auch in: Wartung

Stufe 1 · Inhärent	Funkenreduzierung an der Entstehungsquelle durch konstruktive Auslegung der Schweißparameter und der Absauggeometrie: Erfassungshaube über dem Schweißbereich und Rohrführung so auslegen, dass eingesaugte Funken abgekühlt sind, bevor sie die Filterpatrone erreichen. Zusätzlich Vorfunkenabscheider (Prallblech-/Zyklonabscheider) als integriertes Bauteil unmittelbar vor der Filterpatrone vorsehen, der grobe Partikel und Funken durch Massenträgheit abscheidet, bevor sie auf das Filtermedium treffen. Dieses Bauteil ist konstruktiver Bestandteil der Absauganlage, keine nachgeschaltete Schutzeinrichtung. Auslegung nach EN ISO 21904-1:2020 (Anforderungen an Schweißrauchabsauganlagen).
Stufe 2 · Technisch	Verbleibendes Restrisiko eines Filterbrands wird durch folgende technische Schutzmaßnahmen begrenzt: 1. Thermische Überwachung der Filterpatrone: Temperatursensor (Thermostat oder Thermoelement) im Filtergehäuse mit Auslöseschwelle; bei Überschreitung automatische Abschaltung des Absauggebläses und Schließen einer motorischen Absperrklappe im Rohrleitungssystem, um Sauerstoffzufuhr zu unterbinden. Einbindung in die Maschinensteuerung als betriebliche Verriegelung ohne PL-Anforderung nach EN ISO 13849-1, eine Risikominderung wird dafür nicht angerechnet; die Zelle stoppt kontrolliert, ein Wiederanlauf ist erst nach Beseitigung der Störung möglich. 2. Löscheinrichtung am Filtergehäuse: mindestens eine verschließbare Löschmittel-Einbringöffnung (Löschlanze) am Gehäuse; eine automatische Löscheinrichtung gehört nicht zum Lieferumfang und wird bei Bedarf vom Betreiber nach seinem Brandschutzkonzept ergänzt. 3. Motorische Absperrklappe im Luftrückführungskanal zur Halle: Bei Brandalarm automatisches Schließen, um Rauchausbreitung in die Halle zu verhindern. Einbindung in die Maschinensteuerung als betriebliche Verriegelung ohne PL-Anforderung. 4. Rauch- und CO-Melder im Filtergehäuse und im Abluftkanal als redundante Detektionsebene, Alarmweiterleitung an eine ständig besetzte Stelle oder an eine Brandmeldezentrale (Betreiberverantwortung, Abstimmung mit Brandschutzkonzept des Gebäudes). 5. Nachlaufzeit des Absauggebläses nach Schweißende: Steuerungsseitig mindestens 10 Minuten Nachlauf programmieren, damit noch im Rohr befindliche Glutpartikel vollständig in den Abscheider transportiert und abgekühlt werden, bevor das System stillgesetzt wird. Auslegung der Nachlaufzeit anhand der Rohrleitungslänge und des Volumenstroms.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung (gemäß (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): - Hinweis auf Brandgefahr durch Funken und Glutpartikel im Filtersystem; Beschreibung des Schadensmechanismus einschließlich zeitverzögerter Brandentstehung. - Vorgeschriebene Nachlaufzeit des Absauggebläses nach Schweißende (Mindestwert aus der Auslegung) als verbindliche Betriebsanweisung. - Wartungsintervalle für Filterpatronen, Vorfunkenabscheider und Temperatursensoren; Angabe, ab welchem Beladungsgrad die Filterpatrone zu wechseln ist (Herstellervorgabe EN ISO 21904-1:2020). - Verbot, die Absauganlage bei defektem Temperatursensor oder unwirksamer Absperrklappe zu betreiben. - Verfahren bei Brandalarm: Anlage sofort verlassen, Feuerwehr alarmieren, keine Eigenversuche mit dem Filterbehälter (Öffnen kann Glutnest anfachen). - Hinweis, dass nach Schichtende eine Sichtkontrolle des Filtergehäuses (Temperatur, Geruch) durchzuführen ist, bevor das Gebäude verlassen wird. Warnkennzeichnung an der Absauganlage: - Allgemeines Warnzeichen W001 nach EN ISO 7010:2020 mit Zusatztext 'Brandgefahr durch Funken im Filter' an Filtergehäuse und Wartungsöffnung. - Textschild 'Bei Brandalarm nicht öffnen' an der Wartungsklappe des Filtergehäuses. Qualifikation und Unterweisung: - Bedienpersonal und Wartungspersonal sind vor Aufnahme der Tätigkeit und danach mindestens jährlich über die Brandgefahr, die Funktion der Schutzeinrichtungen und das Verhalten im Brandfall zu unterweisen (Betreiberpflicht). - Wartungsarbeiten am Filtersystem nur durch unterwiesenes Personal mit geeigneter PSA (Schutzhandschuhe, ggf. Atemschutz bei Filterwechsel wegen Schweißrauchbelastung).

Risiko nachher: S 3 · W 1 · **RZ 3 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 35 Ergonomisch

Risiko vorher: S 3 · W 5 · **RZ 15**

Gefährdung durch Zwangshaltungen und repetitive Bewegungen beim Einlegen und Entnehmen von Werkstücken: Der Bediener führt im Takt von rund 90 Sekunden wiederholt Greif-, Hebe- und Spannbewegungen aus; ungünstige Körperhaltungen (Bücken, Strecken) bei unterschiedlichen Werkstückgeometrien belasten Wirbelsäule, Schultern und Handgelenke.

Teilmaschine: Beschickungsplatz

Stufe 1 · Inhärent	Höhenverstellbarer Beschickungsplatz (höhenverstellbares Standpodest für den Bediener), ausgelegt auf den Körpergrößenbereich P5 bis P95 der Bedienpopulation nach EN ISO 14738:2008 und EN 1005-4 (Arbeitshöhe Montage/Handhabung: ca. 900 bis 1100 mm über Standfläche, individuell einstellbar). Werkstückträger oder Spannvorrichtung so konstruieren, dass alle Greifpunkte innerhalb der empfohlenen Greifzone (Ellbogenhöhe ±150 mm, horizontale Reichweite max. 400 mm vor dem Körper) liegen, ohne Bücken oder Strecken. Werkstückgewicht und Handhabungsfrequenz sind mit der Referenzmasse nach EN 1005-2:2003+A1:2008 bewertet: Für rund 40 Hübe je Stunde gilt als Herstellerfestlegung eine Schwelle von 15 kg für die manuelle Handhabung; schwerere Werkstücke bis 40 kg werden mit einer Hebehilfe eingelegt. Griffgeometrie der Spannvorrichtung auf neutrale Handgelenkstellung auslegen (kein Ulnar-/Radialabweichen, kein Pronationszwang) gemäß EN ISO 12100:2010 Abschnitt 6.2.8.
Stufe 2 · Technisch	Für Werkstücke über 15 kg ist am Beschickungsplatz eine Hebehilfe (Balancer, Vakuumheber oder Schwenkkran) mit einer Tragfähigkeit von mindestens 40 kg zu benutzen. Die Hebehilfe ist bauseitig und gehört nicht zum Lieferumfang; der Freiraum für ihren Einsatz ist am Beschickungsplatz vorgesehen. Die Maschinensteuerung gibt keinen Zwangstakt vor: Der nächste Zyklus startet erst, wenn der Bediener den Taster Zyklusstart betätigt, sodass Mikropausen möglich sind. Beleuchtung am Beschickungsplatz auf mindestens 500 lx (Sehaufgabe: Werkstückpositionierung) sicherstellen, um Fehlhaltungen durch schlechte Sichtverhältnisse zu vermeiden.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Angabe der Werkstückmasse(n) und der Bewertung der Lastenhandhabung nach EN 1005-2:2003+A1:2008 und der Körperhaltungen nach EN 1005-4; Hinweis auf die korrekte Einstellung der Arbeitshöhe mit Einstellanleitung. Ergonomische Unterweisung der Bediener: korrekte Hebetechnik, Nutzung der Hebehilfe, Erkennen von Überlastungssignalen. Betreiberpflicht auf arbeitsmedizinische Vorsorge nach ArbMedVV (Angebotsvorsorge bei Tätigkeiten mit schwerer körperlicher Arbeit) in der Betriebsanleitung benennen. Warnkennzeichnung am Beschickungsplatz: Textschild 'Manuelle Handhabung höchstens 15 kg, darüber Hebehilfe benutzen'. Qualifikationsanforderung: Bediener müssen in der ergonomisch korrekten Bedienung und in der Einstellung des Standpodests unterwiesen sein.

Risiko nachher: S 3 · W 2 · **RZ 6 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 6 (S 3, W 2) durch wiederholte Greif-, Hebe- und Spannbewegungen. Das manuelle Einlegen und Entnehmen im Takt von rund 90 Sekunden ist die bestimmungsgemäße Tätigkeit. Nach Stufe 1 ist die Arbeitshöhe über das Standpodest für die Körpergrößen P5 bis P95 einstellbar, die Greifpunkte liegen in Ellbogenhöhe, die Griffe sind auf neutrale Handgelenkstellung ausgelegt, und die Handhabung von Hand ist auf 15 kg begrenzt. Nach Stufe 2 steht für schwerere Teile die Hebehilfe zur Verfügung, die Steuerung gibt keinen Zwangstakt vor (Start durch den Bediener, Mikropausen möglich), und der Platz ist mit 500 lx beleuchtet. Die verbleibende Belastung hängt von Schichtdauer, Pausen und Tätigkeitswechsel ab, also von der Arbeitsorganisation des Betreibers. Eine weitere Maßnahme der Stufe 1 oder 2 würde erst mit einer automatischen Beschickung greifen, die das Konzept der Maschine aufhebt. Einstellung des Podests, ergonomische Unterweisung und der Hinweis auf die arbeitsmedizinische Vorsorge stehen in der Benutzerinformation (Betriebsanleitung Kap. 2.6, 4.2 und 9.4).

Nr. 36 Korrumpierung/Security — Risiko vorher: S 4 · W 3 · **RZ 12**

Manipulation sicherheitsrelevanter Parameter über das Netzwerk: Unautorisierter Schreibzugriff über Feldbus, OPC UA oder MES-Anbindung verändert sicherheitsrelevante Parameter (z. B. Überwachung der Wartungstür, Parameter des Lichtvorhangs, Geschwindigkeitsgrenze im Einrichtbetrieb). Die Schutzfunktion wird unwirksam oder die Maschine arbeitet außerhalb der in der Risikobeurteilung festgelegten Grenzen. [MVO (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.1.9 Abs. 1, 1.1.9 Abs. 3, 1.2.1 lit. a, 1.2.1 lit. d]

Teilmaschine: Steuerung / Netzwerk · auch in: Einrichten

Stufe 1 · Inhärent	Sicherheitsrelevante Parameter nur in der Sicherheitssteuerung halten und über das Prozessnetz grundsätzlich nicht beschreibbar machen (Schreibzugriff physisch oder architektonisch getrennt, Safety-Netz von der Standard-Kommunikation segmentiert). Grenzwerte, die aus der Risikobeurteilung stammen, als Konstanten im Sicherheitsprogramm hinterlegen, nicht als Rezeptdaten.
Stufe 2 · Technisch	Authentifizierung und Autorisierung für jeden schreibenden Zugriff (Rollen, keine Standardpasswörter), Integritätsprüfung sicherheitsrelevanter Konfiguration (Prüfsumme/CRC mit Freigabeverfahren), Plausibilitätsprüfung eingehender Werte gegen die zulässigen Grenzen, Protokollierung jeder Parameteränderung mit Zeitstempel und Benutzer. Nachweis-Referenz Weg B: IEC 62443-3-3 SR 1.1, SR 2.1, SR 3.4, SR 3.5, SR 5.1, SR 2.8.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung: Netzwerkanforderungen an den Betreiber (Segmentierung, Firewall, keine direkte Internetanbindung der Steuerung), Liste der sicherheitsrelevanten Parameter mit Hinweis, dass Änderungen nur durch autorisiertes Personal und mit anschließender Funktionsprüfung der Sicherheitsfunktionen zulässig sind.

Risiko nachher: S 4 · W 1 · **RZ 4 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 37 Korrumpierung/Security — Risiko vorher: S 4 · W 3 · **RZ 12**

Unbeabsichtigte Korrumpierung durch Fehlkonfiguration oder Bedienfehler: Falsche Rezept- oder Parameterdatei geladen, Rollen und Passwörter nicht eingerichtet (Standardpasswort aktiv), Konfiguration nach Störung unvollständig wiederhergestellt. Sicherheitsrelevante Einstellungen weichen unbemerkt von der freigegebenen Konfiguration ab. [MVO (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.1.9 Abs. 3, 1.2.1 lit. b, 1.2.1 lit. d, 1.2.1 lit. e]

Teilmaschine: HMI / Parametrierung · auch in: Einrichten, Inbetriebnahme

Stufe 1 · Inhärent	Sicherheitsrelevante Einstellungen von Prozessrezepten trennen, sodass ein Rezeptwechsel sie nicht verändern kann; Wertebereiche in der Sicherheitssteuerung hart begrenzen (Grenzen aus der Risikobeurteilung, Anhang III Nr. 1.2.1 lit. d).
Stufe 2 · Technisch	Erzwungener Passwortwechsel bei Inbetriebnahme, Rollenmodell mit Vier-Augen-Freigabe für sicherheitsrelevante Änderungen, Vergleich der aktiven Konfiguration mit der freigegebenen Referenz (Prüfsumme) beim Hochlauf mit Anzeige der Abweichung, Änderungsprotokoll. Nachweis-Referenz Weg B: IEC 62443-3-3 SR 1.5, SR 2.1, SR 3.4, SR 7.6.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung: Inbetriebnahme-Checkliste (Passwörter, Rollen, Referenzkonfiguration sichern), Beschreibung der als sicherheitsrelevant benannten Daten, Anweisung zur Funktionsprüfung nach Konfigurationsänderungen.

Risiko nachher: S 4 · W 1 · **RZ 4 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 38 Korrumpierung/Security — Risiko vorher: S 4 · W 3 · **RZ 12**

Ausfall oder Störung der Kommunikationsnetzverbindung: Netzwerkausfall, Überlast (Broadcast-Sturm, Denial of Service), Kabelbruch oder Wechsel des Netzsegments unterbricht die Kommunikation zwischen Steuerungskomponenten oder zur sicherheitsgerichteten Kommunikation (PROFIsafe). Bei Wiederherstellung kommt es zu unerwartetem Anlauf oder zur unkontrollierten Übernahme veralteter Sollwerte. [MVO (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.2.6, 1.2.1 lit. a, 1.2.3]

Teilmaschine: Kommunikationsnetz · auch in: Inbetriebnahme

Stufe 1 · Inhärent	Sicherheitsfunktionen so auslegen, dass Kommunikationsverlust in den sicheren Zustand führt (Watchdog, Zeitüberwachung der sicheren Telegramme) und ein Wiederanlauf nur nach bewusster Quittierung erfolgt (Anhang III Nr. 1.2.3). Sicherheitsgerichtete Kommunikation von der Standardkommunikation entkoppeln.
Stufe 2 · Technisch	Netzsegmentierung und Lastbegrenzung (Rate-Limiting, Sturm-Schutz an Switches), Überwachung der Netzqualität mit Diagnosemeldung, definiertes Verhalten bei Verbindungsverlust in allen Betriebsarten getestet und dokumentiert. Nachweis-Referenz Weg B: IEC 62443-3-3 SR 7.1, SR 7.2, SR 5.1, SR 5.2.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung: Anforderungen an das Netz des Betreibers (Segmentierung, zulässige Teilnehmer, keine fremden Geräte im Safety-Segment), Beschreibung des Verhaltens bei Kommunikationsausfall und der Wiederanlaufprozedur.

Risiko nachher: S 4 · W 1 · **RZ 4 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 39 Korrumpierung/Security — Risiko vorher: S 4 · W 2 · **RZ 8**

Anschluss fremder Einrichtungen erzeugt eine gefährliche Situation: Eine angeschlossene Fremdeinrichtung (übergeordnete Liniensteuerung oder MES des Betreibers, Fernwartungs-Gateway, betreiberseitige Signale der Absaugung oder der Gasversorgung) sendet unerwartete Signale, schreibt auf Steuerungsvariablen oder belegt Ressourcen. Die Maschine startet, ändert die Betriebsart oder ignoriert Stopp-Bedingungen, weil Funktionen der Fremdeinrichtung nicht in der Risikobeurteilung berücksichtigt wurden. [MVO (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.1.9 Abs. 1, 1.2.1 lit. h, 1.2.4.4]

Teilmaschine: Schnittstellen zu Fremdeinrichtungen · auch in: Montage, Inbetriebnahme

Stufe 1 · Inhärent	Schnittstellen zu Fremdeinrichtungen als definierte Signalschnittstellen mit festgelegter Semantik ausführen (keine Freigabe von Bewegungen allein durch Fremdsignale), sicherheitsrelevante Signale nur über sichere Ein-/Ausgänge, Stopp- und Not-Halt-Kette der Fremdeinrichtung eindeutig zugeordnet.
Stufe 2 · Technisch	Whitelist zugelassener Teilnehmer und Variablen, Plausibilitätsprüfung eingehender Befehle, Verriegelung von Betriebsartenwechseln über Fremdschnittstellen, Diagnose fehlender oder unbekannter Teilnehmer. Nachweis-Referenz Weg B: IEC 62443-3-3 SR 1.2, SR 2.1, SR 3.5, SR 5.2, SR 7.7.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung und Schnittstellenbeschreibung für den Integrator (Signale, Zustände, Anforderungen an die Gesamtheit nach Anhang III Nr. 1.2.4.4), Hinweis, dass der Anschluss nicht freigegebener Einrichtungen eine erneute Risikobeurteilung erfordert.

Risiko nachher: S 4 · W 1 · **RZ 4 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 40 Korrumpierung/Security — Risiko vorher: S 3 · W 3 · **RZ 9**

Sicherheitsrelevante Software nicht identifizierbar oder gekennzeichnet: Versionsstand und Prüfsumme der Sicherheitssoftware sind an der Maschine nicht abrufbar, sicherheitsrelevante Software und Daten sind nicht als solche benannt. Nach einem Eingriff, Update oder Gerätetausch lässt sich nicht feststellen, ob die Maschine noch im geprüften Zustand ist; ein Betrieb mit nicht freigegebener Software bleibt unerkannt. [MVO (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.1.9 Abs. 3, 1.1.9 Abs. 4, 1.7.4.2]

Teilmaschine: Software / Dokumentation · auch in: Inbetriebnahme, Wartung

Stufe 1 · Inhärent	Sicherheitsrelevante Software als abgegrenzte Einheit mit eigener Versionsnummer und Prüfsumme gestalten (getrennt von Standard- und Visualisierungssoftware), sodass eine eindeutige Identifikation technisch möglich ist.
Stufe 2 · Technisch	Infoseite am HMI mit Version und Prüfsumme aller sicherheitsrelevanten Softwarekomponenten (jederzeit ohne Anmeldung leicht zugänglich, Anhang III Nr. 1.1.9 Abs. 4), Kennzeichnung sicherheitsrelevanter Daten in Dateinamen, Menüs und Exporten, Abgleich mit dem Abnahmeprotokoll beim Hochlauf. Nachweis-Referenz Weg B: IEC 62443-3-3 SR 3.4.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung: Verzeichnis der sicherheitsrelevanten Software und Daten mit Versionen (Anhang III Nr. 1.7.4.2), Anleitung zum Abruf der Versionsinformation, Hinweis auf die Bedeutung für die Konformität und auf die Meldepflicht bei Abweichungen.

Risiko nachher: S 3 · W 1 · **RZ 3 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 41 Korrumpierung/Security — Risiko vorher: S 3 · W 3 · **RZ 9**

Fehlende oder unvollständige Nachweise über Eingriffe (Protokollierung): Eingriffe in sicherheitsrelevante Hardware, Software oder Konfiguration werden nicht oder ohne Zeitstempel und Urheber aufgezeichnet, Protokolle überschreiben sich nach kurzer Zeit oder sind manipulierbar. Unrechtmäßige Eingriffe bleiben unentdeckt, das Rückverfolgungsprotokoll ist auf behördliche Anforderung nicht verfügbar. [MVO (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.1.9 Abs. 2, 1.1.9 Abs. 5, 1.2.1 lit. f]

Teilmaschine: Steuerung / Protokollierung · auch in: Wartung, Fehlersuche

Stufe 1 · Inhärent	Ereignisprotokollierung als feste Funktion der Steuerung vorsehen (nicht abschaltbar durch Bediener), mit ausreichend dimensioniertem, nichtflüchtigem Speicher.
Stufe 2 · Technisch	Protokollierung sicherheitsrelevanter Ereignisse mit Zeitstempel, Benutzer und Änderungsinhalt (Anmeldung, Parameter- und Konfigurationsänderung, Software-Upload mit Version und Prüfsumme, Öffnen sicherheitsrelevanter Baugruppen, Fernzugriffssitzungen), Schutz gegen Löschen und Verändern, Export in lesbarer Form, Aufbewahrung der Uploads und zugehörigen Daten bis fünf Jahre nach dem Hochladen (Anhang III Nr. 1.2.1 lit. f). Nachweis-Referenz Weg B: IEC 62443-3-3 SR 2.8, SR 2.9, SR 2.11, SR 3.9, SR 6.1.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung: Zugriff auf und Export der Protokolle, Aufbewahrungspflichten des Betreibers bei Weitergabe der Maschine, Vorgehen bei behördlicher Anforderung, Hinweis auf Speicherkapazität und Zeitsynchronisation.

Risiko nachher: S 3 · W 1 · **RZ 3 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 42 Korrumpierung/Security — Risiko vorher: S 3 · W 3 · **RZ 9**

Verfälschte Produktions- oder Rezeptdaten aus MES oder Cloud: Aus MES, ERP oder Cloud-Plattform übernommene Auftrags- und Rezeptdaten (z. B. Schweißparameter, Programmnummer oder Werkstückzuordnung) sind verfälscht, veraltet oder für die falsche Maschine bestimmt. Die Maschine arbeitet mit Vorgaben außerhalb der sicheren Grenzen oder mit falschem Werkstück- und Programmbezug. [MVO (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.1.9 Abs. 3, 1.2.1 lit. b, 1.2.1 lit. d]

Teilmaschine: Datenanbindung MES / Cloud

Stufe 1 · Inhärent	Sicherheitsgrenzen unabhängig von übernommenen Rezeptdaten in der Sicherheitssteuerung begrenzen; Rezeptdaten steuern nur Prozessparameter innerhalb dieser Grenzen (Anhang III Nr. 1.2.1 lit. d).
Stufe 2 · Technisch	Integritäts- und Herkunftsprüfung übernommener Datensätze (Signatur oder Prüfsumme, Maschinen- und Werkzeugzuordnung), Plausibilitätsprüfung gegen zulässige Bereiche mit Ablehnung und Meldung, Freigabeschritt durch berechtigtes Personal bei neuen Rezepten, Protokoll der übernommenen Datensätze. Nachweis-Referenz Weg B: IEC 62443-3-3 SR 3.1, SR 3.4, SR 3.5, SR 1.2.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung: Verantwortung des Betreibers für die Datenqualität, Beschreibung der Prüfungen und Meldungen, Anweisung bei abgelehnten Datensätzen.

Risiko nachher: S 3 · W 1 · **RZ 3 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 44 Korrumpierung/Security — Risiko vorher: S 4 · W 3 · **RZ 12**

Unautorisierter oder fehlerhafter Fernzugriff über das Fernwartungs-Gateway: Über die IPsec-VPN-Verbindung des Fernwartungs-Gateways greift eine unbefugte Person mit ausgespähten Zugangsdaten oder ein berechtigter Techniker zur falschen Zeit in die Zellensteuerung ein: Programm- oder Parameteränderung, Quittieren von Störungen oder Starten von Bewegungen, während sich Personen am Beschickungsplatz oder im Wartungsgang befinden. [MVO (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.1.9 Abs. 1, 1.1.9 Abs. 3, 1.2.1 lit. a, 1.2.1 lit. d]

Teilmaschine: Fernwartungs-Gateway / Zellensteuerung · auch in: Wartung, Fehlersuche

Stufe 1 · Inhärent	Fernzugriff konstruktiv ohne Möglichkeit, gefahrbringende Bewegungen auszulösen oder Sicherheitsfunktionen zu überbrücken: Das Fernwartungs-Gateway erreicht nur die Standardsteuerung und das HMI-Panel, die Sicherheits-SPS hat keinen Fernzugriffspfad. Bewegungsbefehle und das Quittieren von Störungen sind nur von Bedienungsplätzen mit Sicht auf den Gefahrenbereich möglich (Anhang III Nr. 1.2.2).
Stufe 2 · Technisch	Fernwartung im Auslieferungszustand gesperrt; Freischaltung nur vor Ort am Bedienpult mit dem Schlüsselschalter, automatisches Sitzungsende nach vier Stunden, Anzeige „Fernwartung aktiv“ am HMI-Panel; IPsec-VPN mit Mehrfaktor-Anmeldung und persönlichen Konten für Fernwartende; Protokollierung jeder Sitzung mit Benutzer, Zeit und ausgeführten Aktionen, Aufbewahrung nach Anhang III Nr. 1.2.1 lit. f. Nachweis-Referenz Weg B: IEC 62443-3-3 SR 1.1, SR 1.13, SR 2.1, SR 2.8, SR 3.8.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung (Kapitel 13.3): Verfahren zur Freigabe und Beendigung von Fernwartungssitzungen, Pflicht zur Anwesenheit einer verantwortlichen Person vor Ort, Verhalten bei Verdacht auf unbefugten Zugriff (Sitzung am Schlüsselschalter beenden, Hersteller informieren), Kontakt für Sicherheitsmeldungen des Herstellers.

Risiko nachher: S 4 · W 1 · **RZ 4 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Wartung (18 Gefährdungen)

Nr. 6 Mechanisch — Risiko vorher: S 5 · W 3 · **RZ 15**

Quetsch- und Stoßgefahr durch unerwarteten Wiederanlauf des Wendetischs oder des Roboters nach Not-Halt oder Störungsbeseitigung: Fehlt eine koordinierte Wiederanlaufsperre (EN ISO 11161), können einzelne Teilmaschinen selbsttätig anlaufen, während sich Personen noch im Gefahrenbereich befinden.

Teilmaschine: Gesamtanlage (Wiederanlauf-Koordination) · auch in: Fehlersuche, Einrichten · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Inhärente Möglichkeiten ausgeschöpft: Der Wiederanlauf nach Not-Halt oder Störungsbeseitigung ist ein steuerungstechnisches Ereignis, das vom Funktionsprinzip der Gesamtanlage (koordinierter Automatikbetrieb von Roboter und Wendetisch) nicht konstruktiv eliminiert werden kann. Eine geometrische oder energetische Maßnahme, die den Wiederanlauf selbst verhindert, ohne die Maschinenfunktion aufzuheben, existiert nicht. Die Absicherung muss daher vollständig über Stufe 2 (Steuerung und Verriegelung) erfolgen.
Stufe 2 · Technisch	1. Koordinierter Wiederanlaufschutz nach EN ISO 11161:2007+A1:2010: Die Gesamtanlagensteuerung darf den Wiederanlauf einer Teilmaschine (Wendetisch, Roboter) erst freigeben, nachdem ein bewusster, manueller Wiederanlaufbefehl von einem sicheren Standort außerhalb aller Gefahrenbereiche ausgelöst wurde. Der Wiederanlaufbefehl darf nicht automatisch nach Quittierung des Not-Halts oder nach Störungsbeseitigung erfolgen. 2. Sicherheitsfunktion SF-01 (Sicheres Stillsetzen Stopp-Kategorie 1 beim Öffnen der Wartungstür, PLr d nach EN ISO 13849-1:2023) und SF-03 (Not-Halt der Gesamtanlage, Stopp-Kategorie 1, PLr d nach EN ISO 13849-1:2023) stellen sicher, dass alle Antriebe sicher stillgesetzt werden. Die Wiederanlaufsperre wird als Bestandteil der Sicherheitsfunktionen SF-01, SF-03 und SF-04 realisiert und mit deren jeweiligem PLr ausgeführt (SF-04: PLr e; SF-01 und SF-03: PLr d nach EN ISO 13849-1:2023). 3. Sicherheitsfunktion SF-04 (Freigabe der 180-Grad-Schwenkbewegung des Wendetischs nur bei freiem Schwenkbereich, PLr e nach EN ISO 13849-1:2023): Der Wendetisch darf seine Schwenkbewegung nur ausführen, wenn der Schwenkbereich durch den Lichtvorhang Typ 4 nach EN IEC 61496-1:2020 (angeordnet nach EN ISO 13855:2024) als frei erkannt wurde. Diese Funktion bleibt auch nach Wiederanlauf aktiv und verhindert das Anlaufen bei Personenpräsenz. 4. Sicherheitsfunktion SF-05 (Sicher reduzierte Geschwindigkeit 250 mm/s mit Zustimmeinrichtung im Einrichtbetrieb, PLr d nach EN ISO 13849-1:2023): Im Einrichtbetrieb ist der Wiederanlauf ausschließlich über eine Zustimmeinrichtung (3-stufig nach EN ISO 10218-2:2025 Abschnitt 5.7.7) freizugeben, sodass ein unerwarteter Wiederanlauf mit voller Geschwindigkeit ausgeschlossen ist. 5. Energielosschaltung und Energiefreisetzung nach EN ISO 14118:2018: Vor Betreten des Gefahrenbereichs zur Fehlersuche oder Wartung ist die Energiezufuhr aller relevanten Antriebe (elektrisch, pneumatisch nach EN ISO 4414:2010) durch ein abschließbares Trenngerät zu unterbrechen und gegen unbeabsichtigtes Einschalten zu sichern (Lockout/Tagout). Restenergie (gespeicherte pneumatische Energie) ist vor dem Eingriff abzubauen; der Wendetisch ist in Endlage formschlüssig zu arretieren. 6. Zuhaltung der Wartungstür nach EN ISO 14119:2025 mit Fluchtentriegelung: Die Zuhaltung hält die Wartungstür geschlossen, solange gefährliche Bewegungen nicht sicher stillgesetzt sind (Stopp-Kategorie 1 abgeschlossen). Die Einbindung erfolgt im Rahmen von SF-01 (PLr d).
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Beschreibung der Wiederanlaufreihenfolge nach Not-Halt und nach Störungsbeseitigung; ausdrücklicher Hinweis, dass ein Wiederanlauf ausschließlich nach vollständigem Verlassen aller Gefahrenbereiche und manuellem Quittierbefehl von außen zulässig ist. Beschreibung der Lockout/Tagout-Prozedur nach EN ISO 14118:2018 für alle Wartungs- und Fehlersuchtätigkeiten. 2. Warnkennzeichnung an der Wartungstür und an den Quittiereinheiten: Warnung vor unerwartetem Wiederanlauf (Warnzeichen W018 'Warnung vor automatischem Anlauf' nach EN ISO 7010:2020), Hinweis auf Pflicht zur Quittierung von außen. 3. Qualifikationsanforderung: Einricht- und Wartungstätigkeiten dürfen nur durch unterwiesenes Fachpersonal durchgeführt werden, das in der Wiederanlaufprozedur und im Lockout/Tagout-Verfahren geschult ist (EN ISO 10218-2:2025 Abschnitt 7.5.12). 4. PSA-Angabe: Beim Betreten des Gefahrenbereichs zur Fehlersuche oder Wartung ist Sicherheitsschuhwerk (S3 nach EN ISO 20345) zu tragen; weitere PSA nach betrieblicher Gefährdungsbeurteilung des Betreibers.

Risiko nachher: S 5 · W 1 · **RZ 5 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 5 (S 5, W 1) durch unerwarteten Wiederanlauf. Der Wiederanlauf ist ein Steuerungsereignis des koordinierten Automatikbetriebs von Roboter und Wendetisch; eine konstruktive Maßnahme, die ihn verhindert, ohne die Funktion der Zelle aufzuheben, gibt es nicht (Stufe 1). Nach Stufe 2 gibt die Gesamtsteuerung den Wiederanlauf nach EN ISO 11161:2007+A1:2010 nur auf einen bewussten Befehl vom Bedienpult außerhalb der Gefahrenbereiche frei, die Wiederanlaufsperre ist Teil von SF-01, SF-03 (PL d) und SF-04 (PL e), die Schwenkfreigabe prüft den Schwenkbereich auch nach dem Wiederanlauf, und die Sperrvorrichtung für persönliche Vorhängeschlösser verhindert das Schließen der Wartungstür, solange eine Person in der Zelle ist. Für Fehlersuche und Wartung stehen der abschließbare Hauptschalter und das abschließbare Druckluftventil mit Entlüftung nach EN ISO 14118:2018 bereit. Verbleibend ist ein Anlauf, wenn eine Person weder ihr Schloss einhängt noch freischaltet und zugleich die Wiederanlaufsperre versagt. Eine technische Maßnahme, die das Freischalten durch die Person ersetzt, ist nach dem Stand der Technik nicht verfügbar. Wiederanlaufreihenfolge und Freischaltverfahren beschreibt die Betriebsanleitung (Kap. 9.5 und 10.4).

Nr. 8 Mechanisch — Risiko vorher: S 3 · W 4 · **RZ 12**

Schnitt- und Stichgefahr durch den Schweißdraht (Massivdraht 1,0 bis 1,2 mm) am Schweißbrenner: Der aus dem Brenner herausragende Draht wirkt wie eine Nadel; beim Einrichten, Drahteinlegen oder Brennerreinigung können Hände und Finger gestochen oder geschnitten werden.

Teilmaschine: Schweißbrenner / Drahtvorschub · auch in: Einrichten, Reinigung · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Automatischer Drahtrückzug nach Schweißende: Die Drahtvorschubsteuerung zieht den Draht nach jedem Schweißzyklus automatisch um einen definierten Betrag (5 bis 10 mm) in den Brenner zurück, sodass die scharfe Drahtspitze im Kontaktrohr versenkt ist und nicht mehr frei herausragt. Damit wird die Gefahrstelle (freistehende Drahtspitze) für die Lebensphasen Einrichten und Reinigung konstruktiv minimiert. Zusätzlich: Auswahl eines Drahtvorschubsystems, das im Tipp-Betrieb (Einrichten) nur bei dauerhaft betätigter Taste fördert (Totmannprinzip), sodass der Draht nicht unkontrolliert vorgeschoben wird.
Stufe 2 · Technisch	1. Mechanische Drahtlängenbegrenzung: Am Brennerhals wird ein einstellbarer Drahtlängenanschlag (Brennerschutzkappe mit definierter Öffnung) vorgesehen, der den maximal herausragenden Draht auf das für den Prozess notwendige Mindestmaß begrenzt. 2. Sperre des automatischen Drahtvorschubs: Der automatische Drahtvorschub ist gesperrt, sobald die Wartungstür geöffnet ist; bei geöffneter Tür lässt sich der Draht nur im Tippbetrieb mit reduzierter Einfädelgeschwindigkeit fördern. 3. Tippbetrieb des Drahtvorschubs: Der Tippbetrieb mit reduzierter Einfädelgeschwindigkeit ist eine Funktion der Stromquelle, keine Sicherheitsfunktion; er ist so ausgeführt, dass ein unbeabsichtigtes schnelles Vorschießen des Drahtes verhindert wird. 4. Kennzeichnung der Gefahrstelle am Brenner und Drahtvorschub mit Warnzeichen W022 'Warnung vor spitzem Gegenstand' nach EN ISO 7010:2020.
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Expliziter Hinweis, dass der Schweißdraht auch im Stillstand eine scharfe, stichfähige Spitze aufweist. Beschreibung der sicheren Vorgehensweise beim Drahteinlegen (Draht nur im Tippbetrieb mit reduzierter Einfädelgeschwindigkeit fördern, Drahtende mit Seitenschneider sauber abschneiden, niemals mit bloßer Hand tasten). 2. Warnkennzeichnung am Brennerhalter und am Drahtvorschubgerät: Warnzeichen W022 'Warnung vor spitzem Gegenstand' nach EN ISO 7010:2020. 3. Qualifikationsanforderung: Tätigkeiten am Brenner und Drahtvorschub (Drahteinlegen, Reinigung) dürfen nur durch unterwiesenes Fachpersonal durchgeführt werden; Anforderung in der Betriebsanleitung dokumentieren. 4. PSA-Angabe: Beim Drahteinlegen und bei der Brennerreinigung sind schnittfeste Schutzhandschuhe (nach EN 388, Durchstichfestigkeit mindestens Leistungsstufe 2) zu tragen; Angabe in der Betriebsanleitung und am Aushang am Arbeitsplatz. 5. Hinweis auf sicheres Abschneiden der Drahtspitze: Vor jeder manuellen Tätigkeit am Brenner ist die Drahtspitze mit einem geeigneten Seitenschneider sauber und gratfrei abzuschneiden; Werkzeug ist am Arbeitsplatz bereitzustellen.

