PROFIBUS Handbuch

Eine Sammlung von Erläuterungen zu PROFIBUS Netzwerken

© 2009 Max Felser

PROFIBUS Handbuch

© 2009 Max Felser

Obwohl alle Informationen und Angaben in diesem Dokument sorgfältig geprüft wurden, kann keinen Verantwortung für allfällige Fehler in diesem Dokument oder daraus folgende Schäden übernommen werden.

Markennamen werden in diesem Dokument verwendet ohne daraus einen Anspruch abzuleiten.

Abdruck oder Zitate aus diesem Dokument sind mit Angabe der Quelle erlaubt.

Dies ist die Version vom: 17.08.2009

Dieses Dokument wird laufend als on-line Version unter http://www.profibus.felser.ch nachgeführt.

Autor

Prof. Max Felser

Berner Fachhochschule

Technik und Informatik
PROFIBUS Kompetenzzentrum
Jlcoweg 1
CH-3400 Burgdorf

max.felser@bfh.ch

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 2

1.1 Systemstruktur ... 2
1.1.1. Stationen ... 2
1.1.1.1 Adressierung der Stationen ... 3
1.1.2. Beziehungen ... 4
1.1.2.1 Zyklische Prozessdaten ... 5
1.1.2.2 Azyklische Parametrierdaten ... 6
1.1.3. Funktionsumfang ... 6
1.2 Normen und Standards ... 7
1.2.1. Normierung ... 7
1.2.2. Richtlinien ... 9
1.3 Anlageplanung und -Inbetriebnahme ... 10
1.3.1. Schritt 1: Vorbereiten ... 10
1.3.1.1 GSD Dateien ... 11
1.3.2. Schritt 2: Planen ... 12
1.3.3. Schritt 3: Installieren ... 15
1.3.4. Schritt 4: Inbetriebnahme ... 15
1.4 Risiko ... 16
1.4.1. Funktionelle Sicherheit ... 16
1.4.2. Erhöhte Verfügbarkeit ... 17
1.5 Werkzeuge ... 17
1.5.1. GSD Editor ... 17
1.5.2. Busmonitore ... 18
1.5.3. Master Simulatoren ... 19
1.5.3.1 PROFItester ... 20
1.5.3.2 ProfiCaptain ... 20
1.6 Literatur ... 22

2 Übertragungstechnik 24

2.1 Elektrische Übertragungstechnik ... 24
2.1.1. Elektrische Übertragung ... 25
2.1.1.1 Elektrische Pegel ... 26
2.1.2. Reflektionen und Busabschluss ... 27
2.1.2.1 Reflektionen ... 27
2.1.2.2 Busabschluss für RS 485 ... 28
2.1.2.2.1 Busabschluss im Stecker ... 29
2.1.2.2.2 Aktiver Busabschluss ... 29
2.1.2.3 Stichleitungen bei RS 485 ... 30
2.1.3. Buskabel ... 31
2.1.3.1 Kabellängen ... 31
2.1.3.2 Abisolation des Kabels ... 32
2.1.4. Anschluss-Stecker ... 33
2.1.4.1 Klemmen ... 34
2.1.4.2 D-Sub Stecker ... 34
2.1.4.2.1 Diagnose-Steckbuchsen ... 35
2.1.4.2.2 Unterbrechende Stecker ... 35
2.1.4.2.3 Montage der Stecker ... 36
2.1.4.3 M12 Stecker ... 37
2.1.4.3.1 M12 Steckerbelegung ... 38
2.1.5. Repeater ... 38
2.1.5.1 Einfacher-Repeater ... 38

© 2009 Max Felser

2.1.5.2 Mehrfacher-Repeater ... 39
2.1.5.3 Modularer-Repeater ... 40
2.1.5.4 Diagnose-Repeater ... 40
2.1.6. Auslegung des RS 485 Netzwerkes ... 41
2.1.6.1 Netzwerktopologie ... 41
2.1.6.2 Maximale Anzahl Stationen ... 43
2.1.6.3 Maximale Distanzen ... 44
2.1.6.4 Komplexe Strukturen ... 44
2.1.6.5 Isolation von Stationen ... 45
2.1.7. Installationskontrolle ... 45
2.1.7.1 Kabeltester BT200 ... 46
2.1.7.2 NetTEST II ... 49
2.1.7.3 ScopeWare ... 51
2.1.7.4 TopologyScan ... 51
2.2 Synchrone - MBP Übertragungstechnik ... 52
2.2.1. Netzwerk Auslegung ... 52
2.2.1.1 DP/PA Segmentkoppler ... 53
2.2.1.2 DP/PA Link ... 54
2.2.1.3 Stichleitungen ... 55
2.2.1.4 Busabschluss ... 56
2.2.1.5 Kabel für PROFIBUS PA mit MBP ... 56
2.2.1.6 M12 MBP Stecker ... 57
2.2.2. Betrachtungen zur Eigensicheren Installation ... 57
2.3 Lichtwellenleiter (LWL) Übertragungstechnik ... 58
2.3.1. Systemaufbau ... 59
2.3.2. LWL-Konverter ... 60
2.3.3. Lichtwellenleiter ... 61
2.3.4. LWL Stecker ... 62
2.3.5. Netzwerkaufbau ... 62
2.3.5.1 Isolation eines Gerätes ... 62
2.3.5.2 Grosse Distanzen ... 63
2.3.5.3 Erhöhte Verfügbarkeit ... 64
2.3.6. Zeit-Berechnungen ... 65
2.3.7. Pegelkontrolle ... 66
2.4 Elektromagnetische Störungen (EMV) ... 67
2.4.1. Allgemeine Richtlinien ... 67
2.4.2. Einsatz von Kabelkanälen ... 68
2.4.3. Verlegung in einem Schaltschrank ... 69
2.4.4. Potentialausgleich ... 69
2.5 Literatur ... 72
3 FDL: Datenübertragung 74
3.1 Dienste für die Datenübertragung ... 75
3.1.1. SDN: Send Data with No acknowledge ... 75
3.1.2. SDA: Send Data with Acknowledge ... 75
3.1.3. SRD: Send and Request Data ... 76
3.1.4. CSRD: Cyclic Send and Request Data ... 76
3.1.5. MSRD Send Request Data with Multicast Reply ... 76
3.1.6. CS: Clock Synchronisation ... 77
3.2 FMA: Management Dienste ... 78
3.2.1. Lokale Dienste ... 78
3.2.2. Stationsübergreifende Dienste ... 79
3.2.3. FDL Parameter ... 79
3.3 MAC: Mediums-Zugriff ... 80
3.3.1. Prinzip des Master - Slave ... 80

© 2009 Max Felser

3.3.2. Prinzip des Token - Passing ... 81
3.3.3. Entfernen und Hinzufügen von Teilnehmern ... 81
3.3.4. Token Umlaufzeit ... 84
3.3.5. Zustandsmaschine ... 85
3.4 Protokoll-Definitionen ... 86
3.4.1. UART Codierung ... 86
3.4.2. Telegrammformate ... 87
3.4.2.1 Adressbyte ... 88
3.4.2.2 Längenangaben ... 88
3.4.2.3 Funktionscode ... 88
3.4.2.4 Service Access Point ... 90
3.4.2.5 Prüfsumme ... 92
3.5 Telegrammsequenzen und Zeitverhältnisse ... 92
3.5.1. Zeitverhältnisse ... 93
3.6 Fehlerbehandlung ... 94
3.6.1. Fehlererkennung ... 94
3.6.2. Fehlerkorrektur ... 95
3.6.3. Fehlerdiagnose ... 96
3.7 Literatur ... 97

4 MS0: Zyklischer Datenaustausch 99

4.1 Initialisierung eines DP-Slave ... 99
4.1.1. Zustände des DP-Slave ... 99
4.1.2. Initialisierungssequenz ... 100
4.1.3. Belegung der SAP ... 101
4.2 Adressänderungen ... 102
4.3 Parametrierung ... 102
4.3.1. Set_Parameter Telegramm ... 103
4.3.2. Set_Parameter Sequenz ... 106
4.3.3. Parameter in der GSD ... 106
4.4 Konfiguration ... 107
4.4.1. Definition der Module ... 108
4.4.1.1 Kompaktes Format ... 108
4.4.1.2 Spezielles Format ... 108
4.4.2. Module in der GSD ... 110
4.4.3. Telegramme auf dem Bus ... 112
4.4.3.1 Konfiguration auslesen ... 112
4.4.3.2 Konfiguration bestätigen ... 112
4.5 Diagnose ... 113
4.5.1. Diagnoseabfrage ... 113
4.5.2. Codierung der Diagnose ... 114
4.5.3. Diagnoseblöcke ... 116
4.6 Zyklischer Datenaustausch ... 118
4.6.1. Zustand des Master Klasse 1 ... 119
4.6.2. Global Control Telegrammformate ... 120
4.6.3. SYNC und FREEZE Befehle ... 121
4.7 Direkter Datenaustausch ... 123
4.7.1. Publisher ... 123
4.7.2. Subscriber ... 124
4.8 Zykluszeiten ... 124
4.8.1. Rechnung für Einzelmaster ... 125
4.8.2. Schätzformel ... 126

© 2009 Max Felser

4.8.3. Schätzformel PA ... 127
4.8.4. Äquidistanter Zyklus ... 127
4.8.5. Isochroner Zyklus ... 128
4.9 Literatur ... 129

5 MS1/MS2: Azyklischer Datenaustausch 131

5.1 Allgemeines ... 132
5.1.1. DP-V1 Gerätemodell ... 132
5.1.2. I&M Funktionen ... 133
5.1.2.1 I&M0 Basisinformationen ... 133
5.1.3. Azyklische Dienste ... 133
5.2 MS1 Verbindung ... 135
5.2.1. Verbindungskontrolle ... 135
5.2.2. Azyklische Dienste ... 135
5.2.3. Alarmbehandlung ... 136
5.2.3.1 Alarm-Arten ... 137
5.2.3.2 Alarm-Sequenzen ... 137
5.2.3.3 Alarmmeldungen ... 138
5.2.3.4 Statusmeldungen ... 139
5.3 MS2 Verbindung ... 140
5.3.1. Verbindungsaufbau ... 140
5.3.2. Verbindungsüberwachung ... 141
5.3.3. Verbindungsabbau ... 141
5.3.4. Azyklische Dienste ... 142
5.4 Funktionsaufrufe ... 143
5.5 Zusammenfassende Tabellen ... 143
5.5.1. Belegung der SAP ... 143
5.5.2. Codierung der DP-V1 Funktionen ... 144

6 Geräteentwicklung 145

6.1 Anforderungen ... 145
6.2 Geräteklassen ... 147
6.3 Bauformen ... 148
6.3.1. Baugruppen ... 148
6.3.2. Bauteile ... 149
6.3.3. Eigenbau ... 150

Index 156

© 2009 Max Felser

Vorwort

Seit mehr als 18 Jahren beschäftige ich mich mit dem PROFIBUS im Unterricht an der Hochschule, mit Workshops für die Industrie und mit Projektarbeiten der Studenten zusammen mit der Industrie.

Dieses Dokument stellt den Versuch dar, das angesammelte Wissen aus verschiedenen Quellen um und über den PROFIBUS zu sammeln, zusammen zu tragen und als ein Nachschlagewerk zur Verfügung zu stellen.

Die aktuelle Ausgabe wird laufend erweitert, ist aber leider weder vollständig noch in allen Teilen Konsistent im Aufbau.

Es freut mich, von den Lesern und Anwendern zu hören wieweit meine Ausführungen brauchbar sind, sich Fehler eingeschlichen haben oder welche Fragen noch offen sind, d.h. was soll als nächstes dokumentiert werden?

Burdorf, 17.08.2009
Max Felser

Struktur des Dokuments

Wer neu ist mit dem PROFIBUS sollte mit dem ersten Kapitel mit der Einführung zur Struktur eines PROFIBUS Systems beginnen.

Für Anwender sind ein Kapitel mit Angaben zum Vorgehen bei der Anlageplanung und ausführliche Richtlinien für die Installation der Kabel aufgeführt.

Erfahrene Fachleute finden ein Kapitel über Erfahrungen mit Werkzeugen, Listen von Normen und Details zu den Codierungen der einzelnen Dienste (FDL, MS0, MS1/MS2).

© 2009 Max Felser

1 Einleitung

In diesem Kapitel soll aufgezeigt werden, wie ein PROFIBUS-System grundsätzlich strukturiert ist und wo man die Normen der einzelnen Teile findet. In einem weiteren Teil wird aufgezeigt, wie man eine PROFIBUS Anlage plant und welche Werkzeuge dazu zur Verfügung stehen.

1.1 Systemstruktur

PROFIBUS legt die technischen Merkmale eines seriellen Feldbussystems fest, mit dem verteilte digitale Automatisierungsgeräte von der Feldebene bis zur Zellenebene miteinander vernetzt werden können. PROFIBUS ist ein Multi-Master System und ermöglicht dadurch den gemeinsamen Betrieb von mehreren Automatisierungs-, Engineering- oder Visualisierungssystemen mit den dezentralen Peripheriegeräten an einem Bus.

PROFIBUS unterscheidet unterschiedliche Gerätetypen.

PROFIBUS basiert auf anerkannten internationalen Standards. Die Protokollarchitektur orientiert sich am OSI (Open System Interconnection) Referenzmodell, entsprechend dem internationalen Standard ISO 7498.

Hierin übernimmt jede Übertragungsschicht genau festgelegte Aufgaben: Die Schicht 1 (Physical Layer) definiert die Übertragungsphysik, Schicht 2 (Data Link Layer) das Buszugriffsprotokoll und Schicht 7 (Application Layer) die Anwendungsfunktionen. Die Profile der Anwendung (User Layer) bestimmen wie die Kommunikationsfunktionen in unterschiedlichen Geräteklassen und Anwendungen verwendet werden sollen.

Der PROFIBUS bietet unterschiedliche Dienstleitungen für die Automatisierungstechnik an: zyklischer Datenaustausch für Prozessdaten und azyklischer Datenaustausch für Parametrierdaten.

1.1.1 Stationen

PROFIBUS unterscheidet folgende Arten von Stationen oder Gerätetypen:

Master bestimmen den Datenverkehr auf dem Bus. Ein Master darf Nachrichten ohne externe Aufforderung aussenden, wenn er im Besitz der Buszugriffsberechtigung (Token) ist. Master werden auch als aktive Teilnehmer bezeichnet.

Slave sind Peripheriegeräte wie beispielsweise Ein-/Ausgangsgeräte, Ventile, Antriebe und Meßumformer. Sie erhalten keine Buszugriffsberechtigung, d. h. sie dürfen nur empfangene Nachrichten quittieren oder auf Anfrage eines Masters Nachrichten an diesen übermitteln. Slaves werden als passive Teilnehmer bezeichnet. Sie benötigen nur einen geringen Anteil des Busprotokolls, dadurch wird eine aufwandsarme Implementierung ermöglicht.

Master und Slave können für unterschiedliche Protokolle wie

- FSM (Fieldbus Message Specification)
- DP (Decentral-Peripherie)

eingesetzt werden. Darum wird bei der Bezeichnung oftmals das Protokoll vorangestellt:

Der **DP-Master** kontrolliert ein DP-System, der **DP-Slave** ist Teil eines DP-Systems.

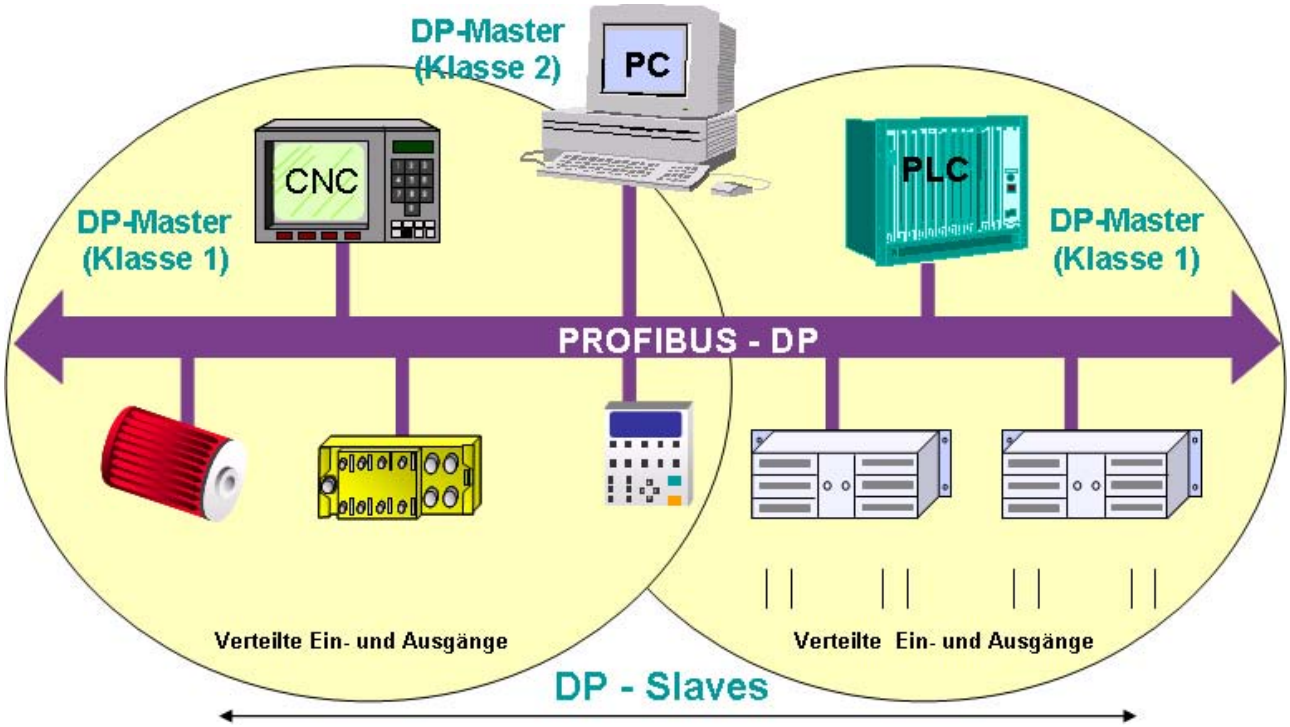
Der DP-Master kann in einem DP-System eine unterschiedliche Funktion übernehmen. Diese Funktion wird als Klasse bezeichnet:

DP-Master der Klasse 1:
Dies sind Controller eines DP-Systems und der ihm zugeordneten DP-Slave. Typischerweise handelt es sich dabei um Steuerungen, SPS oder industrielle PC basierte Systeme.

DP-Master der Klasse 2:
Dies sind Werkzeuge für Inbetriebnahme, Engineering und Unterhalt. Sie erlauben das Laden von Programmen in Steuerungen und die Diagnose und Parametrierung von DP-Slave. Typischerweise handelt es sich dabei um PC basierte Systeme.

© 2009 Max Felser

DP-Master der Klasse 3:
Ist ein Uhrenmaster und verteilt die Zeit.



Jede Station - ob Master oder Slave - in einem DP-System verfügt über eine eindeutige Adresse.

1.1.1.1 Adressierung der Stationen

Jede PROFIBUS Station muss für die Kommunikation eine eindeutige Adresse haben. Diese PROFIBUS-Adressen werden in einem Byte codiert und und umfassen den Bereich von 0 - 127.

Repeater und Optische-Link-Module (OLM) übertragen die Telegramme transparent von einem Segment zum anderen und brauchen darum keine eigene Adresse.

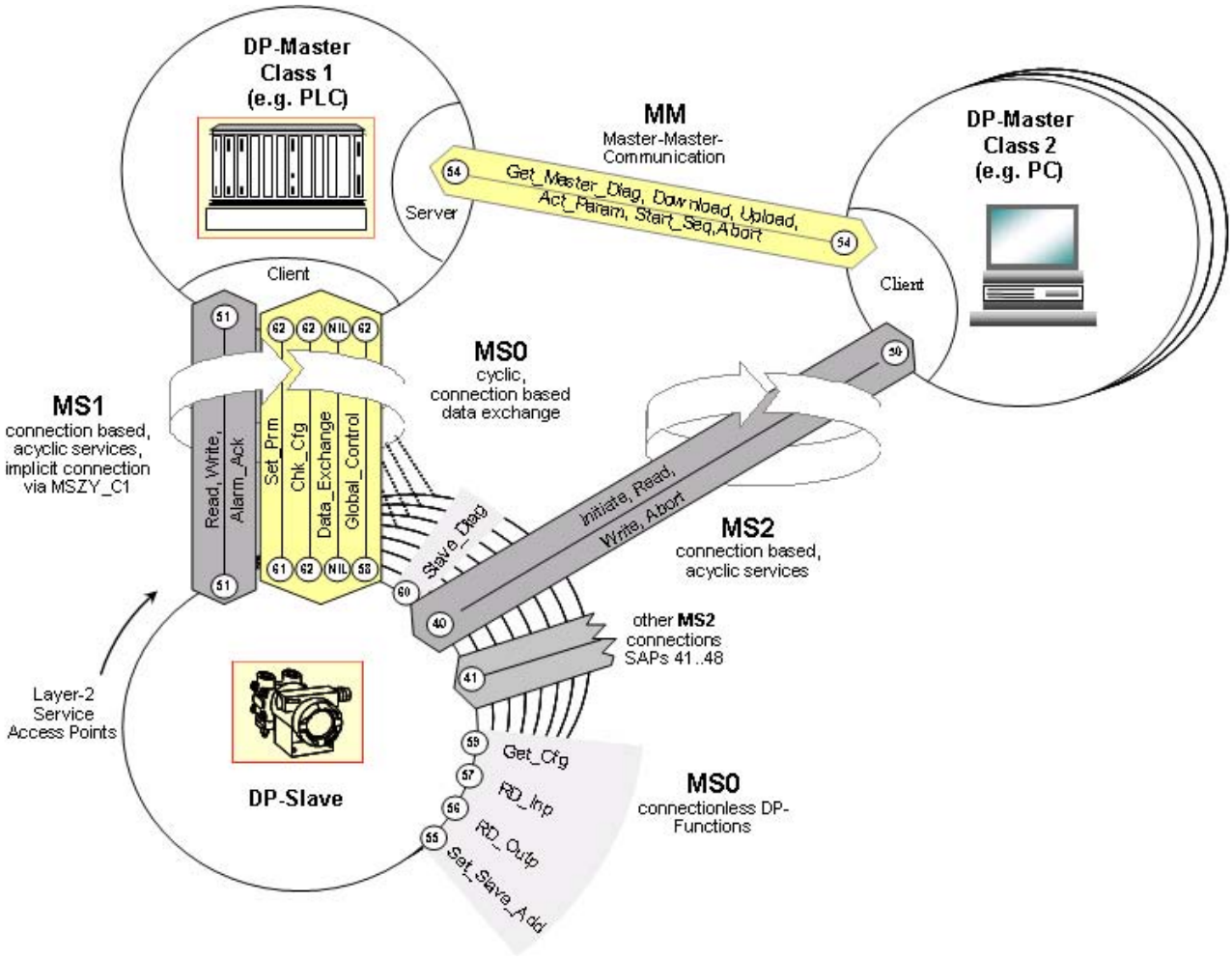
Einzelne Werte der Adressen sind aber reserviert und können nicht mehr frei vergeben werden:

Adresse	Nutzung
0	ist reserviert für Diagnosewerkzeuge wie z.B. Programmiergeräte
1 ... n	Die Adressen der Master-Stationen sollten bei den tiefsten Adressen beginnen. Somit hat ein einzelner Master die Adresse 1. Weitere Master-Stationen haben die Adressen 2, 3... etc.
n ... 125	Somit bleiben in einem PROFIBUS Netzwerk mit einem Master maximal 124 Adressen frei für die Slave-Stationen.
126	ist reserviert als Auslieferungsadresse (default) für Stationen, deren Adresse über den Bus eingestellt werden kann. Dies wird im Kapitel über Adressänderungen näher erläutert.
127	ist reserviert für Adressierung an Alle und an Gruppen (broadcast) und kann somit nicht an einer Station eingestellt werden.

© 2009 Max Felser

1.1.2 Beziehungen

Die einzelnen Stationen in einem DP-System haben unterschiedliche Beziehungen zueinander:



Diese einzelnen Beziehungen zwischen Master und Slaves (MS) haben unterschiedliche Aufgaben und Eigenschaften:

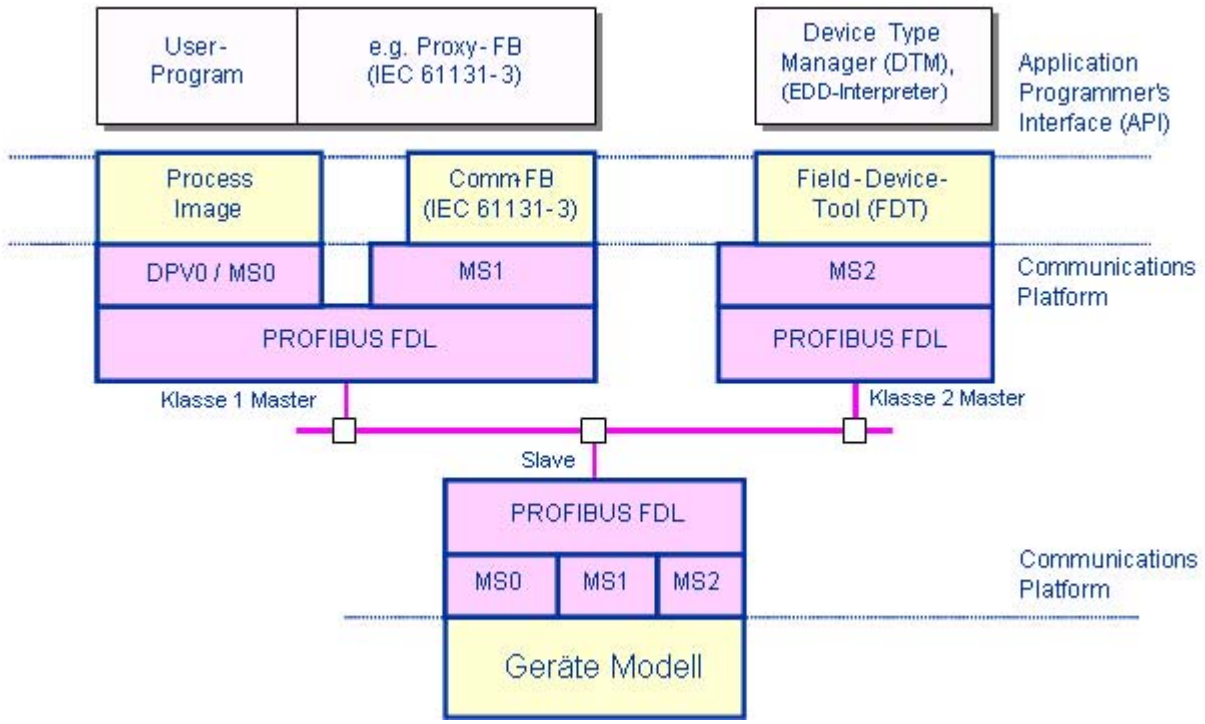
Zyklische Datenübertragung:
MS0 = DP-Master der Klasse 1 mit DP-Slave zyklisch unter Nutzung des DP-V0 Protokolls

Azyklische Datenübertragung:
MS1 = DP-Master Klasse 1 mit DP-Slave azyklisch unter Nutzung des DP-V1 Protokolls
MS2 = DP-Master Klasse 2 mit DP-Slave azyklisch unter Nutzung des DP-V1 Protokolls

In der obenstehenden Abbildung ist auch eine Beziehung zwischen Master (MM) aufgeführt. Diese wird in der Praxis nur sehr wenig eingesetzt und darum wird hier in diesem Dokument nicht weiter darauf

eingegangen.

Die einzelnen Stationen haben in Ihrem Aufbau die einzelnen Protokolle implementiert:



1.1.2.1 Zyklische Prozessdaten

Eine Steuerung, beim PROFIBUS als Master Klasse 1 bezeichnet, kontrolliert seine dezentrale Peripherie in einem zyklischen Datenaustausch.

Die Steuerung Initialisiert in einer Initialisierungsphase jedes Peripheriegerät und kontrolliert auch während der zyklischen Datenübertragung ob das Peripheriegerät, beim PROFIBUS als Slave bezeichnet, ansprechbar bleibt.

Der Slave seinerseits überwacht mit einer Ansprechüberwachung (watchdog) ob die Steuerung aktiv bleibt.

Phase:	**Aktionen:**
Diagnose	Steuerung sendet Diagnoseanforderungen an alle projektierten Slave
Initialisierung	Steuerung sendet Parameter und kontrolliert die Konfiguration an alle projektierten Slave
Datenaustausch	Steuerung sendet Ausgangsdaten und empfängt Eingangsdaten. Ansprechüberwachung und Auswertung der Diagnose

Bei der Initialisierung übergibt die Steuerung dem Slave erste Initialparameter und überprüft die Konfiguration des Slave. Diese Konfiguration legt fest, wie viele Daten im zyklischen Datenaustausch zwischen Master und Slave ausgetauscht werden.

Im Zyklischen Ablauf sendet der Master seine Ausgangsdaten an den Slave und erhält als Antwort die Eingangsdaten. Das PROFIBUS Netzwerk für zyklische Prozessdaten ist somit wie ein verteiltes Prozessabbild einer Steuerung.

Die minimale Zykluszeit kann einfach abgeschätzt werden, wenn die Anzahl der Ein- und Ausgabebytes und die Bitrate des PROFIBUS bekannt ist:

© 2009 Max Felser

$$T_{BZyklus} = (380 + Slaves \times 300 + Bytes \times 11)/Bitrate + 75\ \mu s$$

Wobei
Slaves = Anzahl der Slave im Netzwerk
Bytes = Anzahl der Ein- und Ausgabebytes zusammengezählt

In einem PROFIBUS Netzwerk muss immer mindestens ein Master der Klasse 1 vorhanden sein. Es können aber auch mehrere Master der Klasse 1 auf demselben Kabel sein. Sie teilen sich somit die Bitrate, d.h. die Zykluszeit wird entsprechend länger. Ein Slave kann nur von einem Master der Klasse 1 kontrolliert werden!

Diese Grundfunktionen für zyklische Prozessdaten werden als DP-V0 bezeichnet. Mit den Protokollerweiterungen DP-V1 und DP-V2 ist es möglich die Zykluszeit der Steuerung auf einen festen Wert zu fixieren (Äquidistanter Zyklus) und mit speziellen Telegrammen auch die Zykluszeit der Slave auf den PROFIBUS Zyklus zu synchronisieren (Isochroner Zyklus).

Wenn in einer Anwendung zwei Slave direkt miteinander Daten austauschen sollen, braucht es dazu das DP-V2 Protokoll. In diesen Protokollerweiterungen wird es möglich, dass die Daten direkt zwischen den Slave ausgetauscht werden.

1.1.2.2 Azyklische Parametrierdaten

Oftmals müssen in einer Anlage die Parameter in einem Gerät bei laufendem Betrieb angepasst werden. Dazu stellt der PROFIBUS eine Kommunikation mit azyklischen Parametrierdaten zur Verfügung.

Ein Parametriermaster, beim PROFIBUS als Master der Klasse 2 bezeichnet, kann zu einem Slave eine Verbindung aufbauen und azyklisch Daten austauschen.

Auf einem Netzwerk können mehrere Master der Klasse 2 neben dem Master oder den Mastern der Klasse 1 existieren und gleichzeitig mit demselben Slave Daten austauschen. Jeder Master der Klasse 1 kann auch gleichzeitig Master der Klasse 2 sein.

Zusätzlich ist ein Alarmmodell definiert worden. Jeder Slave hält eine Zustandsmaschine für Alarme und kontrolliert kommende und gehende Alarme unterschiedlicher Ursachen und kontrolliert die Quittierung durch den Master der Klasse 1.

Diese Protokollerweiterungen für den azyklischen Datenaustausch werden als DP-V1 bezeichnet.

1.1.3 Funktionsumfang

Die PROFIBUS Technologie ist modular aufgebaut. Die erlaubt die einzelnen Ausführungen einer Funktionsgruppe auszuwählen und die Eigenschaften eines PROFIBUS Netzwerkes flexibel an die Anforderungen anzupassen.

Anwendungs-Profile	Prozessautomation, Fertigungstechnik
Geräte-Profile	ProfiDrive, Ident-Systeme, ...
Allgemeine Profile	PROFISafe
Protokolle:	**FDL, DP-V0, DP-V1, DP-V2**
Übertragung:	**Elektrisch (RS-485), Optisch (FO), Eigensicher (MBP)**

Übertragungsverfahren
Für die Übertragung der Daten sind drei unterschiedliche Verfahren normiert:

- asynchrone elektrische Übertragung nach RS-485 für den universellen Einsatz
- synchrone elektrische Übertragung mit der Option auf eigensichere Übertragung und Speisung über den Bus vor allem für die Prozessautomation.
- optische Übertragung über Glas- oder Kunststoff-Faser für die Überwindung grosser Distanzen, Potentaildifferenzen oder starke elektromagnetische Verseuchungen.

Alternative Übertragungsverfahren wie Funk, drahtlose optische Verfahren, Schleifringe etc sind von unterschiedlichen Herstellern verfügbar.

© 2009 Max Felser

Protokolle
Das Fieldbus Data Link (FDL) Protokoll ist für alle PROFIBUS Ausbaustufen gemeinsam. Nicht alle FDL-Dienste werden für alle Funktionen benötigt.

Das Protokoll für die Dezentrale Peripherie (DP) gibt es in drei Ausbaustufen. Jede Ausbaustufe führt weitere Funktionen hinzu. Die meisten dieser Erweiterungen sind optional.

m = muss (mandatory)
o = optional

Protokoll - Funktionen:	**DP-V0**	**DP-V1**	**DP-V2**
Zyklischer Datenaustausch MS0	m	m	m
Azyklischer Datenaustausch mit Master der Klasse 1 (MS1)	-	o	o
Azyklischer Datenaustausch mit Master der Klasse 2 (MS2)	-	m	o
Alarm-Meldungen	-	o	o
Fail-Safe Protokoll (ProfiSafe)	-	o	o
Isochroner Zyklus	-	-	o
Zeitsynchronisation	-	-	o
Zeitstempelung	-	-	o
Querverkehr (Data Exchange Broadcast)	-	-	o

Integrationstechnologien:	**DP-V0**	**DP-V1**	**DP-V2**
Diagnose-Meldungen der Geräte	m	m	m
GSD-Dateien für die Konfiguration	m	m	m
Engineering mit EDD	-	o	o
Engineering mit FDT/DTM	-	o	o
Engineering mit Tool Calling Interface (TCI)	-	o	o

Oftmals wird ein Gerät mit seiner Ausbaustufe bezeichnet: Ein DP-V1 Master oder ein DP-V0 Slave.

Profile
In einem Profil werden die Freiheitsgrade der PROFIBUS Kommunikation eingeschränkt, d.h. es wird festgelegt, welcher Subset oder welche Ausbaustufe realisiert werden soll. Gleichzeitig werden die Funktionen der Anwendung beschrieben und festgelegt. Je nach Ausbau kann es sich dabei um allgemeine Festlegungen, Festlegungen für eine Art von Geräten oder einem Anwendungsgebiet handeln.

1.2 Normen und Standards

Die Festlegungen des PROFIBUS sind von Anfang an in die Normierung eingeflossen. Normierung unterliegt festen Regeln der Entstehung und ist oftmals ein langjähriger Prozess. Um flexibel auf Anforderungen des Marktes reagieren zu können veröffentlicht die PROFIBUS Organisation weitere Festlegungen in der Form von Richtlinien.

1.2.1 Normierung

Der **PRO**cess **FI**eld **BUS** (= PROFIBUS) wurde in Deutschland bereits 1989 bzw. 1991 in der DIN 19245, Teil 1-4 genormt. Diese Normen sind nur auf Deutsch und leider nicht in elektronischer Form verfügbar.

© 2009 Max Felser

Nummer	Name / Inhalt	Ausgabe
DIN 19245 Teil 1	PROFIBUS-FDL (Fieldbus Data Link)	1989
DIN 19245 Teil 2	PROFIBUS-FMS (Fieldbus Message Specification)	1990
DIN 19245 Teil 3	PROFIBUS-DP (Dezentrale Peripherie)	Oktober 1994
DIN 19245 Teil 4	PROFIBUS-PA (Prozess Automation)	1995

1996 sind alle Europäischen Feldbusse in eine einzige Norm EN 50170 zusammengeführt worden. Jedes Bussystem deckt einen Teil ab. Der PROFIBUS ist Teil (Part) 2 und ist selber in 9 Unterteile aufgeteilt. Der Application Layer umfasst hier das PROFIBUS-FMS Protokoll und PROFIBUS-DP wird als User Layer bezeichnet.

Nummer	Teil	Name / Inhalt	Ausgabe
EN 50170-2		**General Purpose Field Communication System Teil 2: (Part) PROFIBUS**	1997
	Part 1	General Description of the Normative Parts	
	Part 2	Physical Layer Specification and Service Definition	
	Part 3	Data Link Layer Service Definition	
	Part 4	Data Link Layer Protocol Specification	
	Part 5	Application Layer Service Definition	
	Part 6	Application Layer Protocol Specification	
	Part 7	Network Management	
	Part 8	User Specifications	
	Part 9	Physical Layer and Data Link Layer for Process Automation	

Diese Europäische Norm ist 1999 mit 7 weiteren Feldbussystemen in die internationale Norm IEC 61158 überführt worden und ist somit seit 2007 formell nicht mehr in Kraft.

2002 wurden Aktivitäten zur Erneuerung der IEC 61158 beendet. Im Zuge dieser Aktivitäten sind die neuesten Entwicklungen von PROFIBUS und PROFINET in diese Norm eingeflossen. Die IEC 61158 trägt den Titel „Digital data communication for measurement and control – Fieldbus for use in industrial control systems“ und ist in 6 Teile (parts) gegliedert, die mit 61158-1, 61158-2 etc. bezeichnet sind. Inhaltlich befasst sich Teil 1 mit einführenden Themen, während die nachfolgenden Teile sich an dem OSI-Schichtenmodell (Schichten 1, 2 und 7) orientieren. In den verschiedenen Teilen der IEC 61158 werden u. a. zahlreiche „sevices and protocols“ für die Kommunikation zwischen Busteilnehmern spezifiziert, die als Obermenge (total available set) zu betrachten ist, aus der für bestimmte Feldbussysteme eine spezifische Auswahl (Untermenge, subset) getroffen wird.

Der Existenz der zahlreichen unterschiedlichen Feldbussysteme am Markt wird in der IEC 61158 durch die Definition von 22 „Fieldbus protocol types“ mit der Bezeichnung Type 1 bis Type 22 Rechnung getragen. PROFIBUS ist dabei Typ 3 und PROFINET Typ 10. Die IEC 61784 trägt den Titel „Profile sets for continuous and discrete manufacturing relative to fieldbus use in industrial control systems“. Die 61784 stellt dar, welche Subsets der in der 61158 (und anderen Standards) spezifizierten Obermenge von „services“ ein bestimmtes Feldbussystem für die Kommunikation verwendet. Die so festgelegten Feldbus-spezifischen „ communication profiles“ werden entsprechend ihrer Verwendung in den einzelnen Feldbussystemen in „ Communication Profile Families (CPF)“ zusammengefasst. Die bei PROFIBUS eingesetzten Profile sind unter der Bezeichnung „Family 3“ zusammengefasst, mit Unterteilung in 3/1 für DP und 3/2 für PA. In der zweiten Version ab 2003 ist ein weiteres Profil 3/4 für PROFINET CBA in derselben Familie definiert.

© 2009 Max Felser

Nummer	Teil	Name / Inhalt
IEC 61158		**Digital data communications for measurement and control - Fieldbus for use in industrial control systems**
	1	Introduction
	2	Physical Layer specification - Typ 1 für PROFIBUS-PA / Typ 3 für PROFIBUS-DP
	3-3	Data Link Layer service definition - Typ 3 für PROFIBUS
	4-3	Data Link Layer protocol specification - Typ 3 für PROFIBUS
	5-3	Application Layer service definition - Typ 3 für PROFIBUS
	6-3	Application Layer protocol specification - Typ 3 für PROFIBUS

Nummer	Teil	Name / Inhalt
IEC 61784		**Digital data communication for measurement and control**
	1	**Profile sets for continuous and discrete manufacturing relative to fieldbus use in industrial control systems** PROFIBUS-DP ist Profil CPF 3/1 PROFIBUS-PA ist Profil CPF 3/2

Diese Normen waren bis 2007 unveränderbar fest. Um trotzdem die festgestellten Mängel, Rechtschreibefehler und Unklarheiten festzuhalten, ist von der PROFIBUS Organisation eine Sammlung von Korrekturen als Richtlinie herausgegeben worden.

Nummer	Name / Inhalt
2.50	**Implementation Guideline IEC 61158/61784** Korrekturen zu den Normen, gültig bis zur nächsten Revision der Norm ...

Im Herbst 2007 sind die Normen IEC 61158 und IEC 61784-1 in einer neuen Version (Edition) publiziert worden. Dabei ist die Struktur insofern vereinfacht worden, dass jetzt bei der IEC 61158 alle Dokumente der unterschiedlichen Typen getrennt gekauft werden können. Für PROFIBUS ist somit nur der Typ 3 erforderlich. Zusätzlich sind weitere Profile für PROFINET IO (3/5, 3/6 und 3/7) definiert worden.

Eine Zusammenstellung der wichtigsten IEC Normen zum PROFIBUS findet man unter http://www.felser.ch/download/fieldbus.htm.

1.2.2 Richtlinien

Für weitere Festlegungen sind Richtlinien durch die PROFIBUS Organisation festgelegt worden. Diese Richtlinien stellt PROFIBUS International (www.profibus.com) für Mitglieder kostenlos zur Verfügung.

Diese Richtlinien sind nummeriert und umfassen die folgenden Gebiete:

- Nummern 0.xxy : PROFIBUS Standard
- Nummern 1.xxy : PROFIBUS Richtlinien
- Nummern 2.xxy : PROFIBUS Profile
- Nummern 3.xxy : Profile
- Nummern 4.xxy : Beschreibungen /Descriptions
- Nummern 6.xxy : Listen von IDs (on-line)
- Nummern 7.xxy : PROFINET
- Nummern 8.xxy : Handbücher

Die letzte Ziffer (y) bestimmt die Sprache des Dokumentes:
1 = Deutsch (Abgekürzt D)
2 = Englisch (Abgekürzt E)

Eine Zusammenstellung aller Richtlinien von PROFIBUS International findet man auch unter http://www.felser.ch/download/pno.htm.

