

Handbuch zur funktionalen Sicherheit für Ultraschall-Durchflussmessgeräte

FLUXUS



FSFLUXUS_V2-3-7DE

Relevante Sicherheitsaspekte:

Kontinuierliche Überwachung des min. oder max. Volumenstroms
oder Massenstroms

Permanente Selbstdiagnose

Ausgabe über Stromausgang 4...20 mA

FLUXUS ist ein eingetragenes Warenzeichen der FLEXIM GmbH.

FLEXIM GmbH
Boxberger Straße 4
12681 Berlin
Deutschland

Tel.: +49 (30) 936 67 660
Fax: +49 (30) 936 67 680
E-Mail: info@flexim.de
www.flexim.com

Handbuch zur funktionalen Sicherheit
FLUXUS
FSFLUXUS_V2-3-7DE, 2023-01-01
Copyright (©) FLEXIM GmbH 2023
Änderungen ohne vorherige Mitteilung vorbehalten.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	5
1.1	Zu diesem Handbuch zur funktionalen Sicherheit	5
1.2	Geltende Normen	5
1.3	Mitgeltende Dokumente	5
1.4	Begriffe und Abkürzungen	5
2	Beschreibung des Messsystems	7
2.1	Messaufbau	7
2.2	Messprinzip	7
2.3	Messgenauigkeit	9
2.4	Installationshinweise	9
2.5	Software-Version	9
2.6	Hardware-Version	9
2.7	Geräteübersicht	10
2.8	Umgebungsbedingungen	10
2.9	Einstellen der Sicherheitsfunktion	10
2.10	Sichere Parametrisierung	11
2.11	Nutzbare Lebensdauer	11
3	Wiederholungsprüfung	12
3.1	Vorgeschriebene Maßnahmen	12
3.2	Zusätzliche Maßnahmen bei der Wiederholungsprüfung	12
4	Kenngößen zur funktionalen Sicherheit	15
4.1	Kategorien von Ausfällen	15
4.2	Annahmen	16
4.3	Methoden	16
4.4	Ergebnisse	16

1 Einführung

1.1 Zu diesem Handbuch zur funktionalen Sicherheit

Mit diesem Handbuch zur funktionalen Sicherheit soll es dem Betreiber der Durchflussmessgeräte FLUXUS ermöglicht werden,

- die Sicherheitsfunktionen für SIL 1 oder SIL 2 auszulegen
- den Messumformer in eine Anlage zu integrieren
- die PLT-Schutzfunktion zu betreiben.

1.2 Geltende Normen

Dieses Handbuch zur funktionalen Sicherheit enthält Informationen gemäß der Normen IEC 61508 ("Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme") und IEC 61511 ("Funktionale Sicherheit – Sicherheitstechnische Systeme für die Prozessindustrie"). Es enthält keine Angaben zum Explosionsschutz.

1.3 Mitgeltende Dokumente

Neben dem Handbuch zur funktionalen Sicherheit sind die Angaben in den folgenden Dokumenten zu beachten:

- UMFLUXUS: Betriebsanleitung des Durchflussmessgeräts FLUXUS
- SIFLUXUS: Sicherheitshinweise für den Einsatz des Durchflussmessgeräts FLUXUS in explosionsgefährdeten Bereichen
- TSFLUXUS: Technische Spezifikation des Durchflussmessgeräts FLUXUS

1.4 Begriffe und Abkürzungen

In diesem Handbuch zur funktionalen Sicherheit werden folgende Begriffe und Abkürzungen verwendet:

Tab. 1.1: Begriffe und Abkürzungen

Begriff/Abkürzung	englische Benennung	Beschreibung
SIL	safety integrity level	Sicherheits-Integritätslevel: eine von vier Stufen, die einem Wertebereich der Sicherheitsintegrität entsprechen. Der Sicherheits-Integritätslevel 4 entspricht der höchsten und der Sicherheits-Integritätslevel 1 der niedrigsten Stufe der Sicherheitsintegrität.
EUC	equipment under control	Einrichtung, Maschine, Apparat oder Anlage, die zur Fertigung, Stoffumformung, zum Transport, zu medizinischen oder anderen Tätigkeiten verwendet wird.
sicherheitsbezogenes System	safety-related system	System, das sowohl <ul style="list-style-type: none"> • die erforderlichen Sicherheitsfunktionen ausführt, die notwendig sind, um einen sicheren Zustand für die EUC zu erreichen oder aufrechtzuerhalten, als auch • dazu vorgesehen ist, selbst oder mit anderen sicherheitsbezogenen E/E/PE-Systemen und anderen risikomindernden Maßnahmen die notwendige Sicherheitsintegrität für die geforderten Sicherheitsfunktionen zu erreichen
Betriebsart	mode of operation <ul style="list-style-type: none"> • low demand mode • high demand mode • continuous mode 	Art der Verwendung einer Sicherheitsfunktion <ul style="list-style-type: none"> • Betriebsart mit niedriger Anforderungsrate: Die Sicherheitsfunktion wird nur auf Anforderung ausgeführt, um die EUC in einen festgelegten sicheren Zustand zu überführen. Die Häufigkeit der Anforderungen beträgt höchstens einmal pro Jahr. • Betriebsart mit hoher Anforderungsrate: Die Sicherheitsfunktion wird nur auf Anforderung ausgeführt, um die EUC in einen festgelegten sicheren Zustand zu überführen. Die Häufigkeit der Anforderungen beträgt mehr als einmal pro Jahr. • Betriebsart mit kontinuierlicher Anforderung: Die Sicherheitsfunktion hält die EUC in einem sicheren Zustand als Teil des normalen Betriebs.

