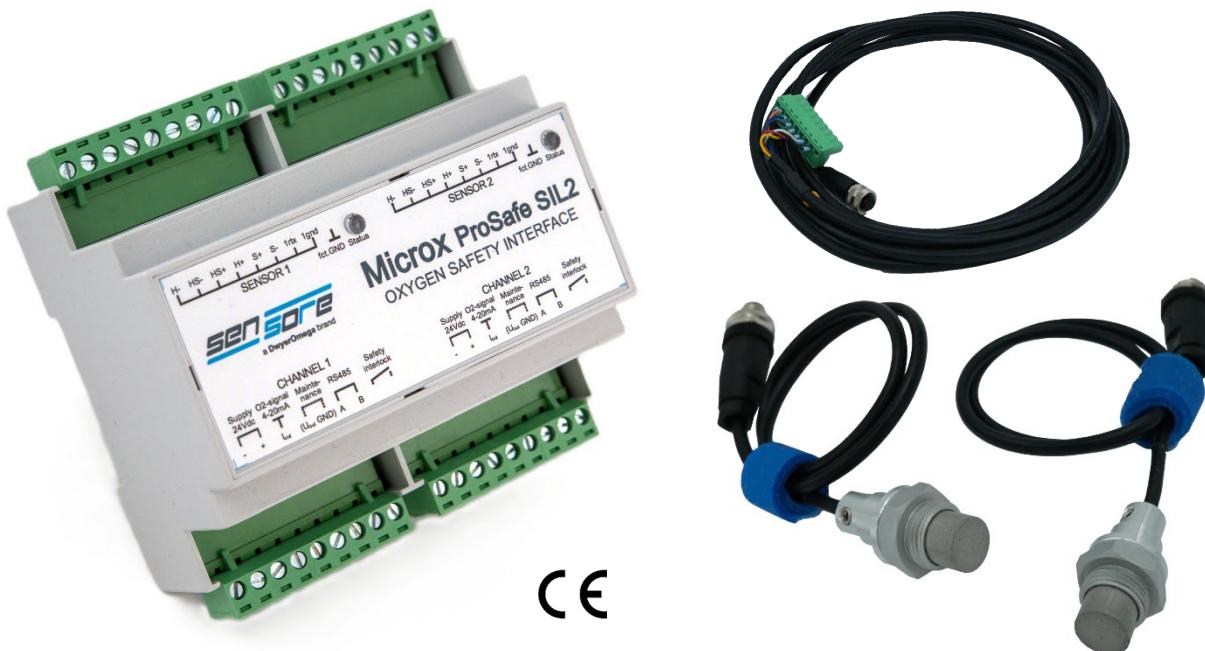


# Sauerstoff Transmitter

## Microx ProSafe SIL2

### O2-Safety-Device

### Sicherheitshandbuch



## Revisionsverlauf

| Ausgabe Nr. | Beschreibung                          | Datum   | Initialen des Autors |
|-------------|---------------------------------------|---------|----------------------|
| 00          | Neues Dokument, engl.                 | 06/2025 | PS, NF, IM           |
| 01          | Aktualisierung des Zertifikats, engl. | 07/2025 | PS                   |
| 02          | Deutsche Version                      | 01/2026 | PS                   |



**SENSORE Electronic GmbH**  
**Aufeldgasse 37-39**  
**A-3400 Klosterneuburg**

Microx ProSafe SIL2

Kontaktinformationen finden Sie unter  
[DwyerOmega.com](http://DwyerOmega.com)

Die SENSORE Electronic GmbH ist Teil der DwyerOmega-Gruppe.  
Dieses Dokument ist Eigentum der SENSORE Electronic GmbH und darf ohne ausdrückliche schriftliche Genehmigung von  
SENSORE Electronic weder kopiert oder anderweitig reproduziert, an Dritte weitergegeben noch in einem  
Datenverarbeitungssystem gespeichert werden.

© 2025 SENSORE Electronic GmbH  
SENSORE, a DwyerOmega brand

## Abkürzungen

|                   |  |
|-------------------|--|
| $\lambda$         | Failure (Ausfall)  |
| $\lambda_D$       | Dangerous Failure (gefährbringender Ausfall)   |
| $\lambda_{DD}$    | Dangerous Detected Failure (gefährbringender erkannter Ausfall)                                      |
| $\lambda_{DU}$    | Dangerous Undetected Failure (gefährbringender unerkannter Ausfall)                                  |
| $\lambda_S$       | Safe Failure (sicherer Ausfall)  |
| $\lambda_{SD}$    | Safe Detected Failure (sicherer erkannter Ausfall)   |
| $\lambda_{SU}$    | Safe Undetected Failure (sicherer unerkannter Ausfall)   |
| $\beta$           | Common Cause Failure Risk, $\beta$ -Faktor EN IEC 62061 (Ausfallrisiko in Folge gemeinsamer Ursache) |
| /hr               | Per Hour (pro Stunde)  |
| AM                | Additive Manufacturing (Additive Fertigung)  |
| Ar                | Argon  |
| DC                | Direct Current (Gleichstrom)   |
| DC <sup>^</sup>   | Diagnostic Coverage (Diagnosedeckungsgrad)   |
| EEPROM            | Electrically Erasable Programmable Read-only Memory  |
| FS                | Functional Safety (funktionale Sicherheit)   |
| FSE               | Functional Safety Engineering  |
| FSM               | Functional Safety Management   |
| GND               | Ground (Erde)  |
| HFT               | Hardware Fault Tolerance (Hardware Fehlertoleranz)   |
| MTTF              | Mean Time To Failure (mittlere Zeit bis zum Ausfall)   |
| MTTF <sub>D</sub> | Mean Time To Dangerous Failure (mittlere Zeit bis zum gefährbringenden Ausfall)                      |
| mA                | Milliamp   |
| N <sub>2</sub>    | Nitrogen (Stickstoff)  |
| nop               | Mean number of annual operations (Schaltzyklen pro Jahr)   |
| O <sub>2</sub>    | Oxygen (Sauerstoff)  |
| O/C               | Open Circuit (Offene Leitung)  |
| PCB               | Printed Circuit Board (Leiterplatte)   |
| PELV              | Protected Extra Low Voltage (Schutzkleinspannung)  |

---

|      |   |
|------|---|
| PFH  | Probability of Dangerous Failure per Hour<br>(Wahrscheinlichkeit eines gefahrbringenden Ausfalls je Stunde) |
| PLC  | Programmable Logic Controller (speicherprogrammierbare Steuerung)   |
| PL d | Performance Level d   |
| PSU  | Power Supply Unit (Spannungsversorgung)   |
| RL   | Relay (Relais)  |
| S/C  | Short Circuit (Kurzschluss)   |
| SELV | Safety Extra Low Voltage (Sicherheitskleinspannung)   |
| SFF  | Safe Failure Fraction (Anteil sicherer Ausfälle)  |
| SIL  | Safety Integrity Level (Sicherheits-Integritätslevel)   |
| SIS  | Safety-instrumented System (sicherheitsgerichtetes System)  |

## Inhalt

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 Einleitung .....</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1 Richtlinien für die Sicherheit .....  | 1         |
| 1.2 System-Übersicht .....  | 1         |
| 1.3 Sicherheitsanwendungen und Einschränkungen .....  | 1         |
| 1.4 Bewertung der funktionalen Sicherheit im übergeordneten sicherheitsgerichteten System (SIS).... | 2         |
| 1.5 Definitionen.....   | 3         |
| <b>2 Angewandte Sicherheitsnormen und resultierende Sicherheitsparameter .....</b>                  | <b>4</b>  |
| 2.1 EN ISO 13849-1.....   | 4         |
| 2.2 Berechnungsdetails .....  | 5         |
| 2.3 EN IEC 62061.....   | 5         |
| 2.4 Berechnungsdetails .....  | 6         |
| 2.5 Sicherheitsparameter für ein 6-monatiges periodisches Prüfintervall.....                        | 6         |
| 2.6 Restrisiken.....  | 7         |
| <b>3 Periodische Prüfung der Sensorfunktion .....</b>   | <b>8</b>  |
| 3.1 Primärer Zweck der periodischen Prüfung.....  | 8         |
| 3.2 Sekundärer Zweck der periodischen Prüfung .....   | 8         |
| 3.3 Implementierung der periodischen Prüfung in das übergeordnete SIS .....                         | 8         |
| 3.4 Empfohlene Maßnahmen nach der periodischen Prüfung.....   | 10        |
| 3.5 Kriterien für das Bestehen/Nichtbestehen der periodischen Prüfung.....                          | 10        |
| <b>4 Validierung.....</b>   | <b>11</b> |
| 4.1 Was ist der Zweck der Validierung? .....  | 11        |
| 4.2 Wer sollte in den Validierungsprozess einbezogen werden? .....                                  | 11        |
| 4.3 Validierung auf der Grundlage von EN 50104 .....  | 11        |
| 4.4 Verlängertes periodisches Prüfintervall.....  | 13        |
| <b>5 Anhang.....</b>  | <b>15</b> |
| <b>Anhang A - Checklist .....</b>   | <b>15</b> |



## 1 Einleitung

Dieses Sicherheitshandbuch gilt für den Microx ProSafe SIL2 Oxygen Transmitter, ein 2-Kanal-Sauerstoffüberwachungssystem. Es behandelt Aspekte der funktionalen Sicherheit bei der Integration des Transmitters in ein übergeordnetes sicherheitsgerichtetes System (SIS).