© 2009 Max Felser

1.3 Anlageplanung und -Inbetriebnahme

Mit einem systematischen Vorgehen bei der Planung, Inbetriebnahme und Unterhalt eines PROFIBUS Netzwerkes können Fehler vermieden und der Aufwand reduziert werden. Die folgenden Schritte haben sich bei uns bewährt:

Schritt	Beschreibung
1. Vorbereiten	1. Wir wählen aus, welche Feldgeräte wir in unserer Automatisierungsaufgabe einsetzen wollen. 2. Wir sammeln für die ausgewählten Feldgeräte die Generic Station Description (vormals Gerätestammdateien = GSD) Dateien. Damit wird bekannt, welche Eigenschaften die eingesetzten Geräte haben. 3. Die GSD-Dateien werden in die Bibliothek des Planungswerkzeuges geladen.
2. Planen	1. Die Anlage wird geplant, indem der Steuerung die Feldgeräte zugewiesen werden. 2. Die Steuerungen und Feldgeräte werden konfiguriert. Den einzelnen Teilnehmern wird mit der Konfiguration beigebracht, wer mit wem kommunizieren und Daten austauschen soll. 3. Die Steuerungen und Feldgeräte werden parametriert. Die einzelnen Parameter bestimmen, wie bestimmte Funktionen in den Geräten ausgeführt werden sollen.
3. Installieren	1. Das Netzwerk mit den Distanzen und den Anzahl der Repeater wird ausgelegt. 2. Das Kabel wird auf einem richtigen Trasse verlegt. 3. Mit geeigneten Steckern werden die Kabel angeschlossen. 4. Die Installation wird überprüft.
4. Inbetriebnehmen	Das PROFIBUS Netzwerk soll systematisch in Betrieb genommen werden.
5. Überwachen	1. Alle Geräte liefern Diagnoseinformationen. Die konsequente Interpretation und Auswertung dieser Informationen hilft Fehler zu lokalisieren. 2. Feldgeräte können ihren Zustand mit Diagnoseinformationen melden. 3. Die Qualität der Datenübertragung auf dem PROFIBUS kann überwacht werden.

1.3.1 Schritt 1: Vorbereiten

Bevor mit dem Engineering der Anlage begonnen werden kann, bedarf es einer Vorbereitung.

Schritt 1.1 Geräte auswählen

Wir wählen aus, welche Feldgeräte wir in unserer Automatisierungsaufgabe einsetzen wollen. Dazu können wir z.B. die Datenbank auf dem Server von PROFIBUS International nutzen.

Schritt 1.2 GSD sammeln
Wir sammeln für die ausgewählten Feldgeräte die Generic Station Description Dateien. Damit wird bekannt, welche Eigenschaften die eingesetzten Geräte haben.

Diese GSD finden wir auf einem Datenträger der mit dem Produkt geliefert wird oder auf dem Webserver des Herstellers zur Verfügung gestellt wird. PROFIBUS International bietet an, dass die Hersteller im Produktekatalog auch direkt ihre GSD-Dateien ablegen können. Dies wird leider aber nur selten richtig genutzt.

Schritt 1.3 GSD laden
Die GSD-Dateien müssen dem Planungswerkzeug bekannt sein. Sie werden in die Gerätebibliothek des Planungswerkzeuges integriert. Dazu werden die Dateien entweder in ein spezielles Verzeichnis kopiert oder aus dem Planungswerkzeug explizit eingelesen.

© 2009 Max Felser

1.3.1.1 GSD Dateien

Jeder normkonforme Klasse 1-Master und alle Feldgeräte mit Slavefunktionalität müssen vom Hersteller anhand einer GSD-Datei beschrieben werden. GSD war früher die Abkürzung für Gerätestammdatei und wird heute als Generic-Station-Description interpretiert.

Wer macht was mit der GSD-Datei ?
Projektierungstools für den zu projektierenden PROFIBUS-DP Master interpretieren den Inhalt der GSD-Dateien der Slaves und erzeugen daraus einen Master-Parametersatz für den Klasse 1 Master, der den Nutzdatenverkehr durchführt.

Ein Master der Klasse 1 erkennt anhand der Informationen aus den GSD-Dateien der angeschlossenen Slaves den Ausbaugrad des Busses, welche Dienste vom jeweiligen Slave unterstützt werden und in welcher Form die Daten auszutauschen sind.

Wie werden die GSD-Dateien vom Projektierungstool verarbeitet ?
GSD-Dateien sind bei der Projektierung und bei der Inbetriebnahme erforderlich. Jeder Hersteller eines PROFIBUS-DP Klasse 1 Masters stellt ein Projektierungstool zum Projektieren des Klasse 1 Masters zur Verfügung, das die interne Datenstruktur des Klasse 1 Masters und des Hostsystems kennt. Bei der Projektierung sind die jeweils benötigten GSD-Dateien dem Projektierungstool bekanntzumachen. Dies geschieht üblicherweise, indem die GSD-Dateien auf die Harddisk des PC´s zu kopieren sind. (Die genaue Pfadangabe ist der Beschreibung des Projektierungstools zu entnehmen). Beim Projektieren einer Anlage interpretiert das Projektierungstool die Daten der GSD-Datei für das ausgewählte Feldgerät. Weiterhin werden bereits Plausibilitätsprüfungen durchgeführt, damit die Projektierungsdaten logisch richtig aufgebaut sind.

Wie werden GSD-Dateien benannt?
Eine GSD Datei ist entweder einmal vorhanden, wenn sie sprachunabhängig aufgebaut ist (*.gsd) oder wenn sie in einer bestimmten Landessprache erstellt ist, kann sie öfter vorhanden sein. Je Landessprache ist dann eine GSD-Datei zu verwenden, in denen sich nur die Parameter vom Typ Visible-String unterscheiden dürfen. Die sprachbezogenen GSD-Dateien unterscheiden sich im letzten Buchstaben der Extension (*.gs?).

Default (sprachunabhängig): ?=d
Deutsch ?=g
Englisch ?=e
Französisch ?=f
Italienisch ?=i
Portugiesisch ?=p
Spanisch ?=s

Der GSD-Datei Namen soll den folgenden Regeln folgen:

Abc_0008.gsd

hierin bedeuten:
Abc_ = Firmenkennung (hier Firma Abc_), immer 4 Zeichen
0008 = von der PNO zugeteilte Identnummer 0008, immer 4 Zeichen in Hexadezimal
.gsd = default. Sprachunabhängige GSD(E)-Datei

Welche Schlüsselwörter hat es in einer GSD Datei?
Die Eigenschaften eines Gerätes werden mit Schlüsselwörtern und Werten beschrieben.

Aus geschichtlichen Gründen gibt es verschiedene Revisionen der GSD Syntax mit einer wachsenden Zahl von Schlüsselwörter. Die aktuellste Version ist heute Version 5. Ein erstes Schlüsselwort gibt somit die Version der GSD-Datei an:

GSD_Revision = 1

Vendor_Name= "Firma_ABC & Co"
Model_Name= "Modulare I/O Station"
Revision= "Ausgabestand 01"

© 2009 Max Felser

Der Herstellername, der Modellname und die Revision des Gerätes als visible String sind auf 32 Zeichen beschränkt.

Revision_Number= 05

Versionskennung des DP-Gerätes. Der Wert der Revision_Number muss mit dem Wert der Revision_Number in der Slave-spezifischen Diagnose übereinstimmen.

Ident_Number=0x00A2

Die Ident_Number kennzeichnet den Gerätetyp des DP-Gerätes. Jedes Feldgerät ist durch eine von der PROFIBUS International vergebene Identnummer charakterisiert, die eine eindeutige Referenz zur GSD-Datei und somit zu den technischen Daten des Feldgerätes herstellt. Feldgerätevarianten, die sich mit einer GSD-Datei beschreiben lassen, können dieselbe Identnummer verwenden (beispielsweise modulare Geräte). Ein Datenaustausch mit einem Feldgerät ist nur möglich, wenn der DP-Master den DP-Slave eindeutig mit der Identnummer im Systemhochlauf (Parametriertelegramm) identifiziert.

Eine Ident-Nummer kann bei PROFIBUS International bestellt werden. Dort ist auch eine Liste der aktuell belegten Ident-Nummern ersichtlich.

Protocol_Ident= 0 ; hier wird ein PROFIBUS-DP Gerät beschrieben

Verwendetes Protokoll des DP-Gerätes.
0: PROFIBUS-DP,
16 bis 255: Herstellerspezifisch

Stations_Type= 0 ; Hier wird ein PROFIBUS-DP Slave beschrieben

DP-Gerätetyp.
0: DP-Slave,
1: DP-Master (Klasse 1)

Weitere Angaben zu den Schlüsselwörtern findet man in den entsprechenden Kapiteln:

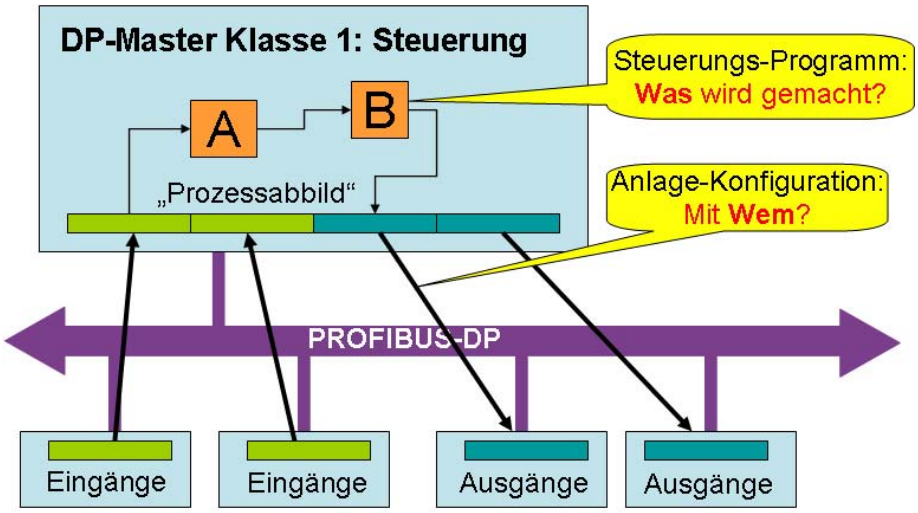
- Adressänderungen eines DP-Slave
- Konfiguration eines DP-Slave
- Parametrierung eines DP-Slave
- Isochroner Datenzyklus
- SYNC und FREEZE Befehle
- Alarmbehandlung

Eine Liste der in diesem Handbuch erwähnten GSD Schlüsselwörter findet man auch im Index.

1.3.2 Schritt 2: Planen

Die Planung einer PROFIBUS Anlage wird mit einem Planungswerkzeug ausgeführt. Diese Werkzeug wird in der Regel vom Hersteller der Steuerung zur Verfügung gestellt und ist oftmals eng an die Programmierung der Steuerung gekoppelt.

© 2009 Max Felser

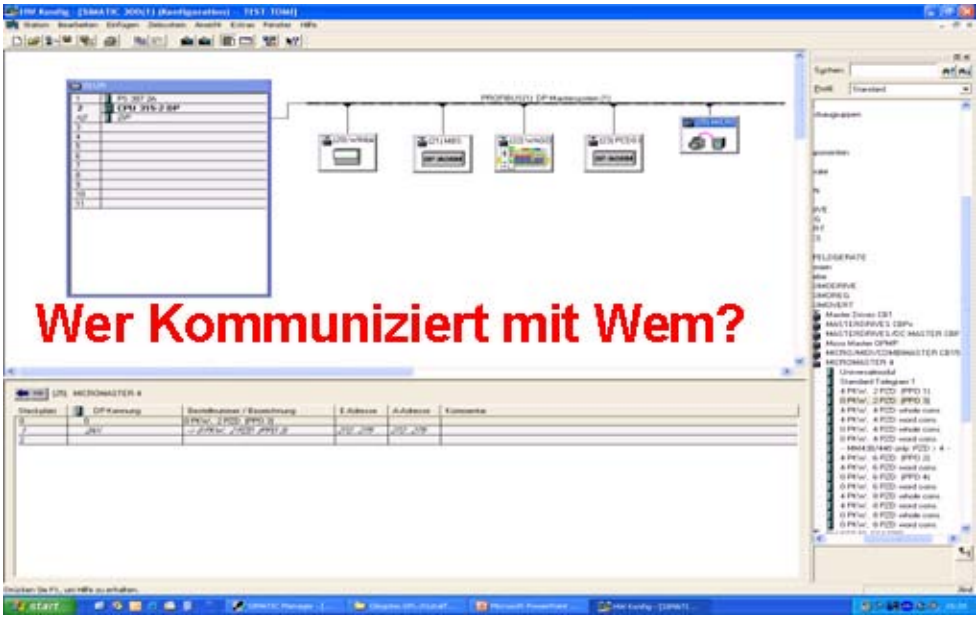


DP-Slaves: Feldgeräte für Daten Ein- und Ausgabe

Oftmals kann man aber klar die Aufgabe des Steuerungsprogramms von der Konfiguration der Anlage unterscheiden.

Schritt 2.1 Anlage planen

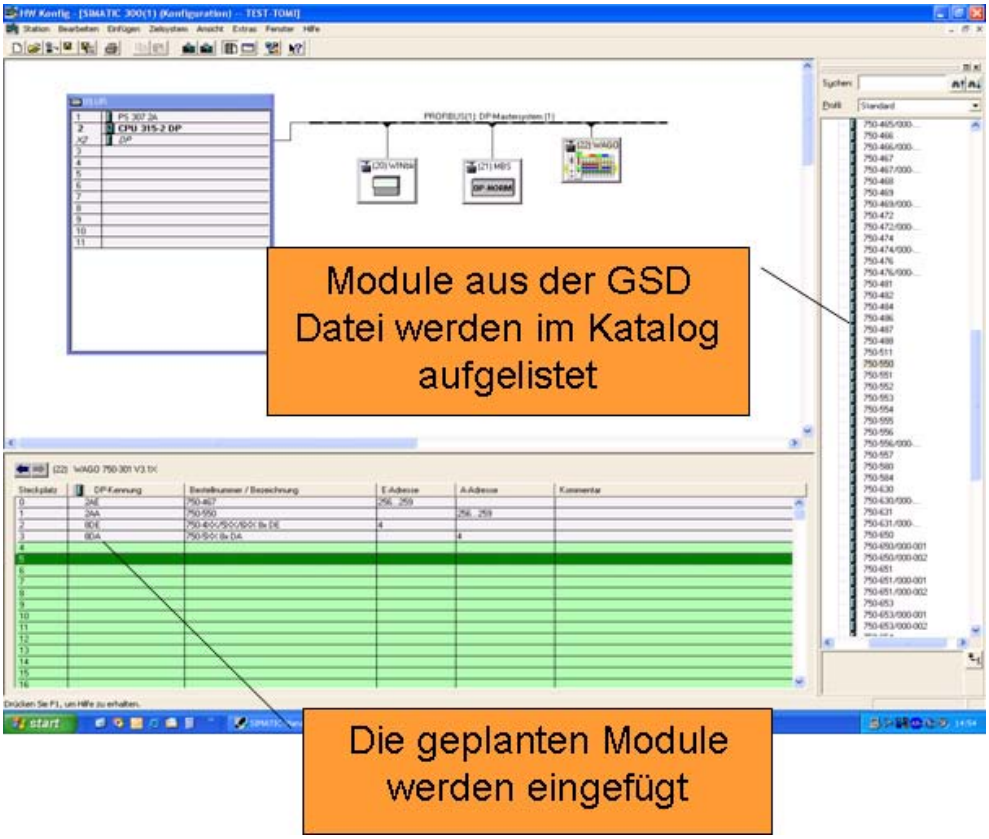
Die Anlage wird geplant, indem der Steuerung die Feldgeräte zugewiesen werden. Dies wird heute in der Regel auf einer graphischen Oberfläche dargestellt.



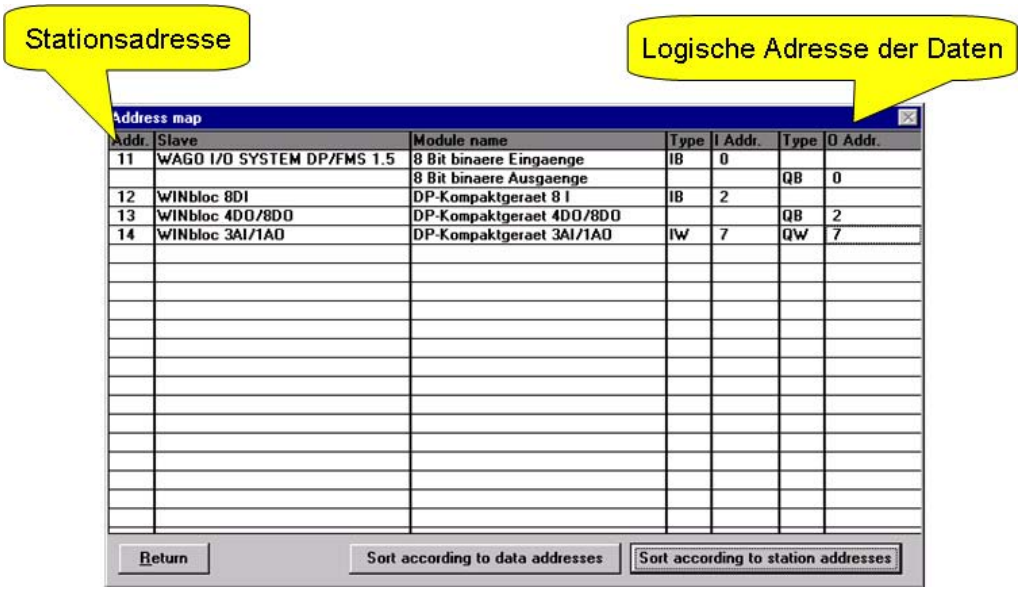
Schritt 2.2 Konfigurieren

Den einzelnen Teilnehmern wird mit der Konfiguration beigebracht, wer mit wem kommunizieren und Daten austauschen soll. Mit der Konfiguration der DP-Slave (Feldgeräte) wird die Anzahl und die Art der Module festgelegt. Diese Module bestimmen auch die Anzahl und die Reihenfolge der zyklischen Prozessdaten die von der Steuerung zum Feldgerät und umgekehrt übertragen werden.

© 2009 Max Felser



Bei der Konfiguration werden den physikalischen Adressen des PROFIBUS logische Adressen der Steuerung zugeordnet.

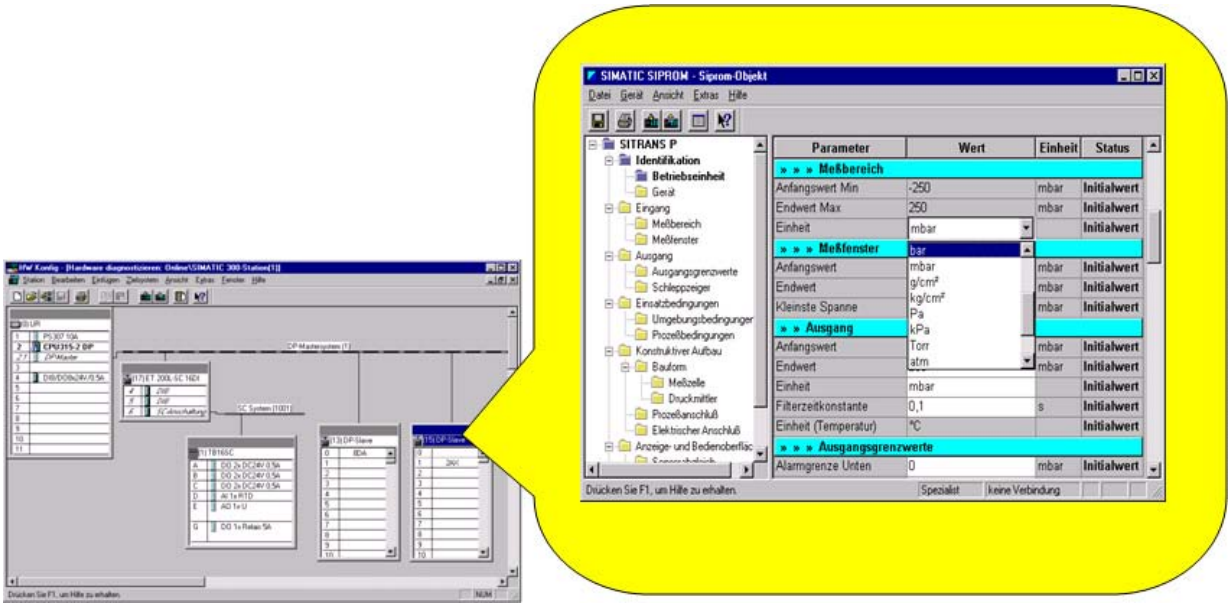


Addr.	Slave	Module name	Type	I Addr.	Type	O Addr.
11	WAGO I/O SYSTEM DP/FMS 1.5	8 Bit binaere Eingaenge	IB	0		
		8 Bit binaere Ausgaenge			QB	0
12	WINbloc 8DI	DP-Kompaktgeraet 8 I	IB	2		
13	WINbloc 4DO/8DO	DP-Kompaktgeraet 4DO/8DO			QB	2
14	WINbloc 3AI/1AO	DP-Kompaktgeraet 3AI/1AO	IW	7	QW	7

Schritt 2.3 Parametrieren

Die Steuerungen und Feldgeräte werden parametriert. Die einzelnen Parameter bestimmen, wie bestimmte Funktionen in den Geräten ausgeführt werden sollen.

© 2009 Max Felser



1.3.3 Schritt 3: Installieren

Oftmals wird die Installation einer Anlage nicht durch die gleichen Personen vorgenommen, wie die Inbetriebnahme. Darum haben wir dies hier als getrenntes Kapitel aufgeführt.

Schritt 3.1 Auslegen
Die Distanzen, vorgesehenen Bitraten und die Anzahl der Stationen bestimmt die Auslegung eines PROFIBUS mit elektrischen, optischen oder eigensicheren Übertragungssystemen. Repeater (Verstärker) und LWL-Konverter erlauben es heute fast beliebige Distanzen zu überbrücken.

Schritt 3.2 Verlegen
Das gewählte Trasse und eine saubere Erdung haben einen grossen Einfluss auf die Störfestigkeit einer PROFIBUS Installation.

Schritt 3.3 Anschliessen
Anschluss-Stecker bilden die Verbindung zwischen dem Kabel und dem Feldgerät und oftmals die Ursache für fehlerhafte Installationen.

Schritt 3.4 Kontrollieren
Für die Kontrolle einer elektrischen Installation sind unterschiedliche Messungen möglich, die in einem weiteren Kapitel aufgeführt sind.

1.3.4 Schritt 4: Inbetriebnahme

Um eine PROFIBUS Installation in Betrieb zu nehmen empfiehlt es sich in folgenden Schritten vorzugehen:

Schritt 4.1 Installiertes Kabel überprüfen
Wenn ein entsprechendes Prüfprotokoll von der Installation vorliegt, kann dieser Schritt übersprungen werden (Siehe Schritt 3.4).

Wir kontrollieren, ob alle Stecker richtig angeschlossen und der Schirm des Kabels überall aufgelegt ist. Nur an den beiden Enden des Kabels darf der Busabschluss eingeschaltet sein. Wir können eine der folgenden Messmethoden anwenden:

- Kabel ausmessen mit einem BT200 oder NetTESTII
- Kabel ausmessen mit einem Ohmmeter (z.B. nach der Anleitung)
- Testsignal auf dem Kabel überprüfen mit dem ScopeWare

Schritt 4.2 Eingestellte Adressen und Erreichbarkeit der Teilnehmer überprüfen

Wir schalten die Speisung aller Feldgeräte ein und kontrollieren, ob die Adressen richtig eingestellt sind und die Teilnehmer somit erreicht werden können. Es können die folgenden Messmethoden eingesetzt werden:

- Wir verwenden den BT200 im Expertenmode oder NetTEST II. Dazu müssen alle Master ausgesteckt werden und der Kabeltester übernimmt die Rolle des Masters.

© 2009 Max Felser

- Wir verfügen über eine Entwicklungsumgebung mit einer On-Line Live-Liste wie z.B. STEP7. Wir kontrollieren ob in dieser Live-List alle angeschlossenen Stationen aufgeführt werden.
- Wir verwenden einen Busmonitor wie z.B. den ProfiTrace und lassen uns die Live-Liste anzeigen. Wir kontrollieren ob die richtigen Geräte auch auf der vorgesehenen Adresse sind.

Schritt 4.3 Korrekte Konfiguration und Parametrierung der Teilnehmer überprüfen

Wenn die Konfiguration und die Initialparameter wiederspruchsfrei sind, werden alle Feldgeräte eine aktive Verbindung mit dem Master anzeigen (normalerweise ein grünes LED) und die Steuerung zeigt keine weiteren Störungen.
Mit einem Busmonitor wie z.B. dem ProfiTrace kann auf der Live-Liste der Zustand der angeschlossenen Feldgeräte mit der grünen Farbe festgestellt werden.

Man beachte: Wenn die Signale am Feldgerät in einem unerlaubten Zustand sind, kann das Feldgerät eine Diagnosemeldung absenden. Dies wird oftmals in der Steuerung und/oder im Feldgerät mit einem roten Diagnose-LED signalisiert. Dies bedeutet aber nicht, dass der PROFIBUS nicht richtig funktioniert! Beim ProfiTrace wird das Anstehen einer Diagnosemeldung mit einem kleinen roten Punkt dargestellt.

Schritt 4.4 Qualität der Übertragung überprüfen

Wenn eine PROFIBUS Installation ohne Anzeige von Fehler-LEDS funktioniert, bedeutet dies nicht auch eine fehlerfreie Funktion (vergleiche dazu auch den Fachartikel). Wir können mit einem Busmonitor wie dem ProfiTrace genauere Messungen durchführen:

- Wie gross ist die aktuelle Zykluszeit des PROFIBUS-DP?
- Wie oft werden die Telegramme von der Steuerung wiederholt?

Sobald die Anzahl der Telegrammwiederholungen 2-5 pro 5 Minuten überschreitet muss die Installation überprüft werden!

1.4 Risiko

Vermehrt wird der PROFIBUS auch in kritischen Anwendungen eingesetzt. Es besteht dabei immer ein Risiko, dass die geforderten Funktionen nicht erfüllt werden können. Dieses Risiko kann durch gezielte Massnahmen reduziert werden. Im Vordergrund stehen dabei die beiden folgenden Zielsetzungen:

1. Sicherstellung der Funktionellen Sicherheit (Safety)
   Das System soll bei einem Fehler in einen sicheren Zustand gehen.

2. Erhöhung der Verfügbarkeit (Availability)
   Das System soll bei einem Fehler die eventuell reduzierte Funktion noch erbringen können.

Diese beiden Ziele können sich dabei gegenseitig behindern oder auch ergänzen.

1.4.1 Funktionelle Sicherheit

Die funktionelle Sicherheit wird auf Englisch als Safety bezeichnet. Es umfasst alle Massnahmen zum Schutz von Menschen, Resourcen und der Umwelt vor einem Schaden. Der Ersteller einer Maschine oder Anlage muss alle Massnahmen treffen, um einen solchen Schaden möglichst zu verhindern. In der Praxis muss das bestehende Risiko mit der Hilfe von technischen Massnamen auf ein akzeptables Restrisiko reduziert werden.

Beim PROFIBUS haben wir schon eine akzeptable Sicherheit (vergleiche dazu das Kapitel FDL: Datenübertragung - Fehlerbehandlung). Dies ist für den Einsatz in der klassischen Fernwirktechnik genügend.

Für den Einsatz bei der Maschinensicherheit sind zusätzliche Massnahmen erforderlich. Dabei wird bei der Datenkommunikation zusätzliche Redundanz angefügt und bei einem festgestellten Fehler in einen sicheren Zustand geschaltet. Das System ist "failsafe".

Die Festlegungen des PROFIBUS zur funktionellen Sicherheit sind unter Überbegriff PROFIsafe bekannt. Einen sehr guten Einstieg in diese Thematik gibt dabei die Technische Broschure der PNO:

© 2009 Max Felser

TB 4.34 PROFIsafe Systembeschreibung	Beschreibung des Profils PROFIsafe und dessen Anwendung. Ausgabe November 2007.

Dieses Profil ist heute auch in den IEC Normen festgeschrieben:

IEC 61784-3-3:2007 Part 3-3: Functional safety fieldbuses - Additional specifications for CPF 3	In dieser Norm wird das PROFIsafe Profil für PROFINET und PROFIBUS festgeschrieben. Dabei wird PROFIBUS als CPF3 bezeichnet.

1.4.2 Erhöhte Verfügbarkeit

Vor allem in der Verfahrens- und Prozesstechnik haben wir oftmals hohe Anforderungen an die Verfügbarkeit der Automatisierung. Der PROFIBUS ist oftmals nur mit 1% an der gesamten Ausfallwahrscheinlichkeit beteiligt. Darum bietet es sich an, die gesamte Struktur der Automatisierung gesamthaft zu betrachten.

Die Verfügbarkeit kann erhöht werden, indem diejenigen Teile die am wahrscheinlichsten Ausfallen und deren Fehlen die Funktion verunmöglichen Redundant ausgeführt werden. Oftmals bedeutet dies, dass kritische Teile doppelt ausgeführt werden.

In einer klassischen Steuerungsstruktur mit dem PROFIBUS können somit die folgenden Teile redundant ausgeführt sein:

- Redundante Steuerungen (Master der Klasse 1)
- Redundante Feldgeräte (DP-Slave) als Sensoren oder Aktuatoren
- Einzelne Segmente des PROFIBUS
- Das ganze PROFIBUS Netzwerk

Die Redundanz des PROFIBUS kann dabei als paralleles Kabel (bei RS485) oder als Ringtopologie (MBP oder LWL) ausgeführt werden.

Die Funktionen von redundanten Steuerungen wird als technische Schlüsselfunktion für die Hersteller beurteilt und darum nicht normiert. Für die Anschaltung eines DP-Slave an zwei redundante PROFIBUS Netzwerke ist die Herstellerübergreifende Funktion wichtig und darum in einem Profil festgelegt.

1.5 Werkzeuge

Für die Inbetriebnahme von PROFIBUS Netzwerken sind unterschiedliche Werkzeuge verfügbar. Hier sollen ein paar solche vorgestellt werden.

GSD Editoren
Mit diesen Programmen lassen sich GSD-Dateien erstellen und kontrollieren.

Kontrolle der Installation
Mit diesen Werkzeugen lassen sich die Installation eines PROFIBUS überprüfen.

Busmonitore
Werkzeuge zur Kontrolle der Telegramme auf einem PROFIBUS.

Simulatoren
Mit der Hilfe eines Simulators oder Testwerkzeuges können die Funktionen eines Masters simuliert und die Funktionen einer PROFIBUS Installation oder einzelnen PROFIBUS Gerätes getestet werden.

1.5.1 GSD Editor

Mit einem GSD Editor können einfach GSD Dateien erstellt und deren Syntax und Semantik überprüft werden.

© 2009 Max Felser

Wir haben die folgenden Produkte getestet:

Bezeichnung	**GSDEditor V5.0**
Hersteller	PROFIBUS International www.profibus.com
Nutzen	Erstellen und kontrollieren von GSD Dateien inklusive der Revision 5.
Einschränkungen	Kostenlos für Mitglieder bei der PROFIBUS Organisation.
Link	www.profibus.com

Bezeichnung	**GSDEditor V4.1**
Hersteller	PROFIBUS International www.profibus.com
Nutzen	Erstellen und kontrollieren von GSD Dateien der Revision 2.
Einschränkungen	Revisionen 3, 4 und 5 der GSD Syntax werden noch nicht unterstützt.
Link	Das Programm zum installieren.

Bezeichnung	**GSDChecker**
Hersteller	Siemens
Nutzen	Kontrolle der Syntax der GSD Dateien.
Einschränkungen	Einfaches Programm, gibt nur die fehlerhafte Zeile an. Dies ist nicht immer sehr hilfsreich.
Link	Der Code zum direkten ausführen.

1.5.2 Busmonitore

Mit einem Busmonitor können die Telegramme auf dem PROFIBUS aufgezeichnet werden.

Wir haben die folgenden Produkte getestet:

Bezeichnung	**ProfiTrace**
Hersteller	PROCENTEC, Holland www.procentec.com
Hardware	Verwendet separate Hardwarebox ProfiCore über USB Schnittstelle.
Nutzen	Schnelle Übersicht, einfach zu bedienen, gutes Preis-Leistung Verhältnis. Erweiterbar mit Plug-Ins
Einschränkungen	Keine Decodierung des FMS Protokolls.
Link	www.profitrace.ch

Bezeichnung	**SCOPE**
Hersteller	Trebbing & Himstedt
Hardware	PC Karte von Siemens wie z.B. CP5611 (PCI) oder CP5512 (PCMCIA)
Nutzen	Die Demo-Version erlaubt die Analyse von schon aufgezeichneten Telegrammen (für Ü bungen eingesetzt).
Einschränkungen	Vollversion erfordert USB Dongel oder Software-Lizenz die nicht einfach zu handhaben ist. Treiber kann sich mit Siemens Treiber verklemmen (kann nicht gleichzeitig installiert sein).

Bezeichnung	**ANALYSER**
Hersteller	Softing
Hardware	Spezielle Hardware erforderlich.
Nutzen	Hochleistungsmonitor, kann alles decodieren. Sehr viele Einstellmöglichkeiten.
Einschränkungen	Unterschiedliche Hardware für PCI oder Laptop.

Bezeichnung	**AMPROLYZER**
Hersteller	Siemens
Hardware	PC Karten CP5611 oder CP5511 von Siemens.
Nutzen	Dieser Busmonitor wird von Siemens kostenlos zur Verfügung gestellt. Er erlaubt die

© 2009 Max Felser

Aufzeichnung der Telegramme auf dem PROFIBUS.

Einschränkungen Die Decodierung ist nur bis zum Link Layer (FDL)implementiert. Läuft nur unter Win9x. Es darf auf keinen Fall vorher mit einer STEP 7 Programmierumgebung auf die PC Karte zugegriffen werden, sonst blockiert der PC.

Link
Handbuch auf Deutsch
Original Handbuch auf Englisch
Das Programm zum ausführen

1.5.3 Master Simulatoren

Mit einem Simulator können die Funktionen eines Masters am PROFIBUS simuliert werden.

Wir haben die folgenden Produkte getestet:

Bezeichnung **ProfiCaptain**
Hersteller PROCENTEC, Holland www.procentec.com
Hardware Verwendet Hardwarebox ProfiCore über USB Schnittstelle.
Nutzen Einfache Erstellung eines PROFIBUS-DP Projektes und Diagnose des Netzwerkes und der Feldgeräte. Kann einem bestehenden Master der Klasse 1 einen DP-Slave wegnehmen.
Einschränkungen Unterstützt nicht alle DP-V1 Funktionen.
Link www.profitrace.ch

Bezeichnung **ProfiScript**
Hersteller PROCENTEC, Holland www.procentec.com
Hardware Verwendet Hardwarebox ProfiCore über USB Schnittstelle.
Nutzen Umfassendes Werkzeug für Funktionstest durch Experten. Erlaubt die Abarbeitung von Testsripts für Zertifizierungstests.
Einschränkungen Ideal für erfahrene PROFIBUS Entwickler.
Link www.profitrace.ch

Bezeichnung **PROFItester**
Hersteller PICC Burgdorf (Eigenentwicklung)
Hardware Benötigt Siemens PC Karte (CP5611 oder CP5512) mit SINEC-FDL Treiber.
Nutzen Erlaubt einzelne DP-V0 und DP-V1 Telegramme zu senden. Kann einen DP-Slave kontrollieren.
Einschränkungen Prototyp, nicht vollständig getestet.
Link Detailbeschreibung

Bezeichnung **DIAmon**
Hersteller Weidmüller
Hardware Spezieller RS 232 - RS 485 Konverter an serieller Schnittstelle.
Nutzen Simulation eines einfachen DP-V0 Masters in einem single Master System (ohne Token Passing).
Einschränkungen DOS Programm, Bitrate auf 19,2 kBit/s beschränkt, wird nicht mehr hergestellt.

Weitere Mastersimulatoren, ohne praktische Erfahrungen am PICC Burgdorf:

Bezeichnung **PROFIBUS-Tester**
Hersteller itm, München
Hardware Verschiedene Schnittstellenkarten werden unterstützt.
Nutzen Universelles und leistungsfähiges PC-basiertes Prüfsystem für den entwicklungsbegleitenden Test, Typtest und Serientest intelligenter Feldgeräte. Die Testfälle lassen sich einfach in TCL oder C programmieren, ebenso lassen sich beliebige Schnittstellenkarten integrieren.
Mit dem im itm-Testlabor erprobten Testfällen PROFItest-DP und PROFItest-PA wird der PROFIBUS-Tester mit seiner umfangreichen Diagnosefähigkeit und Testprotokollierung

	zum akkreditierten Zertifizierungstester für PROFIBUS-DP - und PROFIBUS-PA-Geräte. PROFIdrive und PROFIsafe sowie andere PROFIBUS-Weiterentwicklungen werden laufend ergänzt, ebenso graphische Testfall-Beschreibungen.
Einschränkungen	Profi-Werkzeug für Produkteentwicklungen.

Bezeichnung	**PROFIBUS-DP-Mastersimulator**
Hersteller	Bihl und Wiedemann www.bihl-wiedemann.de
Hardware	Spezieller RS 232 - RS 485 Konverter an serieller Schnittstelle, PROFIBUS UART (Art.-Nr. BW1131/BW1257)
Nutzen	Erlaubt die Kontrolle eines einzelnen DP-Slave. Einschliesslich DLL und Beispiel im Source Code für .NET und Win32.
Einschränkungen	Bitrate auf 19,2 kBit/s beschränkt.

1.5.3.1 PROFItester

PROFItester : Programm zum kontrollieren eines PROFIBUS Slave

Eigenentwicklung des PROFIBUS Kompetenzzentrums an der BFH.

Eigenschaften
Mit diesem Programm können die Grundlegenden Funktionen eines PROFIBUS Masters simuliert und ein PROFIBUS Slave kann getestet werden.

Version 1.0.1 enhält:
- MS0 zyklische Slave Kontrolle
- Batch und Log Dateien
- MS2 lesen und schreiben von azyklischen Daten
- Oberfläche für zyklische PROFIdrive Daten zur Kontrolle eines Antriebes

Version 1.0.2 enthält auch ein MS1 Alarmhandling.

Einschränkungen
- Damit diese Software eingesetzt werden kann muss auf dem PC eine Karte von Siemens installiert sein, oder ein serielles Kabel von Weidmüller und der beiliegende Treiber.
- Getestet wurde die Software mit dem CP5512, dem CP5611 und dem CP5412-A2. Die Funktion mit einem CP5613 kann nicht garantiert werden.
- Diese ersten Versionen sind nicht vollständig getestet, d.h. es können Einschränkungen auftreten.

Diese Software ist nicht für einen produktiven Betrieb gedacht, sondern nur für Tests und Ausbildungszwecke! Es wird keine Gewähr für eine korrekte Funktion übernommen. Einsatz auf eigene Verantwortung.

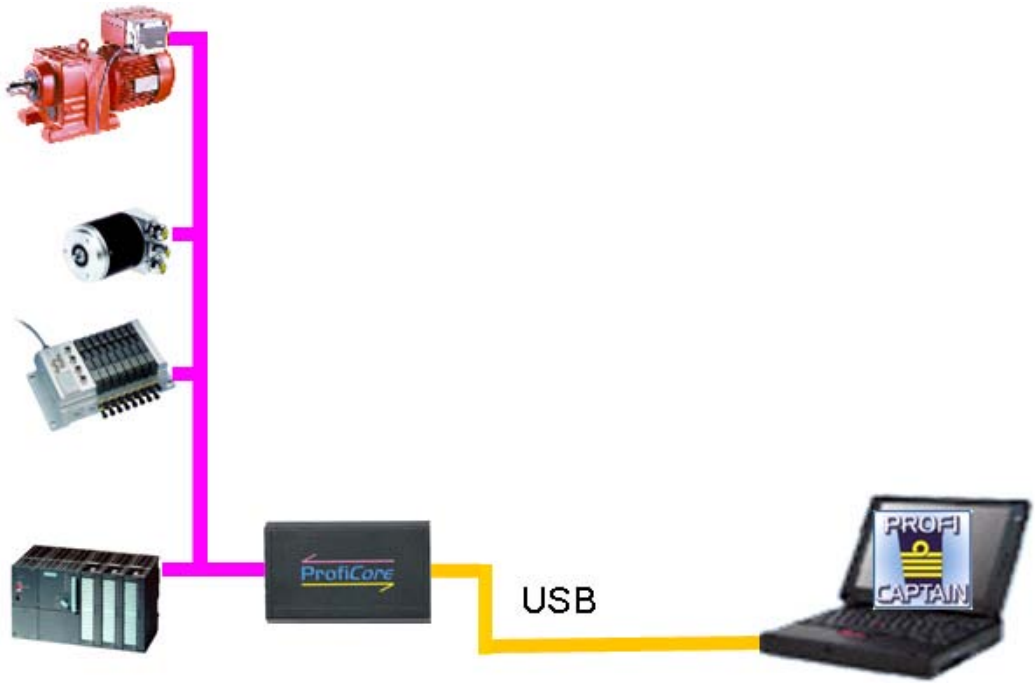
Gerne nehmen wir Hinweise auf Fehlverhalten und Anregungen für Erweiterungen entgegen.

1.5.3.2 ProfiCaptain

ProfiCaptain ist ein PC-gestützter DP Mastersimulator, der zusammen mit einem PC oder Notebook mit USB-Schnittstelle unter den Betriebssystemen Windows 98(SE), 2000 oder XP eingesetzt werden kann.

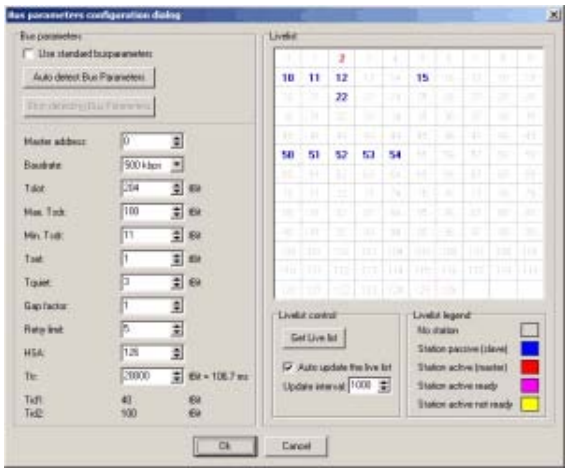
Messaufbau
Der ProfiCaptain wird mit einem ProfiCore über die USB Schnittstelle an ein PROFIBUS Netzwerk angeschlossen:

© 2009 Max Felser



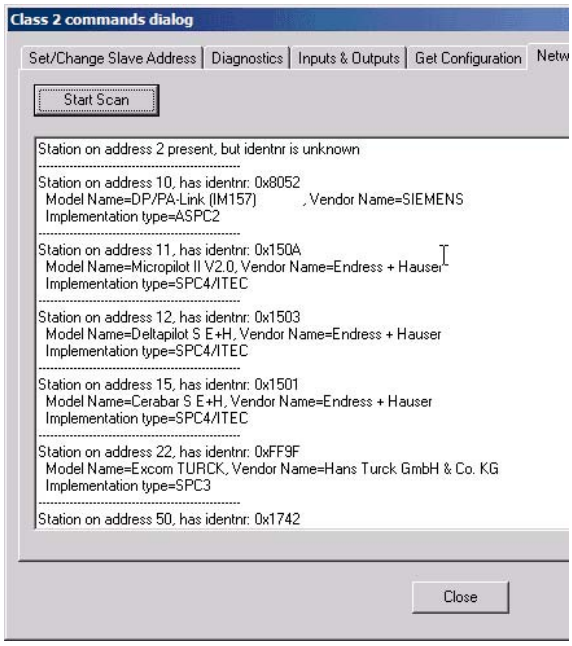
Der ProfiCaptain wird zusätzlich zum Master aufgeschaltet.