Tab. 1.1: Begriffe und Abkürzungen

Begriff/Abkürzung	englische Benennung	Beschreibung
MTBF	mean time between failures	mittlere Betriebsdauer zwischen Ausfällen
MTTF	mean time to failure	mittlere Betriebsdauer bis zum Ausfall
MTTR	mean time to restoration	mittlere Dauer bis zur Erreichung der Wiederherstellung, bestehend aus: <ul style="list-style-type: none">• Dauer zum Erkennen des Ausfalls• Dauer bis zum Beginn der Wiederherstellung• tatsächliche Dauer der Reparatur• Dauer bis zur Inbetriebnahme der reparierten Komponente

2 Beschreibung des Messsystems

Das Durchflussmessgerät FLUXUS erfüllt die systematische Fähigkeit und erforderlichen Kennzahlen nach SIL 2 und ist somit geeignet Schutzvorrichtungen auszulegen.

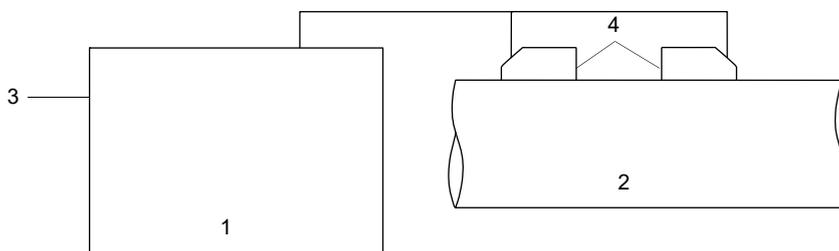
Bei der Ultraschall-Durchflussmessung wird die Strömungsgeschwindigkeit des in einem Rohr fließenden Fluids bestimmt. Weitere Messgrößen (z.B. Volumenstrom, Massenstrom) werden von der Strömungsgeschwindigkeit abgeleitet.

2.1 Messaufbau

Der Messaufbau besteht aus dem Messumformer mit dem Stromausgang (4...20 mA), den Ultraschallsensoren (Scherwellen- oder Lambwellen-Sensoren) und den Sensorkabeln am Rohr, an dem gemessen wird.

Die Ultraschallsensoren werden außen am Rohr befestigt. Ultraschallsignale werden von den Sensoren durch das Fluid gesendet und wieder empfangen. Der Messumformer steuert den Messzyklus, eliminiert die Störsignale und wertet die Nutzsignale aus. Die Messwerte können vom Messumformer angezeigt, verrechnet und über den Stromausgang ausgegeben werden.

Abb. 2.1: Messaufbau



- 1 – Messumformer
- 2 – Rohr
- 3 – Stromausgang
- 4 – Sensoren

2.2 Messprinzip

Die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids wird mit dem Ultraschall-Laufzeitdifferenz-Korrelationsverfahren bestimmt (siehe Abschnitt 2.2.1).

Der Volumenstrom wird durch Multiplikation der Strömungsgeschwindigkeit mit der Rohrquerschnittsfläche bestimmt:

$$\dot{V} = v \cdot A$$

Der Massenstrom wird durch Multiplikation des Volumenstroms mit der Dichte des Fluids bestimmt:

$$\dot{m} = \dot{V} \cdot \rho$$

2.2.1 Messung der Strömungsgeschwindigkeit

Die Signale werden von einem Sensorpaar abwechselnd in und entgegen der Flussrichtung gesendet und empfangen. Wenn das Fluid, in dem sich die Signale ausbreiten, fließt, werden die Signale mit dem Fluid mitgeführt. Diese Verschiebung bewirkt beim Signal in Flussrichtung eine Verkürzung und beim Signal entgegen der Flussrichtung eine Verlängerung der Strecke im empfangenden Sensor (siehe Abb. 2.2 und Abb. 2.3). Dadurch ändern sich auch die Laufzeiten. Die Laufzeit des Signals in Flussrichtung ist kürzer als entgegen der Flussrichtung. Diese Laufzeitdifferenz ist proportional zur mittleren Strömungsgeschwindigkeit.