Allgemeine Informationen zur Installation, zum Betrieb, zur Wartung und zur Fehlersuche finden Sie in der Bedienungsanleitung (ES015d).

### 1.1 Richtlinien für die Sicherheit

Das System darf nur wie folgt verwendet werden:

- Für die vorgesehenen Sicherheitsanwendungen, unter Berücksichtigung der in "1.3 Sicherheitsanwendungen und Einschränkungen" genannten Bedingungen
- Innerhalb der zulässigen Betriebsbedingungen. Bitte beachten Sie die Technischen Spezifikationen in der Bedienungsanleitung
- Bei korrekter Installation durch qualifiziertes Personal, wie in der Bedienungsanleitung beschrieben
- Sobald eine Bewertung der funktionalen Sicherheit seiner Integration in ein übergeordnetes SIS durchgeführt worden ist, siehe 1.4 auf Seite 2
- Nach Berücksichtigung der Sicherheitsparameter und Restrisiken, siehe Abschnitt 2 auf Seite 4
- Unter Einhaltung des Prüfintervall der periodischen Prüfung, siehe Abschnitt 3 auf Seite 8
- Nach Validierung des Systems in der Anwendung, siehe Abschnitt 4 auf Seite 11.
  - Die Validierung bestimmt das Prüfintervall und die Kriterien für das Bestehen oder Nichtbestehen der periodischen Prüfung.

### 1.2 System-Übersicht

Die SIL2-Zulassung basiert auf der Baumusterprüfung durch TÜV Austria No. IN-AT-AS-MRL-20-00297A des Gesamtsystems "O2-Safety-Device". Dieses bestehend aus den folgenden Modulen:

| Modul                 | Beschreibung / Details       | Etikett             |
|-----------------------|------------------------------|---------------------|
| Microx ProSafe SIL2   | User interface/controller    | O2-Safety-Interface |
| O <sub>2</sub> Sensor | 0.1.. 23.5 % O <sub>2</sub>  | SO-D3_250-_____     |
| O <sub>2</sub> Sensor | 0.01...2.35 % O <sub>2</sub> | SO-D3_025-_____     |

### 1.3 Sicherheitsanwendungen und Einschränkungen

Microx ProSafe SIL2 ist für die Überwachung von Atmosphären ausgelegt, in denen die Sicherheit durch Inertisierung mit Stickstoff (N<sub>2</sub>) oder Argon (Ar) gewährleistet wird:

- Additive Manufacturing (AM) - Pulverbettschmelzmaschinen, Siebanlagen für AM-Metallpulver
- Filtersysteme
- Glovebox und Containmentlösungen
- Allgemeine Inertisierungsanwendungen ("Blanketing")

**HINWEIS:** Die Sensoren sind für die Inertisierung mit Stickstoff ( $N_2$ ) kalibriert und spezifiziert. Wird stattdessen mit Argon inertisiert beeinträchtigt diese die Sicherheitsintegritätsstufe (SIL) nicht. Bedingt durch die Diffusionseigenschaften von Argon ergeben sich prozesstechnisch geringfügige Kalibrierungsabweichungen. Für Applikationen, die zwischen Argon und Stickstoff wechseln, wird empfohlen die Abweichungen im übergeordneten System zu berücksichtigen.



**Aus sicherheitstechnischen Erwägungen erfolgt die Kalibration der Sensoren immer in Stickstoff und nicht in Argon.**

### 1.3.1 Einschränkungen

- Microx ProSafe SIL2-Sauerstoffsensoren sind für den Einsatz unter nichtkontaminierenden Bedingungen vorgesehen. Durch das Spülen mit Stickstoff oder Argon wird eine niedrige  $O_2$ -Konzentration erreicht, zu berücksichtigen sind mögliche flüchtige Substanzen, z.B. Nebenprodukte eines unter Inertisierung ablaufenden Prozesses. Die Sensoren sollten nicht in Umgebungen eingesetzt werden, die die Sensordrift beschleunigen. (z. B. bei der Verarbeitung von Kunststoffpulvern).
- Das System ist nicht für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen zugelassen, z.B. ATEX, IECEx, CSA, FM, da der Sensor auf ca. 600 °C erhitzt wird
- Die Sensoren dürfen nicht in brennbaren Gasgemischen verwendet werden.
- Spuren von brennbaren Gasen beeinträchtigen die Messgenauigkeit des Sensors, da die gemessene  $O_2$ -Konzentration durch lokale Verbrennung reduziert wird. Für eine optimale Messgenauigkeit sollte die Konzentration der brennbaren Gase viel niedriger sein als die zu messende  $O_2$ -Konzentration.
- Das Transmittersystem darf nur zur Inertisierung mit Stickstoff oder Argon verwendet werden.
- Der Sensor ist nicht für die Messung von  $O_2$ -Konzentrationen in Flüssigkeiten geeignet.

## 1.4 Bewertung der funktionalen Sicherheit im übergeordneten sicherheitsgerichteten System (SIS)

Das Microx ProSafe SIL2-System ist für die Integration in ein übergeordnetes SIS vorgesehen, dass eine Sicherheitsfunktion zum Schutz einer Maschine oder Prozessanlage vor einem gefährlichen Ereignis bietet.

Der Maschinenlieferant bzw. der Betreiber einer verfahrenstechnischen Anlage ist dafür verantwortlich, dass die Anforderungen an die funktionale Sicherheit der Maschine oder der verfahrenstechnischen Anlage im Rahmen der für das jeweilige Land, die Branche und die Anwendung geltenden Gesundheits- und Sicherheitsvorschriften erfüllt werden.

Der Maschinenlieferant oder der Betreiber einer verfahrenstechnischen Anlage muss eine Bewertung der funktionalen Sicherheit durchführen, bevor eine Maschine an einen Kunden geliefert oder eine verfahrenstechnische Anlage in Betrieb genommen wird. Die Bewertung der funktionalen Sicherheit bestätigt, dass alle Gefährdungen identifiziert und beseitigt wurden, sodass ein tolerierbares Risiko besteht.

SENSORE kann den Maschinenlieferanten oder Prozessanlagenbetreiber dabei unterstützen, die erforderliche Validierung der funktionalen Sicherheit in Bezug auf den Microx ProSafe SIL2 durchzuführen.

## 1.5 Definitionen

### 1.5.1 Sicherheitsfunktion/O<sub>2</sub>-Sicherheitsschwellwert

Die Sicherheitsfunktion dient dazu, einen sicheren Zustand in der Atmosphäre der Anwendung zu erkennen, indem geprüft wird, ob die O<sub>2</sub>-Konzentration unter einem vordefinierten O<sub>2</sub>-Sicherheitsschwellwert (z. B. <2%) liegt.

Der sicherheitskritische O<sub>2</sub>-Sicherheitsschwellwert und die Hysterese werden im EEPROM am Sensorstecker gespeichert. Die Sicherheitsfunktion arbeitet in einem kontinuierlichen Anforderungsmodus, d. h. die O<sub>2</sub>-Konzentration wird ständig überwacht.

Der O<sub>2</sub>-Sicherheitsschwellwert wird im SENORE-Werk bei Auftragseingang festgelegt und kann vom Kunden nicht geändert werden. Er muss daher bei der Bestellung durch Auswahl des entsprechenden Bestellcodes angegeben werden.

### 1.5.2 Ausgabe/Anzeige des sicheren Zustands

Microx ProSafe SIL2 verfügt über zwei Messkanäle, die jeweils ein potentialfreies Kontaktpaar (Relais) besitzen. Der Transmitter zeigt nur dann einen sicheren Zustand an, wenn beide Kontaktpaare geschlossen sind.