Angeschlossene Teilnehmer erkennen



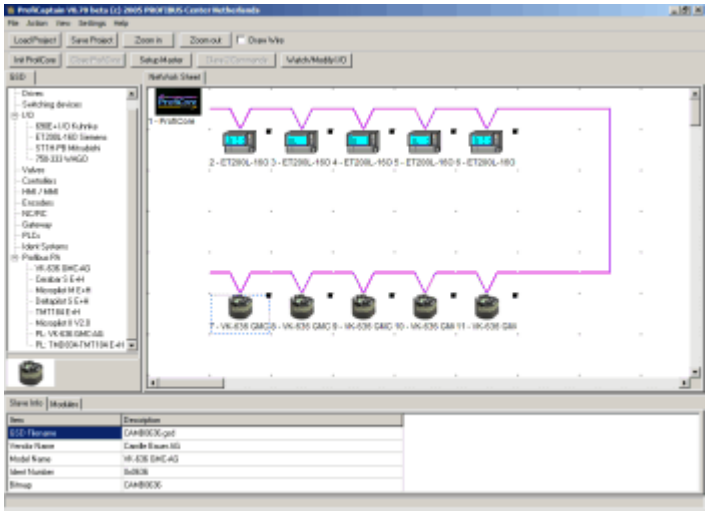
Auf einer Livelist können die eingestellten Busparameter und die Live-List der angeschlossenen Stationen aufgelistet werden.

© 2009 Max Felser



- Erzeugen der Liste der angeschlossenen Geräte mit Ident-Nummern
- Darstellung der Diagnoseinformationen
- Direkter Zugriff auf Ein- und Ausgabedaten

Anlageplanung



Im Konfigurationsfenster kann der Anwender seine Profibus-Slaves mit den zugehörigen Modulen und Parametern einrichten und sie - ohne Kompilierung oder Download - Online stellen. Die I/Os können leicht überwacht und verändert werden. Bei Bedarf können Klasse 2 Funktionen auf alle Adressen im Netz angewandt werden, auch wenn sie nicht konfiguriert wurden oder zu einem anderen Master gehören.

1.6 Literatur

Systembeschreibungen

PROFIBUS International gibt seit mehreren Jahren eine PROFIBUS Systembeschreibung heraus. Diese Beschreibung umfasst in ca. 40 Seiten eine Zusammenfassung der wichtigsten Eigenschaften und eignet sich gut zum einlesen in das Thema PROFIBUS. Es sind Übersetzungen in mehreren Sprachen verfügbar unter www.profibus.com.

Bücher

Popp, Manfred: **PROFIBUS - DP/DPV1** Grundlagen, Tipps und Tricks für Anwender, Huethig, 2. Auflage 2000, 3-7785-2781-9
DAS Buch auf dem Markt über PROFIBUS-DP

Weigmann , Joseph; Kilian, Gerhard: **Dezentralisieren mit PROFIBUS-DP,** Aufbau, Projektierung und Einsatz des PROFIBUS-DP mit SIMATIC S7 Siemens, 3. Auflage 2002, 3-89578-189-4
Gute Anleitungen für die Arbeit mit Siemens Produkten.

Kriesel, Werner; Heimbold, Tilo; Telschow, Dietmar: **Bustechnologien für die Automation** Vernetzung,

Auswahl und Anwendung von Kommunikationssystemen, Hüthig, 2. Auflage 2000, 3-7785-2778-9
Enthält auch ein Kapitel über den PROFIBUS. Nicht alles auf dem neusten Stand.

Berge J **Fieldbuses for Process Control,** ISA, 2002
Gute Übersicht über Feldbusse in der Prozessautomation

© 2009 Max Felser

2 Übertragungstechnik

PROFIBUS wird für unterschiedliche Anwendungsgebiete eingesetzt und verwendet darum unterschiedliche Übertragungstechniken. PROFIBUS DP und PROFIBUS FMS verwenden beide die RS 485 Übertragung. Zusätzlich kann eine optische Übertragung über Glas- oder Kunststoff Lichtwellenleiter (LWL) eingesetzt werden (engl. auch Fiber-Optics FO). PROFIBUS PA nutzt eine spezielle Übertragungstechnik MBP (= Manchester Bus Powered) die auch die Speisung der Feldgeräte über den Bus erlaubt. RS 485-IS und MBP-IS sind zwei Versionen mit eigensicherer Übertragung.

Für die Übertragungstechnik wird ein Typ festgelegt. In der IEC 61784 sind für den PROFIBUS die folgenden Typen Festgelegt:

Typenbezeichnung	Übertragungstechnik
0	Kupferleitungen mit RS 485
1	synchrone MBP
2	LWL Kunststoff
3	LWL Glas
4	LWL HCS

In dem elektronischen Datenblatt, der GSD Datei, wird die Übertragungstechnik unter dem Schlüsselwort **Physical_Interface** festgelegt. Wenn dieses Schlüsselwort in der GSD nicht verwendet wird, wird nur eine RS485 Schnittstelle angeboten. Andere Schnittstellen können mit Werten nach obenstehender Tabelle angegeben werden. Zusätzliche können Verzögerungszeiten der Treiber angegeben werden:

```
Physical-Interface = 1              ; synchrone MBP nach IEC61158-2
Transmission_Delay_31.25 = 0
Reaction_Delay_31.25     = 0
End_Physical_Interface
```

Für den Übergang zwischen den verschiedenen Übertragungstechniken stehen Koppler, Links oder LWL-Konverter zur Verfügung. Während Koppler und Konverter das Protokoll unter Beachtung der physikalischen Gegebenheiten transparent umsetzen, verfügen Links über eigene Intelligenz und bieten dadurch erweiterte Möglichkeiten für die Konfiguration von PROFIBUS-Netzen.

2.1 Elektrische Übertragungstechnik

RS 485 nach ANSI TIA/EIA 485-A ist eine erprobte und vielfach eingesetzte Übertragungstechnik die zum Verbinden von bis zu 32 Stationen über Distanzen bis zu 1,2 km mit einem Segment (= einem Stück Kabel) eingesetzt werden kann. Die RS 485 Übertragungstechnik verwendet zweiadrige Kabel. Die Installation ist einfach und erlaubt schnelle Datenkommunikation bis zu einer Bitrate von 12 Mbit/s (Dabei reduziert sich die maximale Distanz mit der hohen Bitrate).

Bedeutet dies, dass nur 32 Stationen an ein PROFIBUS Netzwerk angeschlossen werden können? Nein, die Begrenzung von 32 Stationen durch RS 485 wird mit Repeater (Verstärker) und LWL Verbindungen überwunden. Die einzelnen Segmente bleiben dabei elektrisch isoliert. Das gesamte Netzwerk kann so wesentlich mehr Stationen umfassen und weitere Distanzen überbrücken als dies durch RS 485 vorgegeben wird.

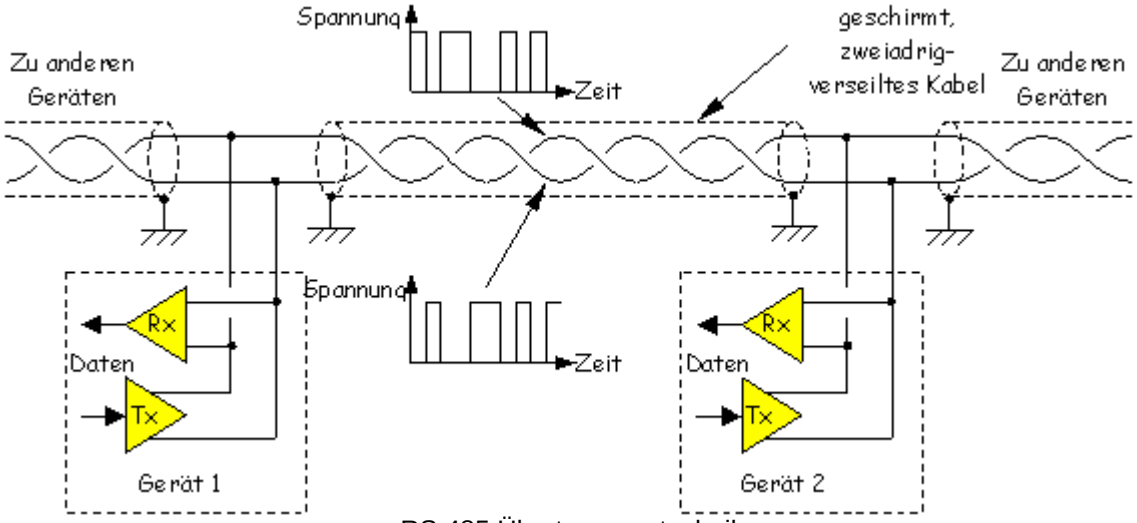
Innerhalb von einem elektrischen Segment zählen alle Geräte und Verstärker (Repeater) für die 32-Stationen Grenze. Dies bedeutet, dass wenn an einem Segment zwei Repeater angekoppelt werden, nur noch 30 Geräte an dieses Segment angeschlossen werden dürfen. Es wird in der Praxis empfohlen, immer 10% der Kapazität pro Segment für zukünftige Erweiterungen und/oder den Anschluss von Diagnosewerkzeugen als Reserve einzuplanen.

Je nach eingesetztem Produkt dürfen nur eine begrenzte Anzahl n von Repeater zwischen zwei Stationen geschaltet werden. Dies bedeutet, dass maximal n+1 Segmente hintereinander geschaltet werden können. Diese Begrenzung liegt je nach Produkt bei n = 3, 4 oder 9. Bei Repeatern mit der notwendigen Signalregeneration fallen diese Begrenzungen weg.

© 2009 Max Felser

2.1.1 Elektrische Übertragung

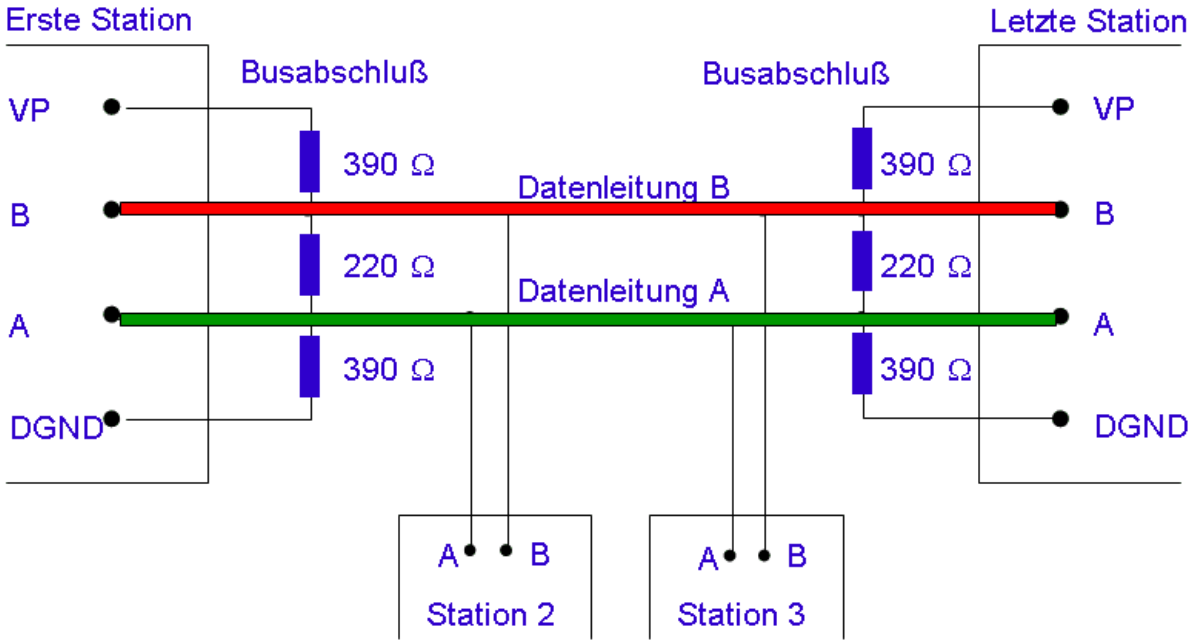
RS 485 ist ein **symmetrisches** (balanced) Zweileiter Übertragungssystem: Die Information wird durch die Spannungsdifferenz zwischen den beiden Leitern und nicht durch die Spannung eines Leiters gegen Masse oder Erde übertragen. Symmetrische Zweidrahtleitungen sind viel weniger empfindlich gegen Störungen als Eindraht- oder unsymmetrische Leitungen. RS 485 ist eine Mehrfachverbindung (Multidrop), d.h. es können mehrere Stationen am gleichen Kabel Senden und Empfangen (aber Senden darf nur eine Station gleichzeitig!).



RS 485 Übertragungstechnik

Alle Teilnehmer an unserem PROFIBUS sind im Ruhezustand hochohmig an den Bus angeschlossen: Die Empfänger belasten den Bus nur wenig und die Sender gehen, wenn sie nicht aktiv sind, in einen hochohmigen Zustand (tri-state).

Das Buskabel kann somit jede beliebige Spannung annehmen was zu undefinierten Zuständen führen kann oder sogar zur Zerstörung der einzelnen Treiberbausteine. Um diesem Zustand vorzubeugen, werden aktive Busabschlüsse eingesetzt. Der Busabschluss ist als Spannungsteiler ausgeführt und stellt einen Ruhepegel von ca. 1 V als Vorspannung auf dem Kabel sicher. Für die sichere Funktion des PROFIBUS muss mindesten ein Abschluss gespiesen sein. Für die einfachere Projektierung werden beide Abschlüsse als aktive Abschlüsse ausgeführt.



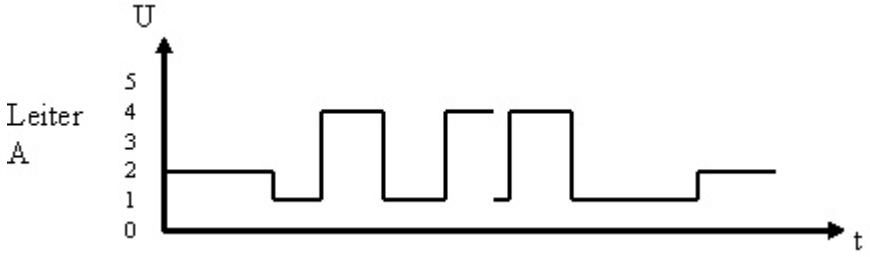
Schema RS485

Die Steckerbelegung sieht die Herausführung dieser Speisungssignale im Stecker vor, so dass der aktive Abschluss direkt im Kabelstecker ausgeführt werden kann. Wenn der Stecker nun vom Gerät ausgezogen wird, bleibt der Abschluss am Kabel und der Bus bleibt somit abgeschlossen, verliert aber eine seiner beiden Speisungen.

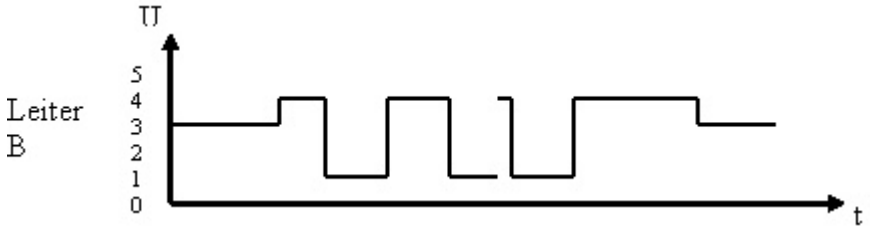
Wenn nicht sichergestellt werden kann, dass bei laufendem Betrieb nicht immer mindestens eine Speisung aktiv ist, so ist eine getrennte Speisung des Busabschlusses vorzusehen. Entsprechende aktive Busabschlüsse als Einzelgerät sind auf dem Markt erhältlich.

2.1.1.1 Elektrische Pegel

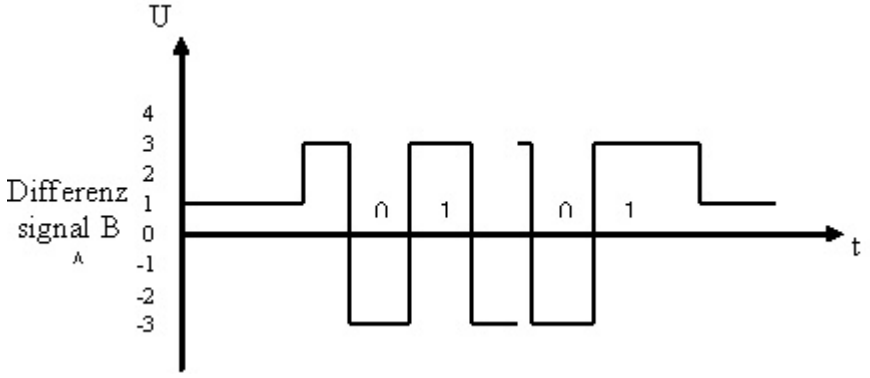
Wir können den Verlauf der Spannungen am **Leiter A** messen:
Ruhezustand: ca. +2 V
Sendezustand:
Minimale Spannung ca. +1
Maximale Spannung ca. +4 V



Der Verlauf der Spannungen auf dem **Leiter B** ist vergleichbar:
Ruhezustand: ca. +3 V
Sendezustand:
Minimale Spannung ca. +1V
Maximale Spannung ca. +4V



Die Spannungsdifferenz zwischen High- und Low-Pegel, gemessen zwischen B und A, sollte zwischen 4 V und 7 V liegen. Dabei sollte der positive und negative Spannungswert etwa gleich gross sein. Der Unterschied zwischen den beiden Werten liegt in der Praxis bei etwa 0,5 V. Der Ruhepegel sollte ca. 1 V betragen.



Der Ruhezustand wird durch den aktiven Busabschluss definiert.

© 2009 Max Felser

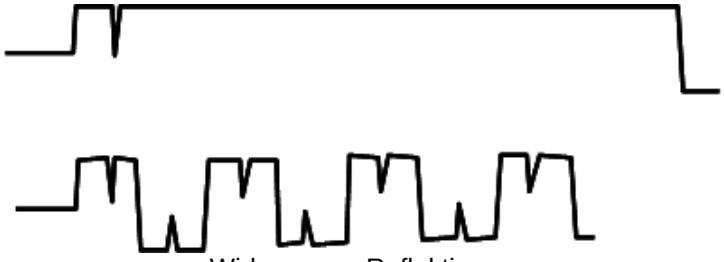
2.1.2 Reflektionen und Busabschluss

Wenn elektrische Signale sich entlang einem Kabel ausbreiten verursacht jede Veränderung der Leitungseigenschaften, wie z.B. zusätzliche Widerstände oder Kapazitäten, eine Reflektion. Reflektionen sind in Datenleitungen mit hohen Bitraten zu vermeiden, da die Datensignale durch Reflektionen verfälscht oder sogar zerstört werden können.

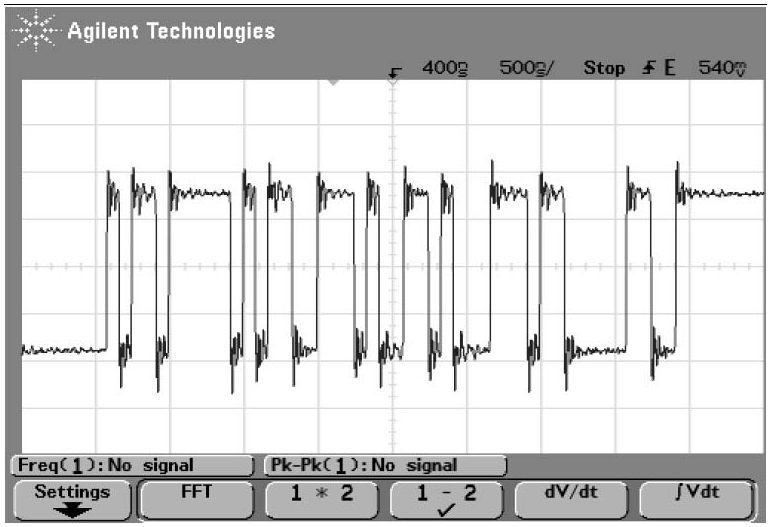
2.1.2.1 Reflektionen

Die elektrischen Signale breiten sich auf den Leitungen mit einer endlichen Geschwindigkeit von ca. 2/3 der Lichtgeschwindigkeit aus. Sie brauchen somit für einen Meter ca. 5 ns. Ein Kabel von 1200 Meter Länge wird somit in ca. 6 µs durchschritten.

Die elektrische Energie kann an einem Kabelende nicht einfach verschwinden, sondern kommt wieder zurück. Man spricht von den sogenannten Reflektionen. Das reflektierte Signal überlagert sich mit dem hinlaufenden Signal und kann dazu führen, dass das ursprüngliche Signal zerstört wird. Reflektionen treten für einen Teil der Signalleistung auch auf, wenn die Eigenschaften der Leitung sich verändert indem z.B. zwei unterschiedliche Kabel zusammengeschaltet werden. Diese Reflektionen treten grundsätzlich bei allen Bitraten auf. Die Wirkung ist aber unterschiedlich. Bei hohen Bitraten, d.h. kurzen Bitzeiten ist die Wirkung gravierender.

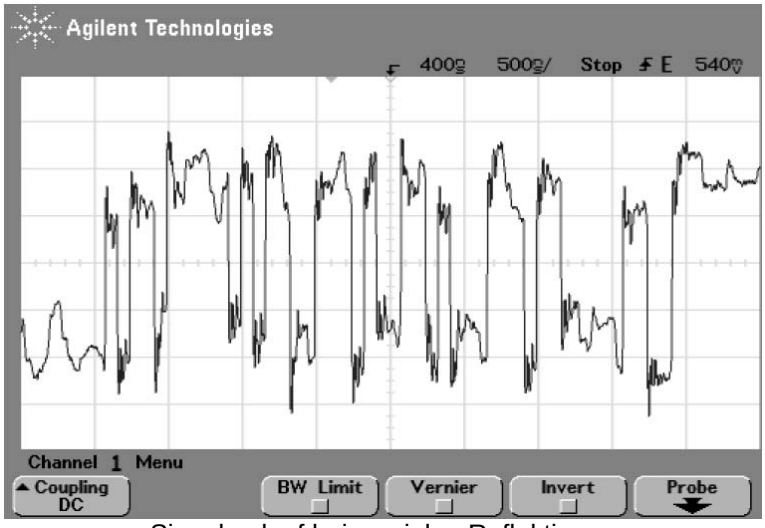


Wirkung von Reflektionen
- oben: tiefe Bitrate
- unten: hohe Bitrate



Signalverlauf mit wenig Reflektionen

© 2009 Max Felser



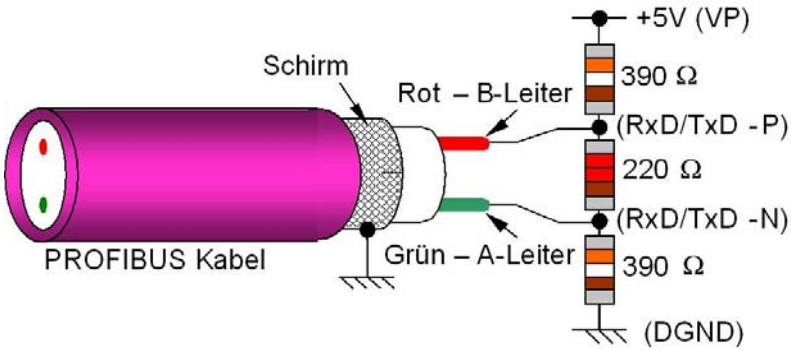
Signalverlauf bei zu vielen Reflektionen

Als Gegenmassnahme werden Leitungsabschlüsse eingesetzt. Die Leitungsabschlüsse haben die Aufgabe, die Energie des elektrischen Signals aufzunehmen und somit Reflektionen am Kabelende zu vermeiden. Die optimalsten Resultate erreicht man, wenn der Abschluss gleich gross wie die Wellenimpedanz des Kabels ist. Dieser Abschluss muss an beiden Enden des Kabels angebracht werden.

Die Busleitung kann mit einem Induktivitätsbelag und einem Kapazitätsbelag modelliert werden. Jeder Anschluss an ein solches Kabel stellt somit eine Veränderung der Kabeleigenschaften dar und kann zu Reflektionen führen. Dies gilt insbesondere für Stichleitungen zum Anschluss der Feldgeräte: Sie sind für das Buskabel wie ein zusätzlicher Kapazitätsbelag.

2.1.2.2 Busabschluss für RS 485

Wenn am Ende eines Kabels ein Widerstand in der Größenordnung des Leitungswiderstandes angeschlossen wird, werden die Reflektionen reduziert. Der Widerstand absorbiert die Energie des Signals und reduziert die Reflektionen (theoretisch bis auf Null). PROFIBUS DP/FMS verwendet einen aktiven Busabschluss mit 5V Speisung nach folgendem Schema:



Busabschluss bei PROFIBUS DP/FMS

Diese Busabschlüsse werden

- in den D-Sub Stecker integriert
- in einem M12 Busabschluss integriert
- in einem speziellen aktiven Busabschluss angeschaltet
- in den Geräten eingebaut und bei Bedarf eingeschaltet (nicht mehr empfohlen und für 12 MBit/s nicht zugelassen).

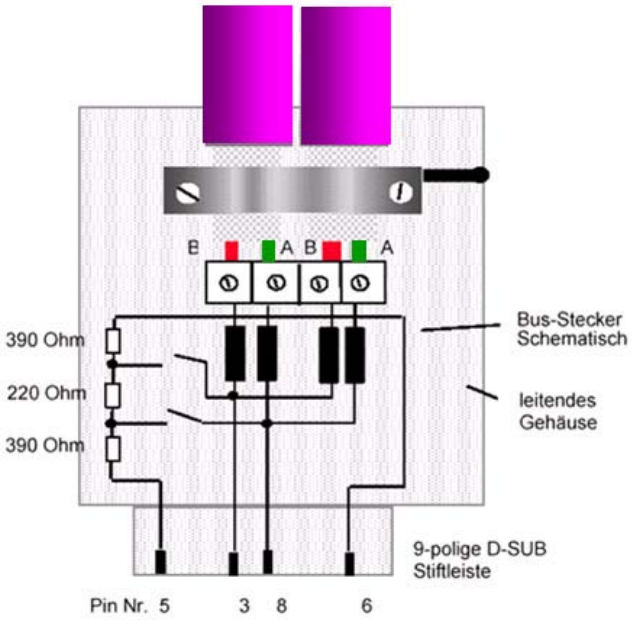
Es ist wesentlich für die korrekte Funktion eines Segments, dass beide Enden einen Abschluss haben, aber keine zusätzlich Abschlüsse vorhanden sind. Der Bus kann dabei nur richtig funktionieren, wenn die Abschlüsse dauernd mit Spannung versorgt werden - sogar wenn Teile einer Anlage ausgeschaltet wurden - sonst können Reflektionen eine Kommunikation der noch am Netzwerk verbleibenden Stationen verunmöglichen und der Ruhe-Spannungspegel (ca. 1 V) wird nicht eingehalten.

© 2009 Max Felser

Oftmals sind falsche Busabschlüsse die Ursache für Kommunikationsprobleme.

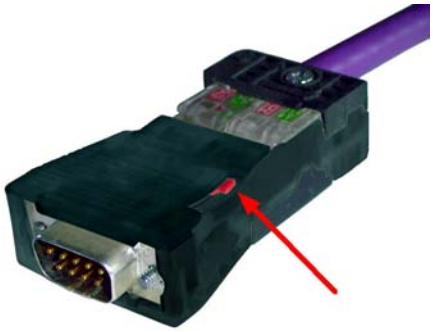
2.1.2.2.1 Busabschluss im Stecker

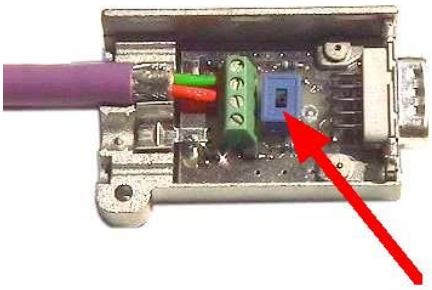
Der Busabschluss wird in der Regel in den D-Sub Stecker integriert.



Stecker mit eingebautem Stecker

Mit einem Schalter am Stecker kann der Busabschluss ein- oder ausgeschaltet werden.





2.1.2.2.2 Aktiver Busabschluss

Der aktive Busabschluss wird als getrennte Komponente im Schaltschrank montiert. Dieser Busabschluss ist einfacher zu identifizieren als ein Schalter auf einem Stecker und durch geeignete Massnahmen kann sichergestellt werden, dass er immer mit Speisung versorgt wird.

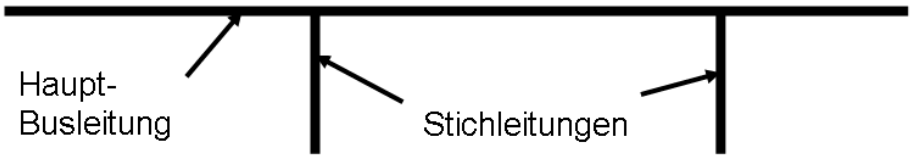
Geeignete Modelle verfügen über eine redundante Einspeisung und Stecker für den Anschluss von Diagnosewerkzeugen.

Busleistungen werden über Klemmen angeschlossen, da der Busabschluss als Teil der Infrastruktur nicht regelmässig ein und ausgesteckt werden muss. Steckbare Klemmen vereinfachen aber die Messung des verlegten Kabels.

© 2009 Max Felser

2.1.2.3 Stichleitungen bei RS 485

Stichleitungen (mit T-Stücken) sind Abzweigungen vom Hauptsegment.

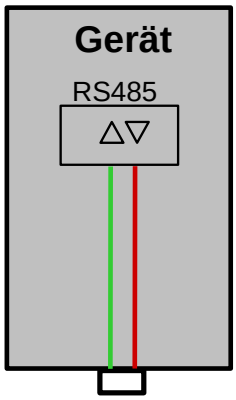


Stichleitungen sind grundsätzlich nicht erlaubt, wenn Bitraten über 1.5 Mbit/s eingesetzt werden. Bei Bitraten von 1.5 Mbit/s dürfen Stichleitungen eingesetzt werden, wenn sie die in der untenstehenden Tabelle angegebenen Grenzen nicht überschreiten. **Bei Stichleitungen wird kein zusätzlicher Busabschluss eingesetzt.**

Bitrate	Gesamte erlaubte Kapazität	Summe der Stichleitungslängen*
>1.5Mbit/s	Keine	Keine
1.5Mbit/s	0.2 nF	6.7m
500kbit/s	0.6 nF	20m
187.5kbit/s	1.0 nF	33m
93.75kbit/s	3.0 nF	100m
19.2kbit/s	15 nF	500m

* Berechnet mit einem PROFIBUS Kabel Typ A mit 30pF/m

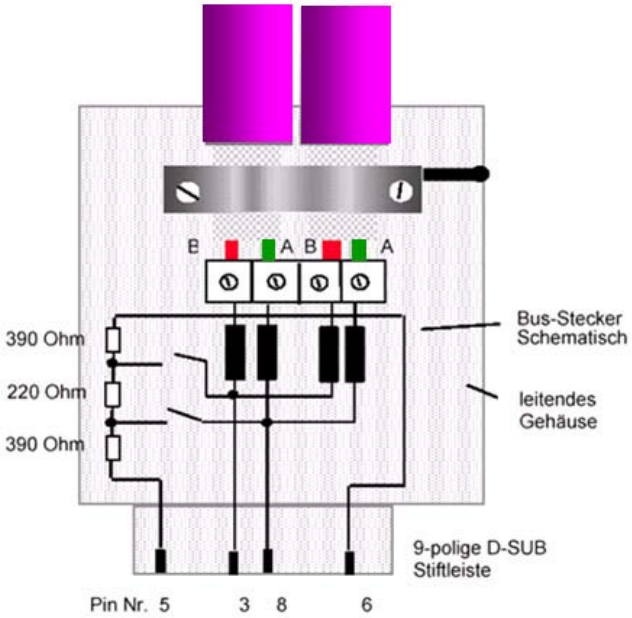
Beachte dass die hier aufgeführten Längen die Summe aller Stichleitungen von einem Segment darstellen. Davon abzuziehen ist die Stichleitung in jedem Gerät zwischen der Steckbuchse und dem RS 485 Leitungstreiber.



Es handelt sich bei diesen Zahlen um die Summe der Stichleitungen, d.h. bei einem Kabel mit 187,5 kbit/s und 32 angeschlossenen Geräten darf pro Gerät die Stichleitung durchschnittlich ca. 1 Meter lang sein. Bei Bitraten über 1.5 Mbit/s sind Stichleitungen verboten. Die am Markt angebotenen Stecker bieten die Möglichkeit, das kommende und das gehende Datenkabel direkt im Stecker zu verbinden. Dadurch werden Stichleitungen vermieden und der Busstecker kann jederzeit, ohne Unterbrechung des Datenverkehrs, am Bus auf- und abgesteckt werden.

Dies ist in der Praxis nicht ganz so einfach. Auch wenn das Buskabel in einem Stecker direkt auf das Gerät angeschlossen wird, bleibt im Innern des Gerätes eine minimale Stichleitung zwischen dem Gerätestecker und dem Leitungstreiber von ein paar cm. Die Norm schreibt darum vor, dass die Kapazität eines Steckers, der für 12 Mbit/s eingesetzt werden soll, eine maximale Kapazität von 35 pF aufweisen darf. Wenn dies nicht eingehalten werden kann, müssen zur Kompensation dieser Kapazität Längsinduktivitäten eingesetzt werden.

© 2009 Max Felser



Stecker mit eingebauter Länginduktivität

Bei Bitraten über 1.5 MBit/s wird eine minimale Kabellänge von 1m zwischen zwei Stationen empfohlen. Dies erlaubt unsaubere Anschlüsse und Verbindungen zu kompensieren. Die Installation ist weniger Fehleranfällig.

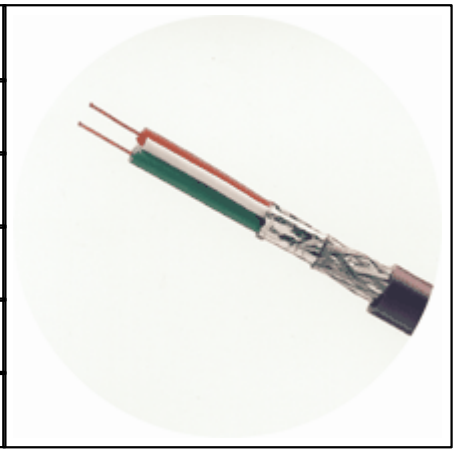
Vermeide Stichleitungen wenn immer möglich. Verwende Repeater um Abzweigungen zu erstellen.

2.1.3 Buskabel

PROFIBUS DP/FMS verwendet für die Installation nach der RS 485 Übertragungstechnik zweiadrige, verseilte und geschirmte Kabel. Es wird empfohlen, nur Kabel gemäss der Spezifikation für PROFIBUS einzusetzen.

Aus historischen Gründen gibt es zwei verschiedene Kabeltypen. Die Verwendung von Kabeln des früher benutzten Kabeltyps B ist generell nicht zu empfehlen. **Für Neuinstallationen ist ausschließlich Kabeltyp A zu verwenden.**

	Typ A	Typ B	
Wellenwiderstand	135...165	100...130	Ohm
Kapazitätsbelag	< 30	< 60	pF/m
Schleifenwiderstand	110	--	Ohm/km
Aderndurchmesser	0,64	0,32	mm
Adernquerschnitt	> 0,34	>0,22	mm²



2.1.3.1 Kabellängen

Die max. Leitungslänge ist abhängig von der Übertragungsgeschwindigkeit und vom Kabeltyp.

© 2009 Max Felser

Baudrate in kbit/s	Max. Länge, Kabeltyp A	Max. Länge, Kabeltyp B
9,6	1200 m	1200 m
19,2	1200 m	1200 m
45,45	1200 m	1200 m
93,75	1200 m	1200 m
187,5	1000 m	600 m
500	400 m	200 m
1500	200 m	70 m
3000	100 m	--
6000	100 m	--
12000	100 m	--

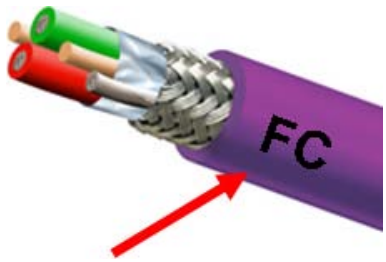
Damit das Kabel in einen Standardstecker sauber eingeführt werden kann, sollte der Aussendurchmesser des Kabelmantels 8.0 +/- 0.5 mm betragen.

Von diesem Typ A Kabel gibt es unterschiedliche Bauformen:
- Standard PROFIBUS Kabel mit Massivleiter
- Kabel mit speziellen Manteln für Lebensmittelproduktion und Chemie
- Kabel mit zusätzlichen Mantel für die Direktverlegung im Erdreich
- Flexible Kabel für bewegliche Maschinenteile

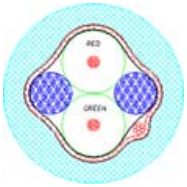
PROFIBUS Kabel werden von mehreren renommierten Herstellen angeboten.

2.1.3.2 Abisolation des Kabels

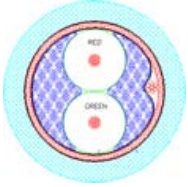
Spezielle Fast-Connect (FC) Kabel können einfach mit einem speziellen Werkzeug abisoliert werden.



Kennzeichnung der Fast-Connect Kabel



Der Querschnitt des "Normalen" PROFIBUS Kabels ist nicht zwingend rund.



Der Querschnitt eines "Fast Connect" PROFIBUS Kabels ist rund und kann darum mit einem speziellen Werkzeug einfach abisoliert werden.

1.

Werkzeug in die rechte Hand nehmen.

2.

Messen Sie die Länge des abzuisolierenden Kabels aufgrund der Vorgaben auf der Seite des Werkzeuges und halten Sie diese Länge mit dem linken Daumen fest.

3.

Fügen Sie das Ende des Kabels in das Werkzeug ein, wobei Sie Ihre Finger als Anschlag benutzen.

© 2009 Max Felser

4.
Schliessen Sie das Werkzeug fest.

5.
Drehen Sie das Werkzeug vier mal in der Pfeilrichtung.

6.
Halten Sie das Werkzeug geschlossen und ziehen Sie in der Pfeilrichtung weg.

7.
Die entfernte Isolation bleibt im Werkzeug. Nach dem öffnen des Werkzeuges kann dies einfach entfernt werden.

8.
Entfernen Sie die verbleibende Isolationsfolie.

9.
Nach Bedarf: Nach dem Entfernen der Isolation kann das Kabel im Stecker angeschlossen werden.

Wenn flexible Kabel mit Litzen verwendet werden, kann das Kabel mit dem Abisolierwerkzeug vorbereitet werden. Bei Einsatz von Schraubklemmen müssen aber Aderendhülsen eingesetzt werden. Schleppkabel sollen mit einer zusätzlichen Zugentlastung versehen werden.

2.1.4 Anschluss-Stecker

Für die Verdrahtung von DP/FMS Netzwerken wird der Einsatz von PROFIBUS Steckern empfohlen. Diese Stecker enthalten spezielle Funktionalitäten, die einen sicheren Betrieb und schnelle und robuste Montage ermöglichen. Diese Funktionalitäten können umfassen:

- Eingebaute Abschlusswiderstände die ein- und ausgeschaltet werden können.
- Schneller und robuster Anschluss der Signaldrähte und des Kabelschirms
- Einführungen für an- und abgehende Kabel
- Eingebaute spezielle Induktivitäten für Bitraten höher als 1.5 Mbit/s
- Abschaltung des Leitungsabganges wenn der Abschluss eingeschaltet ist
- Zusätzlicher Stecker zum Anschluss von Diagnose- oder Programmierwerkzeugen

Für PROFIBUS Netze mit RS-485 Übertragungstechnik wird in der Schutzart IP20 (zur Definition der Schutzart siehe http://de.wikipedia.org/wiki/Schutzart)vorzugsweise ein 9-poliger D-Sub Steckverbinder verwendet.

Besonders hervorgehoben sei das Fast-Connect System, bei dem durch Verwendung eines Spezialkabels und eines besonderen Abisolierwerkzeugs die Verkabelung sehr einfach, sicher und schnell erfolgen kann.

Für den Anschluss der Stationen (Geräte) können auch Klemmen eingesetzt werden.

Als Anschlussmöglichkeiten bei RS-485 Übertragung in der Schutzart IP65/67 sind drei Alternativen vorgesehen:

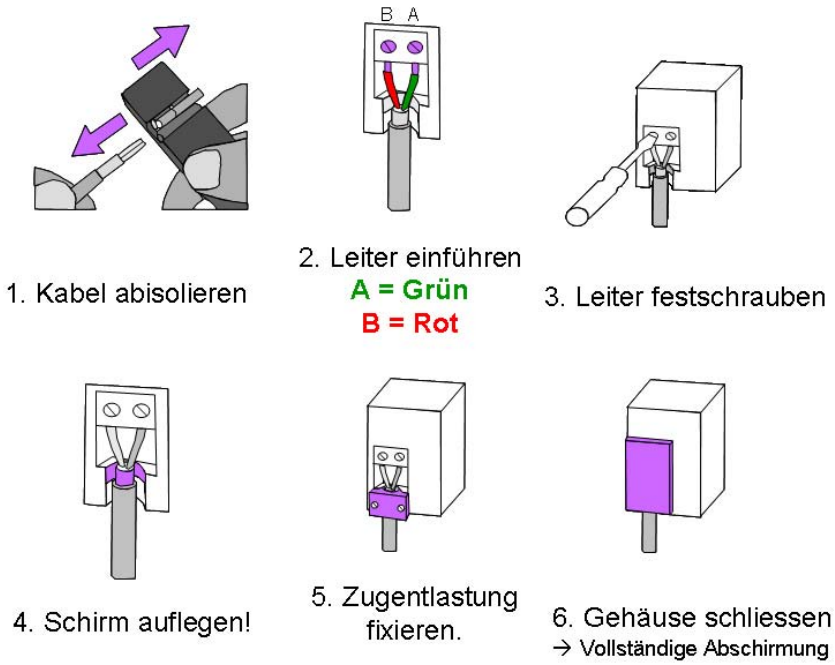
- M12 Rundsteckverbinder gemäß IEC 947-5-2
- HAN-BRID Stecker gemäß DESINA-Empfehlung
- Siemens Hybrid-Steckverbinder

© 2009 Max Felser

Im HAN-Brid-Steckersystem ist auch eine Variante zur Übertragung von Daten über LWL-Fasern und 24 Volt Betriebsspannung für die Peripheriegeräte über Kupferkabel in einem gemeinsamen Hybridkabel vorgesehen.