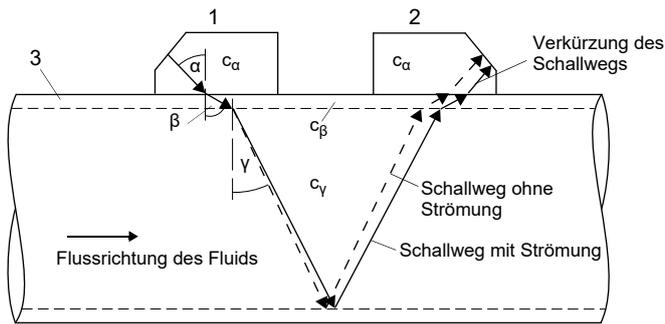
Die mittlere Strömungsgeschwindigkeit des Fluids ergibt sich aus:

$$v = k_{Re} \cdot k_a \cdot \frac{\Delta t}{2 \cdot t_y}$$

mit

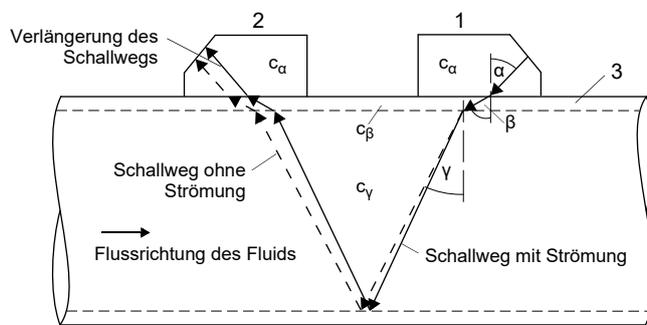
- v – mittlere Strömungsgeschwindigkeit des Fluids
- k_{Re} – strömungsmechanischer Kalibrierfaktor
- k_a – akustischer Kalibrierfaktor
- Δt – Laufzeitdifferenz
- t_y – Laufzeit im Fluid

Abb. 2.2: Schallweg des Signals in Flussrichtung



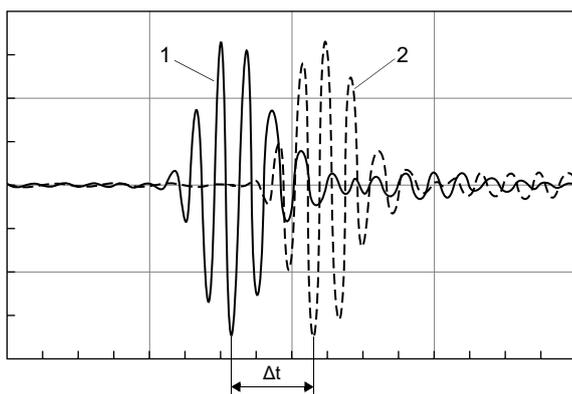
- c – Schallgeschwindigkeit
- 1 – Sensor (Sender)
- 2 – Sensor (Empfänger)
- 3 – Rohrwand

Abb. 2.3: Schallweg des Signals entgegen der Flussrichtung



- c – Schallgeschwindigkeit
- 1 – Sensor (Sender)
- 2 – Sensor (Empfänger)
- 3 – Rohrwand

Abb. 2.4: Laufzeitdifferenz Δt



- 1 – Signal in Flussrichtung
- 2 – Signal entgegen der Flussrichtung

2.3 Messgenauigkeit

Die Messwertabweichung bei der Durchflussmessung beträgt bei Standardkalibrierung und bekanntem Strömungsprofil $\pm 1.6\%$ des Messwerts ± 0.01 m/s. Neben dem anwendungsspezifischen Messfehler muss eine weitere sicherheitsgerichtete Genauigkeit von $\pm 2\%$ des maximalen Messbereichs addiert werden.

Für die zur Einhaltung der Messgenauigkeit erforderlichen Bedingungen siehe Technische Spezifikation TSFLUXUS. Eine geeignete Messstelle muss nach der Anleitung in der Betriebsanleitung UMFLUXUS, Kapitel "Auswahl der Messstelle" gewählt werden.

2.4 Installationshinweise

Das Durchflussmessgerät FLUXUS darf nur von für die jeweilige Aufgabenstellung qualifiziertem Personal installiert und gehandhabt werden unter Beachtung der für die jeweilige Aufgabenstellung zugehörigen Dokumentation, insbesondere der darin enthaltenen Sicherheits- und Warnhinweise. Qualifiziertes Personal ist auf Grund seiner Ausbildung und Erfahrung befähigt, im Umgang mit dem Durchflussmessgerät FLUXUS Risiken zu erkennen und mögliche Gefährdungen zu vermeiden. (siehe Betriebsanleitung UMFLUXUS)

Wenn sich ein Problem ergeben sollte, das mit Hilfe der Betriebsanleitung nicht gelöst werden kann, nehmen Sie bitte Kontakt mit unserem Vertrieb auf und geben Sie eine genaue Beschreibung des Problems. Geben Sie den Typ, die Seriennummer sowie die Firmwareversion des Messumformers an.

