FELDBUS UND VERFÜGBARKEIT

Oder: der Unterschied zwischen Theorie und Praxis

Feldbus in der Prozessautomation erfährt mehr und mehr Aufmerksamkeit, nicht nur wegen seiner Robustheit im rauen Alltag der Prozessautomation, sondern auch durch die Möglichkeit, sicherheitsgerichtete Steuerungen abbilden zu können. Es kommt auf eine besonders hohe Verfügbarkeit der Feldbusinfrastruktur selbst an, wie bei jedem kritischen Produktionsprozess.

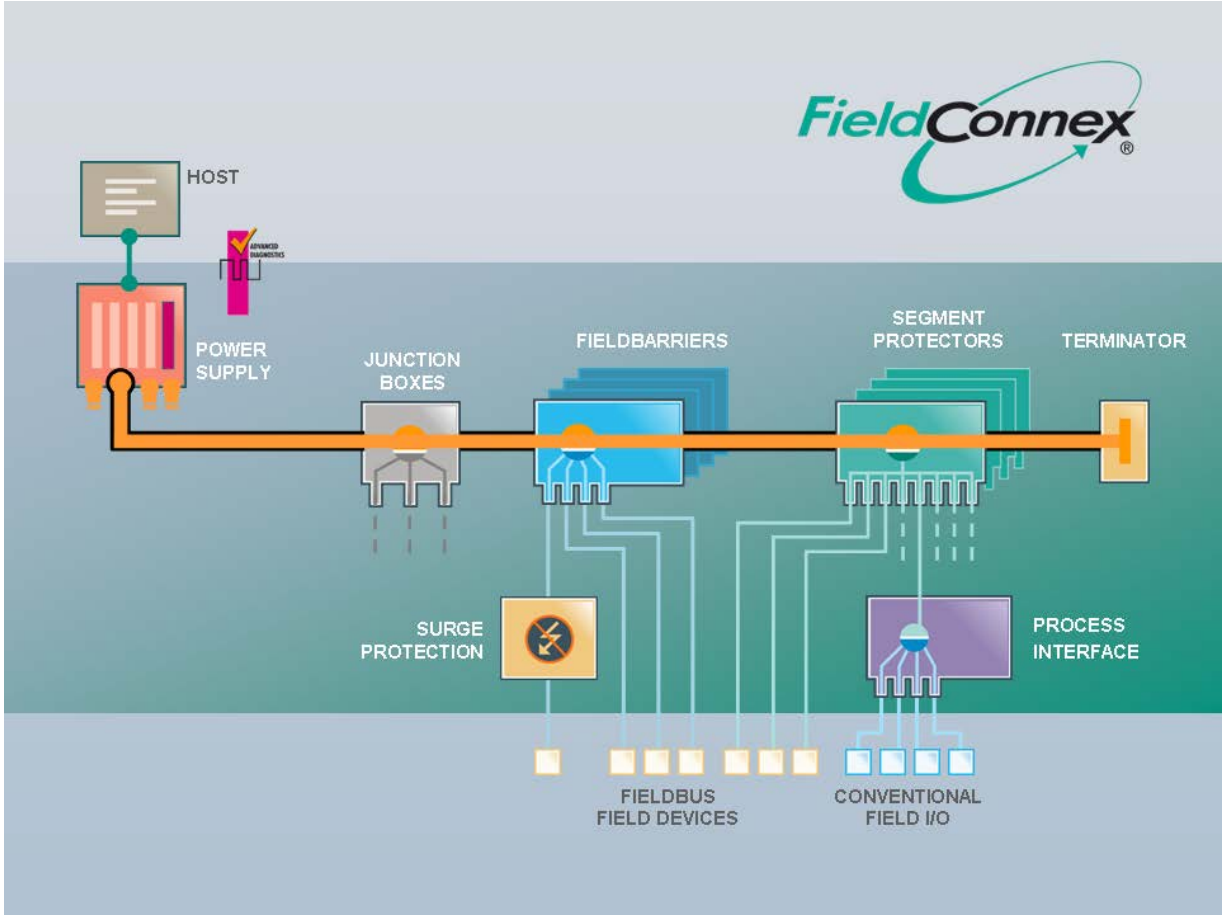
Dieses Technical White Paper informiert über die Sachverhalte und sinnvoll zu treffenden Annahmen, die für die Verfügbarkeit der Feldbusinfrastruktur relevant sind. Es vermittelt das Wissen für sachliche Entscheidungen zum Umgang mit dem Feldbus. Feldbuskomponenten, deren Auslegung, eine automatische Fehlerbehandlung, Diagnose und Redundanz spielen dabei eine Rolle. Mit diesen Informationen bilden Sie sich ein in der Sache begründetes Urteil.

Andreas Hennecke
Produktmarketingmanager

Thomas Klatt
Leiter Support

Andreas Hildebrandt
Leiter Schulungen

PEPPERL+FUCHS
PROTECTING YOUR PROCESS



Qualitätsinformationen von einem Qualitätszulieferer

In diesem technischen White Paper wird das Fachwissen und die Kompetenz von Pepperl+Fuchs genutzt, um Ihnen einen direkten Einblick in viele neue Technologie-und Anwendungen zu bieten, denen Sie während einer Feldbusinstallation begegnen könnten. Dies deckt sich mit unserer Arbeits- und Denkweise: die Kombination von hochmodernen Technologien mit jahrelanger Forschung und Innovation zur Erleichterung von Planung, Installation und Inbetriebnahme, Betrieb und Instandhaltung.

Sollten Sie Fragen oder Anmerkungen zu diesem White Paper haben, können Sie sich gerne an Ihre Pepperl+Fuchs-Niederlassung oder eine Vertretung wenden, um mit den Experten in Kontakt zu treten. Wir freuen uns, unser Fachwissen für Ihre geschäftliche Zukunft mit Ihnen teilen zu können.

Unser Versprechen ist es, Ihre Arbeitsprozesse zu vereinfachen: Konzentrieren Sie sich auf Ihr alltägliches Geschäft mit einer verlässlichen FieldConnex® Feldbusinfrastruktur. Diese sichert die Verbindung zwischen dem Prozessleitsystem und den Geräten – vollständig digitalisiert mit Explosionsschutz für explosionsgefährdete Bereiche. Wir streben stets danach, dem Fachpersonal in der Prozessautomation Innovationen mit bewährter Zuverlässigkeit bieten zu können:

- FieldConnex ist robust, verlässlich und die erste Wahl vieler bekannter Anwender auf der ganzen Welt.
- Die Advanced Physical Layer-Diagnose überwacht Stichleitungen, Zubehör und Geräte, wertet Daten aus und liefert eine detaillierte Fehleranalyse. Das Eindringen von Wasser sowie verbrauchte Überspannungsschutzmodule können ohne manuelle Kontrolle identifiziert werden.
- Das High-Power Trunk-Konzept erlaubt lange Kabelwege sowie eine hohe Geräteanzahl und gehört mittlerweile zum Industriestandard. Mit DART-Feldbus wird der High-Power Trunk eigensicher.

Wir hoffen, dass Ihnen der Inhalt dieses Schreibens bei der alltäglichen Arbeit oder Entscheidungsprozessen hilfreich ist. Wir freuen uns auch über Ihren Kommentar.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung und Überblick 2

2 Die Feldbusinfrastruktur 2

2.1 Systemstruktur 2

2.2 Der Mehrwert digitaler Kommunikation 3

2.3 Technik und Fortschritt 4

2.4 Digitale Technik gestalten 4

3 Betrachtungen zur Verfügbarkeit 5

3.1 Berechnete Verfügbarkeit 5

3.2 Beobachtete Verfügbarkeit 7

3.3 Methoden zur Mitigation von Ausfallrisiken 8

4 Fehlerzustände im laufenden Betrieb 8

4.1 Typische Fehlerszenarien 8

4.1.1 Direkte niederohmige Kurzschlüsse 9

4.1.2 Eindringendes Wasser 9

4.1.3 Ein Gerät verbinden und trennen 10

4.1.4 Schwingungs-/maschineninduzierte unregelmäßig auftretende Fehler 10

4.2 Feldbuskomponenten und Verfügbarkeit 11

4.2.1 Feldgerät 11

4.2.2 Feldbusstromversorgung und Leittechnikanbindung 11

4.2.3 Gerätekoppler: Feldbarriere oder Segment Protector 11

4.2.4 Geräteanschlusskabel (engl.: Spur) 12

4.2.5 Stammkabel (engl.: Trunk) 12

4.3 Heuristische Bewertung der Verfügbarkeit 13

4.3.1 Versagensursachen 13

4.3.2 Lösungsansätze und Komponenten 14

4.4 Die Verfügbarkeit wirksam steigern 14

5 Zusammenfassung 16

6 Quellennachweis 16

2013-11-08 EDM TDOCT-3529BGER

1 Einleitung und Überblick

Der Feldbus in der Prozessautomation ermöglicht den vollständigen und integrierten Zugang zu allen Informationen der Instrumentierung: Messwert, Konfiguration und Gerätediagnose. Wer Informationen aus dem Feld zur proaktiven Steuerung der Anlage und zum aktiven Management der Instandhaltung nutzen will, setzt auf den digitalen Feldbus. Insbesondere für die Produktivität und die jetzt vollständig definierten Protokolle für sicherheitsgerichtete Steuerungen ist ein detaillierter Blick auf die Verfügbarkeit erforderlich.

Namentlich die Bussysteme FOUNDATION Fieldbus H1 und PROFIBUS PA sind geprägt von teils außergewöhnlichen Verbesserungen von Generation zu Generation. Generelle Vorteile und die Historie dieser teilweise revolutionären Veränderungen beschreibt Kapitel 2, Die Feldbusinfrastruktur.