Risiko nachher: S 3 · W 2 · **RZ 6 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 6 (S 3, W 2) durch die Drahtspitze. Der Draht muss für den Lichtbogen aus dem Kontaktrohr herausragen. Der automatische Rückzug nach jedem Zyklus und der Tippbetrieb nach dem Totmannprinzip (Stufe 1), die Längenbegrenzung durch die Brennerschutzkappe, die Sperre des automatischen Vorschubs bei geöffneter Wartungstür und der Drahtabschneider der Brennerreinigungsstation (Stufe 2) begrenzen die frei liegende Drahtlänge auf das Prozessmaß. Das Einfädeln beim Drahtwechsel und die Arbeiten am Brenner bleiben Handtätigkeiten, bei denen die Hand zwangsläufig am Draht arbeitet; eine Schutzeinrichtung zwischen Hand und Draht ist bei diesen Tätigkeiten nicht anwendbar, deshalb ist eine weitere Maßnahme der Stufe 1 oder 2 nicht praktikabel. Die verbleibende Stich- oder Schnittverletzung ist reversibel. Dagegen wirken nach Stufe 3 schnittfeste Handschuhe nach EN 388, das saubere Abschneiden der Drahtspitze vor jeder Handtätigkeit, die Beschränkung auf unterwiesenes Personal und das Zeichen W022 an Brennerhalter und Drahtvorschub (Betriebsanleitung Kap. 2.4 und 2.6).

Nr. 10 Mechanisch — Risiko vorher: S 3 · W 3 · **RZ 9**

Stolper-, Rutsch- und Sturzgefahr im Bereich des Beschickungsplatzes und des Wartungsgangs durch Schweißspritzer auf dem Boden, Kabel, Schläuche (Druckluft, Schutzgas) und nasse Stellen bei Reinigungsarbeiten.

Teilmaschine: Beschickungsplatz / Wartungsgang · auch in: Betrieb, Einrichten, Reinigung, Fehlersuche · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Kabel und Schläuche (Druckluft, Schutzgas) durch konstruktive Führung in Kabelkanälen, Energieführungsketten oder deckenseitig abgehängten Leitungsführungen aus dem Bodenbereich des Beschickungsplatzes und des Wartungsgangs heraushalten, sodass keine Stolperstellen entstehen. Anschlüsse am Beschickungsplatz als Deckenpendel oder wandseitige Steckdosenfelder ausführen. Schweißspritzer-Exposition am Boden durch konstruktive Abschirmbleche (Spritzschutzbleche) an der Schweißstation reduzieren, sodass der Austrag in den Bedienbereich minimiert wird. Der Hallenboden gehört nicht zum Lieferumfang; die Anforderung an den Aufstellort (rutschhemmender Bodenbelag) wird in Stufe 3 an den Betreiber weitergegeben.
Stufe 2 · Technisch	Restrisiko durch verbleibende Stolper- und Rutschstellen mit folgenden technischen Maßnahmen begrenzen: (1) Bodenmarkierungen (gelb/schwarz nach ASR A1.3) zur Kennzeichnung der Verkehrswege und Gefahrenbereiche gemäß (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.5.15. (2) Ausreichende ortsfeste Beleuchtung des Beschickungsplatzes und Wartungsgangs nach (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.1.4, sodass Hindernisse und nasse Stellen frühzeitig erkannt werden können; die maschinenintegrierte Beleuchtung nach EN 1837 liefert 500 lx am Beschickungsplatz, 200 lx im Wartungsgang. (3) Spritzschutzmatten im unmittelbaren Schweißbereich, die einfach zu entnehmen und zu reinigen sind.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): (1) Hinweis auf Stolper- und Rutschgefahr durch Schweißspritzer, Schläuche und Nässe; Reinigungsintervalle und Reinigungsverfahren für den Bodenbereich vorschreiben. (2) Qualifikationsanforderung: Alle Personen, die den Beschickungsplatz und Wartungsgang betreten, müssen in die Gefahren und die Verkehrswegeführung eingewiesen sein. (3) PSA-Angabe: Sicherheitsschuhe mit rutschhemmender Sohle (S3 nach EN ISO 20345) sind beim Betreten des Beschickungsplatzes und Wartungsgangs zu tragen. (4) Warnkennzeichnung am Zugang zum Beschickungsplatz und Wartungsgang: Warnzeichen W011 'Warnung vor Rutschgefahr' und Gebotszeichen M008 'Fußschutz benutzen' nach EN ISO 7010:2020 anbringen. (5) Anforderung an den Aufstellort: rutschhemmender Bodenbelag am Beschickungsplatz und im Wartungsgang, Bewertungsgruppe mindestens R 11 nach DGUV Regel 108-003.

Risiko nachher: S 3 · W 2 · **RZ 6 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 6 (S 3, W 2) durch Stolpern, Rutschen und Stürzen. Nach Stufe 1 sind Kabel und Schläuche aus dem Bodenbereich herausgeführt, Spritzschutzbleche verringern den Spritzeraustrag. Verbleibend sind Schweißspritzer, die durch die für die Beschickung offene Öffnung auf den Boden gelangen, und Nässe bei Reinigungsarbeiten. Die Öffnung muss für das Einlegen offen bleiben, und der Hallenboden gehört nicht zum Lieferumfang; weitere konstruktive Maßnahmen an der Maschine erreichen diese Ursachen nicht. Nach Stufe 2 sind die Verkehrswege markiert, der Beschickungsplatz mit 500 lx und der Wartungsgang mit 200 lx beleuchtet und im Schweißbereich entnehmbare Spritzschutzmatten vorgesehen; die Prüfung der Stolper- und Rutschstellen ist bestanden. Eine darüber hinausgehende technische Maßnahme würde nur die Bodenreinigung ersetzen, die als tägliche Tätigkeit festgelegt ist. Die tägliche Reinigung (Betriebsanleitung Kap. 10.2), rutschhemmende Sicherheitsschuhe S3, die Zeichen W011 und W007 (Kap. 2.4) und die Anforderung an einen rutschhemmenden Bodenbelag am Aufstellort (Übersicht der Restgefahren, Kap. 2.6) bilden die Benutzerinformation.

Nr. 11 Mechanisch — Risiko vorher: S 5 · W 2 · **RZ 10**

Gefährdung durch gleichzeitigen Zugang mehrerer Personen in verschiedene Zonen der Zelle (EN ISO 11161): Eine zweite Person hält sich im Zelleninneren auf, ohne dass der Einrichter dies erkennt; beim Anlauf des Roboters oder des Wendetischs wird die zweite Person getroffen.

Teilmaschine: Gesamtanlage (Zonenzugang) · auch in: Einrichten, Fehlersuche · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Inhärente Möglichkeiten ausgeschöpft: Das Funktionsprinzip der Gesamtanlage erfordert begehbare Zonen für Einricht-, Wartungs- und Fehlersucharbeiten. Die Gefährdung entsteht durch das gleichzeitige Vorhandensein mehrerer Personen in verschiedenen Zonen, was konstruktiv nicht durch Geometrie, Abstand oder Energiebegrenzung allein aufgelöst werden kann, ohne den Betriebszweck zu unterbinden. Eine Reduktion der Roboter- oder Wendetischenergie auf ein Maß, das Verletzungen sicher ausschließt, ist bei diesem Anlagentyp technisch nicht realisierbar.
Stufe 2 · Technisch	1. Personensicherung beim Zugang mehrerer Personen nach EN ISO 11161:2007+A1:2010: Die Wartungstür hat eine Sperrvorrichtung für persönliche Vorhängeschlösser. Jede Person, die die Zelle betritt, hängt ihr persönliches Vorhängeschloss in die Sperrvorrichtung der geöffneten Tür ein. Solange ein Schloss eingehängt ist, lässt sich die Tür nicht schließen und der Automatikbetrieb nicht starten. Bewegungen sind dann nur in der Betriebsart Einrichten mit betätigter Zustimmeinrichtung und sicher reduzierter Geschwindigkeit möglich. Quittiert wird ausschließlich von außen am Bedienpult. 2. Zuhaltung der Wartungstür nach EN ISO 14119:2025 mit Fluchtentriegelung von innen nach EN ISO 14119:2025 Abschnitt 6.9.1, damit eingeschlossene Personen die Zelle jederzeit verlassen können. 3. Die Freigabe des Automatikanlaufs (Roboter und Wendetisch) ist als Sicherheitsfunktion ausgeführt: Automatikanlauf nur möglich, wenn die Wartungstür geschlossen und zugehalten ist und von außen quittiert wurde. Die Zugangsfunktion ist SF-01 (Stillsetzen beim Öffnen der Wartungstür) mit PLr d nach EN ISO 13849-1:2023. Die Schwenkfreigabe des Wendetisches bleibt unabhängig davon durch SF-04 (PLr e) abgesichert. 4. Im Einrichtbetrieb gilt SF-05 (sicher reduzierte Geschwindigkeit 250 mm/s mit Zustimmeinrichtung, PLr d nach EN ISO 13849-1:2023). Die Zustimmeinrichtung ist personengebunden. Die Zelle hat genau eine Zustimmeinrichtung am Teach-Pendant; Bewegungen im Einrichtbetrieb sind deshalb nur zulässig, wenn sich außer der Person mit der Zustimmeinrichtung niemand im Zelleninneren aufhält (Verfahrensanweisung siehe Stufe 3). 5. Sicherheitsabstände zwischen Roboter-Arbeitsraum und Aufenthaltsbereichen nach EN ISO 13857:2019 Tabelle 2 und EN ISO 10218-2:2025 Abschnitte 5.4.6 und 5.8.9 sind eingehalten.
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Beschreibung der Personensicherung an der Wartungstür (persönliches Vorhängeschloss je Person in der Sperrvorrichtung, Fluchtentriegelung von innen), der Pflicht zum Einhängen des Schlosses vor dem Betreten und zum Entfernen erst nach dem Verlassen der Zelle. Verfahrensanweisung für Mehrpersoneneinsätze (Einrichten, Wartung, Fehlersuche) mit klarer Rollenzuweisung (verantwortliche Person, Koordination). 2. Warnkennzeichnung an der Wartungstür: Warnzeichen W018 'Warnung vor automatischem Anlauf' nach EN ISO 7010:2020, Textschild 'Vor dem Betreten persönliches Schloss einhängen'. 3. Qualifikationsanforderung: Einricht- und Wartungspersonal muss in das Mehrpersonen-Zugangskonzept und den Gebrauch der Sperrvorrichtung für persönliche Vorhängeschlösser und der Fluchtentriegelung eingewiesen sein. Die Einweisung ist zu dokumentieren. 4. PSA-Angabe in der Betriebsanleitung: Sicherheitsschuhe S3 nach EN ISO 20345, eng anliegende Schutzkleidung (kein Einzugsrisiko durch lose Kleidung) beim Aufenthalt im Zelleninneren.

Risiko nachher: S 5 · W 1 · **RZ 5 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 5 (S 5, W 1) beim Zugang mehrerer Personen. Einricht-, Wartungs- und Fehlersucharbeiten verlangen begehbare Zonen; die Gefährdung einer zweiten Person lässt sich nicht durch Geometrie oder Energiebegrenzung auflösen (Stufe 1). Nach Stufe 2 hängt jede eintretende Person ihr persönliches Vorhängeschloss in die Sperrvorrichtung der Wartungstür; solange ein Schloss hängt, lässt sich die Tür nicht schließen und der Automatikbetrieb nicht starten, quittiert wird nur von außen (SF-01, PL d). Bewegungen sind dann nur im Einrichtbetrieb mit der einzigen, personengebundenen Zustimmeinrichtung und 250 mm/s möglich (SF-05, PL d), und die Fluchtentriegelung erlaubt jederzeit das Verlassen von innen. Diese Personensicherung folgt EN ISO 11161:2007+A1:2010. Verbleibend ist eine Person, die die Zelle ohne eigenes Schloss betritt, während der Einrichter Bewegungen auslöst; auch dann bewegt sich die Anlage nur mit reduzierter Geschwindigkeit unter der Zustimmeinrichtung des Einrichters. Das Einhängen des Schlosses bleibt eine Handlung jeder einzelnen Person; eine weitere Maßnahme der Stufe 1 oder 2, die dieses Fehlverhalten verhindert, ohne die Einrichtarbeiten einzuschränken, wurde nicht ermittelt. Verfahrensanweisung für Mehrpersoneneinsätze, Textschild an der Tür und Unterweisung: Betriebsanleitung Kap. 2.4, 2.5, 2.6 und 9.3.

Nr. 12 Elektrisch — Risiko vorher: S 5 · W 2 · **RZ 10**

Gefährdung durch direktes oder indirektes Berühren spannungsführender Teile der Schweißstromquelle, des Roboterschaltschranks und der Zellensteuerung (400 V AC, 32 kVA): Berühren von Klemmen, Leitungen oder Schaltschrankinnenseiten bei geöffnetem Schrank ohne Freischaltung kann zu Stromschlag mit Herzflimmern oder Verbrennungen führen.

Teilmaschine: Elektrische Anlage (Schaltschrank / Schweißstromquelle) · auch in: Inbetriebnahme, Fehlersuche · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Alle spannungsführenden Teile im Schaltschrankinneren (Klemmen, Sammelschienen, Leistungsklemmen der Schweißstromquelle) werden mit berührungssicheren Abdeckungen (Schutzgrad mindestens IP 2X bzw. IPXXB nach EN 60204-1:2018 Abschnitt 6.2.2) ausgeführt, sodass das Berühren aktiver Teile durch die Schutzform selbst verhindert wird, ohne dass eine Schutzeinrichtung erforderlich ist. Zusätzlich werden Mindestabstände zwischen spannungsführenden und berührbaren Teilen so ausgelegt, dass der Schutzgrad IP 2X auch bei geöffneter Schranktür gewahrt bleibt (Abdeckkappen, Isolierstoffabdeckungen auf Klemmenreihen). Dies adressiert (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.5.1 (Elektrische Energieversorgung) sinngemäß sowie EN 60204-1:2018 Abschnitt 6.2.
Stufe 2 · Technisch	1. Freischaltung und Energielosigkeit (LOTO): Hauptschalter mit abschließbarer Nullstellung nach EN 60204-1:2018 Abschnitt 5.3 und EN ISO 14118:2018 (Vermeidung von unerwartetem Anlauf / Energietrennung). Der Hauptschalter muss als Trenneinrichtung die gesamte Anlage allpolig vom Netz trennen; Restspannung an Kondensatoren der Schweißstromquelle ist durch Entladezeit oder aktive Entladeschaltung auf unter 60 V DC innerhalb von 5 s zu begrenzen; wo das nicht erreicht wird, steht am Gehäuse ein Warnhinweis mit der Entladezeit (EN 60204-1:2018 Abschnitt 6.2.4). Verriegelung der Schranktür: Schranktüren der Hauptschaltschränke erhalten einen Verschluss, der sich nur mit Schlüssel öffnen lässt und das unbefugte Öffnen verhindert (EN 60204-1:2018 Abschnitt 6.2.2). 2. Schutzpotenzialausgleich und Schutzleiter: Alle Schaltschrankgehäuse, Schweißstromquelle und Roboterschaltschrank werden über einen durchgehenden Schutzleiter (PE) mit ausreichendem Querschnitt verbunden (EN 60204-1:2018 Abschnitt 8.2), sodass bei einem Isolationsfehler der Fehlerstrom sicher abgeleitet und die Schutzeinrichtung (Leitungsschutzschalter / FI-Schutzschalter) auslöst. 3. Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD): Einsatz eines RCD (Typ B, da Gleichfehlerströme aus Frequenzumrichtern und Schweißstromquelle möglich) mit einem Bemessungsdifferenzstrom von 30 mA für Stromkreise, an denen Personen tätig sind; in Stromkreisen, in denen ein RCD mit dem Schweißprozess nicht vereinbar ist, stattdessen Isolationsüberwachung (EN 60204-1:2018 Abschnitte 6.3.3 und 7.7). Keine Sicherheitsfunktion mit PLr-Anforderung; die Maßnahmen wirken passiv-konstruktiv (Warnkennzeichnung siehe Stufe 3).
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Freischaltprozedur (LOTO) mit Schritt-für-Schritt-Anweisung dokumentieren, einschließlich Entladezeit der Kondensatoren der Schweißstromquelle und Prüfung auf Spannungsfreiheit mit geeignetem Messgerät (Spannungsprüfer Kategorie CAT III 600 V). Qualifikationsanforderung: Arbeiten an der elektrischen Anlage dürfen ausschließlich durch Elektrofachkräfte (EFK) gemäß DGUV Vorschrift 3 oder unter Aufsicht einer EFK durch elektrotechnisch unterwiesene Personen durchgeführt werden. PSA-Angabe: Isolierende Handschuhe (nach EN 60903, Klasse 00 für Spannungen bis 500 V AC), Schutzbrille (Lichtbogenschutz) und elektrisch isolierendes Schuhwerk sind bei Arbeiten im geöffneten Schrank zu tragen. Warnkennzeichnung: Warnzeichen W012 'Warnung vor elektrischer Spannung' nach EN ISO 7010:2020 dauerhaft und gut sichtbar an allen Schranktüren und an der Schweißstromquelle anbringen. Restrisiko-Hinweis in der Betriebsanleitung: Nach Betätigung des Hauptschalters können Kondensatoren in der Schweißstromquelle und im Frequenzumrichter des Roboters noch gefährliche Spannungen führen (Wartezeit bei der Schweißstromquelle mindestens 1 Minute, beim Roboterantrieb nach Angabe des Roboterherstellers); Spannungsfreiheit ist stets messtechnisch zu prüfen.

Risiko nachher: S 5 · W 1 · **RZ 5 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 5 (S 5, W 1) durch elektrische Spannung 400 V AC. Nach Stufe 1 sind die aktiven Teile fingersicher abgedeckt (IP 2X nach EN 60204-1:2018 Abschnitt 6.2.2), auch bei geöffneter Schranktür. Nach Stufe 2 trennt der abschließbare Hauptschalter allpolig, die Schranktüren lassen sich nur mit Schlüssel öffnen, der Zwischenkreis der Schweißstromquelle entlädt gemessen in 1,9 s auf höchstens 60 V, Schutzleiter (0,08 Ω), Fehlerschleifenimpedanz (0,28 Ω) und Isolationswiderstand (> 100 MΩ) sind geprüft, und der Fehlerschutz erfolgt über RCD Typ B oder Isolationsüberwachung. Verbleibend ist die Tätigkeit der Elektrofachkraft, die bei Inbetriebnahme und Fehlersuche am geöffneten Schrank unter Spannung messen muss. Diese Messungen sind ohne Spannung nicht durchführbar; für diese Lebensphasen ist deshalb keine weitere Maßnahme der Stufe 1 oder 2 praktikabel, und die Schwere bleibt bei 5. Freischaltverfahren mit Prüfung auf Spannungsfreiheit, Qualifikation als Elektrofachkraft, isolierende PSA und das Zeichen W012 stehen in der Betriebsanleitung (Kap. 2.4, 2.6, 8.1 und 10).

Nr. 17 Thermisch — Risiko vorher: S 3 · W 3 · **RZ 9**

Verbrennungsgefahr durch heißen Schweißbrenner und Brennerhals: Der Brennerhals und die Kontaktdüse sind nach dem Schweißprozess stark erhitzt; beim Brennerwechsel, bei der Reinigung oder beim Einrichten ohne Abkühlzeit können Hände und Finger verbrannt werden.

Teilmaschine: Schweißbrenner · auch in: Einrichten, Reinigung · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Einsatz einer aktiven Brennerkühlung (wassergekühlter Brenner anstelle eines luftgekühlten Brenners): Durch die kontinuierliche Wasserkühlung wird die thermische Energie im Brennerhals und an der Kontaktdüse konstruktiv auf ein deutlich niedrigeres Temperaturniveau begrenzt. Ergänzend: Gestaltung der Brennerhalterung und des Wechselsystems so, dass der Bediener beim Brennerwechsel ausschließlich thermisch entkoppelte Griffbereiche (Kunststoff- oder Keramikgriff, kein direkter Metallkontakt zum Brennerhals) berührt. Auslegung nach EN ISO 13732-1:2008 (Verbrennungsschwelle für blankes Metall rund 51 °C bei 1 min und 48 °C bei 10 min Kontaktdauer).
Stufe 2 · Technisch	1. Abkühlzeitüberwachung: Ein Temperatursensor am Brennerhals meldet an die Anlagensteuerung; das HMI zeigt die Freigabe für Brennerwechsel und Reinigung erst an, wenn der Temperaturgrenzwert unterschritten ist. Die Funktion ist eine betriebliche Verriegelung ohne PL-Anforderung nach EN ISO 13849-1; eine Risikominderung wird dafür nicht angerechnet. 2. Trennende Schutzeinrichtung: Der Schweißbereich ist vom Schutzzaun mit schweißlichtdichten Füllungen und Schweißerschutz-Sichtfenstern (EN ISO 14120:2015) umschlossen; der Zugang zum Brenner für Wartung und Reinigung erfolgt ausschließlich über die gesicherte Wartungstür (SF-01, PLr d). Damit ist der unbeabsichtigte Zugriff auf den heißen Brenner im Automatikbetrieb konstruktiv ausgeschlossen. 3. Bereitstellung einer Brennerablage mit thermisch isolierter Aufnahme (Keramik- oder Silikonauflage) unmittelbar an der Schweißstation, sodass der Brenner nach dem Prozess definiert abgelegt und nicht auf leitfähigen Metallflächen abgestellt wird.
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung: Abkühlzeit nach Schweißende vor Brennerwechsel, Reinigung oder Einrichtarbeiten am Brenner explizit angeben (Richtwert nach Angabe des Brennerherstellers); Verfahrensanweisung für Brennerwechsel mit Schritt 'Abkühlzeit abwarten oder Temperatur prüfen' aufnehmen. 2. Warnkennzeichnung: Warnzeichen 'Warnung vor heißer Oberfläche' (W017 nach EN ISO 7010:2020) dauerhaft und gut sichtbar am Brennerbereich und an der Wartungstür anbringen. 3. Qualifikation: Nur unterwiesene Personen dürfen Brennerwechsel und Reinigung durchführen; Unterweisung umfasst Verbrennungsrisiko, Abkühlzeiten und korrekte PSA-Nutzung. 4. PSA-Angabe: Hitzeschutzhandschuhe (geeignet für Kontaktwärme, Schutzklasse nach EN 407) sind beim Brennerwechsel, bei der Reinigung und bei Einrichtarbeiten am Brenner verpflichtend zu tragen; Angabe in der Betriebsanleitung und durch Gebotszeichen 'Handschutz benutzen' (M009 nach EN ISO 7010:2020) an der Wartungstür.

Risiko nachher: S 3 · W 1 · **RZ 3 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 19 Strahlung — Risiko vorher: S 4 · W 2 · **RZ 8**

Gefährdung durch elektromagnetische Felder (EMF) der Schweißstromquelle und der Schweißleitungen: Hohe Schweißströme erzeugen starke Magnetfelder; Personen mit aktiven Implantaten (Herzschrittmacher, Insulinpumpen) können durch die Felder gefährdet werden.

Teilmaschine: Schweißstromquelle / Schweißleitungen · auch in: Betrieb, Einrichten · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Schweißleitungen (Strom- und Rückleiter) so verlegen und bündeln, dass Hin- und Rückleiter räumlich eng zusammengeführt werden (verdrillte oder parallel geführte Leitungspaare mit minimalem Abstand zueinander): Die Magnetfelder beider Leiter kompensieren sich teilweise gegenseitig, was die resultierende Feldstärke im Umfeld deutlich reduziert. Leitungen so kurz wie technisch möglich halten und nicht unnötig aufspulen oder in Schleifen verlegen, da Schleifen die Feldstärke erhöhen. Schweißstromquelle mit Abstand zum Beschickungsplatz und zum Bedienpult aufstellen.
Stufe 2 · Technisch	Zugang zum Schweißbereich (Schweißzelle) während des Betriebs durch die vorhandene trennende Schutzeinrichtung (Schutzzaun nach EN ISO 14120:2015) absichern, sodass Personen den Nahbereich der aktiven Schweißleitungen im Automatikbetrieb nicht betreten können. Wartungstür mit Zuhaltung nach EN ISO 14119:2025 ausführen (SF-01, PLr d), die ein Betreten erst nach Abschalten des Schweißstroms freigibt. Im Einrichtbetrieb und bei Wartungsarbeiten in Leitungsnähe: Schweißstrom vor dem Betreten des Gefahrbereichs abschalten und gegen Wiedereinschalten sichern (Energietrennung und Stillsetzen nach EN ISO 14118:2018). Die Schweißleitungen verlaufen vollständig innerhalb des Schutzzauns, sodass Personen außerhalb der Zelle Abstand zu den aktiven Leitungen halten.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung: Expliziter Hinweis, dass der Betrieb der Schweißanlage starke elektromagnetische Felder erzeugt. Personen mit aktiven oder passiven metallischen Implantaten (Herzschrittmacher, Insulinpumpen, Cochlea-Implantate, Metallimplantate) dürfen den Nahbereich der Schweißleitungen und der Schweißstromquelle nicht betreten. Vor Aufnahme von Einricht- oder Wartungstätigkeiten in Leitungsnähe ist der Schweißstrom abzuschalten. Qualifikationsanforderung: Einricht- und Wartungspersonal ist über die EMF-Gefährdung zu unterweisen; Personen mit bekannten Implantaten sind von Tätigkeiten im Nahbereich aktiver Schweißleitungen auszuschließen. Warnkennzeichnung: Warnung vor magnetischem Feld (W006 nach EN ISO 7010:2020) an der Wartungstür, am Beschickungsplatz und an der Schweißstromquelle anbringen. Zusätzlich Verbotszeichen für Personen mit Herzschrittmachern (P007 nach EN ISO 7010:2020) an denselben Stellen. EMF-Emissionen sind in der Betriebsanleitung qualitativ zu beschreiben; Bewertungsgrundlage sind die Herstellerangaben der Schweißstromquelle nach EN IEC 62822-2 (Bewertung von Lichtbogenschweißeinrichtungen hinsichtlich der EMF-Exposition von Personen).

Risiko nachher: S 4 · W 1 · **RZ 4 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 20 Stofflich

Risiko vorher: S 4 · W 4 · **RZ 16**

Gefährdung durch Einatmen von Schweißrauch und -dämpfen (Metalloxide, Mangan, Eisenoxide): MAG-Schweißen von Baustahl erzeugt gesundheitsschädliche Partikel und Gase; bei unzureichender Absaugung (gesättigte Filterpatrone, abgeschaltete Anlage) überschreiten die Konzentrationen am Atembereich des Bedieners die Arbeitsplatzgrenzwerte.

Teilmaschine: Gesamtanlage (Absaugung / Schweißbereich) · auch in: Betrieb, Einrichten, Reinigung · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Substitution des Schweißzusatzwerkstoffs: Einsatz von Massivdraht-Elektroden mit nachweislich reduziertem Mangangehalt (Mn-arme Legierung, z.B. Mn-Gehalt < 1,0 % gemäß Sicherheitsdatenblatt) anstelle von Fülldrahtelektroden oder hochmanganhaltigen Drähten, soweit die Schweißaufgabe (Baustahl, Nahtqualität) dies zulässt. Zusätzlich: Optimierung der Schweißparameter (Lichtbogenspannung, Drahtvorschub, Schutzgaszusammensetzung) auf raucharme Einstellung gemäß Herstellerempfehlung der Schweißstromquelle, um die Rauchentwicklung an der Quelle zu minimieren. Beides reduziert die emittierte Schadstoffmasse und senkt damit die Wahrscheinlichkeit einer gesundheitsschädlichen Exposition; die Schwere des möglichen Schadens bleibt unverändert.
Stufe 2 · Technisch	Technische Lüftung und Absaugung nach EN ISO 21904-1:2020 (Schweißrauchabsaugung): Erfassung des Schweißrauchs durch die Erfassungshaube über dem Schweißbereich mit einem Volumenstrom von 1800 m3/h, der die Erfassungsgeschwindigkeit an der Entstehungsstelle sicherstellt. Die Absauganlage muss mit einer Filterüberwachung (Differenzdruckwächter) ausgestattet sein, die bei gesättigter Filterpatrone oder gestörter Absaugung einen Alarm auslöst; die Zelle stoppt kontrolliert, ein Wiederanlauf ist erst nach Beseitigung der Störung möglich (betriebliche Verriegelung ohne PL-Anforderung nach EN ISO 13849-1, eine Risikominderung wird dafür nicht angerechnet). Abschirmung des Schweißbereichs durch den Schutzzaun mit schweißlichtdichten Füllungen (EN ISO 14120:2015) und die trennende Mittelwand des Wendetisches, um Rauchaustritt in den Bedienerbereich zu minimieren. Raumluftüberwachung am Beschickungsplatz auf Schweißrauchkonzentration als zusätzliche Betreibermaßnahme empfohlen.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung (gemäß (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Angabe der emittierten Schweißraucharten und Hinweis auf einzuhaltende AGW nach TRGS 900 und TRGS 528; Anweisung zur regelmäßigen Prüfung und zum Wechsel der Filterpatronen (Wartungsintervall nach Herstellervorgabe EN ISO 21904-1:2020); Verbot des Schweißbetriebs bei ausgefallener oder abgeschalteter Absauganlage. Warnkennzeichnung am Schweißbereich: allgemeines Warnzeichen W001 nach EN ISO 7010:2020 mit Zusatztext 'Gesundheitsschädlicher Schweißrauch' und Gebotszeichen 'Atemschutz benutzen' (M017) als Restrisikokennzeichnung. PSA-Anforderung: partikelfiltrierende Halbmaske FFP3 nach EN 149 oder Gebläseatemschutz für Einricht-, Wartungs- und Reinigungsarbeiten im Schweißbereich bei abgeschalteter Absaugung; Qualifikationsanforderung: Bediener und Einrichter müssen in den Gefahren von Schweißrauchen und der korrekten Bedienung der Absauganlage unterwiesen sein (TRGS 528 Abschnitt 5).

Risiko nachher: S 4 · W 2 · **RZ 8 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 8 (S 4, W 2) durch Schweißrauch. Die Schwere folgt aus den Stoffeigenschaften des Schweißrauchs (Metalloxide, Mangan) und bleibt unverändert; das MAG-Verfahren ist der Zweck der Maschine und nicht ersetzbar. Nach Stufe 1 sind manganarmer Massivdraht, soweit die Schweißaufgabe es zulässt, und raucharme Parameter vorgesehen. Nach Stufe 2 erfasst die Haube über dem Schweißbereich den Rauch mit 1.800 m³/h, bei gestörter Absaugung oder gesättigter Filterpatrone stoppt die Zelle kontrolliert (Störmeldeschwelle 1.400 m³/h), die Abscheidung erfolgt in Klasse W3, und Schutzzaun und trennende Mittelwand schirmen den Beschickungsplatz ab; Erfassung, Wirksamkeit und Abscheideklasse sind geprüft. Eine vollständige Einhausung ist nicht möglich, weil die Beschickungsöffnung für das manuelle Einlegen offen bleiben muss, und bei Arbeiten im Schweißbereich ist die Absaugung abgeschaltet; eine weitere Maßnahme der Stufe 1 oder 2 für diese Restexposition ist nicht erkennbar. Verbleibend sind Restemissionen am Beschickungsplatz und die Exposition bei Einricht-, Wartungs- und Reinigungsarbeiten. Atemschutz FFP3 für diese Arbeiten, das Verbot des Schweißens ohne wirksame Absaugung, die Filterwartung und die Betreiberpflichten nach TRGS 528 stehen in der Betriebsanleitung (Kap. 1.2, 2.6, 9.1 und 10.2).

Nr. 21 Stofflich

Risiko vorher: S 4 · W 2 · **RZ 8**

Gefährdung durch Schutzgas (Argon-CO2-Gemisch M21) bei Leckage: Argon und CO2 sind schwerer als Luft, das Schutzgas kann sich in Bodennähe ansammeln; bei größeren Leckagen in schlecht belüfteten Bereichen besteht Erstickungsgefahr durch Sauerstoffverdrängung.

Teilmaschine: Schutzgasversorgung / Leitungssystem · auch in: Betrieb, Fehlersuche · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Druckbegrenzung im Leitungssystem: Den Betriebsdruck der Schutzgasversorgung auf das für den Schweißprozess minimal erforderliche Niveau begrenzen (Druckminderer am Versorgungsanschluss der Zelle). Ein niedrigerer Systemdruck reduziert die im Fehlerfall austretende Gasmenge und damit das Ansammlungspotenzial. Zusätzlich: Leitungsführung und Verbindungsstellen so gestalten, dass Leckagen konstruktiv minimiert werden: Einsatz von Schneidringverschraubungen oder Pressfittings anstelle von Schlauchschellen an festen Leitungsabschnitten; Schlauchlängen auf das betrieblich notwendige Minimum kürzen; keine Leitungsführung in Bodennähe von Gruben oder abgeschlossenen Kammern (Trassierung in Deckennähe, soweit möglich). Diese Maßnahmen adressieren die Energiequelle (gespeichertes Druckgas) und die Gefahrstelle (Ansammlungszone) direkt.
Stufe 2 · Technisch	1. Automatische Absperrung der Gaszufuhr: Magnetventil (stromlos geschlossen) in der Schutzgaszuleitung, das die Gaszufuhr bei Anlagenstopp, Not-Halt (SF-03) und in Betriebspausen selbsttätig absperrt; zusätzlich Handabsperrventil außerhalb der Zelle. 2. Dichtheitsüberwachung: Plausibilisierung des Gasverbrauchs über die Anlagensteuerung (Meldung bei Gasfluss ohne aktiven Schweißprozess als Leckageindikator); arbeitstägliche Sichtkontrolle der Schlauchverbindungen als Wartungsvorgabe. 3. Aufstellung der bauseitigen Schutzgasversorgung (Flaschenbatterie oder Entnahmestation) in einem belüfteten Hallenbereich, nicht in Gruben, Kellern oder engen Nischen. Bei Aufstellung in schlecht belüfteten Bereichen ist betreiberseitig eine Sauerstoff-Warneinrichtung vorzusehen (Hinweis in der Betriebsanleitung). Eine Sicherheitsfunktion mit PLr-Anforderung ist für diese Gefährdung nicht erforderlich; das Risiko wird über Absperrung, Aufstellung und Lüftung beherrscht.
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Hinweis auf Erstickungsgefahr durch Sauerstoffverdrängung bei größeren Leckagen in schlecht belüfteten Bereichen; Anforderung ausreichender Hallenlüftung am Aufstellungsort; Arbeiten an der Gasversorgung nur bei abgesperrter und entspannter Leitung (EN ISO 14118:2018). 2. Qualifikation: Arbeiten an Druckgasleitungen und Armaturen nur durch unterwiesenes Fachpersonal; Unterweisung nach DGUV Regel 100-500 Kapitel 2.26 und TRGS 528 (Betreiberpflicht). 3. Warnkennzeichnung: allgemeines Warnzeichen W001 nach EN ISO 7010:2020 mit Zusatztext 'Erstickungsgefahr durch Schutzgas' am Aufstellort der Gasversorgung; Verbotszeichen 'Zutritt für Unbefugte verboten' (D-P006 nach ASR A1.3) an abgeschlossenen Versorgungsbereichen. 4. Bei Arbeiten in engen oder schlecht belüfteten Bereichen (z. B. Flaschenwechsel in Nischen): tragbares Sauerstoff-Warngerät verwenden, keine Alleinarbeit.

Risiko nachher: S 4 · W 1 · **RZ 4 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 22 Stofflich

Risiko vorher: S 3 · W 2 · **RZ 6**

Gefährdung durch Filterstaub beim Wechsel der Filterpatrone der Schweißrauchabsaugung: Die Filterpatrone enthält abgeschiedene Schweißrauche mit Metalloxiden und Feinstpartikeln; beim Wechsel ohne geeignete Atemschutzmaßnahmen werden Stäube freigesetzt und eingeatmet.