- Die Relais (RLs) öffnen, wenn der O<sub>2</sub>-Sicherheitsschwellwert überschritten wird. Das Überschreiten des O<sub>2</sub>-Sicherheitsschwellenwerts führt nicht zu einem Fehlerzustand des Systems - das System überwacht weiterhin die O<sub>2</sub> Konzentration
- Die Relais schließen, wenn der Messwert unter der O<sub>2</sub>-Sicherheitsschwellwert liegt, wobei eine Hysterese berücksichtigt wird.
- Um SIL 2/PL d zu erfüllen, müssen die Kontaktpaare in Reihe geschaltet werden, oder im Falle eines einzelnen Abgriffs müssen sie durch das übergeordnete SIS mit einer UND-Funktion verknüpft werden.

### 1.5.3 Übergeordnetes sicherheitsgerichtetes System (SIS) / Zielanwendung

Microx ProSafe SIL2 ist dafür ausgelegt, in eine Zielanwendung integriert zu werden, die dann ein übergeordnetes SIS darstellt. Dies ist in der Regel eine Maschine oder eine Prozessanlage.

### 1.5.4 Periodische Prüfung

Die periodische Prüfung für Microx ProSafe SIL2-Sensoren, die in das übergeordnete SIS implementiert werden sollte, gewährleistet eine automatische periodische Prüfung der Sensorleistung. Die periodische Prüfung überwacht die Drift, so dass der Sensor bei Bedarf präventiv ausgetauscht werden kann, um die optimale Leistung zu erhalten.

### 1.5.5 Validierung

Die Validierung ist ein Verfahren, mit dem überprüft wird, ob die Sensoren unter den Anwendungsbedingungen zuverlässig arbeiten. Sie bestimmt das Intervall für die periodische Prüfung.

### 1.5.6 O<sub>2</sub>-Sicherheitsmarge

Die O<sub>2</sub>-Sicherheitsmarge ist die Differenz zwischen dem gewählten O<sub>2</sub>-Sicherheitsschwellwert und der O<sub>2</sub>-Konzentration, die in der Anwendung eine Gefahr darstellen könnte. Das SIL-Zertifikat geht von einem minimalen O<sub>2</sub>-Sicherheitsmarge von 1% aus, um Restrisiken wie die Reaktionszeit zu berücksichtigen. Größere O<sub>2</sub>-Sicherheitsmargen können während der Bewertung der funktionalen Sicherheit verwendet werden, um z. B. längere Intervalle zwischen den periodischen Prüfungen zu rechtfertigen.

## 2 Angewandte Sicherheitsnormen und resultierende Sicherheitsparameter

Microx ProSafe SIL2 wurde nach den EU-Maschinenrichtlinie bewertet.

In den folgenden Abschnitten wird die strukturelle Ausführung und die sich daraus ergebenden Sicherheitskennwerte näher erläutert. Bei den Daten zur mittleren Zeit bis zum Ausfall (MTTF) und zur Ausfallrate für die O<sub>2</sub>-Sensoren wird stets von einem präventiven Austausch der Sensoren ausgegangen, so dass die Ausfallraten der Sensoren von zufälligen Ausfallarten und nicht von den Auswirkungen der Sensordrift dominiert werden.

### 2.1 EN ISO 13849-1

#### Strukturelle Ausführung und Umgebungsbedingungen

- Ausführung als Kategorie 3
  - Zweikanalige Struktur, ein einzelner Fehler führt nicht zum Verlust der Sicherheitsfunktion.
  - Außerdem werden die meisten Einzelfehler erkannt, um eine Häufung von unerkannten Fehlern zu vermeiden.
- Umgebungsbedingungen für die Anwendung
  - Die PL d Einstufung basiert auf nicht kontaminiertem mit Stickstoff/Argon gespülter Atmosphäre.
  - Anwendungen können Spuren von schädlichen Gasen enthalten, die die Messleistung des Sensors beeinträchtigen; daher ist eine periodische Überprüfung der Sensorfunktion erforderlich. Werden signifikante Anzeichen für eine Verschlechterung der Sensorfunktion festgestellt, muss der Sensor als vorbeugende Maßnahme ausgetauscht werden. Der Sensor hat eine maximale Lebensdauer von 5 Jahren und muss dann jedenfalls ersetzt werden.

#### EN ISO 13849-1 Sicherheitsparameter für die Transmitter- und Sensoreinheit

|                   |                            |
|-------------------|----------------------------|
| MTTF <sub>D</sub> | 19,5 Jahre                 |
| DC <sup>A</sup>   | 90,5 %                     |
| PFH               | 4,8·10 <sup>-7</sup> (1/h) |
| PL                | d                          |

#### Wesentliche Einschränkungen

|                            |   |
|----------------------------|---|
| O <sub>2</sub> Sensor      | In der Anwendung validiert, maximale Nutzungsdauer 5 Jahre  |
| Periodisches Prüfintervall | Bestimmt durch das Validierungsverfahren, maximal 6 Monate  |
| Relais                     | Maximal 1000 Schaltspiele pro Jahr/max. 100 mA bei 30 V DC  |
| 2-Kanal-Überwachung        | Die Kontakte des Interlockrelais müssen in Reihe geschaltet werden, oder im Falle eines einzelnen Abgriffs müssen sie durch das übergeordnete sicherheitsgerichtete System mit einer UND-Funktion verknüpft werden. |

## 2.2 Berechnungsdetails

Die Konformität mit EN ISO 13849-1 wurde mit dem Tool Sistema (v2.0.8) des Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA) berechnet.

Tabelle 1: Sicherheitsparameter für Teilkomponenten (pro Kanal), gemäß Sistema Projektdatei

|                     | O <sub>2</sub> Sensor | Elektronik<br>(ohne Relais) | Relais            |       |
|---------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------|-------|
| MTTF <sub>D</sub>   | 21,00                 | 278,26                      | 2000 <sup>1</sup> | Jahre |
| DC <sup>^</sup>     | 90,00                 | 97,62                       | 99,00             | %     |
| Max. Gebrauchsdauer | 5                     | 20                          | 20                | Jahre |

- 1) Die hohe MTTFD basiert auf einer erheblichen Leistungsreduzierung des Relais - 1000 Zyklen/Jahr, siehe auch die reduzierte elektrische Spezifikation im Benutzerhandbuch.

Bitte wenden Sie sich an SENSORE, wenn Sie weitere Informationen über die Sistema-Berechnung benötigen.

## 2.3 EN IEC 62061

### Strukturelle Ausführung und Umgebungsbedingungen

- Grundlegende Teilsystemarchitektur D: 1002D
  - Zweikanalige Struktur, ein einzelner Fehler führt nicht zum Verlust der Sicherheitsfunktion (HFT=1)
  - Darüber hinaus werden die meisten Einzelfehler erkannt, um eine Häufung unerkannter Fehler zu vermeiden
- Umgebungsbedingungen für die Anwendung
  - Die PL d Einstufung basiert auf nicht kontaminiert, mit Stickstoff/Argon gespülter Atmosphäre.
  - Anwendungen können Spuren von schädlichen Gasen enthalten, die die Messleistung des Sensors beeinträchtigen; daher ist eine periodische Überprüfung der Sensorfunktion erforderlich. Werden signifikante Anzeichen für eine Verschlechterung der Sensorfunktion festgestellt, muss der Sensor als vorbeugende Maßnahme ausgetauscht werden. Der Sensor hat eine maximale Lebensdauer von 5 Jahren und muss dann jedenfalls ersetzt werden.