Die mathematische Betrachtung der Lebensdauer und der Zuverlässigkeit von Komponenten ist nur ein Teilschritt zur Erreichung hoher Verfügbarkeit; jedoch erschließt sich rein aus den Lebensdaten der Instrumente nicht das, was den Unterschied zwischen guter Performanz und höchster Zuverlässigkeit ausmacht: Kapitel 3, Betrachtungen zur Verfügbarkeit beschreibt Details und legt die Grundlagen zur Aufklärung einiger fragwürdiger oder schlicht falscher Annahmen, die wir in Präsentationen und Foren gefunden haben.

Die Praxis mit dem Feldbus und Details zu Fehlerszenarien an der Installation beschreibt Kapitel 4, Fehlerzustände im laufenden Betrieb. Das Kapitel zeigt einen heuristischen Denkansatz auf, der bewusst macht, wie Geräte, Umgang und Umgebungsbedingungen an welcher Stelle der Feldbusinstallation wirksam sind und wie diese in ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit beeinflusst werden können. Dieser Denkansatz ermöglicht den bewussten Umgang mit Chancen und Risiken. Sachbasierte Entscheidungen zu Einsatz und Auslegung optimieren die Feldbusinfrastruktur in Bezug auf Kosten und Verfügbarkeit für den geforderten Einsatz.

Die Autoren sind Verfechter des Feldbusses und wünschen sich, Ihnen mit diesem Papier die notwendigen Informationen zu geben.

2 Die Feldbusinfrastruktur

2.1 Systemstruktur

Feldbusse in der Prozessautomation, namentlich FOUNDATION Fieldbus H1 und PROFIBUS PA, realisieren die Digitalisierung auf dem letzten Kilometer von der Leitwarte zum Feldgerät. Nachdem Druckluftregelungen durch analoge Datenübertragung (4…20 mA) vor ca. 60 Jahren abgelöst wurden, ist die digitale Kommunikation der nächste notwendige Entwicklungsschritt mit voller Datenintegration bis in die Leittechnik. Der Feldbus überträgt wie auch bei der analogen Messwertübertragung Datenkommunikation und Energieversorgung über eine verdrillte geschirmte Zweidrahtleitung an bis zu 31 Teilnehmer (realistisch 8…22). Verschiedene Zündschutzarten werden für die Installation im explosionsgefährdeten Bereich angewendet.

Die Feldbusinfrastruktur besteht aus einer Stromversorgung, Kabeln und Verteilerkästen (Abbildung 1). Stammkabel (aus dem Englischen eingedeutscht auch „Trunk“ genannt) führen von der Leitwarte zu den Verteilerkästen, die für Monteure leicht erreichbar im Feld installiert werden.

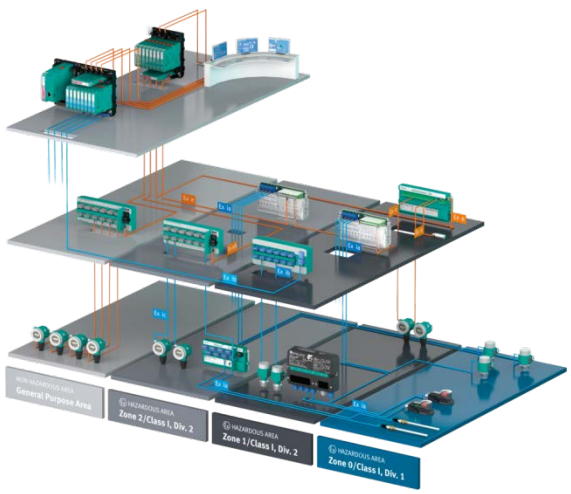


Abbildung 1: Prozessleittechnik, durchgängig digital bis zum Feldgerät

Stichleitungen führen von den Verteilerkästen zu den Feldgeräten.

2013-11-08 EDM TDOCT-3529BGER

2.2 Der Mehrwert digitaler Kommunikation

Weniger Instrumentierung erforderlich: Instrumente können mehrere Messwerte übertragen. Ein Durchflusstransmitter kann gleichzeitig Temperatur und Dichte zur Verfügung stellen. So lassen sich Messstellen einsparen. Diese Daten werden nativ, das heißt: ohne besondere Anforderungen, an Engineering oder Konfiguration übertragen.

Vorausschauende Instandhaltung: Die Instrumentierung sendet neben den Messwerten Diagnosedaten. Wartungsteams greifen weniger häufig und zielgerichtet ein und tragen so zur Gesamtverfügbarkeit der Anlage bei. Dies liegt begründet in besserer Information, die Notwendigkeit und Ursache transparent macht. Diese Datenübertragung ist Teil der Protokolldefinition und erfolgt parallel zur Messwertübertragung. Der Zugriff erfolgt bequem, schnell und präzise von der Leitwarte aus – besonderes Engineering entfällt hier ebenfalls.

Fernparametrierung: Von der Sicherheit der Leitwarte aus können Feldgeräte in ihrer Parametrierung angepasst werden. Bei häufigen Produktwechseln oder anderen notwendigen Anpassungen erfolgen die Einstellungen schnell und effizient. Ist ein Gerätetausch notwendig, wird die Parametrierung vom Leitsystem aus eingespielt.

Die Dokumentation der Prozessanlage steht im Leitsystem stets in ihrem aktuellen Zustand zur Verfügung.

Digitale Kommunikation überträgt mehr und genauer: Das Signal wird genau einmal analog-digital im Instrument gewandelt und mit sehr hoher Auflösung übertragen – so genau, dass zwei unterschiedliche Instrumente, etwa zwei Drucktransmitter, auch für eine Differenzmessung verwendet werden können. (Abbildung 2)

Platzersparnis im Leittechnikraum und im Feld: Nur die Stromversorgungen, die pro Karte jeweils ein Segment mit realistisch 8…22 Teilnehmern bedienen, benötigen Platz im Leittechnikschrank. Im Vergleich zur klassischen Analogtechnik entfällt mindestens eine Verdrahtungsebene, wodurch Kosten für Planung, Anschaffung, Installation und Prüfung wegfallen.

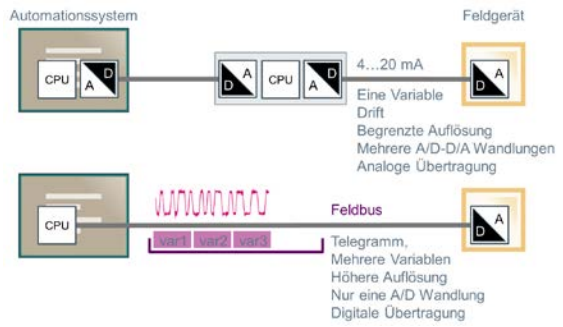


Abbildung 2: Analoge und digitale Messwertübertragung im Vergleich

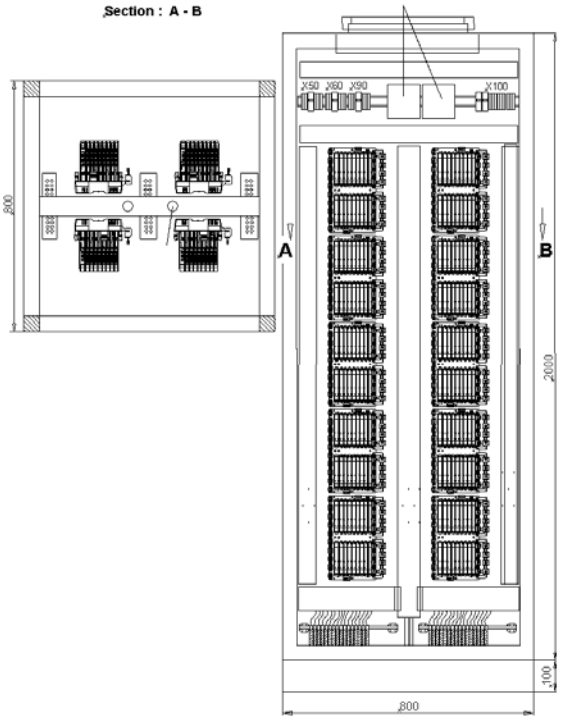


Abbildung 3: Leittechnikschrank mit Platz für bis zu 160 Segmente

Abbildung 3 zeigt die Konstruktionszeichnung für einen typischen Leittechnikschrank mit Feldbusstromversorgungen. Mechanisch finden bis zu 160 Segmente Platz. Die Stromversorgungen auf einem Quadratmeter Grundfläche versorgen realistisch etwa 100 Segment und damit zwischen 800 und 2200 Feldgeräte und Leittechnikkarten.

Schneller Go-Live: Durch einen Test der Feldbusphysik vorab ist die Kommunikation zu jedem einzelnen Gerät sichergestellt. Der Loop-check geht damit früher und schneller vonstatten. Eine Fallstudie demonstriert erhebliche Einsparung von Zeit und Aufwand für den Loop-check durch Feldbus mit Diagnose in [1].

2013-11-08 EDM TDOCT-3529BGER

Einfacher Nachweis des Explosionsschutzes: Speziell für den Feldbus entwickelte Varianten der Zündschutzart Eigensicherheit ermöglichen den Nachweis gänzlich ohne Berechnungen. Eine Stückliste mit Verlinkungen auf die Zertifikate sowie einige wenige Randbedingungen, die einzuhalten sind, stellen den Nachweis der Eigensicherheit dar. Beispielhaft dafür sind FISCO, das Fieldbus Intrinsically Safe Concept und eigener Abschnitt im Standard IEC 60079, sowie DART Feldbus. DART-Technologie ermöglicht eine wesentlich höhere Wirkleistung einer eigensicheren Installation. DART Feldbus ist eine von Pepperl+Fuchs entwickelte Lösung und nach IEC 60079-11 zertifiziert.