Teilmaschine: Schweißrauchabsaugung (Filtereinheit) · auch in: Reinigung · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Konstruktive Staubrückhaltung beim Filterwechsel: Die Filtereinheit wird mit einem integrierten Beutel-in-Beutel-Wechselsystem (Bag-in/Bag-out-Prinzip) ausgeführt, sodass die kontaminierte Filterpatrone ohne direkten Staubkontakt in einem geschlossenen Kunststoffbeutel entnommen und versiegelt werden kann. Dadurch wird die Staubfreisetzung an der Quelle konstruktiv minimiert (Substitution der offenen Entnahme durch ein geschlossenes Wechselverfahren nach EN ISO 12100 Abschnitt 6.2.4). Zusätzlich: Abreinigungsimpuls (Druckstoß) vor dem Wechsel NUR bei geschlossenem Gehäuse und deaktivierter Absaugung zulassen, um Staubablagerungen in der Patrone zu kompaktieren und die Freisetzung beim Öffnen zu reduzieren.
Stufe 2 · Technisch	Technische Schutzmaßnahmen für das verbleibende Restrisiko (Reststaub beim Öffnen des Gehäuses und Handling der Patrone): 1. Absauggehäuse mit Unterdruckverriegelung: Das Filtergehäuse darf konstruktiv nur bei abgeschaltetem Ventilator und drucklosem Zustand geöffnet werden (mechanische Verriegelung, keine Sicherheitsfunktion mit PLr-Anforderung, da kein Bewegungsantrieb betroffen). 2. Lokale Absaugung am Wechselort: Am Filtergehäuse ist ein Anschlussstutzen für eine mobile Absaugeinheit (Industriestaubsauger Staubklasse H nach EN 60335-2-69, Eignung für Schweißrauchstäube) vorzusehen, der beim Wechsel aktiviert wird und freigesetzte Restpartikel erfasst. 3. Kennzeichnung der Filtereinheit: Warnung vor gesundheitsschädlichem Staub (allgemeines Warnzeichen W001 nach EN ISO 7010:2020 mit Zusatztext 'Gesundheitsschädlicher Staub') dauerhaft am Filtergehäuse angebracht.
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung (Kapitel 10.2): Detaillierte Schritt-für-Schritt-Anweisung zum Filterwechsel mit Beschreibung des Bag-in/Bag-out-Verfahrens; Hinweis auf die Zusammensetzung der abgeschiedenen Stäube (Metalloxide, Feinstpartikel, ggf. CMR-Stoffe je nach Schweißgut); Entsorgungshinweis (kontaminierte Filterpatronen als Sondermüll gemäß geltenden Abfallvorschriften entsorgen). 2. Qualifikationsanforderung: Filterwechsel nur durch unterwiesenes Fachpersonal, das über die Gefährdung durch Schweißrauchstäube informiert ist. 3. PSA-Angabe: Beim Filterwechsel ist mindestens zu tragen: partikelfiltrierende Halbmaske FFP3 nach EN 149 für Feinstpartikel und Metalloxide; Schutzhandschuhe (chemikalienbeständig); Schutzbrille (Partikelschutz). PSA-Anforderungen sind in der Betriebsanleitung und durch ein Gebotszeichen 'Atemschutz benutzen' (M017 nach EN ISO 7010:2020) am Filtergehäuse dauerhaft anzugeben. 4. Hinweis auf Arbeitsschutzrecht: Der Betreiber ist auf seine Pflichten nach TRGS 528 (Schweißtechnische Arbeiten) und der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) hinzuweisen, insbesondere zur Gefährdungsbeurteilung für CMR-Stäube und zur Bereitstellung geeigneter PSA.

Risiko nachher: S 3 · W 1 · **RZ 3 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 23 Mechanisch

Risiko vorher: S 4 · W 3 · **RZ 12**

Gefährdung durch Druckluft-Restenergie bei Wartungs- und Störungsbeseitigungsarbeiten: Nach Abschalten der Druckluftversorgung verbleibt Restdruck in Leitungen und Zylindern der Spannvorrichtung; unkontrolliertes Entspannen kann Spannelemente schlagartig bewegen und Personen verletzen oder Werkstücke herausschleudern.

Teilmaschine: Pneumatische Spannvorrichtung / Druckluftsystem · auch in: Fehlersuche · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Druckluft-Restenergie konstruktiv begrenzen: Die pneumatisch schließenden Spanner halten das Werkstück bei Druckabfall über ein entsperrbares Rückschlagventil (Druckhalteventil) in der Spannleitung; der Druckwächter überwacht den Spanndruck (SF-04). Das zwischen Druckhalteventil und Zylinder eingeschlossene Volumen ist konstruktiv minimiert (kurze Leitungen, Druckhalteventile direkt am Zylinder montiert), sodass nur eine kleine Energiemenge gespeichert bleibt. Der eingeschlossene Spanndruck wird vor Eingriffen durch Öffnen der Spanner abgebaut, bei Störungen kontrolliert über die Handhilfsbetätigung des Druckhalteventils. Auslegung nach EN ISO 4414:2010. Hinweis: Die Schwere eines verbleibenden Restenergie-Ereignisses wird durch diese Maßnahme gemindert, da die kinetische Energie der Spannelemente bei kleinem Restvolumen und gedrosselter Entlüftung deutlich geringer ist.
Stufe 2 · Technisch	1. Wartungs-Absperrventil mit Entlüftungsfunktion (Lockout/Tagout-fähig) nach EN ISO 4414:2010 und EN ISO 14118:2018: Absperrventil mit integrierter, gesteuerter Entlüftung (Soft-Exhaust-Funktion) am Eintritt der pneumatischen Spannvorrichtung einbauen; das Ventil muss in der Absperrstellung den nachgelagerten Leitungsabschnitt kontrolliert und gedrosselt entlüften, bevor Eingriffe möglich sind. Das Ventil ist mit einem Schloss (Lockout-Vorrichtung) zu sichern. 2. Druckmanometer oder Druckanzeige am Leitungsabschnitt zwischen Absperrventil und Zylinder, damit der Bediener den Druckabbau auf 0 bar visuell verifizieren kann (EN ISO 4414:2010). 3. Restdruckanzeige am Wartungszugang: Die Drucklosigkeit wird vor dem Eingriff an der Restdruckanzeige geprüft; die Anzeige ist eine betriebliche Einrichtung ohne PL-Anforderung nach EN ISO 13849-1:2023. 4. Trennende Schutzeinrichtung: Die Spannvorrichtungen liegen innerhalb des Schutzzauns (EN ISO 14120:2015); der Zugang für Wartung und Störungsbeseitigung erfolgt über die Wartungstür mit Zuhaltung nach EN ISO 14119:2025 (SF-01, PLr d).
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Arbeitsanweisung für Wartung und Störungsbeseitigung an der pneumatischen Spannvorrichtung mit explizitem Schritt-für-Schritt-Ablauf: (a) Werkstück entnehmen und Spanner öffnen, (b) Druckluftversorgung am Wartungsabsperrventil absperren und Entlüftung abwarten, (c) eingeschlossenen Restdruck bei Störung über die Handhilfsbetätigung des Druckhalteventils ablassen, Restdruckanzeige auf 0 bar prüfen, (d) Lockout-Schloss setzen, (e) erst dann Eingriff in das System. Hinweis auf Gefahr durch Restdruck und herausgeschleuderte Werkstücke aufnehmen. 2. Warnkennzeichnung an der Spannvorrichtung und am Absperrventil: allgemeines Warnzeichen W001 nach EN ISO 7010:2020 mit Zusatztext 'Restdruck in der Spannvorrichtung'; Hinweisschild 'Vor Eingriff: Druck auf 0 bar entlüften und Absperrventil verriegeln'. 3. Qualifikationsanforderung: Wartungs- und Störungsbeseitigungsarbeiten an der Pneumatik nur durch unterwiesene Fachkräfte mit Kenntnissen der Pneumatik-Sicherheitsregeln (EN ISO 4414:2010). 4. PSA-Angabe: Schutzbrille (Augenschutz gegen wegfliegende Teile) und Schutzhandschuhe beim Öffnen pneumatischer Verbindungen vorschreiben.

Risiko nachher: S 3 · W 1 · **RZ 3 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 27 Ergonomisch

Risiko vorher: S 2 · W 3 · **RZ 6**

Unzureichende Beleuchtung am Beschickungsplatz und im Wartungsgang: Zu geringe Beleuchtungsstärke erschwert das sichere Einlegen und Entnehmen von Werkstücken sowie Wartungsarbeiten und erhöht das Risiko von Fehlhandlungen und Unfällen.

Teilmaschine: Beschickungsplatz / Wartungsgang · auch in: Betrieb, Einrichten, Reinigung · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Maschinenintegrierte Arbeitsplatzbeleuchtung am Beschickungsplatz und im Wartungsgang konstruktiv vorsehen: Leuchten werden fest in die Maschinenstruktur integriert (in den Rahmen des Schutzzauns eingebaut), sodass die Beleuchtungsstärke am Beschickungsplatz und im Wartungsgang unabhängig von der Hallenbeleuchtung dauerhaft sichergestellt ist. Die Auslegung erfolgt nach EN ISO 12100:2010 Abschnitt 6.2.8 (Ergonomie) in Verbindung mit EN 1837 (maschinenintegrierte Beleuchtung); ausgeführt sind 500 lx am Beschickungsplatz, 200 lx im Wartungsgang. Durch die konstruktive Integration entfällt die Abhängigkeit von externen, ggf. unzureichenden Beleuchtungsquellen.
Stufe 2 · Technisch	Restrisiko durch Ausfall oder Abschattung der integrierten Leuchten: Überwachung der Betriebsbereitschaft der Arbeitsplatzbeleuchtung durch die Maschinensteuerung (Meldung bei Leuchtmittelausfall). Zusätzlich Kennzeichnung der Wartungsgangbereiche mit retroreflektierenden Bodenmarkierungen gelb/schwarz nach ASR A1.3 (Stolperstellen, Gangbegrenzungen) sowie Warnzeichen W007 'Warnung vor Hindernissen am Boden' nach EN ISO 7010:2020 an Stolperstellen. Eine Sicherheitsfunktion im Sinne von EN ISO 13849-1 ist für die Beleuchtungsüberwachung nicht erforderlich; bei Beleuchtungsausfall sind die Arbeiten einzustellen (Stufe 3).
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Angabe der Beleuchtungsstärke der Arbeitsplatzbeleuchtung (500 lx am Beschickungsplatz, 200 lx im Wartungsgang); Hinweis, dass Arbeiten bei Ausfall der integrierten Beleuchtung einzustellen sind, bis die Beleuchtung wiederhergestellt ist. Textschild an der Wartungstür: 'Bei Ausfall der Beleuchtung Arbeiten einstellen'. Qualifikationsanforderung: Wartungspersonal muss in der Prüfung der Beleuchtungsfunktion vor Arbeitsbeginn unterwiesen sein. Für kurzzeitige Kontrollen bei Beleuchtungsausfall geeignete mobile Leuchten verwenden; reguläre Arbeiten erst nach Wiederherstellung der Beleuchtung fortsetzen.

Risiko nachher: S 2 · W 1 · **RZ 2 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 30 Kombination — Risiko vorher: S 5 · W 2 · **RZ 10**

Gefährdung durch Fehlparametrierung der Robotersteuerung oder der Sicherheitssteuerung (z.B. falsche Sicherheitsabstände, falsche Geschwindigkeitsgrenzen im Einrichtbetrieb, falsche Zonenfreigaben): Fehlerhafte Parameter können dazu führen, dass Sicherheitsfunktionen nicht wie vorgesehen wirken und Personen durch Roboterbewegungen oder Wendetisch-Bewegungen gefährdet werden.

Teilmaschine: Gesamtanlage (Steuerung / Sicherheitssteuerung) · auch in: Inbetriebnahme, Einrichten · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Sicherheitsrelevante Parameter (Geschwindigkeitsgrenzen, Schutzzonen, Zonenfreigaben) werden ausschließlich in der Sicherheitssteuerung (Sicherheits-SPS) hinterlegt und dort durch ein passwortgeschütztes, rollenbasiertes Zugriffskonzept gegen unbefugte oder versehentliche Änderung gesichert. Parametersätze für die Sicherheitsfunktionen SF-01 bis SF-05 werden als unveränderliche, checksummengesicherte Datensätze (z.B. CRC-32 oder gleichwertig) in der Sicherheitssteuerung abgelegt, sodass jede unbeabsichtigte Änderung beim Systemstart automatisch erkannt und ein sicherer Zustand erzwungen wird. Dieses Prinzip entspricht dem inhärent sicheren Steuerungsprinzip nach EN ISO 12100 Abschnitt 6.2.11 (Steuerungsprinzipien, die das Auftreten von Gefährdungen begrenzen) und reduziert die Möglichkeit, dass fehlerhafte Parameter überhaupt wirksam werden.
Stufe 2 · Technisch	1. Validierungspflicht vor Freigabe: Jede Änderung sicherheitsrelevanter Parameter erfordert eine dokumentierte Abnahmeprüfung (Funktionstest aller betroffener Sicherheitsfunktionen SF-01 bis SF-05) durch zwei autorisierte Personen (Vier-Augen-Prinzip) vor der Wiederinbetriebnahme. Die Sicherheitssteuerung darf den Automatikbetrieb erst nach positiver Quittierung freigeben. Grundlage: EN ISO 13849-2:2012 (Validierung von Sicherheitsfunktionen) sowie EN ISO 11161:2007+A1:2010 (Verifizierung und Validierung bei integrierten Fertigungssystemen). 2. Parameterverifikation durch die Sicherheitssteuerung: Die Sicherheitssteuerung (PLr e für SF-02 und SF-04, PLr d für SF-01, SF-03 und SF-05 nach EN ISO 13849-1:2023) prüft beim Hochlauf und zyklisch die Konsistenz der sicherheitsrelevanten Parameter gegen hinterlegte Referenzwerte (Checksummenvergleich). Bei Abweichung wird Stopp-Kategorie 1 nach EN 60204-1:2018 ausgelöst und ein Wiederanlauf gesperrt (kein automatischer Wiederanlauf nach EN ISO 14118:2018). 3. Einrichtbetrieb SF-05: Die sicher reduzierte Geschwindigkeit von 250 mm/s (SF-05, PLr d) wird hardwareseitig in der Sicherheitssteuerung begrenzt und ist nicht durch Parameter der Robotersteuerung überschreibbar. Die Überwachung erfolgt durch eine SRP/CS nach EN ISO 13849-1:2023, Kategorie und PL gemäß SF-05 (PLr d). 4. Zonenfreigabe Wendetisch SF-04: Die Freigabe der 180-Grad-Schwenkbewegung (SF-04, PLr e) erfolgt ausschließlich über die Sicherheitssteuerung auf Basis verifizierter Sensorsignale; eine Freigabe durch fehlerhafte Zonenparameter in der Robotersteuerung allein ist konstruktiv ausgeschlossen. 5. Änderungsmanagement: Alle Parameteränderungen werden mit Zeitstempel, Benutzerkennung und Vorgänger-/Nachfolger-Wert in einem manipulationssicheren Änderungsprotokoll (Audit-Trail) der Sicherheitssteuerung gespeichert. Grundlage: EN ISO 11161:2007+A1:2010.
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Beschreibung des Parameteränderungsverfahrens mit Schritt-für-Schritt-Anleitung, Auflistung aller sicherheitsrelevanten Parameter je Sicherheitsfunktion (SF-01 bis SF-05), Pflicht zur Validierungsprüfung nach jeder Änderung und Dokumentationspflicht im Änderungsprotokoll. 2. Qualifikationsanforderung: Parameteränderungen an der Sicherheitssteuerung dürfen ausschließlich von Fachpersonal mit nachgewiesener Qualifikation in funktionaler Sicherheit (z.B. TÜV-Zertifizierung Functional Safety Engineer oder gleichwertig) und Kenntnis der Anlage durchgeführt werden. Dies ist in der Betriebsanleitung und in einer Betriebsanweisung festzuhalten. 3. Warnkennzeichnung: An der Sicherheitssteuerung und am Schaltschrank ist das Warnzeichen 'Warnung vor elektrischer Spannung' (W012 nach EN ISO 7010:2020) sowie das Verbotszeichen 'Zutritt für Unbefugte verboten' (D-P006 nach ASR A1.3) anzubringen. Zusätzlich Hinweisschild: 'Parameteränderungen nur durch autorisiertes Fachpersonal, anschließend Validierungsprüfung erforderlich'. 4. Inbetriebnahme-Checkliste: Vor jeder Erstinbetriebnahme und nach jeder Parameteränderung ist eine anlagenspezifische Inbetriebnahme-Checkliste abzuarbeiten und zu unterzeichnen (Grundlage: EN ISO 11161:2007+A1:2010).

Risiko nachher: S 5 · W 1 · **RZ 5 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 5 (S 5, W 1) durch Fehlparametrierung. Nach Stufe 1 liegen die sicherheitsrelevanten Parameter nur in der Sicherheits-SPS, geschützt durch ein rollenbasiertes Zugriffskonzept und prüfsummengesicherte Parametersätze. Nach Stufe 2 prüft die Sicherheits-SPS die Parameter beim Hochlauf und zyklisch gegen die Referenz und löst bei Abweichung einen Stopp mit Wiederanlaufsperre aus, die Geschwindigkeitsgrenze von SF-05 ist über die Robotersteuerung nicht überschreibbar, die Schwenkfreigabe SF-04 kommt nur aus der Sicherheits-SPS, und jede Änderung wird protokolliert und vor der Freigabe im Vier-Augen-Prinzip nach EN ISO 13849-2:2012 validiert. Verbleibend ist ein Parameter, der von befugtem Personal fachlich falsch festgelegt und bei der Validierung nicht erkannt wird. Die Parameter müssen für Inbetriebnahme, Umbauten und neue Spannvorrichtungen änderbar bleiben; eine Maßnahme, die einen fachlich falschen, aber ordnungsgemäß eingegebenen und validierten Wert erkennt, ist nach dem Stand der Technik nicht verfügbar. Änderungsverfahren, Qualifikation, Inbetriebnahme-Checkliste und das Textschild zur Validierungspflicht am Schaltschrank: Betriebsanleitung Kap. 2.4 und 2.6.

Nr. 34 Thermisch

Risiko vorher: S 3 · W 3 · **RZ 9**

Brandgefahr in der Schweißrauchabsaugung (Filterbrand): Vom Prozess eingesaugte Funken und glühende Partikel können sich in der Filterpatrone einlagern und einen Schwel- oder Filterbrand auslösen, auch zeitverzögert nach Schichtende. Brandrauch kann sich über das Rohrleitungssystem und die Luftrückführung in der Halle ausbreiten.

Teilmaschine: Schweißrauchabsaugung (Filtereinheit) · auch in: Betrieb

Stufe 1 · Inhärent	Funkenreduzierung an der Entstehungsquelle durch konstruktive Auslegung der Schweißparameter und der Absauggeometrie: Erfassungshaube über dem Schweißbereich und Rohrführung so auslegen, dass eingesaugte Funken abgekühlt sind, bevor sie die Filterpatrone erreichen. Zusätzlich Vorfunkenabscheider (Prallblech-/Zyklonabscheider) als integriertes Bauteil unmittelbar vor der Filterpatrone vorsehen, der grobe Partikel und Funken durch Massenträgheit abscheidet, bevor sie auf das Filtermedium treffen. Dieses Bauteil ist konstruktiver Bestandteil der Absauganlage, keine nachgeschaltete Schutzeinrichtung. Auslegung nach EN ISO 21904-1:2020 (Anforderungen an Schweißrauchabsauganlagen).
Stufe 2 · Technisch	Verbleibendes Restrisiko eines Filterbrands wird durch folgende technische Schutzmaßnahmen begrenzt: 1. Thermische Überwachung der Filterpatrone: Temperatursensor (Thermostat oder Thermoelement) im Filtergehäuse mit Auslöseschwelle; bei Überschreitung automatische Abschaltung des Absauggebläses und Schließen einer motorischen Absperrklappe im Rohrleitungssystem, um Sauerstoffzufuhr zu unterbinden. Einbindung in die Maschinensteuerung als betriebliche Verriegelung ohne PL-Anforderung nach EN ISO 13849-1, eine Risikominderung wird dafür nicht angerechnet; die Zelle stoppt kontrolliert, ein Wiederanlauf ist erst nach Beseitigung der Störung möglich. 2. Löscheinrichtung am Filtergehäuse: mindestens eine verschließbare Löschmittel-Einbringöffnung (Löschlanze) am Gehäuse; eine automatische Löscheinrichtung gehört nicht zum Lieferumfang und wird bei Bedarf vom Betreiber nach seinem Brandschutzkonzept ergänzt. 3. Motorische Absperrklappe im Luftrückführungskanal zur Halle: Bei Brandalarm automatisches Schließen, um Rauchausbreitung in die Halle zu verhindern. Einbindung in die Maschinensteuerung als betriebliche Verriegelung ohne PL-Anforderung. 4. Rauch- und CO-Melder im Filtergehäuse und im Abluftkanal als redundante Detektionsebene, Alarmweiterleitung an eine ständig besetzte Stelle oder an eine Brandmeldezentrale (Betreiberverantwortung, Abstimmung mit Brandschutzkonzept des Gebäudes). 5. Nachlaufzeit des Absauggebläses nach Schweißende: Steuerungsseitig mindestens 10 Minuten Nachlauf programmieren, damit noch im Rohr befindliche Glutpartikel vollständig in den Abscheider transportiert und abgekühlt werden, bevor das System stillgesetzt wird. Auslegung der Nachlaufzeit anhand der Rohrleitungslänge und des Volumenstroms.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung (gemäß (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): - Hinweis auf Brandgefahr durch Funken und Glutpartikel im Filtersystem; Beschreibung des Schadensmechanismus einschließlich zeitverzögerter Brandentstehung. - Vorgeschriebene Nachlaufzeit des Absauggebläses nach Schweißende (Mindestwert aus der Auslegung) als verbindliche Betriebsanweisung. - Wartungsintervalle für Filterpatronen, Vorfunkenabscheider und Temperatursensoren; Angabe, ab welchem Beladungsgrad die Filterpatrone zu wechseln ist (Herstellervorgabe EN ISO 21904-1:2020). - Verbot, die Absauganlage bei defektem Temperatursensor oder unwirksamer Absperrklappe zu betreiben. - Verfahren bei Brandalarm: Anlage sofort verlassen, Feuerwehr alarmieren, keine Eigenversuche mit dem Filterbehälter (Öffnen kann Glutnest anfachen). - Hinweis, dass nach Schichtende eine Sichtkontrolle des Filtergehäuses (Temperatur, Geruch) durchzuführen ist, bevor das Gebäude verlassen wird. Warnkennzeichnung an der Absauganlage: - Allgemeines Warnzeichen W001 nach EN ISO 7010:2020 mit Zusatztext 'Brandgefahr durch Funken im Filter' an Filtergehäuse und Wartungsöffnung. - Textschild 'Bei Brandalarm nicht öffnen' an der Wartungsklappe des Filtergehäuses. Qualifikation und Unterweisung: - Bedienpersonal und Wartungspersonal sind vor Aufnahme der Tätigkeit und danach mindestens jährlich über die Brandgefahr, die Funktion der Schutzeinrichtungen und das Verhalten im Brandfall zu unterweisen (Betreiberpflicht). - Wartungsarbeiten am Filtersystem nur durch unterwiesenes Personal mit geeigneter PSA (Schutzhandschuhe, ggf. Atemschutz bei Filterwechsel wegen Schweißrauchbelastung).

Risiko nachher: S 3 · W 1 · **RZ 3 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 40 Korrumpierung/Security — Risiko vorher: S 3 · W 3 · **RZ 9**

Sicherheitsrelevante Software nicht identifizierbar oder gekennzeichnet: Versionsstand und Prüfsumme der Sicherheitssoftware sind an der Maschine nicht abrufbar, sicherheitsrelevante Software und Daten sind nicht als solche benannt. Nach einem Eingriff, Update oder Gerätetausch lässt sich nicht feststellen, ob die Maschine noch im geprüften Zustand ist; ein Betrieb mit nicht freigegebener Software bleibt unerkannt. [MVO (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.1.9 Abs. 3, 1.1.9 Abs. 4, 1.7.4.2]

Teilmaschine: Software / Dokumentation · auch in: Inbetriebnahme, Betrieb

Stufe 1 · Inhärent	Sicherheitsrelevante Software als abgegrenzte Einheit mit eigener Versionsnummer und Prüfsumme gestalten (getrennt von Standard- und Visualisierungssoftware), sodass eine eindeutige Identifikation technisch möglich ist.
Stufe 2 · Technisch	Infoseite am HMI mit Version und Prüfsumme aller sicherheitsrelevanten Softwarekomponenten (jederzeit ohne Anmeldung leicht zugänglich, Anhang III Nr. 1.1.9 Abs. 4), Kennzeichnung sicherheitsrelevanter Daten in Dateinamen, Menüs und Exporten, Abgleich mit dem Abnahmeprotokoll beim Hochlauf. Nachweis-Referenz Weg B: IEC 62443-3-3 SR 3.4.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung: Verzeichnis der sicherheitsrelevanten Software und Daten mit Versionen (Anhang III Nr. 1.7.4.2), Anleitung zum Abruf der Versionsinformation, Hinweis auf die Bedeutung für die Konformität und auf die Meldepflicht bei Abweichungen.

Risiko nachher: S 3 · W 1 · **RZ 3 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 41 Korrumpierung/Security — Risiko vorher: S 3 · W 3 · **RZ 9**

Fehlende oder unvollständige Nachweise über Eingriffe (Protokollierung): Eingriffe in sicherheitsrelevante Hardware, Software oder Konfiguration werden nicht oder ohne Zeitstempel und Urheber aufgezeichnet, Protokolle überschreiben sich nach kurzer Zeit oder sind manipulierbar. Unrechtmäßige Eingriffe bleiben unentdeckt, das Rückverfolgungsprotokoll ist auf behördliche Anforderung nicht verfügbar. [MVO (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.1.9 Abs. 2, 1.1.9 Abs. 5, 1.2.1 lit. f]

Teilmaschine: Steuerung / Protokollierung · auch in: Betrieb, Fehlersuche

Stufe 1 · Inhärent	Ereignisprotokollierung als feste Funktion der Steuerung vorsehen (nicht abschaltbar durch Bediener), mit ausreichend dimensioniertem, nichtflüchtigem Speicher.
Stufe 2 · Technisch	Protokollierung sicherheitsrelevanter Ereignisse mit Zeitstempel, Benutzer und Änderungsinhalt (Anmeldung, Parameter- und Konfigurationsänderung, Software-Upload mit Version und Prüfsumme, Öffnen sicherheitsrelevanter Baugruppen, Fernzugriffssitzungen), Schutz gegen Löschen und Verändern, Export in lesbarer Form, Aufbewahrung der Uploads und zugehörigen Daten bis fünf Jahre nach dem Hochladen (Anhang III Nr. 1.2.1 lit. f). Nachweis-Referenz Weg B: IEC 62443-3-3 SR 2.8, SR 2.9, SR 2.11, SR 3.9, SR 6.1.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung: Zugriff auf und Export der Protokolle, Aufbewahrungspflichten des Betreibers bei Weitergabe der Maschine, Vorgehen bei behördlicher Anforderung, Hinweis auf Speicherkapazität und Zeitsynchronisation.

Risiko nachher: S 3 · W 1 · **RZ 3 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 43 Korrumpierung/Security — Risiko vorher: S 5 · W 2 · **RZ 10**

Ungesicherter Engineering-Zugang zur Sicherheitssteuerung: Der Programmierzugang der Sicherheitssteuerung oder der Sicherheits-SPS ist ohne Passwort oder mit Herstellerstandard erreichbar, das Sicherheitsprogramm kann im laufenden Betrieb überschrieben oder in den Stopp-Zustand versetzt werden, Forcen von Ein- und Ausgängen ist möglich. Schutzfunktionen werden unwirksam oder Aktoren direkt angesteuert. [MVO (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.1.9 Abs. 2, 1.1.9 Abs. 3, 1.2.1 lit. a]

Teilmaschine: Sicherheitssteuerung / Engineering · auch in: Inbetriebnahme, Fehlersuche

Stufe 1 · Inhärent	Programmierzugang der Sicherheitssteuerung physisch getrennt vom Prozessnetz (eigener Port, im verschlossenen Schaltschrank), kein Forcen sicherheitsrelevanter Signale im Serienstand, Programmänderung nur im gesicherten Stopp-Zustand der Maschine.
Stufe 2 · Technisch	Individuelles Passwort für den Sicherheitsprogrammzugang mit Passwortpflicht bei Inbetriebnahme, Schreibschutz und Zugriffsschutzstufen der Steuerung aktiviert, Protokollierung aller Zugriffe und Programmänderungen mit Version und Prüfsumme, Anzeige des Programmzustands am HMI. Nachweis-Referenz Weg B: IEC 62443-3-3 SR 1.1, SR 1.5, SR 2.1, SR 2.8, SR 3.4, SR 7.7.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung: Zugriffsschutz und Passwortverwaltung als Betreiberpflicht, Verbot der Programmänderung ohne erneute Prüfung und Dokumentation, Verweis auf die Anforderungen bei wesentlicher Veränderung.

Risiko nachher: S 5 · W 1 · **RZ 5 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 5 (S 5, W 1) über den Engineering-Zugang der Sicherheitssteuerung. Der Zugang muss für Inbetriebnahme, Wartung und Fehlersuche erhalten bleiben. Nach Stufe 1 liegt der Programmierport getrennt vom Prozessnetz im verschlossenen Schaltschrank, Forcen sicherheitsrelevanter Signale ist im Serienstand ausgeschlossen, und Programmänderungen sind nur im gesicherten Stopp-Zustand zulässig. Nach Stufe 2 sind individuelles Passwort, Schreibschutz und Zugriffsschutzstufen aktiv, jeder Zugriff und jede Programmänderung wird mit Version und Prüfsumme protokolliert, und der Programmzustand ist am HMI-Panel abrufbar (Nachweis nach IEC 62443-3-3 SR 1.1, 1.5, 2.1, 2.8, 3.4 und 7.7). Verbleibend ist der Missbrauch oder Fehler einer Person mit gültigem Passwort und Schrankschlüssel. Eine technische Maßnahme, die berechtigte von missbräuchlichen Änderungen unterscheidet, ist nach dem Stand der Technik nicht verfügbar; Abweichungen werden über den Abgleich von Version und Prüfsumme mit dem Abnahmeprotokoll erkennbar. Die Passwortverwaltung als Betreiberpflicht und das Verbot von Programmänderungen ohne erneute Prüfung und Dokumentation stehen in der Betriebsanleitung (Kap. 2.6 und 13).

Nr. 44 Korrumpierung/Security — Risiko vorher: S 4 · W 3 · **RZ 12**

Unautorisierter oder fehlerhafter Fernzugriff über das Fernwartungs-Gateway: Über die IPsec-VPN-Verbindung des Fernwartungs-Gateways greift eine unbefugte Person mit ausgespähten Zugangsdaten oder ein berechtigter Techniker zur falschen Zeit in die Zellensteuerung ein: Programm- oder Parameteränderung, Quittieren von Störungen oder Starten von Bewegungen, während sich Personen am Beschickungsplatz oder im Wartungsgang befinden. [MVO (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.1.9 Abs. 1, 1.1.9 Abs. 3, 1.2.1 lit. a, 1.2.1 lit. d]

Teilmaschine: Fernwartungs-Gateway / Zellensteuerung · auch in: Betrieb, Fehlersuche

Stufe 1 · Inhärent	Fernzugriff konstruktiv ohne Möglichkeit, gefahrbringende Bewegungen auszulösen oder Sicherheitsfunktionen zu überbrücken: Das Fernwartungs-Gateway erreicht nur die Standardsteuerung und das HMI-Panel, die Sicherheits-SPS hat keinen Fernzugriffspfad. Bewegungsbefehle und das Quittieren von Störungen sind nur von Bedienungsplätzen mit Sicht auf den Gefahrenbereich möglich (Anhang III Nr. 1.2.2).
Stufe 2 · Technisch	Fernwartung im Auslieferungszustand gesperrt; Freischaltung nur vor Ort am Bedienpult mit dem Schlüsselschalter, automatisches Sitzungsende nach vier Stunden, Anzeige „Fernwartung aktiv“ am HMI-Panel; IPsec-VPN mit Mehrfaktor-Anmeldung und persönlichen Konten für Fernwartende; Protokollierung jeder Sitzung mit Benutzer, Zeit und ausgeführten Aktionen, Aufbewahrung nach Anhang III Nr. 1.2.1 lit. f. Nachweis-Referenz Weg B: IEC 62443-3-3 SR 1.1, SR 1.13, SR 2.1, SR 2.8, SR 3.8.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung (Kapitel 13.3): Verfahren zur Freigabe und Beendigung von Fernwartungssitzungen, Pflicht zur Anwesenheit einer verantwortlichen Person vor Ort, Verhalten bei Verdacht auf unbefugten Zugriff (Sitzung am Schlüsselschalter beenden, Hersteller informieren), Kontakt für Sicherheitsmeldungen des Herstellers.

Risiko nachher: S 4 · W 1 · **RZ 4 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Reinigung (6 Gefährdungen)

Nr. 8 Mechanisch — Risiko vorher: S 3 · W 4 · **RZ 12**

Schnitt- und Stichgefahr durch den Schweißdraht (Massivdraht 1,0 bis 1,2 mm) am Schweißbrenner: Der aus dem Brenner herausragende Draht wirkt wie eine Nadel; beim Einrichten, Drahteinlegen oder Brennerreinigung können Hände und Finger gestochen oder geschnitten werden.

Teilmaschine: Schweißbrenner / Drahtvorschub · auch in: Einrichten, Wartung · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Automatischer Drahtrückzug nach Schweißende: Die Drahtvorschubsteuerung zieht den Draht nach jedem Schweißzyklus automatisch um einen definierten Betrag (5 bis 10 mm) in den Brenner zurück, sodass die scharfe Drahtspitze im Kontaktrohr versenkt ist und nicht mehr frei herausragt. Damit wird die Gefahrstelle (freistehende Drahtspitze) für die Lebensphasen Einrichten und Reinigung konstruktiv minimiert. Zusätzlich: Auswahl eines Drahtvorschubsystems, das im Tipp-Betrieb (Einrichten) nur bei dauerhaft betätigter Taste fördert (Totmannprinzip), sodass der Draht nicht unkontrolliert vorgeschoben wird.
Stufe 2 · Technisch	1. Mechanische Drahtlängenbegrenzung: Am Brennerhals wird ein einstellbarer Drahtlängenanschlag (Brennerschutzkappe mit definierter Öffnung) vorgesehen, der den maximal herausragenden Draht auf das für den Prozess notwendige Mindestmaß begrenzt. 2. Sperre des automatischen Drahtvorschubs: Der automatische Drahtvorschub ist gesperrt, sobald die Wartungstür geöffnet ist; bei geöffneter Tür lässt sich der Draht nur im Tippbetrieb mit reduzierter Einfädelgeschwindigkeit fördern. 3. Tippbetrieb des Drahtvorschubs: Der Tippbetrieb mit reduzierter Einfädelgeschwindigkeit ist eine Funktion der Stromquelle, keine Sicherheitsfunktion; er ist so ausgeführt, dass ein unbeabsichtigtes schnelles Vorschießen des Drahtes verhindert wird. 4. Kennzeichnung der Gefahrstelle am Brenner und Drahtvorschub mit Warnzeichen W022 'Warnung vor spitzem Gegenstand' nach EN ISO 7010:2020.
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Expliziter Hinweis, dass der Schweißdraht auch im Stillstand eine scharfe, stichfähige Spitze aufweist. Beschreibung der sicheren Vorgehensweise beim Drahteinlegen (Draht nur im Tippbetrieb mit reduzierter Einfädelgeschwindigkeit fördern, Drahtende mit Seitenschneider sauber abschneiden, niemals mit bloßer Hand tasten). 2. Warnkennzeichnung am Brennerhalter und am Drahtvorschubgerät: Warnzeichen W022 'Warnung vor spitzem Gegenstand' nach EN ISO 7010:2020. 3. Qualifikationsanforderung: Tätigkeiten am Brenner und Drahtvorschub (Drahteinlegen, Reinigung) dürfen nur durch unterwiesenes Fachpersonal durchgeführt werden; Anforderung in der Betriebsanleitung dokumentieren. 4. PSA-Angabe: Beim Drahteinlegen und bei der Brennerreinigung sind schnittfeste Schutzhandschuhe (nach EN 388, Durchstichfestigkeit mindestens Leistungsstufe 2) zu tragen; Angabe in der Betriebsanleitung und am Aushang am Arbeitsplatz. 5. Hinweis auf sicheres Abschneiden der Drahtspitze: Vor jeder manuellen Tätigkeit am Brenner ist die Drahtspitze mit einem geeigneten Seitenschneider sauber und gratfrei abzuschneiden; Werkzeug ist am Arbeitsplatz bereitzustellen.