#### EN IEC 62061 Sicherheitsparameter für den Transmitter und die Sensoreinheit

|     |                           |
|-----|---------------------------|
| PFH | $4,2 \cdot 10^{-7}$ (1/h) |
| SFF | 96,8 %                    |
| HFT | 1                         |
| SIL | SIL 2                     |

#### Wesentliche Einschränkungen

|                            |   |
|----------------------------|---|
| O <sub>2</sub> Sensor      | In der Anwendung validiert, maximale Nutzungsdauer 5 Jahre  |
| Periodisches Prüfintervall | Bestimmt durch das Validierungsverfahren, maximal 6 Monate  |
| Relais                     | Maximal 1000 Schaltspiele pro Jahr/max. 100 mA bei 30 V DC  |
| 2-Kanal-Überwachung        | Die Kontakte des Interlockrelais müssen in Reihe geschaltet werden, oder im Falle eines einzelnen Abgriffs müssen sie durch das übergeordnete sicherheitsgerichtete System mit einer UND-Funktion verknüpft werden. |

## 2.4 Berechnungsdetails

Tabelle 2: Sicherheitsparameter für Teilsystemelemente (pro Kanal)

| Fehlermodus   | O <sub>2</sub> Sensor | Elektronik (ohne Relais) | Relais <sup>1</sup> B10 <sub>d</sub> (1000 nop) |       |
|---|-----------------------|--------------------------|---|-------|
| sicherer erkannter Ausfall ( $\lambda_{SD}$ )           |                       | $7,10 \cdot 10^{-7}$     |   | 1/h   |
| sicherer unerkannter Ausfall ( $\lambda_{SU}$ )         |                       | $4,10 \cdot 10^{-7}$     |   | 1/h   |
| gefährbringender erkannter Ausfall ( $\lambda_{DD}$ )   | $4,89 \cdot 10^{-6}$  | $4,00 \cdot 10^{-7}$     | $5,65 \cdot 10^{-9}$                            | 1/h   |
| gefährbringender unerkannter Ausfall ( $\lambda_{DU}$ ) | $5,44 \cdot 10^{-7}$  | $9,76 \cdot 10^{-9}$     | $5,71 \cdot 10^{-11}$                           | 1/h   |
| SFF   | 90,00                 | 99,36                    | 99,00   | %     |
| DC <sup>A</sup>   | 90,00                 | 97,62                    | 99,00   | %     |
| Maximale Gebrauchsdauer                                 | 5                     | 20                       | 20  | Jahre |

1) Die niedrige Ausfallrate basiert auf einer erheblichen Leistungsreduzierung des Relais - 1000 Zyklen/Jahr, siehe auch die reduzierte elektrische Spezifikation in der Bedienungsanleitung.

Die EN 62061 enthält eine vereinfachte Berechnung für die grundlegende Teilsystemarchitektur D, die das Diagnoseintervall, das Intervall für den Proof-Test/max. Gebrauchsdauer und einen Parameter für das Ausfallrisiko aufgrund gemeinsamer Ursachen berücksichtigt. Eine Voraussetzung für die Anwendung der vereinfachten Berechnung ist eine MTTF, die viel länger ist als die maximale Lebensdauer. Für den O<sub>2</sub>-Sensor wird dies als Anforderung für einen präventiven Austausch des Sensors interpretiert.

Die Kombination der Teilsystemelemente der beiden Kanäle, z. B. Sensorkanal 1 (ch1) und Sensorkanal 2 (ch2), führt zu einer kombinierten gefährlichen Ausfallrate für jedes Teilsystem. Die Addition aller Teilsysteme (O<sub>2</sub>-Sensoren, Elektronik, Relais) führt zu der im Zertifikat angegebenen PFH. Das periodische Prüfintervall wird als Diagnoseprüfintervall für die Sensoren betrachtet, auch wenn heizungsbedingte Fehler innerhalb von Sekunden erkannt werden könnten.

Für die Elektronik und das Relais werden alle Diagnosetests intern durchgeführt und erfordern keine externen Maßnahmen. Es wird von einem internen Diagnosetestintervall von 24 Stunden ausgegangen. Die meisten Diagnosetests laufen in kürzeren Intervallen (Sekunden), einige werden jedoch nur durch Ereignisse ausgelöst.

Tabelle 3: Parameter für vereinfachte Berechnungen: Grundlegende Teilsystemarchitektur D

| resultierender PFH = $4,2 \times 10^{-7}/h$            | O <sub>2</sub> Sensor | Elektronik (ohne Relais) | Relais B10 <sub>d</sub> (1000 nop) |       |
|--|-----------------------|--------------------------|------------------------------------|-------|
| Periodisches Prüfintervall                             | (2 Wochen) 24*14      | 24                       | 24                                 | h     |
| Proof-Test/max. Gebrauchsdauer                         | 5                     | 20                       | 20                                 | Jahre |
| Ausfallrisiko in Folge gemeinsamer Ursache ( $\beta$ ) | 5                     | 5                        | 5                                  | %     |

## 2.5 Sicherheitsparameter für ein 6-monatiges periodisches Prüfintervall

Da die EN/IEC 62061 diagnostische Prüfintervalle zur Berechnung des PFH verwendet, ändert sich die PFH bei einer Verlängerung des periodischen Prüfintervalls. Es wurde also eine Worst-Case-Berechnung für 6 Monate durchgeführt.

Tabelle 4: Sicherheitsparameter unter Annahme eines 6-monatigen Prüfintervalls

| resultierender PFH = $5,2 \times 10^{-7}/h$    | O <sub>2</sub> Sensor | Elektronik (ohne Relais) | Relais B10 <sub>d</sub> (1000 nop) |       |
|--|-----------------------|--------------------------|------------------------------------|-------|
| Periodisches Prüfintervall                     | (6 Monate) 24*183     | 24                       | 24                                 | h     |
| Proof-Test/max. Gebrauchsduer                  | 5                     | 20                       | 20                                 | Jahre |
| Ausfallrisiko in Folge gemeinsamer Ursache (β) | 5                     | 5                        | 5                                  | %     |

Hierbei ist zu berücksichtigen, dass der leicht erhöhte PFH nur das erhöhte Risiko von Zufallsfehlern aufgrund des längeren periodischen Prüfintervalls abdeckt. Ein längeres periodisches Prüfintervall erhöht auch die Wahrscheinlichkeit eines systematischen Risikos, da der alternde Sensor weniger häufig überprüft wird.

## 2.6 Restrisiken

Für die Integration in ein übergeordnetes sicherheitsgerichtetes System müssen mögliche verbleibenden Sicherheitsrisiken berücksichtigt werden, z. B.:

- Die Reaktionszeit des Systems kann unzureichend sein, z. B. aufgrund der Platzierung der Sensoren, aber auch aufgrund der inhärenten Reaktionszeit der Sensoren (<10 s).
- Schädliche Umgebungsbedingungen können das O<sub>2</sub>-Sensorsystem negativ beeinflussen oder beschädigen, dies wird im Rahmen des Validierungsverfahrens überprüft. Je nach Art der Anwendung können jedoch Restrisiken bestehen, z. B. aufgrund von vorhersehbarer unsachgemäßer Verwendung durch den Benutzer. Solche Restrisiken werden durch die Validierung nicht abgedeckt und können nicht vollständig ausgeschlossen werden. Bedingungen oder Ereignisse, die sich auf beide Sensoren auswirken, sind am kritischsten und könnten die zuverlässige Erkennung des O<sub>2</sub>-Grenzwerts beeinträchtigen, z. B.:
  - Eine Elektrodenvergiftung durch Schadstoffe kann zu einem dauerhaften Abfall der angezeigten Sauerstoffkonzentration führen.
  - Eine Verunreinigung oder Verstopfung der porösen Sinterkappe könnte die Ansprechzeit des Sensors erheblich verringern.
  - Brennbare flüchtige Stoffe können zu einem vorübergehenden Absinken der angezeigten Sauerstoffkonzentration führen.
- Microx ProSafe SIL2 erfüllt die Anforderungen der EN 13849-1, dennoch müssen (Rest-)Risiken aufgrund von Ausfällen gemeinsamer Ursache (EN 13849-1 Anhang F) oder systematischen Ausfällen (EN 13849-1 Anhang G) ebenfalls als Teil des übergeordneten sicherheitsgerichteten Systems bewertet werden.

### 2.6.1 Mögliche Maßnahmen zur Reduzierung des Restrisiken

- Bereitstellung einer detaillierten Dokumentation/Anleitung für den Endbenutzer, um vorhersehbare unsachgemäße Verwendung zu vermeiden
- Erhöhung der O<sub>2</sub>-Sicherheitsmarge, d. h. Wahl eines niedrigeren O<sub>2</sub>-Sicherheitsschwellenwertes
- Kurzes Intervall für die periodische Prüfung, z. B. alle 2 Wochen. Siehe "3 Periodische Prüfung der Sensorfunktion" auf Seite 8. Siehe auch EN 13849-1 Anhang F und G.

## 3 Periodische Prüfung der Sensorfunktion

### 3.1 Primärer Zweck der periodischen Prüfung

Die periodische Prüfung dient als vorbeugende Maßnahme zur Überwachung der Sensorleistung, so dass der Sensor ausgetauscht werden kann, bevor es zu einem kritischen Verlust der Sensorfunktion kommt.

Die Drift von Sensoren ist ein systematisches Problem, das weitgehend von den Anwendungsbedingungen abhängt. Eine Voraussetzung für das SIL 2-Zertifikat ist, dass die Sensorleistung in der Anwendung durch eine periodische Prüfung ausreichend überwacht wird. Das erforderliche Intervall für die periodische Prüfung hängt daher von der Schwere der Anwendungsbedingungen ab, die durch ein Validierungsverfahren wie in "4 Validierung" auf Seite 11 beschrieben bewertet werden sollten.