Sicherheitsgerichtete Datenübertragung mit Feldbus wird probeweise getestet und eingesetzt. Zusätzliche Mechanismen im Protokoll sichern die Übertragung von Prozess- und Sicherheitssignalen über dasselbe Kabel ohne zusätzliche Hardware. Die Verbindung, d. h. Speisung, Kabel und Barrieren für den Explosionsschutz, ist von der Betrachtung ausgenommen. Im Vergleich zu heute Gewohntem sind Berechnungen, Nachweis und Prüfung einfacher realisierbar. Hintergründe finden sich in [2].

2.3 Technik und Fortschritt

Die sehr gute Verfügbarkeit der Kommunikation erreicht der Feldbus durch den Einsatz von auf die Speisespannung modulierten Signalen. Die gering erscheinende Datengeschwindigkeit von 31,25 kBit/sec ist für Prozesssignale mehr als ausreichend. Das Datum wird nicht als Pegel, sondern als Flanke übertragen (Abbildung 4). Diese sehr scharfen Ereignisse lassen sich von den Eingangsbausteinen leicht erkennen, und sie sind gegen Störungen sehr unempfindlich.

In den Anfängen wurde das Feldbuskabel von Feldgerät zu Feldgerät durchgeschleift. Notwendige Arbeiten an einem Feldgerät führten zwangsläufig zum Ausfall. Heute haben sich Verteilerkästen, Gerätekoppler genannt, mit Stichleitungen als Quasi-Standard etabliert. Diese sind übersichtlich, einfach zu installieren und zu warten.

Gerätekoppler mit Kurzschlussstrombegrenzung werden bevorzugt eingesetzt, sodass Arbeiten an einem Gerät im laufenden Betrieb die Funktion des Segments nicht schädigen können. (Abbildung 5)

Diese Kurzschlussstrombegrenzung wurde kürzlich durch neue Technologien auf einen Fehlerschutz ausgeweitet, der anspruchsvolle dynamische, in der Praxis auftretende Fehler erkennen und unterdrücken kann. Hierzu gehören: Kontaktprellen, kurzschließend und öffnend, sowie „Jabber“ – exzessive und unerlaubte Kommunikation eines Feldgeräts durch einen internen Fehler.

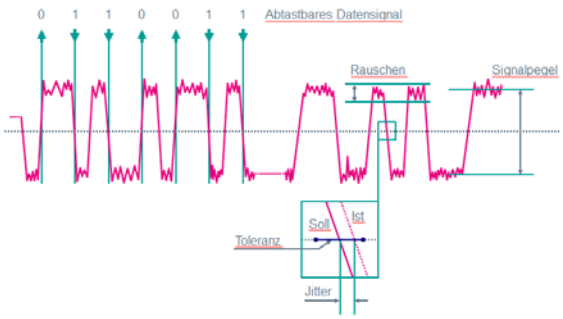


Abbildung 4: Digitale Signale übertragen zuverlässig, mit hoher Auflösung und ohne Drift.

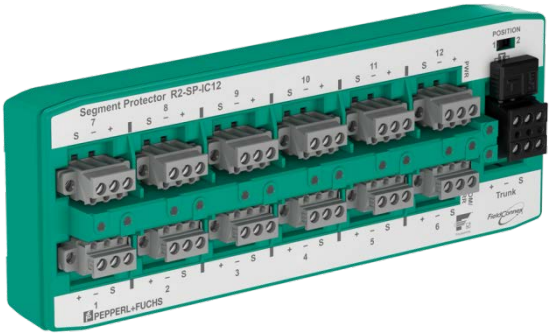


Abbildung 5: Segment Protector mit modernem Fehlerschutz und Diagnose an jedem Ausgang. Schützt vor den vielen möglichen Versagensursachen.

Eine Routineüberwachung der Installationstechnik ist mit dem Einsatz von Feldbus erst wirtschaftlich möglich. Signalrauschen, Erdfehler und viele andere Messwerte der Feldbuskommunikation selbst können dauerhaft erfasst werden. Die zugehörige Software wertet die Signale aus, interpretiert und übersetzt diese in relevante Meldungen für Wartungsteams. Mit der Diagnose der Feldbusphysik können Ursachen vor einem Ausfall sichtbar gemacht werden. [3]

2.4 Digitale Technik gestalten

Planer, Eigner, Betreiber und Instandhalter erhalten neben dem einfachen Messwert zusätzliche Informationen durch digitale Kommunikation bis zum Feldgerät. Informationen lassen sich in höhere Verfügbarkeit einerseits und reduzierte Wartungsaufwände andererseits übersetzen. Sicherheit von Personal und Anlage werden ebenfalls positiv beeinflusst. Weil die Kommunikation von bis zu 31 Komponenten über eine Infrastruktur betrieben wird, muss sichergestellt sein, dass diese Infrastruktur mit einer sehr guten Verfügbarkeit betrieben werden kann.

2013-11-08 EDM TDOCT-3529BGER

3 Betrachtungen zur Verfügbarkeit

Berechnungen zur Verfügbarkeit basieren stets auf Angaben, Annahmen und Betrachtungen aus der Wahrscheinlichkeitsrechnung. Wir stellen in vielen Diskussionen fest, dass hier durch teilweise realitätsfremde, manchmal auch falsche Annahmen Ergebnisse hergeleitet werden. Deren Validität ist zumindest zweifelhaft.

Dieses Kapitel zitiert zunächst verschiedene für die Praxis der Prozessautomation relevante Definitionen von Verfügbarkeit. In einem Gedankenexperiment anhand eines ungewöhnlichen Beispiels veranschaulicht es die Kriterien, die zu einer realistischen Bewertung der Verfügbarkeit heranzuziehen sind. Anhand des Beispiels wird die Diskrepanz zwischen Theorie und Praxis deutlich: Die in der Regel viel zu hohen errechneten Werten entsprechen nicht der in der Prozessautomation erfahrbaren Realität. Abschließend werden Methoden diskutiert, mit deren Hilfe die Verfügbarkeit einer Anlage positiv beeinflusst werden kann.

3.1 Berechnete Verfügbarkeit

Die folgenden Definitionen sind dem International Electrical Vocabulary (IEV) entnommen [4], das auch für die Erstellung und Übersetzung von Normen relevant ist. Hier finden sich 47 Definitionen unter dem Begriff Verfügbarkeit. Die Nummer ist die Eintragsnummer im IEV.

Tabelle 1: Definitionen nach IEV

Name	Definition
191-02-05: Verfügbarkeit	Fähigkeit einer Einheit, zu einem gegebenen Zeitpunkt oder während eines gegebenen Zeitintervalls eine geforderte Funktion unter gegebenen Bedingungen erfüllen zu können, vorausgesetzt, dass die erforderlichen äußeren Hilfsmittel bereitgestellt sind.
191-11-01 momentane Verfügbarkeit	Wahrscheinlichkeit, eine Einheit zu einem gegebenen Zeitpunkt in einem Zustand anzutreffen, in dem sie eine geforderte Funktion unter gegebenen Bedingungen erfüllen kann, vorausgesetzt, dass die erforderlichen äußeren Mittel bereitgestellt sind.
191-11-03 mittlere Verfügbarkeit A(t1, t2)	Mittelwert der momentanen Verfügbarkeit während eines gegebenen Zeitintervalls (t1, t2) ANMERKUNG: Die mittlere Verfügbarkeit steht mit der momentanen Verfügbarkeit A(t) in folgender Beziehung: $\overline{A}(t_1, t_2) = \frac{1}{t_2 - t_1} * \int_{t1}^{t2} A(t)dt$
191-11-06 stationäre Verfügbarkeit A	Mittelwert der momentanen Verfügbarkeit unter stationären Bedingungen während eines gegebenen Zeitintervalls ANMERKUNG: Nur unter speziellen Anwendungsbedingungen, zum Beispiel bei **konstanter Ausfallrate** und **konstanter Instandsetzungsrate,** kann die stationäre Verfügbarkeit durch das Verhältnis der mittleren Klardauer aus Summe mittlere Klardauer plus mittlere Unklardauer ausgedrückt werden. Unter diesen Umständen sind die asymptotische und die stationäre Verfügbarkeit identisch und werden oft vereinfachend als „Verfügbarkeit“ bezeichnet.
191-12-07 mittlere Dauer bis zum Ausfall, MTTF	Erwartungswert der Verteilung der Dauern bis zum Ausfall
191-11-12 mittlere Unklardauer, MMDT	Erwartungswert der Verteilung der Dauern der Unklarzeitintervalle
191-12-03: mittlere Ausfallrate, λ(t1, t2)	Mittelwert der momentanen Ausfallrate während eines gegebenen Zeitintervalls (t1, t2)

2013-11-08 EDM TDOCT-3529BGER

Betrachten wir zunächst das folgende einfache Gedankenexperiment: Wie hoch ist die Verfügbarkeit der in Abbildung 6 gezeigten Anlage. Die Antwort erschließt sich optisch und trivial: Die Verfügbarkeit ist 50 %. Das ist der Wert für die stationäre Verfügbarkeit.

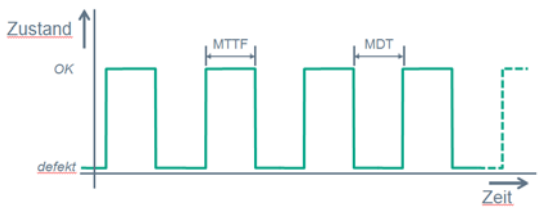


Abbildung 6: Verfügbarkeit einer Anlage über die Zeit

Wie aus der Anmerkung unter 191-11-05 hervorgeht, wird die stationäre Verfügbarkeit kurz als Verfügbarkeit bezeichnet.