Risiko nachher: S 3 · W 2 · **RZ 6 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 6 (S 3, W 2) durch die Drahtspitze. Der Draht muss für den Lichtbogen aus dem Kontaktrohr herausragen. Der automatische Rückzug nach jedem Zyklus und der Tippbetrieb nach dem Totmannprinzip (Stufe 1), die Längenbegrenzung durch die Brennerschutzkappe, die Sperre des automatischen Vorschubs bei geöffneter Wartungstür und der Drahtabschneider der Brennerreinigungsstation (Stufe 2) begrenzen die frei liegende Drahtlänge auf das Prozessmaß. Das Einfädeln beim Drahtwechsel und die Arbeiten am Brenner bleiben Handtätigkeiten, bei denen die Hand zwangsläufig am Draht arbeitet; eine Schutzeinrichtung zwischen Hand und Draht ist bei diesen Tätigkeiten nicht anwendbar, deshalb ist eine weitere Maßnahme der Stufe 1 oder 2 nicht praktikabel. Die verbleibende Stich- oder Schnittverletzung ist reversibel. Dagegen wirken nach Stufe 3 schnittfeste Handschuhe nach EN 388, das saubere Abschneiden der Drahtspitze vor jeder Handtätigkeit, die Beschränkung auf unterwiesenes Personal und das Zeichen W022 an Brennerhalter und Drahtvorschub (Betriebsanleitung Kap. 2.4 und 2.6).

Nr. 10 Mechanisch — Risiko vorher: S 3 · W 3 · **RZ 9**

Stolper-, Rutsch- und Sturzgefahr im Bereich des Beschickungsplatzes und des Wartungsgangs durch Schweißspritzer auf dem Boden, Kabel, Schläuche (Druckluft, Schutzgas) und nasse Stellen bei Reinigungsarbeiten.

Teilmaschine: Beschickungsplatz / Wartungsgang · auch in: Betrieb, Einrichten, Wartung, Fehlersuche · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Kabel und Schläuche (Druckluft, Schutzgas) durch konstruktive Führung in Kabelkanälen, Energieführungsketten oder deckenseitig abgehängten Leitungsführungen aus dem Bodenbereich des Beschickungsplatzes und des Wartungsgangs heraushalten, sodass keine Stolperstellen entstehen. Anschlüsse am Beschickungsplatz als Deckenpendel oder wandseitige Steckdosenfelder ausführen. Schweißspritzer-Exposition am Boden durch konstruktive Abschirmbleche (Spritzschutzbleche) an der Schweißstation reduzieren, sodass der Austrag in den Bedienbereich minimiert wird. Der Hallenboden gehört nicht zum Lieferumfang; die Anforderung an den Aufstellort (rutschhemmender Bodenbelag) wird in Stufe 3 an den Betreiber weitergegeben.
Stufe 2 · Technisch	Restrisiko durch verbleibende Stolper- und Rutschstellen mit folgenden technischen Maßnahmen begrenzen: (1) Bodenmarkierungen (gelb/schwarz nach ASR A1.3) zur Kennzeichnung der Verkehrswege und Gefahrenbereiche gemäß (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.5.15. (2) Ausreichende ortsfeste Beleuchtung des Beschickungsplatzes und Wartungsgangs nach (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.1.4, sodass Hindernisse und nasse Stellen frühzeitig erkannt werden können; die maschinenintegrierte Beleuchtung nach EN 1837 liefert 500 lx am Beschickungsplatz, 200 lx im Wartungsgang. (3) Spritzschutzmatten im unmittelbaren Schweißbereich, die einfach zu entnehmen und zu reinigen sind.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): (1) Hinweis auf Stolper- und Rutschgefahr durch Schweißspritzer, Schläuche und Nässe; Reinigungsintervalle und Reinigungsverfahren für den Bodenbereich vorschreiben. (2) Qualifikationsanforderung: Alle Personen, die den Beschickungsplatz und Wartungsgang betreten, müssen in die Gefahren und die Verkehrswegeführung eingewiesen sein. (3) PSA-Angabe: Sicherheitsschuhe mit rutschhemmender Sohle (S3 nach EN ISO 20345) sind beim Betreten des Beschickungsplatzes und Wartungsgangs zu tragen. (4) Warnkennzeichnung am Zugang zum Beschickungsplatz und Wartungsgang: Warnzeichen W011 'Warnung vor Rutschgefahr' und Gebotszeichen M008 'Fußschutz benutzen' nach EN ISO 7010:2020 anbringen. (5) Anforderung an den Aufstellort: rutschhemmender Bodenbelag am Beschickungsplatz und im Wartungsgang, Bewertungsgruppe mindestens R 11 nach DGUV Regel 108-003.

Risiko nachher: S 3 · W 2 · **RZ 6 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 6 (S 3, W 2) durch Stolpern, Rutschen und Stürzen. Nach Stufe 1 sind Kabel und Schläuche aus dem Bodenbereich herausgeführt, Spritzschutzbleche verringern den Spritzeraustrag. Verbleibend sind Schweißspritzer, die durch die für die Beschickung offene Öffnung auf den Boden gelangen, und Nässe bei Reinigungsarbeiten. Die Öffnung muss für das Einlegen offen bleiben, und der Hallenboden gehört nicht zum Lieferumfang; weitere konstruktive Maßnahmen an der Maschine erreichen diese Ursachen nicht. Nach Stufe 2 sind die Verkehrswege markiert, der Beschickungsplatz mit 500 lx und der Wartungsgang mit 200 lx beleuchtet und im Schweißbereich entnehmbare Spritzschutzmatten vorgesehen; die Prüfung der Stolper- und Rutschstellen ist bestanden. Eine darüber hinausgehende technische Maßnahme würde nur die Bodenreinigung ersetzen, die als tägliche Tätigkeit festgelegt ist. Die tägliche Reinigung (Betriebsanleitung Kap. 10.2), rutschhemmende Sicherheitsschuhe S3, die Zeichen W011 und W007 (Kap. 2.4) und die Anforderung an einen rutschhemmenden Bodenbelag am Aufstellort (Übersicht der Restgefahren, Kap. 2.6) bilden die Benutzerinformation.

Nr. 17 Thermisch — Risiko vorher: S 3 · W 3 · **RZ 9**

Verbrennungsgefahr durch heißen Schweißbrenner und Brennerhals: Der Brennerhals und die Kontaktdüse sind nach dem Schweißprozess stark erhitzt; beim Brennerwechsel, bei der Reinigung oder beim Einrichten ohne Abkühlzeit können Hände und Finger verbrannt werden.

Teilmaschine: Schweißbrenner · auch in: Wartung, Einrichten · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Einsatz einer aktiven Brennerkühlung (wassergekühlter Brenner anstelle eines luftgekühlten Brenners): Durch die kontinuierliche Wasserkühlung wird die thermische Energie im Brennerhals und an der Kontaktdüse konstruktiv auf ein deutlich niedrigeres Temperaturniveau begrenzt. Ergänzend: Gestaltung der Brennerhalterung und des Wechselsystems so, dass der Bediener beim Brennerwechsel ausschließlich thermisch entkoppelte Griffbereiche (Kunststoff- oder Keramikgriff, kein direkter Metallkontakt zum Brennerhals) berührt. Auslegung nach EN ISO 13732-1:2008 (Verbrennungsschwelle für blankes Metall rund 51 °C bei 1 min und 48 °C bei 10 min Kontaktdauer).
Stufe 2 · Technisch	1. Abkühlzeitüberwachung: Ein Temperatursensor am Brennerhals meldet an die Anlagensteuerung; das HMI zeigt die Freigabe für Brennerwechsel und Reinigung erst an, wenn der Temperaturgrenzwert unterschritten ist. Die Funktion ist eine betriebliche Verriegelung ohne PL-Anforderung nach EN ISO 13849-1; eine Risikominderung wird dafür nicht angerechnet. 2. Trennende Schutzeinrichtung: Der Schweißbereich ist vom Schutzzaun mit schweißlichtdichten Füllungen und Schweißerschutz-Sichtfenstern (EN ISO 14120:2015) umschlossen; der Zugang zum Brenner für Wartung und Reinigung erfolgt ausschließlich über die gesicherte Wartungstür (SF-01, PLr d). Damit ist der unbeabsichtigte Zugriff auf den heißen Brenner im Automatikbetrieb konstruktiv ausgeschlossen. 3. Bereitstellung einer Brennerablage mit thermisch isolierter Aufnahme (Keramik- oder Silikonauflage) unmittelbar an der Schweißstation, sodass der Brenner nach dem Prozess definiert abgelegt und nicht auf leitfähigen Metallflächen abgestellt wird.
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung: Abkühlzeit nach Schweißende vor Brennerwechsel, Reinigung oder Einrichtarbeiten am Brenner explizit angeben (Richtwert nach Angabe des Brennerherstellers); Verfahrensanweisung für Brennerwechsel mit Schritt 'Abkühlzeit abwarten oder Temperatur prüfen' aufnehmen. 2. Warnkennzeichnung: Warnzeichen 'Warnung vor heißer Oberfläche' (W017 nach EN ISO 7010:2020) dauerhaft und gut sichtbar am Brennerbereich und an der Wartungstür anbringen. 3. Qualifikation: Nur unterwiesene Personen dürfen Brennerwechsel und Reinigung durchführen; Unterweisung umfasst Verbrennungsrisiko, Abkühlzeiten und korrekte PSA-Nutzung. 4. PSA-Angabe: Hitzeschutzhandschuhe (geeignet für Kontaktwärme, Schutzklasse nach EN 407) sind beim Brennerwechsel, bei der Reinigung und bei Einrichtarbeiten am Brenner verpflichtend zu tragen; Angabe in der Betriebsanleitung und durch Gebotszeichen 'Handschutz benutzen' (M009 nach EN ISO 7010:2020) an der Wartungstür.

Risiko nachher: S 3 · W 1 · **RZ 3 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 20 Stofflich — Risiko vorher: S 4 · W 4 · **RZ 16**

Gefährdung durch Einatmen von Schweißrauch und -dämpfen (Metalloxide, Mangan, Eisenoxide): MAG-Schweißen von Baustahl erzeugt gesundheitsschädliche Partikel und Gase; bei unzureichender Absaugung (gesättigte Filterpatrone, abgeschaltete Anlage) überschreiten die Konzentrationen am Atembereich des Bedieners die Arbeitsplatzgrenzwerte.

Teilmaschine: Gesamtanlage (Absaugung / Schweißbereich) · auch in: Betrieb, Einrichten, Wartung · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Substitution des Schweißzusatzwerkstoffs: Einsatz von Massivdraht-Elektroden mit nachweislich reduziertem Mangangehalt (Mn-arme Legierung, z.B. Mn-Gehalt < 1,0 % gemäß Sicherheitsdatenblatt) anstelle von Fülldrahtelektroden oder hochmanganhaltigen Drähten, soweit die Schweißaufgabe (Baustahl, Nahtqualität) dies zulässt. Zusätzlich: Optimierung der Schweißparameter (Lichtbogenspannung, Drahtvorschub, Schutzgaszusammensetzung) auf raucharme Einstellung gemäß Herstellerempfehlung der Schweißstromquelle, um die Rauchentwicklung an der Quelle zu minimieren. Beides reduziert die emittierte Schadstoffmasse und senkt damit die Wahrscheinlichkeit einer gesundheitsschädlichen Exposition; die Schwere des möglichen Schadens bleibt unverändert.
Stufe 2 · Technisch	Technische Lüftung und Absaugung nach EN ISO 21904-1:2020 (Schweißrauchabsaugung): Erfassung des Schweißrauchs durch die Erfassungshaube über dem Schweißbereich mit einem Volumenstrom von 1800 m3/h, der die Erfassungsgeschwindigkeit an der Entstehungsstelle sicherstellt. Die Absauganlage muss mit einer Filterüberwachung (Differenzdruckwächter) ausgestattet sein, die bei gesättigter Filterpatrone oder gestörter Absaugung einen Alarm auslöst; die Zelle stoppt kontrolliert, ein Wiederanlauf ist erst nach Beseitigung der Störung möglich (betriebliche Verriegelung ohne PL-Anforderung nach EN ISO 13849-1, eine Risikominderung wird dafür nicht angerechnet). Abschirmung des Schweißbereichs durch den Schutzzaun mit schweißlichtdichten Füllungen (EN ISO 14120:2015) und die trennende Mittelwand des Wendetisches, um Rauchaustritt in den Bedienerbereich zu minimieren. Raumluftüberwachung am Beschickungsplatz auf Schweißrauchkonzentration als zusätzliche Betreibermaßnahme empfohlen.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung (gemäß (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Angabe der emittierten Schweißraucharten und Hinweis auf einzuhaltende AGW nach TRGS 900 und TRGS 528; Anweisung zur regelmäßigen Prüfung und zum Wechsel der Filterpatronen (Wartungsintervall nach Herstellervorgabe EN ISO 21904-1:2020); Verbot des Schweißbetriebs bei ausgefallener oder abgeschalteter Absauganlage. Warnkennzeichnung am Schweißbereich: allgemeines Warnzeichen W001 nach EN ISO 7010:2020 mit Zusatztext 'Gesundheitsschädlicher Schweißrauch' und Gebotszeichen 'Atemschutz benutzen' (M017) als Restrisikokennzeichnung. PSA-Anforderung: partikelfiltrierende Halbmaske FFP3 nach EN 149 oder Gebläseatemschutz für Einricht-, Wartungs- und Reinigungsarbeiten im Schweißbereich bei abgeschalteter Absaugung; Qualifikationsanforderung: Bediener und Einrichter müssen in den Gefahren von Schweißrauchen und der korrekten Bedienung der Absauganlage unterwiesen sein (TRGS 528 Abschnitt 5).

Risiko nachher: S 4 · W 2 · **RZ 8 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 8 (S 4, W 2) durch Schweißrauch. Die Schwere folgt aus den Stoffeigenschaften des Schweißrauchs (Metalloxide, Mangan) und bleibt unverändert; das MAG-Verfahren ist der Zweck der Maschine und nicht ersetzbar. Nach Stufe 1 sind manganarmer Massivdraht, soweit die Schweißaufgabe es zulässt, und raucharme Parameter vorgesehen. Nach Stufe 2 erfasst die Haube über dem Schweißbereich den Rauch mit 1.800 m³/h, bei gestörter Absaugung oder gesättigter Filterpatrone stoppt die Zelle kontrolliert (Störmeldeschwelle 1.400 m³/h), die Abscheidung erfolgt in Klasse W3, und Schutzzaun und trennende Mittelwand schirmen den Beschickungsplatz ab; Erfassung, Wirksamkeit und Abscheideklasse sind geprüft. Eine vollständige Einhausung ist nicht möglich, weil die Beschickungsöffnung für das manuelle Einlegen offen bleiben muss, und bei Arbeiten im Schweißbereich ist die Absaugung abgeschaltet; eine weitere Maßnahme der Stufe 1 oder 2 für diese Restexposition ist nicht erkennbar. Verbleibend sind Restemissionen am Beschickungsplatz und die Exposition bei Einricht-, Wartungs- und Reinigungsarbeiten. Atemschutz FFP3 für diese Arbeiten, das Verbot des Schweißens ohne wirksame Absaugung, die Filterwartung und die Betreiberpflichten nach TRGS 528 stehen in der Betriebsanleitung (Kap. 1.2, 2.6, 9.1 und 10.2).

Nr. 22 Stofflich

Risiko vorher: S 3 · W 2 · **RZ 6**

Gefährdung durch Filterstaub beim Wechsel der Filterpatrone der Schweißrauchabsaugung: Die Filterpatrone enthält abgeschiedene Schweißrauche mit Metalloxiden und Feinstpartikeln; beim Wechsel ohne geeignete Atemschutzmaßnahmen werden Stäube freigesetzt und eingeatmet.

Teilmaschine: Schweißrauchabsaugung (Filtereinheit) · auch in: Wartung · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Konstruktive Staubrückhaltung beim Filterwechsel: Die Filtereinheit wird mit einem integrierten Beutel-in-Beutel-Wechselsystem (Bag-in/Bag-out-Prinzip) ausgeführt, sodass die kontaminierte Filterpatrone ohne direkten Staubkontakt in einem geschlossenen Kunststoffbeutel entnommen und versiegelt werden kann. Dadurch wird die Staubfreisetzung an der Quelle konstruktiv minimiert (Substitution der offenen Entnahme durch ein geschlossenes Wechselverfahren nach EN ISO 12100 Abschnitt 6.2.4). Zusätzlich: Abreinigungsimpuls (Druckstoß) vor dem Wechsel NUR bei geschlossenem Gehäuse und deaktivierter Absaugung zulassen, um Staubablagerungen in der Patrone zu kompaktieren und die Freisetzung beim Öffnen zu reduzieren.
Stufe 2 · Technisch	Technische Schutzmaßnahmen für das verbleibende Restrisiko (Reststaub beim Öffnen des Gehäuses und Handling der Patrone): 1. Absauggehäuse mit Unterdruckverriegelung: Das Filtergehäuse darf konstruktiv nur bei abgeschaltetem Ventilator und drucklosem Zustand geöffnet werden (mechanische Verriegelung, keine Sicherheitsfunktion mit PLr-Anforderung, da kein Bewegungsantrieb betroffen). 2. Lokale Absaugung am Wechselort: Am Filtergehäuse ist ein Anschlussstutzen für eine mobile Absaugeinheit (Industriestaubsauger Staubklasse H nach EN 60335-2-69, Eignung für Schweißrauchstäube) vorzusehen, der beim Wechsel aktiviert wird und freigesetzte Restpartikel erfasst. 3. Kennzeichnung der Filtereinheit: Warnung vor gesundheitsschädlichem Staub (allgemeines Warnzeichen W001 nach EN ISO 7010:2020 mit Zusatztext 'Gesundheitsschädlicher Staub') dauerhaft am Filtergehäuse angebracht.
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung (Kapitel 10.2): Detaillierte Schritt-für-Schritt-Anweisung zum Filterwechsel mit Beschreibung des Bag-in/Bag-out-Verfahrens; Hinweis auf die Zusammensetzung der abgeschiedenen Stäube (Metalloxide, Feinstpartikel, ggf. CMR-Stoffe je nach Schweißgut); Entsorgungshinweis (kontaminierte Filterpatronen als Sondermüll gemäß geltenden Abfallvorschriften entsorgen). 2. Qualifikationsanforderung: Filterwechsel nur durch unterwiesenes Fachpersonal, das über die Gefährdung durch Schweißrauchstäube informiert ist. 3. PSA-Angabe: Beim Filterwechsel ist mindestens zu tragen: partikelfiltrierende Halbmaske FFP3 nach EN 149 für Feinstpartikel und Metalloxide; Schutzhandschuhe (chemikalienbeständig); Schutzbrille (Partikelschutz). PSA-Anforderungen sind in der Betriebsanleitung und durch ein Gebotszeichen 'Atemschutz benutzen' (M017 nach EN ISO 7010:2020) am Filtergehäuse dauerhaft anzugeben. 4. Hinweis auf Arbeitsschutzrecht: Der Betreiber ist auf seine Pflichten nach TRGS 528 (Schweißtechnische Arbeiten) und der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) hinzuweisen, insbesondere zur Gefährdungsbeurteilung für CMR-Stäube und zur Bereitstellung geeigneter PSA.

Risiko nachher: S 3 · W 1 · **RZ 3 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 27 Ergonomisch — Risiko vorher: S 2 · W 3 · **RZ 6**

Unzureichende Beleuchtung am Beschickungsplatz und im Wartungsgang: Zu geringe Beleuchtungsstärke erschwert das sichere Einlegen und Entnehmen von Werkstücken sowie Wartungsarbeiten und erhöht das Risiko von Fehlhandlungen und Unfällen.

Teilmaschine: Beschickungsplatz / Wartungsgang · auch in: Betrieb, Einrichten, Wartung · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Maschinenintegrierte Arbeitsplatzbeleuchtung am Beschickungsplatz und im Wartungsgang konstruktiv vorsehen: Leuchten werden fest in die Maschinenstruktur integriert (in den Rahmen des Schutzzauns eingebaut), sodass die Beleuchtungsstärke am Beschickungsplatz und im Wartungsgang unabhängig von der Hallenbeleuchtung dauerhaft sichergestellt ist. Die Auslegung erfolgt nach EN ISO 12100:2010 Abschnitt 6.2.8 (Ergonomie) in Verbindung mit EN 1837 (maschinenintegrierte Beleuchtung); ausgeführt sind 500 lx am Beschickungsplatz, 200 lx im Wartungsgang. Durch die konstruktive Integration entfällt die Abhängigkeit von externen, ggf. unzureichenden Beleuchtungsquellen.
Stufe 2 · Technisch	Restrisiko durch Ausfall oder Abschattung der integrierten Leuchten: Überwachung der Betriebsbereitschaft der Arbeitsplatzbeleuchtung durch die Maschinensteuerung (Meldung bei Leuchtmittelausfall). Zusätzlich Kennzeichnung der Wartungsgangbereiche mit retroreflektierenden Bodenmarkierungen gelb/schwarz nach ASR A1.3 (Stolperstellen, Gangbegrenzungen) sowie Warnzeichen W007 'Warnung vor Hindernissen am Boden' nach EN ISO 7010:2020 an Stolperstellen. Eine Sicherheitsfunktion im Sinne von EN ISO 13849-1 ist für die Beleuchtungsüberwachung nicht erforderlich; bei Beleuchtungsausfall sind die Arbeiten einzustellen (Stufe 3).
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Angabe der Beleuchtungsstärke der Arbeitsplatzbeleuchtung (500 lx am Beschickungsplatz, 200 lx im Wartungsgang); Hinweis, dass Arbeiten bei Ausfall der integrierten Beleuchtung einzustellen sind, bis die Beleuchtung wiederhergestellt ist. Textschild an der Wartungstür: 'Bei Ausfall der Beleuchtung Arbeiten einstellen'. Qualifikationsanforderung: Wartungspersonal muss in der Prüfung der Beleuchtungsfunktion vor Arbeitsbeginn unterwiesen sein. Für kurzzeitige Kontrollen bei Beleuchtungsausfall geeignete mobile Leuchten verwenden; reguläre Arbeiten erst nach Wiederherstellung der Beleuchtung fortsetzen.

Risiko nachher: S 2 · W 1 · **RZ 2 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Fehlersuche (15 Gefährdungen)

Nr. 1 Mechanisch

Risiko vorher: S 5 · W 3 · **RZ 15**

Quetsch- und Schergefahr durch den Wendetisch beim automatischen Wendevorgang: Körperteile des Bedieners (Hände, Arme) können zwischen dem rotierenden Tisch und der feststehenden Mittelwand oder dem Schutzzaun eingezogen und gequetscht werden, insbesondere beim Eingreifen in den Wendetisch während der Wendung zum Nachrichten eines verrutschten Werkstücks (vorhersehbare Fehlanwendung).

Teilmaschine: Wendetisch (Drehtisch-Einheit) · auch in: Betrieb, Einrichten · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Spaltmaße zwischen rotierender Tischkante und feststehender Mittelwand sowie Schutzzaun nach EN ISO 13854:2019 Tabelle 1 auslegen: Mindestabstände 25 mm (Finger), 100 mm (Hand), 120 mm (Arm) und 500 mm (Körper) nicht unterschreiten. Alternativ den Spalt so klein halten, dass kein Körperteil hineingelangt (Öffnungsweiten nach EN ISO 13857:2019 Tabelle 4). Wo sich keines der beiden Spaltmaße verwirklichen lässt, Tischrahmengeometrie ohne einziehende Keilform gestalten (parallele oder divergierende Flanken). Masse und Schwenkgeschwindigkeit des Wendetisches auf das funktional notwendige Minimum reduzieren, um die im Quetschspalt wirkende kinetische Energie zu begrenzen.
Stufe 2 · Technisch	Restrisiko nach Stufe 1: Der Schwenkbereich bleibt eine Gefahrstelle, die bei laufendem Antrieb nicht sicher betreten werden darf. Technische Schutzmaßnahmen: 1. Freigabe der Schwenkbewegung nur bei freiem Schwenkbereich (SF-04, PLr e, EN ISO 13849-1:2023): BWS (Lichtvorhang Typ 4 nach EN IEC 61496-1:2020) überwacht den Schwenkbereich vollständig; Anordnung und Sicherheitsabstand nach EN ISO 13855:2024. 2. Zuhaltung der Wartungstür nach EN ISO 14119:2025 mit Fluchtentriegelung (SF-01, PLr d; Stopp-Kategorie 1 nach EN 60204-1:2018). 3. Einrichtbetrieb: Schwenkbewegung nur mit sicher reduzierter Geschwindigkeit 250 mm/s und betätigter Zustimmeinrichtung (SF-05, PLr d, Stopp-Kategorie 1 nach EN 60204-1:2018). 4. Not-Halt im Bedienerbereich nach EN ISO 13850:2015, eingebunden in SF-03 (PLr d, Stopp-Kategorie 1 nach EN 60204-1:2018). 5. Energiefreischaltung vor Eingriffen: Absperrventil mit mechanischer Verrastung (Lockout) nach EN ISO 4414:2010; Wendetisch in Endlage formschlüssig arretieren (EN ISO 14118:2018).
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung: Eingreifen in den Schwenkbereich ist bei laufendem oder nicht gesichertem Wendetisch verboten. Vor jedem Eingriff (z. B. Werkstück nachrichten) muss die Anlage vollständig abgeschaltet und gesichert werden (Lockout/Tagout). Für das Einrichten gilt eine eigene Prozedur mit Zustimmeinrichtung, die in der Anleitung beschrieben ist. 2. Warnschilder an der Maschine: Am Wendetisch sind angebracht: Warnzeichen W019 "Warnung vor Quetschgefahr" und W024 "Warnung vor Handverletzungen" sowie Verbotszeichen P015 "Hineinfassen verboten" (nach EN ISO 7010:2020). 3. Wer darf eingreifen: Einrichten und Störungsbeseitigung nur durch eingewiesenes Personal. Die Einweisung muss mindestens einmal jährlich wiederholt und schriftlich festgehalten werden. 4. Schutzausrüstung: Schutzhandschuhe schützen nicht vor Quetschen. Eingriff in den Schwenkbereich nur bei stillgesetztem Wendetisch. Im gesamten Anlagenbereich sind Sicherheitsschuhe S3 nach EN ISO 20345 Pflicht.

Risiko nachher: S 5 · W 1 · **RZ 5 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026



Warnung vor Quetschgefahr

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 5 (S 5, W 1). Die Schwere bleibt bei 5: Masse und Antrieb des Wendetisches sind für die 180-Grad-Wendung mit bis zu 2 x 40 kg Zuladung zuzüglich Spannvorrichtungen im Takt von rund 90 Sekunden erforderlich und nach Stufe 1 bereits auf das funktional notwendige Maß begrenzt; die Spalte sind nach EN ISO 13854:2019 und EN ISO 13857:2019 ausgelegt, die Tischkanten ohne einziehende Keilform. Eine weitere Senkung der Energie hebt die Wendung auf. Nach Stufe 2 schwenkt der Tisch nur bei freiem Schwenkbereich (SF-04, PL e), die Wartungstür ist zugehalten (SF-01, PL d), im Einrichtbetrieb gelten 250 mm/s mit Zustimmeinrichtung (SF-05), und vor Eingriffen wird der Tisch formschlüssig arretiert. Ein Unfall setzt damit das bewusste Eingreifen in den laufenden Tisch unter Umgehung dieser Einrichtungen voraus; eine zusätzliche Maßnahme der Stufe 1 oder 2, die dieses Fehlverhalten weiter erschwert, ohne die Wendung zu verhindern, ist nicht erkennbar. Das Verbot und die Freischaltpflicht vor jedem Eingriff stehen in der Betriebsanleitung (Kap. 2.2, 2.6 und 9.1), am Wendetisch die Zeichen W019, W024 und P015.

Nr. 4 Mechanisch — Risiko vorher: S 5 · W 2 · **RZ 10**

Quetschgefahr an der Schnittstelle Wendetisch zu Schweißroboter (Übergabebereich): Beim Wendevorgang bewegt sich die bestückte Vorrichtung in den Arbeitsbereich des Roboters; unkoordiniertes Einfahren des Roboters in den Wendebereich oder fehlende Verriegelung zwischen Wendetisch-Bewegung und Roboter-Freigabe kann zu Kollisionen und Quetschungen führen.

Teilmaschine: Schnittstelle Wendetisch / Schweißroboter · auch in: Betrieb, Einrichten · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Schwenkradius des Wendetisches und Arbeitsraumgrenze des Roboters (TCP-Hüllkurve) werden in der Konstruktionsphase so aufeinander abgestimmt, dass der maximale Schwenkbereich der Vorrichtung und der minimale Roboter-Arbeitsraum einen geometrischen Mindestabstand von >= 500 mm (Mindestabstand gegen das Quetschen des Körpers nach EN ISO 13854:2019 Tabelle 1) zueinander aufweisen, wenn beide Bewegungen gleichzeitig aktiv wären. Dadurch wird die Überschneidungszone konstruktiv minimiert; eine vollständige Beseitigung der Überschneidung ist bei dieser Anlagentopologie funktionsbedingt nicht möglich, sodass die verbleibende Restüberschneidung durch Stufe 2 abgesichert wird.
Stufe 2 · Technisch	SF-04 'Freigabe der 180-Grad-Schwenkbewegung des Wendetisches nur bei freiem Schwenkbereich' mit PLr e nach EN ISO 13849-1:2023 (Risikograph: S2/F2/P2). Umsetzung als verriegelte Sicherheitsfunktion in der Sicherheits-SPS: (a) Roboter-Stillstandsüberwachung: Der Roboter muss sich in einer definierten Ruheposition außerhalb der Schwenkzone befinden und dies über ein sicheres Rückmeldungssignal (sicherer Ausgang der Robotersteuerung nach EN ISO 10218-2:2025 Abschnitte 5.4.7 und 5.5.8) bestätigen, bevor die Wendetisch-Freigabe erteilt wird. (b) Wendetisch-Freigabe an Roboter: Solange der Wendetisch nicht in Endlage und verriegelt ist, erhält die Robotersteuerung kein Freigabesignal für den Einfahrbereich; der Wendetisch ist in Endlage formschlüssig arretiert. (c) Zuhaltung der Wartungstür zum Schwenkbereich nach EN ISO 14119:2025 mit Fluchtentriegelung, eingebunden in SF-01 (PLr d). (d) Not-Halt der Gesamtanlage nach EN ISO 13850:2015, eingebunden in SF-03 (PLr d), Stopp-Kategorie 1 nach EN 60204-1:2018. (e) Im Einrichtbetrieb gilt SF-05: sicher reduzierte Geschwindigkeit <= 250 mm/s mit Zustimmeinrichtung (PLr d); der Einrichter darf den Schwenkbereich nur bei aktivierter Zustimmeinrichtung und reduzierter Geschwindigkeit betreten. Der Abstand des Schutzzauns zum Schwenkbereich entspricht EN ISO 13857:2019 Tabelle 2; der Schutzzaun ist nach EN ISO 14120:2015 ausgeführt.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Beschreibung der Verriegelungslogik SF-04 und der Betriebsarten Automatik und Einrichten; ausdrücklicher Hinweis, dass ein Betreten des Schwenkbereichs bei laufender Anlage verboten ist. Einrichtbetrieb: Qualifikationsanforderung dokumentieren (nur unterwiesene Fachkraft mit Kenntnis der Zustimmeinrichtung). Warnkennzeichnung am Schwenkbereich: Warnzeichen W019 'Warnung vor Quetschgefahr' und W024 'Warnung vor Handverletzungen' nach EN ISO 7010:2020; an der Wartungstür zusätzlich Verbotszeichen 'Zutritt für Unbefugte verboten' (D-P006 nach ASR A1.3). PSA-Angabe in der Betriebsanleitung: Sicherheitsschuhe S3 nach EN ISO 20345; im Einrichtbetrieb zusätzlich eng anliegende Schutzkleidung (kein Einzugsrisiko durch lose Kleidung). Hinweis auf Restrisiko bei Einrichtbetrieb und Fehlersuche: Zustimmeinrichtung stets aktiviert halten, Schwenkbereich nie ohne Zustimmeinrichtung betreten.

Risiko nachher: S 5 · W 1 · **RZ 5 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 5 (S 5, W 1) an der Übergabe zwischen Wendetisch und Roboter. Der Roboter muss die frisch gewendete Station erreichen; eine vollständige geometrische Trennung von Schwenkbereich und Roboterarbeitsraum ist bei dieser Anlagentopologie funktionsbedingt nicht möglich. Die Überschneidung ist nach Stufe 1 durch einen Mindestabstand von 500 mm zwischen Schwenkradius und TCP-Hüllkurve verkleinert. Die verbleibende Überschneidung ist gegenseitig verriegelt: Der Wendetisch schwenkt nur, wenn die Robotersteuerung die Ruheposition außerhalb der Schwenkzone über einen sicheren Ausgang zurückmeldet, und der Roboter erhält die Freigabe erst bei arretiertem Tisch in Endlage (SF-04, PL e nach Risikograph S2/F2/P2). Ein Unfall setzt damit das Versagen dieser Verriegelung oder ein Betreten bei laufender Anlage unter Umgehung der Zuhaltung (SF-01) voraus. Die Freigabe ist bereits im erforderlichen Performance Level ausgeführt; eine weitere Maßnahme der Stufe 1 oder 2 würde die Eintrittswahrscheinlichkeit nicht messbar senken. Im Einrichtbetrieb gilt SF-05 mit 250 mm/s und Zustimmeinrichtung. Verriegelungslogik, Verbot des Betretens und Verhalten im Einrichtbetrieb stehen in der Betriebsanleitung (Kap. 2.5, 2.6 und 9.3).

Nr. 5 Mechanisch — Risiko vorher: S 4 · W 3 · **RZ 12**

Herabfallen von Werkstücken oder Vorrichtungsteilen durch Versagen der pneumatischen Spanneinrichtung: Bei Druckluftausfall oder Leckage öffnen die Spannelemente unkontrolliert; Werkstücke bis 40 kg können vom Wendetisch fallen und Personen am Beschickungsplatz treffen.

Teilmaschine: Pneumatische Spannvorrichtung (Wendetisch) · auch in: Betrieb, Einrichten · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Einsatz pneumatisch schließender Spanner mit entsperrbarem Rückschlagventil (Druckhalteventil) in der Spannleitung direkt am Spannzylinder: Bei Druckluftausfall oder Leckage in der Zuleitung bleibt der Spanndruck im Zylinder eingeschlossen und das Werkstück gespannt; geöffnet wird nur durch aktives Entsperren des Ventils. Auslegung der Spannkraft auf das maximale Werkstückgewicht von 40 kg zuzüglich eines Sicherheitsfaktors gemäß EN ISO 4414:2010. Ergänzend: Begrenzung des Betriebsdrucks auf das für die Spannfunktion erforderliche Maß, um die gespeicherte pneumatische Energie zu minimieren (EN ISO 4414:2010).
Stufe 2 · Technisch	1. Spanndrucküberwachung mit Sicherheitsfunktion: Ein Druckwächter in der Spannleitung überwacht den Spanndruck; bei Unterschreitung des Mindestspanndrucks wird die Freigabe der Schwenkbewegung des Wendetisches gesperrt (Verknüpfung mit SF-04, PLr e nach EN ISO 13849-1:2023). Solange der Spanndruck nicht bestätigt ist, schwenkt der Wendetisch nicht. 2. Mechanische Verriegelung der Schwenkbewegung: Formschlüssige Arretierung des Wendetisches in der Beschickungsposition, sodass ein unbeabsichtigtes Schwenken mit eingespanntem oder losem Werkstück verhindert wird; Aufhebung der Arretierung nur nach bestätigtem Spanndruck (Verknüpfung mit SF-04, PLr e). 3. Einhausung/Auffangeinrichtung: Mechanische Auffangvorrichtung (Abweisblech) unterhalb des Wendetisches, ausgelegt auf das maximale Werkstückgewicht von 40 kg und die maximale Fallhöhe, um herabfallende Teile vom Beschickungsplatz fernzuhalten; Auslegung nach EN ISO 14120:2015. 4. Sicherheitsabstand am Beschickungsplatz: Anordnung des Beschickungsplatzes so, dass der Gefahrbereich unterhalb des Wendetisches außerhalb des regulären Aufenthaltsbereichs liegt.
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Beschreibung des Spannprinzips (pneumatisch schließende Spanner mit Druckhalteventil) und der Spanndrucküberwachung; Verbot des Aufenthalts unterhalb des Wendetisches bei laufendem Betrieb und bei Fehlersuche ohne gesicherten Stillstand; Vorgehensweise bei Druckluftausfall (Anlage stillsetzen, Druckluftversorgung wiederherstellen, Werkstück erst nach Druckprüfung entnehmen). 2. Energietrennung vor Eingriffen: Anweisung zur vollständigen Druckentlastung der Pneumatikanlage vor Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten gemäß EN ISO 4414:2010 und EN ISO 14118:2018 (Vermeidung von unerwartetem Wiederanlauf und unerwarteter Energiefreisetzung); wegen des Druckhalteventils bleibt der Spanndruck in den Spannzylindern eingeschlossen, die Spanner sind deshalb vor Arbeiten an der Spannvorrichtung zu öffnen und drucklos zu machen; Absperr- und Entlüftungsventil mit Schlossvorrichtung (Lockout) vorsehen. 3. Warnkennzeichnung: Warnzeichen W015 "Warnung vor schwebender Last" und W024 "Warnung vor Handverletzungen" nach EN ISO 7010:2020 am Wendetisch und am Beschickungsplatz anbringen. 4. Qualifikation: Fehlersuche und Einrichten nur durch unterwiesenes Fachpersonal; Anforderungen in der Betriebsanleitung benennen. 5. PSA: Tragen von Sicherheitsschuhen (S3 nach EN ISO 20345) am Beschickungsplatz als Restrisikoschutz vorschreiben.