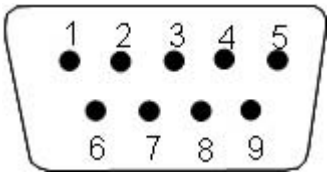
2.1.4.1 Klemmen

Einfache Geräte werden direkt mit Klemmen angeschlossen:



2.1.4.2 D-Sub Stecker

Der D-Sub Stecker ist der empfohlene Stecker für IP20 Installationen (im Schaltschrank).



Buchsen am Gerät

Pin Nr.	Signal	Funktion	
1	Schirm	Schutzerde	nicht empfohlen
2	M24	Masse für 24V Spannung	Optional
3	**RxD/TxD-P**	**Daten Leitung Plus (B-Leiter)**	**Pflicht**
4	CNTR-P	Repeater Richtungskontrolle	Optional
5	**DGND**	**Daten Masse**	**Pflicht**
6	**VP**	**+5V Speisung für Busabschluss**	**Pflicht**
7	P24	+24V Speisung	Optional
8	**RxD/TxD-N**	**Daten Leitung Minus (A-Leiter)**	**Pflicht**
9	CNTR-N	Repeater Richtungskontrolle	Optional

© 2009 Max Felser

Die beiden Leiter im Zweileiter-Kabel übertragen die Signale “Daten Leitung Plus” (B-Leiter) und “Daten Leitung Minus” (A-Leiter). Die beiden Leiter habe unterschiedliche Farben rot und grün. Es ist absolut wichtig, dass die beiden Leiter A und B in einem Segment nicht vertauscht werden.

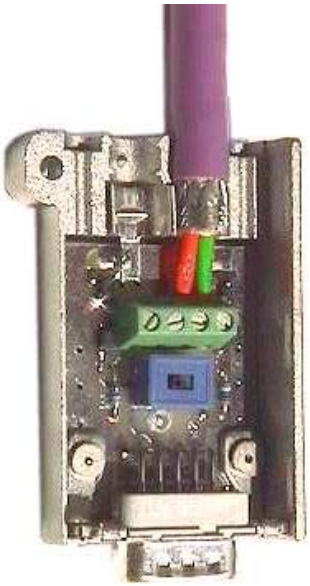
Rot – B-Leiter (RxD/TxD-P)
Grün – A-Leiter (RxD/TxD-N)

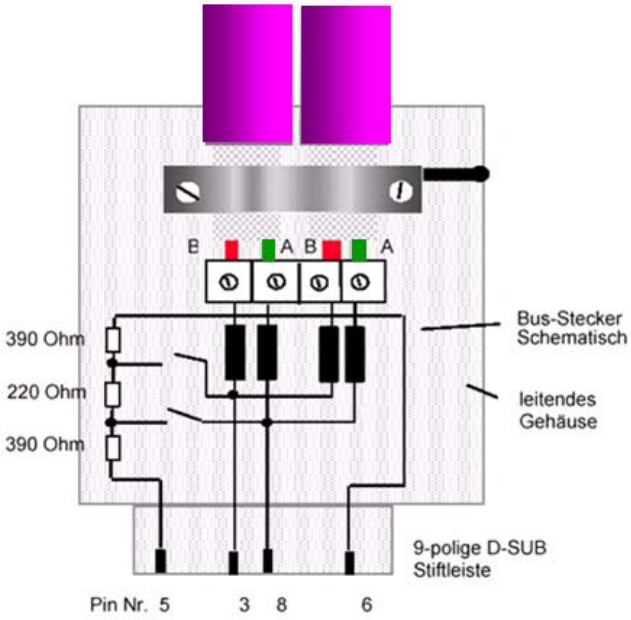
B = rot ➔ BROT

Die Speisung von 5V muss mindestens 100 mA liefern können und dient der Speisung der Busabschlüsse. Oftmals wird diese Speisung auch für die Speisung von Media-Konverter oder Repeater genutzt.

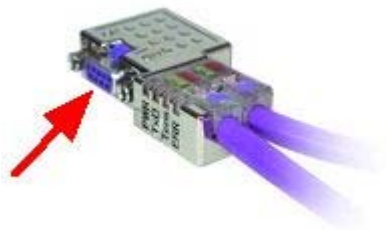
Die Auflegung der 24V Speisung in demselben Stecker wird nicht mehr empfohlen.

Der Schirm muss bei allen Steckern grossflächig an die Schutzerde aufgelegt werden. Dazu sind die Stecker entsprechend ausgelegt (Siehe untenstehende Abbildungen). Der Pin 1 soll für die Schutzerde nicht mehr verwendet werden.





2.1.4.2.1 Diagnose-Steckbuchsen



Um die Netzwerkanalyse und Fehlersuche zu ermöglichen sollte mindestens ein Stecker in einem Segment eine Diagnosesteckbuchse (siehe nebenstehendes Bild) aufweisen. Wir empfehlen diesen Diagnosestecker beim Master der Klasse 1 (der Steuerung) ein zu planen.

Dieser zusätzliche Anschluss erlaubt es einen Busmonitor oder ein Programmiergerät direkt am laufenden Bus anzuschliessen, ohne das Netzwerk zu unterbrechen. Diese Diagnosetecker dürfen aber nicht für unzulässige Stichleitungen verwendet werden.

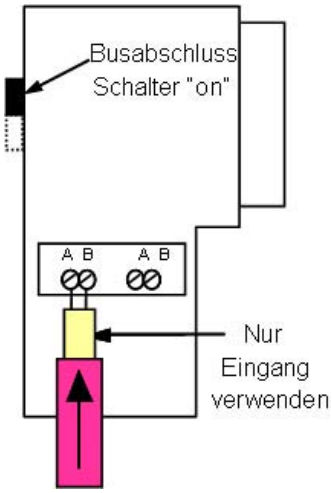
2.1.4.2.2 Unterbrechende Stecker

Moderne PROFIBUS Stecker haben einen Kabel Eingang als „ingoing“ und einen Kabel Abgang als „outgoing“ Anschluss gekennzeichnet. Diese Unterscheidung ist sehr wesentlich, da der Stecker den Kabelabgang ausschaltet, wenn der Abschlusswiderstand eingeschaltet wird. Solche Stecker sind sehr nützlich für den Test und die Inbetriebnahme eines Netzwerkes. Wenn ein solcher Stecker in der Mitte eines Segmentes einen Abschluss eingeschaltet hat, wird der am Abgang angeschlossene Teil des Segmentes abgetrennt und der verbleibende Rest des Netzwerkes ist weiterhin korrekt abgeschlossen. Aus diesem

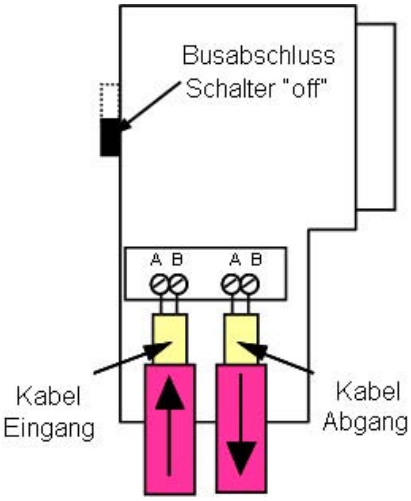
© 2009 Max Felser

Grund muss der erste und der letzte Stecker nur ein Kabel-Eingang „ingoing“ verwenden!

Oftmals haben Stecker einen eingebauten Schalter der den Bus bei eingeschaltetem Busabschluss unterbricht.

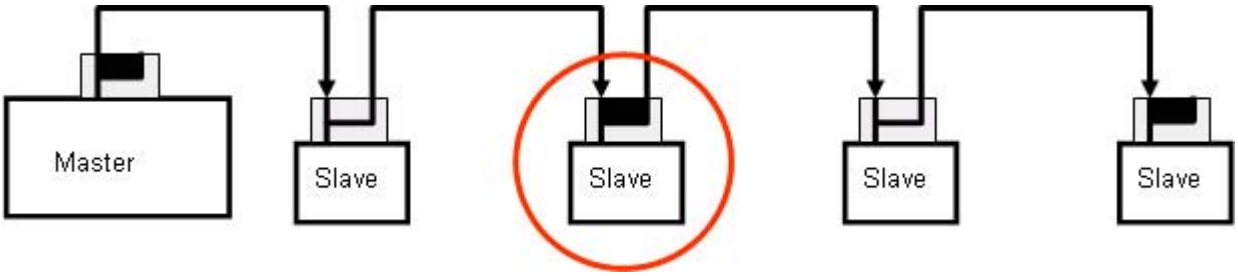


Am Ende und Anfang des Busses muss das Kabel nur am Eingang eingeführt werden.

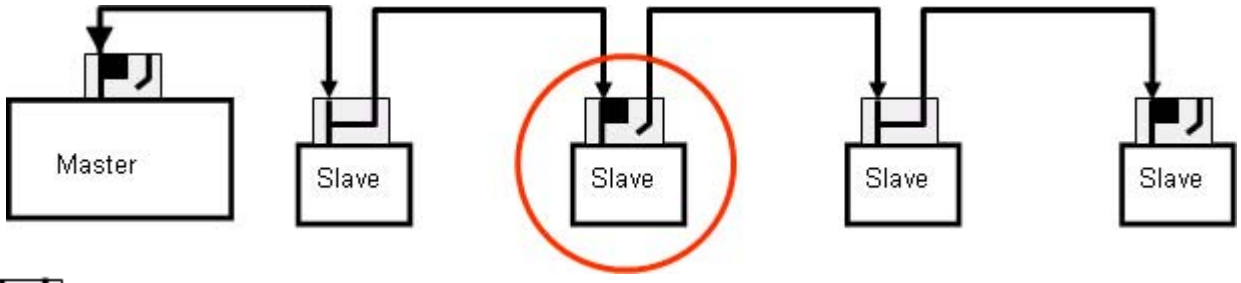


In der Mitte des Bus-Segmentes werden beide Kabelstücke angeschlossen. Der Kabeleingang führt zum MAster.

Bei einem Stecker ohne Unterbrechung können zusätzlich eingeschaltete Busabschlüsse nicht eindeutig erkannt werden. Durch den zusätzlichen Busabschluss wird das Signal gedämpft und es können sporadische Übertragungsfehler entstehen.



Beim Einsatz von Steckern mit Unterbrechung führt das Einschalten eines zusätzlichen Busabschlusses zwangsläufig zu einem Unterbruch des Buses und somit zu einem statischen und einfach feststellbaren Fehler.



D-Sub Stecker

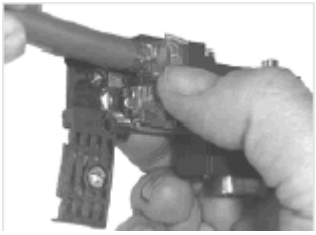
Stecker mit eingeschaltetem Busabschluss

Stecker mit eingeschaltetem Busabschluss und Unterbrecher

2.1.4.2.3 Montage der Stecker

Die Kabel werden abisoliert. Bei speziellen Fast-Connect Kabeln kann dies rasch und sicher mit einem speziellen Werkzeug erfolgen.

© 2009 Max Felser



1

Schieben Sie das so vorbereitete Kabel in den Stecker mit Durchdringungstechnik.

2

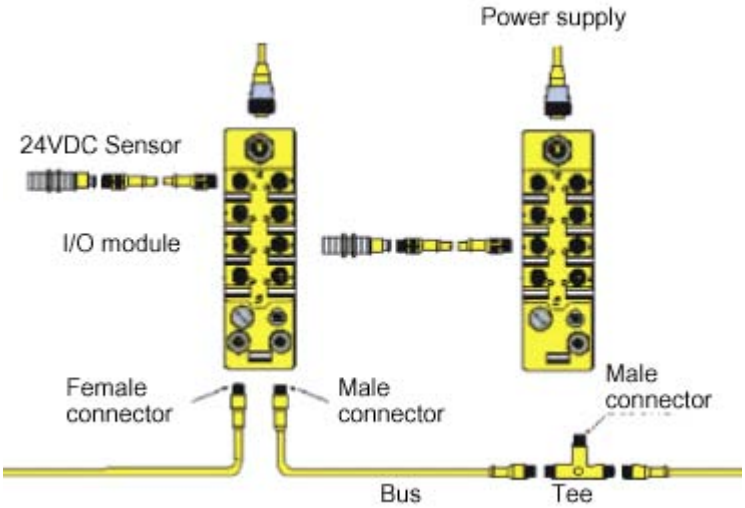
Schliessen Sie den Stecker fest.

Wenn flexible Kabel mit Litzen verwendet werden, kann das Kabel mit dem Abisolierwerkzeug vorbereitet werden. Bei Einsatz von Schraubklemmen müssen aber Aderendhülsen eingesetzt werden. Schleppkabel sollen mit einer zusätzlichen Zugentlastung versehen werden.

2.1.4.3 M12 Stecker

Das PROFIBUS M12 Steckersystem erlaubt eine Installation in der Schutzart IP65 und ist somit für den schranklosen Aufbau geeignet.

Geräte haben oftmals zwei Anschlüsse für M12, so dass das ankommende und das abgehende Kabel getrennt angeschlossen werden können. Dies macht aber ein anschliessen eines Gerätes ohne Unterbruch des Kabels unmöglich. Es wird darum der Einsatz eines speziellen T-Stückes empfohlen.

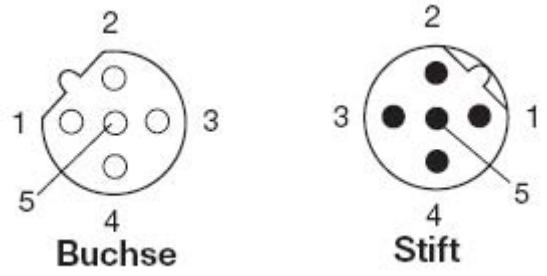


Es sind unterschiedliche feldmontierbare Stecker erhältlich.

Da M12 Stecker oftmals schwierig im Feld zu montieren sind, sind auch Kabel mit vorgefertigten Anschlüssen verfügbar.

© 2009 Max Felser

2.1.4.3.1 M12 Steckerbelegung



M12-5 B-codiert

nach IEC 60947-5-2 oder IEC 61076-2-101

Der B-codierte M12-5 Stecker sollte nicht mit A-codierten Steckern von Signalleitungen verwechselt werden können.

Pin Nr.	Signal	Funktion	
1	**VP**	**+5V Speisung für Busabschluss**	**Pflicht**
2	**RxD/TxD-N**	**Daten Leitung Minus (A-Leiter)**	**Pflicht**
3	**DGND**	**Daten Masse**	**Pflicht**
4	**RxD/TxD-P**	**Daten Leitung Plus (B-Leiter)**	**Pflicht**
5	--	nicht belegt	
Gewinde	Schirm	Masseverbindung	Empfohlen

Die beiden Leiter im Kabel übertragen die Signale “Daten Leitung Plus” (B-Leiter) und “Daten Leitung Minus” (A-Leiter) und haben die Farben rot und grün und dürfen nicht vertauscht werden.

Der Schirm muss an beiden Enden des Kabels grossflächig an die Schutzerde aufgelegt werden. Für die Verbindung der Schirmung wird vorzugsweise die Verschraubung des Steckers verwendet. In den aktuellen Ausgaben der Normen wird der Pin 5 nicht mehr mit dem Schirm belegt!

2.1.5 Repeater

Ein RS 485 Repeater (= Verstärker) verstärkt das elektrische Signal auf einer Busleitung und liefert eine elektrische Isolation zwischen den einzelnen Bussegmenten.

Ein Repeater muss eingesetzt werden wenn:

a) mehr als 32 Stationen an einen Bus angeschlossen werden müssen
b) einzelne Segmente auf dem Bus isoliert werden müssen
c) oder eine längere Distanz angeschlossen werden muss.

Ein Repeater muss zum zeitgerechten umschalten der Verstärkungsrichtung die vom Bus verwendete Bitrate kennen. Er kann dazu die Bitrate so lange verstellen, bis er korrekte Zeichen erkennen kann. Damit wird es möglich, dass der Repeater die Bitrate selbständig erkennt.

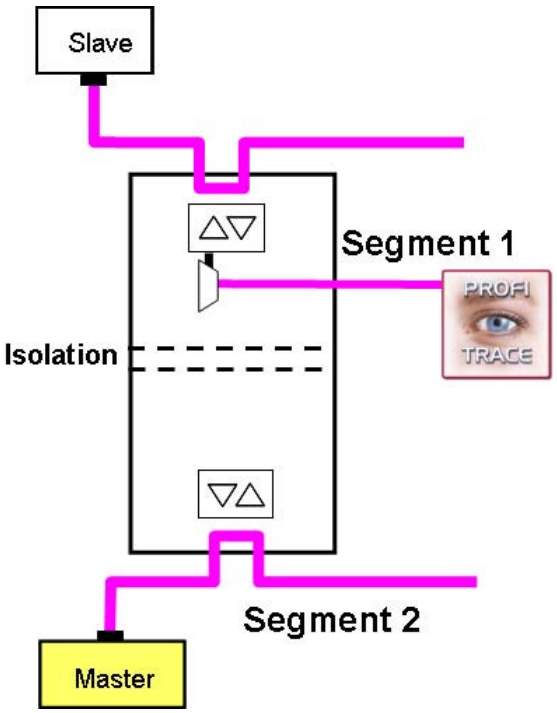
Dieser Einstellvorgang dauert eine gewisse Zeit in der die Funktion des Repeaters nicht sichergestellt ist. Darum können bei Repeatern je nach Produkt die Bitrate auch manuell mit einem Schalter eingestellt werden.

Ein Repeater verfügt über keine Stationsadresse, es sei denn er hat die Möglichkeit Diagnoseinformationen ab zu setzen. einem solchen Diagnose-Repeater wird eine Adresse zugeordnet.

2.1.5.1 Einfacher-Repeater

Ein einfacher Repeater (Verstärker) verbindet zwei Segmente.

© 2009 Max Felser



Die abgebildeteten Produkte verfügt über eine galvanische Trennung und eine Signalregeneration, damit bis zu 9 oder mehr Repeater in Serie geschaltet werden können.

Oftmals haben diese Repeater einen D-Sub Stecker für Diagnosezwecke, der nicht ein eigenes Segment bedeutet! Bei den hier abgebildeten Produkten ist der Diagnosestecker mit dem Segment 1 fest verbunden. Sinnvollerweise wird für die Diagnose somit das Segment 2 in die Richtung zum Master angeschlossen und das Segment 1 mit dem Diagnosestecker für ein weiterführendes Segment verwendet. Damit kann der Diagnosestecker auf dem Repeater für die Signalkontrolle z.B. mit dem ProfiTrace verwendet werden.

2.1.5.2 Mehrfacher-Repeater

Der ProfiHub hat die Funktionalität eines transparenten 5-fachen Repeaters mit galvanisch getrennten Kanälen. Das erlaubt den Aufbau von Netzwerkstrukturen mit langen Stichleitungen, die jeweils die Eigenschaften des Hauptbusses besitzen. An jede Stichleitung können bis zu 31 Teilnehmer angeschlossen werden. Die Implementierung langer Stichleitungen mit vielen Teilnehmern und Netzstrukturen mit sternförmigen Segmenten wird so ermöglicht. Dank der eingebauten Signalregeneration wirken sich Störungen auf einem Segment nicht auf die anderen Segmente aus (siehe "Isolation von Stationen").

ProfiHub B5 (IP65)

ProfiHub A5 (IP20)

Den ProfiHub gibt es in zwei Ausführungen in den Schutzarten IP20 oder IP65. Er verfügt über 5 galvanisch isolierte Segmente wo bis zu 31 Teilnehmer angeschlossen werden können. Die einzelnen Segmente verfügen über zuschaltbare Abschlusswiderstände. Es bestehen keine Beschränkungen über die mögliche Serieschaltung von solchen Repeatern.

Mit einem Drehschalter kann die Birate für eine rasche Funktionsaufnahme eingestellt werden oder der Repeater kann die Birate auch selbständig erkennen.

© 2009 Max Felser

2.1.5.3 Modularer-Repeater

Der Mehrfache Repeater erlaubt die Zusammenschaltung von mehreren Repeatern auf der Hutschiene die einem modular aufbaufähigen mehrfachen Repeater. Ein spezielles Modul auf der Hutschiene dient dabei als Verbindungselement. Die einzelnen Stecker auf den einzelnen Modulen sind alle galvanisch getrennt und erlauben den Anschluss von je 31 Teilnehmern.

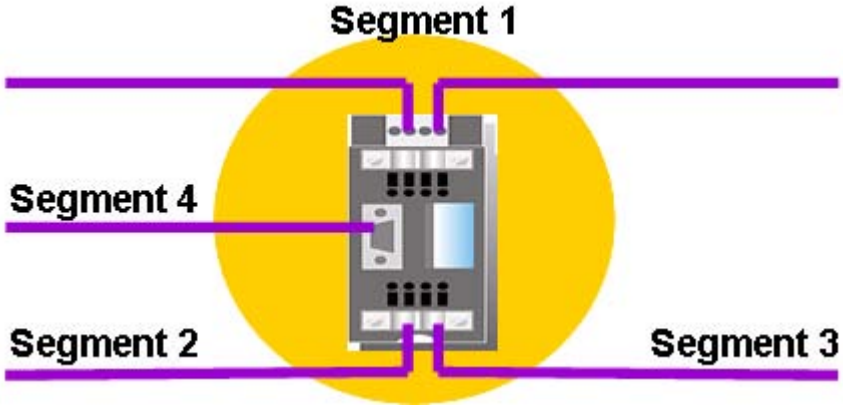
Die Bitrate kann optional mit einem Schalter eingestellt werden.

Interessant ist die Möglichkeit diese Module direkt auch mit LWL-Konverter zu kombinieren.

2.1.5.4 Diagnose-Repeater

Diagnose-Repeater merken sich die angeschlossene Topologie der einzelnen Segment und können durch Reflektionsmessungen Fehler feststellen.

Diagnose-Repeater müssen als DP-Slave projektiert werden und erhalten somit eine PROFIBUS Adresse. Der Zustand der einzelnen Segmente kann damit über die normale Gerätediagnose an die Steuerung mitgeteilt werden.



Fehler können an den Segmenten 2 und 3 festgestellt werden. Der Diagnosestecker bildet ein eigenes Segment 4.

Es können die folgenden Fehler festgestellt werden:

- Leitungsunterbruch
- Kurzschluss A, B, oder gegen Abschirmung
- Fehlende oder falsche Busabschlüsse
- Sporadische Fehler bei der Übertragung

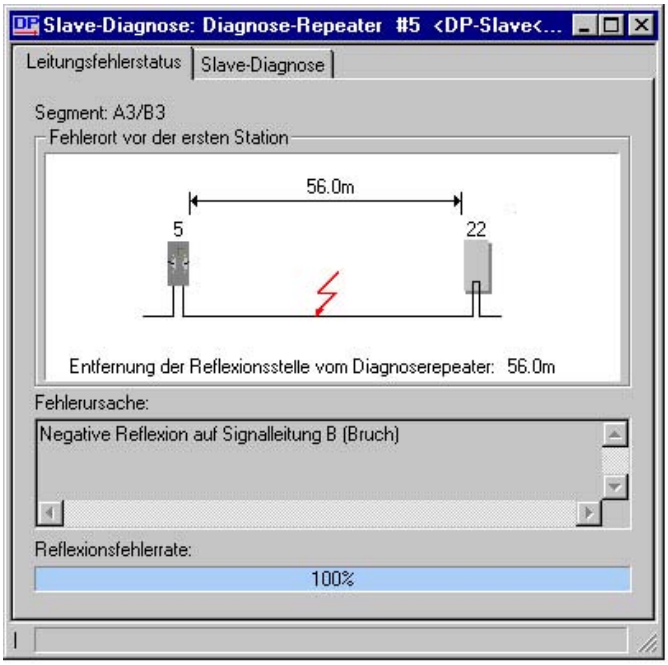
Das Diagnosetelegramm umfasst die folgenden Informationen:

- Name des Segmentes

© 2009 Max Felser

- Grund der Störung
- Ort der Störung (inklusive Distanz in Meter)
- Fehlerrate in Prozent

Ein spezielle Diagnosesoftware erlaubt die grafische Darstellung der Diagnoseinformationen des Diagnose-Repeaters.



2.1.6 Auslegung des RS 485 Netzwerkes

Alle Geräte werden in einer Busstruktur (Linie) angeschlossen. In einem Segment können bis zu 32 Teilnehmer (Master, Slaves oder Repeater) zusammengeschaltet werden. Die Regeln für Stichleitungen sind ein zu halten.

Jedes PROFIBUS Segment muss am Anfang und Ende abgeschlossen werden und auf keine Fall irgendwo dazwischen einen Busabschluss aufweisen. Einige PROFIBUS Geräte haben eingebaute Busabschlüsse, die ein und ausgeschaltet werden können. In diesen Fällen ist es wichtig, dass diese Busabschlüsse ausgeschaltet sind. Es ist ein häufiger Fehler, dass gleichzeitig der Busabschluss im Stecker und im Gerät eingeschaltet sind! Dieser doppelte Abschluss führt zu einem falschen Abschluss und somit zu Reflektionen.

Es ist somit wichtig, dass an einem Segment in den richtigen Steckern die Abschlüsse ein und ausgeschaltet sind. Aus diesem Grund werden hier die Regeln an ein paar Beispielen ausführlich erläutert:

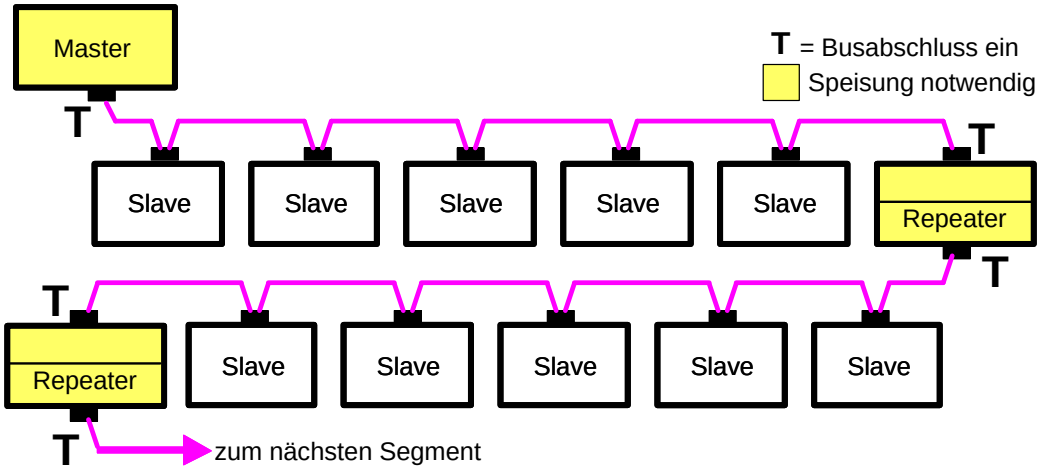
1. Optimale Position des Masters und der Busabschlüsse
2. Anschluss von mehr als 32 Stationen an einen Bus
3. Übertragen über eine längere Distanz
4. Abdeckung von komplexen Topologien
5. Galvanische Isolation einzelner Segmente auf dem Bus

Weitere Möglichkeiten ergeben sich durch den Einsatz von LWL-Konverter.

2.1.6.1 Netzwerktopologie

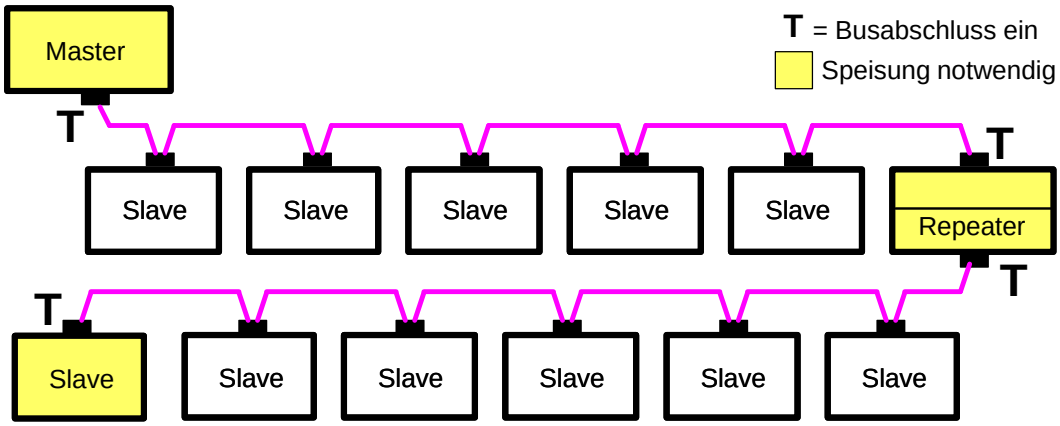
Wenn in einem Einzel-Master System gearbeitet wird, ist es der Idealfall wenn der Master an einem Ende des Segmentes angeordnet werden kann und somit den Busabschluss eingeschaltet hat. Wenn der Master seine Speisung verliert, wird das Netzwerk ausser Betrieb sein und der nicht mehr mit Speisung versorgte Busabschluss hat keinen Einfluss. Wenn am anderen Ende ein Repeater die Leitung zum nächsten Segment weiterführt, kann somit jede Station ein und ausgesteckt werden, ohne dass die Funktion des Netzwerkes beeinflusst wird. Wichtig ist dabei, dass der Repeater immer mit Speisung versorgt wird, da er die Busabschlüsse hat.

© 2009 Max Felser



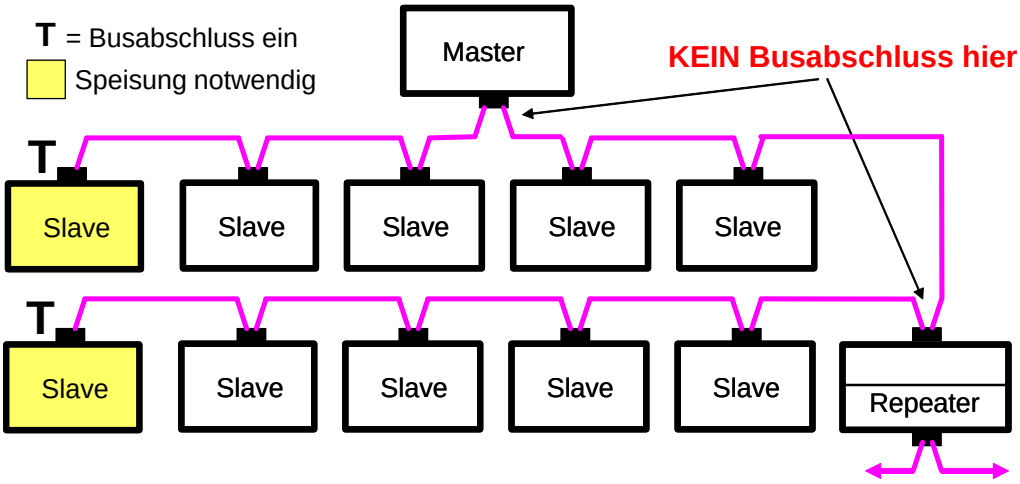
Bevorzugte Verdrahtung für Einzel-Mastersysteme

Wenn am Ende eines Segments kein Repeater eingesetzt wird (z.B. im letzten Segment) muss der Busabschluss im Stecker des letzten Gerätes eingeschaltet sein. Dies bedeutet, dass die Speisung des letzten Gerätes immer in Betrieb sein muss, damit der Busabschluss unter Spannung ist. Wenn Sie das letzte Gerät ersetzen müssen, ist somit der Busabschluss nicht unter Spannung und der Bus kann instabil werden.



Master und letzter Slave mit Busabschluss

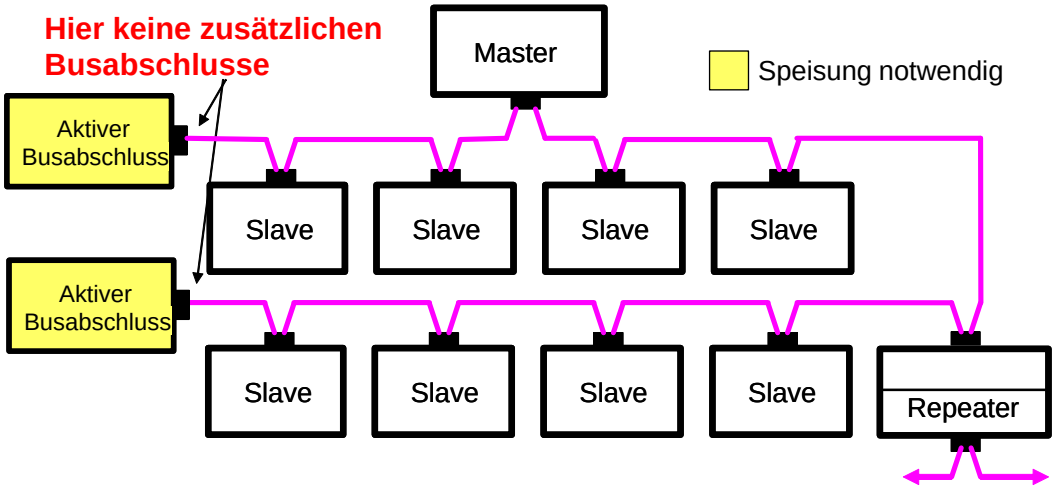
Wenn die Anforderungen der Anlage verlangen, dass der Master d.h. die Steuerung in der Mitte des Segmentes ist, muss der Busabschluss an beiden Enden des Segments eingeschaltet sein. Dies bedeutet, dass die beiden Geräte am Ende des Segmentes immer unter Speisung sein müssen, damit das Segment korrekt funktionieren kann. Sobald das eine oder andere Endgerät ersetzt werden muss, kann während dieser Operation der Bus instabil werden.



Master und Repeater in der Mitte des Segments

© 2009 Max Felser

Eine Alternative ist der Einsatz von „aktiven“ Busabschlüssen. Der aktive Busabschluss ist direkt mit einer Spannungsversorgung versehen und muss immer mit Spannung versorgt sein. Der Vorteil von diesem Aufbau ist, dass alle anderen Slave auf dem Segment entfernt und ersetzt werden können, ohne das Netzwerk zu beeinflussen. Der aktive Busabschluss verfügt in der Regel über Anschlussklemmen und keine D-Sub Stecker, damit nicht irrtümlich ein zweiter Busabschluss eingeschaltet werden kann.

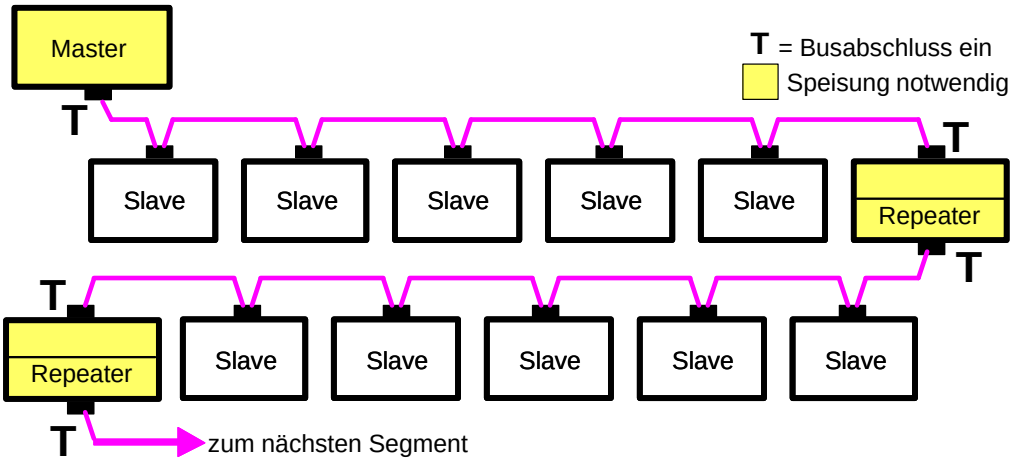


Der Einsatz eines aktiven Busabschlusses

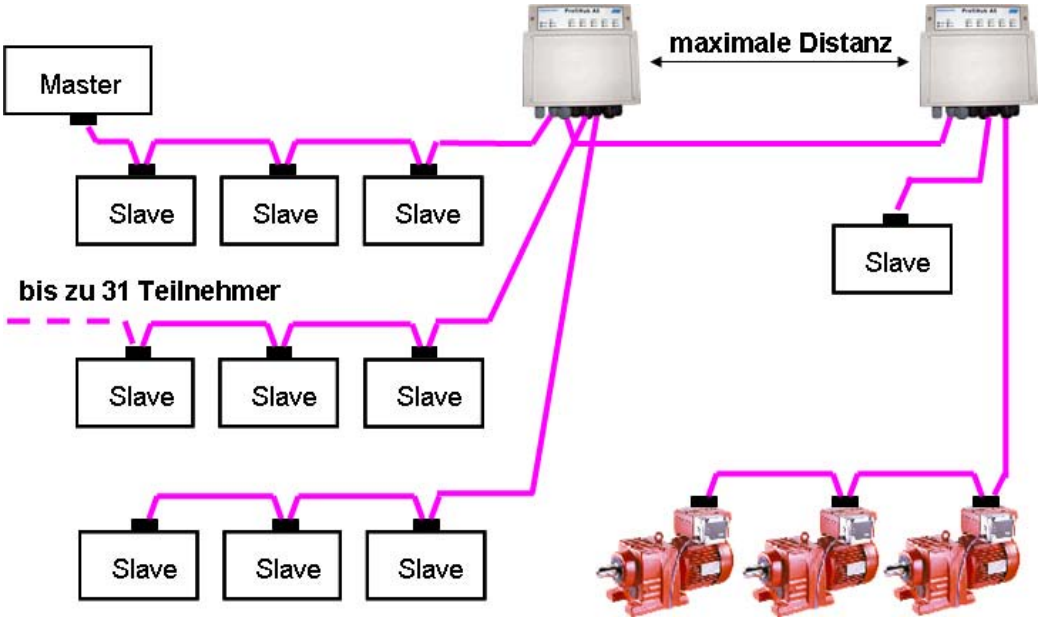
2.1.6.2 Maximale Anzahl Stationen

An einem Segment dürfen maximal 32 Teilnehmer angeschlossen sein. Als Teilnehmer gelten neben den Stationen (z.B. DP-Master, DP-Slave) auch die einzelnen Repeater oder LWL-Konverter. An einem PROFIBUS können maximal 126 Stationen adressiert werden. Nur mit der Hilfe von Repeatern kann ein maximales PROFIBUS Netzwerk aufgebaut werden:

- In einem ersten und letzten Segment können maximal 31 Stationen und ein Repeater angeschlossen werden.
- In einem mittleren Segment können maximal 30 Stationen und 2 Repeater angeschlossen werden.
- Für ein maximales Netzwerk werden somit mindestens 4 Einfach-Repeater oder ein Mehrfach- oder Modularer-Repeater benötigt.

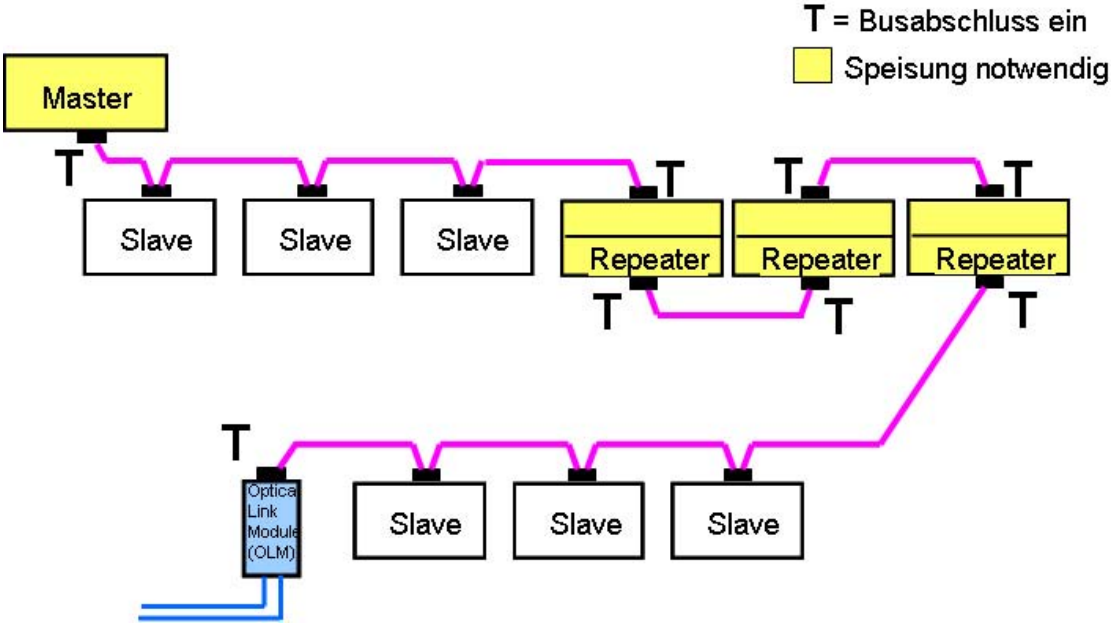


© 2009 Max Felser



2.1.6.3 Maximale Distanzen

Die maximale Länge von einem Segment ist begrenzt abhängig von der Bitrate. Für die Überwindung von grösseren Distanzen müssen Repeater eingesetzt werden.

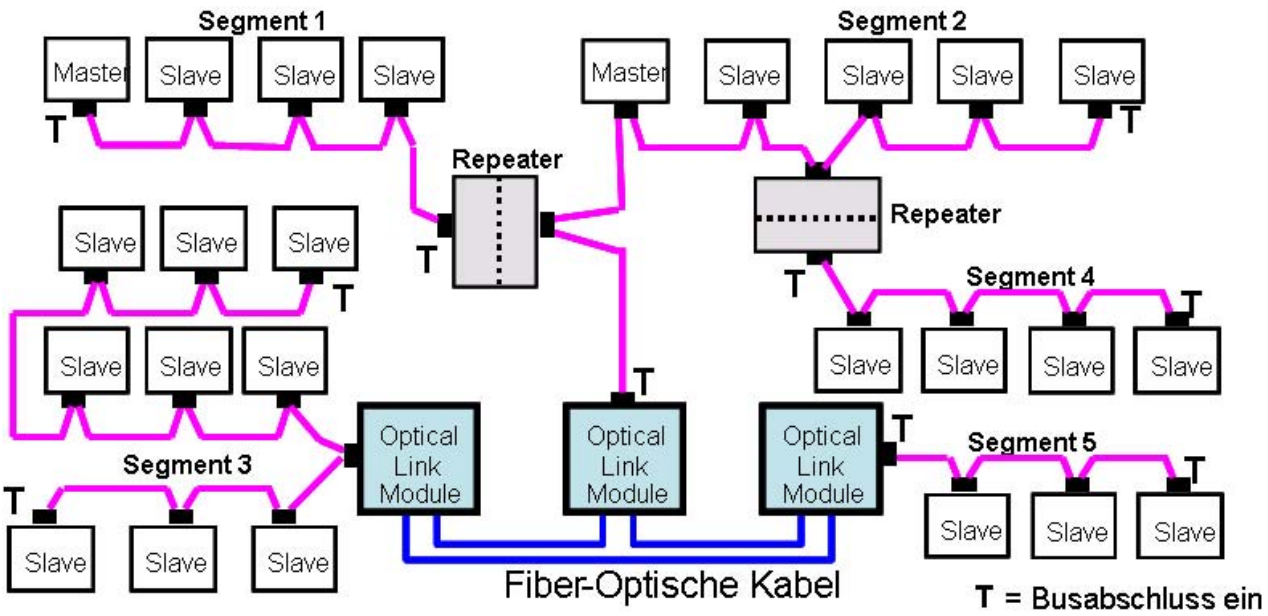


Die Anzahl der Repeater ist abhängig von der gesamten Distanz. Als Alternative können auch LWL-Konverter als "Distanz-Repeater" eingesetzt werden.