Die durch Anschauung ermittelte Verfügbarkeit im vorangegangenen Beispiel wird durch die Rechnung gemäß der nachfolgenden Formel bestätigt, wenn MTTF=MDT:

$$A = \frac{MTTF}{MTTF + MDT} = 50\,\%$$

Damit die berechnete Verfügbarkeit die reale Situation widerspiegelt, ist es nötig, für die MTTF und die MDT realistische Zahlenwerte einzusetzen. Fälschlicherweise wird für die MTTF der Kehrwert der Ausfallrate Lambda herangezogen. Diese Art der Berechnung liefert ein nichtssagendes Ergebnis, da die für die MTTF entscheidenden Einflüsse wie Alterung oder Verschleiß unberücksichtigt bleiben. Ebenso werden die Einflüsse der Betriebsweise und der Umgebung, der die jeweilige Komponente ausgesetzt ist, außer Acht gelassen. Anhand des folgenden Beispiels soll dies veranschaulicht werden.

Betrachten wir den Menschen in seiner Funktion als Arbeitnehmer und berechnen seine Verfügbarkeit. Zunächst muss hierzu die MTTF des Menschen bestimmt werden. Nach der oben beschriebenen falschen Vorgehensweise ergibt sich diese aus dem Kehrwert der Ausfallrate im flachen Teil der Badewannenkurve (Abbildung 8).

Aus den Sterbetafeln der Bundesrepublik Deutschland kann die Badewannenkurve für Menschen gewonnen werden. Im flachen Teil (Bodenbereich, Alter 31 Jahre, vgl. Tabelle 2) beträgt die Ausfallrate für Männer 0,71375 ‰. Für die MTTF (Kehrwert von Lambda) ergibt sich damit ein Wert von 1401 Jahren oder 72.800 Wochen.

Abbildung 7: Die Verfügbarkeit des Menschen zur Illustrierung von zufälligen und systematischen Fehlern

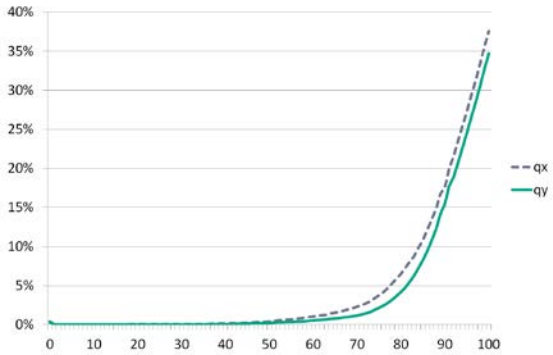


Abbildung 8: Badewannenkurve des Menschen: Sterbetafel 2011 der Bundesrepublik Deutschland

Tabelle 2: Ausschnitt aus der Sterbetafel der Bundesrepublik Deutschland 2011

Alter	Px (männlich)	Py (weiblich)
29	0,00065759	0,00028692
30	0,00063989	0,00028303
31	0,00071375	0,00030202
32	0,00073510	0,00035447
33	0,00076333	0,00036564

Mit der Annahme, dass für einen ausgefallenen Mitarbeiter nach 6 Wochen ein Ersatz gefunden ist, berechnet sich die Verfügbarkeit als

$$A = \frac{MTTF}{MTTF + MDT} = \frac{72800}{72800 + 6}$$

$$A = 0{,}99992\ bzw.\ 99{,}992\,\%$$

2013-11-08 EDM TDOCT-3529BGER

3.2 Beobachtete Verfügbarkeit

In der Praxis beobachtet man eine deutlich geringere Verfügbarkeit. Urlaub, Krankheit, Arztbesuche, Dienstreisen kommen mehrere Male im Jahr vor und sind ebenfalls Ursachen für die Abwesenheit vom Arbeitsplatz. Angenommen, ein Ausfall findet im Schnitt zweimal pro Jahr statt und die Ausfallzeit beträgt in diesen Fällen durchschnittlich zwei Wochen, so ergibt sich eine Verfügbarkeit von:

$$A = \frac{MTTF}{MTTF + MDT} = \frac{26}{26 + 2} = 92{,}9\,\%$$

Dieser Wert ist realistisch, d. h., er entspricht der tatsächlichen Beobachtung in der Praxis. Der zuerst ermittelte theoretische Wert ist schlicht falsch, da für die MTTF der Kehrwert der Ausfallrate herangezogen wurde und dieser Wert bei realen Systemen nicht die mittlere Zeit bis zum Ausfall darstellt.

Um die Verfügbarkeit richtig zu ermitteln, müssen zwei essenzielle Fragen realistisch beantwortet werden: 1. Wie lange funktioniert ein System im Schnitt, ohne auszufallen? Und 2. Wie lange ist im Falle eines Ausfalls das System im Down-Zustand? Aus diesen beiden Antworten kann dann leicht nach der obigen Formel ein realistischer Wert für die Verfügbarkeit errechnet werden.

Strebt man eine hohe Verfügbarkeit an, muss man Maßnahmen ergreifen, die die mittlere Zeit bis zum Ausfall verlängern. Um dies zu ermöglichen, muss man zunächst hinterfragen, was Ursache für das Systemversagen ist. Die Erfahrung zeigt, dass zufällig auftretende Gerätedefekte nur selten Ursache für ein Systemversagen sind. In den meisten Fällen sind es systematische Fehler aus der Anwendung und Umgebung wie falsche Dimensionierung, raue Umgebungsbedingungen, Fehler bei Wartung und Instandhaltung, Alterung, Korrosion oder Verschleiß, die zum Systemausfall führen.

Eine höhere Verfügbarkeit wird also primär dadurch erreicht, dass die o. g. systematischen Fehler vermieden oder beherrscht werden. Wie im Folgenden noch gezeigt wird, kann dies besonders einfach durch ein Gerätedesign erreicht werden, das auftretende systematische Fehler ohne Fehlfunktion verkraftet oder wenigstens lokal auf eine Messstelle begrenzt. Geräte mit kleinerer Ausfallrate führen zwar bei der zuerst beschriebenen falschen Verfügbarkeitsberechnung zu besseren Ergebnissen. Die real beobachtete Verfügbarkeit ändert sich jedoch nicht. Diese verbessert sich erst, wenn die wahren Ausfallursachen beseitigt oder beherrscht oder wenigstens in ihrer Auswirkung begrenzt werden.

Hinweis: In der Literatur wird zur Berechnung der Verfügbarkeit zuweilen auch die MTBF herangezogen, denn die Begriffe MTTF und MTBF werden oft synonym benutzt. An dem oben Gesagten ändert dies prinzipiell nichts.

Es gilt also beim Einsatz technischer Geräte auf zwei Faktoren zu achten: Ausfälle bedingt durch:

- das Gerät selbst aufgrund zufälliger Fehler, die mit der Ausfallrate quantifiziert werden
- die Anwendung und Umgebungsbedingungen, verursacht durch systematische Fehler wie oben beschrieben, die vermieden werden könnten

Ein Blick in die Alarmlisten und Ausfallstatistiken der Prozessautomation zeigt, dass Einflussfaktoren aus Anwendung und Umgebungsbedingungen signifikant häufiger als Ursache auftreten als ein zufälliger Geräteausfall. In einem langfristig angelegten Projekt studierten die Experten von Pepperl+Fuchs Fehlerzustände, ihre Ursachen und Auswirkungen auf die Feldbusinfrastruktur. Risiken aus Anwendung und Umgebungsbedingungen sind zusammengefasst:

- Schlechte Auslegung von Segmenten
- Fehler in der Installation
- Kontaktprellen durch Arbeit an Geräten
- Eindringende Feuchtigkeit
- Blitzschlag
- Erdfehler

Es gilt zur Bestimmung von realistischen MTTF und MDT eines Feldbussegments oder einer Prozessanlage zu bewerten, ob die Geräte die Behandlung und äußeren Einflüsse verkraften können, denen sie ausgesetzt sind. Diese verursachen wesentlich häufiger Ausfälle als Gerätedefekte der eingesetzten Komponenten.

2013-11-08 EDM TDOCT-3529BGER

3.3 Methoden zur Mitigation von Ausfallrisiken

Systematisch bieten sich vier Methoden an, sich gegen den Ausfall einer Komponente oder eines Anlagenteils zu schützen und damit die MTTF positiv zu beeinflussen (Abbildung 9). Diese sind:

1. Vorbeugende Maßnahmen und Verfahrensanweisungen: Äußere Einflüsse lassen sich häufig durch Wissen und korrekten Umgang mit der Technik reduzieren.

2. Vorausschauende automatisierte Handhabung von Fehlern: Hierbei werden Techniken und Komponenten eingesetzt, die einen auftretenden Fehler erkennen und isolieren können. Die Auswirkung des Fehlers wird so begrenzt, dass die Anlage in Betrieb bleibt. Beispiel: die Abschaltung eines Feldgeräteanschlusses im Falle eines Kurzschlusses. Der Fehler ist lokal begrenzt. Das Feldbussegment funktioniert unbeeinträchtigt weiter. Der Ausfall einer Messstelle ist in aller Regel tolerierbar.

3. Diagnose: Eine Überwachung erkennt eine Abweichung des aktuellen Zustands vom bestmöglichen Zustand und erzeugt eine Meldung in der Leitwarte. Es kann proaktiv eingegriffen werden, um diesen Zustand zu beheben, bevor er sich auf die Gesamtfunktion negativ auswirkt. Beispiele: Messung der Frequenz von Füllstandsensoren mit Schwinggabel. Eine Änderung zeigt ein Verkleben des Sensors an. Oder: Messung von Erdfehlern an einem Feldbussegment. Bei einpoligen Erdfehlern erhöht sich die Auswirkung elektromagnetischer Einkopplungen. Ein Einsatz zur Instandhaltung ist mit dieser Information planbar.

4. Redundanz: Sie schützt vor Fehlern, in denen das Gerät selbst ursächlich ist, die nicht anders vermieden werden können und beherrscht werden müssen. Beispiele: Stromversorgungen und Leittechnikkarten. Auch Feldgeräte werden dort, wo eine sehr hohe Verfügbarkeit des Messkreises erforderlich ist, redundant ausgelegt.