Geräte Reparaturen jeglicher Art sind ausschließlich durch den Hersteller durchzuführen.

2.5 Software-Version

Das Durchflussmessgerät FLUXUS ist mit der Software-Version 6.14 ausgestattet.

2.6 Hardware-Version

Das Durchflussmessgerät FLUXUS ist mit folgenden Hardware-Komponenten ausgestattet:

704SR-** & *705SR-*

Komponente	Revision des Schaltplans	Revision der Stückliste
FBM8	3.13	4.00
AP42	1.40	1.63
DSA3 (Doppelstromschleife)	1.0	1.10

800SR-**, *801SR-** & *808SR-*

Komponente	Revision des Schaltplans	Revision der Stückliste
Apx2	1.3	1.41
Ufp2	1.2	1.2
Yxm3	2.10	2.10
Pwx3	1.0	1.03
KSX1	1.0	1.0
KOX1	1.0	1.0
Bfx1	1.0	1.1
Blo2	1.10	1.10
PWX5	1.3	1.3

2.7 Geräteübersicht

Das Durchflussmessgerät FLUXUS ist in folgenden Hardware-Varianten verfügbar:

- *704SR-**
- *705SR-**
- *800SR-**
- *801SR-**
- *808SR-**

[SR] Special Safety Requirements

[*] Fluid

[F] Flüssigkeit

[G] Gas

[**] Explosionsschutz Bezeichnung

[NN] ohne Explosionsschutz

[A] Atex

[F] FM

[E] EAC TRTS, früher GOST

Modellcodes

F70x	G70x	F80x	G80x
F704SR-NN	G704SR-NN	F800SR-A1	G800SR-A1
F704SR-A2	G704SR-A2	F800SR-E1	G800SR-E1
F704SR-F2	G704SR-F2	F801SR-A1	G801SR-A1
F704SR-E2	G704SR-E2	F801SR-E1	G801SR-E1
F705SR-NN	G705SR-NN	F808SR-A1	
F705SR-A2	G705SR-A2	F808SR-F1	
F705SR-F2	G705SR-F2	F808SR-E1	
F705SR-E2	G705SR-E2		

2.8 Umgebungsbedingungen

Für die zulässigen Umgebungsbedingungen des Durchflussmessgeräts FLUXUS siehe Technische Spezifikation TSFLUXUS.

2.9 Einstellen der Sicherheitsfunktion

Das Durchflussmessgerät FLUXUS ist ein Gerät des Typs B mit der Hardwarefehleranzahl 0.

Das Durchflussmessgerät FLUXUS erzeugt ein dem gemessenen Volumenstrom oder Massenstrom proportionales Signal (4...20 mA), das über den Stromausgang des Durchflussmessgeräts ausgegeben wird. Die Sicherheitsfunktion bezieht sich auf das Ausgangssignal.

Um die Sicherheitsfunktion richtig zu konfigurieren muss der Analoge Ausgang nach der NE 43 konfiguriert werden. Das bedeutet, dass die Fehlerausgabe über "anderer Wert..." (siehe Betriebsanleitung UMFLUXUS) auf < 3.6 mA oder > 21 mA konfiguriert werden muss. Dies ermöglicht der SPS das Durchflussmessgerät zu überwachen und Fehler zu erkennen.

Das Ausgangssignal wird an eine nachgeschaltete Logikeinheit ausgegeben und muss dort auf Über- bzw. Unterschreiten eines Grenzwerts des Volumenstroms oder Massenstroms überwacht werden.

Der Zustand gilt als sicher, wenn ein vom Benutzer festgelegter Schwellenwert erreicht wird.

Der Zustand gilt als gefährlich, wenn ein gültiger sicherer Stromausgang um mehr als den festgelegten sicherheitsgerichteten Genauigkeitsbereich vom richtigen Prozesswert abweicht.

Ein HI-Fehler (H) wird definiert als Fehler der das Ausgangssignal auf den maximalen Ausgangsstrom von (> 21 mA) setzt. Ein LO-Fehler (L) wird definiert als Fehler der das Ausgangssignal auf den minimalen Ausgangsstrom von (< 3.6 mA) setzt.

2.10 Sichere Parametrisierung

Beim Durchflussmessgerät FLUXUS besteht die Möglichkeit zusätzliche, an die Applikation angepasste Parameter für die Messstelle zur Optimierung der Messergebnisse oder im Rahmen experimenteller Arbeiten festzulegen. Diese Einstellungen erfolgen über den SuperUser-Modus. (siehe Betriebsanleitung UMFLUXUS)

Eine HART-Parametrierung ist nicht vorgesehen.