### 3.2 Sekundärer Zweck der periodischen Prüfung

Die periodische Prüfung kann auch zufällige Fehler der Sensorfunktion erkennen. Im Falle eines gefahrbringenden zufälligen Fehlers eines Sensors ist das Gesamtsystem aufgrund des 2ten-Kanals immer noch sicher. In diesem Fall dient die periodische Prüfung als Erkennungsmaßnahme, um eine Häufung unentdeckter gefahrbringender Fehler zu vermeiden. Wird bei der periodischen Prüfung ein gefahrbringender Fehler eines Sensors festgestellt, muss dieser sofort ausgetauscht werden.

Das Auftreten eines gefahrbringenden Fehlers sollte dokumentiert werden, die Ausfalldaten können zur Analyse der Art des Fehlers verwendet werden, d.h. zufälliger Fehler oder systematischer Fehler aufgrund von Sensordrift. In größerem Umfang können solche Ausfalldaten dazu verwendet werden, ein periodisches Prüfintervall zu rechtfertigen und eine anwendungsspezifische MTTF<sub>D</sub> zu berechnen.

### 3.3 Implementierung der periodischen Prüfung in das übergeordnete SIS

Es wird nachdrücklich empfohlen, die periodische Prüfung als automatisierte Funktion des übergeordneten SIS zu implementieren. Dadurch wird sichergestellt, dass das Prüfintervall eingehalten wird und dass die Daten der periodischen Prüfung protokolliert und zurückverfolgt werden können. Die protokollierten Daten dienen zur Überwachung der Sensordrift und zur Entscheidung über einen sofortigen Sensorwechsel bzw. auch zum Vorhersagen des Sensorwechsels bei der nächsten Instandhaltung.

Die periodische Prüfung kann vor/bei der Inertisierung oder beim Belüften des Systems durchgeführt werden, siehe Abbildung 1 und Abbildung 2 auf Seite 9.

Das Prüfprotokoll der periodischen Prüfung sollte Folgendes enthalten:

- Zeitstempel (Datum und Uhrzeit)
- O<sub>2</sub>-Wert des 23,5 %-Sensors (ch1) bei Betrieb in Luft, vor oder nach Beendigung der Inertisierung
  - Der Idealwert liegt bei 20,9 %. Die typische Sensordrift führt zu einem Abfall des aufgezeichneten Wertes in Luft.
- O<sub>2</sub>-Wert des 23,5 %-Sensors (ch1) und des 2,35 %-Sensors (ch2) während der (langsam) Inertisierung/Belüftung bei einem O<sub>2</sub>-Niveau, bei dem beide Sensoren zwischen 2 % und 2,5 % liegen
  - Die Messabweichung der beiden Sensoren zueinander sollte kleiner als 0,25 % sein, z. B. ch1= 2,3 % und ch2=2,2 %.