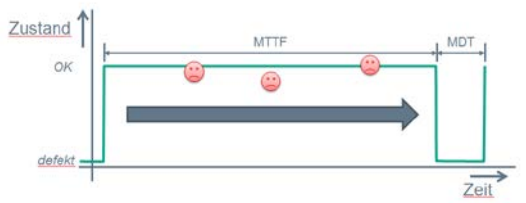


Abbildung 9: Anlagenzustand, qualitative Darstellung. Die MTTF ist durch geeignete Maßnahmen zu maximieren.

Allein die Ausfallrate von Geräten und Komponenten zu betrachten führt zu nichtssagenden Ergebnissen. Eine Bewertung relevanter Fehlerzustände für den eigenen Anlagenbetrieb kann durch eine qualitative Betrachtung möglicher Fehlerzustände in Bezug auf die einzelnen Komponenten erfolgen. Dieses Vorgehen ist wesentlich schneller und wird im folgenden Kapitel erläutert.

4 Fehlerzustände im laufenden Betrieb

Alle oben genannten Methoden stehen dem Betreiber und Planer zur Verfügung. Hersteller bieten die Kernbausteine mit Redundanz oder Diagnosefunktionen an.

Dieses Kapitel beschreibt viele der von Pepperl+Fuchs ermittelten Ursachen, die zu einem Segmentausfall führen können, wenn diese unentdeckt bleiben. Diese aus der Praxis stammenden Fälle können kontinuierlich oder sehr sporadisch auftreten. Eine proaktive Handhabung und Ausschaltung durch die Feldbusinfrastruktur ist in vielen Fällen möglich. Andere werden durch Meldungen in der Leitwarte sichtbar gemacht und ermöglichen die gezielte und bedarfsgerechte Behandlung durch das Instandhaltungspersonal.

Der folgende Abschnitt entstammt dem Technischen White Paper: „Advanced Failure Protection by Fieldbus Device Couplers“ von Gunther Rogoll und Ren Kitchener, das darüber hinaus mögliche technische Lösungen zur Behandlung aufzeigt. [7]

4.1 Typische Fehlerszenarien

Spurfehler, die über die Jahre entdeckt wurden, sind dafür bekannt, dass sie zum Ausfall eines funktionierenden Segmentes führen, selbst wenn dieses mit einer typischen Spur-Kurzschlussstrombegrenzung ausgerüstet ist. Tests zum Nachstellen der Ausfälle in realen Anwendungen haben gezeigt, dass das Potenzial real und wiederholbar ist.

2013-11-08 EDM TDOCT-3529BGER

4.1.1 Direkte niederohmige Kurzschlüsse

Direkte niederohmige Kurzschlüsse kann man üblicherweise da beobachten, wo ein Spurkabel zerschnitten ist oder wo an einem Pol ein Erdfehler und am anderen Pol ein Masseschluss vorliegt. Man kann sie auch beobachten, wenn Spur-Drähte durch elektrische Gehäuse gezogen werden, während das Gerät für die Reparatur oder Kalibrierung entfernt wird (obwohl das oft zu einem sehr heftigen, unregelmäßigen Rauschen führt).

Mit einem einfachen sauberen „Einschalten" reagiert die Kurzschlussstrombegrenzung sehr schnell, um den Spur zu isolieren, wobei nur ein Telegramm betroffen ist. (Abbildung 10)

4.1.2 Eindringendes Wasser

Eindringendes Wasser in das Instrumentengehäuse ist ein Fehler, der mehr als einmal gemeldet wurde. Eine Nachstellung im Labor zeigte, dass konventionelle Kurzschlussstrombegrenzungs-Systeme sich bei bestimmten Leitfähigkeitswerten unvorhersehbar verhalten, was an der dynamischen Impedanz von Wasser liegt, dessen Leitfähigkeit sich schnell ändern kann.

Wenn die Leitfähigkeit zwischen den Drähten am Spur steigt, erhöht der Gerätekoppler mit Kurzschlussstrombegrenzung die Impedanz des Ausgangs, um eine Überlast am Trunk zu verhindern. Hierdurch werden wiederum die Kommunikationssignale gedämpft (Abbildung 11).

Ein Schwingen entsteht manchmal, wenn ein Fehlerstrom am oder kurz über dem Strombegrenzungs-Sollwert ist und der elektronische Schaltkreis gerade noch funktioniert. An diesem Punkt sinkt die Spannung, wodurch sich der Strom verringert, was den strombegrenzenden Stromkreis abschaltet. Dieser Zyklus verläuft recht schnell und kann noch verstärkt werden, wenn das Gerät gleichzeitig sendet. Die Reaktion während dieses kurzen Übergangsmoments kann unvorhersehbar sein. Nicht jeder Fehler verhält sich auf eine wiederholbare Art und Weise. Die Impedanz des Wassers kann z. B. sehr nicht linear gegenüber Spannung oder Strom sein, und das variiert weiterhin abhängig von Temperatur und Leitfähigkeit.

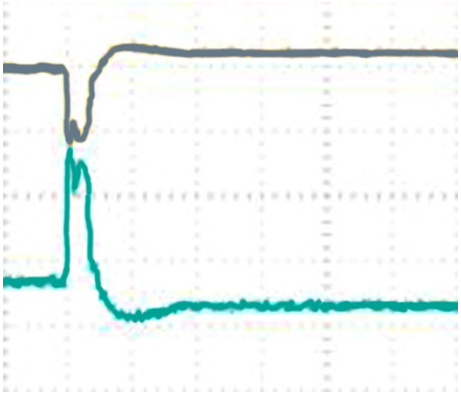


Abbildung 10: Fehlermessung am Trunk aufgrund eines sauberen Kurzschlusses. Die Kurzschlussstrombegrenzungs-Schaltung isoliert den Spur, indem sie den Strom abschaltet.

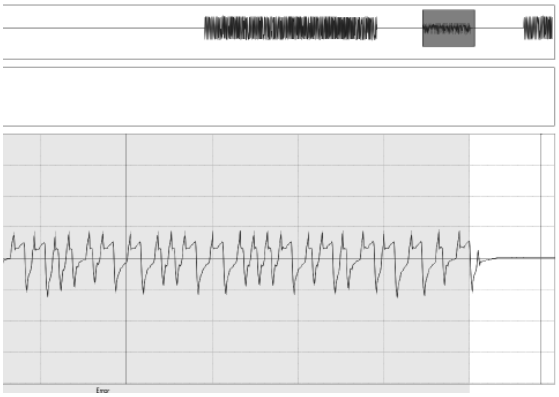


Abbildung 11: Oszilloskopabbild, das ein stark verzerrtes Kommunikationssignal zeigt

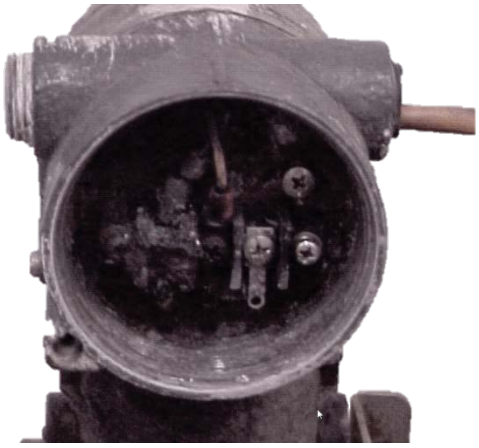


Abbildung 12: Korrosion einer Klemmenanordnung in einem Transmittergehäuse

Eindringendes Wasser kann auch zu mechanischen Fehlern führen, wie z. B. unumkehrbaren Korrosionsschäden an der Elektronik (Abbildung 12), an den Klemmenanschlüssen oder an den Kabelteilen.

Ein Beispiel zeigt die Ernsthaftigkeit des Fehlerszenarios: Ein Feldgerät mit einem aktiven Backup-LAS verliert aufgrund des niedrigen Kommunikationssignals die Kommunikation mit

2013-11-08 EDM TDOCT-3529BGER

einem im Kontrollraum installierten Host, weil sich der Laststrom progressiv verändert. Der Backup-LAS aktiviert sich, während der Host-LAS aktiv bleibt. Zu diesem Zeitpunkt „sehen“ die Feldgeräte auf normal funktionierenden Spurs den Backup-LAS, der sich in der Nähe befindet, sowie den Host-LAS. Mit zwei aktiven LAS auf dem Segment überlagern die Signale, und das Segment fällt aus.

4.1.3 Ein Gerät verbinden und trennen

Die Verwendung von Steckverbindern ist eine sichere Methode, ein Gerät zu verbinden, ohne ein Kurzschließen der Drähte zu riskieren. Dies muss jedoch schnell erfolgen (Abbildung 13). Wird der Steckverbinder langsam eingeführt, kann das systematisch zu einem Prellen führen. Dieses Verbindungs- oder Kontaktprellen stört die Kommunikation stark, selbst mit elektronischer Kurzschlussstrombegrenzung, da der Strom unter dem Auslöseschwellwert am Punkt des Segmentausfalls bleibt.

Diese Art von Fehler sieht man bei losen Verbindungen, wenn Kabel durch elektrische Gehäuse gezogen werden, wo lose Kupferadern in Kontakt mit anderen Anschlüssen kommen, bei Steckverbindern und bei elektronischen Ausfällen oder Fehlern von Geräten. (Abbildung 14 und Abbildung 15)

4.1.4 Schwingungs-/maschineninduzierte unregelmäßig auftretende Fehler

In manchen Fällen kann eine hochfrequente mechanische Schwingung dazu führen, dass ein loser oder wackliger Kontakt eine Anschlussklemme ein- und ausschalten oder sogar lockern kann. Diese wiederholte Unterbrechung führt dazu, dass das Segment ausfällt, wenn es nicht sofort isoliert wird.