Risiko nachher: S 4 · W 1 · **RZ 4 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 6 Mechanisch — Risiko vorher: S 5 · W 3 · **RZ 15**

Quetsch- und Stoßgefahr durch unerwarteten Wiederanlauf des Wendetischs oder des Roboters nach Not-Halt oder Störungsbeseitigung: Fehlt eine koordinierte Wiederanlaufsperre (EN ISO 11161), können einzelne Teilmaschinen selbsttätig anlaufen, während sich Personen noch im Gefahrenbereich befinden.

Teilmaschine: Gesamtanlage (Wiederanlauf-Koordination) · auch in: Wartung, Einrichten · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Inhärente Möglichkeiten ausgeschöpft: Der Wiederanlauf nach Not-Halt oder Störungsbeseitigung ist ein steuerungstechnisches Ereignis, das vom Funktionsprinzip der Gesamtanlage (koordinierter Automatikbetrieb von Roboter und Wendetisch) nicht konstruktiv eliminiert werden kann. Eine geometrische oder energetische Maßnahme, die den Wiederanlauf selbst verhindert, ohne die Maschinenfunktion aufzuheben, existiert nicht. Die Absicherung muss daher vollständig über Stufe 2 (Steuerung und Verriegelung) erfolgen.
Stufe 2 · Technisch	1. Koordinierter Wiederanlaufschutz nach EN ISO 11161:2007+A1:2010: Die Gesamtanlagensteuerung darf den Wiederanlauf einer Teilmaschine (Wendetisch, Roboter) erst freigeben, nachdem ein bewusster, manueller Wiederanlaufbefehl von einem sicheren Standort außerhalb aller Gefahrenbereiche ausgelöst wurde. Der Wiederanlaufbefehl darf nicht automatisch nach Quittierung des Not-Halts oder nach Störungsbeseitigung erfolgen. 2. Sicherheitsfunktion SF-01 (Sicheres Stillsetzen Stopp-Kategorie 1 beim Öffnen der Wartungstür, PLr d nach EN ISO 13849-1:2023) und SF-03 (Not-Halt der Gesamtanlage, Stopp-Kategorie 1, PLr d nach EN ISO 13849-1:2023) stellen sicher, dass alle Antriebe sicher stillgesetzt werden. Die Wiederanlaufsperre wird als Bestandteil der Sicherheitsfunktionen SF-01, SF-03 und SF-04 realisiert und mit deren jeweiligem PLr ausgeführt (SF-04: PLr e; SF-01 und SF-03: PLr d nach EN ISO 13849-1:2023). 3. Sicherheitsfunktion SF-04 (Freigabe der 180-Grad-Schwenkbewegung des Wendetischs nur bei freiem Schwenkbereich, PLr e nach EN ISO 13849-1:2023): Der Wendetisch darf seine Schwenkbewegung nur ausführen, wenn der Schwenkbereich durch den Lichtvorhang Typ 4 nach EN IEC 61496-1:2020 (angeordnet nach EN ISO 13855:2024) als frei erkannt wurde. Diese Funktion bleibt auch nach Wiederanlauf aktiv und verhindert das Anlaufen bei Personenpräsenz. 4. Sicherheitsfunktion SF-05 (Sicher reduzierte Geschwindigkeit 250 mm/s mit Zustimmeinrichtung im Einrichtbetrieb, PLr d nach EN ISO 13849-1:2023): Im Einrichtbetrieb ist der Wiederanlauf ausschließlich über eine Zustimmeinrichtung (3-stufig nach EN ISO 10218-2:2025 Abschnitt 5.7.7) freizugeben, sodass ein unerwarteter Wiederanlauf mit voller Geschwindigkeit ausgeschlossen ist. 5. Energielosschaltung und Energiefreisetzung nach EN ISO 14118:2018: Vor Betreten des Gefahrenbereichs zur Fehlersuche oder Wartung ist die Energiezufuhr aller relevanten Antriebe (elektrisch, pneumatisch nach EN ISO 4414:2010) durch ein abschließbares Trenngerät zu unterbrechen und gegen unbeabsichtigtes Einschalten zu sichern (Lockout/Tagout). Restenergie (gespeicherte pneumatische Energie) ist vor dem Eingriff abzubauen; der Wendetisch ist in Endlage formschlüssig zu arretieren. 6. Zuhaltung der Wartungstür nach EN ISO 14119:2025 mit Fluchtentriegelung: Die Zuhaltung hält die Wartungstür geschlossen, solange gefährliche Bewegungen nicht sicher stillgesetzt sind (Stopp-Kategorie 1 abgeschlossen). Die Einbindung erfolgt im Rahmen von SF-01 (PLr d).
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Beschreibung der Wiederanlaufreihenfolge nach Not-Halt und nach Störungsbeseitigung; ausdrücklicher Hinweis, dass ein Wiederanlauf ausschließlich nach vollständigem Verlassen aller Gefahrenbereiche und manuellem Quittierbefehl von außen zulässig ist. Beschreibung der Lockout/Tagout-Prozedur nach EN ISO 14118:2018 für alle Wartungs- und Fehlersuchtätigkeiten. 2. Warnkennzeichnung an der Wartungstür und an den Quittiereinheiten: Warnung vor unerwartetem Wiederanlauf (Warnzeichen W018 'Warnung vor automatischem Anlauf' nach EN ISO 7010:2020), Hinweis auf Pflicht zur Quittierung von außen. 3. Qualifikationsanforderung: Einricht- und Wartungstätigkeiten dürfen nur durch unterwiesenes Fachpersonal durchgeführt werden, das in der Wiederanlaufprozedur und im Lockout/Tagout-Verfahren geschult ist (EN ISO 10218-2:2025 Abschnitt 7.5.12). 4. PSA-Angabe: Beim Betreten des Gefahrenbereichs zur Fehlersuche oder Wartung ist Sicherheitsschuhwerk (S3 nach EN ISO 20345) zu tragen; weitere PSA nach betrieblicher Gefährdungsbeurteilung des Betreibers.

Risiko nachher: S 5 · W 1 · **RZ 5 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 5 (S 5, W 1) durch unerwarteten Wiederanlauf. Der Wiederanlauf ist ein Steuerungsereignis des koordinierten Automatikbetriebs von Roboter und Wendetisch; eine konstruktive Maßnahme, die ihn verhindert, ohne die Funktion der Zelle aufzuheben, gibt es nicht (Stufe 1). Nach Stufe 2 gibt die Gesamtsteuerung den Wiederanlauf nach EN ISO 11161:2007+A1:2010 nur auf einen bewussten Befehl vom Bedienpult außerhalb der Gefahrenbereiche frei, die Wiederanlaufsperre ist Teil von SF-01, SF-03 (PL d) und SF-04 (PL e), die Schwenkfreigabe prüft den Schwenkbereich auch nach dem Wiederanlauf, und die Sperrvorrichtung für persönliche Vorhängeschlösser verhindert das Schließen der Wartungstür, solange eine Person in der Zelle ist. Für Fehlersuche und Wartung stehen der abschließbare Hauptschalter und das abschließbare Druckluftventil mit Entlüftung nach EN ISO 14118:2018 bereit. Verbleibend ist ein Anlauf, wenn eine Person weder ihr Schloss einhängt noch freischaltet und zugleich die Wiederanlaufsperre versagt. Eine technische Maßnahme, die das Freischalten durch die Person ersetzt, ist nach dem Stand der Technik nicht verfügbar. Wiederanlaufreihenfolge und Freischaltverfahren beschreibt die Betriebsanleitung (Kap. 9.5 und 10.4).

Nr. 7 Mechanisch — Risiko vorher: S 5 · W 2 · **RZ 10**

Fehlende oder unkoordinierte Not-Halt-Funktion zwischen Teilmaschinen (Roboter, Wendetisch, Schweißstromquelle, Absaugung): Ein Not-Halt an einer Teilmaschine stoppt nicht zwingend alle anderen Teilmaschinen; Personen können durch weiterlaufende Komponenten gefährdet werden.

Teilmaschine: Gesamtanlage (Not-Halt-Koordination) · auch in: Betrieb, Einrichten · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Inhärente Möglichkeiten ausgeschöpft: Die Koordination mehrerer eigenständiger Steuerungen erfordert zwingend eine übergeordnete Steuerungslogik. Eine rein konstruktive Maßnahme (Geometrie, Energiebegrenzung, Substitution) kann die fehlende Verknüpfung der Not-Halt-Kreise nicht ersetzen. Das Funktionsprinzip der verketteten Anlage bedingt die Notwendigkeit einer aktiven Steuerungskoordination.
Stufe 2 · Technisch	Übergeordneter Not-Halt-Kreis (SF-03) nach EN ISO 13850:2015 und EN ISO 11161:2007+A1:2010: Alle Not-Halt-Befehlsgeräte der Gesamtanlage werden in einen gemeinsamen, übergeordneten Sicherheitskreis eingebunden, der beim Auslösen an beliebiger Stelle alle gefahrbringenden Teilmaschinen (Roboter, Wendetisch, Schweißstromquelle, Pneumatik) koordiniert stillsetzt; die Absaugung läuft betrieblich nach. Stopp-Kategorie 1 nach EN 60204-1:2018 (gesteuertes Stillsetzen, danach Energietrennung): Der Roboter führt einen kontrollierten Stopp entlang seiner Bahn aus, der Wendetisch bremst aktiv ab, die Schweißstromquelle wird spannungsfrei geschaltet, die Spanner bleiben über das Druckhalteventil gespannt. Der Nachlauf der Absaugung ist keine Sicherheitsfunktion, aber betrieblich erforderlich. Die Sicherheitsfunktion SF-03 ist mit PLr d nach EN ISO 13849-1:2023 festgelegt und in Kategorie 3 mit PL d ausgeführt. Die Einbindung des Roboters erfolgt über die Robotersteuerung gemäß EN ISO 10218-2:2025 Abschnitt 5.3.3 (Wirkungsbereich des Not-Halts, Sicherheitsschnittstelle zur übergeordneten Steuerung). Die Not-Halt-Befehlsgeräte sind nach EN ISO 13850:2015 auszuführen (Pilzdrucktaster, gelber Hintergrund, selbstarretierend, Entriegelung nur durch bewusste Handlung). Anordnung der Not-Halt-Befehlsgeräte so, dass von jeder Bedienstelle aus mindestens ein Befehlsgerät ohne Gefährdung erreichbar ist (EN ISO 13850:2015). Verriegelung der Wiederanlauffreigabe: Nach einem Not-Halt ist ein manueller Reset erforderlich, bevor die Anlage wieder anlaufen kann (EN ISO 13850:2015 Abschnitt 4.1.4), um unerwarteten Wiederanlauf nach EN ISO 14118:2018 zu verhindern.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Beschreibung der Not-Halt-Topologie der Gesamtanlage mit Lageplan aller Not-Halt-Befehlsgeräte und Wirkungsbereich je Befehlsgerät. Klare Anweisung, dass nach einem Not-Halt vor dem Reset der Gefahrbereich aller Teilmaschinen zu inspizieren ist. Einrichtbetrieb und Fehlersuche: Anweisung, dass Eingriffe in den Gefahrbereich nur nach vollständigem Stillstand aller Teilmaschinen und bei gegen Schließen gesicherter Wartungstür (persönliches Vorhängeschloss in der Sperrvorrichtung) zulässig sind. Qualifikationsanforderung: Einrichten und Fehlersuche nur durch unterwiesenes Fachpersonal, das die Not-Halt-Topologie kennt. Kennzeichnung am Bedienpult: Textschild mit dem Wirkungsbereich der Not-Halt-Befehlsgeräte (Not-Halt wirkt auf alle Teilmaschinen der Zelle), ergänzt durch Warnzeichen W018 'Warnung vor automatischem Anlauf' nach EN ISO 7010:2020.

Risiko nachher: S 5 · W 1 · **RZ 5 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 5 (S 5, W 1) bei der Not-Halt-Koordination. Die Verknüpfung der Not-Halt-Kreise mehrerer Teilmaschinen ist nur steuerungstechnisch möglich; eine Maßnahme der Stufe 1 gibt es dafür nicht. Umgesetzt ist ein übergeordneter Not-Halt-Kreis SF-03 in Kategorie 3 mit PL d, der von jedem Befehlsgerät (Bedienpult, Wartungstür, Teach-Pendant) Roboter, Wendetisch, Schweißstromquelle und Pneumatik gemeinsam stillsetzt, mit manuellem Reset nach EN ISO 13850:2015 und Wirkungsbereich nach EN ISO 11161:2007+A1:2010; der erforderliche Performance Level ist erreicht, die Prüfpunkte zum Not-Halt sind bestanden. Verbleibend ist der Nachlauf während des gesteuerten Stillsetzens nach Stopp-Kategorie 1. Diese Kategorie ist gewählt, weil der Roboter geführt auf seiner Bahn bremst und die Spanner das Werkstück über das Druckhalteventil halten; ein Stillsetzen nach Kategorie 0 gäbe diese Führung auf, ohne den Nachlauf zu beseitigen. Der Not-Halt ist eine ergänzende Schutzmaßnahme und ersetzt keine Schutzeinrichtung. Anordnung und Wirkungsbereich der Befehlsgeräte stehen in der Betriebsanleitung (Kap. 2.5 und 9.5) und auf dem Textschild am Bedienpult.

Nr. 10 Mechanisch — Risiko vorher: S 3 · W 3 · **RZ 9**

Stolper-, Rutsch- und Sturzgefahr im Bereich des Beschickungsplatzes und des Wartungsgangs durch Schweißspritzer auf dem Boden, Kabel, Schläuche (Druckluft, Schutzgas) und nasse Stellen bei Reinigungsarbeiten.

Teilmaschine: Beschickungsplatz / Wartungsgang · auch in: Betrieb, Einrichten, Wartung, Reinigung · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Kabel und Schläuche (Druckluft, Schutzgas) durch konstruktive Führung in Kabelkanälen, Energieführungsketten oder deckenseitig abgehängten Leitungsführungen aus dem Bodenbereich des Beschickungsplatzes und des Wartungsgangs heraushalten, sodass keine Stolperstellen entstehen. Anschlüsse am Beschickungsplatz als Deckenpendel oder wandseitige Steckdosenfelder ausführen. Schweißspritzer-Exposition am Boden durch konstruktive Abschirmbleche (Spritzschutzbleche) an der Schweißstation reduzieren, sodass der Austrag in den Bedienbereich minimiert wird. Der Hallenboden gehört nicht zum Lieferumfang; die Anforderung an den Aufstellort (rutschhemmender Bodenbelag) wird in Stufe 3 an den Betreiber weitergegeben.
Stufe 2 · Technisch	Restrisiko durch verbleibende Stolper- und Rutschstellen mit folgenden technischen Maßnahmen begrenzen: (1) Bodenmarkierungen (gelb/schwarz nach ASR A1.3) zur Kennzeichnung der Verkehrswege und Gefahrenbereiche gemäß (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.5.15. (2) Ausreichende ortsfeste Beleuchtung des Beschickungsplatzes und Wartungsgangs nach (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.1.4, sodass Hindernisse und nasse Stellen frühzeitig erkannt werden können; die maschinenintegrierte Beleuchtung nach EN 1837 liefert 500 lx am Beschickungsplatz, 200 lx im Wartungsgang. (3) Spritzschutzmatten im unmittelbaren Schweißbereich, die einfach zu entnehmen und zu reinigen sind.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): (1) Hinweis auf Stolper- und Rutschgefahr durch Schweißspritzer, Schläuche und Nässe; Reinigungsintervalle und Reinigungsverfahren für den Bodenbereich vorschreiben. (2) Qualifikationsanforderung: Alle Personen, die den Beschickungsplatz und Wartungsgang betreten, müssen in die Gefahren und die Verkehrswegeführung eingewiesen sein. (3) PSA-Angabe: Sicherheitsschuhe mit rutschhemmender Sohle (S3 nach EN ISO 20345) sind beim Betreten des Beschickungsplatzes und Wartungsgangs zu tragen. (4) Warnkennzeichnung am Zugang zum Beschickungsplatz und Wartungsgang: Warnzeichen W011 'Warnung vor Rutschgefahr' und Gebotszeichen M008 'Fußschutz benutzen' nach EN ISO 7010:2020 anbringen. (5) Anforderung an den Aufstellort: rutschhemmender Bodenbelag am Beschickungsplatz und im Wartungsgang, Bewertungsgruppe mindestens R 11 nach DGUV Regel 108-003.

Risiko nachher: S 3 · W 2 · **RZ 6 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 6 (S 3, W 2) durch Stolpern, Rutschen und Stürzen. Nach Stufe 1 sind Kabel und Schläuche aus dem Bodenbereich herausgeführt, Spritzschutzbleche verringern den Spritzeraustrag. Verbleibend sind Schweißspritzer, die durch die für die Beschickung offene Öffnung auf den Boden gelangen, und Nässe bei Reinigungsarbeiten. Die Öffnung muss für das Einlegen offen bleiben, und der Hallenboden gehört nicht zum Lieferumfang; weitere konstruktive Maßnahmen an der Maschine erreichen diese Ursachen nicht. Nach Stufe 2 sind die Verkehrswege markiert, der Beschickungsplatz mit 500 lx und der Wartungsgang mit 200 lx beleuchtet und im Schweißbereich entnehmbare Spritzschutzmatten vorgesehen; die Prüfung der Stolper- und Rutschstellen ist bestanden. Eine darüber hinausgehende technische Maßnahme würde nur die Bodenreinigung ersetzen, die als tägliche Tätigkeit festgelegt ist. Die tägliche Reinigung (Betriebsanleitung Kap. 10.2), rutschhemmende Sicherheitsschuhe S3, die Zeichen W011 und W007 (Kap. 2.4) und die Anforderung an einen rutschhemmenden Bodenbelag am Aufstellort (Übersicht der Restgefahren, Kap. 2.6) bilden die Benutzerinformation.

Nr. 11 Mechanisch — Risiko vorher: S 5 · W 2 · **RZ 10**

Gefährdung durch gleichzeitigen Zugang mehrerer Personen in verschiedene Zonen der Zelle (EN ISO 11161): Eine zweite Person hält sich im Zelleninneren auf, ohne dass der Einrichter dies erkennt; beim Anlauf des Roboters oder des Wendetischs wird die zweite Person getroffen.

Teilmaschine: Gesamtanlage (Zonenzugang) · auch in: Einrichten, Wartung · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Inhärente Möglichkeiten ausgeschöpft: Das Funktionsprinzip der Gesamtanlage erfordert begehbare Zonen für Einricht-, Wartungs- und Fehlersucharbeiten. Die Gefährdung entsteht durch das gleichzeitige Vorhandensein mehrerer Personen in verschiedenen Zonen, was konstruktiv nicht durch Geometrie, Abstand oder Energiebegrenzung allein aufgelöst werden kann, ohne den Betriebszweck zu unterbinden. Eine Reduktion der Roboter- oder Wendetischenergie auf ein Maß, das Verletzungen sicher ausschließt, ist bei diesem Anlagentyp technisch nicht realisierbar.
Stufe 2 · Technisch	1. Personensicherung beim Zugang mehrerer Personen nach EN ISO 11161:2007+A1:2010: Die Wartungstür hat eine Sperrvorrichtung für persönliche Vorhängeschlösser. Jede Person, die die Zelle betritt, hängt ihr persönliches Vorhängeschloss in die Sperrvorrichtung der geöffneten Tür ein. Solange ein Schloss eingehängt ist, lässt sich die Tür nicht schließen und der Automatikbetrieb nicht starten. Bewegungen sind dann nur in der Betriebsart Einrichten mit betätigter Zustimmeinrichtung und sicher reduzierter Geschwindigkeit möglich. Quittiert wird ausschließlich von außen am Bedienpult. 2. Zuhaltung der Wartungstür nach EN ISO 14119:2025 mit Fluchtentriegelung von innen nach EN ISO 14119:2025 Abschnitt 6.9.1, damit eingeschlossene Personen die Zelle jederzeit verlassen können. 3. Die Freigabe des Automatikanlaufs (Roboter und Wendetisch) ist als Sicherheitsfunktion ausgeführt: Automatikanlauf nur möglich, wenn die Wartungstür geschlossen und zugehalten ist und von außen quittiert wurde. Die Zugangsfunktion ist SF-01 (Stillsetzen beim Öffnen der Wartungstür) mit PLr d nach EN ISO 13849-1:2023. Die Schwenkfreigabe des Wendetisches bleibt unabhängig davon durch SF-04 (PLr e) abgesichert. 4. Im Einrichtbetrieb gilt SF-05 (sicher reduzierte Geschwindigkeit 250 mm/s mit Zustimmeinrichtung, PLr d nach EN ISO 13849-1:2023). Die Zustimmeinrichtung ist personengebunden. Die Zelle hat genau eine Zustimmeinrichtung am Teach-Pendant; Bewegungen im Einrichtbetrieb sind deshalb nur zulässig, wenn sich außer der Person mit der Zustimmeinrichtung niemand im Zelleninneren aufhält (Verfahrensanweisung siehe Stufe 3). 5. Sicherheitsabstände zwischen Roboter-Arbeitsraum und Aufenthaltsbereichen nach EN ISO 13857:2019 Tabelle 2 und EN ISO 10218-2:2025 Abschnitte 5.4.6 und 5.8.9 sind eingehalten.
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Beschreibung der Personensicherung an der Wartungstür (persönliches Vorhängeschloss je Person in der Sperrvorrichtung, Fluchtentriegelung von innen), der Pflicht zum Einhängen des Schlosses vor dem Betreten und zum Entfernen erst nach dem Verlassen der Zelle. Verfahrensanweisung für Mehrpersoneneinsätze (Einrichten, Wartung, Fehlersuche) mit klarer Rollenzuweisung (verantwortliche Person, Koordination). 2. Warnkennzeichnung an der Wartungstür: Warnzeichen W018 'Warnung vor automatischem Anlauf' nach EN ISO 7010:2020, Textschild 'Vor dem Betreten persönliches Schloss einhängen'. 3. Qualifikationsanforderung: Einricht- und Wartungspersonal muss in das Mehrpersonen-Zugangskonzept und den Gebrauch der Sperrvorrichtung für persönliche Vorhängeschlösser und der Fluchtentriegelung eingewiesen sein. Die Einweisung ist zu dokumentieren. 4. PSA-Angabe in der Betriebsanleitung: Sicherheitsschuhe S3 nach EN ISO 20345, eng anliegende Schutzkleidung (kein Einzugsrisiko durch lose Kleidung) beim Aufenthalt im Zelleninneren.

Risiko nachher: S 5 · W 1 · **RZ 5 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 5 (S 5, W 1) beim Zugang mehrerer Personen. Einricht-, Wartungs- und Fehlersucharbeiten verlangen begehbare Zonen; die Gefährdung einer zweiten Person lässt sich nicht durch Geometrie oder Energiebegrenzung auflösen (Stufe 1). Nach Stufe 2 hängt jede eintretende Person ihr persönliches Vorhängeschloss in die Sperrvorrichtung der Wartungstür; solange ein Schloss hängt, lässt sich die Tür nicht schließen und der Automatikbetrieb nicht starten, quittiert wird nur von außen (SF-01, PL d). Bewegungen sind dann nur im Einrichtbetrieb mit der einzigen, personengebundenen Zustimmeinrichtung und 250 mm/s möglich (SF-05, PL d), und die Fluchtentriegelung erlaubt jederzeit das Verlassen von innen. Diese Personensicherung folgt EN ISO 11161:2007+A1:2010. Verbleibend ist eine Person, die die Zelle ohne eigenes Schloss betritt, während der Einrichter Bewegungen auslöst; auch dann bewegt sich die Anlage nur mit reduzierter Geschwindigkeit unter der Zustimmeinrichtung des Einrichters. Das Einhängen des Schlosses bleibt eine Handlung jeder einzelnen Person; eine weitere Maßnahme der Stufe 1 oder 2, die dieses Fehlverhalten verhindert, ohne die Einrichtarbeiten einzuschränken, wurde nicht ermittelt. Verfahrensanweisung für Mehrpersoneneinsätze, Textschild an der Tür und Unterweisung: Betriebsanleitung Kap. 2.4, 2.5, 2.6 und 9.3.

Nr. 12 Elektrisch — Risiko vorher: S 5 · W 2 · **RZ 10**

Gefährdung durch direktes oder indirektes Berühren spannungsführender Teile der Schweißstromquelle, des Roboterschaltschranks und der Zellensteuerung (400 V AC, 32 kVA): Berühren von Klemmen, Leitungen oder Schaltschrankinnenseiten bei geöffnetem Schrank ohne Freischaltung kann zu Stromschlag mit Herzflimmern oder Verbrennungen führen.

Teilmaschine: Elektrische Anlage (Schaltschrank / Schweißstromquelle) · auch in: Wartung, Inbetriebnahme · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Alle spannungsführenden Teile im Schaltschrankinneren (Klemmen, Sammelschienen, Leistungsklemmen der Schweißstromquelle) werden mit berührungssicheren Abdeckungen (Schutzgrad mindestens IP 2X bzw. IPXXB nach EN 60204-1:2018 Abschnitt 6.2.2) ausgeführt, sodass das Berühren aktiver Teile durch die Schutzform selbst verhindert wird, ohne dass eine Schutzeinrichtung erforderlich ist. Zusätzlich werden Mindestabstände zwischen spannungsführenden und berührbaren Teilen so ausgelegt, dass der Schutzgrad IP 2X auch bei geöffneter Schranktür gewahrt bleibt (Abdeckkappen, Isolierstoffabdeckungen auf Klemmenreihen). Dies adressiert (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.5.1 (Elektrische Energieversorgung) sinngemäß sowie EN 60204-1:2018 Abschnitt 6.2.
Stufe 2 · Technisch	1. Freischaltung und Energielosigkeit (LOTO): Hauptschalter mit abschließbarer Nullstellung nach EN 60204-1:2018 Abschnitt 5.3 und EN ISO 14118:2018 (Vermeidung von unerwartetem Anlauf / Energietrennung). Der Hauptschalter muss als Trenneinrichtung die gesamte Anlage allpolig vom Netz trennen; Restspannung an Kondensatoren der Schweißstromquelle ist durch Entladezeit oder aktive Entladeschaltung auf unter 60 V DC innerhalb von 5 s zu begrenzen; wo das nicht erreicht wird, steht am Gehäuse ein Warnhinweis mit der Entladezeit (EN 60204-1:2018 Abschnitt 6.2.4). Verriegelung der Schranktür: Schranktüren der Hauptschaltschränke erhalten einen Verschluss, der sich nur mit Schlüssel öffnen lässt und das unbefugte Öffnen verhindert (EN 60204-1:2018 Abschnitt 6.2.2). 2. Schutzpotenzialausgleich und Schutzleiter: Alle Schaltschrankgehäuse, Schweißstromquelle und Roboterschaltschrank werden über einen durchgehenden Schutzleiter (PE) mit ausreichendem Querschnitt verbunden (EN 60204-1:2018 Abschnitt 8.2), sodass bei einem Isolationsfehler der Fehlerstrom sicher abgeleitet und die Schutzeinrichtung (Leitungsschutzschalter / FI-Schutzschalter) auslöst. 3. Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD): Einsatz eines RCD (Typ B, da Gleichfehlerströme aus Frequenzumrichtern und Schweißstromquelle möglich) mit einem Bemessungsdifferenzstrom von 30 mA für Stromkreise, an denen Personen tätig sind; in Stromkreisen, in denen ein RCD mit dem Schweißprozess nicht vereinbar ist, stattdessen Isolationsüberwachung (EN 60204-1:2018 Abschnitte 6.3.3 und 7.7). Keine Sicherheitsfunktion mit PLr-Anforderung; die Maßnahmen wirken passiv-konstruktiv (Warnkennzeichnung siehe Stufe 3).
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Freischaltprozedur (LOTO) mit Schritt-für-Schritt-Anweisung dokumentieren, einschließlich Entladezeit der Kondensatoren der Schweißstromquelle und Prüfung auf Spannungsfreiheit mit geeignetem Messgerät (Spannungsprüfer Kategorie CAT III 600 V). Qualifikationsanforderung: Arbeiten an der elektrischen Anlage dürfen ausschließlich durch Elektrofachkräfte (EFK) gemäß DGUV Vorschrift 3 oder unter Aufsicht einer EFK durch elektrotechnisch unterwiesene Personen durchgeführt werden. PSA-Angabe: Isolierende Handschuhe (nach EN 60903, Klasse 00 für Spannungen bis 500 V AC), Schutzbrille (Lichtbogenschutz) und elektrisch isolierendes Schuhwerk sind bei Arbeiten im geöffneten Schrank zu tragen. Warnkennzeichnung: Warnzeichen W012 'Warnung vor elektrischer Spannung' nach EN ISO 7010:2020 dauerhaft und gut sichtbar an allen Schranktüren und an der Schweißstromquelle anbringen. Restrisiko-Hinweis in der Betriebsanleitung: Nach Betätigung des Hauptschalters können Kondensatoren in der Schweißstromquelle und im Frequenzumrichter des Roboters noch gefährliche Spannungen führen (Wartezeit bei der Schweißstromquelle mindestens 1 Minute, beim Roboterantrieb nach Angabe des Roboterherstellers); Spannungsfreiheit ist stets messtechnisch zu prüfen.

Risiko nachher: S 5 · W 1 · **RZ 5 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 5 (S 5, W 1) durch elektrische Spannung 400 V AC. Nach Stufe 1 sind die aktiven Teile fingersicher abgedeckt (IP 2X nach EN 60204-1:2018 Abschnitt 6.2.2), auch bei geöffneter Schranktür. Nach Stufe 2 trennt der abschließbare Hauptschalter allpolig, die Schranktüren lassen sich nur mit Schlüssel öffnen, der Zwischenkreis der Schweißstromquelle entlädt gemessen in 1,9 s auf höchstens 60 V, Schutzleiter (0,08 Ω), Fehlerschleifenimpedanz (0,28 Ω) und Isolationswiderstand (> 100 MΩ) sind geprüft, und der Fehlerschutz erfolgt über RCD Typ B oder Isolationsüberwachung. Verbleibend ist die Tätigkeit der Elektrofachkraft, die bei Inbetriebnahme und Fehlersuche am geöffneten Schrank unter Spannung messen muss. Diese Messungen sind ohne Spannung nicht durchführbar; für diese Lebensphasen ist deshalb keine weitere Maßnahme der Stufe 1 oder 2 praktikabel, und die Schwere bleibt bei 5. Freischaltverfahren mit Prüfung auf Spannungsfreiheit, Qualifikation als Elektrofachkraft, isolierende PSA und das Zeichen W012 stehen in der Betriebsanleitung (Kap. 2.4, 2.6, 8.1 und 10).

Nr. 13 Elektrisch — Risiko vorher: S 4 · W 2 · **RZ 8**

Gefährdung durch Schweißstrom am Werkstück und an der Vorrichtung: Der Schweißstromkreis führt hohe Ströme (typisch 100 bis 350 A); bei fehlerhafter Masseverbindung oder beschädigter Isolation können Personen, die das Werkstück oder die Vorrichtung berühren, einen Stromschlag erhalten.

Teilmaschine: Schweißstromquelle / Vorrichtung · auch in: Einrichten, Betrieb · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Vorrichtungsrahmen und Werkstückaufnahmen so gestalten, dass berührbare leitfähige Flächen, die im Schweißstromkreis liegen, durch konstruktive Isolation (Isolierplatten aus Glasfaser-Epoxid zwischen Vorrichtungsgrundplatte und Maschinentisch sowie isolierende Spannbacken-Einsätze) galvanisch vom Maschinengestell getrennt sind. Dadurch wird der unbeabsichtigte Strompfad über das Gestell und berührbare Außenflächen bereits konstruktiv unterbrochen. Zusätzlich: Masseband-Anschlusspunkt direkt am Werkstück oder an einer definierten, für Bediener nicht berührbaren Stelle der Vorrichtung festlegen und durch Formgebung (Vertiefung, Kabelführungskanal) so integrieren, dass eine Fehlpositionierung der Masseklemme konstruktiv erschwert wird.
Stufe 2 · Technisch	1. Schweißstromquelle: Die Schweißstromquelle hat Schutzklasse I und IP23S nach EN IEC 60974-1; die Einbindung in die Schutzleiterkette der Gesamtanlage erfolgt nach EN 60204-1:2018 Abschnitt 8 (Schutzleiterquerschnitte, Anschlusspunkte). 2. Überwachung der Masseverbindung: Die Massestromüberwachung der Schweißstromquelle ist aktiviert; bei Unterbrechung oder unzulässig hohem Übergangswiderstand wird der Schweißprozess gesperrt. Die Funktion ist eine betriebliche Verriegelung ohne PL-Anforderung (keine Sicherheitsfunktion im Sinne der EN ISO 13849-1:2023); eine Risikominderung wird dafür nicht angerechnet. 3. Potenzialausgleich: Alle leitfähigen Teile der Vorrichtung, die nicht bewusst isoliert sind, werden in den Schutzpotenzialausgleich der Anlage einbezogen (EN 60204-1:2018 Abschnitt 8.2). 4. Zugangsbeschränkung während des Schweißprozesses: Der Beschickungsplatz ist durch den Lichtvorhang (SF-02, PLr e nach EN ISO 13849-1:2023) gesichert; während aktiver Schweißung ist der Zugang zum Schweißbereich durch die verriegelte Wartungstür (SF-01, PLr d) und die Freigabelogik des Wendetisches (SF-04, PLr e) unterbunden, sodass eine Berührung spannungsführender Teile im Automatikbetrieb konstruktiv und steuerungstechnisch verhindert wird. 5. Kabelmanagement: Schweißkabel und Massekabel werden in geschlossenen Kabelkanälen oder Schutzschläuchen geführt (Schutz gegen mechanische Beschädigung); Mindestbiegeradien nach Herstellervorgabe einhalten; Kabel mit Zugentlastung befestigen.
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Beschreibung des korrekten Anschlusses der Masseklemme (Position, Reinigung der Kontaktfläche, zulässige Klemmbereiche); Hinweis, dass das Berühren von Werkstück und Vorrichtung während des Schweißprozesses verboten ist; Prüfintervalle für Isolation und Kabelzustand (arbeitstäglich Sichtprüfung, halbjährlich Isolationsmessung durch Elektrofachkraft, siehe Kapitel 10.2). 2. Qualifikationsanforderung: Einrichten, Fehlersuche und Wartung an der Schweißstromquelle und deren Anschlüssen dürfen nur durch eine Elektrofachkraft oder elektrotechnisch unterwiesene Person unter Aufsicht einer Elektrofachkraft durchgeführt werden (Begriffe nach EN 60204-1:2018 Abschnitt 3.1). 3. Warnkennzeichnung an der Vorrichtung und am Schweißbereich: Warnzeichen W012 'Warnung vor elektrischer Spannung' nach EN ISO 7010:2020 an gut sichtbarer Stelle anbringen; Textschild 'Masseklemme vor Schweißbeginn prüfen'. 4. PSA-Angabe in der Betriebsanleitung: Beim Einrichten und bei der Fehlersuche im Schweißbereich sind isolierende Handschuhe (Schutzklasse geeignet für Niederspannung) sowie Schweißerschutzkleidung zu tragen.

Risiko nachher: S 4 · W 1 · **RZ 4 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 21 Stofflich

Risiko vorher: S 4 · W 2 · **RZ 8**

Gefährdung durch Schutzgas (Argon-CO2-Gemisch M21) bei Leckage: Argon und CO2 sind schwerer als Luft, das Schutzgas kann sich in Bodennähe ansammeln; bei größeren Leckagen in schlecht belüfteten Bereichen besteht Erstickungsgefahr durch Sauerstoffverdrängung.