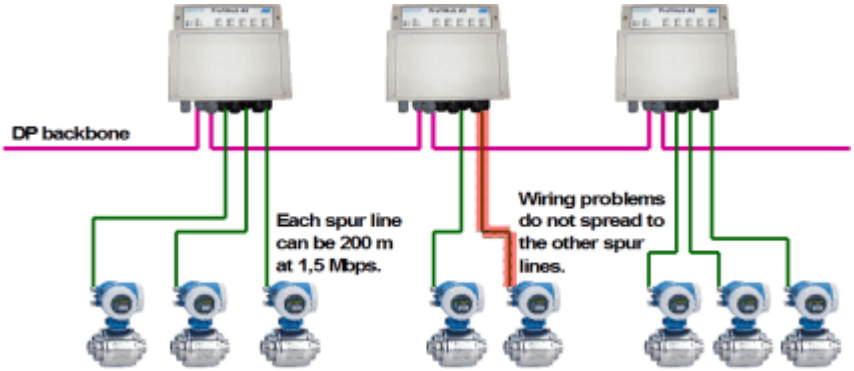
2.1.6.4 Komplexe Strukturen

Mit der Kombination von Repeatern und LWL-Konverter können fast beliebige Topologien mit beliebigen Flächen und Distanzen abgedeckt werden.

© 2009 Max Felser

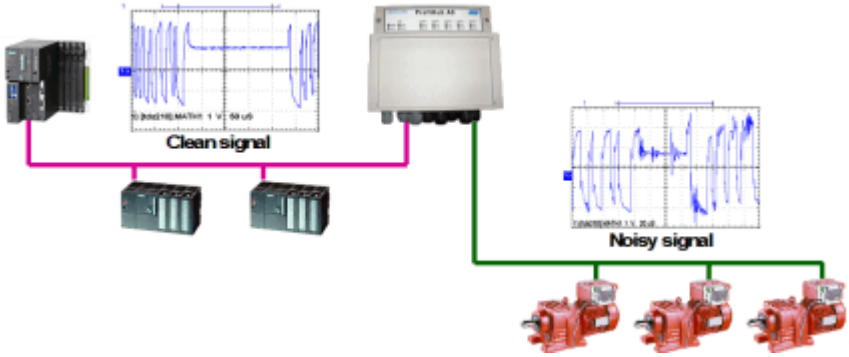


Bei Bedarf können die einzelnen Repeater auch dazu verwendet werden, eine Linientopologie mit abzweigenden Stichleitungen zu realisieren.



2.1.6.5 Isolation von Stationen

Durch den gezielten Einsatz von Repeatern mit galvanischer Trennung und Signalregeneration können Störungen auf einem Segment von anderen Segmenten fern gehalten werden und somit der Einfluss von Elektromagnetischen Störungen massiv eingegrenzt werden.



Diese Isolation der Segmente kann natürlich auch durch den Einsatz von Lichtwellenleiter-Systemen erreicht werden.

2.1.7 Installationskontrolle

Die Kontrolle einer Installation kann die folgenden Teile umfassen:

© 2009 Max Felser

Kabel kontrollieren (Kabeltester)
Ein Kabeltester kann typischerweise die folgenden Überprüfungen durchführen:
- sind die Kabeladern verdreht?
- sind die Busabschlüsse richtig und in der richtigen Zahl angeschlossen?
- ist die Leitung nicht unterbrochen?
- ist ein Kurzschluss oder Erdschluss vorhanden?
- welche Kabellänge wurde verlegt?
- Wo im Kabel ist der Fehler?

Installation kontrollieren
Mit einem Installationstestwerkzeug kann
- die Adresseinstellung überprüft werden
- die Erreichbarkeit einer Station kontrolliert werden
- der Signalpegel einer Station gemessen werden
- eventuell ein Ausgang gesetzt oder Eingang gelesen werden

Signalform kontrollieren (mit KO)
Mit der Hilfe eines Oszilloskops - historisch auch als KO (Kathodenstrahl-Oszilloskop) bekannt - kann die Signalform dargestellt werden. Damit können die Signalpegel, die Funktion der Leitungstreiber, vorhandene Reflektionen wegen falschen Busabschlüssen etc. beurteilt werden.

Ohne spezielle Hardware zum Festhalten des Triggersignales oder einem periodischen Signal erhält man dabei kein stabiles Signal oder kann die Quelle des Signals nicht identifizieren.

Für die verschiedenen Kontrollen haben wir mit den folgenden Werkzeugen Erfahrung:

Messgerät	Kabel	Installation	Signale
Ohmmeter	Möglich	-	-
BT 200	Einfach	Möglich	-
NetTEST II	Nur installiert	Umfassend	-
ProfiTrace 2 ...	-	Möglich	-
& ProfiCaptain	-	Umfassend	-
& ScopeWare	Möglich	-	Umfassend
& Topology	Umfassend	-	-

Die meisten Kabeltester können die gemessenen Daten abspeichern. Diese Daten können auf einen PC geladen und ein Messbericht kann erstellt werden, der den Zustand eines Segments dokumentiert.

2.1.7.1 Kabeltester BT200

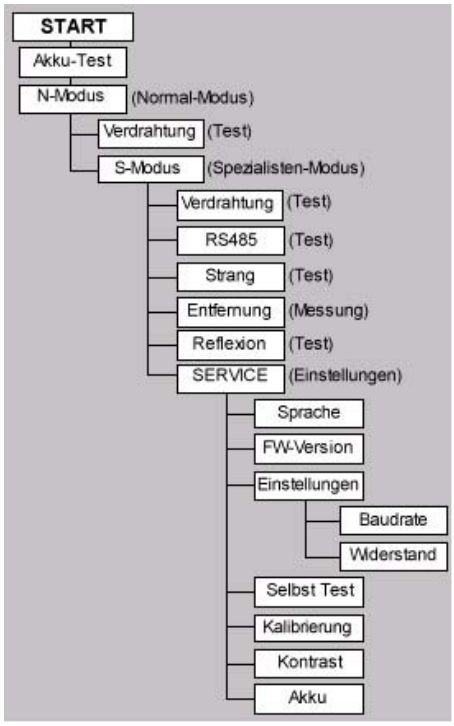
Der BT200 Kabeltester der Firma Siemens besteht aus

- dem BT200 Gerät
- einem Teststecker
- einem Messkabel
- einem Ladegerät

© 2009 Max Felser

BT200

Teststecker

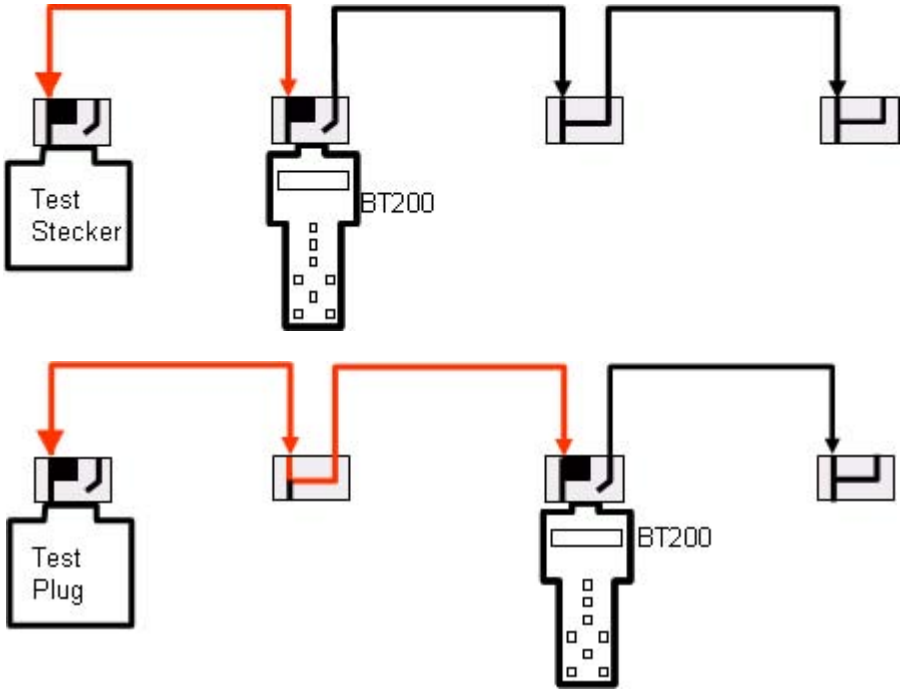


Bedienmenu

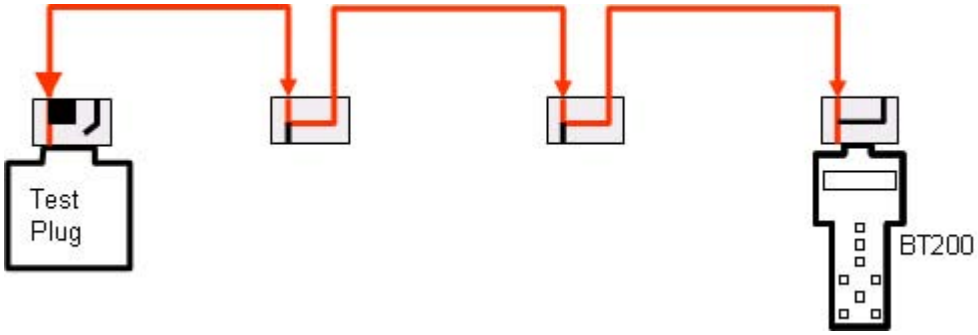
Kabelkontrolle

Für die Kontrolle eines PROFIBUS DP Kabelsegments mit einem BT200 Kabeltester wird wie folgt vorgegangen:

1. Alle Stationen vom Kabel entfernen.
2. Der Teststecker wird an ein Ende gesetzt, dabei muss dieser Busabschluss eingeschaltet sein.
3. Der BT200 wird nun in einen Stecker nach dem anderen entlang des Kabels eingesteckt und die einzelnen Teilstücke werden überprüft.



© 2009 Max Felser

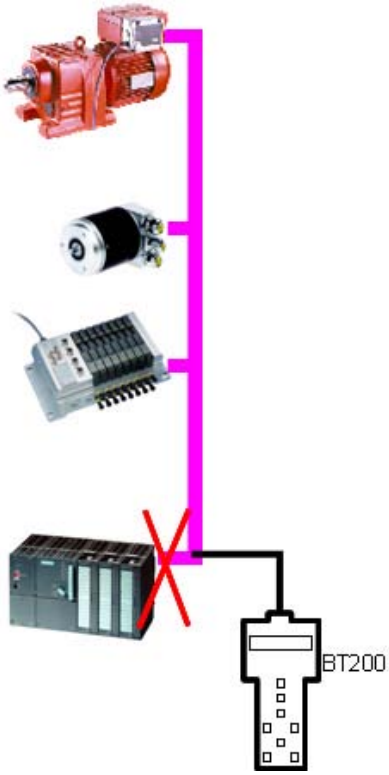


Stecker mit eingeschaltetem Busabschluss (ON), unterbricht das Kabel

Stecker mit ausgeschaltetem Busabschluss (OFF)

Der BT200 überprüft dabei immer das Teilstück zwischen sich und dem Teststecker. Diese Technik findet nicht nur alle Fehler, sondern zeigt auch noch die Position des Fehlers im Kabel. Beachten Sie, dass es nicht genügt das Kabel als ganzes zu testen, da sich zwei Fehler entlang des Kabels aufheben können. Typischerweise ist dies bei der Verdrehung der Leiter A und B der Fall.

Installationskontrolle mit dem BT200
Der BT200 kann auch dazu verwendet werden, die PROFIBUS Installation zu kontrollieren:



Vorgehen:

1. Entferne den Master vom Bus

2. Verbinde das BT200 mit der Installation

3. Drücke um das Gerät einzuschalten

4. Drücke Esc+OK gleichzeitig um den Spezialisten-Modus zu starten.

- Der Strangtest erlaubt die Kontrolle einer Installation.
- RS 485 Test erlaubt die Kontrolle der Signalpegel eines Gerätes.

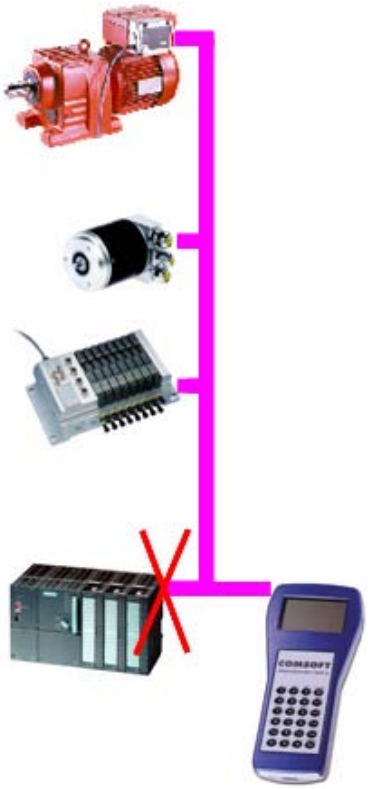
© 2009 Max Felser

2.1.7.2 NetTEST II

Der NetTEST II der Firma COMSOFT umfasst

- Mobiles Hand Held-Gerät
- Grafische LCD-Anzeige 124 * 64 Pixel mit Hintergrundbeleuchtung
- 24-Tasten Keyboard
- Versorgung über austauschbares Akku-Pack
- Akku-Kapazität für ca. 4 Stunden Betriebsdauer
- 9-polige SUB-D – Buchse für Anschluss an den PC und den PROFIBUS
- Kompletter Testkoffer mit Ladestation, Ersatzakku und diversen Adapterkabeln zum Anschluss an den PC und den PROFIBUS

Kabelkontrolle

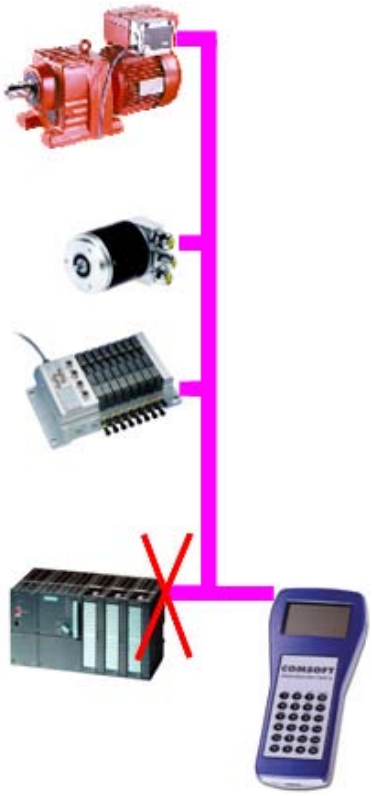


Das Kabel ist verlegt und alle Teilnehmer sind unter Spannung

1. Stecke den Master aus.
2. Stecke den NetTEST II ein (z.B. anstelle des Masters).
3. Messung ohne Busabschlüsse
4. Messung mit einem Busabschluss
5. Messung mit beiden Busabschlüssen

© 2009 Max Felser

Installationskontrolle ohne Master



```
LiveList generieren
Geraete am Bus:  16
003 005 007 008 009
011 013 014 015 016
050 056 057 058 059
098
      beendet !
INS -> Wiederholung
```

Anzeige der Live-List der DP-Slaves

```
Slave Ident-Number

Slave 004 -> 0x9510
Slave 006 -> 0x0815
Slave 010 -> 0xAAAA
Slave 014 -> 0x7510
                  vv
```

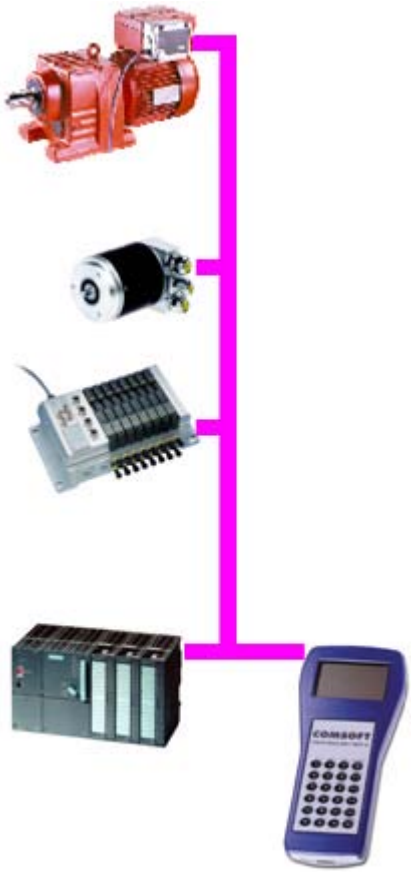
Anzeige der Ident-Nummern der DP-Slaves

```
Slave Signalqualitaet
   Slave 010 (*)

Soll     :2.5V<x<7.2V
Ist[08] :6.3 Volt
Status  :OK
```

Signalqualität der DP-Slaves

Installationskontrolle mit Master



```
Test with PLC

Baud rate detection
Generate livelist
Rotation time
Signal level meas.
Signal level sum list
Event log          vv
```

Menu

```
Baudrate Erkennung

Baudrate: 1.5  Mbaud

RS485 Spitzenpegel
Sollwert:2.5V<x<7.2V
Ist     :6.1 Volt
Status  :ok
```

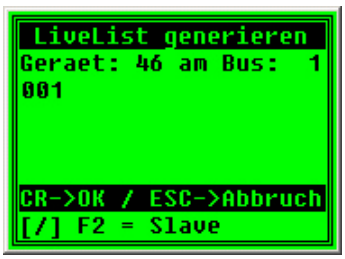
Baudratenerkennung und Signalqualität an laufenden Systemen

```
LiveList generieren
Geraet: 34 am Bus: 11
010 015 020 022 024
026 030 035 040 044
046

CR->OK / ESC->Abbruch
[/] F2 = Master
```

Aktuelle Slave Live-List

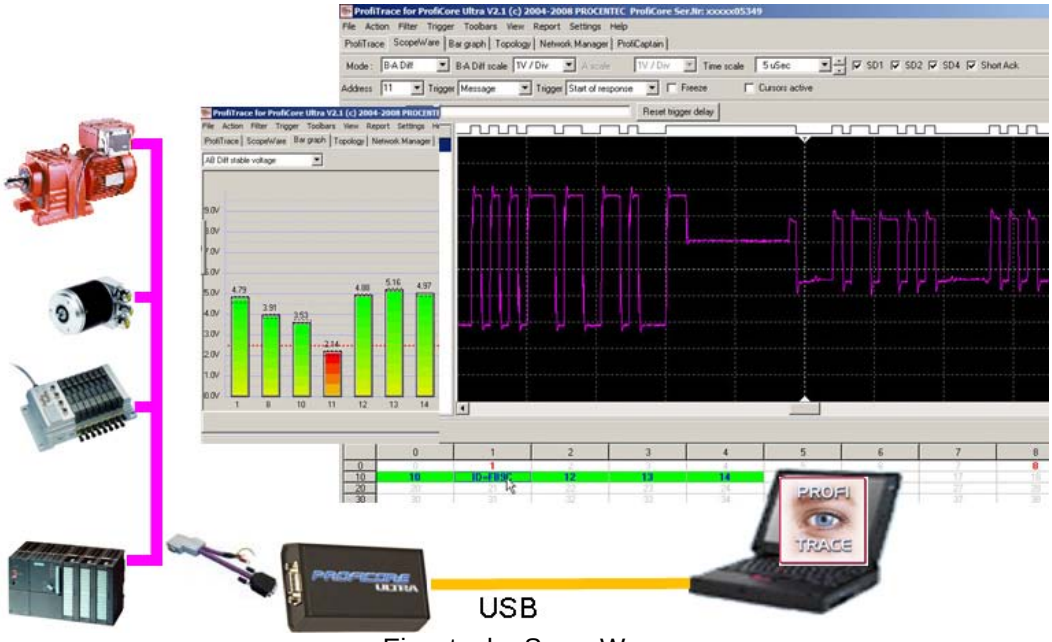
© 2009 Max Felser



Aktuelle Master Live-List

2.1.7.3 ScopeWare

Zum ProfiTrace ist als Option eine Software ScopeWare erhältlich. Diese Software erlaubt es einfach und übersichtlich die Pegel der einzelnen Stationen am Profibus zu messen. Ebenso ist ein Oszilloskop für die Darstellung der Signalverläufe eingebaut. Mit einem einfachen Mausklick auf die Adresse der Station in der Übersicht wird der Trigger auf die entsprechende Station eingestellt. Alle Einstellungen und Messungen sind auf das RS485 Signal optimiert.



Einsatz der ScopeWare

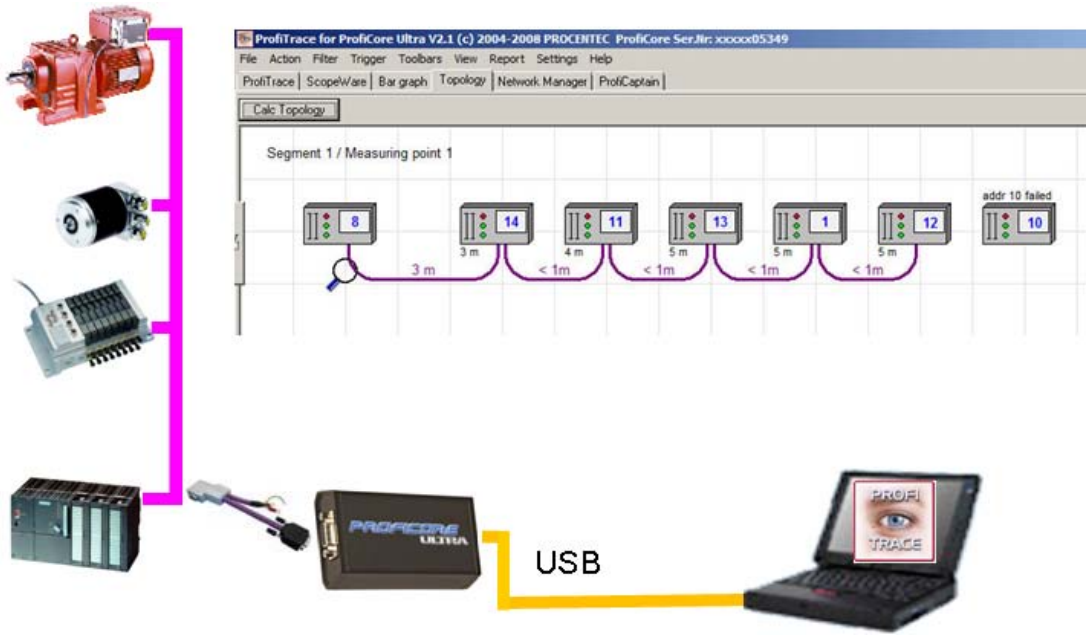
Für Kabeltests, wenn z.B. noch kein Master in Betrieb ist, kann auch der auf derselben Hardware verfügbare ProfiCaptain eingesetzt werden.

Weitere Informationen zu ProfiTrace findet man unter www.profitrace.ch

2.1.7.4 TopologyScan

Zum ProfiTrace 2 ist als Option eine zusätzliche Software verfügbar, die das automatische Erkennen der Topologie erlaubt.

© 2009 Max Felser



Messung der Topology

Diese Software kann zusätzlich zu einem vorhandenen Master oder mit dem in derselben Software vorhandenen Master eingesetzt werden.

Die aktuelle Version kann nur mit den Bitraten 500kBit/s und 1.5 MBit/s eingesetzt werden. Ebenso ist die Erkennung der Topologie nur bei einer minimalen Distanz von 1 m zwischen den Geräten erfolgreich und es muss an einem physikalischen Ende des Kabels gemessen werden.

2.2 Synchrone - MBP Übertragungstechnik

MBP (Manchester Bus Powered) Übertragungstechnik nach IEC 61158-2 Typ 1 wird bei PROFIBUS-PA verwendet. Dies ist dasselbe Verfahren, das auch bei anderen Feldbussen wie z.B. dem Foundation Fieldbus (FF) verwendet wird. Trotzdem können PROFIBUS PA und FF Geräte nicht auf demselben Kabel eingesetzt werden. Beim MBP werden, wie bei RS 485 zweiadrige, geschirmte Kabel eingesetzt. Es bestehen aber wesentliche Unterschiede in der Installationstechnik.

- MBP arbeitet mit Stromsignalen auf dem Bus
- MBP arbeitet mit einer festen Bitrate von 31.25 kbit/s
- MBP kann Daten und Speisung für die Feldgeräte auf zwei Drähten übertragen
- MBP-IS kann auch in Explosionsgefährdeter Umgebung eingesetzt werden (EEx ia/ib IIC).

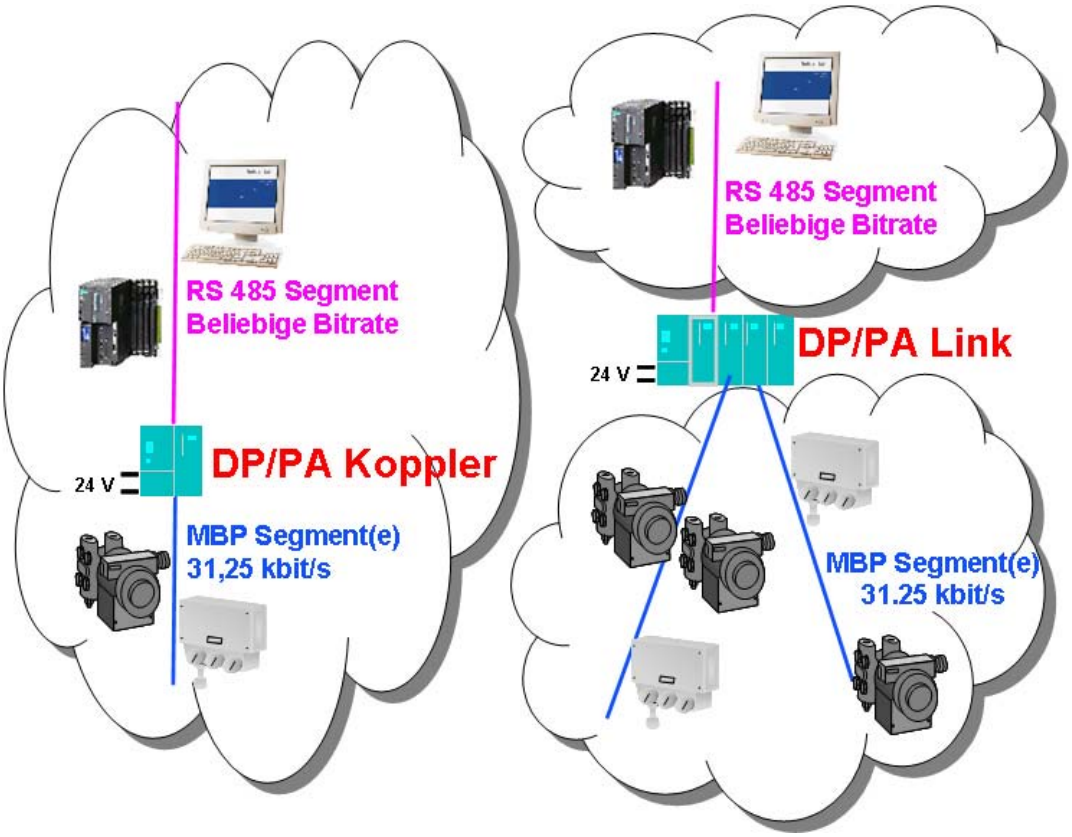
MBP Segmente werden mit DP/PA Kopplern oder Link Modulen erstellt. Jedes MBP Segment kann bis zu 32 Stationen mit einer Distanz von bis zu 1.9 km anschliessen. Bei explosionssicheren Installationen MBP-IS werden diese Werte jedoch stark reduziert.

2.2.1 Netzwerk Auslegung

Es gibt keine Master mit einem MBP Anschluss auf dem Markt. Alle Steuerungen, Leitsysteme oder Engineeringstationen verfügen in der Praxis nur über RS 485 Anschaltungen. Um nun Feldgeräte mit MBP Anschaltungen anzusteuern, braucht es somit Verbindungen zwischen RS 485 und MBP Segmenten.

Diese Verbindungen werden mit einem DP/PA Koppler oder DP/PA Link erstellt. Diese Module formen die Signale des RS 485 in die Signale nach MBP um. Gleichzeitig dienen diese Module auch als Einspeisung für die MBP Segmente und führen bei Bedarf eine Energiebegrenzung für den Explosionsschutz durch.

© 2009 Max Felser



Netzwerkübergänge DP/PA Koppler und DP/PA Link

An einem MBP Segment können bis zu 32 Feldgeräte auf einem Kabel mit einer maximalen Länge von 1900 Meter angeschlossen werden. Diese Dimensionen werden je nach Kabel und Anforderungen des Explosionsschutzes stark reduziert.

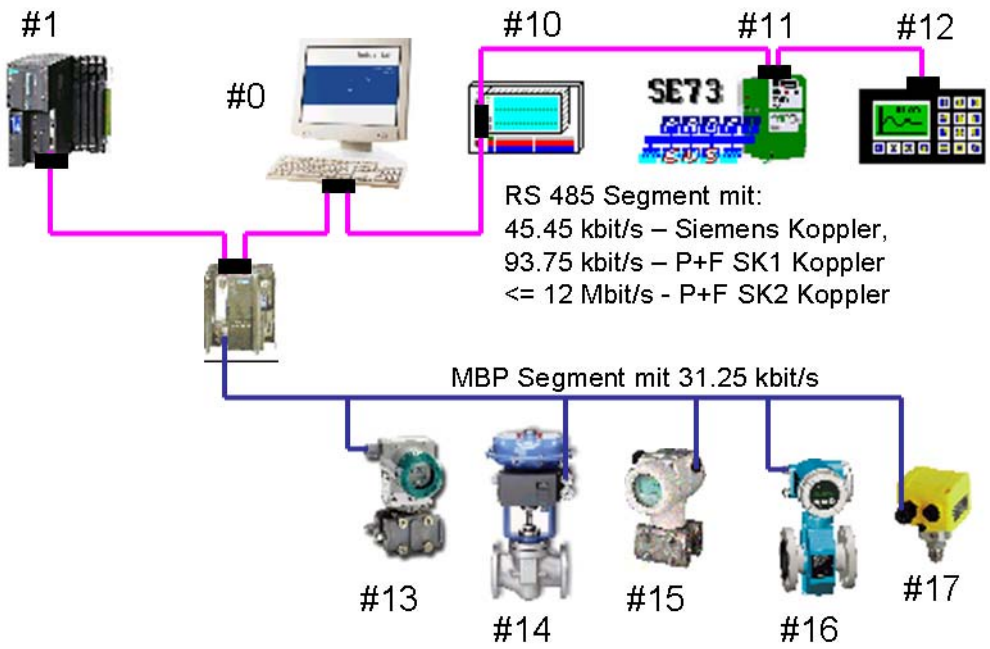
2.2.1.1 DP/PA Segmentkoppler

Ein DP/PA Segmentkoppler erweitert in einem PROFIBUS Netzwerk ein RS 485 Segment mit einem MBP Segment. Es können auch mehrere oder mehrfache Koppler eingesetzt werden.

DP/PA Segmentkoppler werden wie Repeater eingesetzt. Sie haben keine eigene Busadresse und sind transparent für die DP Masterstation, die das PA Netzwerk kontrolliert. Wenn DP/PA Segmentkoppler eingesetzt werden, hat jedes PA Gerät eine eigene Stationsadresse, die im gesamten PROFIBUS Netzwerk eindeutig sein muss.

Der DP/PA Segmentkoppler verändert, im Gegensatz zu einem normalen Repeater, die Bitrate. Die Bitrate des RS 485 Segmentes wird auf die vorgegebene Bitrate des MBP Segmentes von 31.25 kBit/s reduziert. Dabei unterscheiden wir DP/PA Segmentkoppler die mit einer festen RS 485 Bitrate arbeiten (45.45 oder 93.75 kBit/s) von Kopplern die mit beliebigen Bitraten umgehen können.

© 2009 Max Felser



Der Einsatz eines DP/PA Segmentkopplers

Damit diese Koppler richtig arbeiten können müssen bei festen Bitraten bestimmte Busparameter angepasst werden:

Bitrate	45,45 kBit/s	93,75 kBit/s
T_{SL} (in t_{Bit})	640	4095
Min T_{SDR} (in t_{Bit})	11	22
Max T_{SDR} (in t_{Bit})	400	100
T_{SET} (in t_{Bit})	95	150

*) diese Parameterwerte gelten wenn Telegramme mit mehr als 64 Byte Nutzdaten übertragen werden sollen.

Hinweis:
Um Zeit zu gewinnen werden bei einigen Produkten nicht alle Telegramme durchgereicht. So wird zum Beispiel der Token nicht immer übertragen. Bei Kopplern mit sehr hohen Biraten auf der RS 485 Seite müssen die zyklischen Daten zwischengespeichert werden. Zusätzlich wird bei der Initialisierung die maximalen Antwortzeiten automatisch erhöht und der tieferen Bitrate auf der MBP Seite angepasst. Die Koppler sind also, obwohl in der Projektierung nicht sichtbar, nicht immer transparent wie man dies von einem Repeater erwarten würde.

2.2.1.2 DP/PA Link

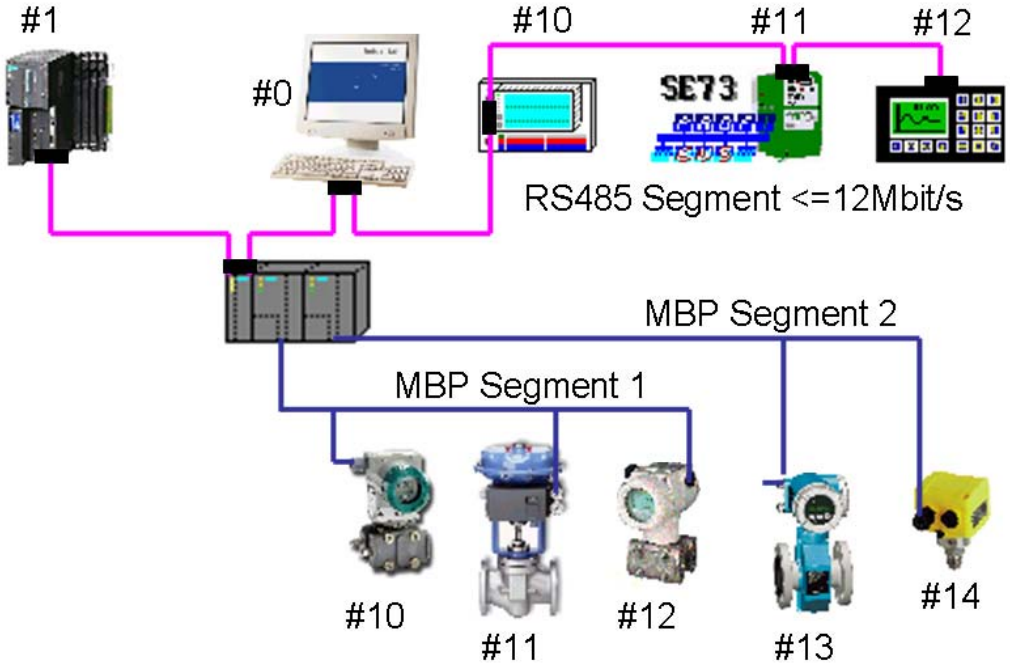
Ein DP/PA Link verbindet ein PROFIBUS-DP Netzwerk mit einem PROFIBUS-PA Netzwerk. Es enstehen somit zwei verbundene Netzwerke. Das PROFIBUS PA Netzwerk kann dabei aus mehreren MBP Segmenten bestehen.

Ein DP/PA Link Modul verhält sich wie ein Slave auf dem RS 485 Segment und wie ein Master auf den MBP Segmenten. Somit verfügt das DP/PA Link Modul über eine Slave Stationsadresse auf dem RS 485 Segment und eine Master Stationsadresse auf den MBP Segmenten. Über diese DP-Slave Adresse können nun Steuerungen und Engineeringstationen auf die Feldgeräte an den MBP Segmenten zugreifen.

Die MBP Segmente bilden somit ein neues PROFIBUS Netzwerk. Die Adressen in diesem neuen PROFIBUS Netzwerk sind somit unabhängig von allen anderen Adressen in anderen Netzwerken, insbesondere auch dem PROFIBUS Netzwerk mit den RS485 Segmenten. Ebenso kann das RS 485 Segment mit einer völlig anderen und unabhängigen Bitrate (z.B. 12 Mbit/s) kommunizieren als die feste Bitrate vom MBP Segment. Ein typisches DP/PA Link Modul kann mit mehreren DP/PA Segmentkopplern

© 2009 Max Felser

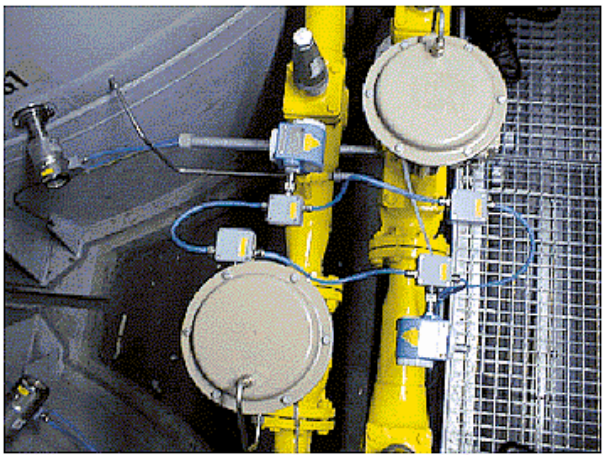
ausgestattet werden um mehrere MBP Segmente zu treiben.



Einsatz des DP/PA Link

2.2.1.3 Stichleitungen

Unabhängig ob DP/PA Links oder DP/PA Segmentkoppler eingesetzt werden, bleiben die Regeln für die Installation eines MBP Segmentes identisch. Im Gegensatz zur RS 485 Installation kann bei MBP eine freie Topologie gewählt werden: linearer Bus, Stichleitungen oder Baumstruktur. Stichleitungen sind beim MBP eine übliche Montageart, da einzelne Feldgeräte mit Anschlussboxen angeschlossen werden.



Die Länge der Stichleitungen in einem MBP Netzwerk hängt von der Anzahl der Stichleitungen ab. Die Tabelle zeigt die empfohlenen Längen für die Stichleitungen. Beachten Sie die zusätzlichen Einschränkungen bei einer eigensicheren Installation.

Anzahl der Stichleitungen	Maximale Länge einer Stichleitung	Maximale Länge einer Stichleitung bei einer EExi Installation
25 to 32	1 m	1 m
19 to 24	30 m	30 m
15 to 18	60 m	30 m
13 to 14	90 m	30 m

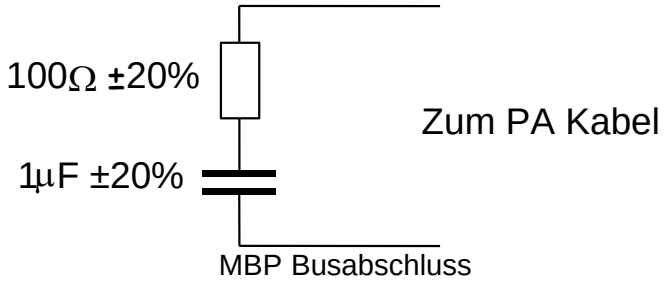
© 2009 Max Felser

Anzahl der Stichleitungen	Maximale Länge einer Stichleitung	Maximale Länge einer Stichleitung bei einer EExi Installation
1 to 12	120 m	30 m

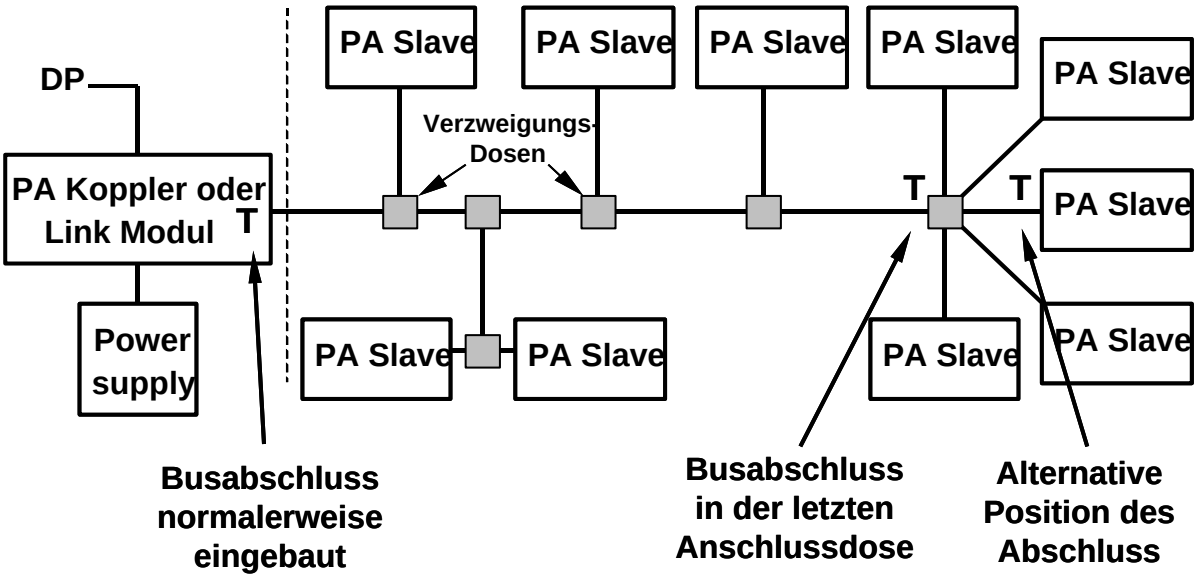
Feldgeräte können angeschlossen und entfernt werden, auch wenn der Bus unter Spannung steht, ohne Rückwirkung auf andere Feldgeräte. Dabei ist lediglich zu beachten, dass das Kabel nicht Kurzgeschlossen wird. Bei einem Kurzschluss sind alle Feldgeräte an demselben Segment ohne Speisung.