In einem Fall war das Gerät der Grund für einen durch Vibration erzeugten Fehler. Der Anschluss der Leiterplatte zur Klemme enthielt eine kalte Lötstelle, die nicht einfach zu sehen war, ohne das Instrument auseinanderzunehmen.

Industrieanlagen für die Prozessindustrie werden meist so konzipiert, dass sie in einer Umgebung installiert werden können, wo Schwingungen mit einer Frequenz von bis zu 150 Hz auftreten könnten.

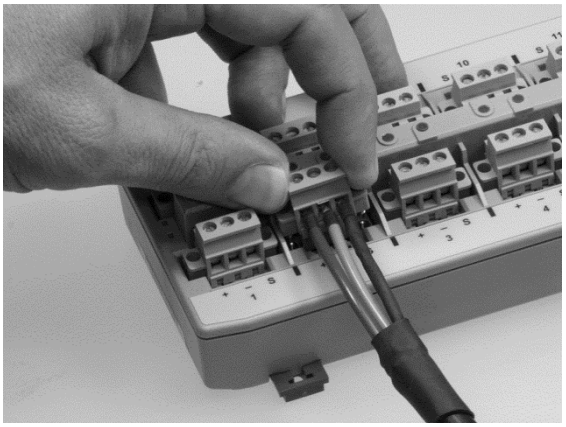


Abbildung 13: Kontaktprellen kann vermieden werden, wenn der Stecker im Verteiler gezogen wird.

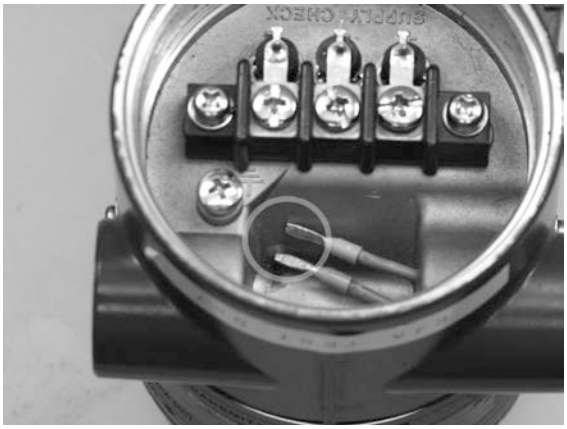


Abbildung 14: Beispiel für Spurleitungen, die einen Kurzschluss am Anschlussklemmengehäuse verursachen, während die Drähte herausgezogen werden

Abbildung 15: Spannungsspitzen, hervorgerufen, während die Drähte herausgezogen werden

Abbildung 16: Durch Vibration verursachte Spannungsspitzen

2013-11-08 EDM TDOCT-3529BGER

4.2 Feldbuskomponenten und Verfügbarkeit

Dieser Abschnitt beschreibt die einzelnen Komponenten der Feldbusinfrastruktur aus Sicht der Verfügbarkeit und fasst die Ergebnisse der Studien zusammen. Dabei wird auf die vier Alternativen zur Beeinflussung der Verfügbarkeit eingegangen.

4.2.1 Feldgerät

Das Feldgerät ist neben der Leittechnikkarte funktional das wesentliche Element in der Übertragungslinie. Wegen der hohen Beanspruchung durch die Applikation, etwa durch Umwelteinflüsse, Temperatur, Wasser, aggressive Medien, Blitzschlag, ist es das schwächste Glied der Kette. Feldgeräte aller Varianten bieten Diagnosefunktionen, die die typischen Fehler erkennen können.

Für die Verfügbarkeit der Automationsschleife ist das Feldgerät von höchster Bedeutung. Je nach Produkt und Komplexität beträgt die MTTF zwischen 30 und 300 Jahren. Die Spanne der MTTF macht deutlich, dass die Verfügbarkeit je nach Gerätetyp durch redundante Auslegung positiv beeinflusst werden kann.

Abbildung 17 zeigt die zwei grundsätzlichen Möglichkeiten zur Implementierung der Geräteredundanz. Version 1: Ein Feldgerät wird an zwei unterschiedliche Gerätekoppler eines Trunks angeschlossen. In Version 2 werden die Feldgeräte an zwei unterschiedliche Segmente angeschlossen; in diesem Fall steigert die Feldgeräteredundanz die Gesamtverfügbarkeit. Die Feldbusinfrastruktur wirkt redundant, selbst wenn sie simplex aufgebaut ist.

4.2.2 Feldbusstromversorgung und Leittechnikanbindung

Feldbusstromversorgungen bestehen aus Motherboards, in der Regel mit passiven Komponenten ausgestattet und sehr geringen Ausfallraten. Die Elektronik befindet sich in einem oder mehreren Steckmodulen. Da die Feldbusstromversorgung je nach Segmentauslegung zwischen fünf und 20 Teilnehmern versorgt, kann sich Redundanz auch hier positiv auswirken.

Bei einkanaliger Ausführung wird im Redundanzfall die kleinstmögliche Einheit ausgetauscht, das Stromversorgungsmodul für den einen Kanal. Diese Auslegung erfordert die geringsten Kosten bei der Ersatzteilhaltung und bei einem Austausch.

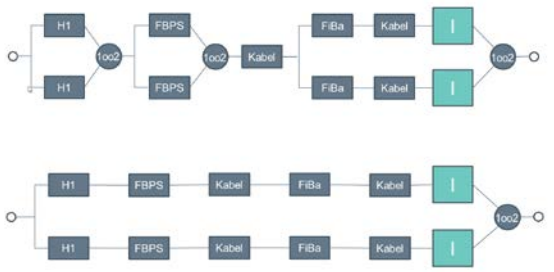


Abbildung 17: Topologien für Feldgeräteredundanz

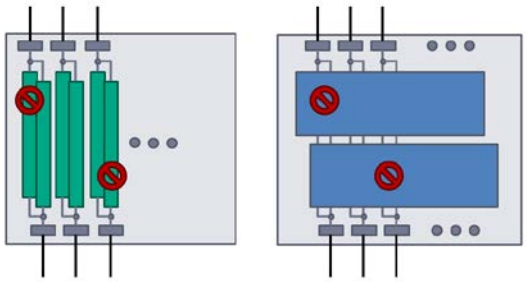


Abbildung 18: Stromversorgungen mit einzeln austauschbaren Modulen können ohne Segmentabschaltung getauscht werden, wenn sie einkanalig ausgelegt sind.

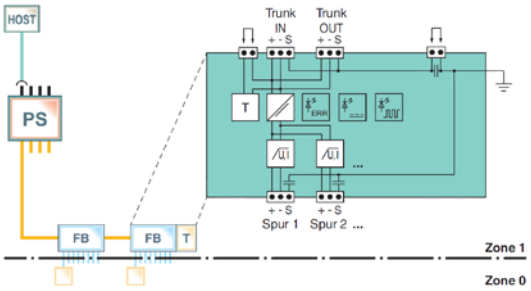


Abbildung 19: Prinzipschaltbild der FieldConnex® Feldbarriere. Jeder Ausgang ist mit modernem Fehlerschutz und Kurzschlussstrombegrenzung ausgestattet.

Bei mehrkanaligen Stromversorgungen in einem Gehäuse kann es in redundanter Konfiguration zu der sehr unangenehmen Situation kommen, dass Kanal x in Modul A und gleichzeitig Kanal y in Modul B ausfällt. Ein Austausch ist damit in jedem Fall mit der Abschaltung eines Segments verbunden. (Abbildung 18)

4.2.3 Gerätekoppler: Feldbarriere oder Segment Protector

Am Gerätekoppler werden zwischen vier und zwölf Feldgeräte an die Ausgänge angeschlossen. Die Mehrzahl Gerätekoppler überwachen die Ausgänge und schalten diese im Fehlerfall aus, um das Segment zu schützen (Abbildung 19). Moderner Fehlerschutz, angeboten durch bestimmte FieldConnex® Komponenten schüt-

2013-11-08 EDM TDOCT-3529BGER

zen vor den in Abschnitt 4.1 beschriebenen Ursachen.

Gerätekoppler der renommierten Hersteller sind typischerweise für den explosionsgefährdeten Bereich zugelassen und verfügen über vorschriftsmäßig überdimensionierte Komponenten. Dies sind die Hauptgründe für eine sehr geringe Ausfallrate des Gerätekopplers.

Elektronik, Ausgänge und Spur-Anschluss gleichen denen jeder anderen Punkt zu Punkt Verbindung in Bezug auf die Ausfallwahrscheinlichkeit. Redundanz ist ein unnötiger Kostenpunkt.

4.2.4 Geräteanschlusskabel (engl.: Spur)

Gleichermaßen ist die Verbindung zwischen Gerätekoppler und Feldgerät Simplex. Kabel und Kontaktierung besitzen eine sehr hoher Verfügbarkeit (siehe Stammkabel) sodass sich Redundanz hier erübrigt.

4.2.5 Stammkabel (engl.: Trunk)

Der Trunk versorgt alle an das Segment angeschlossenen Geräte: Die Installation erfolgt in Kabeltrassen, die einen guten Schutz des Kabels realisieren. Ein Zugang zum Stammkabel ist im normalen laufenden Betrieb nicht notwendig. Kabel sind bei Einhaltung der Verlegungsvorschriften gut geschützt. Dieses sehen unter anderem vor:

- Eigene Kabeltrassen für Kommunikationskabel getrennt vom Energiekabel empfohlen
- Getrennte Verlegung mit Mindestabständen in einer Trasse

Bei Installationen im Freien sollte ein Schutz vor witterungsbedingten Umwelteinflüssen wie Temperatur, Feuchtigkeit und UV-Strahlung bestehen. In der Erde verlegte Kabel sollten zum Schutz gegen mechanische Beschädigungen in einem Kunststoffrohr installiert sein.