Teilmaschine: Schutzgasversorgung / Leitungssystem · auch in: Betrieb, Wartung · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Druckbegrenzung im Leitungssystem: Den Betriebsdruck der Schutzgasversorgung auf das für den Schweißprozess minimal erforderliche Niveau begrenzen (Druckminderer am Versorgungsanschluss der Zelle). Ein niedrigerer Systemdruck reduziert die im Fehlerfall austretende Gasmenge und damit das Ansammlungspotenzial. Zusätzlich: Leitungsführung und Verbindungsstellen so gestalten, dass Leckagen konstruktiv minimiert werden: Einsatz von Schneidringverschraubungen oder Pressfittings anstelle von Schlauchschellen an festen Leitungsabschnitten; Schlauchlängen auf das betrieblich notwendige Minimum kürzen; keine Leitungsführung in Bodennähe von Gruben oder abgeschlossenen Kammern (Trassierung in Deckennähe, soweit möglich). Diese Maßnahmen adressieren die Energiequelle (gespeichertes Druckgas) und die Gefahrstelle (Ansammlungszone) direkt.
Stufe 2 · Technisch	1. Automatische Absperrung der Gaszufuhr: Magnetventil (stromlos geschlossen) in der Schutzgaszuleitung, das die Gaszufuhr bei Anlagenstopp, Not-Halt (SF-03) und in Betriebspausen selbsttätig absperrt; zusätzlich Handabsperrventil außerhalb der Zelle. 2. Dichtheitsüberwachung: Plausibilisierung des Gasverbrauchs über die Anlagensteuerung (Meldung bei Gasfluss ohne aktiven Schweißprozess als Leckageindikator); arbeitstägliche Sichtkontrolle der Schlauchverbindungen als Wartungsvorgabe. 3. Aufstellung der bauseitigen Schutzgasversorgung (Flaschenbatterie oder Entnahmestation) in einem belüfteten Hallenbereich, nicht in Gruben, Kellern oder engen Nischen. Bei Aufstellung in schlecht belüfteten Bereichen ist betreiberseitig eine Sauerstoff-Warneinrichtung vorzusehen (Hinweis in der Betriebsanleitung). Eine Sicherheitsfunktion mit PLr-Anforderung ist für diese Gefährdung nicht erforderlich; das Risiko wird über Absperrung, Aufstellung und Lüftung beherrscht.
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Hinweis auf Erstickungsgefahr durch Sauerstoffverdrängung bei größeren Leckagen in schlecht belüfteten Bereichen; Anforderung ausreichender Hallenlüftung am Aufstellungsort; Arbeiten an der Gasversorgung nur bei abgesperrter und entspannter Leitung (EN ISO 14118:2018). 2. Qualifikation: Arbeiten an Druckgasleitungen und Armaturen nur durch unterwiesenes Fachpersonal; Unterweisung nach DGUV Regel 100-500 Kapitel 2.26 und TRGS 528 (Betreiberpflicht). 3. Warnkennzeichnung: allgemeines Warnzeichen W001 nach EN ISO 7010:2020 mit Zusatztext 'Erstickungsgefahr durch Schutzgas' am Aufstellort der Gasversorgung; Verbotszeichen 'Zutritt für Unbefugte verboten' (D-P006 nach ASR A1.3) an abgeschlossenen Versorgungsbereichen. 4. Bei Arbeiten in engen oder schlecht belüfteten Bereichen (z. B. Flaschenwechsel in Nischen): tragbares Sauerstoff-Warngerät verwenden, keine Alleinarbeit.

Risiko nachher: S 4 · W 1 · **RZ 4 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 23 Mechanisch

Risiko vorher: S 4 · W 3 · **RZ 12**

Gefährdung durch Druckluft-Restenergie bei Wartungs- und Störungsbeseitigungsarbeiten: Nach Abschalten der Druckluftversorgung verbleibt Restdruck in Leitungen und Zylindern der Spannvorrichtung; unkontrolliertes Entspannen kann Spannelemente schlagartig bewegen und Personen verletzen oder Werkstücke herausschleudern.

Teilmaschine: Pneumatische Spannvorrichtung / Druckluftsystem · auch in: Wartung · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Druckluft-Restenergie konstruktiv begrenzen: Die pneumatisch schließenden Spanner halten das Werkstück bei Druckabfall über ein entsperrbares Rückschlagventil (Druckhalteventil) in der Spannleitung; der Druckwächter überwacht den Spanndruck (SF-04). Das zwischen Druckhalteventil und Zylinder eingeschlossene Volumen ist konstruktiv minimiert (kurze Leitungen, Druckhalteventile direkt am Zylinder montiert), sodass nur eine kleine Energiemenge gespeichert bleibt. Der eingeschlossene Spanndruck wird vor Eingriffen durch Öffnen der Spanner abgebaut, bei Störungen kontrolliert über die Handhilfsbetätigung des Druckhalteventils. Auslegung nach EN ISO 4414:2010. Hinweis: Die Schwere eines verbleibenden Restenergie-Ereignisses wird durch diese Maßnahme gemindert, da die kinetische Energie der Spannelemente bei kleinem Restvolumen und gedrosselter Entlüftung deutlich geringer ist.
Stufe 2 · Technisch	1. Wartungs-Absperrventil mit Entlüftungsfunktion (Lockout/Tagout-fähig) nach EN ISO 4414:2010 und EN ISO 14118:2018: Absperrventil mit integrierter, gesteuerter Entlüftung (Soft-Exhaust-Funktion) am Eintritt der pneumatischen Spannvorrichtung einbauen; das Ventil muss in der Absperrstellung den nachgelagerten Leitungsabschnitt kontrolliert und gedrosselt entlüften, bevor Eingriffe möglich sind. Das Ventil ist mit einem Schloss (Lockout-Vorrichtung) zu sichern. 2. Druckmanometer oder Druckanzeige am Leitungsabschnitt zwischen Absperrventil und Zylinder, damit der Bediener den Druckabbau auf 0 bar visuell verifizieren kann (EN ISO 4414:2010). 3. Restdruckanzeige am Wartungszugang: Die Drucklosigkeit wird vor dem Eingriff an der Restdruckanzeige geprüft; die Anzeige ist eine betriebliche Einrichtung ohne PL-Anforderung nach EN ISO 13849-1:2023. 4. Trennende Schutzeinrichtung: Die Spannvorrichtungen liegen innerhalb des Schutzzauns (EN ISO 14120:2015); der Zugang für Wartung und Störungsbeseitigung erfolgt über die Wartungstür mit Zuhaltung nach EN ISO 14119:2025 (SF-01, PLr d).
Stufe 3 · Information	1. Betriebsanleitung ((EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Arbeitsanweisung für Wartung und Störungsbeseitigung an der pneumatischen Spannvorrichtung mit explizitem Schritt-für-Schritt-Ablauf: (a) Werkstück entnehmen und Spanner öffnen, (b) Druckluftversorgung am Wartungsabsperrventil absperren und Entlüftung abwarten, (c) eingeschlossenen Restdruck bei Störung über die Handhilfsbetätigung des Druckhalteventils ablassen, Restdruckanzeige auf 0 bar prüfen, (d) Lockout-Schloss setzen, (e) erst dann Eingriff in das System. Hinweis auf Gefahr durch Restdruck und herausgeschleuderte Werkstücke aufnehmen. 2. Warnkennzeichnung an der Spannvorrichtung und am Absperrventil: allgemeines Warnzeichen W001 nach EN ISO 7010:2020 mit Zusatztext 'Restdruck in der Spannvorrichtung'; Hinweisschild 'Vor Eingriff: Druck auf 0 bar entlüften und Absperrventil verriegeln'. 3. Qualifikationsanforderung: Wartungs- und Störungsbeseitigungsarbeiten an der Pneumatik nur durch unterwiesene Fachkräfte mit Kenntnissen der Pneumatik-Sicherheitsregeln (EN ISO 4414:2010). 4. PSA-Angabe: Schutzbrille (Augenschutz gegen wegfliegende Teile) und Schutzhandschuhe beim Öffnen pneumatischer Verbindungen vorschreiben.

Risiko nachher: S 3 · W 1 · **RZ 3 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 31 Kombination — Risiko vorher: S 5 · W 2 · **RZ 10**

Gefährdung durch unterschiedliche Sicherheitsniveaus der Teilmaschinen verschiedener Hersteller (Roboter, Schweißstromquelle, Wendetisch, Absaugung): Fehlende oder unvollständige Schnittstellenverriegelung zwischen den Teilmaschinen kann dazu führen, dass eine Teilmaschine anläuft, obwohl eine andere sich in einem unsicheren Zustand befindet (EN ISO 11161).

Teilmaschine: Gesamtanlage (Systemintegration) · auch in: Inbetriebnahme, Betrieb · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Systemarchitektur mit einer einzigen, übergeordneten Sicherheitssteuerung (Safety-Master) als inhärent sicheres Steuerungsprinzip nach EN ISO 12100 Abschnitt 6.2.11: Alle sicherheitsrelevanten Zustandssignale der Teilmaschinen (Roboter-Betriebsart, Wendetisch-Endlage, Absaugung-Betrieb, Schweißstromquelle-Bereit) werden ausschließlich über den Safety-Master geführt. Kein Teilmaschinen-Antrieb erhält eine Freigabe, ohne dass der Safety-Master den Gesamtzustand als sicher bewertet hat. Durch diese Zentralisierung wird die Möglichkeit einer unvollständigen Schnittstellenverriegelung konstruktiv auf ein Minimum reduziert: Es gibt keine parallelen, voneinander unabhängigen Freigabepfade zwischen den Teilmaschinen. Die Schnittstellendefinition erfolgt nach EN ISO 11161:2007+A1:2010 (Systemintegration, Verantwortlichkeiten, Schnittstellenbeschreibung) und wird im Sicherheitskonzept der Gesamtanlage dokumentiert.
Stufe 2 · Technisch	1. Verriegelungsmatrix nach EN ISO 11161:2007+A1:2010: Für jede Teilmaschinen-Kombination wird eine vollständige Zustandsmatrix (Betriebsart x Zustand der anderen Teilmaschinen) erstellt und in der Sicherheitssteuerung implementiert. Jede Freigabe ist als UND-Verknüpfung aller relevanten Sicherheitszustände ausgeführt. 2. Sicherheitsfunktion SF-04 (Freigabe der 180-Grad-Schwenkbewegung des Wendetisches nur bei freiem Schwenkbereich, PLr e) stellt sicher, dass der Wendetisch nur schwenkt, wenn das Schutzfeld des Lichtvorhangs frei ist, die Spanner gespannt sind und der Roboter nachweislich außerhalb des Schwenkbereichs steht. Die Sicherheitsfunktion wird nach EN ISO 13849-1:2023 auf PLr e ausgelegt und nach EN ISO 13849-2:2012 validiert. 3. Sicherheitsfunktion SF-01 (Sicheres Stillsetzen beim Öffnen der Wartungstür, Stopp-Kategorie 1, PLr d) und SF-02 (Sicheres Stillsetzen bei Unterbrechung des Lichtvorhangs, PLr e) werden gesamtanlagenweit koordiniert: Ein Stopp-Signal einer Teilmaschine löst über den Safety-Master den koordinierten Stopp aller Teilmaschinen aus. Für Roboter und Wendetisch gilt Stopp-Kategorie 1 nach EN 60204-1:2018 Abschnitt 9.2.2. 4. Not-Halt der Gesamtanlage (SF-03, Stopp-Kategorie 1, PLr d) nach EN ISO 13850:2015 wirkt auf alle Teilmaschinen gleichzeitig über den Safety-Master. Not-Halt-Befehlsgeräte sind am Bedienpult, an der Wartungstür und am Teach-Pendant angeordnet. 5. Wiederanlaufsperre nach EN ISO 14118:2018: Nach jedem Stopp (Not-Halt, Schutzeinrichtungsauslösung, Energieunterbrechung) ist ein bewusster Wiederanlaufbefehl erforderlich; automatischer Wiederanlauf ist ausgeschlossen. 6. Einrichtbetrieb mit sicher reduzierter Geschwindigkeit (SF-05, 250 mm/s, PLr d) und Zustimmeinrichtung nach EN ISO 10218-2:2025 Abschnitt 5.7.7; Roboter und Wendetisch bewegen sich in diesem Modus nur mit betätigter Zustimmeinrichtung und sicher reduzierter Geschwindigkeit, die Schweißstromquelle wird bei geöffneter Wartungstür über SF-01 sicher abgeschaltet.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung der Gesamtanlage nach (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4: Die Schnittstellenverriegelungslogik (Zustandsmatrix, Freigabebedingungen je Teilmaschine) ist vollständig zu dokumentieren. Für jede Teilmaschine ist der Übergabepunkt der Sicherheitsverantwortung (Hersteller der Teilmaschine bis Schnittstelle, Integrator ab Schnittstelle) gemäß EN ISO 11161:2007+A1:2010 im Sicherheitskonzept der Gesamtanlage schriftlich festgelegt und in der Betriebsanleitung auszuweisen. Qualifikationsanforderung: Inbetriebnahme, Parametrierung und Änderungen an der Sicherheitssteuerung dürfen ausschließlich durch qualifiziertes Fachpersonal mit Kenntnissen in EN ISO 13849-1:2023 und EN ISO 11161 durchgeführt werden. Warnkennzeichnung am Bedienpult: Warnung vor automatischem Anlauf (W018 nach EN ISO 7010:2020). Betriebsanleitung muss Verfahren für Fehlersuche und Inbetriebnahme beschreiben, einschließlich der Reihenfolge, in der Teilmaschinen in Betrieb genommen werden dürfen, und der Prüfschritte zur Verifikation der Schnittstellenverriegelung vor dem ersten Automatikbetrieb.

Risiko nachher: S 5 · W 1 · **RZ 5 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 5 (S 5, W 1) an den Schnittstellen der Teilmaschinen verschiedener Hersteller. Roboter (unvollständige Maschine mit Einbauerklärung), Schweißstromquelle und Absaugung bringen eigene Steuerungen mit, ihre Integration verlangt eine übergeordnete Logik. Nach Stufe 1 laufen alle sicherheitsrelevanten Zustände über eine einzige Sicherheits-SPS ohne parallele Freigabepfade. Nach Stufe 2 ist eine Verriegelungsmatrix aller Betriebsarten und Zustände als UND-Verknüpfung umgesetzt, SF-01 bis SF-05 wirken gesamtanlagenweit, jeder Stopp führt zum koordinierten Stopp aller Teilmaschinen, und die Validierung erfolgt nach EN ISO 13849-2:2012 und EN ISO 11161:2007+A1:2010. Verbleibend ist ein systematischer Fehler in der Spezifikation der Matrix, der bei der Validierung unentdeckt bleibt. Die interne Sicherheit der zugekauften Teilmaschinen liegt beim jeweiligen Hersteller; an den Schnittstellen, für die der Hersteller der Gesamtheit verantwortlich ist, ist keine weitere Maßnahme der Stufe 1 oder 2 erkennbar, die über die zentrale Verriegelung und ihre Validierung hinausgeht. Übergabepunkte der Verantwortung, Inbetriebnahmereihenfolge und Prüfschritte der Schnittstellenverriegelung: Betriebsanleitung Kap. 1.1, 2.6 und 8.3.

Nr. 41 Korrumpierung/Security — Risiko vorher: S 3 · W 3 · **RZ 9**

Fehlende oder unvollständige Nachweise über Eingriffe (Protokollierung): Eingriffe in sicherheitsrelevante Hardware, Software oder Konfiguration werden nicht oder ohne Zeitstempel und Urheber aufgezeichnet, Protokolle überschreiben sich nach kurzer Zeit oder sind manipulierbar. Unrechtmäßige Eingriffe bleiben unentdeckt, das Rückverfolgungsprotokoll ist auf behördliche Anforderung nicht verfügbar. [MVO (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.1.9 Abs. 2, 1.1.9 Abs. 5, 1.2.1 lit. f]

Teilmaschine: Steuerung / Protokollierung · auch in: Betrieb, Wartung

Stufe 1 · Inhärent	Ereignisprotokollierung als feste Funktion der Steuerung vorsehen (nicht abschaltbar durch Bediener), mit ausreichend dimensioniertem, nichtflüchtigem Speicher.
Stufe 2 · Technisch	Protokollierung sicherheitsrelevanter Ereignisse mit Zeitstempel, Benutzer und Änderungsinhalt (Anmeldung, Parameter- und Konfigurationsänderung, Software-Upload mit Version und Prüfsumme, Öffnen sicherheitsrelevanter Baugruppen, Fernzugriffssitzungen), Schutz gegen Löschen und Verändern, Export in lesbarer Form, Aufbewahrung der Uploads und zugehörigen Daten bis fünf Jahre nach dem Hochladen (Anhang III Nr. 1.2.1 lit. f). Nachweis-Referenz Weg B: IEC 62443-3-3 SR 2.8, SR 2.9, SR 2.11, SR 3.9, SR 6.1.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung: Zugriff auf und Export der Protokolle, Aufbewahrungspflichten des Betreibers bei Weitergabe der Maschine, Vorgehen bei behördlicher Anforderung, Hinweis auf Speicherkapazität und Zeitsynchronisation.

Risiko nachher: S 3 · W 1 · **RZ 3 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Nr. 43 Korrumpierung/Security — Risiko vorher: S 5 · W 2 · **RZ 10**

Ungesicherter Engineering-Zugang zur Sicherheitssteuerung: Der Programmierzugang der Sicherheitssteuerung oder der Sicherheits-SPS ist ohne Passwort oder mit Herstellerstandard erreichbar, das Sicherheitsprogramm kann im laufenden Betrieb überschrieben oder in den Stopp-Zustand versetzt werden, Forcen von Ein- und Ausgängen ist möglich. Schutzfunktionen werden unwirksam oder Aktoren direkt angesteuert. [MVO (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.1.9 Abs. 2, 1.1.9 Abs. 3, 1.2.1 lit. a]

Teilmaschine: Sicherheitssteuerung / Engineering · auch in: Inbetriebnahme, Wartung

Stufe 1 · Inhärent	Programmierzugang der Sicherheitssteuerung physisch getrennt vom Prozessnetz (eigener Port, im verschlossenen Schaltschrank), kein Forcen sicherheitsrelevanter Signale im Serienstand, Programmänderung nur im gesicherten Stopp-Zustand der Maschine.
Stufe 2 · Technisch	Individuelles Passwort für den Sicherheitsprogrammzugang mit Passwortpflicht bei Inbetriebnahme, Schreibschutz und Zugriffsschutzstufen der Steuerung aktiviert, Protokollierung aller Zugriffe und Programmänderungen mit Version und Prüfsumme, Anzeige des Programmzustands am HMI. Nachweis-Referenz Weg B: IEC 62443-3-3 SR 1.1, SR 1.5, SR 2.1, SR 2.8, SR 3.4, SR 7.7.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung: Zugriffsschutz und Passwortverwaltung als Betreiberpflicht, Verbot der Programmänderung ohne erneute Prüfung und Dokumentation, Verweis auf die Anforderungen bei wesentlicher Veränderung.

Risiko nachher: S 5 · W 1 · **RZ 5 (mittel)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Begründung der Akzeptanz: Restrisiko RZ 5 (S 5, W 1) über den Engineering-Zugang der Sicherheitssteuerung. Der Zugang muss für Inbetriebnahme, Wartung und Fehlersuche erhalten bleiben. Nach Stufe 1 liegt der Programmierport getrennt vom Prozessnetz im verschlossenen Schaltschrank, Forcen sicherheitsrelevanter Signale ist im Serienstand ausgeschlossen, und Programmänderungen sind nur im gesicherten Stopp-Zustand zulässig. Nach Stufe 2 sind individuelles Passwort, Schreibschutz und Zugriffsschutzstufen aktiv, jeder Zugriff und jede Programmänderung wird mit Version und Prüfsumme protokolliert, und der Programmzustand ist am HMI-Panel abrufbar (Nachweis nach IEC 62443-3-3 SR 1.1, 1.5, 2.1, 2.8, 3.4 und 7.7). Verbleibend ist der Missbrauch oder Fehler einer Person mit gültigem Passwort und Schrankschlüssel. Eine technische Maßnahme, die berechtigte von missbräuchlichen Änderungen unterscheidet, ist nach dem Stand der Technik nicht verfügbar; Abweichungen werden über den Abgleich von Version und Prüfsumme mit dem Abnahmeprotokoll erkennbar. Die Passwortverwaltung als Betreiberpflicht und das Verbot von Programmänderungen ohne erneute Prüfung und Dokumentation stehen in der Betriebsanleitung (Kap. 2.6 und 13).

Nr. 44 Korrumpierung/Security — Risiko vorher: S 4 · W 3 · **RZ 12**

Unautorisierter oder fehlerhafter Fernzugriff über das Fernwartungs-Gateway: Über die IPsec-VPN-Verbindung des Fernwartungs-Gateways greift eine unbefugte Person mit ausgespähten Zugangsdaten oder ein berechtigter Techniker zur falschen Zeit in die Zellensteuerung ein: Programm- oder Parameteränderung, Quittieren von Störungen oder Starten von Bewegungen, während sich Personen am Beschickungsplatz oder im Wartungsgang befinden. [MVO (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.1.9 Abs. 1, 1.1.9 Abs. 3, 1.2.1 lit. a, 1.2.1 lit. d]

Teilmaschine: Fernwartungs-Gateway / Zellensteuerung · auch in: Betrieb, Wartung

Stufe 1 · Inhärent	Fernzugriff konstruktiv ohne Möglichkeit, gefahrbringende Bewegungen auszulösen oder Sicherheitsfunktionen zu überbrücken: Das Fernwartungs-Gateway erreicht nur die Standardsteuerung und das HMI-Panel, die Sicherheits-SPS hat keinen Fernzugriffspfad. Bewegungsbefehle und das Quittieren von Störungen sind nur von Bedienungsplätzen mit Sicht auf den Gefahrenbereich möglich (Anhang III Nr. 1.2.2).
Stufe 2 · Technisch	Fernwartung im Auslieferungszustand gesperrt; Freischaltung nur vor Ort am Bedienpult mit dem Schlüsselschalter, automatisches Sitzungsende nach vier Stunden, Anzeige „Fernwartung aktiv“ am HMI-Panel; IPsec-VPN mit Mehrfaktor-Anmeldung und persönlichen Konten für Fernwartende; Protokollierung jeder Sitzung mit Benutzer, Zeit und ausgeführten Aktionen, Aufbewahrung nach Anhang III Nr. 1.2.1 lit. f. Nachweis-Referenz Weg B: IEC 62443-3-3 SR 1.1, SR 1.13, SR 2.1, SR 2.8, SR 3.8.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung (Kapitel 13.3): Verfahren zur Freigabe und Beendigung von Fernwartungssitzungen, Pflicht zur Anwesenheit einer verantwortlichen Person vor Ort, Verhalten bei Verdacht auf unbefugten Zugriff (Sitzung am Schlüsselschalter beenden, Hersteller informieren), Kontakt für Sicherheitsmeldungen des Herstellers.

Risiko nachher: S 4 · W 1 · **RZ 4 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Außerbetriebnahme (1 Gefährdung)

Nr. 33 Mechanisch

Risiko vorher: S 4 · W 2 · **RZ 8**

Gefährdung beim Demontieren der Zelle am Ende der Nutzungsdauer: Beim Abbau von Schutzzaun-Segmenten, Roboter-Grundgestell und Schaltschrank bestehen Gefährdungen durch schwere Bauteile (Quetschen, Herabfallen), Restenergie in Leitungen (Druckluft, elektrisch) und scharfe Kanten an Blechteilen.

Teilmaschine: Gesamtanlage (Demontage / Entsorgung) · Mit KI-Unterstützung vorgeschlagen

Stufe 1 · Inhärent	Schutzzaun-Segmente, Roboter-Grundgestell und Schaltschrank konstruktiv mit genormten Anschlagpunkten (z. B. Ringschrauben-Gewindebohrungen nach DIN 580 oder integrierte Kranösen) ausstatten, sodass jedes Bauteil einzeln und lagegesichert angeschlagen werden kann, ohne dass Personen sich unter der schwebenden Last aufhalten müssen. Blechkanten an Gehäuseteilen und Schutzzaun-Profilen bereits in der Konstruktion entgraten und mit Radius >= 0,5 mm brechen (Fertigungszeichnung), um Schnittgefahr inhärent zu reduzieren. Pneumatikleitungen mit drucklosem Grundzustand bei Energietrennung auslegen: Ventile so wählen, dass bei Abschalten der Druckluftversorgung die Leitungen automatisch entlüften (Federrückstellung in Entlüftungsstellung nach EN ISO 4414:2010); der vom Druckhalteventil in den Spannzylindern eingeschlossene Druck wird vor der Demontage durch Öffnen der Spanner abgebaut.
Stufe 2 · Technisch	1. Energietrennung und Energielosigkeit vor Demontagebeginn: Trenneinrichtung für elektrische Energie (Hauptschalter mit Schlossvorrichtung nach EN 60204-1:2018 Abschnitt 5.3) und Absperrventil mit Entlüftungsfunktion für Druckluft (EN ISO 4414:2010) kennzeichnen und vor Demontagebeginn in gesichertem, energielosem Zustand verriegeln (Lockout-Tagout-Verfahren nach EN ISO 14118:2018). Nachweis der Spannungsfreiheit durch Messung vor dem Öffnen von Schaltschrank und Leitungsverbindungen. 2. Lastaufnahme: Für Bauteile mit einem Einzelgewicht > 25 kg (Referenzmasse nach EN 1005-2:2003+A1:2008) sind geeignete Hebezeuge (Kran, Hubwagen, Vakuumheber) mit ausreichender Tragfähigkeit und CE-Kennzeichnung einzusetzen (Anschlagpunkte und Gewichte: siehe Betriebsanleitung Kapitel 5.2 und 5.3). 3. Sicherheitsabstand beim Heben: Aufenthaltsverbot unter schwebenden Lasten gemäß Betriebsanweisung; Absperrung des Demontagebereichs.
Stufe 3 · Information	Betriebsanleitung (Kapitel 11, (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.7.4): Schritt-für-Schritt-Demontageanleitung mit festgelegter Reihenfolge (zuerst Energietrennung und Entlüftung, dann mechanische Demontage); Gewichtsangaben und Schwerpunktlage je Bauteil; Angabe der Anschlagpunkte mit Skizze; Hinweis auf Lockout-Tagout-Verfahren nach EN ISO 14118:2018. Warnkennzeichnung an Schaltschrank und Pneumatikverteiler: Warnung vor gefährlicher elektrischer Spannung (W012 nach EN ISO 7010:2020) sowie Hinweisschild auf möglichen Restdruck in den Pneumatikleitungen. Qualifikationsanforderung: Demontage nur durch Fachkräfte mit Ausbildung in Elektrotechnik (für Arbeiten an elektrischen Betriebsmitteln) und Unterweisung im Umgang mit Hebezeugen. PSA-Angabe: Schutzhandschuhe gegen mechanische Risiken (EN 388), Sicherheitsschuhe S3 (EN ISO 20345), Schutzhelm beim Einsatz von Hebezeugen.

Risiko nachher: S 4 · W 1 · **RZ 4 (niedrig)** Restrisiko akzeptiert: Ja, 18.08.2026

Bewertungen nach weiteren Rechtsakten (eigene Methodik, nicht Teil der Risikobeurteilung nach EN ISO 12100)

Jede Bewertung folgt der Methodik des jeweiligen Rechtsakts. Gefährdungen für Personen, die sich daraus ergeben, stehen mit ihrer Risikoeinschätzung in der Gefährdungsliste.

Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV 2014/30/EU)

Gerät (fertiger Apparat oder als Funktionseinheit bereitgestellte Kombination), Industriebereich: Nachweis über Messung am Gesamtsystem (Prüfbericht eines Labors) liegt vor, offen ist noch erhöhte Störfestigkeit der Sicherheitsfunktionen. Störfestigkeit nach EN IEC 61000-6-2, Störaussendung nach EN IEC 61000-6-4. Offen: 1 Punkt.

MVO (EU) 2023/1230 Anhang III Nr. 1.2.1 (Sicherheit und Zuverlässigkeit von Steuerungen), Nr. 1.5.10 und Nr. 1.5.11 (Strahlung der Maschine und von außen): Die Steuerung muss auch unter Störbeeinflussung sicher bleiben. Daneben gilt die EMV-Richtlinie 2014/30/EU mit den wesentlichen Anforderungen des Anhangs I: Die Störaussendung darf den bestimmungsgemäßen Betrieb anderer Betriebsmittel nicht unmöglich machen, und die Maschine muss gegen die zu erwartenden Störungen hinreichend unempfindlich sein. Verfahren nach Art. 14 (Anhang II interne Fertigungskontrolle oder Anhang III EU-Baumusterprüfung). Für ortsfeste Anlagen gilt statt der Konformitätsbewertung Anhang I Nr. 2 mit den anerkannten Regeln der Technik und der Dokumentationspflicht des Art. 19 Abs. 1.

Einstufung	Gerät (fertiger Apparat oder als Funktionseinheit bereitgestellte Kombination)
Elektromagnetische Umgebung	Industriebereich
Störfestigkeit	EN IEC 61000-6-2
Störaussendung	EN IEC 61000-6-4
Nachweisweg	Messung am Gesamtsystem (Prüfbericht eines Labors)
Prüfnachweis	RSZ-2600-EMV-001
Sicherheitsfunktionen an elektronischen Systemen	ja, Nachweis der erhöhten Störfestigkeit offen
Warnhinweis Betriebsanleitung (Nutzungsbeschränkung Art. 18 Abs. 2, Antriebe C2 bis C4)	vorhanden
Konformitätsbewertungsverfahren (Art. 14)	Interne Fertigungskontrolle (Anhang II, Modul A)
Ergebnis	Nachweis offen

Cybersicherheit (CRA (EU) 2024/2847)

Erfasst nach Art. 2 Abs. 1 CRA, Einstufung Standardprodukt (nicht in Anhang III oder IV). Für dieses Produkt gelten die Meldepflichten nach Art. 14 CRA; die übrigen Pflichten greifen für ein Inverkehrbringen ab dem 11.12.2027 oder nach einer wesentlichen Änderung ab diesem Tag (Art. 71 Abs. 2, Art. 69 Abs. 2 CRA).

Die Maschinenverordnung (EU) 2023/1230 verlangt in Anhang III Nr. 1.1.9 den Schutz gegen Korrumpierung und in Nr. 1.2.1 sichere Steuerungen. Daneben tritt die Cyberresilienz-Verordnung (EU) 2024/2847 mit eigenen Pflichten: Sie gilt für Produkte mit digitalen Elementen, deren Verwendung eine direkte oder indirekte Datenverbindung mit einem Gerät oder Netz einschließt (Art. 2 Abs. 1 CRA). Die Meldepflichten nach Art. 14 CRA gelten seit dem 11.09.2026 auch für bereits in Verkehr gebrachte Produkte (Art. 69 Abs. 3 CRA); die übrigen Pflichten greifen für Produkte, die ab dem 11.12.2027 in Verkehr gebracht oder danach wesentlich geändert werden (Art. 71 Abs. 2, Art. 69 Abs. 2 CRA). Beide Rechtsakte gelten

nebeneinander. Die CRA-Konformität kann den Nachweis nach Anhang III Nr. 1.1.9 und 1.2.1 erleichtern (Erwägungsgrund 53 CRA), begründet dafür aber keine Konformitätsvermutung (Umkehrschluss aus Art. 20 Abs. 9 MVO).

Anwendungsbereich (Art. 2 Abs. 1 CRA)	Erfasst: Das Produkt fällt unter die Cyberresilienz-Verordnung (Art. 2 Abs. 1 CRA). Welche Pflichten heute gelten, hängt vom Datum des Inverkehrbringens ab.
Kernfunktion (Art. 7 Abs. 1 CRA)	Robotergestütztes MAG-Schweißen von Stahlbaugruppen in der Serienfertigung. Die Software steuert Roboter, Wendetisch, Schweißprozess und Absaugung. Netzwerk-, VPN- und Zugangsfunktionen stammen aus zugekauften Komponenten und sind nicht die Kernfunktion der Zelle; sie werden als Komponenten mit eigener Einstufung geführt.
Einstufung (Anhang III und IV CRA)	Standardprodukt (nicht in Anhang III oder IV)
Einstufung bestätigt	Ja
Pflichtenstand	Das Produkt wird vor dem 11.12.2027 in Verkehr gebracht. Aus der Cyberresilienz-Verordnung gelten dann allein die Meldepflichten nach Art. 14 (Art. 69 Abs. 3 CRA); die grundlegenden Cybersicherheitsanforderungen, die Konformitätsbewertung nach CRA und die CE-Kennzeichnung nach CRA greifen erst, wenn das Produkt ab dem 11.12.2027 wesentlich geändert wird (Art. 69 Abs. 2 CRA). Cyber-Anforderungen aus anderen Rechtsakten bleiben davon unberührt, etwa die der Funkanlagen-Richtlinie über die Delegierte Verordnung (EU) 2022/30 bis zum 10.12.2027 und MVO Anhang III Nr. 1.1.9 ab dem 20.01.2027.
Meldepflichten (Art. 14 CRA)	Die Meldepflichten nach Art. 14 CRA gelten seit dem 11.09.2026, auch für Produkte, die vorher in Verkehr gebracht wurden (Art. 69 Abs. 3 CRA).
EU-Konformitätserklärung (Art. 28 CRA)	Keine Erklärung nach der Verordnung: Für ein Inverkehrbringen vor dem 11.12.2027 gelten allein die Meldepflichten nach Art. 14 (Art. 69 Abs. 3 CRA), solange das Produkt danach nicht wesentlich geändert wird (Art. 69 Abs. 2 CRA).
Cyber-Risikobewertung und Nachweise	Die Bewertung der Cybersicherheitsrisiken nach Art. 13 Abs. 2 und 3 CRA, die Anforderungen des Anhangs I, die Fremdkomponenten, der Unterstützungszeitraum und der Meldeprozess werden getrennt geführt und im CRA-Bericht dokumentiert. Sie sind keine Risikobeurteilung nach EN ISO 12100.

Liste der anwendbaren grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen

Anhang IV Teil A Buchst. b Ziff. i der Verordnung (EU) 2023/1230; Anforderungen nach Anhang III

56 anwendbar, 73 nicht anwendbar, 0 offen (von 129)

Alle 129 Anforderungen sind bewertet.

Nr.	Anforderung	Status	Begründung / Nachweis	Gefährdungen
1.1.2	Grundsätze für die Integration der Sicherheit	**anwendbar**	Risikobeurteilung nach EN ISO 12100:2010 mit 42 Gefährdungen über alle Lebensphasen, Schutzmaßnahmen je Gefährdung in der Rangfolge Stufe 1 bis 3. Grenzen der Maschine, bestimmungsgemäße Verwendung und vorhersehbare Fehlanwendung: Betriebsanleitung Kap. 1.1, 2.1 und 2.2; Restgefahren und PSA: Kap. 2.6.	