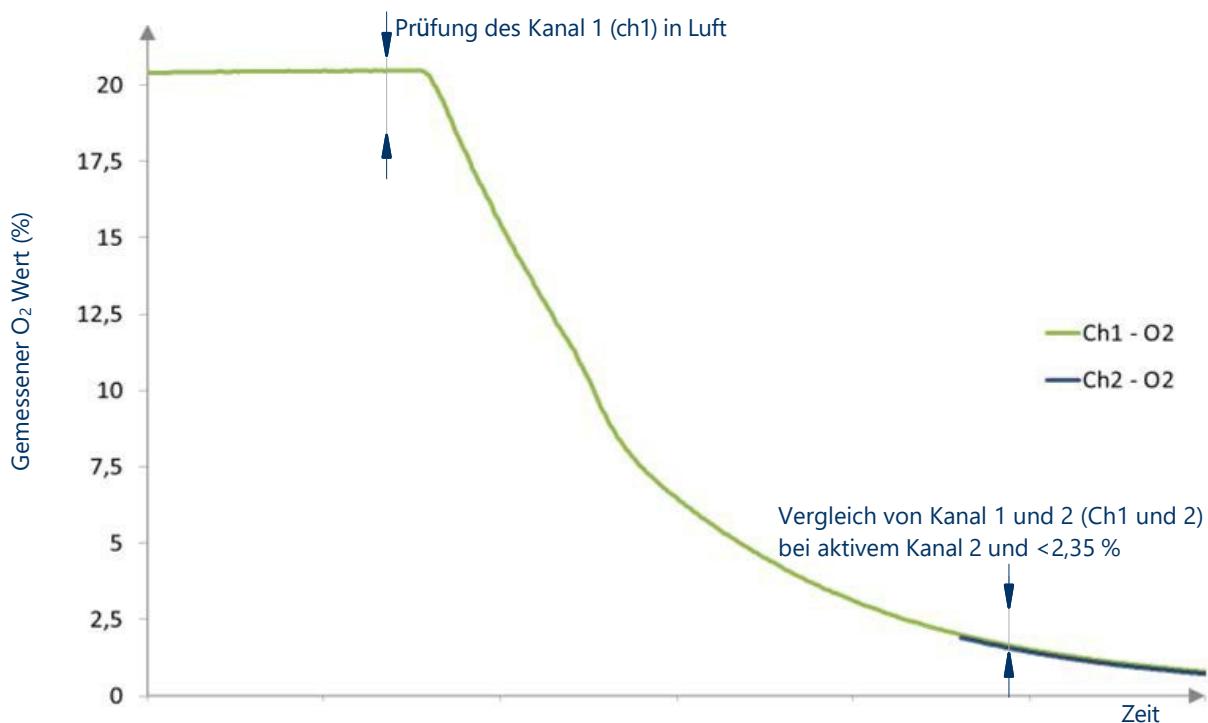


Abbildung 1. Periodische Prüfung vor/nach Inertisierung

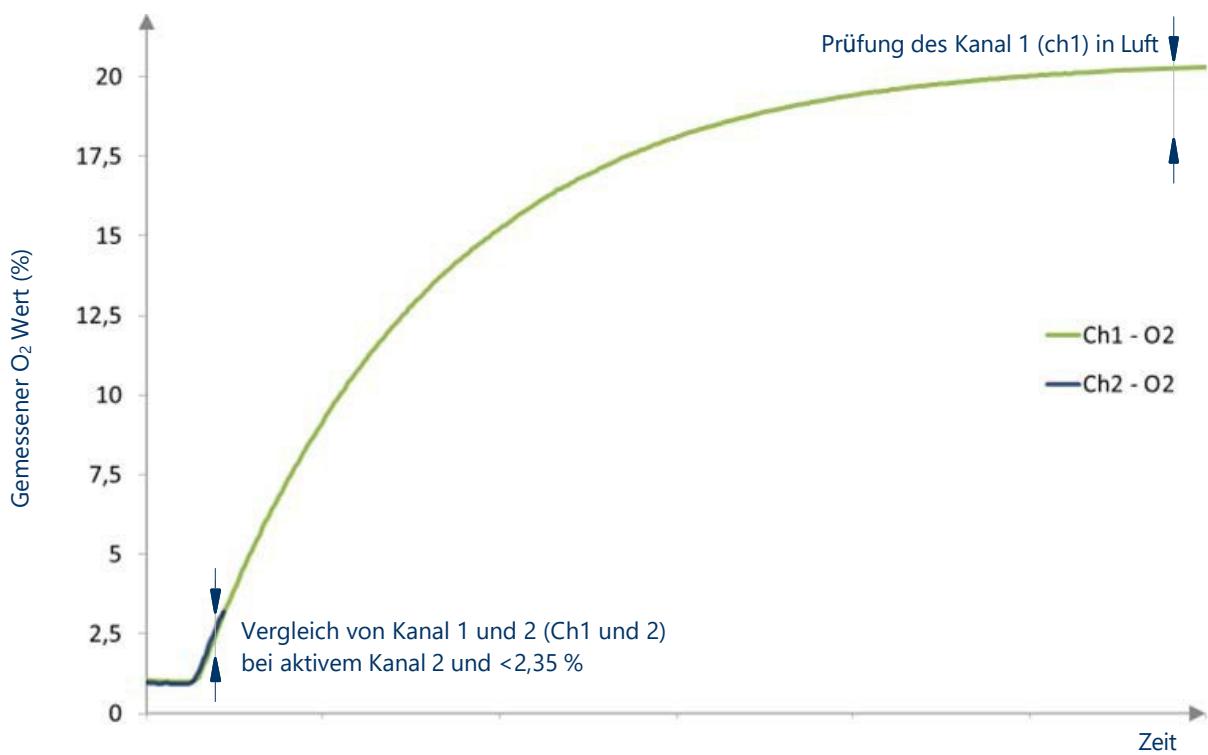


Abbildung 2. Periodische Prüfung bei Belüftung

### 3.4 Empfohlene Maßnahmen nach der periodischen Prüfung

- Es sollte eine Sichtprüfung der Sensorgehäuse erfolgen. Der Bediener muss sich vergewissern, dass keine sichtbaren Schäden oder Verunreinigungen am Sensor vorhanden sind. Abhängig vom Risiko einer Verunreinigung oder mechanischen Beschädigung in der Anwendung wird eine regelmäßige Sichtprüfung empfohlen.
- Maßnahmen auf der Grundlage der Ergebnisse der wiederkehrenden Prüfungen (siehe "3.5 Kriterien für das Bestehens-/Nichtbestehen der periodischen Prüfung") sollten wie folgt eingeleitet werden:
  - Sensor zeigt nur geringe Anzeichen von Drift - keine Maßnahmen erforderlich
  - Der Sensor zeigt fortschreitende Anzeichen von Drift - Planen Sie einen präventiven Austausch des Sensors (z.B. bei der nächsten Instandhaltung)
  - Ausfall des Sensors bzw. Drift in einem Ausmaß die vermuten lässt, dass der Sensor vor der nächsten periodischen Prüfung ausfallen wird. - Führen Sie einen sofortigen Austausch des Sensors durch.

### 3.5 Kriterien für das Bestehen/Nichtbestehen der periodischen Prüfung

Die Kriterien für das Bestehen/Nichtbestehen werden durch die Ergebnisse des Validierungsverfahrens (siehe "4 Validierung" auf Seite 11) bestimmt, zur Abdeckung der systematischen Einflüsse aus der Anwendung. Die Kriterien für das Bestehen/Nichtbestehen hängen auch von dem gewählten Intervall der periodischen Prüfung ab.

Tabelle 5: empfohlene Kriterien für die Messung des 23,5 %-Sensors (ch1) in Luft (20,9 %)

| Resultat    | Sensor Alterung      | Temperatur | Relative Feuchte (%rh) | Pass / Fail?      |
|-------------|----------------------|------------|------------------------|-------------------|
| 20 % < 21 % | neuwertig            | 25 °C      | 50 %                   | Pass              |
| 19 % < 22 % | leicht gealtert      | 23,5 °C    | 50 %                   | Pass              |
| 17 % < 19 % | signifikant gealtert |            |                        | Pass <sup>1</sup> |
| 22 % < 23 % | signifikant gealtert |            |                        | Pass <sup>1</sup> |
| < 17 %      |                      |            |                        | Fail              |
| > 23 %      |                      |            |                        | Fail              |

1) Auch signifikant gealterten Sensoren können mit Pass bewertet werden, falls es die O<sub>2</sub>-Sicherheitsmarge der Anwendung zulässt. Signifikante Alterung ist auch akzeptabel, falls die Validierungsergebnisse zeigen, dass die Alterung nur höhere O<sub>2</sub>-Werte betrifft, während die Genauigkeit <5 % noch innerhalb der Spezifikation liegt.

#### Basisrichtlinie für 2,35 %-Sensor (ch2) im Vergleich zu 23,5 %-Sensor (ch1), gemessen zwischen 2 % und 2,5 %:

- Abweichung innerhalb von 0,1 %, wie bei einem neuwertigem 2,35 %-Sensor - PASS
- Ergebnisse innerhalb von 0,25 % werden für einen mäßig gealterten 2,35 %-Sensor erwartet - PASS
- Das kritische Kriterium für einen 2,35 %-Sensor ist seine Fähigkeit, oberhalb der O<sub>2</sub>-Sicherheitsschwellwerts zu messen (z. B. > 2 %), d. h. der Absolutwert des 2,35% Sensors muss während der Vergleichsmessungen oberhalb der Sicherheitsschwellwertes liegen, andernfalls muss der 2,35 %-Sensor als Fehler - FAIL - eingestuft werden.

## 4 Validierung

### 4.1 Was ist der Zweck der Validierung?

Die SIL 2-Zulassung/Zertifizierung deckt inhärente zufällige Fehler des Microx ProSafe SIL2 ab und gibt die Wahrscheinlichkeit eines gefährlichen Ausfalls pro Stunde (PFH) an. Sie legt auch Betriebsbedingungen fest, um systematische Einflüsse zu minimieren. Die Sicherheitsbescheinigung basiert auf nicht kontaminierten Gasbedingungen, sie deckt keine Umgebungen ab, die für den Sensor potenziell schädlich sind. Die Bedienungsanleitung enthält Richtlinien für bewährte Verfahren.

Der Hauptzweck der Validierung besteht darin, nachzuweisen, dass die (Gas-)Bedingungen in der Endbenutzeranwendung die Sauerstoffsensoren nicht in einer Weise beeinträchtigen, die die Sicherheitsintegritätsstufe außer Kraft setzt. Daher muss dieser Validierungsprozess für jede Endbenutzeranwendung durchgeführt werden.

Die Ergebnisse der Validierung sollten die folgenden Informationen liefern:

- Intervall der periodischen Prüfung (Standard 2 Wochen, maximal 6 Monate)
- Verfahren für den Sensorausch: insbesondere Kriterien für das Bestehen/Nichtbestehen der periodischen Prüfung
- Schätzung des zu erwartenden Tauschintervall von Sensoren
- Spezifische Einschränkungen und Richtlinien für den Endbenutzer, z.B. wie der Sensor unter besonderen Bedingungen zu schützen ist (z.B. bei Reinigung der Prozesskammer).

### 4.2 Wer sollte in den Validierungsprozess einbezogen werden?

- Der Maschinenlieferant (Konstrukteur und Hersteller) des übergeordneten sicherheitsgerichteten Systems (SIS)
- Der Betreiber der Prozessanlage, der für akzeptable Betriebsbedingungen in der Anwendung sorgen muss.
- Falls erforderlich der Hersteller der Microx ProSafe SIL2: SENSORE Electronic GmbH

### 4.3 Validierung auf der Grundlage von EN 50104

Für eine umfassende Validierung müssten Sauerstoffsensoren über längere Zeiträume (>1 Jahr) unter den zu evaluierenden Anwendungsbedingungen getestet werden. Zur Reduzierung des Prüfzeitraum unter Einhaltung von Mindeststandards wird die Prüfnorm für Sauerstoffsensoren (EN 50104) angewandt, die die Mindestanforderungen an die Signalstabilität auf der Grundlage eines 63-Tage-Tests festlegt, siehe Abbildung 3 auf Seite 14.

Das Verfahren der Stabilitätsprüfung nach EN 50104 wurde geringfügig geändert, damit es als Validierung angewendet werden kann:

- Die Sensoren müssen über einen Zeitraum von 63 Tagen durchgehend in der tatsächlichen Atmosphäre der Zielanwendung betrieben werden. - es darf sich nicht um eine simulierte Umgebung handeln.
- Um den Sensor auf Veränderungen zu überprüfen, sollte eine periodische Prüfung erfolgen, wie in "3 Periodische Prüfung der Sensorfunktion" auf Seite 8 beschrieben.
  - In den ersten 7 Tagen sollte die Kontrolle häufig, z. B. täglich, durchgeführt werden, um die Wiederholbarkeit der Messung zu demonstrieren.
  - Nach den ersten 7 Tagen ist ein Abstand von 2 Wochen zwischen den Tests ausreichend.

- EN 50104 gibt eine maximal zulässige Abweichung/Drift über 63 Tage an. Diese "63-Tage-Drift" bildet den Rahmen für die Bewertung der Sensorleistung unter Anwendungsbedingungen, siehe "4.3.1 Empfehlung zur Bewertung des 63-Tage-Tests" unten.

Hinweis: Für eine detaillierte Analyse wird empfohlen, die Signale beide Kanäle über den vollen Testzeitraum (63 Tage) digital aufzuzeichnen.