Konfigurationsschritte für sicherheitsrelevante Konfiguration:

- Konfigurieren verschiedener prozessrelevanter Parameter über das Display
- visuelle Kontrolle der eingegebenen Parameter
- Messung starten
- FLUXUS neu starten
- Parameter nach Neustart erneut visuell im Display überprüfen
- Konfiguration über serielle Schnittstelle auslesen und Parameter am PC überprüfen

Passwort geschützte Messungen, die vor unbeabsichtigten Eingriffen schützen sollen, werden beim Durchflussmessgerät FLUXUS über einen Programmier-Code vorgenommen.

Wenn ein Programmier-Code festgelegt wurde, wird er abgefragt, sobald in die Messung eingegriffen wird (eine Anweisung oder Taste BRK).

Wenn ein Programmier-Code aktiv ist, wird beim Drücken einer Taste die Meldung `Program code active` einige Sekunden lang angezeigt.

Zum Ausführen einer Anweisung genügt es, die ersten drei Stellen des Programmier-Codes einzugeben (= Access Code).

Zum Stoppen einer laufenden Messung muss der komplette Programmier-Code eingegeben werden (= Break Code).

Die Eingabe eines Programmier-Codes wird mit Taste C abgebrochen.

- Ein Programmier-Code bleibt gültig, solange:
- kein anderer gültiger Programmier-Code eingegeben wird oder
- der Programmier-Code nicht deaktiviert wird.

2.11 Nutzbare Lebensdauer

Die zu Grunde gelegten Ausfallraten gelten innerhalb der nutzbaren Lebensdauer des Durchflussmessgeräts FLUXUS. Die Wahrscheinlichkeit eines Ausfalls nimmt nach Ablauf der nutzbaren Lebensdauer deutlich zu.

Nach IEC 61508-2 Abschnitt 7.4.9.5 ist bei der Festlegung der nutzbaren Lebensdauer von Erfahrungswerten auszugehen, wobei die Erfahrung zeigt, dass die nutzbare Lebensdauer oft 8...12 Jahre beträgt. FLEXIM empfiehlt, die Lebensdauer in sicherheitsbezogenen Anwendungen nicht über 10 Jahre auszudehnen. Wenn das Durchflussmessgerät FLUXUS jedoch über seine gesamte Lebenszeit überwacht wird und ein entsprechendes Verhalten aufweist (z.B. konstante Ausfallraten), kann die Betriebsdauer in Verantwortung des Betreibers verlängert werden.

Für eine Empfehlung zur Durchführung von regelmäßigen Wiederholungsprüfungen siehe Kapitel 3.

3 Wiederholungsprüfung

3.1 Vorgeschriebene Maßnahmen

Die Sicherheitsfunktion muss nach der Norm IEC 61508 in angemessenen Zeitabständen im Rahmen von Wiederholungsprüfungen geprüft werden. Es handelt sich dabei um Prüfungen zur Aufdeckung von versteckten gefahrbringenden Ausfällen in einem sicherheitsbezogenen System, so dass das System, falls erforderlich, durch eine Reparatur in einen "Wie-Neu"-Zustand oder so nah wie unter praktischen Gesichtspunkten möglich an diesen Zustand herangebracht wird.

Der Betreiber ist dafür verantwortlich, die Art und den Zeitabstand der Wiederholungsprüfung angemessen festzulegen. In Tab. 3.1 ist ein Vorschlag zur Prüfung der Sicherheitsfunktion beschrieben. Wenn diese Prüfung durchgeführt wird, kann eine Abdeckungsrate von 85 % erreicht werden.

Tab. 3.1: Vorschlag zur Prüfung der Sicherheitsfunktion

Schritt	Beschreibung
1	Überbrücken Sie die Sicherheitsfunktion, um ein unbeabsichtigtes Auslösen des Alarms zu vermeiden.
2	Führen Sie eine 2-Punkt-Kalibrierung des Durchflussmessgeräts durch, falls erforderlich. Vergleichen Sie dazu die Messwerte des Durchflussmessgeräts FLUXUS mit den Messwerten eines Referenz-Messgeräts.
3	Führen Sie einen Funktionstest des Stromausgangs mit dem Hochalarmwert durch. Prüfen Sie, ob das Ausgangssignal diesen Wert erreicht (siehe Betriebsanleitung UMFLUXUS, Kapitel "Ausgänge").
4	Führen Sie einen Funktionstest des Stromausgangs mit dem Tiefalarmwert durch. Prüfen Sie, ob das Ausgangssignal diesen Wert erreicht (siehe Betriebsanleitung UMFLUXUS, Kapitel "Ausgänge").
5	Führen Sie einen Funktionstest des Stromausgangs mit dem Fehlerwert durch. Prüfen Sie, ob das Ausgangssignal diesen Wert erreicht (siehe Betriebsanleitung UMFLUXUS, Kapitel "Ausgänge").
6	Stellen Sie die vollständige Funktionsfähigkeit des Stromausgangs wieder her.
7	Heben Sie die Überbrückung der Sicherheitsfunktion auf, um den Normalbetrieb wiederherzustellen.