Nr.	Anforderung	Status	Begründung / Nachweis	Gefährdungen
1.1.3	Materialien und Produkte	**anwendbar**	Im Betrieb entstehender Schweißrauch und Filterstaub sind als Gefahrstoffe bewertet (Prüfprotokoll: freigesetzte Gefahrstoffe ermittelt, bestanden). Zaunfüllungen und Mittelwand sind nicht brennbar und schweißspritzerfest. Betriebs- und Hilfsstoffe (Kühlmittel, Antispritzermittel, Schmierstoffe) werden nach Sicherheitsdatenblatt gehandhabt und entsorgt: Betriebsanleitung Kap. 10.3 und 11.	Nr. 16, Nr. 20, Nr. 22
1.1.4	Beleuchtung	**anwendbar**	Maschinenintegrierte Arbeitsplatzbeleuchtung mit 500 lx am Beschickungsplatz und 200 lx im Wartungsgang, Ausfallmeldung am HMI-Panel: Betriebsanleitung Kap. 3 und 4.1; Funktionsprüfung bei der Erstinbetriebnahme (Kap. 8.3) und täglich (Kap. 10.2).	Nr. 27
1.1.5	Konstruktion einer Maschine oder eines dazugehörigen Produkts im Hinblick auf die Handhabung	**anwendbar**	Gekennzeichnete Anschlagpunkte, Schwerpunktlagen und Massen je Transporteinheit, Transportsicherungen und zulässige Transportmittel: Betriebsanleitung Kap. 5; Hinweise zu Abbau und Weitertransport: Kap. 11.	Nr. 28, Nr. 33
1.1.6	Ergonomie	**anwendbar**	Handhabung von Hand bis 15 kg nach EN 1005-2:2003+A1:2008, darüber bauseitige Hebehilfe; höhenverstellbares Standpodest, Greifpunkte in Ellbogenhöhe, kein Zwangstakt (Zyklusstart durch den Bediener): Betriebsanleitung Kap. 4.2, 4.3 und 9.1.	Nr. 9, Nr. 35
1.1.7	Bedienungsplätze	**anwendbar**	Der Bedienerplatz liegt außerhalb des Schweißbereichs hinter der trennenden Mittelwand. Schweißrauch wird an der Entstehungsstelle erfasst (Prüfprotokoll: Erfassung an der Entstehungsstelle und Wirksamkeit 1.800 m³/h, bestanden), die Schutzgaszufuhr sperrt ein stromlos geschlossenes Magnetventil bei Stopp und in Betriebspausen ab: Betriebsanleitung Kap. 4.1 und 4.2.	Nr. 20, Nr. 21
1.1.8	Sitze	nicht anwendbar	Die Zelle hat keinen Arbeitsplatz, an dem ein Sitz vorgesehen werden kann: Am Beschickungsplatz legt der Bediener im Takt von rund 90 Sekunden Werkstücke ein und entnimmt sie, bis 15 kg von Hand und schwerere mit der Hebehilfe (Betriebsanleitung Kap. 2.1 und 4.2). Diese Tätigkeit verlangt Bewegungsfreiheit im Stehen, die Arbeitsbedingungen lassen einen Sitz nicht zu. Die Arbeitshöhe wird über das höhenverstellbare Standpodest angepasst (Gefährdung Nr. 35).	
1.1.9	Schutz gegen Korrumpierung	**anwendbar**	Prüfprotokoll Schutz gegen Korrumpierung: Punkte A1 bis A6 und A12 bestanden. Zellennetz nur über das mitgelieferte Gateway mit Firewall, Fernwartung nur nach Freischaltung am Schlüsselschalter, Version und Prüfsumme der sicherheitsrelevanten Software am HMI-Panel ohne Anmeldung abrufbar, geschütztes Ereignisprotokoll: Betriebsanleitung Kap. 13.	Nr. 36, Nr. 37, Nr. 39, Nr. 40, Nr. 41, Nr. 42, Nr. 43, Nr. 44

Nr.	Anforderung	Status	Begründung / Nachweis	Gefährdungen
1.2.1	Sicherheit und Zuverlässigkeit von Steuerungen	**anwendbar**	Sicherheitsfunktionen nach EN ISO 13849-1:2023: SF-01 (PL d, Kategorie 3), SF-02 (PL e, Kategorie 4), SF-03 (PL d, Kategorie 3), SF-04 (PL e, Kategorie 4), SF-05 (PL d, Kategorie 3), jeweils erforderlicher PL erreicht; Validierung nach EN ISO 13849-2:2012 (Betriebsanleitung Kap. 2.5 und 8.3). Störfestigkeit nach EN IEC 61000-6-2:2019, Prüfbericht RSZ-2600-EMV-001. Prüfprotokoll Schutz gegen Korrumpierung: A8 (Rückverfolgungsprotokoll) bestanden, A10 entfällt (keine kabellose Steuerung).	Nr. 14, Nr. 30, Nr. 31, Nr. 36, Nr. 37, Nr. 38, Nr. 39, Nr. 41, Nr. 42, Nr. 43, Nr. 44
1.2.2	Stellteile	**anwendbar**	Stellteile am Bedienpult neben der Beschickungsöffnung außerhalb des Gefahrenbereichs mit Sichtverbindung zur Öffnung: Zyklusstart, Quittierung, Not-Halt, abschließbarer Betriebsartenwahlschalter, Schlüsselschalter Fernwartung; Teach-Pendant mit dreistufiger Zustimmeinrichtung; akustische Anlaufwarnung vor jedem automatischen Anlauf: Betriebsanleitung Kap. 2.5, 4.2 und 9.2.	Nr. 6
1.2.3	Ingangsetzen	**anwendbar**	Ingangsetzen nur durch bewusste Betätigung von Zyklusstart bei freiem Schutzfeld und quittierten Sicherheitsfunktionen; Wiederanlaufsperre nach Ansprechen einer Schutzeinrichtung, nach Not-Halt und nach Spannungswiederkehr nach EN ISO 14118:2018 (Prüfprotokoll: Wiederanlaufsperre nach Energieausfall, bestanden): Betriebsanleitung Kap. 2.5, 4.3 und 9.5.	Nr. 6, Nr. 38
1.2.4	Stillsetzen	**anwendbar**	Die Anforderungen an das Stillsetzen sind in den Unterpunkten 1.2.4.1 bis 1.2.4.4 nachgewiesen.	
1.2.4.1	Normales Stillsetzen	**anwendbar**	Stillsetzen im Normalbetrieb am Schichtende über das HMI-Panel in Grundstellung und am allpolig trennenden Hauptschalter, elektrische Ausrüstung nach EN 60204-1:2018: Betriebsanleitung Kap. 9.2 und 9.5.	
1.2.4.2	Betriebsbedingtes Stillsetzen	**anwendbar**	Beim betriebsbedingten Halt während des Beschickens bleibt der Stillstand überwacht: Der Wendetisch schwenkt nur nach Zyklusstart bei freiem Schutzfeld und sicher zurückgemeldeter Ruheposition des Roboters (SF-04, PL e) und ist in Endlage formschlüssig arretiert; ein Eingriff in das Schutzfeld löst den sicheren Halt aus (SF-02, PL e): Betriebsanleitung Kap. 2.5 und 4.3.	Nr. 4
1.2.4.3	Stillsetzen im Notfall	**anwendbar**	Not-Halt SF-03 (PL d, Kategorie 3) nach EN ISO 13850:2015 mit Befehlsgeräten am Bedienpult, an der Wartungstür und am Teach-Pendant, Stopp-Kategorie 1 nach EN 60204-1:2018, Wiederanlauf erst nach Entriegeln und Quittierung (Prüfprotokoll: Not-Halt an allen Stationen und in allen Betriebsarten sowie elektrisch geprüft, bestanden): Betriebsanleitung Kap. 2.5 und 9.5.	Nr. 7

Nr.	Anforderung	Status	Begründung / Nachweis	Gefährdungen
1.2.4.4	Gesamtheit von Maschinen oder dazugehörigen Produkten	**anwendbar**	Gesamtheit von Maschinen nach EN ISO 11161:2007+A1:2010: eine gemeinsame Sicherheits-SPS für alle Teilmaschinen; Not-Halt und das Ansprechen der Schutzeinrichtungen wirken auf Roboter, Wendetisch, Schweißstromquelle und Drahtvorschub; Textschild mit dem Wirkungsbereich der Not-Halt-Befehlsgeräte am Bedienpult: Betriebsanleitung Kap. 2.4 und 2.5.	Nr. 7, Nr. 31, Nr. 39
1.2.5	Wahl der Steuerungs- oder Betriebsarten	**anwendbar**	Abschließbarer Betriebsartenwahlschalter mit den Betriebsarten Automatik und Einrichten; im Einrichtbetrieb Bewegungen nur mit sicher reduzierter Geschwindigkeit 250 mm/s und dreistufiger Zustimmeinrichtung (SF-05, PL d) nach EN ISO 10218-2:2025 (Prüfprotokoll: Betriebsartenwahlschalter bestanden, Zweihandschaltung entfällt): Betriebsanleitung Kap. 2.5 und 9.3.	Nr. 2, Nr. 11
1.2.6	Störung der Energieversorgung oder der Kommunikationsnetzverbindung	**anwendbar**	Nach Spannungswiederkehr bleibt die Anlage durch die Wiederanlaufsperre stillgesetzt; bei Druckluftausfall hält das Druckhalteventil die Werkstücke gespannt, und der Druckwächter sperrt die Schwenkbewegung (Betriebsanleitung Kap. 9.5). Verhalten bei Ausfall, Wiederherstellung oder Änderung der Kommunikationsnetzverbindung geprüft (Prüfprotokoll Schutz gegen Korrumpierung: A9 bestanden).	Nr. 5, Nr. 38
1.3.1	Risiko des Verlusts der Standsicherheit	**anwendbar**	Verankerung von Robotersockel und Wendetisch mit Schwerlastankern M16 für ein Kippmoment bis rund 8 kNm und Anforderungen an den Hallenboden (Betriebsanleitung Kap. 7.2 und 8.2), Kennzeichnung „Kippgefahr vor der Verankerung“ am Grundrahmen (Kap. 2.4); Prüfprotokoll: Standsicherheit und Verankerung bestanden.	Nr. 29
1.3.2	Bruchrisiko beim Betrieb	**anwendbar**	Druckführende Teile der Pneumatik nach EN ISO 4414:2010 (Prüfprotokoll: Druckprüfung 6,0 bar mit geprüftem Ansprechdruck des Druckbegrenzungsventils von 7,5 bar sowie Schlauch- und Leitungszustand, bestanden); Kollisionsschutzkupplung am Schweißbrenner mit Sicherheitsstopp; halbjährliche Prüfung der Anzugsmomente der Verankerung: Betriebsanleitung Kap. 2.5 und 10.2.	
1.3.3	Risiken durch herabfallende oder herausgeschleuderte Gegenstände	**anwendbar**	Druckhalteventil in der Spannleitung und Spanndrucküberwachung in SF-04, Abweisblech unter dem Wendetisch als Auffangeinrichtung und Prallschutz, Umhausung des Schweißbereichs gegen Spritzer, Anschlagpunkte für den Transport: Betriebsanleitung Kap. 2.5, 4.1 und 5.	Nr. 5, Nr. 9, Nr. 16, Nr. 23, Nr. 28
1.3.4	Risiken durch Oberflächen, Kanten und Ecken	**anwendbar**	Scharfe Kanten an Blechteilen bewertet die Risikobeurteilung für den Abbau am Ende der Nutzungsdauer; Vorgehen und Schutzausrüstung: Betriebsanleitung Kap. 11.	Nr. 33

Nr.	Anforderung	Status	Begründung / Nachweis	Gefährdungen
1.3.5	Risiken durch mehrfach kombinierte Maschinen oder dazugehörige Produkte	nicht anwendbar	Die RSZ-2600 ist keine kombinierte Maschine im Sinne dieser Anforderung: Sie führt einen einzigen Arbeitsgang aus (MAG-Schweißen) und hat keine Elemente für verschiedene Arbeitsgänge, zwischen denen das Werkstück von Hand umgesetzt wird (Betriebsanleitung Kap. 2.1 und 4.3). Das Zusammenwirken der Teilmaschinen der Gesamtheit ist unter 1.2.4.4 nachgewiesen.	
1.3.6	Risiken durch Änderung der Verwendungsbedingungen	**anwendbar**	Nur freigegebene Schweißprogramme, Programmwahl am HMI-Panel; Rüsten und Wechsel der Spannvorrichtungen nur durch den Einrichter bei stillgesetzter Anlage und drucklosem Spannkreis, neue Spannvorrichtungen erst nach Freigabe durch den Hersteller, Erstteilprüfung nach jedem Rüsten, neue Programme zuerst im Einrichtbetrieb: Betriebsanleitung Kap. 2.1, 3 und 9.4.	Nr. 30, Nr. 42
1.3.7	Risiken durch bewegliche Teile	**anwendbar**	Spalte am Wendetisch nach EN ISO 13854:2019, Sicherheitsabstände nach EN ISO 13857:2019, Roboter und Roboterzelle nach EN ISO 10218-1:2025 und EN ISO 10218-2:2025; Schutzmaßnahmen gegen bewegliche Teile über SF-01 bis SF-05 (Prüfprotokoll: Schutzgitter-Abstände, Schutztüren mit Verriegelung und Lichtvorhang bestanden): Betriebsanleitung Kap. 2.5.	Nr. 1, Nr. 2, Nr. 3, Nr. 4, Nr. 6, Nr. 8, Nr. 11, Nr. 32
1.3.8	Wahl der Schutzeinrichtungen gegen Risiken durch bewegliche Teile	**anwendbar**	Wahl der Schutzeinrichtungen: feststehender Schutzzaun nach EN ISO 14120:2015 um den Roboterarbeitsraum, verriegelte Wartungstür mit Zuhaltung nach EN ISO 14119:2025 für den gelegentlichen Zugang, Lichtvorhang Typ 4 an der Beschickungsöffnung für den Zugriff in jedem Takt mit Sicherheitsabstand nach EN ISO 13855:2024: Betriebsanleitung Kap. 2.5.	Nr. 1, Nr. 3, Nr. 32
1.3.8.1	Bewegliche Teile der Kraftübertragung	**anwendbar**	Der Antrieb des Wendetisches ist verkleidet, die Verkleidung ist als trennende Schutzeinrichtung nach EN ISO 14120:2015 ausgeführt; Verkleidung und Sockelblenden sind bei der Montage vollständig anzubringen (Betriebsanleitung Kap. 8.2). Die Antriebe des Roboters arbeiten innerhalb des Schutzzauns. Prüfprotokoll: Befestigung der Schutzeinrichtungen bestanden.	
1.3.8.2	Bewegliche Teile, die am Arbeitsprozess beteiligt sind	**anwendbar**	Am Arbeitsprozess beteiligte bewegliche Teile (Roboter mit Brenner, Wendetisch, Drahtvorschub) sind durch Schutzzaun und zugehaltene Wartungstür unzugänglich; zugänglich bleibt nur die Beschickungsöffnung, gesichert durch den Lichtvorhang (SF-02) und die Schwenkfreigabe (SF-04); im Einrichtbetrieb gilt SF-05: Betriebsanleitung Kap. 2.5 und 9.3.	Nr. 1, Nr. 2, Nr. 3, Nr. 4, Nr. 8, Nr. 32

Nr.	Anforderung	Status	Begründung / Nachweis	Gefährdungen
1.3.9	Risiko unkontrollierter Bewegungen	**anwendbar**	Gegen Bewegungen aus dem Stillstand: Druckhalteventil in der Spannleitung mit Handhilfsbetätigung, formschlüssige Arretierung des Wendetisches, Absperrventil mit Entlüftung und Restdruckanzeige (Prüfprotokoll: Restdruckabbau dokumentiert, bestanden); Abstützen einer Roboterachse vor dem Lüften der Bremse: Betriebsanleitung Kap. 2.5, 2.6 und 10.4.	Nr. 5, Nr. 6, Nr. 23
1.4.1	Allgemeine Anforderungen	**anwendbar**	Schutzeinrichtungen fest montiert, nur mit Werkzeug lösbar und gegen Umgehen geschützt (codierter Betätiger nach EN ISO 14119:2025), Abstände nach EN ISO 13857:2019 (Prüfprotokoll: Sichtprüfung aller Schutzeinrichtungen, Befestigung und Schutzgitter-Abstände bestanden); tägliche und wiederkehrende Prüfungen: Betriebsanleitung Kap. 9.4 und 10.2.	Nr. 3, Nr. 32
1.4.2	Besondere Anforderungen an trennende Schutzeinrichtungen	**anwendbar**	Die besonderen Anforderungen an trennende Schutzeinrichtungen sind unter 1.4.2.1 und 1.4.2.2 nachgewiesen; Ausführung nach EN ISO 14120:2015.	
1.4.2.1	Feststehende trennende Schutzeinrichtungen	**anwendbar**	Schutzzaun 2200 mm mit schweißlichtdichten Füllungen und Sockelblende nach EN ISO 14120:2015, Paneele nur mit Werkzeug lösbar, Flankenbleche und Abdeckungen neben und unter dem Lichtvorhang nach EN ISO 13857:2019 Tabelle 4 (Prüfprotokoll: Schutzgitter-Abstände nach EN ISO 13857 bestanden): Betriebsanleitung Kap. 2.5.	Nr. 3, Nr. 32
1.4.2.2	Bewegliche trennende Schutzeinrichtungen mit Verriegelung	**anwendbar**	Wartungstür mit Verriegelung und Zuhaltung nach EN ISO 14119:2025 (SF-01, PL d), Freigabe erst nach erloschenem Lichtbogen und überwachtem Stillstand, Fluchtentriegelung von innen, Sperrvorrichtung für persönliche Vorhängeschlösser (Prüfprotokoll: Schutztüren mit Verriegelung bestanden): Betriebsanleitung Kap. 2.5.	Nr. 3, Nr. 6, Nr. 11
1.4.2.3	Zugangsbeschränkende verstellbare trennende Schutzeinrichtungen	nicht anwendbar	Die Zelle hat keine verstellbaren trennenden Schutzeinrichtungen: Der Roboterarbeitsraum ist durch feststehende Schutzeinrichtungen (1.4.2.1) und die verriegelte Wartungstür (1.4.2.2) umschlossen, und die Beschickungsöffnung ist durch einen Lichtvorhang gesichert (1.4.3). Ein verstellbarer Zugang zu beweglichen Teilen ist für den Arbeitsablauf nicht erforderlich (Betriebsanleitung Kap. 2.5 und 4.3).	
1.4.3	Besondere Anforderungen an nichttrennende Schutzeinrichtungen	**anwendbar**	Lichtvorhang Typ 4 mit 30 mm Auflösung an der Beschickungsöffnung (SF-02, PL e, Kategorie 4) ohne Muting, Sicherheitsabstand nach EN ISO 13855:2024, gemessener Nachlaufweg des Wendetisches 45 mm bei zulässigen 60 mm; dreistufige Zustimmeinrichtung am Teach-Pendant (SF-05). Prüfprotokoll: Lichtvorhang und Nachlaufwegmessung bestanden. Betriebsanleitung Kap. 2.5.	Nr. 2, Nr. 32

Nr.	Anforderung	Status	Begründung / Nachweis	Gefährdungen
1.5.1	Elektrische Energieversorgung	**anwendbar**	Elektrische Ausrüstung nach EN 60204-1:2018, Schutzziele der Niederspannungsrichtlinie nach Anhang III Nr. 1.5.1 (Betriebsanleitung Kap. 1.4). Prüfprotokoll Elektrik: Schutzleiter 0,08 Ω, Fehlerschleifenimpedanz 0,28 Ω mit erfüllter Abschaltbedingung, Isolationswiderstand > 100 MΩ bei 500 V DC, Restspannung 1,9 s bis ≤ 60 V und Schaltplan-Übereinstimmung bestanden. Freischalten und Entladezeit: Kap. 8.1 und 10.	Nr. 12, Nr. 13
1.5.2	Statische Elektrizität	nicht anwendbar	Die Risikobeurteilung ermittelt keine Gefährdung durch elektrostatische Aufladung: Die Zelle verarbeitet ausschließlich Stahlbaugruppen und keine isolierenden Bahnen, Kunststoffe oder brennbaren Flüssigkeiten, und der Aufstellort ist kein explosionsgefährdeter Bereich (Betriebsanleitung Kap. 1.1 und 7.3). Alle leitfähigen Baugruppen einschließlich Schutzzaun sind in den Schutzleiter einbezogen (Prüfprotokoll: Schutzleiter 0,08 Ω bis zum Erdungspunkt des Schutzzauns).	
1.5.3	Nichtelektrische Energieversorgung	**anwendbar**	Pneumatik nach EN ISO 4414:2010 mit 6 bar, abschließbarem Absperrventil mit Entlüftung und Restdruckanzeige; Schutzgas M21 mit stromlos geschlossenem Magnetventil. Prüfprotokoll: Druckprüfung, Leckageprüfung, Schlauch- und Leitungszustand, Restdruckabbau und Dichtheit medienführender Teile bestanden. Betriebsanleitung Kap. 4.1, 7.4 und 10.	Nr. 5, Nr. 21, Nr. 23
1.5.4	Montagefehler	**anwendbar**	Montage in festgelegter Reihenfolge mit Anzugsmomenten nach Aufstellplan RSZ-2600-LAY-001 (Betriebsanleitung Kap. 8.2); Kabelverlegung, Schirmauflagen und Potenzialausgleich nur nach Elektroschaltplan RSZ-2600-EPL-001 mit Textschild am Schaltschrank (Kap. 2.4 und 7.3); werkstückspezifische Spannvorrichtungen nur nach Freigabe durch den Hersteller (Kap. 3); nach dem Austausch von Schweißstromquelle, Robotersteuerung oder Sicherheitskomponenten erneute Funktionsprüfung SF-01 bis SF-05 (Kap. 7.3).	Nr. 14, Nr. 29
1.5.5	Extreme Temperaturen	**anwendbar**	Abkühlsperrzeit je Schweißprogramm mit roter Signalleuchte am Entnahmeplatz, Temperaturüberwachung am Brennerhals mit Freigabeanzeige, Kontakttemperaturen nach EN ISO 13732-1:2008 als Auslegungsreferenz; Warnzeichen W017 und Handschutz: Betriebsanleitung Kap. 2.4, 2.5 und 9.1.	Nr. 15, Nr. 17
1.5.6	Brand	**anwendbar**	Umhausung aus nicht brennbaren Füllungen, Vorfunkenabscheider, Temperaturüberwachung der Filterpatrone, motorische Absperrklappen, Rauch- und CO-Melder, Nachlauf der Absaugung von mindestens 10 Minuten; Verhalten bei Brand in der Absaugung und Weiterleitung des Brandalarms durch den Betreiber: Betriebsanleitung Kap. 1.2, 2.5 und 9.5.	Nr. 16, Nr. 34

Nr.	Anforderung	Status	Begründung / Nachweis	Gefährdungen
1.5.7	Explosion	nicht anwendbar	Die Risikobeurteilung ermittelt keine Explosionsgefährdung, und das Maschinenprofil des Projekts weist keine explosionsfähige Atmosphäre aus: Das Schutzgas M21 (82 Prozent Argon, 18 Prozent CO2) ist nicht brennbar, weitere Gase werden nicht verwendet, und der Betrieb in explosionsgefährdeten Bereichen ist ausgeschlossen (Betriebsanleitung Kap. 1.1, 1.3 und 2.1). Die Brandgefahr durch Funken in der Filterpatrone ist unter 1.5.6 behandelt.	
1.5.8	Lärm	**anwendbar**	Emissionsschalldruckpegel am Beschickungsplatz LpA = 84 dB(A), K = 2,5 dB nach EN ISO 11202:2010, Schallleistungspegel LWA = 96 dB(A) nach EN ISO 3746:2010, Angabe nach EN ISO 4871:2009 mit Messbedingungen und C-bewertetem Spitzenwert (Prüfprotokoll: Emissionsschalldruckpegel, Schallleistungspegel und Lärmangabe in der Betriebsanleitung bestanden): Betriebsanleitung Kap. 3; Lärmminderung bei der Montage: Kap. 8.2.	Nr. 24
1.5.9	Vibrationen	nicht anwendbar	Die Risikobeurteilung ermittelt keine Gefährdung durch Vibrationen: Die Zelle ist eine ortsfeste, im Boden verankerte Maschine ohne handgehaltene oder handgeführte Werkzeuge und ohne Sitz- oder Fahrerplatz, der Bediener steht auf dem Standpodest vor der Zelle (Betriebsanleitung Kap. 4.2 und 7.2). Der Antrieb des Wendetisches ist elastisch gelagert (Gefährdung Nr. 24, Stufe 1).	
1.5.10	Strahlung	**anwendbar**	Optische Strahlung des Lichtbogens: Umhausung mit schweißlichtdichten Füllungen, Sichtfenstern und Schweißerschutzvorhang, Zuhaltung der Wartungstür bis zum Erlöschen des Lichtbogens, Warnzeichen W027. Elektromagnetische Felder: Zugang zum Nahbereich der Schweißleitungen nur bei abgeschaltetem Schweißstrom, Warnzeichen W006 und Verbotszeichen P007. Betriebsanleitung Kap. 2.4 und 2.5.	Nr. 18, Nr. 19
1.5.11	Strahlung von außen	**anwendbar**	Störfestigkeit für den Industriebereich nach EN IEC 61000-6-2:2019, Messung am Gesamtsystem im Prüfbericht RSZ-2600-EMV-001 (Prüfprotokoll EMV bestanden); geschirmte Sicherheitsleitungen und getrennte Kabelkanäle für Schweißstrom- und Steuerleitungen: Betriebsanleitung Kap. 7.3.	Nr. 14
1.5.12	Laserstrahlung	nicht anwendbar	Die Zelle enthält keine Lasereinrichtung: Das Schweißverfahren ist MAG-Schweißen (Verfahren 135), der Lieferumfang nach Betriebsanleitung Kap. 1.1 enthält keine Laserquelle, und die Risikobeurteilung ermittelt keine Gefährdung durch Laserstrahlung.	

Nr.	Anforderung	Status	Begründung / Nachweis	Gefährdungen
1.5.13	Emission gefährlicher Werkstoffe und Substanzen	**anwendbar**	Schweißrauchabsaugung nach EN ISO 21904-1:2020 mit Erfassungshaube, 1.800 m³/h, Störmeldung unter 1.400 m³/h, Abscheideklasse W3; Schutzgas mit stromlos geschlossenem Magnetventil; staubarmer Filterwechsel über Beutel-Wechselsystem. Prüfprotokoll: freigesetzte Gefahrstoffe ermittelt, Erfassung an der Entstehungsstelle, Wirksamkeit, Filterklasse und Überwachung, Dichtheit und Angaben in der Betriebsanleitung bestanden. Betriebsanleitung Kap. 3, 9.1 und 10.2.	Nr. 20, Nr. 21, Nr. 22
1.5.14	Risiko, in einer Maschine eingeschlossen zu werden	**anwendbar**	Fluchtentriegelung der Wartungstür von innen ohne Hilfsmittel, Sperrvorrichtung für persönliche Vorhängeschlösser gegen Einschließen, Befreiung eingeklemmter Personen über die Bremslüfteinrichtung des Roboters und die Motorbremse des Wendetisches: Betriebsanleitung Kap. 2.5 und 2.6.	Nr. 11
1.5.15	Ausrutsch-, Stolper- und Sturzrisiko	**anwendbar**	Kabel und Schläuche aus dem Bodenbereich geführt, Kabelbrücken mit Überfahrschutz, gelb-schwarze Bodenmarkierungen, Beleuchtung, Warnzeichen W011 und W007 (Prüfprotokoll: Stolper- und Rutschgefahren bestanden); Reinigung des Bodens: Betriebsanleitung Kap. 2.4, 2.5 und 10.2.	Nr. 10, Nr. 27
1.5.16	Blitzschlag	nicht anwendbar	Die Zelle ist ausschließlich für die Aufstellung in trockenen Innenräumen einer Produktionshalle bestimmt, ein Einsatz im Freien ist ausgeschlossen (Betriebsanleitung Kap. 1.1, 2.1 und 7.3). Sie ist bei der Verwendung keiner Blitzeinwirkung ausgesetzt, die eine Ableitung an der Maschine erfordert.	
1.6.1	Wartung einer Maschine oder eines dazugehörigen Produkts	**anwendbar**	Inspektions- und Wartungsplan mit täglichen bis jährlichen Tätigkeiten, Wartung bei stillgesetzter und freigeschalteter Maschine, Funktionsprüfungen der Schutzeinrichtungen von außerhalb der Zelle, Diagnose am HMI-Panel von außen, Formblatt Wartungsnachweis RSZ-2600-WNW-001: Betriebsanleitung Kap. 10.	
1.6.2	Zugang zu den Bedienungsständen und den Eingriffspunkten für die Instandhaltung	**anwendbar**	Umlaufender Freiraum von mindestens 1,0 m und vor der Wartungstür mindestens 1,2 m, Bedien- und Bereitstellfläche von 2,0 m vor der Beschickungsöffnung, lichte Hallenhöhe von mindestens 3,2 m für Arbeiten am Zellendach, Zugang zum Zelleninneren über die Wartungstür: Betriebsanleitung Kap. 4.2 und 7.1.	Nr. 10
1.6.3	Trennung von den Energiequellen	**anwendbar**	Hauptschalter mit abschließbarer Nullstellung, allpolig trennend nach EN 60204-1:2018; abschließbares Druckluft-Absperrventil mit Entlüftung und Restdruckanzeige nach EN ISO 4414:2010; Freischalten und Sichern nach EN ISO 14118:2018 (Prüfprotokoll: Restspannung und Restdruckabbau bestanden): Betriebsanleitung Kap. 2.5, 8.1 und 10.	Nr. 6, Nr. 12, Nr. 23, Nr. 33

Nr.	Anforderung	Status	Begründung / Nachweis	Gefährdungen
1.6.4	Eingriffe der Bediener	**anwendbar**	Eingriffe sind begrenzt: programmgesteuerte Brennerreinigung mit Drahtabschneider, Diagnose am HMI-Panel von außerhalb der Zelle, Funktionsprüfungen von außen. Unvermeidbare Eingriffe (Drahtwechsel, Brennerwechsel, Freifahren) nur im Einrichtbetrieb mit SF-05 oder bei freigeschalteter Anlage, Brennerwechsel erst nach Freigabe durch die Temperaturüberwachung: Betriebsanleitung Kap. 4.3, 9.3 und 10.4.	Nr. 8, Nr. 17
1.6.5	Reinigung innen liegender Teile	**anwendbar**	Das Filtergehäuse der Absaugung wird ohne Einsteigen gereinigt: Patronenwechsel über das Beutel-Wechselsystem, Reinigung mit einem Industriesauger der Staubklasse H, kein Abblasen: Betriebsanleitung Kap. 10.2.	Nr. 22
1.7.1	Informationen und Warnhinweise an der Maschine und dem dazugehörigen Produkt	**anwendbar**	Informationen am HMI-Panel im Klartext, Signalsäule und Anzeigen: Betriebsanleitung Kap. 9.2; Sicherheitszeichen nach EN ISO 7010:2020: Kap. 2.4.	
1.7.1.1	Informationen und Informationseinrichtungen	**anwendbar**	HMI-Panel mit Programmwahl, Betriebszustand, Störmeldungen im Klartext und Wartungsintervallen; Version und Prüfsumme der sicherheitsrelevanten Software unter „Info“ ohne Anmeldung: Betriebsanleitung Kap. 9.2 und 13.	
1.7.1.2	Warneinrichtungen	**anwendbar**	Akustische Anlaufwarnung vor jedem automatischen Anlauf, Signalsäule grün, gelb und rot, rote Signalleuchte während der Abkühlsperrzeit, Meldungen bei Ausfall der Arbeitsplatzbeleuchtung und bei Brandalarm der Absaugung, Anzeige „Fernwartung aktiv“: Betriebsanleitung Kap. 9.2 und 13.	
1.7.2	Warnung vor Restrisiken	**anwendbar**	Warn-, Verbots- und Gebotszeichen nach EN ISO 7010:2020 und Textschilder an den Gefahrstellen: Betriebsanleitung Kap. 2.4; Restgefahren nach Lebensphasen mit den Schutzmaßnahmen aus der Risikobeurteilung: Kap. 2.6.	
1.7.3	Kennzeichnung von Maschinen und dazugehörigen Produkten	**anwendbar**	Typenschild an der rechten Seitenwand des Schaltschranks mit Hersteller, Typ, Seriennummer, Baujahr, elektrischen Anschlusswerten, Gewicht und CE-Kennzeichnung (Betriebsanleitung Kap. 3). Prüfprotokoll: Angaben am gefertigten Schild geprüft; angebracht wird es nach Unterzeichnung der Konformitätserklärung.	
1.7.4	Betriebsanleitung	**anwendbar**	Betriebsanleitung Ausgabe 09/2026, Version 1.1, 13 Kapitel, erstellt nach Anhang III Nr. 1.7.4 bis 1.7.4.2 (Kap. 1.4 und 1.5). Prüfprotokoll: Angaben in der Betriebsanleitung zu Gefahrstoffen, Lärmangabe in der Betriebsanleitung und Punkt A11 zum Schutz gegen Korrumpierung bestanden.	

Nr.	Anforderung	Status	Begründung / Nachweis	Gefährdungen
1.7.4.1	Allgemeine Grundsätze für die Abfassung der Betriebsanleitung	**anwendbar**	Gliederung nach dem Lebenszyklus von der Anlieferung bis zur Entsorgung, Sicherheitsinformationen gebündelt in Kap. 2 und zu Beginn der Tätigkeitskapitel, abgestufte Warnhinweise und Abkürzungsverzeichnis (Kap. 1.5), vorhersehbare Fehlanwendung (Kap. 2.2), Regelung für Übersetzungen (Kap. 1.4).	
1.7.4.2	Inhalt der Betriebsanleitung	**anwendbar**	Inhalte nach Anhang III Nr. 1.7.4.2: Grenzen und Verwendung (Kap. 1 und 2), technische Daten und Geräuschangaben (Kap. 3), Transport (Kap. 5), Lagerung (Kap. 6), Aufstellung (Kap. 7), Montage und Erstinbetriebnahme (Kap. 8), Bedienung (Kap. 9), Instandhaltung (Kap. 10), Demontage und Entsorgung (Kap. 11), Unterlagen (Kap. 12) sowie Cybersicherheit mit Softwarestand und Aktualisierungen (Kap. 13).	Nr. 24, Nr. 28, Nr. 40
1.7.5	Verkaufsprospekte	nicht anwendbar	Die RSZ-2600 ist eine Sondermaschine in Einzelanfertigung für einen Betreiber (Betriebsanleitung Kap. 4); Verkaufsprospekte zu dieser Maschine gehören nicht zu den Unterlagen des Projekts. Werden solche Unterlagen erstellt, müssen ihre Sicherheits- und Emissionsangaben mit der Betriebsanleitung übereinstimmen.	
2.1	Nahrungsmittelmaschinen und dazugehörige Produkte und Maschinen für kosmetische oder pharmazeutische Erzeugnisse und dazugehörige Produkte	nicht anwendbar	Teil 2 gilt für Maschinen für Nahrungsmittel, kosmetische oder pharmazeutische Erzeugnisse, für handgehaltene oder handgeführte tragbare Maschinen, für Maschinen zur Bearbeitung von Holz und Werkstoffen mit ähnlichen physikalischen Eigenschaften und für Maschinen zur Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln. Die RSZ-2600 ist eine ortsfeste Schweißzelle für Stahlbaugruppen (Betriebsanleitung Kap. 2.1) und gehört keiner dieser Kategorien an.	
2.2	Handgehaltene oder handgeführte tragbare Maschinen und dazugehörige Produkte	nicht anwendbar	Teil 2 gilt für Maschinen für Nahrungsmittel, kosmetische oder pharmazeutische Erzeugnisse, für handgehaltene oder handgeführte tragbare Maschinen, für Maschinen zur Bearbeitung von Holz und Werkstoffen mit ähnlichen physikalischen Eigenschaften und für Maschinen zur Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln. Die RSZ-2600 ist eine ortsfeste Schweißzelle für Stahlbaugruppen (Betriebsanleitung Kap. 2.1) und gehört keiner dieser Kategorien an.	
2.3	Maschinen und dazugehörige Produkte zur Bearbeitung von Holz und von Werkstoffen mit ähnlichen physikalischen Eigenschaften	nicht anwendbar	Teil 2 gilt für Maschinen für Nahrungsmittel, kosmetische oder pharmazeutische Erzeugnisse, für handgehaltene oder handgeführte tragbare Maschinen, für Maschinen zur Bearbeitung von Holz und Werkstoffen mit ähnlichen physikalischen Eigenschaften und für Maschinen zur Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln. Die RSZ-2600 ist eine ortsfeste Schweißzelle für Stahlbaugruppen (Betriebsanleitung Kap. 2.1) und gehört keiner dieser Kategorien an.	

Nr.	Anforderung	Status	Begründung / Nachweis	Gefährdungen
2.4	Maschinen und dazugehörige Produkte zur Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln	nicht anwendbar	Teil 2 gilt für Maschinen für Nahrungsmittel, kosmetische oder pharmazeutische Erzeugnisse, für handgehaltene oder handgeführte tragbare Maschinen, für Maschinen zur Bearbeitung von Holz und Werkstoffen mit ähnlichen physikalischen Eigenschaften und für Maschinen zur Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln. Die RSZ-2600 ist eine ortsfeste Schweißzelle für Stahlbaugruppen (Betriebsanleitung Kap. 2.1) und gehört keiner dieser Kategorien an.	
3.2.1	Fahrerplatz	nicht anwendbar	Teil 3 gilt für Gefährdungen durch die Beweglichkeit von Maschinen. Die RSZ-2600 ist eine ortsfeste Gesamtheit von Maschinen: Robotersockel und Wendetisch sind mit Schwerlastankern im Hallenboden verankert (Betriebsanleitung Kap. 7.2 und 8.2), die Zelle fährt nicht, wird nicht mitgängergeführt und hat keinen Fahrer- oder Mitfahrerplatz. Transport und Umsetzen erfolgen nur in Transporteinheiten im stillgesetzten Zustand mit Flurförderzeugen oder Kran (Kap. 5).	
3.2.2	Sitze	nicht anwendbar	Teil 3 gilt für Gefährdungen durch die Beweglichkeit von Maschinen. Die RSZ-2600 ist eine ortsfeste Gesamtheit von Maschinen: Robotersockel und Wendetisch sind mit Schwerlastankern im Hallenboden verankert (Betriebsanleitung Kap. 7.2 und 8.2), die Zelle fährt nicht, wird nicht mitgängergeführt und hat keinen Fahrer- oder Mitfahrerplatz. Transport und Umsetzen erfolgen nur in Transporteinheiten im stillgesetzten Zustand mit Flurförderzeugen oder Kran (Kap. 5).	
3.2.3	Plätze für andere Personen	nicht anwendbar	Teil 3 gilt für Gefährdungen durch die Beweglichkeit von Maschinen. Die RSZ-2600 ist eine ortsfeste Gesamtheit von Maschinen: Robotersockel und Wendetisch sind mit Schwerlastankern im Hallenboden verankert (Betriebsanleitung Kap. 7.2 und 8.2), die Zelle fährt nicht, wird nicht mitgängergeführt und hat keinen Fahrer- oder Mitfahrerplatz. Transport und Umsetzen erfolgen nur in Transporteinheiten im stillgesetzten Zustand mit Flurförderzeugen oder Kran (Kap. 5).	
3.2.4	Überwachungsfunktion	nicht anwendbar	Teil 3 gilt für Gefährdungen durch die Beweglichkeit von Maschinen. Die RSZ-2600 ist eine ortsfeste Gesamtheit von Maschinen: Robotersockel und Wendetisch sind mit Schwerlastankern im Hallenboden verankert (Betriebsanleitung Kap. 7.2 und 8.2), die Zelle fährt nicht, wird nicht mitgängergeführt und hat keinen Fahrer- oder Mitfahrerplatz. Transport und Umsetzen erfolgen nur in Transporteinheiten im stillgesetzten Zustand mit Flurförderzeugen oder Kran (Kap. 5).	