#### 4.3.1 Empfehlung zur Bewertung des 63-Tage-Tests

##### 23,5 % Sensor

- Die 63-Tage-Drift liegt innerhalb  $\pm 0,1\%$ :
  - Längere periodische Prüfintervalle als 2 Wochen sind möglich, siehe "4.4 Verlängerte periodische Prüfintervalle" auf Seite 13
- Die 63-Tage-Drift liegt innerhalb  $\pm 0,25\%$ :
  - Der Sensor wird durch die Prozessbedingungen leicht beeinträchtigt. Das empfohlene Intervall für die periodische Prüfung beträgt 2 Wochen.
- Die 63-Tage-Drift liegt innerhalb  $\pm 0,625\%$ , ist aber größer als  $\pm 0,25\%$ 
  - Der Sensor wird eindeutig von den Prozessbedingungen beeinträchtigt, die Verwendung für SIL-Anwendungen erfordert eine zusätzliche Begründung, z. B. ein periodisches Prüfintervall von 2 Wochen und eine maximale Lebensdauer des Sensors von 1 Jahr.
  - Es ist notwendig, die Ursache für die beschleunigte Drift des Sensors zu verstehen, bitte wenden Sie sich an SENSORE.
- Die 63-Tage-Drift ist größer als  $\pm 0,625\%$  in Luft
  - Der Sensor wird massiv von den Prozessbedingungen beeinträchtigt, der Sensor kann die Anforderungen der EN 50104 nicht erfüllen, daher ist eine SIL-Einstufung nicht erreichbar.
  - Die Ursache für die beschleunigte Sensordrift muss ermittelt/beseitigt werden, bitte wenden Sie sich an SENSORE.

##### Abweichung des 2,35 %-Sensors (ch2) im Vergleich zum 23,5 %-Sensor (ch1).

- Es ist wichtig, während der ersten 7 Tage des Tests einen genauen Wert für die initiale (0h) Abweichung zwischen ch2 und ch1 zu ermitteln, der die Basislinie für die 63-Tage-Drift darstellt. Eine typische 0h-Abweichung liegt im Bereich von  $\pm 0,1\%$ .
- Die 63-Tage-Drift liegt innerhalb  $\pm 0,05\%$  im Vergleich zur 0h-Abweichung
  - periodische Prüfintervalle von mehr als 2 Wochen sind möglich, siehe "4.4 Verlängerte periodische Prüfintervalle" auf Seite 13.
- Die 63-Tage-Drift liegt innerhalb  $\pm 0,1\%$  im Vergleich zum 0h-Abweichung
  - Der Sensor wird durch die Prozessbedingungen leicht beeinträchtigt. Das empfohlene Intervall für die periodische Prüfung beträgt 2 Wochen.
- Die 63-Tage-Drift liegt innerhalb  $\pm 0,2\%$ , ist aber größer als  $\pm 0,1\%$  im Vergleich zur 0h-Abweichung
  - Der Sensor wird eindeutig von den Prozessbedingungen beeinträchtigt, die Verwendung für SIL-Anwendungen erfordert eine zusätzliche Begründung, z. B. ein periodisches Prüfintervall von 2 Wochen und eine maximale Lebensdauer des Sensors von 1 Jahr.
  - Es ist notwendig, die Ursache für die beschleunigte Drift des Sensors zu verstehen, bitte wenden Sie sich an SENSORE.

- 63-Tage-Drift ist größer als  $\pm 0,2\%$  im Vergleich zum 0h-Offset
  - Der Sensor wird massiv von den Prozessbedingungen beeinträchtigt, der Sensor kann die Anforderungen der EN 50104 nicht erfüllen, daher ist eine SIL-Einstufung nicht erreichbar.
  - Es ist notwendig, die Ursache für die beschleunigte Drift des Sensors zu ermitteln/zu beseitigen, bitte wenden sie sich an SENSORE.

Das Intervall für die periodische Prüfung des Gesamtsystems ergibt sich aus dem Mindestintervall der oben beschriebenen Sensortestergebnisse.

SENSORE kann während und nach der Validierung folgende Unterstützung anbieten:

- Überprüfung der Ergebnisse des ersten 7-Tage-Tests
- Überprüfung der Daten aus dem 63-Tage-Test
- Supportanalyse (einschließlich physischer Tests) der Sensoren nach dem 63-Tage-Test
  - Prüfung an Referenzgasen, um geringfügige Änderungen der Sensoreigenschaften zu erkennen
  - Elektrische Überprüfung, zur frühzeitigen Erkennung einer beschleunigten Alterung
  - Zerstörende Prüfung auf Anzeichen einer beschleunigten Alterung.

#### 4.4 Verlängertes periodisches Prüfintervall

Der Kunde kann das Intervall der wiederkehrenden Prüfungen auf der Grundlage einer Sicherheitsbewertung für die Anwendung verlängern (siehe auch "4.3 Validierungsverfahren auf der Grundlage von EN 50104" auf Seite 11). Das Intervall für die wiederkehrende Prüfung darf jedoch nicht länger als 6 Monate sein.

Ein verlängertes periodisches Prüfintervall bedarf üblicherweise einer zusätzlichen Begründung, z. B.:

- Testdaten, die eine geringe Alterung/Drift des Sensors unter Anwendungsbedingungen über einen längeren Zeitraum als 63 Tage belegen.
- Eine detaillierte Funktionsprüfung der Sensoren nach dem 63-Tage-Test oder nach längeren Testperioden. SENSORE kann bei dieser Analyse Unterstützung bieten.
- Berücksichtigung der tatsächlichen O<sub>2</sub>-Sicherheitsmarge in der Anwendung
  - Die angenommene minimale O<sub>2</sub>-Sicherheitsmarge für SIL 2 ist 1 %, d.h. bei einem Sicherheitsschwellwert von 2%, ist eine O<sub>2</sub>-Konzentration von 3% noch unkritisch.
  - Für Anwendungen mit höherer O<sub>2</sub>-Sicherheitsmarge, kann eine höhere Sensordrift akzeptiert werden
- Erhöhung der O<sub>2</sub>-Sicherheitsmarge in der Anwendung
  - Senkung der O<sub>2</sub>-Sicherheitsschwelle von z. B. 2 % auf 1,5 %
  - Die Verwendung eines niedrigeren Sicherheitsschwellenwerts (z. B. 1,5 %) wird die Lebensdauer des 2,35 %-Sensors erheblich verlängern. Die periodische Prüfung zwischen ch1 und ch2 kann dann bei niedrigerer O<sub>2</sub>-Konzentration durchgeführt werden, z. B. bei einem 1,5 %-Schwellenwert zwischen 1,5 und 2%
- Herabstufung der SIL 2-Anforderung auf SIL 1
  - Validierung und periodische Prüfung sind auch für SIL 1-Anforderungen vorgeschrieben, um die korrekte Sensorfunktion unter den Anwendungsbedingungen sicherzustellen.
  - Bei SIL 1 ist ein nicht erkannter Fehler eines Sensors weniger kritisch als bei SIL 2, sodass längere Prüfintervalle tolerierbar sind. Ein vorbeugender Austausch der Sensoren auf der Grundlage der periodischen Prüfung muss dennoch vorgenommen werden. Es muss auch sichergestellt werden, dass keine signifikante Drift der Sensoren durch Anwendungsbedingungen verursacht wird.

- Externe Plausibilitätsprüfungen des Sensorsignals zur Erkennung seltener zufälliger Fehler
- Die interne Fehlererkennung eines unterbrochenen Sensorelektrodenstromkreises oder einer vollständig defekten Elektrode ist normalerweise deaktiviert, da beide Fehler zu sehr kleinen Sensorströmen führen, welche auch bei sehr niedrigen O<sub>2</sub>-Konzentrationen zu erwarten wären. Eine Aktivierung der internen Fehlererkennung könnte daher zu Fehlalarmen bei niedrigen O<sub>2</sub> Konzentrationen führen.
- Eine unterbrochene Leitung im Sensorelektrodenstromkreis wäre daher ein Beispiel für einen zufälligen Fehler, der standardmäßig nur während der periodischen Prüfung erkannt wird. Das 2-Kanal System bleibt sicher, solange kein zusätzlicher Fehler auf dem anderen Kanal des Systems auftritt. Eine Verlängerung des Intervalls der periodischen Prüfung würde das Risiko durch kumulierte unentdeckte Fehler erhöhen.
- Mögliche Lösung ist eine externe Plausibilitätsprüfung, die den typischen Verlauf der O<sub>2</sub>-Konzentration in der Anwendung berücksichtigt. Die Prüfung muss zu einem Zeitpunkt erfolgen bei der sich die gemessene O<sub>2</sub>-Konzentration sicher von 0 unterscheiden lässt. Diese Prüfung könnte dann einen unterbrochenen Sensorelektrodenstromkreises oder eine völlig defekte Elektrode erkennen.
- alternativer Diagnosefunktionen während des Betriebs unterhalb des O<sub>2</sub>-Schwellenwerts
- z.B. kreuzweiser Vergleich von Kanal 1 und 2 bei Werten zwischen 2000ppm und 2 %
- Überwachung der Sensorreaktion auf dynamische Veränderungen der O<sub>2</sub> Konzentration