3.2 Zusätzliche Maßnahmen bei der Wiederholungsprüfung

Im Folgenden werden einige zusätzliche Maßnahmen bei der Wiederholungsprüfung beschrieben, die dazu dienen sollen, eine sichere und genaue Durchflussmessung zu gewährleisten.

3.2.1 Visuelle Prüfung des Messsystems

Führen Sie eine visuelle Prüfung des Durchflussmessgeräts FLUXUS durch. Achten Sie dabei auf folgende Anzeichen von Verschleiß oder Beschädigungen, die die Messung negativ beeinflussen können:

- sichtbare äußere Beschädigungen
- Korrosion
- lockere Teile
- schiefe Anordnung der Sensorbefestigungen (im Verhältnis zur Rohrachse)
- offene Gehäuse

3.2.2 Prüfung der Verdrahtung

Um die korrekte Verdrahtung des Durchflussmessgeräts zu gewährleisten, ist auf Folgendes zu achten:

- alle Kabel und Klemmen (Sensoren, Ausgänge, Spannungsversorgung)
- Schirmung und kathodischer Korrosionsschutz, falls vorhanden
- Erde
- Kabelverschraubungen

3.2.3 Prüfung der Sensoren

Um die korrekte Befestigung der Sensoren zu gewährleisten, ist auf Folgendes zu achten:

- gute Kopplung zwischen der Sensorkontaktfläche und der Rohroberfläche
- ausreichender Anpressdruck der Sensoren an das Rohr
- feste Anbringung der Sensorbefestigungen an das Rohr
- korrekte Ausrichtung der Sensoren
- ausreichende Länge der Ein- bzw. Auslaufstrecken

3.2.4 Prüfung der Diagnosewerte

Hinweis!
Um die Diagnosewerte zu prüfen, muss die Messung unterbrochen und der normale Betriebsmodus verlassen werden. Informieren Sie die verantwortliche Person.

Hinweis!
Es wird empfohlen, das Speichern der Diagnosewerte zu aktivieren. Die gespeicherten Diagnosewerte können mit Hilfe des Datenübertragungskits und der FLEXIM-Software FluxData ausgelesen werden. Beim Auslesen der gespeicherten Diagnosewerte wird die Messung unterbrochen und der zuletzt gemessene Wert wird über den Stromausgang ausgegeben. Für das Speichern der Diagnosewerte siehe Betriebsanleitung UMFLUXUS, Abschnitt "Messwertspeicher".

Aktivieren Sie den SuperUser-Modus. Für die Aktivierung des SuperUser-Modus siehe Betriebsanleitung UMFLUXUS, Kapitel "SuperUser-Modus".

Für das Anzeigen der Diagnosewerte siehe Betriebsanleitung UMFLUXUS, Kapitel "Grundlegender Messprozess".

Die folgende Tabelle beschreibt die Diagnosewerte, mit deren Hilfe eine Aussage über die Qualität und Genauigkeit der Messung gemacht werden kann. Bei einigen dieser Diagnosewerte sind pauschale Grenzwerte möglich. Diese Grenzwerte geben an, in welchem Bereich sich der jeweilige Diagnosewert für eine genaue Messung befinden sollte.