2.2.1.4 Busabschluss

Der Busabschluss für MBP Segmente hat die gleiche Funktion wie bei RS 485 beschrieben: Es sollen Reflektionen vermieden werden. Der Busabschluss bei MBP ist aber völlig anders aufgebaut als der Busabschluss bei RS 485. Ein MBP Busabschluss besteht auf einem Widerstand und einer Kapazität in Serie geschaltet zwischen den beiden Leitern:



Dieser Abschluss muss nicht speziell mit Spannung versorgt werden, er ist passiv. Der Busabschluss muss nur an der Hauptleitung angebracht werden und nicht an den einzelnen Stichleitungen. Die meisten Segment-Koppler verfügen über eingebaute Busabschlüsse, die somit an einem Ende des MBP Segmentes sein sollten. Der zweite Busabschluss befindet sich somit am letzten oder am weitesten entfernten Feldgerät oder in der letzten Anschluss- oder Verzweigungsdose.



Kombination von Baumstruktur und Stichleitungen

2.2.1.5 Kabel für PROFIBUS PA mit MBP

Die Norm IEC 61158-2 spezifiziert vier verschiedene Kabeltypen für den Einsatz in PROFIBUS PA mit MBP Segmenten (Siehe nachstehende Tabelle). MBP Typ A Kabel - nicht dasselbe wie RS 485 Typ A Kabel – ist ein Zweileiter geschirmtes und verseiltes Kabel mit den optimalsten Leistungsmerkmalen betreffend Signaldämpfung und Kabellänge.

© 2009 Max Felser

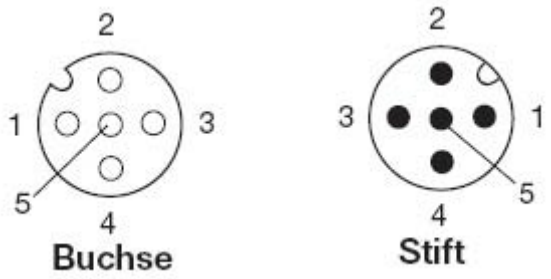
	Leiterpaare	Schirm	Leiterquerschnitt	Max Widerstandsbelag	Max Totale Kabel Länge
Type A	Einzelnes	Ja (90%)	0.8 mm^2	44 Ω/km	1900 m
Type B	Mehrere	Über Alles	0.32 mm^2	112 Ω/km	1200 m
Type C	Mehrere	Keinen	0.13 mm^2	264 Ω/km	400 m
Type D	Mehrere	Keinen	1.25 mm^2	40 Ω/km	200 m

Wenn Kabel vom Typ A verwendet werden, darf die gesamte Kabellänge, inklusive Stichleitungen, maximal 1,9 km betragen. Beim Einsatz in explosionsgefährdeter Umgebung und eigensicherem Aufbau werden die Leitungslängen stark reduziert.

Es wird empfohlen Kabel Typ A für neue Installationen zu verwenden. Es ist aber nützlich auch andere Kabel einsetzen zu können, insbesondere wenn bestehende Anlagen auf PROFIBUS PA umgebaut werden sollen.

2.2.1.6 M12 MBP Stecker

Für den Anschluss von Feldgeräten mit MBP Technologie werden auch M12 Stecker empfohlen Diese Stecker sind aber zur klaren Unterscheidung zu Kabel und Stecker für RS 485 A und nicht B codiert.



M12-5 A - codiert
nach IEC 60947-5-2 oder IEC 61076-2-101

Pin Nr.	Signal	Funktion	
1	DATA-B	Daten Leitung Plus (B-Leiter)	Pflicht
3	DATA-A	Daten Leitung Minus (A-Leiter)	Pflicht
4	Schirm	Masseverbindung	Otional
Gewinde	**Schirm**	**Masseverbindung**	**Empfohlen**

Da die Busabschlüsse immer passiv sind, wird am Gerätestecker keine zusätzliche Speisung angebracht.

2.2.2 Betrachtungen zur Eigensicheren Installation

Die synchrone Übertragung gemäss IEC 61158-2 mit einer festgelegten Baudrate von 31,25 kBit/s kommt in der Prozessautomatisierung zum Einsatz. Sie erfüllt wichtige Anforderungen der Chemie und Petrochemie: Eigensicherheit und Busspeisung in Zweileitertechnik. Damit kann PROFIBUS auch in Ex-Bereichen eingesetzt werden. Möglichkeiten und Grenzen von PROFIBUS mit IEC 61158-2 Übertragungstechnik für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen sind durch das FISCO-Modell (Fieldbus Intrinsically Safe Concept) festgelegt. Das FISCO-Modell wurde in Deutschland von der Physikalisch Technischen Bundesanstalt (PTB) entwickelt und wird heute international als Basismodell für den Betrieb von Feldbussen in Ex-Bereichen anerkannt. Die Übertragung gemäss IEC 61158-2 und FISCO-Modell erfolgt nach folgenden Grundsätzen:

- Beim Senden eines Teilnehmers wird keine Leistung in den Bus eingespeist.
- In jedem Segment gibt es nur eine einspeisende Quelle, das Speisegerät.
- Jedes Feldgerät nimmt im eingeschwungenen Zustand einen konstanten Grundstrom auf.
- Die Feldgeräte wirken als passive Stromsenke.
- Der passive Leitungsabschluss erfolgt an beiden Enden der Bushauptleitung.
- Es sind Netze in Linien-, Baum- und Sterntopologie möglich.

© 2009 Max Felser

Jeder Teilnehmer nimmt im eingeschwungenen Zustand einen Grundstrom von mindestens 10 mA auf. Dieser Strom dient bei Busspeisung der Energieversorgung des Feldgerätes. Die Kommunikationssignale werden vom sendenden Gerät durch Aufmodulieren von +/- 9 mA auf den Grundstrom erzeugt.

Ein verpolter Anschluss eines Feldgerätes in MBP Technik hat keine Folgen für die Funktionsfähigkeit des Busses, da diese Geräte üblicherweise mit einer automatischen Polaritätserkennung ausgerüstet sind.

Die Anzahl der an ein Segment anschliessbaren Teilnehmer ist auf max. 32 beschränkt. Sie wird jedoch durch die gewählte Zündschutzart und eine eventuelle Busspeisung weiter eingeschränkt. Bei eigensicheren Netzen ist sowohl die maximale Speisespannung als auch der maximale Speisestrom in engen Grenzen festgelegt. Aber auch bei nicht eigensicheren Netzen ist die Leistung des Speisegeräts begrenzt.

Mögliche Speiseleistungen bei MBP

Typ	Einsatzgebiet	Speisespannung	maximaler Speisestrom	maximale Leistung	typische*) Teilnehmerzahl
I	EEx ia/ib IIC	13,5 V	110 mA	1,8 W	9
II	EEx ib IIC	13,5 V	110 mA	1,8 W	9
III	EEx ib IIB	13,5 V	250 mA	4,2 W	22
IV	Nicht eigensicher	24 V	500 mA	12 W	32

*) die Angabe bezieht sich auf eine Stromaufnahme von 10 mA je Gerät. Wenn ein Gerät mehr als 10 mA aufnimmt, so reduziert sich die Zahl der anzuschließenden Geräte entsprechend.

Als Faustregel für die Bestimmung der max. Leitungslänge ist es ausreichend, den Strombedarf der anzuschließenden Feldgeräte auszurechnen, ein Speisegerät aus Tabelle 7 auszuwählen und die Leitungslänge für den gewählten Kabeltyp aus Tabelle 8 abzulesen. Der benötigte Strom(=S Strombedarf) ergibt sich aus der Summe der Geräte-Grundströme, der in dem jeweiligen Segment angeschlossenen Feldgeräte, sowie einer Reserve von 9 mA je Segment für den Ansprechstrom des FDE (Fault Disconnection Equipment). Das FDE verhindert, daß fehlerhafte Geräte den Bus dauerhaft blockieren können.

Maximaldistanzen bei MBP

Speisegerät		Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV	Typ IV	Typ IV
Speisespannung	V	13,5	13,5	13,5	24	24	24
Σ Strombedarf	mA	≤ 110	≤ 110	≤ 250	≤ 110	≤ 250	≤ 500
Σ Leitungslänge bei q=0,8 mm² (Referenz)	m	≤ 900	≤ 900	≤ 400	≤ 1900	≤ 1300	≤ 650
Σ Leitungslänge bei q=1,5 mm²	m	≤ 1000	≤ 1500	≤ 500	≤ 1900	≤ 1900	≤ 1900

Der gemeinsame Betrieb von busgespeisten und fremdgespeisten Geräten ist zulässig. Zu beachten ist, daß auch fremdgespeiste Geräte einen Grundstrom über den Busanschluss aufnehmen, der bei der Berechnung des maximal verfügbaren Speisestroms entsprechend zu berücksichtigen ist.

2.3 Lichtwellenleiter (LWL) Übertragungstechnik

Für Anwendungen in stark störbehafteter Umgebung, zur Potentialtrennung oder zur Vergrösserung der Reichweite bei hohen Übertragungsgeschwindigkeiten können bei PROFIBUS Lichtwellenleiter (LWL) eingesetzt werden. Im Englischen werden solche Systeme als *Fiber-Optics* bezeichnet und mit FO abgekürzt.

© 2009 Max Felser

Es stehen verschiedene Fasertypen mit unterschiedlichen charakteristischen Merkmalen bezüglich Reichweite, Preis und Einsatzgebiet als Lichtwellenleiter zur Verfügung. PROFIBUS Segmente in Lichtwellenleitertechnik werden entweder in Stern-, Bus- oder in Ringstruktur aufgebaut. Die LWL Komponenten einiger Hersteller ermöglichen auch den Aufbau redundanter LWL-Übertragungsstrecken mit automatischer Umschaltung auf den alternativen physikalischen Übertragungsweg im Fehlerfall.

Lichtwellenleiter haben verschiedene Vorteile gegenüber Kupferleitungen:
- Mit Glas-Fasern sind grössere Distanzen möglich als mit Kupferleitungen
- Die Übertragung über Lichtwellenleiter ist vollständig immun gegen elektromagnetische Störungen
- Die elektrische Isolation eliminiert Erdpotentialdifferenzen und Erdungs-Ausgleichsströme
- Lichtwellenleiter sind sehr leicht und praktisch immun gegen Korrosion

Im allgemeinen verwenden LWL Übertragungssysteme einen Übergang von RS 485 zu Licht der hier als LWL-Konverter bezeichnet wird.

2.3.1 Systemaufbau

Die asynchrone Datenübertragung mit Lichtwellenleitern ist beim PROFIBUS festgelegt im Abschnitt 23 der Norm IEC 61158-2.

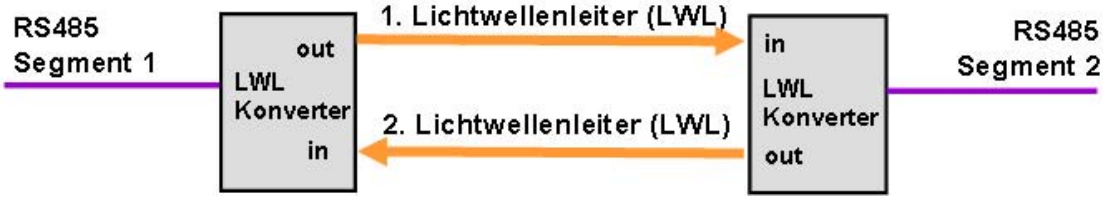
Ein Lichtwellenleitersystem besteht immer aus einem Sender der aus dem elektrischen Signal das Licht erzeugt und einem Empfänger der aus dem Licht wieder in ein entsprechendes elektrisches Signal umgewandelt wird.

Das Licht kann unterschiedliche Wellenlängen aufweisen, was beim sichtbaren Licht der Farbe des Lichtes entspricht. Beim PROFIBUS sind die Wellenlängen 660nm, 850nm und 1300nm vorgesehen. 660nm ist ein rotes, sichtbares Licht und die anderen Wellenlängen sind unsichtbares Infrarot.

Grundsätzlich wird ein Bit mit dem Wert "0" (ZERO) als Licht (*hell*), und der Wert "1" (ONE) als kein Licht (*dunkel*) übertragen. Bei einzelnen Herstellern besteht aber auch die Möglichkeit diese Kodierung umzudrehen (invertieren).

Für jede Wellenlänge sind unterschiedliche Pegel für *hell* und *dunkel* für die Sender und die Empfänger in der Norm festgelegt. Ein Lichtwellenleiter muss somit das Licht vom Sender zum Empfänger leiten, ohne dass die Dämpfung das vorgeschriebene Mass überschreitet.

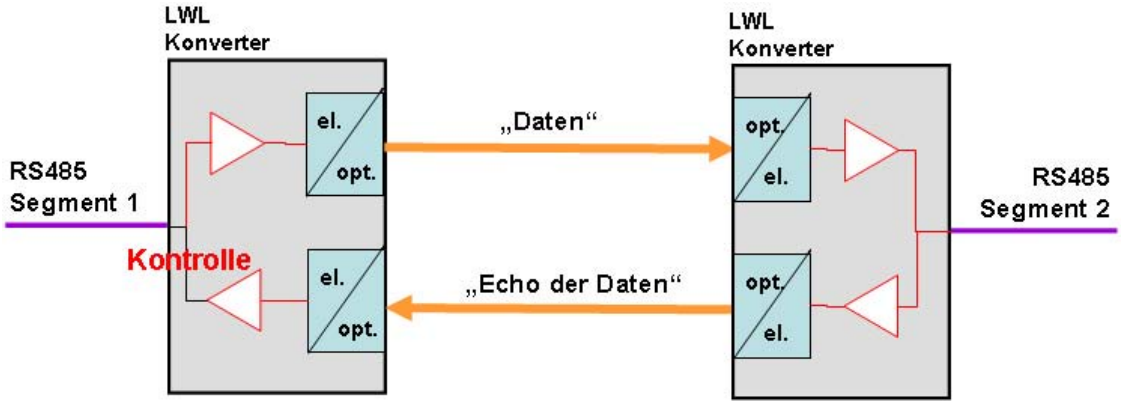
Um nun zwei elektrische PROFIBUS Segmente über Lichtwellenleiter zu verbinden, braucht es mindestens zwei Lichtwellenleiter. Ein Leiter für den Hinweg und ein Leiter für den Rückweg.



Eine solche Lichtwellenleiter Strecke funktioniert wie ein Repeater, nur über eine grössere Distanz. Somit haben die einzelnen LWL-Konverter weder eine Adresse noch erscheinen diese in der Konfiguration des Systemes. Lediglich bei der Festlegung der Busparameter müssen diese eventuell berücksichtigt werden.

Im normalen Betriebsmodus werden auf einem LWL die Daten übertragen und auf den zweiten bleibt das "idle" Signal. Es gibt nun die Möglichkeit die korrekte Funktion der Verbindung mit einem "Echo" zu überprüfen.

© 2009 Max Felser



Zu diesem Zweck werden die gesendeten Daten vom Empfänger über die zweite LWL wieder an den Sender zurückgesendet. Dieser vergleicht das empfangene mit dem gesendeten Signal und gibt bei Abweichungen eine Fehlermeldung. Bedingung für die korrekte Funktion ist natürlich, dass das Echo nicht zu lange verzögert werden darf. Diese Überprüfung der LWL Verbindung ist die Voraussetzung für den Aufbau eines redundanten Netzwerkes.

2.3.2 LWL-Konverter

LWL-Konverter sind von unterschiedlichen Herstellern verfügbar. Jeder optische Kanal an einem LWL-Konverter verlangt nach zwei LWL: eine für den Empfang und eine für das Senden der Daten. Einige LWL-Konverter verfügen über vier optische Anschlüsse (2 Eingänge und 2 Ausgänge) um zwei optische Segmente oder redundante Systeme anzuschliessen zu können.

Optical Link Modul
(OLM)
Siemens

PSI-MOS
Phoenix Contact

OZD Profi
Hirschmann

Der LWL-Konverter ist im Ruhezustand passiv und sendet nur ein "idle" Signal mit dem Wert "1" (dunkel) über den LWL. Sobald ein elektrisches Signal erkannt wird, wird die Senderichtung erkannnt und aktiviert. Sobald 8 - 11 Bitzeiten keine Pegeländerung mehr auftritt wird wieder in den Ruhezustand gewechselt. Um also die Senderichtung richtig abschalten zu können, muss der LWL-Konverter - wie auch ein Repeater - die Dauer eines Bits und somit die Bitrate des PROFIBUS kennen. Es gibt dazu zwei Möglichkeiten:

1. Selbstlernende LWL-Konverter
2. Einstellbare LWL-Konverter

Der selbstlernende LWL-Konverter verstellt so lange die Bitrate, bis er mehrere Zeichen mit richtiger Parität erkennen kann. Dieser Vorgang dauert eine unbestimmte Zeit. Werden während einer definierten Zeit, z.B. von 100 ms keine korrekten Zeichen mehr auf, beginnt der Suchvorgang erneut. Ein selbstlernender LWL-Konverter braucht also eine Einstellzeit und kann die Konfiguration bei zu grossen Pausen auf dem Bus z.B. bei tiefen Bitraten wieder verlieren.

Der fest eingestellte LWL-Konverter ist sofort betriebsbereit, muss aber bei einer Anpassung der Bitrate neu eingestellt werden.

Einzelne Feldgeräte haben auch fest eingebaute LWL Anschlüsse. Dabei werden vor allen kostengünstige LWL aus Kunsstoff mit der Wellenlänge 660 nm zur Potentialtrennung eingesetzt. Für Feldgeräte ohne LWL Anschluss gibt es auch einfache Konverter direkt in einem D-Sub Stecker oder als einfacher LWL-Konverter (hier als Optisches Busterminal bezeichnet).

© 2009 Max Felser

Optisches Bus Terminal (OBT) / Siemens

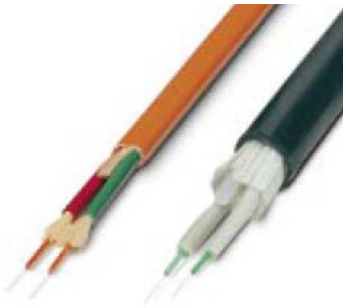
ET200 FO Siemens

OZD ProfiPlug P21 Hirschmann

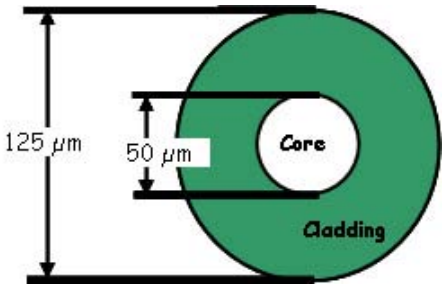
Deltron

2.3.3 Lichtwellenleiter

Die Eigenschaften eines Lichwellenleiters (LWL) werden durch das Material, die Wellenlänge des eingesetzten Lichtes und den konstruktiven Aufbau beeinflusst.



Kostengünstige Kunststoff-Fasern (polymere) sind auf Grund der hohen Licht-Dämpfung des Materials auf eine maximale Länge von 80 Metern beschränkt. Mit dem dem Einsatz von teueren Glas-Fasern können auch Distanzen bis zu mehreren Kilometern überbrückt werden.



Ein Lichtwellenleiter besteht aus drei Schichten: Ein Kern (Core), eine Übertragungsschicht (Cladding) und der schützende Mantel. Die Kennzahlen geben die Dimensionen des Kernes und des Lichtleiters an.

Als Vergleich zu diesen Dimensionen ist der Durchmesser eines menschlichen Haares nur ca. 75 µm.

Beim PROFIBUS werden die folgenden LWL eingesetzt:

LWL Fasertyp	Dimensionen	Wellenlänge	typische Dämpfung	maximale Einsatzdistanz
Kunststoff-Faser	980/1000 µm	660 nm	230 dB/km	bis zu 80 m
PCF/HCS-Faser	200/230 µm	660 nm	10 dB/km	bis zu 400 m
		850 nm	8 dB/km	bis zu 800 m
Multimode Glasfaser	50/125 µm	850 nm	2,5 dB/km	bis zu 2600 m
		1310 nm	1 dB/km	bis zu 10 km
	62,5/125 µm	850 nm	3 dB/km	bis zu 3300m
		1310 nm	1 dB/km	bis zu 10 km
Singlemode Glasfaser	9/125 µm	1300 nm		bis zu 15 km

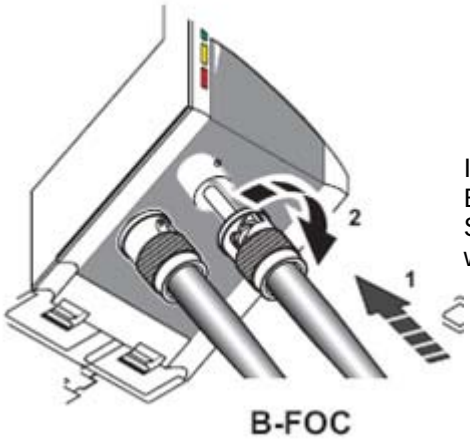
HCS steht dabei für Hard Clad Fiber, ein Lichtwellenleiter mit Quarzglaskern und einem Mantel aus einem speziellen Kunststoff. PCF (Polymer Cladded Fiber) ist ein synonym für den gleichen Aufbau, dessen Namen aber nicht rechtlich geschützt ist.

Weitere Informationen zu Lichtwellenleitern findet man auch im Wikipedia (http://de.wikipedia.org/wiki/Lichtwellenleiter).

© 2009 Max Felser

2.3.4 LWL Stecker

Der Anschluss der LWL verlangt nach speziellen Steckern.



In der Norm IEC 61158-2 wird dabei der Stecker BFOC/2.5 mit Bajonettverschluss als Standardstecker vorgeschlagen. Dieser Stecker wird oftmals auch als ST-Simplex bezeichnet.

Einige Hersteller haben auf ihren Geräten für unterschiedliche Wellenlängen auch bewusst unterschiedliche Stecker vorgesehen. Dies wird in der Norm auch ausdrücklich nicht ausgeschlossen.

LWL aus Kunststoff sind genügend dick und können somit vor Ort angeschlossen werden, während der Anschluss von der dünnen Glasfasern etwas aufwändiger ist. Oftmals werden darum vorfabrizierte Kabel verwendet.

2.3.5 Netzwerkaufbau

Die optische Übertragung wird typischerweise zusammen mit RS 485 Leitungen zu einem Netzwerk zusammengebaut. Dazu werden Konverter für den Übergang zwischen LWL und elektrischen Signalen eingesetzt. Gleichzeitig wirken diese LWL-Konverter wie Repeater, indem sie ein Netzwerk in verschiedene Segmente aufteilen.

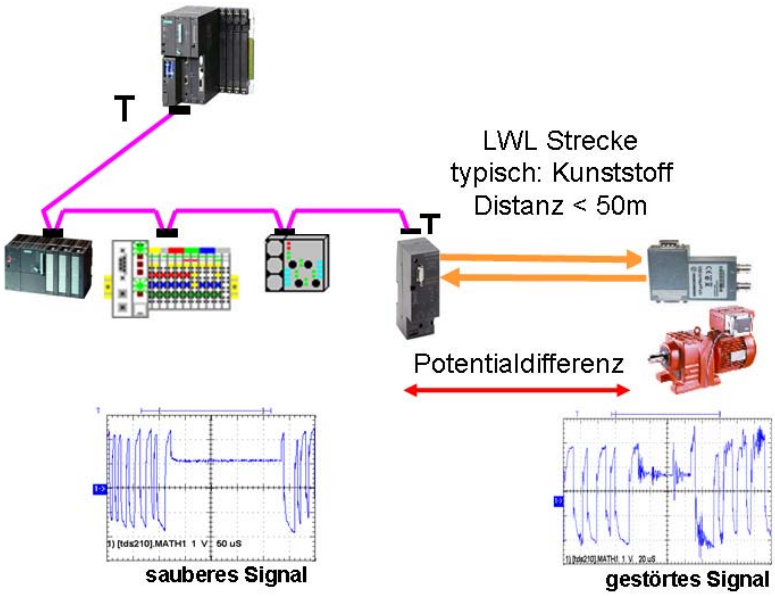
Wir wollen hier drei typische Beispiele etwas genauer betrachten:
1. Isolation eines Gerätes mit einer Potentialdifferenz oder grossen Störungen
2. Abdeckung einer grossen Einsatzfläche oder grossen Distanzen
3. Verteilnetz mit erhöhter Verfügbarkeit dank dem Einsatz von Redundanz

2.3.5.1 Isolation eines Gerätes

In diesem Anwendungsbeispiel wird der Motor über eine getrennte Einspeisung mit Energie versorgt, was zu Potentialdifferenzen bei der Masse führen kann, oder der die Ansteuerung des Motors ist nicht sauber und verursacht EMV Störungen mit grosser Energie.

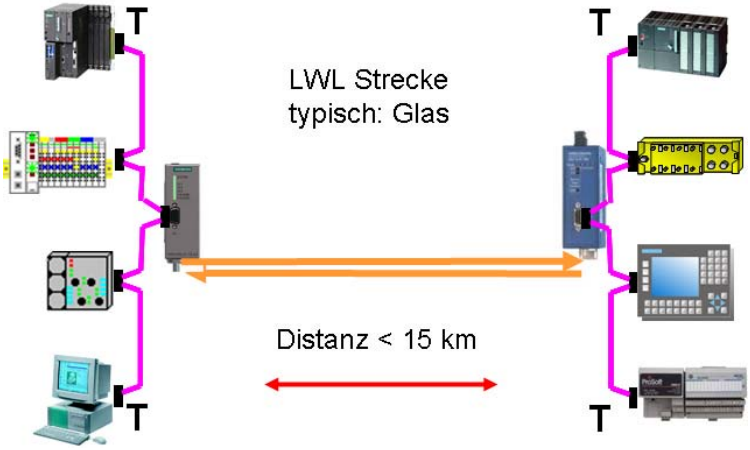
Wir können die Wirkung dieser Probleme reduzieren, wen wir eine optische Übertragungsstrecke einsetzen. Oftmals ist es genügend dazu eine kostengünstige Kunststoff-Faser ein zu setzen. LWL Konverter können direkt auf das Feldgerät aufgesteckt werden.

© 2009 Max Felser



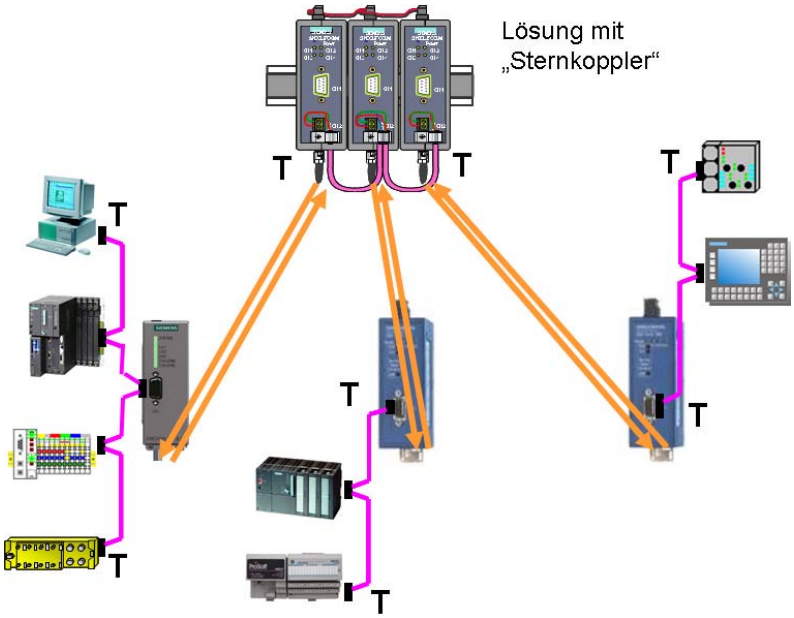
2.3.5.2 Grosse Distanzen

Wenn in einer Anwendung eine grössere Distanz überbrückt werden muss, kann ein optisches Segment eingesetzt werden. Die eingesetzte Glasfaeser und die LWL Konverter richten sich nach der Distanz.

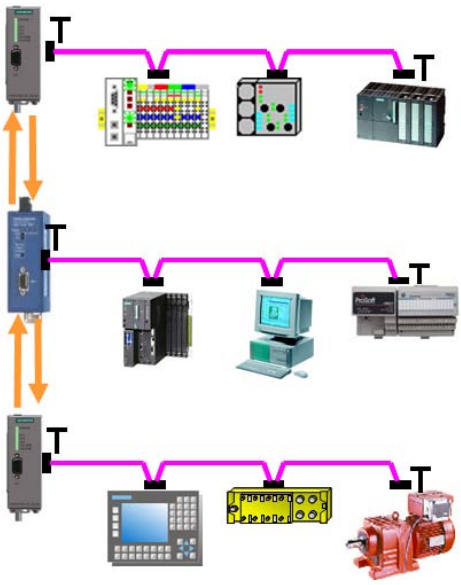


Wenn die Anlage eine grosse Fläche abdeckt, können mehrere solche Übertragungsstrecken miteinander kombiniert werden. Eine typische Konstruktion ist ein sternförmiger Aufbau. Dabei wird es möglich, jede Teilstrecke je nach Bedarf mit einer anderen Technologie aus zu führen.

© 2009 Max Felser



Bei einer Anlage mit mehreren Stockwerken oder Schaltschränken bietet es sich an, die LWL Strecken zu kaskadieren und eine Art "Backbone" (=Rückgrat) des PROFIBUS mit optischer Übertragungsstrecken zu realisieren.

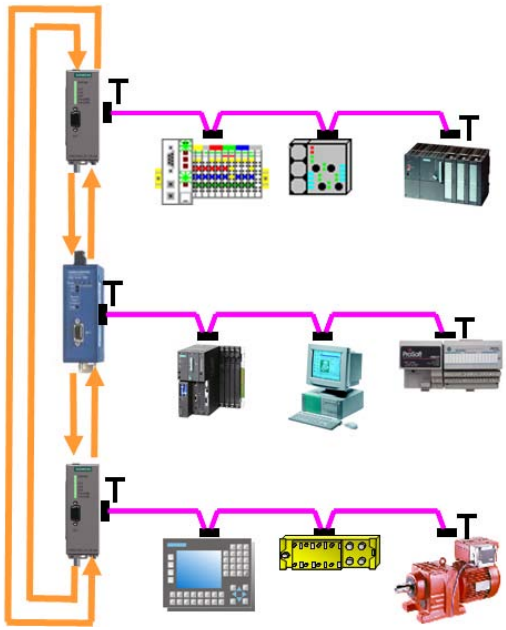


Schlussendlich kann man zusammenfassend festhalten, dass mit der Hilfe der optischen LWL Übertragungstechnik jede beliebige Fläche oder Distanz mit dem PROFIBUS abgedeckt werden kann, da die LWL Strecken oftmals mehrfach hintereinander geschaltet werden dürfen.

2.3.5.3 Erhöhte Verfügbarkeit

Wenn in einer Anlage die Gefahr besteht, dass die doch sehr langen LWL Leiter unterbrochen oder sogar zerstört werden können, besteht die Möglichkeit einen Redundanten Ring auf zu bauen.

© 2009 Max Felser



Damit die Verfügbarkeit mit einem redundanten Ring erhöht werden kann, müssen ein paar Bedingungen eingehalten werden:

1. Jede einzelne Verbindung muss auf Ihre Funktion dauern überprüft werden (vergleiche das Echo).
2. Ein Ausfall einer Verbindung muss klar signalisiert werden. Die LWL Konverter verfügen dazu oftmals über Relaiskontakte. Ohne Auswertung dieser Signale ist eine Redundanz sinnlos!
3. Es müssen Prozesse für die Reparatur einer fehlerhaften Verbindung definiert sein.

2.3.6 Zeit-Berechnungen

Die minimale Antwortzeit (Slot-Time) muss den Dimensionen des optischen Netzwerkes angepasst werden:

$$T_{slot_init} = a + b \times L + c \times N$$

a, b, c = Parameter siehe nachstehende Tabellen
L = Netzausdehnung in km
N = Anzahl der LWL-Konverter

Linien-, Baum-, Sternstruktur:

Bitrate	a	b	c
12 MBit/s	811	120	2
6 MBit/s	461	60	2
3 MBit/s	261	30	2
1,5 MBit/s	161	15	2
500 kBit/s	111	5	2
187,5 kBit/s	71	1,875	2
93,75 kBit/s	71	0,9375	2
45,45 kBit/s	411	0,4545	2
19,2 kBit/s	71	0,192	2
9,6 kBit/s	71	0,096	2

Ringstruktur (Redundant):

© 2009 Max Felser

Bitrate	a	b	c
12 MBit/s	1651	240	44
6 MBit/s	951	120	44
3 MBit/s	551	60	44
1,5 MBit/s	351	30	44
500 kBit/s	251	10	44
187,5 kBit/s	171	3,75	44
93,75 kBit/s	171	1,875	44
45,45 kBit/s	851	0,909	44
19,2 kBit/s	171	0,384	44
9,6 kBit/s	171	0,192	44

Diese Tabellen sind als Hinweis zu verstehen. Für die genauen Angaben sind ie Tabellen in den Handbüchern des jeweiligen Herstellers massgebend.

2.3.7 Pegelkontrolle

Für die Maximalen LWL Längen ist das optische Budget massgebend. Dazu gelten die folgenden Verhältnisse:

Optisches Budget = minimale Sendeleistung – Empfindlichkeit – Reserve

Länge x Dämpfung < Optisches Budget

Dies kann in einem Datenblatt dann so aussehen:

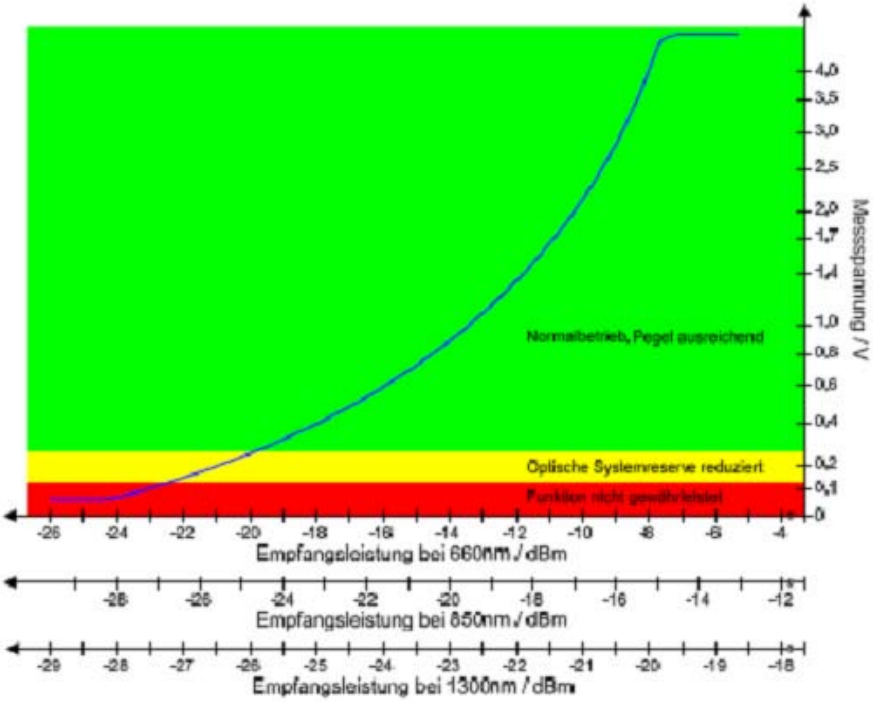
Wellenlänge	850 nm
Eingekoppelte Leistung	15µW (–18 dBm) min. (50/125µm Glasfaser) (@ 25°C)
	35µW (–14.5 dBm) min. (62.5/125µm Glasfaser) (@ 25°C)
Empfindlichkeit	2µW (–27 dBm) typ.
Optisches Budget	6 dB (+3 dB Reserve) (50/125µm Glasfaser)
	9.5 dB (+3 dB Reserve) (62.5/125µm Glasfaser)
Typische Reichweite	2000 m (+Reserve) (50–62.5/125µm Glasfaser)
Optischer Anschluss	ST
Optische Signallage	nicht invertierend (Ruhelage: Licht aus)

Aus dem Datenblatt:
DOT 6332 S; ProfiBus-LWL-Umwandler; 9polig
ST für Glasfaser; 850nm; www.deltron.ch

Die Pegel für verschiedene Lichtwellenlängen und LWL Kombinationen sind in der IEC 61158-2 Norm festgelegt. Die Längenangaben aus der Tabelle sind mit solchen typischen Angaben zusammengestellt.

Bei der Inbetriebnahme sind nun die erreichten Pegel zu überprüfen. Dazu haben einzelne LWL Konverter eine Anzeige mit unterschiedlichen LEDs oder es wird ein Kontrollsignal ausgegeben. Dieses Kontrollsignal erlaubt die Beurteilung der empfangenen Signalpegel und somit die Qualität der Installation.

© 2009 Max Felser



Beurteilung der gemessenen Signalpegel
(Quelle: Siemens OLM Handbuch)

2.4 Elektromagnetische Störungen (EMV)

Es gibt grundsätzlich zwei verschiedene Mechanismen, wie Störungen in ein Kabel eindringen können:

- ***Elektrostatische Störung*** – wobei eine kapazitive Kopplung die Störspannungen in einem Kabel erzeugt,
- ***Elektromagnetische Störung*** – wobei magnetische Felder im Kabel Ströme durch induktive Kopplung induzieren.

Verseilung der Leitungen in einem Kabel reduziert die elektromagnetische Kopplung. Eine Installation in einer magnetischleitenden Kabelführung, z.B. einem metallischen Kabelkanal oder Rohr, kann die elektromagnetische Kopplung weiter reduzieren. Eine Abschirmung reduziert die elektrostatische Einkopplung. Eine Schirmung ist nur wirksam, wenn sie sauber mit der Erdung (Masse) verbunden ist.

Alle PROFIBUS Installationen sollten mit geschirmten, verseilten Kabel ausgeführt werden. Die Spezifikationen der Kabel für RS 485 – PROFIBUS DP/FMS - sind unterschiedlich von den Kabeln für MBP – PROFIBUS - PA.

2.4.1 Allgemeine Richtlinien

Um irrtümliche Beschädigung von Buskabeln zu vermeiden, sollten sie mit einer speziellen Farbe markiert sein und getrennt von anderen Signalkabeln verlegt werden.

Bei der Verlegung dürfen die Kabel nicht verbogen oder verletzt werden, dies kann zu Reflektionen im Kabel führen. Im speziellen dürfen Buskabel nicht gestreckt oder gedrückt werden und der minimale Biegeradius ist immer einzuhalten (der typische minimale Biegeradius für Drahtkabel ist 75 mm und für Litzenkabel 45 bis 65 mm).

Um die Störungsbeeinflussung der Datenleitung zu minimieren, sollten die Busleitungen getrennt von anderen Leitungen verlegt werden. Es können dabei die folgenden Kategorien von Kabel unterschieden werden:

© 2009 Max Felser

Kategorie I:

- ⇒ Feldbus und LAN Kabel (z.B. PROFIBUS, Asi, Ethernet etc…)
- ⇒ Geschirmte Kabel für digitale Daten (z.B. Drucker, RS232 etc...)
- ⇒ Geschirmte Kabel für analoge und digitale Kleinspannungssignale (≤25V)
- ⇒ Kleinspannungsversorgungen (≤60V)
- ⇒ Koaxiale Signalkabel

Kategorie II:

- ⇒ Kabel mit Gleichstrom Spannungen im Bereich >60V und ≤400 V
- ⇒ Kabel mit Wechselstrom Spannungen im Bereich >25V und ≤400 V

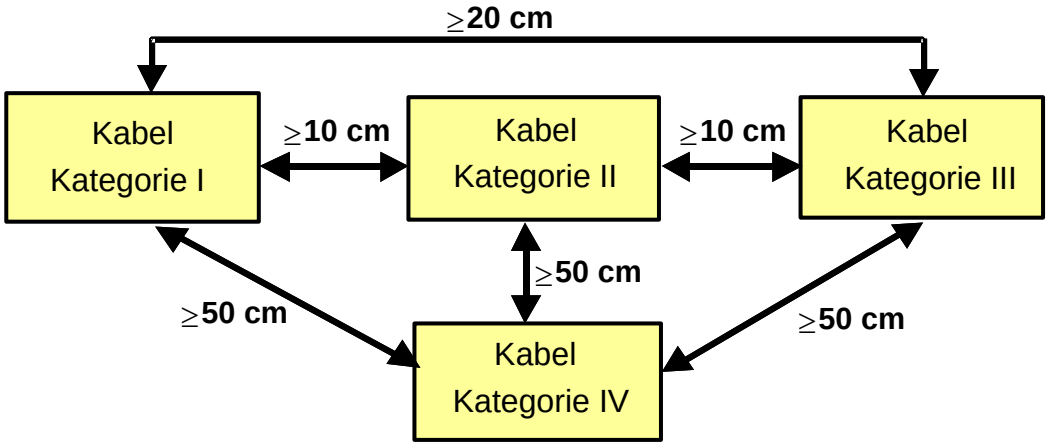
Kategorie III:

- ⇒ Kabel mit Gleich- und Wechselstrom im Spannungsbereich von >400 V
- ⇒ Telephonkabel.

Kategorie IV:

- ⇒ Kabel der Kategorie I bis II wo die Gefahr von Überspannungen wie z.B. Blitzschlag besteht (z.B. Verbindungen zwischen verschiedenen Gebäuden)

Kabel derselben Kategorie können zusammen verlegt werden oder direkt nebeneinander in denselben Kabelkanal verlegt werden. Kabel unterschiedlicher Kategorie müssen einen minimalen Abstand gemäss nachstehender Abbildung einhalten und sollten Idealerweise in getrennten metallischen Kanälen oder Abtrennungen geführt werden. Wenn Kabel unterschiedlicher Kategorie sich kreuzen, sollte dies immer Rechtwinklig geschehen. Auf keinen Fall sollten die Kabel parallel geführt werden.

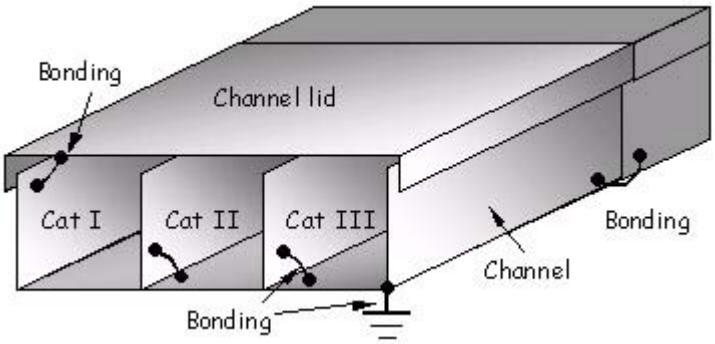


Abstände und Distanzen zwischen Kabel unterschiedlicher Kategorien

2.4.2 Einsatz von Kabelkanälen

Wenn Kabel in gemeinsamen Kabelkanälen verlegt werden, müssen die Distanzen eingehalten werden.