**Die oben genannten Maßnahmen garantieren nicht das korrekte Verhalten des Sensors im Bereich des Sicherheitsschwellenwerts, können aber Veränderungen in den Eigenschaften der Sensoren aufdecken**

- alternativer Diagnosefunktionen bei Überschreitung des O<sub>2</sub>-Schwellenwertes
- Ein einfacher Plausibilitätstest ist die Prüfung, ob beide Kanäle O<sub>2</sub>-Konzentrationen über dem O<sub>2</sub>-Schwellenwert erkennen, wenn sie mit Luft gespült werden



**Dies garantieren nicht das korrekte Verhalten des Sensors im Bereich des Sicherheitsschwellenwerts, kann aber eine kritische Sensoralterung auf Kanal 2 erkennen**

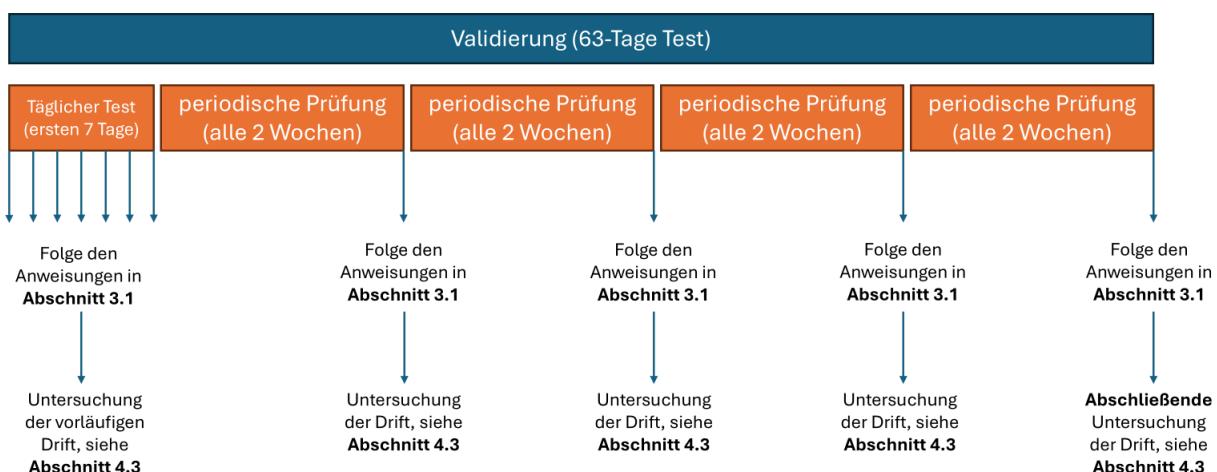


Abbildung 3. Validierungsablauf

## 5 Anhang

### Anhang A - Checklist

| 1. Installation des Microx ProSafe SIL2 (Steuergerät)   |                          |
|---|--------------------------|
| Das Microx ProSafe SIL2-Steuergerät muss in einem Schaltschrank untergebracht und aufrecht auf einer DIN-Schiene montiert werden, wie in der Bedienungsanleitung abgebildet. Der Schaltschrank dient zum Schutz vor Verschmutzung (Staub) und reduziert elektromagnetische Störungen.   | <input type="checkbox"/> |
| Die Temperatur im Inneren des Schaltschranks sollte zwischen +10 und +50 °C liegen. Dies dient zur Sicherstellung der maximalen internen PCB-Temperatur, die 85°C nicht überschreiten darf. Die interne PCB-Temperatur kann mittels RS485 überwacht werden, siehe Benutzerhandbuch  | <input type="checkbox"/> |
| Der empfohlene Abstand zu benachbarten Modulen auf der DIN-Schiene beträgt 50 mm.   | <input type="checkbox"/> |
| 2. Stromversorgung/Elektrische Schnittstellen/Elektrische Isolierung  |                          |
| Der Microx ProSafe SIL2 Transmitter muss über eine dedizierte Spannungsversorgung mit 24 V DC/500 mA versorgt werden, die SELV/PELV bzw. NEC Class 2 entsprechen muss. Die Spannungsversorgung ist Teil des Sicherheitssystems.   | <input type="checkbox"/> |
| Die gesamten externen Stromkreise des Microx ProSafe SIL2 gegenüber gefährlichen Spannungen isoliert werden.  | <input type="checkbox"/> |
| Der Transmitter muss eine funktionale Masseverbindung haben, d. h. der GND des Microx ProSafe SIL2 muss mit Masse / Erde des übergeordneten Systems verbunden sein (=> PELV).   | <input type="checkbox"/> |
| Die RS485-Schnittstelle ist als Wartungs- und Debug-Schnittstelle vorgesehen; sie sollte nicht dauerhaft angeschlossen werden. Wenn eine permanente RS485-Verbindung erforderlich ist, müssen die RS485-Leitungen in den Microx ProSafe SIL2 durch externe Mittel geschützt werden, z.B. durch einen Optokoppler.<br>Hinweis: bei ungeschützter Verbindung zu einem RS485-Netzwerk erfüllt das System nicht mehr die SIL 2 Anforderungen. | <input type="checkbox"/> |
| Generell sind sicherheitsrelevante Stromkreise ausreichend von nicht sicherheitsrelevanten zu trennen, um SIL 2 sicher zustellen  | <input type="checkbox"/> |

### 3. Position und Ausrichtung der O2 Sensoren

Der O<sub>2</sub>-Sensor misst den Sauerstoffgehalt des Gases in unmittelbarer Umgebung des Gehäuses. Für eine genaue Messung muss das Gas, das am Gehäuse vorbeiströmt, für den zu überwachenden Prozess repräsentativ sein. So können z. B. Messungen in der Nähe eines N2-Einlasses zu systematisch niedrigen O<sub>2</sub>-Konzentrationen führen, Messungen in der Nähe eines Auslasses können aufgrund von O<sub>2</sub>-Rückdiffusion zu systematisch höheren Messwerten führen. Wählen Sie daher die Position des Sensors sorgfältig.

Die Sensorposition beeinflusst auch die Ansprechzeit des Sensors im O<sub>2</sub>-Fehlerfall, d.h. bei einströmendem Sauerstoff in die Prozesskammer z.B. an einer möglichen Schwachstelle (undichte Kammertür). Berücksichtigen Sie daher auch typische Fehlerfälle bei der Wahl der Sensorposition.

Wählen Sie die Position so, dass der Sensor keinen mechanischen Stößen und Vibrationen ausgesetzt wird.

Der Sensor kann in beliebiger Ausrichtung betrieben werden, aber um das Verschmutzungsrisiko zu minimieren, ist eine hängende kopfüber Montage vorteilhaft. Siehe Abbildung 1 auf Seite 3 in der Bedienungsanleitung.

Thermische Einflüsse sollten minimiert werden, d.h. der O<sub>2</sub>-Sensor darf nicht in der Nähe von Lüftern, Heizungen etc. positioniert werden.

Zum ESD-Schutz sollten die Sensoren in ein geerdete Prozesskammer geschraubt werden.

### 4. Betriebsbedingungen der O2 Sensoren

Der zulässige Gastemperaturbereich am O<sub>2</sub>-Sensor liegt zwischen +10 und +100 °C.

Der zulässige Gasdruck beträgt 700...1300 mbar; schnelle Druckänderungen sollten vermieden werden, da sie zu kurzen Spitzen in der O<sub>2</sub>-Messung führen können

Die Sensoren sind für den Einsatz in Luft und unter Inertisierung mit Stickstoff oder Argon vorgesehen. Spuren anderer Gase sollten bei der Validierung berücksichtigt werden, da sie die O<sub>2</sub>-Messung oder die Lebensdauer des Sensors beeinflussen könnten.

### 5. Allgemeine Einschränkungen

Das System hat keine Klassifizierung für explosionsgefährdete Bereiche, z. B. ATEX/IECEx/FM/CSA, der Sensor wird intern auf ca. 600 °C erhitzt und darf daher nur in nicht explosionsgefährdeten Umgebungen verwendet werden.

Der Sensor darf keinen Flüssigkeiten oder kondensierender Feuchtigkeit ausgesetzt werden.

Falls der beheizte Sensor für den Endbenutzer zugänglich ist, kann eine Warnung vor heißen Oberflächen erforderlich sein.

Alle Installationen müssen von qualifiziertem Personal unter den üblichen Vorsichtsmaßnahmen durchgeführt werden.

Diese Seite ist absichtlich leer.



[DwyerOmega.com](https://DwyerOmega.com)

© 2025 SENSORE Electronic GmbH  
SENSORE, a DwyerOmega brand.

---