Anzeige	Diagnosewert	Beschreibung	Grenzwerte
c	Schallgeschwindigkeit	Die Schallgeschwindigkeit wird aus der Laufzeit des Schalls und der Pfadlänge im Fluid berechnet. Die Laufzeit im Fluid ergibt sich aus der Gesamtlaufzeit durch Subtraktion der Laufzeit im Sensor und in der Rohrwand. Die Pfadlänge ergibt sich aus Rohraußendurchmesser, Wanddicke, Sensorabstand und Sensorkonstante. Wenn die theoretische Schallgeschwindigkeit des Fluids bekannt ist, kann die gemessene Schallgeschwindigkeit mit dem theoretischen Wert verglichen werden. Wegen der starken Temperaturabhängigkeit der Schallgeschwindigkeit muss dazu auch die Temperatur ausreichend genau bekannt sein.	abhängig vom Fluid
s	Signalamplitude	Die Signalamplitude hängt vor allem von der Signaldämpfung im Fluid, der Sensorfrequenz, der Schallpfadlänge, dem Rohrwandmaterial und der Rohroberfläche (innen und außen) sowie der Qualität der Sensorankopplung ab. Sie kann in einem großen Bereich variieren. Die Messgenauigkeit hängt nicht von der Signalamplitude ab, solange das Signal detektiert werden kann. Die Signalamplitude sollte jedoch konstant sein, wenn sich die Messbedingungen an der Messstelle nicht ändern.	
Gain	Signalverstärkung	Die aktuelle Signalverstärkung wird aus der max. Signalverstärkung und der aktuellen Signalamplitude berechnet.	max. 107 dB (bei Scherwellen-Sensoren) oder max. 113 dB (bei Lambwellen-Sensoren)
SNR	SNR	Die SNR (signal-to-noise ratio) ist das Verhältnis der Leistung des Nutzsignals zur Leistung zufälliger Störsignale. Solche Störsignale können entweder von elektrischen oder akustischen Störquellen verursacht sein. Der Einfluss elektrischer Störquellen wird durch sorgfältige Schirmung und Erdung minimiert. Eine geringe SNR kann also auf diesbezügliche Fehler hinweisen.	min. 15 dB

Anzeige	Diagnosewert	Beschreibung	Grenzwerte
SCNR	SCNR	Die SCNR (signal-to-correlated-noise ratio) ist analog zur SNR definiert. Hier werden jedoch keine zufälligen Störungen erfasst, sondern Störungen, die mit dem Messsignal korreliert sind. Es handelt sich hierbei um Signalanteile, die wie das Nutzsignal vom Sensor erzeugt werden, jedoch auf anderen Wegen als durch das Medium zum empfangenden Sensor gelangen, z.B. durch die Rohrwand entlang des Rohrumfanges oder in axialer Richtung und nach Reflexion am nächsten Flansch.	min. 20 dB

Vergleichen Sie die aktuellen Diagnosewerte auch mit den Diagnosewerten bei der Inbetriebnahme und bei der letzten Wiederholungsprüfung des Durchflussmessgeräts FLUXUS. Wenn die Diagnosewerte stark von den empfohlenen oder den zuvor ermittelten Werten abweichen, nehmen Sie Kontakt mit FLEXIM auf.

3.2.5 Prüfung der Ausgänge

Prüfen Sie die Messwerte, die im Leitstand angezeigt werden. Das Signal der Ausgänge kann ebenfalls manuell mit Hilfe eines Multimeters geprüft werden (siehe Betriebsanleitung UMFLUXUS, Kapitel "Ausgänge").

Hinweis!

Während der Prüfung der Ausgänge wird die Messung unterbrochen und die Ausgänge geben keine Daten aus. Informieren Sie die verantwortliche Person.

4 Kenngrößen zur funktionalen Sicherheit

Für die in Abschnitt 2.6 aufgezählten Varianten des Durchflussmessgeräts FLUXUS wurde durch exida eine Fehlerarten-, Auswirkungs- und Diagnoseanalyse (FMEDA) durchgeführt.

4.1 Kategorien von Ausfällen

Bei der Beurteilung des Ausfallverhaltens des Durchflussmessgeräts FLUXUS wurden folgende Kategorien von Ausfällen berücksichtigt:

Tab. 4.1: Kategorien von Ausfällen

Kategorie des Ausfalls	englische Bezeichnung	Beschreibung
ungefährlicher Ausfall (S)	safe failure	Ausfall eines Elements und/oder Teilsystems und/oder Systems, das Anteil an der Ausführung der Sicherheitsfunktion hat, der <ul style="list-style-type: none"> zur Fehlauflösung der Sicherheitsfunktion führt, die EUC (oder Teile davon) in einen sicheren Zustand zu bringen oder den sicheren Zustand aufrechtzuerhalten; oder die Wahrscheinlichkeit der Fehlauflösung der Sicherheitsfunktion erhöht, die EUC (oder Teile davon) in einen sicheren Zustand zu bringen oder den sicheren Zustand aufrechtzuerhalten
ungefährlicher unerkannter Ausfall (SU)	safe undetected failure	ungefährlicher Ausfall, der in Verbindung mit Hardware durch diagnostische Prüfungen, Wiederholungsprüfungen, Bedienereingriff (zum Beispiel durch Inspektion und manuelle Prüfungen) oder während des üblichen Betriebs unerkannt bleibt
ungefährlicher erkannter Ausfall (SD)	safe detected failure	ungefährlicher Ausfall, der in Verbindung mit Hardware durch diagnostische Prüfungen, Wiederholungsprüfungen, Bedienereingriff (zum Beispiel durch Inspektion und manuelle Prüfungen) oder durch üblichen Betrieb erkannt wird
gefährbringender Ausfall (D)	dangerous failure	Ausfall eines Elements und/oder Teilsystems und/oder Systems, das Anteil an der Ausführung der Sicherheitsfunktion hat, der <ul style="list-style-type: none"> verhindert, dass eine Sicherheitsfunktion bei Anforderung ausgeführt wird (Anforderungsbetriebsart) oder den Ausfall einer Sicherheitsfunktion verursacht (Betriebsart mit kontinuierlicher Anforderung), so dass die EUC in einen gefährlichen oder möglicherweise gefährlichen Zustand gebracht wird; oder die Wahrscheinlichkeit vermindert, die Sicherheitsfunktion bei Anforderung ordnungsgemäß auszuführen
gefährbringender unerkannter Ausfall (DU)	dangerous undetected failure	gefährbringender Ausfall, der in Verbindung mit Hardware durch diagnostische Prüfungen, Wiederholungsprüfungen, Bedienereingriff (zum Beispiel durch Inspektion und manuelle Prüfungen) oder während des üblichen Betriebs unerkannt bleibt
gefährbringender erkannter Ausfall (DD)	dangerous detected failure	gefährbringender Ausfall, der in Verbindung mit Hardware durch diagnostische Prüfungen, Wiederholungsprüfungen, Bedienereingriff (zum Beispiel durch Inspektion und manuelle Prüfungen) oder durch üblichen Betrieb erkannt wird