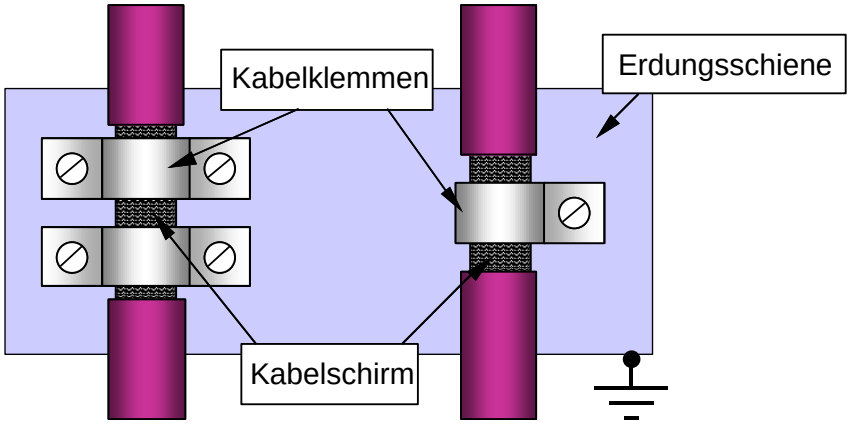
Wenn der metallische Kabelkanal in unterschiedliche Teile aufgeteilt ist, können die Kabel direkt nebeneinander verlegt werden. Dabei muss aber ein Kabelkanal pro Kategorie von Leitungen verwendet werden. Wenn nur ein einziger Kabelkanal zur Verfügung steht, müssen die minimalen Distanzen eingehalten oder metallische Trennwände eingesetzt werden. Diese Trennwände müssen elektrisch niederohmig und niederinduktiv leitend mit dem Kabelkanal verbunden sein.



Die metallenen Kabelkanäle sollen mit dem Erdungs- und Potentialausgleichsystem des Gebäudes verbunden sein. Um dies zu erreichen müssen die einzelnen Teile des Kabelkanals miteinander und mit dem Gebäude so oft als möglich verbunden sein. Dehnungsnuten und isolierte Teile müssen mit Masseleitungen überbrückt werden. Die Masseleitungen zwischen den einzelnen Kabelkanalteilen müsse gegen Korrosion geschützt sein.

2.4.3 Verlegung in einem Schaltschrank

Für die Kabelverlegung in einem Schaltschrank gelten die folgenden Erweiterungen: Alle Schirme der eintretenden Kabel müssen an Masse gelegt werden, so nahe des Eintretens in den Schrank als möglich. Die Klemmen müssen einen großflächigen Anschluss des Kabelschirmes an die Masse des Schrankes sicherstellen.



Erdung der Kabel beim Eintritt in einem Schaltschrank

Parallele Verlegung von internen Leitungen und eingeführten Kabel bis zu ihrer Massefestlegung sollen vermieden werden, sogar für Kabel derselben Kategorie. Für einen guten Kontakt sind beschichtete oder galvanisch stabilisierte Masseschienen ideal. Bemalte Flächen sind bei der Masseauflegung zu vermeiden. Wenn die Isolation vom Kabel entfernt wird ist sicherzustellen, dass der Schirm nicht verletzt wird.

Wenn nicht genügend Platz für die minimalen Distanzen ist, sollen die Kabel unterschiedlicher Kategorie durch metallische Kanäle getrennt werden.

Wenn PROFIBUS Geräte innerhalb von einem Schrank mit einer Bitrate über 1.5 Mbit/s verbunden werden wird eine minimal Kabellänge von 1 m empfohlen. Dies bedeutet dass eventuelle Schlaufen verlegt werden müssen.

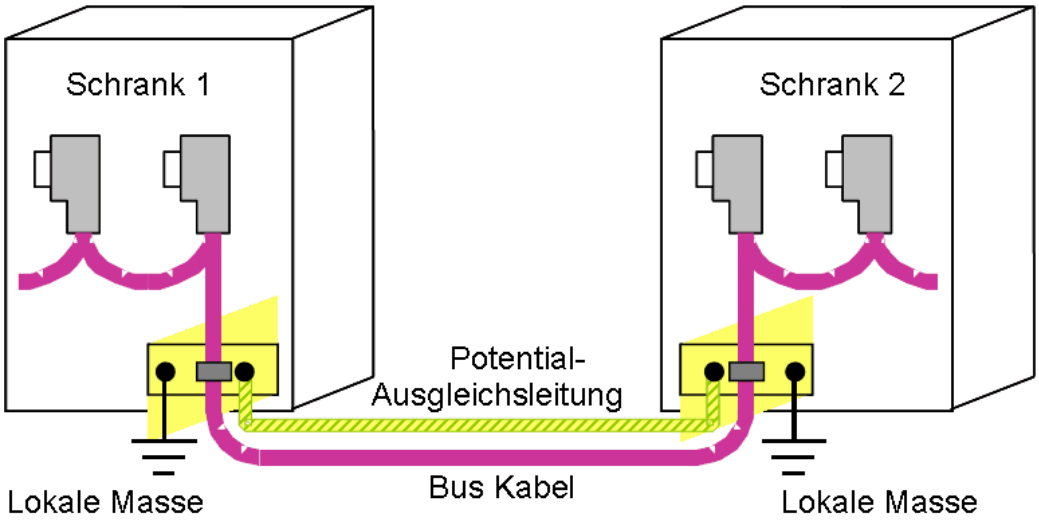
2.4.4 Potentialausgleich

Damit der Schirm wirkungsvoll hochfrequente Störungen abschirmen kann, muss er an beiden Enden geerdet sein. In speziellen Installationen können Potentialdifferenzen zwischen unterschiedlichen Orten einer Installation auftreten und somit zu Potentialausgleichströmen entlang eines Kabelschirms. Solche Ausgleichströme auf einem Kabelschirm sind absolut zu vermeiden, denn diese können zu Störungseinkopplungen führen. Erdungsprobleme treten auf wenn:

a) das Buskabel eine grosse Fläche abdeckt oder eine grosse Distanz überbrückt
b) die elektrische Energie aus verschienen Quellen (z.B. mehrere Substationen) kommt
c) grosse elektrische Leistungen (Schweissroboter, grosse Antriebe etc.) konsumiert werden

Eine Lösung ist ein zusätzliches Potentialausgleichskabel zwischen den einzelnen Potentialen zu installieren. Die Potentialausgleichsleitung sollte auch grosse Ströme ableiten können (ein Querschnitt von 16 mm2 ist nicht unüblich). Litzenkabel mit einer guten Oberfläche sollten eingesetzt werden, damit auch hochfrequente Ströme effizient abgeleitet werden können.

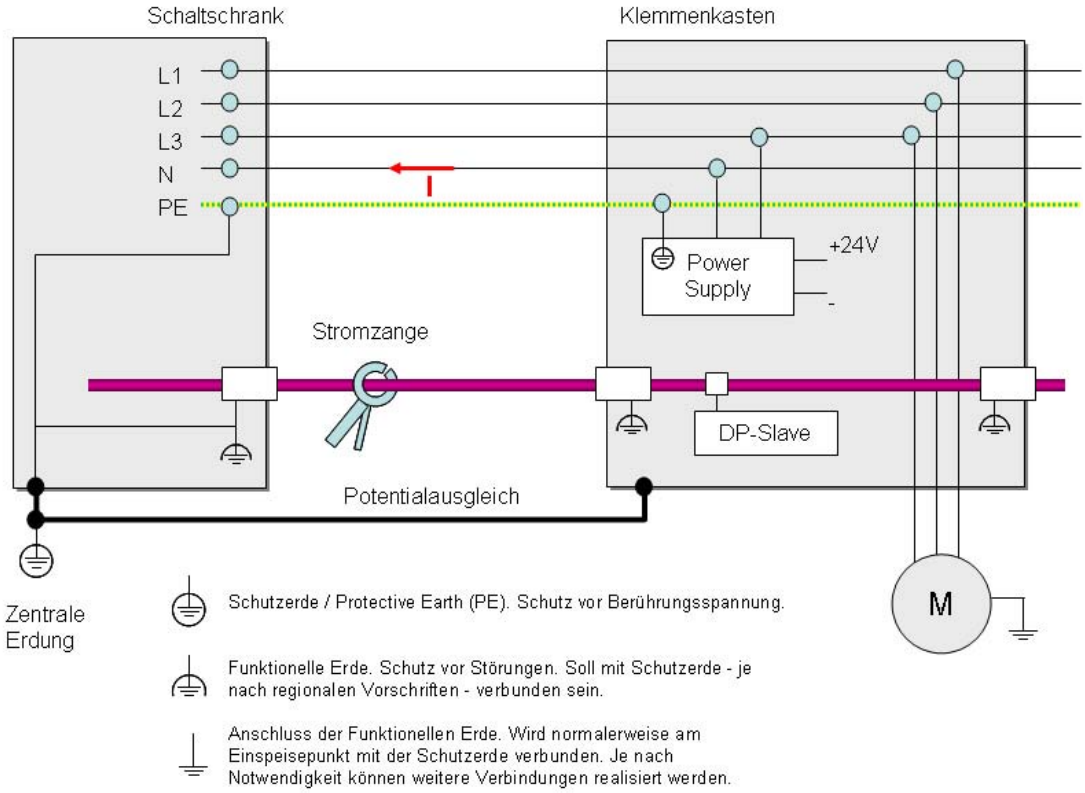
© 2009 Max Felser



Installation einer Potentialausgleichsleitung

Potentialausgleichsleitungen sollen parallel und möglichst nahe beim Buskabel verlegt werden, damit die Fläche zwischen den beiden Kabeln möglichst klein ist.

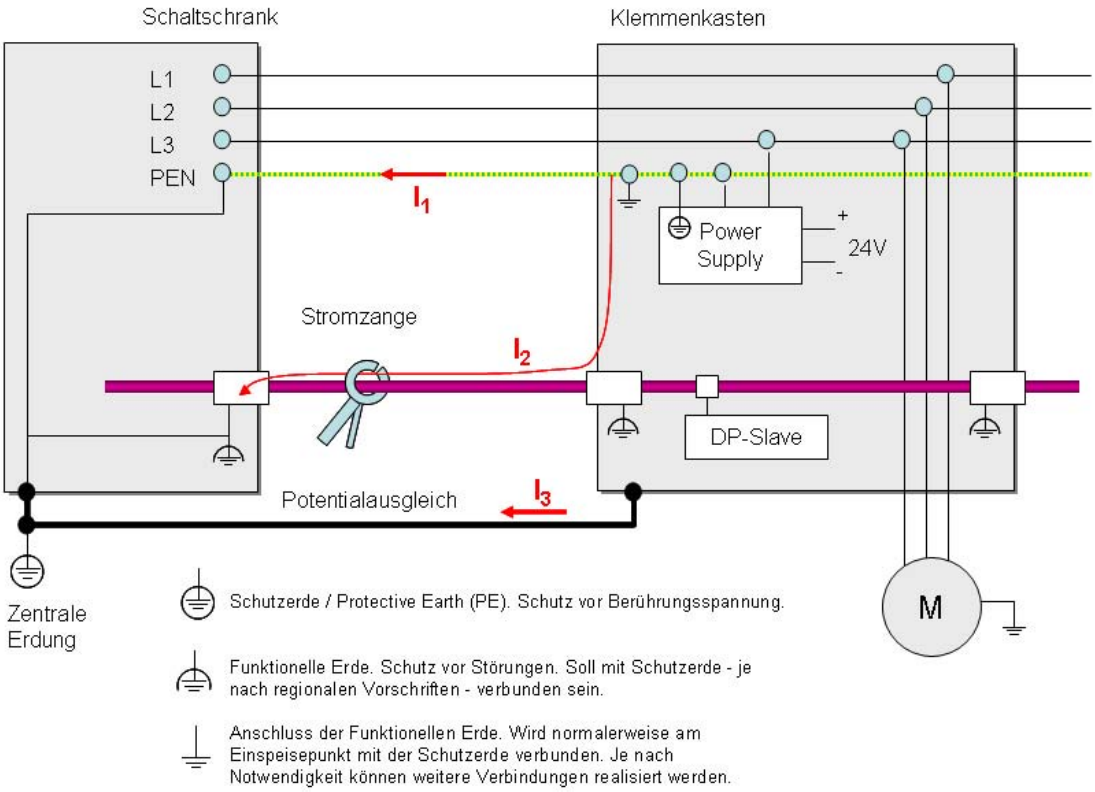
WICHTIG: Der Schirm eines Buskabels darf NIE für den Potentialausgleich verwendet werden!



PE Verkabelung (5-Leiter = TN-S)

Bei einer PE Verkabelung (5-Leiter = TN-S) sind der Nullleiter (N) und die Schutzerde (PE) konsequent getrennt. Auch bei unsymmetrischer Last fliesst kein Strom auf der Erde und somit bleibt auch der Schirm des PROFIBUS Kabels Stromfrei. Mit einer Stromzange kann dies einfach kontrolliert werden. Der Strom auf dem Schirm sollte den Wert von ein paar Milliampere nicht übersteigen.

© 2009 Max Felser

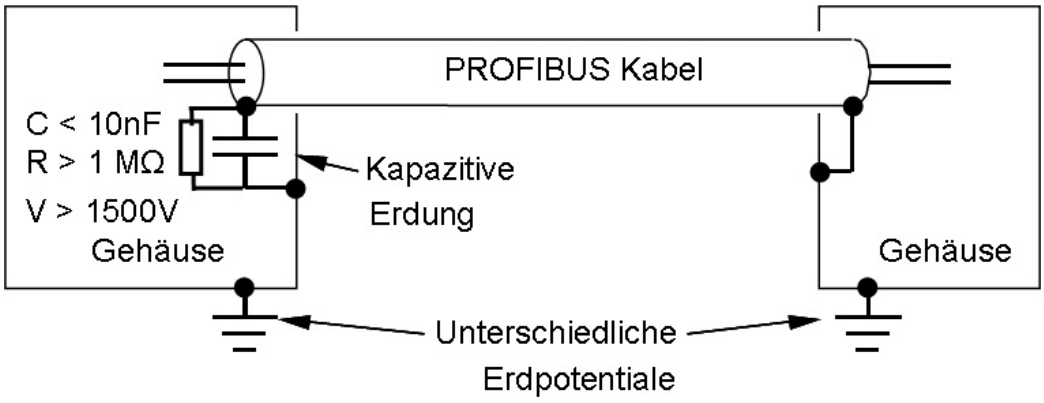


PEN Verkabelung (4-Leiter = TN-C)

Bei einer PEN Verkabelung (4-Leiter = TN-C) fliesst der Ausgleichstrom I_1 bei unsymmetrischer Last auf dem gemeinsamen PEN Leiter. Er sucht dabei den Weg des geringsten Widerstandes. Ein Teil des Stromes I_3 kann also auch durch die Erdung abgeleitet werden. Dabei kann es sein, dass ein nicht unwesentlicher Teil I_2 auch über den Schirm des PROFIBUS abgeleitet wird. Dies kann mit einer einfachen Stromzange festgestellt werden.

Als Abhilfe wird empfohlen einen Teil dieser Verbindung mit einer LWL auszuführen oder mit einem Repeater eine galvanische Isolation des Schirms zu realisieren.

Als Alternative wird in den Normen auch eine kapazitive Erdung vorgeschlagen. Der Schirm wird dabei mit einer RC Kombination angeschlossen. Die kleine Kapazität (< 10 nF) leitet die hochfrequenten Störungen ab, wirkt aber hochohmig für die Netzfrequenz (50 oder 60Hz) und verhindert somit Ausgleichströme über den Schirm. Ein parallelgechalteter hochohmiger Widerstand verhindert, dass sich die Kapazität mit einer Gleichspannung aufladen kann. Diese kapazitive Erdung kann an einem oder allen Enden eines PROFIBUS Kabels ausgeführt werden. Mit der Stromzange kann auch hier die richtige Funktion kontrolliert werden.



Kapazitive Erdung des Schirms

© 2009 Max Felser

2.5 Literatur

Die folgenden **Normen** definieren die Installation eines PROFIBUS:

IEC 61918:2007 Industrial communication networks – Installation of communication networks in industrial premises	In dieser Norm werden allgemeine Grundsätze über die Installation von Feldbussen zusammengestellt. Dabei werden die Vorgaben aller in der IEC 61158 aufgeführten Feldbusse zusammengestellt. Somit ist in dieser Norm nicht immer klar, was nun wie beim PROFIBUS wie angewendet werden soll.
IEC 61784-5-3:2007 Industrial communication networks - Profiles - Part 5: Installation of fieldbuses - Installation profiles for CPF 3	In diesem Teil der Norm wird nun die IEC 61918 für den PROFIBUS umgesetzt. Dabei wird zwischen dem CPF3/1 - dem PROFIBUS-DP und CPF3/2 - dem PROFIBUS-PA unterschieden. Auch der PROFINET wird in dieser Norm behandelt.

Die elektrische Übertragung basiert auf der Norm
RS 485: ANSI TIA/EIA-485-A, Electrical Characteristics of Generators and Receivers for Use in Balanced Digital Multipoint Systems.

Bemerkung: Im Rahmen von diesem Handbuch wird wie auch in den Internationalen Normen diese ANSI EIA-485 Norm immer als RS 485 referenziert.

Im Zusammenhang mit der Übertragungstechnik sind die folgenden **Richtlinien** von der PROFIBUS Organisation veröffentlicht worden. Die Inhalte dieser Richtlinien sind heute mehrheitlich auch in den oben aufgeführten Normen enthalten.

Mitgliedsfirmen der PROFIBUS Organisation können diese Dokumente kostenlos unter www.profibus.com beziehen. Bezugsadresse in der Schweiz info@profibus.ch

RL 2.111 Aufbaurichtlinien PROFIBUS-DP/FMS	Diese Richtlinie von 1998 beschreibt die Installationsvorschriften für die RS 485 Übertragung im Detail.
RL 2.142 PROFIBUS Interconnection Technology	In dieser Richtlinie von 2001 werden die verschiedenen Stecker und Stecksysteme für den PROFIBUS festgelegt.
RL 2.092 PROFIBUS-PA User and Installation Guideline	Die MBP Installationstechnik für PROFIBUS-PA wird in dieser Richtlinie von 2003 festgelegt. Ebenso werden die Anforderungen für Feldgeräte im Ex i Umfeld genauer definiert.
RL 2.262 Profibus RS 485-IS User and Installation Guideline	Auch bei RS 485 ist eine Ex i Version definiert worden. Diese Festlegungen sind in dieser Richtlinie von 2003 zusammengefasst.
RL 2.021 Fibre optical data transfer for PROFIBUS	In dieser Richtlinie aus dem 1999 sind die Übertragungssysteme mit Lichtwellenleiter für den PROFIBUS definiert worden.

Damit diese Richtlinien besser angewendet werden können, wurden von der PROFIBUS Organisation auch Handbücher geschaffen. Diese Handbücher können von Jedermann kostenlos auch auf der Website www.profibus.com heruntergeladen werden.

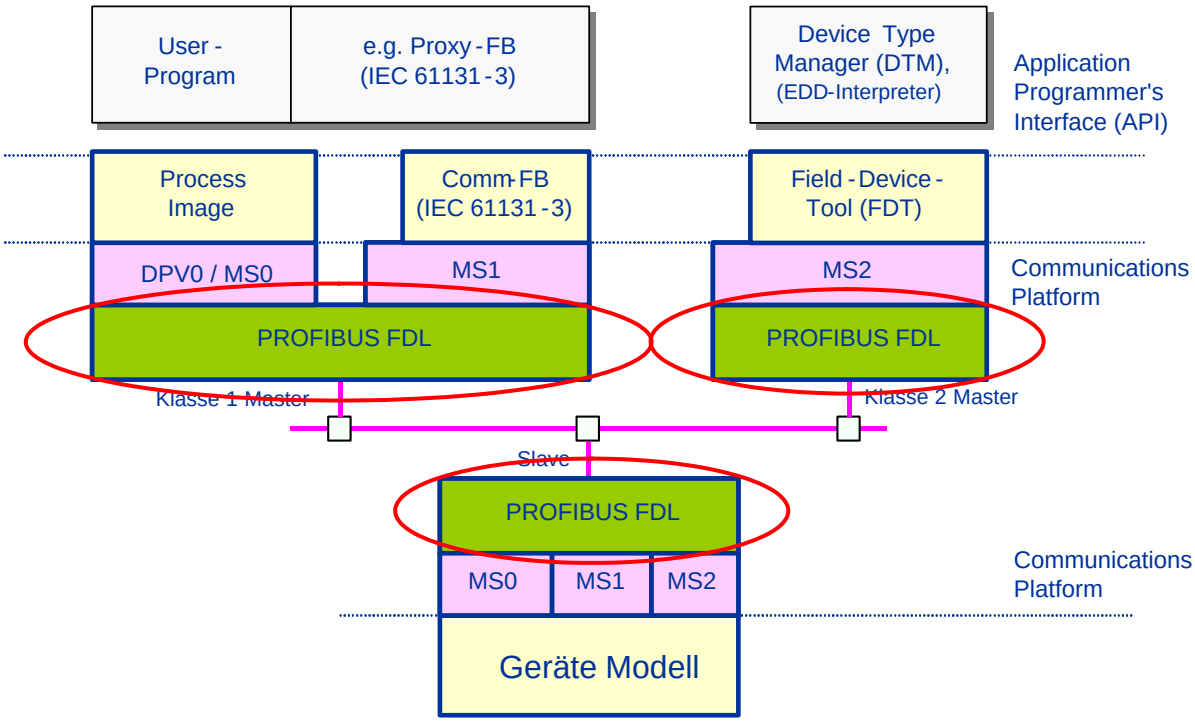
© 2009 Max Felser

HB 8.011 PROFIBUS Planungsempfehlung	Dieses Handbuch ist im Moment noch in Planung und soll in den nächsten Monaten veröffentlicht werden.
HB 8.021 PROFIBUS Montageempfehlung	In diesem recht umfangreichen Handbuch von 120 Seiten werden die Vorschriften der Montage eines PROFIBUS praxisgerecht Schritt für Schritt erläutert.
HB 8.031 PROFIBUS Inbetriebnahmeempfehlung	In diesem Handbuch wird die systematische Inbetriebnahme und die Abnahme eines PROFIBUS Netzwerkes beschrieben. Das Handbuch wird ergänzt mit Checklisten für den praktischen Einsatz.

© 2009 Max Felser

3 FDL: Datenübertragung

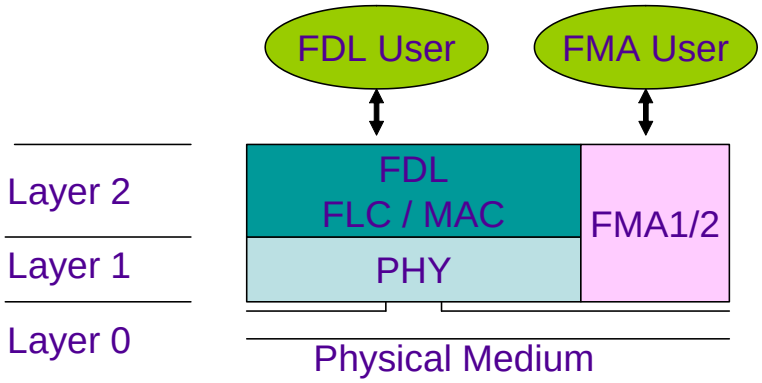
Die einheitliche Datenübertragung wird beim PROFIBUS durch die Fieldbus Data Link (FDL) Funktionen übernommen. Diese Funktionen sind für alle Profile des PROFIBUS identisch.



Wir können die folgenden Funktionen unterscheiden:

- Medium Access and Control (MAC)
- Fieldbus Link Control (FLC)
- Fieldbus Management (FMA)

Jede dieser Funktionsgruppen stellt bestimmte Dienste zur Verfügung und wird mit bestimmten Funktionen realisiert.



Wir können Dienste für die Datenübertragung und Verwaltungsdienste (Management) unterscheiden

© 2009 Max Felser

3.1 Dienste für die Datenübertragung

Der PROFIBUS bietet die folgenden Dienste für die Datenübertragung an:

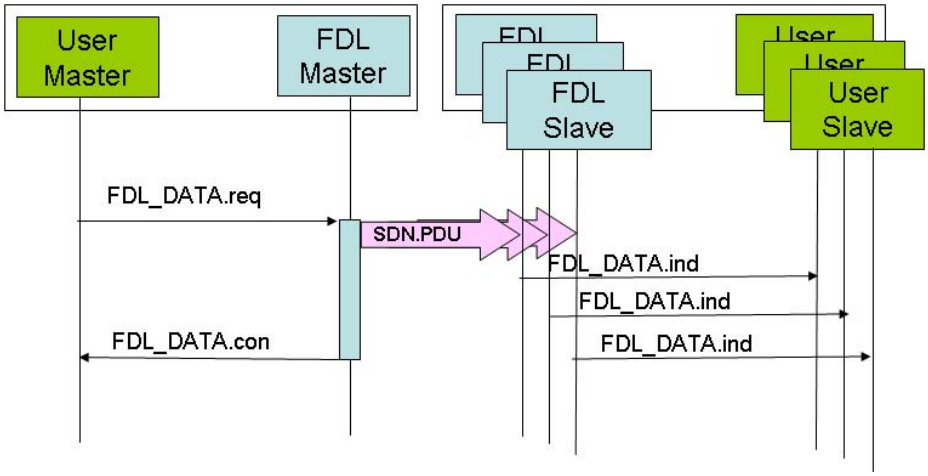
Dienst	Funktion	DP-V0	DP-V1	DP-V2	FMS
SDN	Send Data with No acknowledge	X	X	X	X
SDA	Send Data with Acknowledge	(X)			X
SRD	Send and Request Data	X	X	X	X
CSRD	Cyclic Send and Request Data				X
MSRD	Send and Request Data with Multicast Reply			X	
CS	Clock Synchronisation		X	X	

Diese Dienste werden immer von einem Teilnehmer als „Initiator“ angefordert und von einem anderen Teilnehmer als „Responder“ erbracht. Nur ein Master mit Sendeberechtigung kann einen in der Tabelle aufgelisteten Dienst anfordern, jedoch können alle Dienste von Master oder Slave Stationen erbracht werden.

Ausser SDN und CS basieren die Dienste auf einer echten Zweierverbindung zwischen dem Initiator und einem Responder, in der auf alle Dienste mit einer Quittung ("Acknowledge") oder einer Antwort ("Response") reagiert werden muss. Dieses für das Echtzeitverhalten des Bussystems wichtige Verhalten wird in der Literatur auch mit "Immediate Response" (unmittelbare Antwort) bezeichnet.

3.1.1 SDN: Send Data with No acknowledge

Der SDN-Dienst wird vorwiegend für so genannte "Broadcast"- oder "Multicast"-Nachrichten von einem Initiator an mehrere andere Busstationen verwendet und bleibt deshalb unquittiert. Er wird für Synchronisationsaufgaben und Zustandsmeldungen wie zum Beispiel das Global Control eingesetzt.

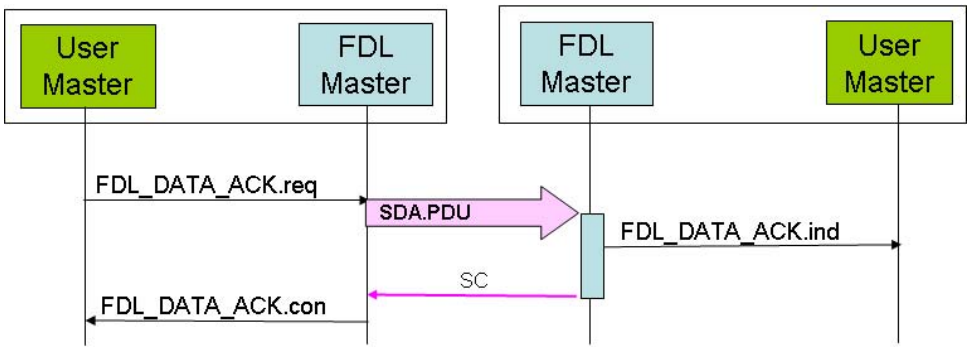


SDN: Send Data with No acknowledge

3.1.2 SDA: Send Data with Acknowledge

SDA ist ein elementarer Dienst, mit dem ein Initiator eine Nachricht an einen anderen Teilnehmer abschicken kann und dafür unmittelbar eine Empfangsbestätigung (SC = Short Confirmation) erhält. Da der Kommunikationspartner nicht direkt mit Daten antworten kann, wird dieser Dienst vor allem zwischen aktiven Mastern eingesetzt.

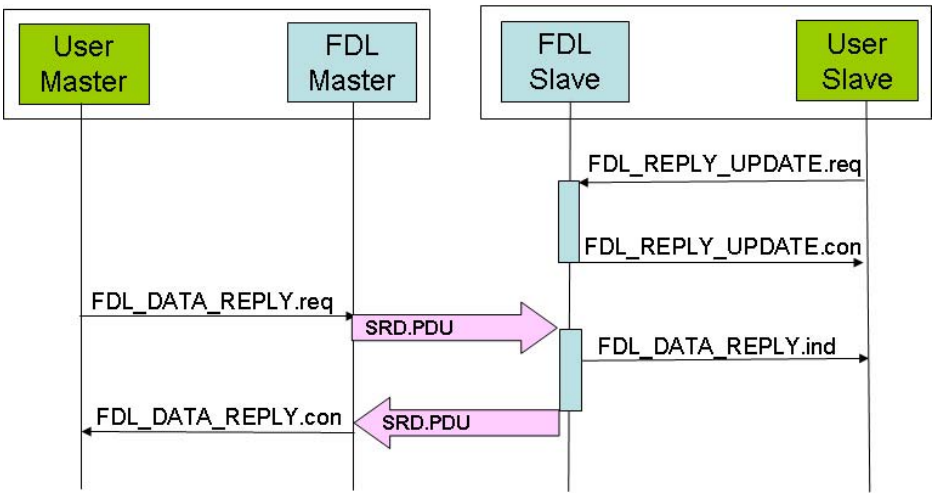
© 2009 Max Felser



SDA: Send Data with Acknowledge

3.1.3 SRD: Send and Request Data

SRD ist ein Dienst, bei dem Daten an einen passiven Responder gesendet und gleichzeitig von ihm Daten angefordert werden. Diese werden dann unmittelbar in dessen Antwort übertragen. Damit diese Antwort sofort gesendet werden kann, muss der Responder diese Daten vorgängig bereitstellen. Somit muss nicht zwingend ein Zusammenhang zwischen den Inhalten der gesendeten und den empfangen Daten bestehen. Mit dem SRD-Dienst kann man Daten anfordern, indem man als Sendedaten ein Nullelement ("leere Nachricht") schickt.



SRD: Send and Request Data

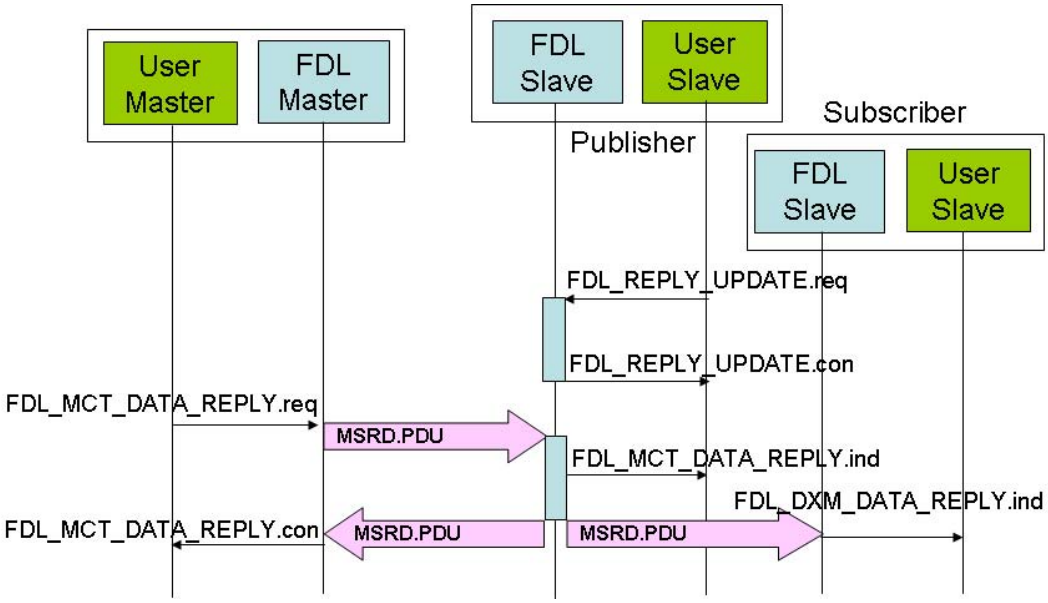
3.1.4 CSRD: Cyclic Send and Request Data

In ersten Definitionen des PROFIBUS war noch ein zyklischer Dienst definiert. Dieser Dienst wird heute aber praktisch nicht mehr eingesetzt. Das Kommunikationssystem als Initiator pollt hier selbstständig mit einem SRD Dienst einen Responder. Dies erzeugt grosse Buslasten die schwer berechnet werden können.

3.1.5 MSRD Send Request Data with Multicast Reply

Die Funktion des MSRD Dienstes ist vergleichbar mit dem SDR Dienst. Bei den Slave wird zwischen Publisher (Veröffentlicher) und Subscriber (Abonnenten) unterschieden. Ein Master sendet ein MSRD Telegramm an den Publisher. Der Publisher "veröffentlicht" seine vorher bereitgelegte Antwort mit einem Broadcast Telegramm, so dass alle anderen Stationen diese Antwort empfangen können. Ein oder mehrere Slave können nun dieses Telegramm abonnieren (engl. subscribe) und die darin enthaltenen Daten übernehmen.

© 2009 Max Felser

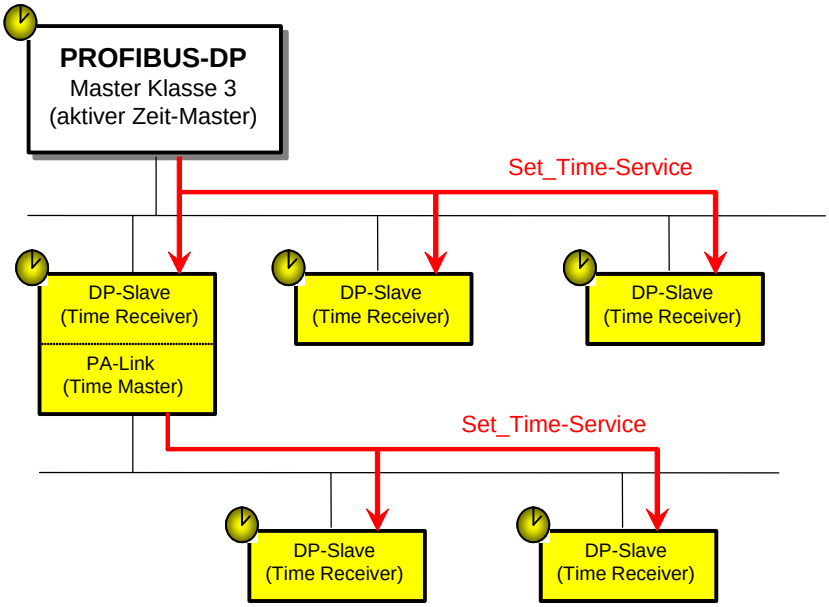


MSRD: Send and Request Data with Multicast Reply

Der MSRD Dienst ist Teil der DP-V2 Protokolle und ist somit nur optional. Ein Feldgerät kann auch nur die Publisher oder nur die Subscriber Funktion oder beides gleichzeitig unterstützen. Dieser Dienst wird im direkten Datenaustausch eingesetzt.

3.1.6 CS: Clock Synchronisation

In der PROFIBUS DP-V2 Version können auch Uhren in einem PROFIBUS Netzwerk synchronisiert werden. Dazu wird ein Teilnehmer als Zeit-Master bestimmt, der dann die Zeit in seinem Netzwerk verteilt. Dieser Zeit-Master muss ein Master sein und wird als Klasse 3 Master bezeichnet.

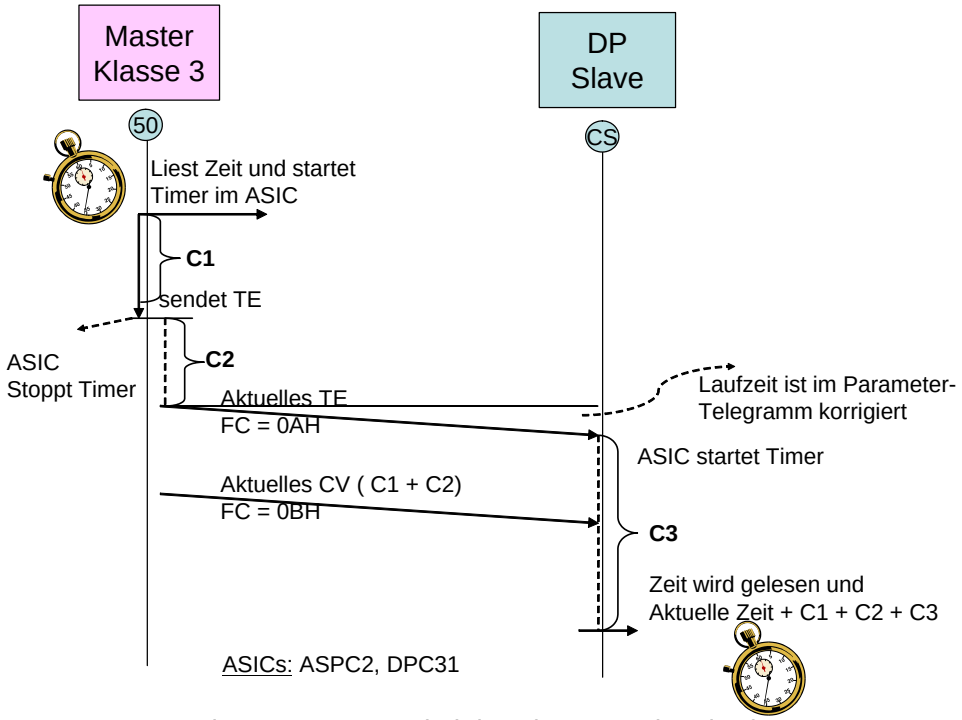


Uhrensynchronisation

Der Zeit-Master liest seine aktuelle Zeit und startet einen internen Timer. Sobald das Time Event (TE) Telegramm (siehe FC: Function Code Request) mit der ausgelesenen Zeit gesendet wird, wird diese interne Zeit gestoppt. In einem Nachfolgetelegramm Counter Value (CV) wird die Zeitdifferenz zwischen gelesener Zeit und gesendeter Zeit übertragen.

Der Empfänger startet beim Empfangen des TE Telegramms auch einen internen Timer. Der Wert dieses internen Timer plus den aktuellen Wert aus dem TE Telegramm und dem Korrekturwert aus dem Counter Value (CV) Telegramm gibt die einzustellende Zeit.

© 2009 Max Felser



Telegrammsequenz bei der Uhren-Synchronisation

3.2 FMA: Management Dienste

Das FMA1/2 (Fieldbus Management der Schichten 1 und 2) stellt die Funktionen zur Verfügung, die zur Verwaltung der Schichten 1 und 2 notwendig sind.

Die Dienste können in zwei Gruppen unterteilt werden: lokale Dienste, die die eigene Station beeinflussen, und Dienste, die andere, am Netz hängende Teilnehmer betreffen. In beiden Gruppen gibt es zwingend vorgeschriebene und optionale Dienste.

Die meisten Dienste erzeugen nach der Ausführung eine Antwort, die dem Benutzer über das FMA1/2 anzeigt, ob der Dienst ausgeführt werden konnte oder ob ein Fehler auftrat.

3.2.1 Lokale Dienste

Reset: Das FMA7 kann mit diesem Dienst die Schichten 1 und 2 rücksetzen. Nachdem das FMA1/2 das Reset erhalten hat, generiert es für beide Schichten das entsprechende Reset-Signal, übergibt es über die betreffende Schnittstelle und erwartet eine Bestätigung der angesprochenen Schichten.

Set Value: Mit diesem optionalen Dienst lassen sich Variablen in beiden Schichten bestimmte Werte zuweisen. Im Befehl werden die Variablennamen und die gewünschten Werte übergeben. Das FMA1/2 erzeugt entsprechend ein FDL-und/oder ein PHY-SET-VALUE.request und übermittelt dieses den Schicht(en).

Read Value: Mit diesem optionalen Dienst können Variablen in beiden Schichten ausgelesen werden. Im Befehl werden die Variablennamen übergeben, worauf das FMA1/2 ein FDL- und/oder ein PHY-READ-VALUE.request erzeugt und dieses den Schichten übermittelt.

Event: Mit diesem Dienst wird der Anwender über Ereignisse oder Fehler in den Schichten informiert. Wenn in einer der beiden Schichten eine Fehleranzeige PHY-EVENT.indication oder FDL-FAULT.indication) aufgetreten ist, wird m FMA1/2 nach Erhalt des Signals ein FMA1/2-EVENT.indication erzeugt an das FMA7 weitergeleitet wird.

© 2009 Max Felser

Teilnehmer	Name des Fehlers	Beschreibung
Master	Duplicate_address	Die eingestellte Stationsadresse gibt schon Antwort auf dem Bus.
Master	Faulty_transceiver	Das gesendete Signal kann nicht gleichzeitig empfangen werden.
Master / Slave	Time_out	Kein Busaktivität festgestellt.
Master / Slave	Not_syn	Keine SYN Pause im vorgeschriebenen Intervall gefunden.
Master	Out_of_ring	Dieser Master bekommt nicht mehr den Token ohne eigenen Wunsch.
Master	GAP_event	Aktive Station wurde neu erkannt oder ging verloren.

(R)SAP Activate: Mit Hilfe des optionalen Dienstes "SAP Activate" kann ein Benutzer einen SAP konfigurieren und aktivieren. Über SAPs (SAP: Service Access Point, Dienstzugangspunkt) findet die gesamte Kommunikation statt. Sie enthalten den Rahmen erlaubter Nachrichten und Nachrichtenformationen (erlaubte Zieladressen, erlaubte Datenlängen, ...). Erreicht eine Nachricht einen SAP, dann wird jedesmal überprüft, ob sie den für den SAP festgelegten Bedingungen entspricht. Ist dies der Fall, wird die Nachricht weitergereicht, ansonsten eine Fehlermeldung erzeugt. Die Kommunikation über SAPs scheint auf den ersten Blick etwas umständlich, doch ermöglicht sie, Nachrichten und Nachrichtenstrecken zu kontrollieren und potentielle Fehlverbindungen zu verhindem. Für die Responderfunktionen bei den Reply-Diensten (SRD, CSRD) muss mit dem Dienst "RSAP Activate" ein RSAP eingerichtet werden.

(R)SAP Deactivate: Dieser Dienst bildet das Komplement zu "(R)SAP Activate". Er ermöglicht dem FMA 1/2-User, einen (R)SAP und somit alle zu diesem (R)SAP gehörenden Verbindungen zu deaktivieren.

3.2.2 Stationsübergreifende Dienste

Ident: Mit diesem optionalen Dienst hat der Benutzer des FMA 1/2 die Möglichkeit, Versionsdaten von Hard- und Software zu erhalten. Als aktiver Teilnehmer kann man alle am Netz hängenden Stationen nach ihrer Identität fragen, als passiver Teilnehmer beschränkt sich die Abfrage auf die eigene Station.

LSAP Status: Dieser optionale Dienst kann nur von aktiven Teilnehmern benutzt werden und ermöglicht, sich über die Konfiguration eines SAPs für FDL-Dienste (z. B. SDA, SRD, ...) einer anderen Station am Netz zu informieren.