Aus Gründen des Explosionsschutzes wird der Trunk geschützt verlegt. Die Norm verlangt dabei einen Schutz gegen ungewollte Stromkreisöffnung durch:

- Mechanische Beschädigung
- Einwirkung durch Chemikalien
- Korrosion und Wasser
- Ungewollten Eingriff des Menschen
- Temperatureffekte

Abbildung 20: Feldbusinstallation in Kabeltrassen

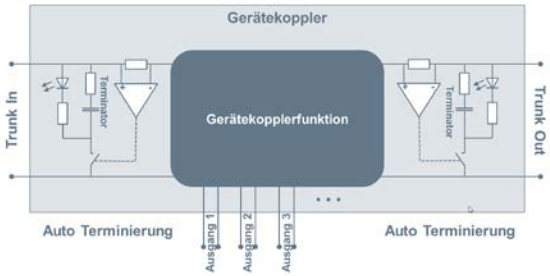


Abbildung 21: Prinzipdiagramm eines Gerätekopplers mit Unterstützung von redundanten Trunkanschlüssen. Zusätzliche Elektronik ist notwendig, um die automatische Umschaltung und Terminierung zu realisieren.

Diese Vorschriften stehen in Zusammenhang mit der Zündschutzart „erhöhte Sicherheit, Ex e“, mit der die Feldbarriere und die Kabelverschraubungen am Gehäuse ausgeführt sind. Durch diese Anforderungen an die Installation widersteht der Trunk äußeren Einflüssen sehr gut, da es keine Fehlermodi gibt.

Eine redundante Ausführung des Kabels erfordert:

- An jedem Ende des Trunks und jedem Gerätekopplerausgang eine Umschaltung
- Automatische Busterminierung mit Elektroniküberwachung, zweimal je Koppler
- Verlegung der Kabel in getrennten Trassen

Neben dem sehr hohen Installationsaufwand erfordert eine Stammkabelredundanz einen erhöhten und zur Verfügbarkeit kontraproduktiven Aufwand bei der Elektronik. Dabei werden nur zwei sehr fatale und seltene Fehlermodi durch die Redundanz abgedeckt:

- Manuelle, nur selten notwendige Eingriffe
- Die im Ex-Bereich fatale ungewollte Stromkreisunterbrechung

2013-11-08 EDM TDOCT-3529BGER

4.3 Heuristische Bewertung der Verfügbarkeit

4.3.1 Versagensursachen

Das in diesem Abschnitt beschriebene Werkzeug zur Einschätzung der Verfügbarkeit ist der FMEA-Analyse entlehnt: Alle möglichen und denkbaren Versagensursachen werden dabei gewichtet und möglichen Lösungen gegenübergestellt und zugeordnet. Die technische Lösung mit der höchsten Kennzahl bietet den besten Schutz. Die Bewertung der Versagensursachen erfolgt durch zwei Kennzahlen, die Auswirkung (A) und Häufigkeit (H) beschreiben. Das Produkt aus beiden beschreibt das Risiko (R) dieser Versagensursache.

An einem Kabel können beispielsweise folgende Versagensursachen auftreten: harte Kurzschlüsse, öffnende Wackelkontakte durch Vibration, kurzschließende Wackelkontakte beim Durchziehen des Kabels durch eine Kabelverschraubung oder schleichende Kurzschlüsse durch eindringendes Wasser. Die Fehler treten normalerweise selten auf, ein Wassereinbruch wird als sehr selten eingeschätzt. Allein die Arbeit am laufenden Gerät kommt häufig vor. Alle Fehler führen ohne Eingriff zu einem Ausfall des Segments und sind deswegen als schwerwiegend eingestuft (Tabelle 3).

Tabelle 3: Mögliche Versagensursachen	A	H	R
Harter Kurzschluss	4	2	8
Öffnender Wackelkontakt durch Vibration	4	2	8
Kurzschließender Wackelkontakt beim Durchziehen durch eine Kabelverschraubung	4	4	**16**
Schleichender Kurzschluss durch Wassereinbruch	4	1	4

Der kurzschließende Wackelkontakt birgt ein erheblich höheres Risiko. Eine mögliche Abhilfe schafft beispielsweise eine Arbeitsanweisung: „Vor dem Entfernen des Feldgeräts sind die Feldbusleitungen zu isolieren“. Eine Anweisung, die in der Hektik des Tags oder von Handwerkern mit wenig Feldbuserfahrung gerne außer Acht gelassen wird.

Kuriosum einer Verfügbarkeitsberechnung für Kabel

Um die Redundanz des Trunks zu rechtfertigen, entdeckten wir in einem Fallbeispiel eine MTTF von 75 Jahren – so hoch (oder niedrig) wie ein sehr komplexes Feldgerät. Eine solche Annahme lässt sich aus den genannten Gründen nicht plausibilisieren. Die sich daraus ergebende notwendige Konsequenz wäre: Bei 75 installierten Kabeln gäbe es einen Kabeldefekt pro Jahr – oder bei 1000 installierten Leitungen im Mittel mehr als einen Kabelfehler pro Monat! Das fänden die Autoren absurd.

Alleine eine unnötig erhöhte Fehlerrate durch Flüchtigkeitsfehler oder mangelhafte Kenntnisse der Teams sehen wir als mögliche Begründung, beispielsweise durch:

- Mangelhafte oder fehlende Dichtungen
- Falsches Anzugsdrehmoment an Verschraubungen
- Falsch montierte PG-Verschraubungen
- Mangelhafte EMV durch Verlegung von Daten- und Energiekabeln in einer gemeinsamen Trasse
- Für den Einsatzort ungeeignete Materialien

Installationsfehler lassen sich durch einen sehr hohen Kosten- oder Termindruck erklären, der auf Lieferanten und Installateure ausgeübt wird. Alle oben genannten Ursachen lassen sich signifikant durch folgende Maßnahmen reduzieren:

1. Schulung der Mitarbeiter über Besonderheiten im Umgang mit einer Feldbusinstallation (ca. 1 Tag)
2. Network Acceptance Tests (NAT) – automatisiert durchführbare Überprüfungen der Feldbusinfrastruktur nach der Installation sowie nach jedem Zugang zum Segment, z./B. wegen Wartungsarbeiten an einem Instrument.

Zur Beruhigung: Die Studien der Praxis zeigen den gelegentlichen Installationsfehler, der durch den NAT aufgedeckt und beseitigt wird. Installation mit einer Überwachung der Feldbusphysik weisen eine sehr gute Verfügbarkeit auf. Der Einfluss der Diagnose auf die Verfügbarkeit zeigt sich als beobachtbar höher als eine Kabelredundanz. Dies wird durch die im Folgenden dargestellte Methode plausibilisiert.

2013-11-08 EDM TDOCT-3529BGER

4.3.2 Lösungsansätze und Komponenten

In Spalten sind alle technischen Lösungen, Komponenten einschließlich ihrer Ausprägungen zu Fehlerhandhabung, Redundanz, Diagnose gelistet. Ursachen werden den Komponenten unter zwei Bedingungen zugeordnet: 1. Die Komponente handhabt die Ursache, und 2. Die Verfügbarkeit der Anlage bleibt erhalten.

Die Summierung aller zugeordneten Risikokennzahlen zeigt auf, welche Komponente oder Lösung die meisten Versagensursachen handhaben kann. Eine Abschätzung der Risiken erlaubt eine Gegenüberstellung zu Kosten und Aufwand.

Beispiel: Für die Feldbusinstallation stehen Feldbuskoppler in verschiedenen technischen Ausprägungen zur Verfügung. Feldbusverteiler mit einfacher Klemmenreihe und ohne Kurzschlussstrombegrenzung, Segment Protector mit einfacher Kurzschlussstrombegrenzung, Segment Protector mit Fehlerhandhabung und Diagnose, Gerätekoppler mit Redundanz. Tabelle 4 zeigt die Zuordnung der Versagensursachen zu den angebotenen technischen Lösungen: Der Segment Protector mit Diagnose ist in der Lage, die meisten Versagensursachen zu handhaben – mit der höchsten Kennzahl.

Ein vollständiges Blatt mit möglichen Fehlerzuständen und allen bekannten Lösungsangeboten zeigt Tabelle 5 auf Seite 15. In einer Spalte können eigene Einschätzungen sowie weitere Maßnahmen zur Mitigation dokumentiert werden.

Die Entscheidung für eine bestimmte Technologie erfolgt nach Auswertung der optimalen Abdeckung von nicht tolerierbaren Versagensursachen und einer Abschätzung der Kosten. An Kosten entstehen Aufwände für Prozeduren, Schulungen und Komponenten inklusive Installation.

Tabelle 4: Zusammenhang zwischen Versagensursache und möglichen Schutzfunktionen

Versagensursache	Auswirkung	Häufigkeit	Risiko	Feldbusverteiler	Segment Protector	Segment Protector mit Diagnose SP	Gerätekoppler mit Redundanz
Harter Kurzschluss	4	2	8	0	8	8	8
Öffnender Wackelkontakt	4	2	8	0	0	8	0
Kurzschließender Wackelkontakt	4	4	**16**	**0**	**0**	**16**	**0**
Schleichender Kurzschluss	4	1	4	0	0	5	0
Summen / Kennzahlen:				**0**	**8**	**37**	**8**

4.4 Die Verfügbarkeit wirksam steigern

Das in Kapitel 4.1 „Typische Fehlerszenarien“ zitierte White Paper beschreibt zu den hier genannten möglichen Fehlerszenarien detailliert Lösungsvorschläge und Produktkonzepte, die die genannten Fehler im Griff halten. Komponenten greifen bei temporär auftretenden Fehlern proaktiv ein oder melden Anzeichen für mögliche Versagensursachen an die Leitwarte. Ein gezielter, proaktiver Eingriff der Instandhaltung basiert auf detaillierten und zuverlässigen Informationen über die Feldbusphysik und bewirkt eine höhere Verfügbarkeit der Automation.