4.2 Annahmen

- Bei dem Durchflussmessgerät FLUXUS handelt es sich um ein Gerät des Typs B mit einer Hardwarefehlertoleranz (HFT) von 0.
- Das Durchflussmessgerät FLUXUS wird in der Betriebsart mit niedriger Anforderungsrate (low demand mode) betrieben.
- Die Ausfallraten bleiben konstant. Mögliche Abnutzungsmechanismen werden nicht betrachtet.
- Die Ausfallfortpflanzung spielt keine Rolle.
- Ausfälle bei der Parametrierung der Messung werden nicht berücksichtigt.
- Das Durchflussmessgerät FLUXUS und die Sensoren werden entsprechend den Anweisungen in der Betriebsanleitung UMFLUXUS installiert.
- Das Durchflussmessgerät FLUXUS ist gegen unbeabsichtigten Eingriff geschützt.
- Die interne Fehlererkennungszeit kann im Worst-Case-Szenario 30 s betragen.
- Die Ausfallraten der externen Spannungsversorgung werden nicht berücksichtigt.
- Die mittlere Dauer bis zur Wiederherstellung (MTTR) nach einem sicheren Ausfall beträgt 24 h.
- Das HART-Protokoll wird nur zu Zwecken der Konfiguration, Kalibrierung und Diagnose eingesetzt und nicht während des normalen Betriebs.
- Nur die in diesem Handbuch zur funktionalen Sicherheit beschriebenen Varianten des Durchflussmessumformers FLUXUS können für Sicherheitsanwendungen verwendet werden.
- Das Ausgangssignal 4...20 mA wird an ein PLT-System übertragen, das den Anforderungen von mindestens SIL 1 entspricht.
- Das Anwendungsprogramm des Logik-Bausteins ist nach der Norm NAMUR NE43 konfiguriert, over-range und under-range Ausfälle zu erkennen, und löst bei diesen Ausfällen nicht automatisch einen Alarm aus. Daher werden solche Ausfälle der Kategorie "gefährbringend erkannt" zugeordnet.

4.3 Methoden

Hinweis!

Bei der Ermittlung der Kenngrößen zur funktionalen Sicherheit wurden die Methoden von exida angewendet. Diese Methoden entsprechen dem Stand der Technik, können sich jedoch von den in der Norm IEC 61508 beschriebenen Methoden unterscheiden.

Bei der Berechnung des Anteils sicherer Ausfälle (SFF) wurden folgende Methoden angewendet:

- Die Gesamt-Ausfallrate λ_{total} ergibt sich als die Summe der einzelnen Ausfallraten:
$$\lambda_{total} = \lambda_{SD} + \lambda_{SU} + \lambda_{DD} + \lambda_{DU}$$
- Der Anteil sicherer Ausfälle (SFF) ergibt sich als:
$$SFF = 1 - \lambda_{DU} / \lambda_{total}$$
- Der Diagnosedeckungsgrad gefährbringender Ausfälle (DC_D) ergibt sich als:
$$DC_D = \lambda_{DD} / (\lambda_{DU} + \lambda_{DD})$$
- Die mittlere Betriebsdauer zwischen Ausfällen (MTBF) beträgt:
$$MTBF = MTTF + MTTR$$

4.4 Ergebnisse

Die Zusammenfassung der Ergebnisse finden Sie in den Dokumenten der FMEDA

- FLEXIM ADM 7407 13-09-094 R002 V1R3
- FLEXIM Fluxus ADM 8x27 - F-G80x 12-06-034 R001 V1R1