Nr.	Anforderung	Status	Begründung / Nachweis	Gefährdungen
3.3.1	Stellteile	nicht anwendbar	Teil 3 gilt für Gefährdungen durch die Beweglichkeit von Maschinen. Die RSZ-2600 ist eine ortsfeste Gesamtheit von Maschinen: Robotersockel und Wendetisch sind mit Schwerlastankern im Hallenboden verankert (Betriebsanleitung Kap. 7.2 und 8.2), die Zelle fährt nicht, wird nicht mitgängergeführt und hat keinen Fahrer- oder Mitfahrerplatz. Transport und Umsetzen erfolgen nur in Transporteinheiten im stillgesetzten Zustand mit Flurförderzeugen oder Kran (Kap. 5).	
3.3.2	Ingangsetzen/Verfahren	nicht anwendbar	Teil 3 gilt für Gefährdungen durch die Beweglichkeit von Maschinen. Die RSZ-2600 ist eine ortsfeste Gesamtheit von Maschinen: Robotersockel und Wendetisch sind mit Schwerlastankern im Hallenboden verankert (Betriebsanleitung Kap. 7.2 und 8.2), die Zelle fährt nicht, wird nicht mitgängergeführt und hat keinen Fahrer- oder Mitfahrerplatz. Transport und Umsetzen erfolgen nur in Transporteinheiten im stillgesetzten Zustand mit Flurförderzeugen oder Kran (Kap. 5).	
3.3.3	Stillsetzen/Bremsen	nicht anwendbar	Teil 3 gilt für Gefährdungen durch die Beweglichkeit von Maschinen. Die RSZ-2600 ist eine ortsfeste Gesamtheit von Maschinen: Robotersockel und Wendetisch sind mit Schwerlastankern im Hallenboden verankert (Betriebsanleitung Kap. 7.2 und 8.2), die Zelle fährt nicht, wird nicht mitgängergeführt und hat keinen Fahrer- oder Mitfahrerplatz. Transport und Umsetzen erfolgen nur in Transporteinheiten im stillgesetzten Zustand mit Flurförderzeugen oder Kran (Kap. 5).	
3.3.4	Verfahren mitgängergeführter Maschinen	nicht anwendbar	Teil 3 gilt für Gefährdungen durch die Beweglichkeit von Maschinen. Die RSZ-2600 ist eine ortsfeste Gesamtheit von Maschinen: Robotersockel und Wendetisch sind mit Schwerlastankern im Hallenboden verankert (Betriebsanleitung Kap. 7.2 und 8.2), die Zelle fährt nicht, wird nicht mitgängergeführt und hat keinen Fahrer- oder Mitfahrerplatz. Transport und Umsetzen erfolgen nur in Transporteinheiten im stillgesetzten Zustand mit Flurförderzeugen oder Kran (Kap. 5).	
3.3.5	Störung des Steuerkreises	nicht anwendbar	Teil 3 gilt für Gefährdungen durch die Beweglichkeit von Maschinen. Die RSZ-2600 ist eine ortsfeste Gesamtheit von Maschinen: Robotersockel und Wendetisch sind mit Schwerlastankern im Hallenboden verankert (Betriebsanleitung Kap. 7.2 und 8.2), die Zelle fährt nicht, wird nicht mitgängergeführt und hat keinen Fahrer- oder Mitfahrerplatz. Transport und Umsetzen erfolgen nur in Transporteinheiten im stillgesetzten Zustand mit Flurförderzeugen oder Kran (Kap. 5).	

Nr.	Anforderung	Status	Begründung / Nachweis	Gefährdungen
3.4.1	Unkontrollierte Bewegungen	nicht anwendbar	Teil 3 gilt für Gefährdungen durch die Beweglichkeit von Maschinen. Die RSZ-2600 ist eine ortsfeste Gesamtheit von Maschinen: Robotersockel und Wendetisch sind mit Schwerlastankern im Hallenboden verankert (Betriebsanleitung Kap. 7.2 und 8.2), die Zelle fährt nicht, wird nicht mitgängergeführt und hat keinen Fahrer- oder Mitfahrerplatz. Transport und Umsetzen erfolgen nur in Transporteinheiten im stillgesetzten Zustand mit Flurförderzeugen oder Kran (Kap. 5).	
3.4.2	Bewegliche Übertragungselemente	nicht anwendbar	Teil 3 gilt für Gefährdungen durch die Beweglichkeit von Maschinen. Die RSZ-2600 ist eine ortsfeste Gesamtheit von Maschinen: Robotersockel und Wendetisch sind mit Schwerlastankern im Hallenboden verankert (Betriebsanleitung Kap. 7.2 und 8.2), die Zelle fährt nicht, wird nicht mitgängergeführt und hat keinen Fahrer- oder Mitfahrerplatz. Transport und Umsetzen erfolgen nur in Transporteinheiten im stillgesetzten Zustand mit Flurförderzeugen oder Kran (Kap. 5).	
3.4.3	Überrollen und Umkippen	nicht anwendbar	Teil 3 gilt für Gefährdungen durch die Beweglichkeit von Maschinen. Die RSZ-2600 ist eine ortsfeste Gesamtheit von Maschinen: Robotersockel und Wendetisch sind mit Schwerlastankern im Hallenboden verankert (Betriebsanleitung Kap. 7.2 und 8.2), die Zelle fährt nicht, wird nicht mitgängergeführt und hat keinen Fahrer- oder Mitfahrerplatz. Transport und Umsetzen erfolgen nur in Transporteinheiten im stillgesetzten Zustand mit Flurförderzeugen oder Kran (Kap. 5).	
3.4.4	Herabfallende Gegenstände	nicht anwendbar	Teil 3 gilt für Gefährdungen durch die Beweglichkeit von Maschinen. Die RSZ-2600 ist eine ortsfeste Gesamtheit von Maschinen: Robotersockel und Wendetisch sind mit Schwerlastankern im Hallenboden verankert (Betriebsanleitung Kap. 7.2 und 8.2), die Zelle fährt nicht, wird nicht mitgängergeführt und hat keinen Fahrer- oder Mitfahrerplatz. Transport und Umsetzen erfolgen nur in Transporteinheiten im stillgesetzten Zustand mit Flurförderzeugen oder Kran (Kap. 5).	
3.4.5	Zugänge	nicht anwendbar	Teil 3 gilt für Gefährdungen durch die Beweglichkeit von Maschinen. Die RSZ-2600 ist eine ortsfeste Gesamtheit von Maschinen: Robotersockel und Wendetisch sind mit Schwerlastankern im Hallenboden verankert (Betriebsanleitung Kap. 7.2 und 8.2), die Zelle fährt nicht, wird nicht mitgängergeführt und hat keinen Fahrer- oder Mitfahrerplatz. Transport und Umsetzen erfolgen nur in Transporteinheiten im stillgesetzten Zustand mit Flurförderzeugen oder Kran (Kap. 5).	

Nr.	Anforderung	Status	Begründung / Nachweis	Gefährdungen
3.4.6	Anhängevorrichtungen	nicht anwendbar	Teil 3 gilt für Gefährdungen durch die Beweglichkeit von Maschinen. Die RSZ-2600 ist eine ortsfeste Gesamtheit von Maschinen: Robotersockel und Wendetisch sind mit Schwerlastankern im Hallenboden verankert (Betriebsanleitung Kap. 7.2 und 8.2), die Zelle fährt nicht, wird nicht mitgängergeführt und hat keinen Fahrer- oder Mitfahrerplatz. Transport und Umsetzen erfolgen nur in Transporteinheiten im stillgesetzten Zustand mit Flurförderzeugen oder Kran (Kap. 5).	
3.4.7	Kraftübertragung zwischen einer selbstfahrenden Maschine (oder einer Zugmaschine) und einer angetriebenen Maschine	nicht anwendbar	Teil 3 gilt für Gefährdungen durch die Beweglichkeit von Maschinen. Die RSZ-2600 ist eine ortsfeste Gesamtheit von Maschinen: Robotersockel und Wendetisch sind mit Schwerlastankern im Hallenboden verankert (Betriebsanleitung Kap. 7.2 und 8.2), die Zelle fährt nicht, wird nicht mitgängergeführt und hat keinen Fahrer- oder Mitfahrerplatz. Transport und Umsetzen erfolgen nur in Transporteinheiten im stillgesetzten Zustand mit Flurförderzeugen oder Kran (Kap. 5).	
3.5.1	Batterien	nicht anwendbar	Teil 3 gilt für Gefährdungen durch die Beweglichkeit von Maschinen. Die RSZ-2600 ist eine ortsfeste Gesamtheit von Maschinen: Robotersockel und Wendetisch sind mit Schwerlastankern im Hallenboden verankert (Betriebsanleitung Kap. 7.2 und 8.2), die Zelle fährt nicht, wird nicht mitgängergeführt und hat keinen Fahrer- oder Mitfahrerplatz. Transport und Umsetzen erfolgen nur in Transporteinheiten im stillgesetzten Zustand mit Flurförderzeugen oder Kran (Kap. 5).	
3.5.2	Brand	nicht anwendbar	Teil 3 gilt für Gefährdungen durch die Beweglichkeit von Maschinen. Die RSZ-2600 ist eine ortsfeste Gesamtheit von Maschinen: Robotersockel und Wendetisch sind mit Schwerlastankern im Hallenboden verankert (Betriebsanleitung Kap. 7.2 und 8.2), die Zelle fährt nicht, wird nicht mitgängergeführt und hat keinen Fahrer- oder Mitfahrerplatz. Transport und Umsetzen erfolgen nur in Transporteinheiten im stillgesetzten Zustand mit Flurförderzeugen oder Kran (Kap. 5).	
3.5.3	Emission von gefährlichen Stoffen	nicht anwendbar	Teil 3 gilt für Gefährdungen durch die Beweglichkeit von Maschinen. Die RSZ-2600 ist eine ortsfeste Gesamtheit von Maschinen: Robotersockel und Wendetisch sind mit Schwerlastankern im Hallenboden verankert (Betriebsanleitung Kap. 7.2 und 8.2), die Zelle fährt nicht, wird nicht mitgängergeführt und hat keinen Fahrer- oder Mitfahrerplatz. Transport und Umsetzen erfolgen nur in Transporteinheiten im stillgesetzten Zustand mit Flurförderzeugen oder Kran (Kap. 5).	

Nr.	Anforderung	Status	Begründung / Nachweis	Gefährdungen
3.5.4	Risiko des Kontakts mit stromführenden Freileitungen	nicht anwendbar	Teil 3 gilt für Gefährdungen durch die Beweglichkeit von Maschinen. Die RSZ-2600 ist eine ortsfeste Gesamtheit von Maschinen: Robotersockel und Wendetisch sind mit Schwerlastankern im Hallenboden verankert (Betriebsanleitung Kap. 7.2 und 8.2), die Zelle fährt nicht, wird nicht mitgängergeführt und hat keinen Fahrer- oder Mitfahrerplatz. Transport und Umsetzen erfolgen nur in Transporteinheiten im stillgesetzten Zustand mit Flurförderzeugen oder Kran (Kap. 5).	
3.6.1	Zeichen, Signaleinrichtungen und Warnhinweise	nicht anwendbar	Teil 3 gilt für Gefährdungen durch die Beweglichkeit von Maschinen. Die RSZ-2600 ist eine ortsfeste Gesamtheit von Maschinen: Robotersockel und Wendetisch sind mit Schwerlastankern im Hallenboden verankert (Betriebsanleitung Kap. 7.2 und 8.2), die Zelle fährt nicht, wird nicht mitgängergeführt und hat keinen Fahrer- oder Mitfahrerplatz. Transport und Umsetzen erfolgen nur in Transporteinheiten im stillgesetzten Zustand mit Flurförderzeugen oder Kran (Kap. 5).	
3.6.2	Kennzeichnung	nicht anwendbar	Teil 3 gilt für Gefährdungen durch die Beweglichkeit von Maschinen. Die RSZ-2600 ist eine ortsfeste Gesamtheit von Maschinen: Robotersockel und Wendetisch sind mit Schwerlastankern im Hallenboden verankert (Betriebsanleitung Kap. 7.2 und 8.2), die Zelle fährt nicht, wird nicht mitgängergeführt und hat keinen Fahrer- oder Mitfahrerplatz. Transport und Umsetzen erfolgen nur in Transporteinheiten im stillgesetzten Zustand mit Flurförderzeugen oder Kran (Kap. 5).	
3.6.3	Betriebsanleitung (Beweglichkeit)	nicht anwendbar	Teil 3 gilt für Gefährdungen durch die Beweglichkeit von Maschinen. Die RSZ-2600 ist eine ortsfeste Gesamtheit von Maschinen: Robotersockel und Wendetisch sind mit Schwerlastankern im Hallenboden verankert (Betriebsanleitung Kap. 7.2 und 8.2), die Zelle fährt nicht, wird nicht mitgängergeführt und hat keinen Fahrer- oder Mitfahrerplatz. Transport und Umsetzen erfolgen nur in Transporteinheiten im stillgesetzten Zustand mit Flurförderzeugen oder Kran (Kap. 5).	
3.6.3.1	Vibrationen	nicht anwendbar	Teil 3 gilt für Gefährdungen durch die Beweglichkeit von Maschinen. Die RSZ-2600 ist eine ortsfeste Gesamtheit von Maschinen: Robotersockel und Wendetisch sind mit Schwerlastankern im Hallenboden verankert (Betriebsanleitung Kap. 7.2 und 8.2), die Zelle fährt nicht, wird nicht mitgängergeführt und hat keinen Fahrer- oder Mitfahrerplatz. Transport und Umsetzen erfolgen nur in Transporteinheiten im stillgesetzten Zustand mit Flurförderzeugen oder Kran (Kap. 5).	

Nr.	Anforderung	Status	Begründung / Nachweis	Gefährdungen
3.6.3.2	Mehrere Verwendungsmöglichkeiten	nicht anwendbar	Teil 3 gilt für Gefährdungen durch die Beweglichkeit von Maschinen. Die RSZ-2600 ist eine ortsfeste Gesamtheit von Maschinen: Robotersockel und Wendetisch sind mit Schwerlastankern im Hallenboden verankert (Betriebsanleitung Kap. 7.2 und 8.2), die Zelle fährt nicht, wird nicht mitgängergeführt und hat keinen Fahrer- oder Mitfahrerplatz. Transport und Umsetzen erfolgen nur in Transporteinheiten im stillgesetzten Zustand mit Flurförderzeugen oder Kran (Kap. 5).	
3.6.3.3	Autonome mobile Maschinen oder dazugehörige Produkte	nicht anwendbar	Teil 3 gilt für Gefährdungen durch die Beweglichkeit von Maschinen. Die RSZ-2600 ist eine ortsfeste Gesamtheit von Maschinen: Robotersockel und Wendetisch sind mit Schwerlastankern im Hallenboden verankert (Betriebsanleitung Kap. 7.2 und 8.2), die Zelle fährt nicht, wird nicht mitgängergeführt und hat keinen Fahrer- oder Mitfahrerplatz. Transport und Umsetzen erfolgen nur in Transporteinheiten im stillgesetzten Zustand mit Flurförderzeugen oder Kran (Kap. 5).	
4.1.2	Schutzmaßnahmen gegen mechanische Gefährdungen	nicht anwendbar	Teil 4 gilt für Gefährdungen durch Hebevorgänge. Die RSZ-2600 hebt keine Lasten: Der Wendetisch dreht die Werkstücke um eine vertikale Achse ohne Änderung der Höhe, der Roboter führt den Schweißbrenner, und Einlegen und Entnehmen erfolgen durch den Bediener (Betriebsanleitung Kap. 4.1 und 4.3). Die Hebehilfe für Werkstücke über 15 kg stellt der Betreiber bauseitig bereit; sie gehört nicht zum Lieferumfang und nicht zu dieser Gesamtheit von Maschinen (Kap. 1.1).	
4.1.2.1	Risiken durch mangelnde Standsicherheit	nicht anwendbar	Teil 4 gilt für Gefährdungen durch Hebevorgänge. Die RSZ-2600 hebt keine Lasten: Der Wendetisch dreht die Werkstücke um eine vertikale Achse ohne Änderung der Höhe, der Roboter führt den Schweißbrenner, und Einlegen und Entnehmen erfolgen durch den Bediener (Betriebsanleitung Kap. 4.1 und 4.3). Die Hebehilfe für Werkstücke über 15 kg stellt der Betreiber bauseitig bereit; sie gehört nicht zum Lieferumfang und nicht zu dieser Gesamtheit von Maschinen (Kap. 1.1).	
4.1.2.2	An Führungen oder auf Laufbahnen fahrende Maschinen oder dazugehörige Produkte	nicht anwendbar	Teil 4 gilt für Gefährdungen durch Hebevorgänge. Die RSZ-2600 hebt keine Lasten: Der Wendetisch dreht die Werkstücke um eine vertikale Achse ohne Änderung der Höhe, der Roboter führt den Schweißbrenner, und Einlegen und Entnehmen erfolgen durch den Bediener (Betriebsanleitung Kap. 4.1 und 4.3). Die Hebehilfe für Werkstücke über 15 kg stellt der Betreiber bauseitig bereit; sie gehört nicht zum Lieferumfang und nicht zu dieser Gesamtheit von Maschinen (Kap. 1.1).	

Nr.	Anforderung	Status	Begründung / Nachweis	Gefährdungen
4.1.2.3	Festigkeit	nicht anwendbar	Teil 4 gilt für Gefährdungen durch Hebevorgänge. Die RSZ-2600 hebt keine Lasten: Der Wendetisch dreht die Werkstücke um eine vertikale Achse ohne Änderung der Höhe, der Roboter führt den Schweißbrenner, und Einlegen und Entnehmen erfolgen durch den Bediener (Betriebsanleitung Kap. 4.1 und 4.3). Die Hebehilfe für Werkstücke über 15 kg stellt der Betreiber bauseitig bereit; sie gehört nicht zum Lieferumfang und nicht zu dieser Gesamtheit von Maschinen (Kap. 1.1).	
4.1.2.4	Rollen, Trommeln, Scheiben, Seile und Ketten	nicht anwendbar	Teil 4 gilt für Gefährdungen durch Hebevorgänge. Die RSZ-2600 hebt keine Lasten: Der Wendetisch dreht die Werkstücke um eine vertikale Achse ohne Änderung der Höhe, der Roboter führt den Schweißbrenner, und Einlegen und Entnehmen erfolgen durch den Bediener (Betriebsanleitung Kap. 4.1 und 4.3). Die Hebehilfe für Werkstücke über 15 kg stellt der Betreiber bauseitig bereit; sie gehört nicht zum Lieferumfang und nicht zu dieser Gesamtheit von Maschinen (Kap. 1.1).	
4.1.2.5	Lastaufnahmemittel und ihre Bauteile	nicht anwendbar	Teil 4 gilt für Gefährdungen durch Hebevorgänge. Die RSZ-2600 hebt keine Lasten: Der Wendetisch dreht die Werkstücke um eine vertikale Achse ohne Änderung der Höhe, der Roboter führt den Schweißbrenner, und Einlegen und Entnehmen erfolgen durch den Bediener (Betriebsanleitung Kap. 4.1 und 4.3). Die Hebehilfe für Werkstücke über 15 kg stellt der Betreiber bauseitig bereit; sie gehört nicht zum Lieferumfang und nicht zu dieser Gesamtheit von Maschinen (Kap. 1.1).	
4.1.2.6	Bewegungssteuerung	nicht anwendbar	Teil 4 gilt für Gefährdungen durch Hebevorgänge. Die RSZ-2600 hebt keine Lasten: Der Wendetisch dreht die Werkstücke um eine vertikale Achse ohne Änderung der Höhe, der Roboter führt den Schweißbrenner, und Einlegen und Entnehmen erfolgen durch den Bediener (Betriebsanleitung Kap. 4.1 und 4.3). Die Hebehilfe für Werkstücke über 15 kg stellt der Betreiber bauseitig bereit; sie gehört nicht zum Lieferumfang und nicht zu dieser Gesamtheit von Maschinen (Kap. 1.1).	
4.1.2.7	Bewegungen von Lasten während der Benutzung	nicht anwendbar	Teil 4 gilt für Gefährdungen durch Hebevorgänge. Die RSZ-2600 hebt keine Lasten: Der Wendetisch dreht die Werkstücke um eine vertikale Achse ohne Änderung der Höhe, der Roboter führt den Schweißbrenner, und Einlegen und Entnehmen erfolgen durch den Bediener (Betriebsanleitung Kap. 4.1 und 4.3). Die Hebehilfe für Werkstücke über 15 kg stellt der Betreiber bauseitig bereit; sie gehört nicht zum Lieferumfang und nicht zu dieser Gesamtheit von Maschinen (Kap. 1.1).	

Nr.	Anforderung	Status	Begründung / Nachweis	Gefährdungen
4.1.2.8	Maschinen, die feste Ladestellen anfahren	nicht anwendbar	Teil 4 gilt für Gefährdungen durch Hebevorgänge. Die RSZ-2600 hebt keine Lasten: Der Wendetisch dreht die Werkstücke um eine vertikale Achse ohne Änderung der Höhe, der Roboter führt den Schweißbrenner, und Einlegen und Entnehmen erfolgen durch den Bediener (Betriebsanleitung Kap. 4.1 und 4.3). Die Hebehilfe für Werkstücke über 15 kg stellt der Betreiber bauseitig bereit; sie gehört nicht zum Lieferumfang und nicht zu dieser Gesamtheit von Maschinen (Kap. 1.1).	
4.1.2.8.1	Bewegungen des Lastträgers	nicht anwendbar	Teil 4 gilt für Gefährdungen durch Hebevorgänge. Die RSZ-2600 hebt keine Lasten: Der Wendetisch dreht die Werkstücke um eine vertikale Achse ohne Änderung der Höhe, der Roboter führt den Schweißbrenner, und Einlegen und Entnehmen erfolgen durch den Bediener (Betriebsanleitung Kap. 4.1 und 4.3). Die Hebehilfe für Werkstücke über 15 kg stellt der Betreiber bauseitig bereit; sie gehört nicht zum Lieferumfang und nicht zu dieser Gesamtheit von Maschinen (Kap. 1.1).	
4.1.2.8.2	Zugang zum Lastträger	nicht anwendbar	Teil 4 gilt für Gefährdungen durch Hebevorgänge. Die RSZ-2600 hebt keine Lasten: Der Wendetisch dreht die Werkstücke um eine vertikale Achse ohne Änderung der Höhe, der Roboter führt den Schweißbrenner, und Einlegen und Entnehmen erfolgen durch den Bediener (Betriebsanleitung Kap. 4.1 und 4.3). Die Hebehilfe für Werkstücke über 15 kg stellt der Betreiber bauseitig bereit; sie gehört nicht zum Lieferumfang und nicht zu dieser Gesamtheit von Maschinen (Kap. 1.1).	
4.1.2.8.3	Risiken durch Kontakt mit dem bewegten Lastträger	nicht anwendbar	Teil 4 gilt für Gefährdungen durch Hebevorgänge. Die RSZ-2600 hebt keine Lasten: Der Wendetisch dreht die Werkstücke um eine vertikale Achse ohne Änderung der Höhe, der Roboter führt den Schweißbrenner, und Einlegen und Entnehmen erfolgen durch den Bediener (Betriebsanleitung Kap. 4.1 und 4.3). Die Hebehilfe für Werkstücke über 15 kg stellt der Betreiber bauseitig bereit; sie gehört nicht zum Lieferumfang und nicht zu dieser Gesamtheit von Maschinen (Kap. 1.1).	
4.1.2.8.4	Risiken durch vom Lastträger herabstürzende Lasten	nicht anwendbar	Teil 4 gilt für Gefährdungen durch Hebevorgänge. Die RSZ-2600 hebt keine Lasten: Der Wendetisch dreht die Werkstücke um eine vertikale Achse ohne Änderung der Höhe, der Roboter führt den Schweißbrenner, und Einlegen und Entnehmen erfolgen durch den Bediener (Betriebsanleitung Kap. 4.1 und 4.3). Die Hebehilfe für Werkstücke über 15 kg stellt der Betreiber bauseitig bereit; sie gehört nicht zum Lieferumfang und nicht zu dieser Gesamtheit von Maschinen (Kap. 1.1).	

Nr.	Anforderung	Status	Begründung / Nachweis	Gefährdungen
4.1.2.8.5	Ladestellen	nicht anwendbar	Teil 4 gilt für Gefährdungen durch Hebevorgänge. Die RSZ-2600 hebt keine Lasten: Der Wendetisch dreht die Werkstücke um eine vertikale Achse ohne Änderung der Höhe, der Roboter führt den Schweißbrenner, und Einlegen und Entnehmen erfolgen durch den Bediener (Betriebsanleitung Kap. 4.1 und 4.3). Die Hebehilfe für Werkstücke über 15 kg stellt der Betreiber bauseitig bereit; sie gehört nicht zum Lieferumfang und nicht zu dieser Gesamtheit von Maschinen (Kap. 1.1).	
4.1.3	Zwecktauglichkeit	nicht anwendbar	Teil 4 gilt für Gefährdungen durch Hebevorgänge. Die RSZ-2600 hebt keine Lasten: Der Wendetisch dreht die Werkstücke um eine vertikale Achse ohne Änderung der Höhe, der Roboter führt den Schweißbrenner, und Einlegen und Entnehmen erfolgen durch den Bediener (Betriebsanleitung Kap. 4.1 und 4.3). Die Hebehilfe für Werkstücke über 15 kg stellt der Betreiber bauseitig bereit; sie gehört nicht zum Lieferumfang und nicht zu dieser Gesamtheit von Maschinen (Kap. 1.1).	
4.2.1	Bewegungssteuerung	nicht anwendbar	Teil 4 gilt für Gefährdungen durch Hebevorgänge. Die RSZ-2600 hebt keine Lasten: Der Wendetisch dreht die Werkstücke um eine vertikale Achse ohne Änderung der Höhe, der Roboter führt den Schweißbrenner, und Einlegen und Entnehmen erfolgen durch den Bediener (Betriebsanleitung Kap. 4.1 und 4.3). Die Hebehilfe für Werkstücke über 15 kg stellt der Betreiber bauseitig bereit; sie gehört nicht zum Lieferumfang und nicht zu dieser Gesamtheit von Maschinen (Kap. 1.1).	
4.2.2	Belastungsbegrenzung	nicht anwendbar	Teil 4 gilt für Gefährdungen durch Hebevorgänge. Die RSZ-2600 hebt keine Lasten: Der Wendetisch dreht die Werkstücke um eine vertikale Achse ohne Änderung der Höhe, der Roboter führt den Schweißbrenner, und Einlegen und Entnehmen erfolgen durch den Bediener (Betriebsanleitung Kap. 4.1 und 4.3). Die Hebehilfe für Werkstücke über 15 kg stellt der Betreiber bauseitig bereit; sie gehört nicht zum Lieferumfang und nicht zu dieser Gesamtheit von Maschinen (Kap. 1.1).	
4.2.3	Seilgeführte Einrichtungen	nicht anwendbar	Teil 4 gilt für Gefährdungen durch Hebevorgänge. Die RSZ-2600 hebt keine Lasten: Der Wendetisch dreht die Werkstücke um eine vertikale Achse ohne Änderung der Höhe, der Roboter führt den Schweißbrenner, und Einlegen und Entnehmen erfolgen durch den Bediener (Betriebsanleitung Kap. 4.1 und 4.3). Die Hebehilfe für Werkstücke über 15 kg stellt der Betreiber bauseitig bereit; sie gehört nicht zum Lieferumfang und nicht zu dieser Gesamtheit von Maschinen (Kap. 1.1).	

Nr.	Anforderung	Status	Begründung / Nachweis	Gefährdungen
4.3.1	Ketten, Seile und Gurte	nicht anwendbar	Teil 4 gilt für Gefährdungen durch Hebevorgänge. Die RSZ-2600 hebt keine Lasten: Der Wendetisch dreht die Werkstücke um eine vertikale Achse ohne Änderung der Höhe, der Roboter führt den Schweißbrenner, und Einlegen und Entnehmen erfolgen durch den Bediener (Betriebsanleitung Kap. 4.1 und 4.3). Die Hebehilfe für Werkstücke über 15 kg stellt der Betreiber bauseitig bereit; sie gehört nicht zum Lieferumfang und nicht zu dieser Gesamtheit von Maschinen (Kap. 1.1).	
4.3.2	Lastaufnahmemittel	nicht anwendbar	Teil 4 gilt für Gefährdungen durch Hebevorgänge. Die RSZ-2600 hebt keine Lasten: Der Wendetisch dreht die Werkstücke um eine vertikale Achse ohne Änderung der Höhe, der Roboter führt den Schweißbrenner, und Einlegen und Entnehmen erfolgen durch den Bediener (Betriebsanleitung Kap. 4.1 und 4.3). Die Hebehilfe für Werkstücke über 15 kg stellt der Betreiber bauseitig bereit; sie gehört nicht zum Lieferumfang und nicht zu dieser Gesamtheit von Maschinen (Kap. 1.1).	
4.3.3	Maschinen zum Heben von Lasten oder dazugehörige Produkte	nicht anwendbar	Teil 4 gilt für Gefährdungen durch Hebevorgänge. Die RSZ-2600 hebt keine Lasten: Der Wendetisch dreht die Werkstücke um eine vertikale Achse ohne Änderung der Höhe, der Roboter führt den Schweißbrenner, und Einlegen und Entnehmen erfolgen durch den Bediener (Betriebsanleitung Kap. 4.1 und 4.3). Die Hebehilfe für Werkstücke über 15 kg stellt der Betreiber bauseitig bereit; sie gehört nicht zum Lieferumfang und nicht zu dieser Gesamtheit von Maschinen (Kap. 1.1).	
4.4.1	Lastaufnahmemittel	nicht anwendbar	Teil 4 gilt für Gefährdungen durch Hebevorgänge. Die RSZ-2600 hebt keine Lasten: Der Wendetisch dreht die Werkstücke um eine vertikale Achse ohne Änderung der Höhe, der Roboter führt den Schweißbrenner, und Einlegen und Entnehmen erfolgen durch den Bediener (Betriebsanleitung Kap. 4.1 und 4.3). Die Hebehilfe für Werkstücke über 15 kg stellt der Betreiber bauseitig bereit; sie gehört nicht zum Lieferumfang und nicht zu dieser Gesamtheit von Maschinen (Kap. 1.1).	
4.4.2	Maschinen zum Heben von Lasten oder dazugehörige Produkte	nicht anwendbar	Teil 4 gilt für Gefährdungen durch Hebevorgänge. Die RSZ-2600 hebt keine Lasten: Der Wendetisch dreht die Werkstücke um eine vertikale Achse ohne Änderung der Höhe, der Roboter führt den Schweißbrenner, und Einlegen und Entnehmen erfolgen durch den Bediener (Betriebsanleitung Kap. 4.1 und 4.3). Die Hebehilfe für Werkstücke über 15 kg stellt der Betreiber bauseitig bereit; sie gehört nicht zum Lieferumfang und nicht zu dieser Gesamtheit von Maschinen (Kap. 1.1).	
5.1	Risiken durch mangelnde Standsicherheit	nicht anwendbar	Teil 5 gilt für Maschinen für den Einsatz unter Tage. Die RSZ-2600 ist ausschließlich für die Aufstellung in einer trockenen Produktionshalle bestimmt (Betriebsanleitung Kap. 2.1 und 7.3).	

Nr.	Anforderung	Status	Begründung / Nachweis	Gefährdungen
5.2	Bewegungsfreiheit	nicht anwendbar	Teil 5 gilt für Maschinen für den Einsatz unter Tage. Die RSZ-2600 ist ausschließlich für die Aufstellung in einer trockenen Produktionshalle bestimmt (Betriebsanleitung Kap. 2.1 und 7.3).	
5.3	Stellteile	nicht anwendbar	Teil 5 gilt für Maschinen für den Einsatz unter Tage. Die RSZ-2600 ist ausschließlich für die Aufstellung in einer trockenen Produktionshalle bestimmt (Betriebsanleitung Kap. 2.1 und 7.3).	
5.4	Anhalten der Fahrbewegung	nicht anwendbar	Teil 5 gilt für Maschinen für den Einsatz unter Tage. Die RSZ-2600 ist ausschließlich für die Aufstellung in einer trockenen Produktionshalle bestimmt (Betriebsanleitung Kap. 2.1 und 7.3).	
5.5	Brand	nicht anwendbar	Teil 5 gilt für Maschinen für den Einsatz unter Tage. Die RSZ-2600 ist ausschließlich für die Aufstellung in einer trockenen Produktionshalle bestimmt (Betriebsanleitung Kap. 2.1 und 7.3).	
5.6	Emission von Abgasen	nicht anwendbar	Teil 5 gilt für Maschinen für den Einsatz unter Tage. Die RSZ-2600 ist ausschließlich für die Aufstellung in einer trockenen Produktionshalle bestimmt (Betriebsanleitung Kap. 2.1 und 7.3).	
6.1	Allgemeines (Heben von Personen)	nicht anwendbar	Teil 6 gilt für Maschinen, von denen Gefährdungen durch das Heben von Personen ausgehen. Die RSZ-2600 hebt und befördert keine Personen. Das höhenverstellbare Standpodest am Beschickungsplatz wird vor Arbeitsbeginn auf die Körpergröße des Bedieners eingestellt und dient während der Arbeit als Standfläche (Betriebsanleitung Kap. 4.2 und 9.4).	
6.2	Stellteile	nicht anwendbar	Teil 6 gilt für Maschinen, von denen Gefährdungen durch das Heben von Personen ausgehen. Die RSZ-2600 hebt und befördert keine Personen. Das höhenverstellbare Standpodest am Beschickungsplatz wird vor Arbeitsbeginn auf die Körpergröße des Bedieners eingestellt und dient während der Arbeit als Standfläche (Betriebsanleitung Kap. 4.2 und 9.4).	
6.3	Risiken für in oder auf dem Lastträger befindliche Personen	nicht anwendbar	Teil 6 gilt für Maschinen, von denen Gefährdungen durch das Heben von Personen ausgehen. Die RSZ-2600 hebt und befördert keine Personen. Das höhenverstellbare Standpodest am Beschickungsplatz wird vor Arbeitsbeginn auf die Körpergröße des Bedieners eingestellt und dient während der Arbeit als Standfläche (Betriebsanleitung Kap. 4.2 und 9.4).	

Nr.	Anforderung	Status	Begründung / Nachweis	Gefährdungen
6.4	Maschinen und dazugehörige Produkte, die feste Haltestellen anfahren	nicht anwendbar	Teil 6 gilt für Maschinen, von denen Gefährdungen durch das Heben von Personen ausgehen. Die RSZ-2600 hebt und befördert keine Personen. Das höhenverstellbare Standpodest am Beschickungsplatz wird vor Arbeitsbeginn auf die Körpergröße des Bedieners eingestellt und dient während der Arbeit als Standfläche (Betriebsanleitung Kap. 4.2 und 9.4).	
6.5	Kennzeichnung (Heben von Personen)	nicht anwendbar	Teil 6 gilt für Maschinen, von denen Gefährdungen durch das Heben von Personen ausgehen. Die RSZ-2600 hebt und befördert keine Personen. Das höhenverstellbare Standpodest am Beschickungsplatz wird vor Arbeitsbeginn auf die Körpergröße des Bedieners eingestellt und dient während der Arbeit als Standfläche (Betriebsanleitung Kap. 4.2 und 9.4).	

Schutzmaßnahmen je Gefährdung siehe Risikobeurteilung.