2013-11-08 EDM TDOCT-3529BGER

Feldbus und Verfügbarkeit: Die Auswirkung von und Schutz vor Versagensursachen

Schützende Komponente				Stromversorgung	Stromversorgung redundant	Trunkkabel	Trunkkabel redundant	Gerätekoppler, einfach	Gerätekoppler mit Kurzschlussstrombegrenzu.	Gerätekoppler mit modernem Fehlerschutz	Gerätekoppler mit redundanter Ausgangselek.	Spurkabel	Feldgerät	Feldgerät mit Diagnose	Feldgerät redundant mit Diagnose	Überspannungsschutz mit Selbstdiagnose	Handlungsanweisungen und Training	Online-Diagnose der Feldbusphysik	
			Kennzahl	0	64	0	32	0	32	144	8	0	0	32	40	64	144	192	Zeigt Wirkung der Maßnahme
Versagensursache	A	H	R																**Kommentare, eigene Gedanken, Strategien**
Komponenten																			
Versagen der Busspeisungselektronik	3	3	64		1														
Versagen des Feldbusverteilers: Elektronik am Spur	1	2	8								1								
Versagen des Feldgeräts durch externe Einflüsse	2	3	32											1	1				
Versagen des Feldgeräts durch Ausfall der Elektronik	2	1	8												1				
Installation allgemein																			
Terminierung nicht korrekt gesetzt	1	3	16				1										1	1	**Durch drei Methoden abwendbar**
Elektromagnetische Einstrahlung	3	4	128														1	1	
Versagen des Blitzschutzes	3	3	64													1			
Verdrahtung am Trunk																			
Unterbrechung, z. B. durch Zerstörung des Kabels	3	1	16				1												**Das Risiko ist praktisch 0**
Öffnender Wackelkontakt / Prellen durch Vibration	3	1	16															1	
Kurzschließender Wackelkontakt / Prellen	3	1	16															1	
Schleichende Überlast, z. B. durch eindringende Feuchtigkeit / Korrosion	3	1	16															1	
Verdrahtung am Spur oder Feldgerät (einfaches Feldgerät, Messschleife)																			
Unterbrechung, z. B. durch Zerstörung des Kabels	2	3	32						1	1									
Öffnender Wackelkontakt / Prellen durch Vibration	2	3	32							1									
Kurzschließender Wackelkontakt / Prellen	2	4	64							1									
Schleichende Überlast, z. B. durch eindringende Feuchtigkeit / Korrosion	2	2	16							1									
Diese Zeile absichtlich unbenutzt	0	0	1																

Legende

Auswirkung, A

Sehr gering, Betrieb nicht gefährdet (bis 1000 € je Fall)	1
Zusätzlicher Schaden, überschaubar (bis 10.000 € je Fall)	2
Erheblicher Schaden (bis 100.000 € je Fall)	3
Sehr hoher Schaden (bis 1.000.000 € je Fall)	4

Häufigkeit, H

Extrem selten (Sie haben davon eventuell schon mal gehört)	1
Sehr sporadisch (einmal in 100 Jahren)	2
Sporadisch (einmal in 10 Jahren)	3
Gelegentlich (einmal im Jahr)	4
Häufig (10 Ereignisse im Jahr)	5

Risikokennzahl, R = 2 ^ Auswirkung * 2 ^ Häufigkeit

NB: Eigentlich wäre bei der Berechnung der Risikokennzahl eine Potenzierung mit der Basis 10 durchzuführen. Dies bringt jedoch nur unnötig große Risikokennzahlen ohne besondere zusätzliche Erkenntnisse.

Notizen, Anwendung:

1 Überprüfen und editieren Sie die Angaben zu Auswirkung und Häufigkeit
2 Fügen Sie hier nicht erfasste Versagensursachen hinzu
3 Tragen Sie eine '1' dann ein, wenn die in der Spalte genannte Methode die Versagensursache beherrscht
4 Überprüfen Sie, welche Risiken mehrfach durch Maßnahmen gehandhabt werden
5 Wählen Sie die Komponenten aus, die Ihr spezielles Risiko beherrschen
6 Beginnen Sie dabei mit den höchsten Kennzahlen

Eine unterschiedliche Bewertung von Monitoring- und Regelkreisen kann sinnvoll sein.

Tabelle 5: Bewertung der Beziehung von Ursachen und Wirkungen

5 Zusammenfassung

Dieser Aufsatz erläutert und kommentiert die Historie und die technischen Verbesserungen von Feldbusinstallationen der letzten zwei Jahrzehnte. Es zeigt, welche Ursachen dafür verantwortlich sind, dass die berechnete stationäre Verfügbarkeit und real beobachtete Verfügbarkeit weit auseinanderliegen. Eine Unterscheidung zwischen Ausfällen verursacht durch die eingesetzte Komponente und verursacht durch den Umgang mit der Komponente und den Umgebungsbedingungen verdeutlicht, dass Letztere für die große Diskrepanz verantwortlich sind.

Eine FMEA-Analyse zeigt die Beziehungen zwischen Versagensursachen und Lösungen zur Mitigation auf und setzt sie in Beziehung zueinander. Auf diese Weise erhält der Anlagenplaner und -betreiber ein klares Bild dieser Beziehungen und über das mögliche Verbesserungspotenzial zur Abwägung verschiedener technischer Lösungen. Basierend auf diesem einfachen gedanklichen Modell, sind Entscheidungen zur Erreichung einer bestimmten Verfügbarkeit gezielt und objektiv möglich.

Der Einfluss der eingesetzten elektronischen Komponente auf die Verfügbarkeit eines Feldbussegments ist gering. Hersteller bieten deswegen Diagnosefunktionen an, die systematische Fehler wie Verschleiß oder Ausfall signalisieren, bevor die Auswirkungen kritisch sind für den Prozess. Diagnose und Überwachung erzeugen letztendlich Sichtbarkeit der vielfältig in Erscheinung tretenden Fehler und erlauben den aktiven Eingriff zur Behebung und Instandhaltung. Diagnose wirkt konzeptionell besser als Redundanz.

Das hier beschriebene Analysewerkzeug plausibilisiert den Erfolg der Feldbusdiagnose aus der Reihe FieldConnex® von Pepperl+Fuchs, die für viele Versagensursachen eine Lösung anbietet. Denn die Diagnose der Feldbusphysik hat viele der hier diskutierten Fehlerquellen und Versagensursachen sichtbar gemacht. Anwendern ermöglichen die Feldbusdiagnose und die neuen Fehler unterdrückenden Feldbuskomponenten, den Feldbus sicher zu beherrschen und die Vorteile aus einer integrierten Lösung für Messdaten, Fernkonfiguration und Diagnose nutzbar zu machen.

Der Betreiber leistet durch sinnvolle Entscheidungen den Hauptbeitrag zur Erreichung der spezifizierten Verfügbarkeit. Diese Entscheidung betreffen:

- Vorausschauende automatische Fehlerhandhabung
- Vorbeugende Maßnahmen, Verfahrensanweisungen und Training
- Diagnose zur Überwachung von Gerätestatus und Feldbusphysik
- Redundanz dort, wo diese konzeptionell wirkt

6 Quellennachweis

[1] Fieldbus Testing with Online Physical Layer Diagnostics, Gunther Rogoll und Ren Kitchener, TDOCT-1107B, erhältlich als Druckschrift bei Pepperl+Fuchs, Bestellnummer: 198636

[2] Sicherheitsgerichtete Steuerung über den Feldbus, Armin Beck und Andreas Hennecke, Konferenzband, VDI Automation 2009, erhälltlich in elektronischer Form bei Pepperl+Fuchs

[3] Advanced Online Physical Layer Diagnostics, Gunther Rogoll und Ren Kitchener, TDOCT-0995B_USA, erhältlich als Druckschrift bei Pepperl+Fuchs, Bestellnummer: 198641

[4] DKE-IEV Deutsche Online-Ausgabe des IEV http://www.dke.de/de/Online-Service/DKE-IEV/Seiten/IEV-Woerterbuch.aspx

[5] Sterbetafel der Bundesrepublik Deutschland 2011. Quelle: Statistisches Bundesamtes, Bundesrepublik Deutschland https://www.destatis.de/

[6] IEC 60079-14 Explosionsgefährdete Bereiche – Projektierung, Auswahl und Errichtung elektrischer Anlagen

[7] Advanced Failure Prevention by Fieldbus Device Couplers, Gunther Rogoll and Ren Kitchener, TDOCT-2860_ENG erhältlich bei www.pepperl-fuchs.com

2013-11-08 EDM TDOCT-3529BGER

Für Ihre Notizen

2013-11-08 EDM TDOCT-3529BGER

IHRE ANWENDUNG. UNSERE HERAUSFORDERUNG.

PROZESS INTERFACES

- Trennbarrieren
- Zenerbarrieren
- Signaltrenner
- Feldbusinfrastruktur
- Remote-I/O-Systeme
- HART Interface Solutions
- Füllstandsmesstechnik
- Überdruckkapselungssysteme
- Bedien- und Beobachtungssysteme
- Korrosionsüberwachung
- Abscheider-Alarmsysteme
- Explosion Protection Equipment

INDUSTRIELLE SENSOREN

- Näherungsschalter
- Optoelektronische Sensoren
- Bildverarbeitung
- Ultraschallsensoren
- Drehgeber
- Positionier-Systeme
- Neigungs- und Beschleunigungssensoren
- AS-Interface
- Identifikationssysteme
- Impuls-Auswertegeräte

www.pepperl-fuchs.com

PEPPERL+FUCHS

Änderungen vorbehalten ■ Copyright Pepperl+Fuchs ■ Printed in Germany ■ Part No. 000000 11/13 00