Live-List: Der Benutzer erhält mit diesem optionalen Dienst eine Liste aller am Bus erreichbaren Teilnehmer. Die Erstellung dieser Liste erfolgt in der FDL-Schicht, indem sie für jede mögliche Teilnehmeradresse einen request-FDL-Status with Reply erzeugt. Dadurch, daß alle möglichen Adressen abgefragt werden, erhält man im Gegensatz zur Teilnehmerlistenerstellung mit LAS (List of Active Stations) eine vollständige, aktive und passive Teilnehmer umfassende Teilnehmerliste.

3.2.3 FDL Parameter

In der Tabelle sind die wichtigsten FDL Parameter zusammengefasst, die mit den Managementdiensten gelesen und geschrieben werden können.

Die Zeiten werden konsequent mit der Übertragungsdauer eines Bits in T_{Bit} angegeben. Die Protokollabhängigen Parameter werden damit unabhängig von der Bitrate.

Name	Master	Slave	Bedeutung	Bereich
TS	x	x	FDL Adresse dieses Teilnehmers	0 – 126
Baud_rate	x	x	Eingestellte Bitrate	9,6; 19,2; 31,25; 45,45; 93,75; 187,5; 500; 1 500, 3 000; 6 000; 12 000 kbit/s

© 2009 Max Felser

Name	Master	Slave	Bedeutung	Bereich
Medium_red	x	x	Hat dieser Teilnehmer einen redundanten Busanschluss?	single; redundant
HW-Release	x	x	Versionsnummer der HW	0 bis 32 lesbare Zeichen
SW-Release	x	x	Versionsnummer der SW	0 bis 32 lesbare Zeichen
T_{SL}	x	x	Slot-Time, in diesem "Zeitschlitz" erwartet der Initiator - ein Master - vom Responder eine Antwort	52 bis 2^{16}-1 T_{Bit}
min T_{SDR}	x	x	minimale Antwortzeit	20 bis 2^{16}-1 T_{Bit}
max T_{SDR}	x		maximale Antwortzeit (maximalwert aller Stationen im Netzwerk)	20 bis 2^{16}-1 T_{Bit}
TQUI	x		Wie lange braucht es bis nach dem Übertragen eines Signals wieder der Ruhepegel herrscht.	0 bis 2^{8}-1 T_{Bit}
TSET	x		Wie lange muss die Senderichtung eingeschaltet sein, bevor mit den Daten begonnen werden kann.	20 bis 2^{8}-1 T_{Bit}
TTR	x		Geplante Token Zirkulationszeit	20 bis 2^{24}-1 T_{Bit}
G	x		GAP Update Faktor	1 bis 100
in_ring_desired	x		Hier gibt der Master an ob er den Token will oder nicht.	true; false
HSA	x		Höchste projektierte Teilnehmeradresse. Nur bis zu dieser Adresse wird der GAP Update durchgeführt.	2 bis 126
max_retry_limit	x		Anzahl der Telegrammwiederholungen wenn keine Antwort kommt.	1 bis 8
Frame_sent_count	opt.		Anzahl der gesendeten Telegramme	0 bis 2^{32}-1
Retry_count	opt.		Anzahl der wiederholten Telegramme	0 bis 2^{16}-1
SD_count	opt.	opt.	Wie viele Startdelimiter sind korrekt empfangen worden?	0 bis 2^{32}-1
SD_error_count	opt.	opt.	Wie viele Startdelimiter sind fehlerhaft empfangen worden?	0 bis 2^{16}-1
TRR	x		Token Real Rotation Time	20 bis 2^{24}-1 T_{Bit}
LAS	x		Liste der aktiven Master am Bus	Array der Adressen
GAPL	x		Liste aller Stationen am Bus	Array der 127 Adressen mit FDL Status

3.3 MAC: Mediums-Zugriff

Der Bus ist das gemeinsame Übertragungsmedium. Mit dem Mediums-Zugriffsverfahren (engl.: MAC, Medium Access Control) wird sichergestellt, dass nicht gleichzeitig mehr als ein Teilnehmer sendet.

Beim PROFIBUS werden zwei Arten von Teilnehmer eingesetzt: aktive Master und passive Slave.

Master erhalten für eine gewisse Zeit die Zugriffsberechtigung für den Bus. Diese Zugriffsberechtigung wird explizit mit einem Token - Telegramm von einem Master zum anderen weitergereicht. Dies wird auch als Token-passing bezeichnet.

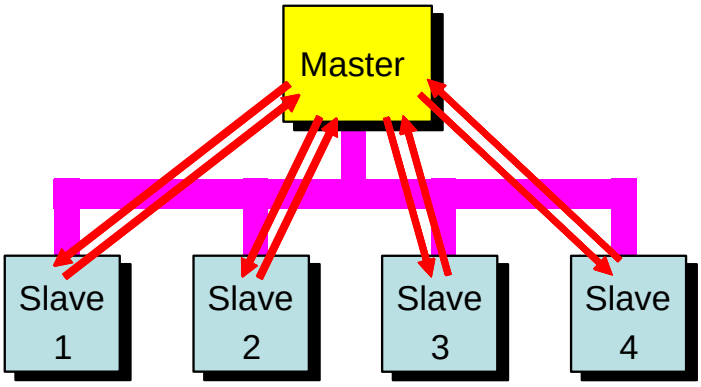
Slave dürfen nur einmalig - als Antwort auf eine Anfrage von einem Master – ein Telegramm auf dem Bus senden. Wir haben eine Master-Slave Kommunikation.

PROFIBUS FDL hat somit ein hybrides Zugriffsverfahren aus Master-Slave und Token-Passing.

3.3.1 Prinzip des Master - Slave

Die minimale Konfiguration eines PROFIBUS Netzwerks besteht aus mindestens einem Master und mehreren Slave. Der Master kann in einer freien Reihenfolge Telegramme an alle oder einzelne Slave senden. Mit dem SRD Dienst wird der Slave gleichzeitig zu einer Antwort aufgefordert.

© 2009 Max Felser

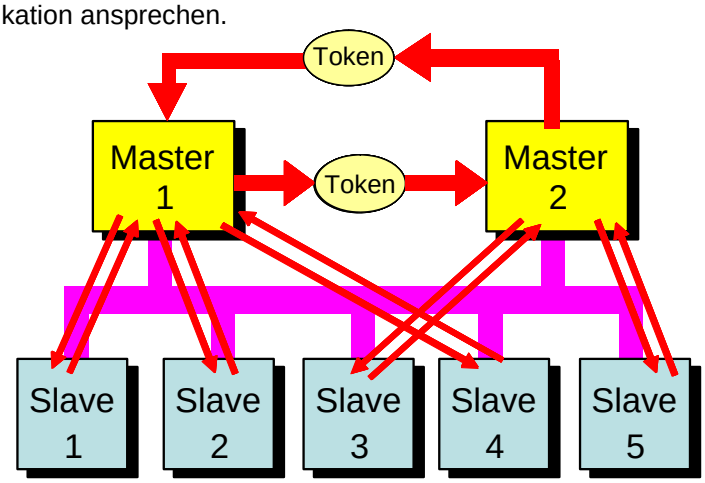


Prinzip des Master - Slave

3.3.2 Prinzip des Token - Passing

Wenn in einem PROFIBUS Netzwerk mehrere Master vorhanden sind, geben sich diese die Sendeberechtigung mit der Hilfe eines speziellen Telegramms, des Tokens, weiter. Der Token wird immer in aufsteigender Reihenfolge der Teilnehmeradressen weitergereicht.

Derjenige Master, der über die Zugriffsbewilligung verfügt, kann beliebige andere Stationen, Master und Slave, mit der Kommunikation ansprechen.



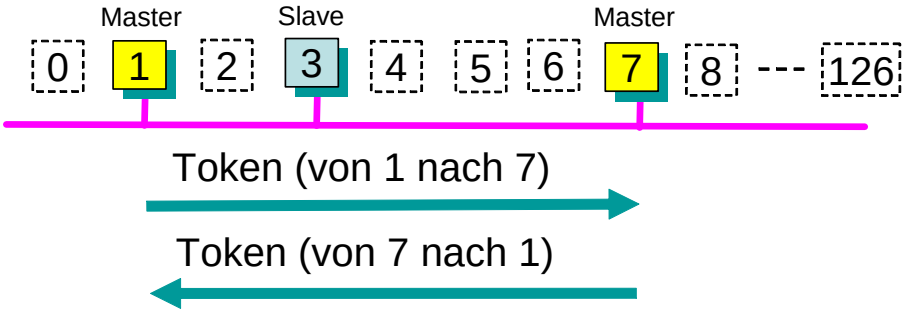
Hybrides Zugriffsverfahren

Die vorangehende Abbildung zeigt eine typische PROFIBUS-Struktur, bestehend aus 2 aktiven Master und 5 passiven Slave Teilnehmer. Die Abfolge der Token - Weitergabe bildet einen „logischen“ Ring, das heisst, der Token wird in aufsteigenden Adressen von einem aktiven Teilnehmer zum nächsten gereicht. Der letzte Teilnehmer schliesslich gibt den Token zurück an den ersten.

3.3.3 Entfernen und Hinzufügen von Teilnehmern

Für einen geregelten Ablauf, der auch die Antwortzeiten des Systems bestimmt, sind eine Reihe von Bedingungen zu erfüllen. So muss jeder Teilnehmer die jeweilige Adresse seiner Vorgänger- und seiner Nachfolgerstation kennen, damit er weiss, von wem er den Token bekommt und an wen er ihn weiterreichen muss. Diese Parameter werden von jeder Station nach der Initialisierung selbständig ermittelt und während des Betriebs bei Bedarf dynamisch aktualisiert.

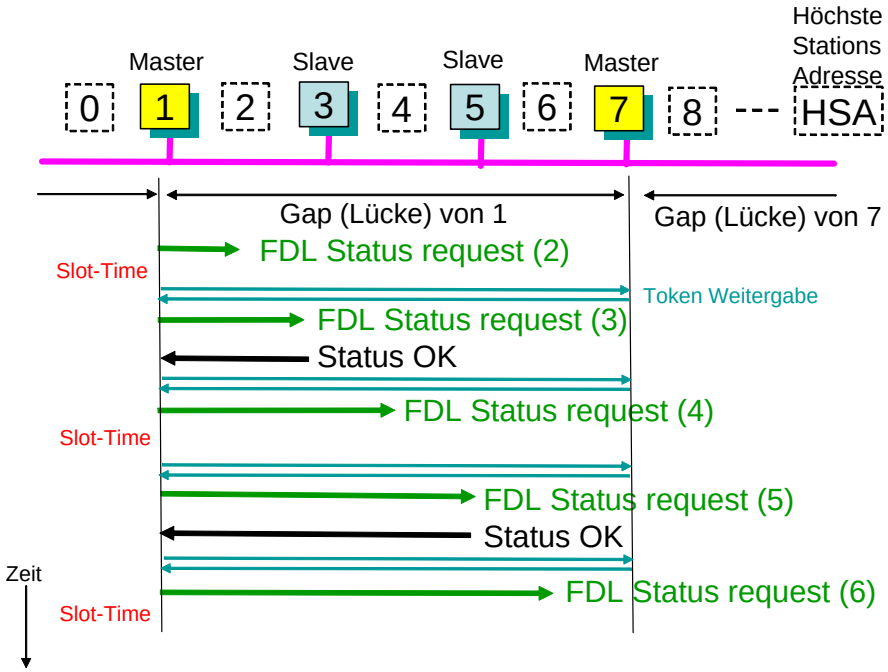
© 2009 Max Felser



Erstellen der Liste der aktiven Teilnehmer

Im Beispiel der Abbildung kann somit ein zukünftiger Teilnehmer erkennen, dass der Token zwischen den Stationen 1 und 7 weitergegeben wird. Damit dieses Prinzip auch funktioniert wenn nur ein Master auf dem PROFIBUS ist, sendet ein einzelner Master immer ein Token Telegramm an sich selber.

Für die Busverwaltung wird zusätzlich eine Liste aller auf dem Bus erreichbaren Teilnehmer erstellt. Dies geschieht dadurch, dass jeder Master regelmässig den Adressraum zwischen seiner eigenen Netzadresse und der seines Token-Nachfolgers, den sogenannten Gap (engl.: gap, deutsch: Lücke), auf Teilnehmer untersucht.



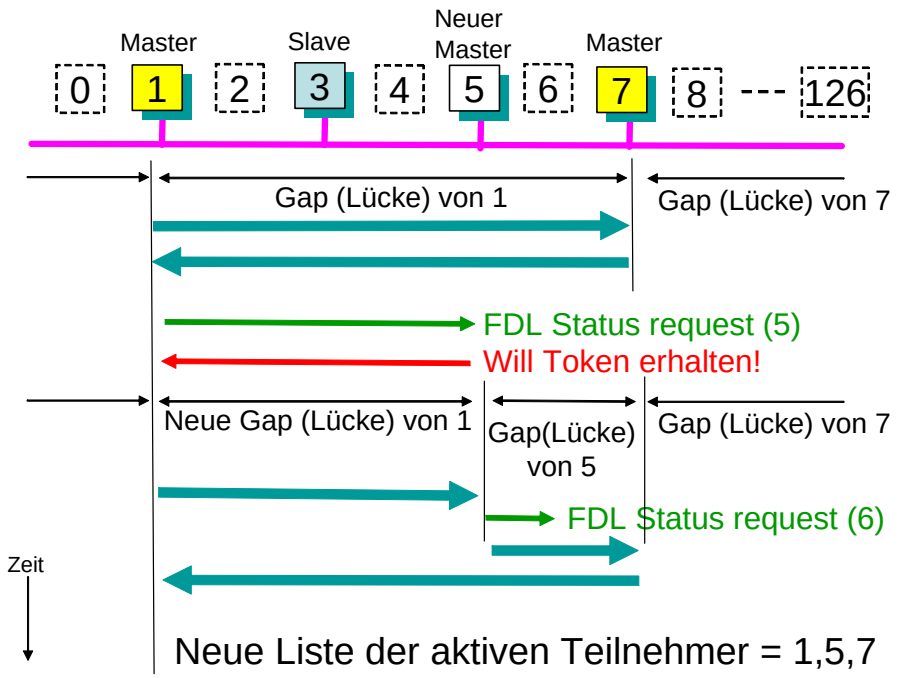
Erstellen der Teilnehmerliste (Live-List)

Im Beispiel der Abbildung findet der Master mit der Adresse 1 in seinem Gap der Adressen 2 bis 6 die beiden Slave 3 und 5. Auf eine Antwort wartet der Master maximal die „Slot-Time“. Der Master mit der Adresse 7 ist für die Adressen 8 bis 0 Zuständig. Er pollt dabei bis zur maximalen geplanten Teilnehmeradresse (HSA = Höchste Stationsadresse). Stationen über dieser Adresse erscheinen somit nicht in der Liste der Teilnehmer (**Live-List**).

Nur wenn bei einer Sendeberechtigung noch genügend Zeit bleibt, macht der Master eine einzige Zustandsabfrage, bevor er den Token weiter gibt. Nachdem der ganze „Gap“ abgefragt wurde wird nach einer Pause von G*TTR TBit wieder von vorne begonnen.

Wenn ein Teilnehmer neu in den Ring aufgenommen werden will, meldet er eine spezielle Statusmeldung. Anschliessend erhält er den Token wie im Beispiel der Abbildung dargestellt.

© 2009 Max Felser



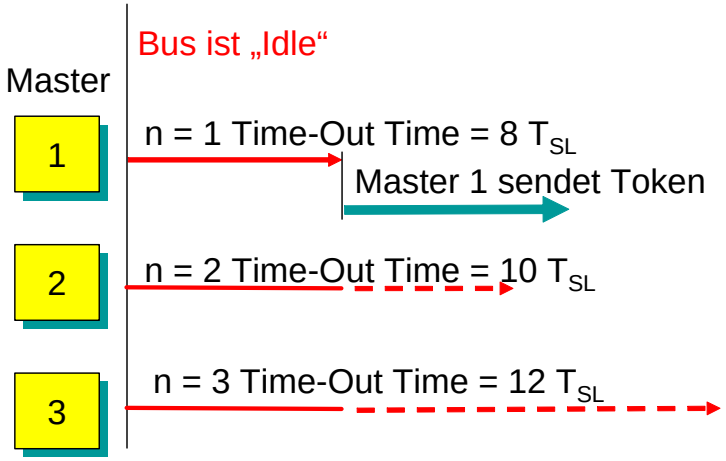
Einfügen eines neuen aktiven Teilnehmers

Dadurch ist es möglich, aktive Teilnehmer im laufenden Betrieb in das Netz einzufügen oder aus dem Netz auszugliedern, ohne dass die laufende Kommunikation des übrigen Systems unterbrochen werden muss.

Wird während einer gewissen Zeit, der Idle-Time, keine Aktivität auf dem Bus festgestellt, so wird der Token als verloren betrachtet. Jeder Master startet einen Timeout-Timer, der mit einer Zeit abhängig von der aktuellen Stationsadresse des Masters geladen wird.

Time-Out Time = 6 TSL + 2 n TSL Mit TSL = Slot Time (Maximale Antwortzeit)

Derjenige Master, dessen Timeout-Timer als erstes abläuft, sendet sofort einen Token an sich selber. Alle anderen können somit den Idle-Timer abbrechen und der Mechanismus des Einfügens neuer Stationen wie oben beschrieben beginnt.



Generierung eines neuen Tokens

Die Adresse 0 wird in der Regel für Programmierwerkzeuge reserviert, die somit im Krisenfall immer als erstes den Token erhalten. Mit diesem Mechanismus kann sich das PROFIBUS Netzwerk bei einem verlorenen Token wieder auffangen.
Hinweise: Wenn ein Master mehr als seine „Time-Out Time“ vom PROFIBUS Netzwerk getrennt wird, generiert er selbständig einen neuen Token. Dies kann zu Störungen führen wenn z.B.

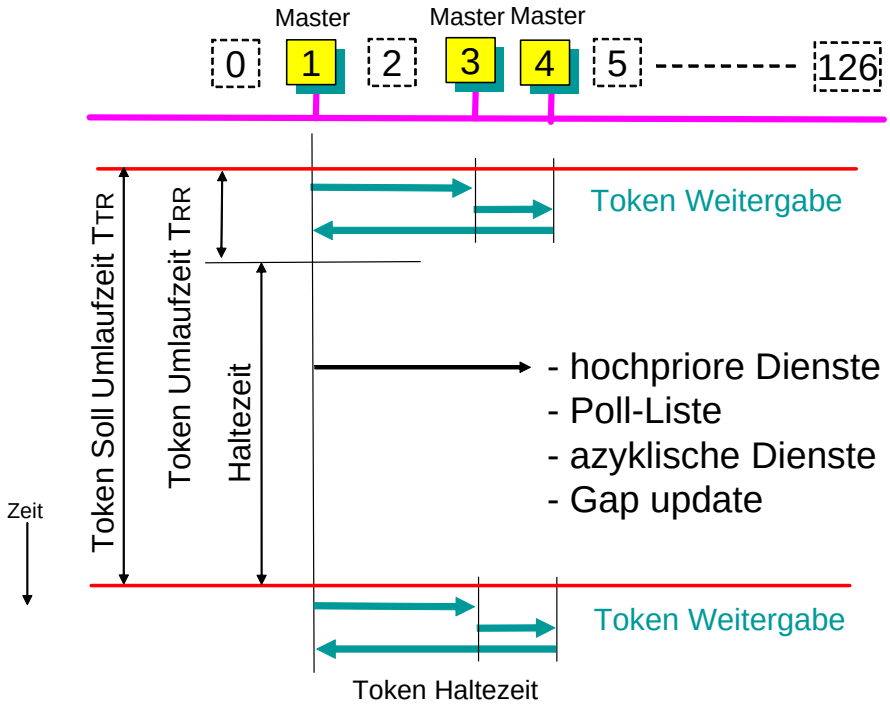
- Eine PC Karte zuerst aktiviert und dann erst an einen PROFIBUS angeschlossen wird. Es wird so ein zweiter Token in das Netzwerk eingefügt was zu Störungen führt.

© 2009 Max Felser

- Ein Netzwerk mit zwei Mastern zeitweise unterbrochen ist (z.B. eine drahtlose, optische Übertragungsstrecke). Es werden dabei zwei Token generiert, die beim Zusammenfügen der Netzwerke zu Kollisionen und Störungen führen. Darum wird bei einer drahtlosen, optischen Übertragungsstrecke vorgeschrieben, dass alle Master auf einer Seite der Schnittstelle sein müssen.

3.3.4 Token Umlaufzeit

Um zu gewährleisten, dass einzelne Stationen nach Ablauf einer maximalen Zeit auf jeden Fall senden können, ist es notwendig, eine Zeitspanne vorzugeben, in der der Token den logischen Ring einmal vollständig durchlaufen haben muss. Eine Zuteilung von festen Sendezeiten an einzelne aktive Stationen scheint wenig sinnvoll, denn bei Teilnehmern ohne Sendewunsch wird Zeit verschwendet, für Teilnehmer mit dringendem Sendewunsch ist die Zeit zu kurz. Da sich Sendewünsche im Laufe des Busbetriebs ändern, bedarf es einer dynamischen Verteilung der Sendezeit. Dies wird dadurch realisiert, dass ein aktiver Teilnehmer, wenn er den Token erhält, einen Timer zur Messung der Token-Umlaufzeit startet. Bei der nächsten Tokenübernahme, also nach einem Umlauf, wird der Timer ausgelesen, die gemessene Zeit mit der vorgegebenen, maximalen Soll-Umlaufzeit verglichen und erneut gestartet. Nur falls die gemessene Zeit kleiner als die vorgegebene Soll-Umlaufzeit ist, darf der aktive Teilnehmer Telegramme senden.



Dieses Verfahren hat in dieser Form den Nachteil, dass ohne weitere Massnahme keine Sendezeiten garantiert werden könnten. Dieser Nachteil wird umgangen, indem zusätzlich einzelnen Nachrichtenzyklen Prioritäten „Low“ oder „High“ zugewiesen werden. Die Dienst mit der „High“ Priorität werden zuerst abgearbeitet.

Die minimale Token-Soll-Zeit die in einer Installation eingestellt werden muss wird wie folgt berechnet:

$$\min T_{TR} = n\,(T_{TC} + T_{MC}) + k * T_{MC}$$

n	Anzahl der Master-Stationen
k	geschätzte Anzahl low priority Telegramme pro Token Zirkulation
T_{TC}	Token Zykluszeit
T_{MC}	Telegramm-Zykluszeit, abhängig von der Telegrammlänge

Der erste Ausdruck enthält ein hochprioritäres Meldungszyklus pro Master Station und Tokenzirkulation. Somit ist die maximale Reaktionszeit für hochprioritäte Meldungen ohne Wiederholungen für alle Lastverhältnisse garantiert. Der zweite Term enthält die geschätzte Anzahl niederprioritären Telegramme pro Tokenzirkulation.

Um die möglichen Wiederholungen zu berücksichtigen ist der minimale Wert um ca. 10 bis 20% grösser zu

© 2009 Max Felser

wählen. Die modernen Konfigurationswerkzeuge für PROFIBUS rechnen aufgrund der Anzahl Projektierten Stationen in einem Netzwerk die Token Zirkulationszeit selbständig aus.

Hinweis: Soll in einem PROFIBUS Netzwerk im Betrieb später ein zusätzliche Master z.B. für Engineeringaufgaben eingefügt werden, muss die projektierte Token Zirkulationszeit erhöht werden. Von einigen Herstellern wird dabei ein Wert von 20'000 TBit vorgeschlagen.

Um besonders wichtige Nachrichten bevorzugt übertragen zu können, werden im PROFIBUS-Konzept zwei Prioritätsstufen für die Daten unterschieden. Der normale Datenverkehr wird niederprior abgewickelt. Kommt es zu besonderen Ereignissen, dann können Alarmdaten mit hoher Priorität versehen werden. Diese hochprioren Daten überspringen die Warteschlangen der normalen Nachrichten und gelangen deshalb schneller an den Empfänger, zum Beispiel Alarmdaten an die zentrale Leitwarte, die daraufhin geeignete Gegenmaßnahmen - ebenfalls mit hoher Priorität - einleiten kann.

Bei den Diensten der FDL-User-Schnittstelle kann der Anwender grundsätzlich zwischen zwei Prioritäten ("high" und "low") wählen, die mit der Dienstanforderung (request) im FC-Byte (frame control, siehe nächstes Kapitel) des Telegramms übergeben werden.

Um die Übertragung wichtiger Daten zu gewährleisten, darf nach jedem Tokenerhalt stets ein hochpriorer Nachrichtenzyklus abgewickelt werden, selbst wenn eigentlich keine Tokenhaltezeit mehr zur Verfügung steht. Danach muss allerdings der Token unverzüglich an die nächste Station weitergegeben werden.

Ist die aktuelle Tokenumlaufzeit TRR kleiner als die Token-Soll-Umlaufzeit TTR, besteht noch Zeit zur Nachrichtenübermittlung. Es können weitere hochpriore und anschließend niederpriore Dienste abgearbeitet werden. Innerhalb der niederprioren Dienste gilt folgende Reihenfolge:

1. Bearbeitung der Poll-Liste (zyklische Dienste)
2. Bearbeitung von niederprioren, azyklischen Diensten
3. Teilnehmer-Erfassung (Erstellung der Live-List)
4. Gap-Aktualisierung (maximal eine Adresse der Gap-Liste)

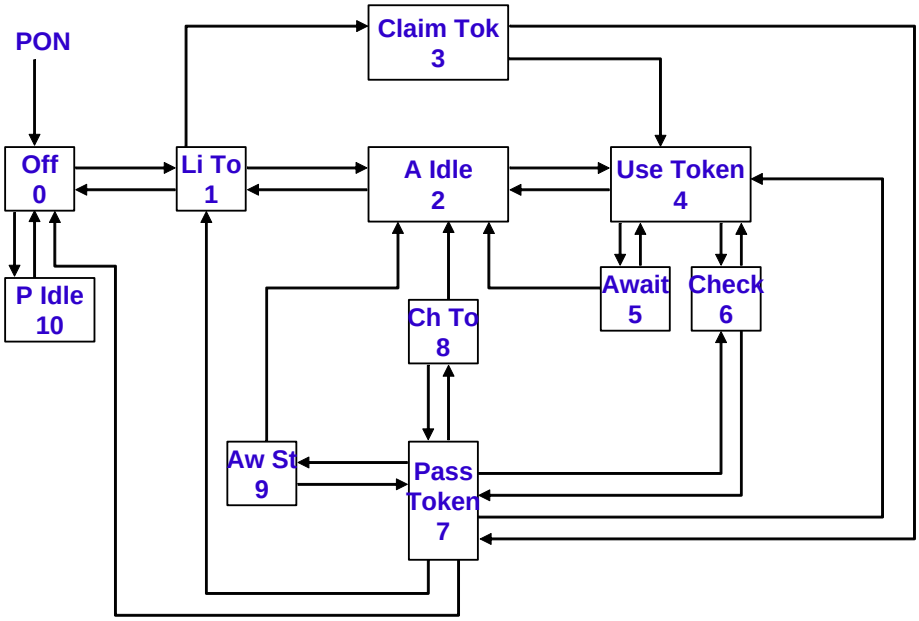
3.3.5 Zustandsmaschine

Alle für die geregelte Abwicklung der Kommunikation notwendigen Zustände der FLC-Steuerung gehen aus der untenstehenden Abbildung hervor. Da die jeweiligen Zustände in der PROFIBUS-Norm ausführlich beschrieben sind, soll hier nur ein grober Überblick gegeben werden.

Nach dem Einschalten der Betriebsspannung (Power ON) gelangen sowohl aktive als auch passive Busteilnehmer in den Zustand 0ffline, führen einen Selbsttest durch und laden die für die Kommunikation notwendigen Betriebsparameter. Passive Teilnehmer gehen danach in den Zustand Passive Idle, in dem sie nach Aktivieren ihres Empfängers die Leitung passiv abhören. Falls Telegramme mit der eigenen Stationsadresse erkannt werden, müssen sie von der Station ordnungsgemäss quittiert werden.

Aktive Busteilnehmer nehmen nach dem Zustand Offline den Zustand Listen Token ein, falls sie für die Aufnahme in den logischen Ring bereit sind. Unter einem Token versteht man eine bestimmte Bitfolge, die als Sendeberechtigung interpretiert wird. Im Zustand Listen Token hört der Teilnehmer die Telegramme auf der Busleitung ab und baut aus den empfangenen Token-Telegrammen zunächst eine Liste der bereits akti ven Teilnehmer (LAS: List of Active Stations) auf. Nach dem Aufbau der LAS muß die Station warten, bis sie von der Vorgängerstation mit einem "Request FDL-Status" angesprochen und in den logischen Ring "eingeladen" wird. Der "Neuling" quittiert mit einem "bereit für den Ring" und geht über in den Zustand Active Idle. Er ist somit offizieller Teilnehmer im Ring. In diesem Zustand hört er die Leitung ab, quittiert und antwortet ebenso wie ein passiver Teilnehmer im Zustand Passive Idle. Der aktive Teilnehmer wechselt nach Erhalt eines an ihn gerichteten Token-Telegramms in den Zustand Use Token . Erhält der aktive Teilnehmer über längere Zeit kein TokenTelegramm, so geht er in den Zustand Claim Token , um den logischen Ring neu zu initialisieren bzw. zu reinitialisieren. (Im letzteren Fall behält die LAS ihre Gültigkeit.)

© 2009 Max Felser



FDL Zustandsdiagramm

Im Normalfall kommt jedoch der aktive Teilnehmer innerhalb einer bestimmten Zeit in den Besitz des Token-Telegramms, so dass, nachdem im Zustand Check Access Time die noch zur Verfügung stehende Token-Haltezeit überprüft wurde, im Use Token-Zustand Nachrichtenzyklen abgewickelt werden können. Wird zur Kommunikation ein Dienst mit Rückantwort verwendet, geht der Teilnehmer in den Zustand Await - Data - Response und wartet für eine bestimmte Zeit auf eine Rückmeldung. Bleibt die erwartete Antwort aus, so wird nach nochmaligem Sendeversuch eine Fehlermeldung an den User ausgelöst.

Nachrichtenzyklen können so lange abgewickelt werden, bis die Token-Haltezeit abgelaufen ist. Danach wechselt der Teilnehmer in den Zustand Pass Token , in welchem der Token an den nächsten aktiven Teilnehmer weitergegeben wird. Die Übergabe wird im Zustand Check Token Pass überwacht. Geht bei der Tokenweitergabe etwas schief, weil sich z.B. der Nachfolger nicht meldet, wechselt der Teilnehmer in den Await - Status - Response Zustand über und wartet dort eine bestimmte Zeit auf ein Quittungssignal. Kommt dieses Signal nicht, wird der Aufruf im Pass Token - Zustand wiederholt. Erhält der Teilnehmer ein anderes Telegramm (Situation bei Mehrfachtoken), geht er in den Zustand Active Idle über.
Nach der - normalerweise fehlerfreien - Tokenweitergabe befindet sich der Teilnehmer bis zum nächsten Empfang des Tokens im Zustand Active Idle.

3.4 Protokoll-Definitionen

Die Telegramme und Telegrammsequenzen im PROFIBUS sind einheitlich. Für die praktischen Realisierungen gibt es zwei Ausprägungen für UART und MBP. Der Unterschied der beiden Versionen besteht in der Kodierung der einzelnen Bytes und den Aufbau des Telegrammrahmens.

3.4.1 UART Codierung

Bei der UART Codierung besteht jedes Telegramm aus einer Anzahl von UART Zeichen. Die UART Zeichen sind Start-Stop Zeichen und sind wie folgt strukturiert:

Start	Bit 1	Bit 2	Bit 3	Bit 4	Bit 5	Bit 6	Bit 7	Bit 8	Parität	Stop

Start = 0
Parität = gerade
Stop = 1

Um 8 Bit Daten d.h. ein Byte zu übertragen werden somit immer 11 Bit gesendet.

Die einzelnen Telegramme beginnen mit einem SYN Intervall für ein Aufruf - Telegramm und ohne dieses SYN Signal bei einem Antwort - Telegramm.

Es gelten die folgenden Übertragungsregeln:
1. Der Ruhezustand auf der Leitung entspricht dem logischen "1" Pegel.

© 2009 Max Felser

2. Vor jedem Aufruf - Telegramm soll eine Ruhezeit von mindestens 33 Bit Dauer (SYN) eingehalten werden.
3. Zwischen einzelnen Zeichen eines Telegramms sind keine Ruhezeiten erlaubt.
4. Der Empfänger kontrolliert:
- pro Zeichen: start Bit, stop Bit und parity Bit

3.4.2 Telegrammformate

Wir unterscheiden die folgenden Telegrammformate:
- Telegramme ohne Datenfeld
- Telegramm mit variabler Länge von 4 bis 249 Bytes sind möglich und somit Datenlängen von 1 bis 246 Byte
- Telegramm mit fester Datenlänge von 8 Byte Daten sind möglich
- Token Telegramm
- Für kurze, positive Antworten ist ein Kurztelegramm definiert.

Telegramm ohne Datenfeld:

SD1	DA	SA	FC	FCS	ED

Telegramm mit variabler Länge:

SD2	LE	LEr	SD2	DA	SA	FC	PDU	FCS	ED

Die PDU hat eine variable Länge zwischen 1 und 246 Byte.

Telegramm mit fester Datenlänge:

SD3	DA	SA	FC	PDU	FCS	ED

Die PDU hat eine feste Länge von 8 Byte.

Token Telegramm:

SD4	DA	SA

Kurzquittung:

SC

SC steht für *Short Confirmation* (= Kurzquittung). SD bedeutet *Start Delimiter* (= Anfangsbegrenzer), wobei diese vier unterschiedliche Werte annehmen können. Somit markiert ED als *End Delimiter* den Abschluss eines Telegramms. Die einzelnen Steuerfelder haben für UART die folgende Codierung:

SD1	SD2	SD3	SD4	ED	SC
0x10	0x68	0xA2	0xDC	0x16	0xE5

SC, SD1 ,SD2 und SD3 haben zueinander Hamming Distanz 4 (HD=4), d.h. sie unterscheiden sich in mindestens 4 Bit. Somit ist auch das Einzelzeichen SC ein gültiges Telegramm mit HD=4.

Für Telegramme die nur bestätigt werden müssen, ist SC ein gültiges Antworttelegramm. Für Telegramme die mit Daten beantwortet werden müssen, kann mit einem SC Telegramm signalisiert werden, dass die Daten im Moment noch nicht verfügbar sind.

DA = Destination Address (Zieladresse)
SA = Source Address (Quellenadresse)

LE = Length (Längenangabe)
LEr = Length repeated (Wiederholte Länge)

FC = Function Code (Funktionscode)

PDU = Protocol Data Unit (Nutzdaten)
Das Datenfeld PDU setzt sich aus einem Adressteil und den eigentlichen Nutzdaten zusammen. Der Adressteil enthält 0 bis maximal 2 Adresserweiterungsbytes in der Form von Dienstzugriffpunkten (Service Access Points). Die Nutzdaten umfassen ohne SAPs maximal 246 Byte und mit SAPs maximal 244 Bytes.

© 2009 Max Felser

3.4.2.1 Adressbyte

Die beiden Adressbytes im Telegrammkopf der Telegramme (Aufruf-, Quittung- und Antwort-Telegramme) beinhalten die Ziel(DA)- und die Quell(SA)-Teilnehmeradresse.

DA: Destination Adresse

7	6	5	4	3	2	1	0	
	0 - 127 (0x7F)							Destination Adresse
0 1								kein DSAP DSAP vorhanden

SA : Source Adresse

7	6	5	4	3	2	1	0	
	0 – 126 (0x7E)							Source Adresse
0 1								kein SSAP SSAP vorhanden

Die Adresse 127 (b0 bis b6) ist als Global-Adresse für Broadcast- oder Multicast-Nachrichten (Telegramm an alle Teilnehmer oder Teilnehmergruppe über Dienstzugangspunkt selektiert; nur beim Send Data with No Acknowledge, SDN, zulässig) reserviert.

Vor der Inbetriebnahme eines PROFIBUS-Systems müssen den Teilnehmern eindeutige Adressen vergeben werden. Die Adresse 126 ist dabei als Defaultadresse für Feldgeräte reserviert.

Es stehen somit 126 Teilnehmeradressen (0 bis 125) für passive und aktive Teilnehmer zur Verfügung. Die Adressbytes des Aufruf-Telegramms sind im Quittungs- oder Antwort-Telegramm gespiegelt zu reflektieren. d.h. das SA-Byte des Quittungs- oder Antworttelegramms enthält die Ziel-Teilnehmeradresse und das DA-Byte die Quell-Teilnehmeradresse des Aufrufs.

Das Adresserweiterungsbit dient bei Formaten mit PDU zur Kennzeichnung einer Ziel- oder/und Quell-Adresserweiterung in der Form eines Service Access Points (SAP) die unmittelbar nach dem FC-Byte in der PDU folgt. Die Adresserweiterungen des Aufruf-Telegramms sind im Antwort-Telegramm gespiegelt zu reflektieren.

Wenn das Adresserweiterungsbit nicht gesetzt ist, handelt es sich um den speziellen SAP = NIL. Dieser Service Access Point hat den Vorteil von einem um 2 Bytes kürzeren Telegramm und wird darum für den zyklischen Datenaustausch verwendet.

3.4.2.2 Längenangaben

Die beiden wertgleichen Längenbytes im Telegrammkopf des variablen Formats beinhalten die Anzahl der Informationsbytes im Telegrammrumpf. Zu diesen zählen: DA, SA, FC und die PDU. Der Wert überstreicht den Bereich 4 bis 249, so dass maximal 246 Bytes in der PDU eines Telegramms übertragen werden können. Der Wert <4 ist nicht zulässig, da ein Telegramm mindestens ein DA-, SA- ,FC- und ein Data-Byte umfasst. Das längste Telegramm umfasst somit brutto 255 Bytes.

LE und LEr: Längenbyte

7	6	5	4	3	2	1	0	
4 bis 249								Längenbyte

3.4.2.3 Funktionscode

Der Funktionscode (FC) im Telegrammkopf kennzeichnet den Telegrammtyp (Frame Type), wie Aufruf- (Request- oder Send/Request-) und Quittungs- oder Antwort-Telegramm (Acknowledgement-, Response-Frame). Zusätzlich enthält der Funktionscode die eigentliche Übertragungsfunktion (Function) und Steuerinformationen, die den Nachrichten-Verlust und die -Vervielfältigung verhindern, oder den Teilnehmertype (Station-Type) mit dem FDL-Zustand.

© 2009 Max Felser

FC: Function Code Request

7	6	5	4	3	2	1	0	
				0 (0x0)				Time Event
				3 (0x3)				SDA_LOW = Send Data Acknowledged - tiefe Priorität
				4 (0x4)				SDN_LOW = Send Data Not acknowledged - tiefe Priorität
				5 (0x5)				SDA_HIGH = Send Data Acknowledged - hohe Priorität
				6 (0x6)				SDN_HIGH = Send Data Not acknowledged - hohe Priorität
				7 (0x7)				MSRD = Send Request Data with Multicast Reply (Service)
				9 (0x9)				Request FDL Status
				10(0xA)				TE = Time Event (siehe Clock-Synchronisation)
				11(0xB)				CV = Counter Value (siehe Clock-Synchronisation)
				12(0xC)				SRD low = Send and Request Data - tiefe Priorität
				13(0xD)				SRD high = Send and Request Data - hohe Priorität
				14(0xE)				Request Ident with reply
				15 (0xF)				Request LSAP Status with reply
			X					FCV = Alternierendes Bit eingeschaltet
		X						FCB = Alternierendes Bit (ab Folgeaufruf)
	1							Request Telegramm
0								Reserviert

FC : Function Code Response

7	6	5	4	3	2	1	0	Bedeutung:
				0 (0x0)				OK
				1 (0x1)				UE = User Error
				2 (0x2)				RR = Keine Resourcen
				3 (0x3)				RS = SAP nicht aktiviert (z.B. falscher Zustand)
				8 (0x8)				DL = Data Low (Normalfall bei DP)
				9 (0x9)				NR = Keine Antwortdaten bereit
				10(0xA)				DH = Data High (DP Diagnose anstehend)
				12(0xC)				RDL = Daten nicht empfangen und Data Low
				13(0xD)				RDH = Daten nicht empfangen und Data High
				andere				Reserviert
		0	0					Slave
		0	1					Master nicht bereit
		1	0					Master bereit, ohne Token
		1	1					Master bereit, im Token-Ring
	0							Response Telegramm
0								Reserviert

Aufruffolgebit (Frame Count Bit)
Mit dem Aufruffolgebit FCB (b5) wird eine Nachrichten-Duplizierung beim quittierenden oder antwortenden Teilnehmer (Responder) und ein Verlust beim aufrufenden Teilnehmer (Initiator) verhindert. Davon ausgenommen sind die Aufrufe ohne Quittung (SDN) und die Aufrufe FDL-Status, Ident und LSAP-Status.

Für die Sicherungssequenz muss der Initiator für jeden Responder ein FCB führen. Wenn erstmals ein Aufruf-Telegramm (Request oder Send/Request) an einen Responder oder erneut an einen momentan nicht funktionsfähig markierten Responder gesendet wird, muss bei diesem das FCB definiert gesetzt werden. Der Initiator bewirkt dies in einem Aufruf-Telegramm mit FCV=0 und FCB=1.Der Responder muss ein ein derartiges Telegramm als ersten Nachrichtenzyklus werten und das FCB=1 gemeinsam mit der Adresse (SA) des Initiators abspeichern (siehe nachfolgende Tabelle). Dieser Nachrichtenzyklus wird vom Initiator nicht wiederholt.

In den folgenden Aufruf - Telegrammen an denselben Responder muss der Initiator das FCV=1 setzen und mit jedem neuen Aufruf - Telegramm das FCB wechseln. Der Responder muss beim Empfang eines an ihn adressierten Aufruf - Telegramms mit FCV=1 das FCB auswerten. Ein geändertes FCB gegenüber dem unmittelbaren vorherigen Aufruf - Telegramm desselben Initiators (gleiche SA) gilt als Bestätigung für den ordnungsmässigen Abschluss des letzten Nachrichtenzyklus. Stammt das Aufruf-Telegramm von einem anderen Initiators (geänderte SA), dann entfällt die Auswertung des FCB. Der Responder muss in beiden Fällen das FCB mit der Quelladresse SA bis zum Empfang eines neuen an ihn adressierten Telegramms speichern.

Im Falle eines fehlenden oder gestörten Quittungs- oder Antwort - Telegramm darf das FCB in der

© 2009 Max Felser

Aufruf-Wiederholung vom Initiator nicht geändert werden; dies weist auf den fehlerhaften vorhergehenden Nachrichtenzyklus hin. Empfängt der Responder ein Aufruf - Telegramm mit FCV=1 und gleiches FCB wie unmittelbar vorherigen Aufruf-Telegramm desselben Initiators (gleiche SA), dann handelt es sich um eine Aufrufwiederholung. Der Responder muss daraufhin nochmals das bereitgehaltene Quittungs- oder Antwort-Telegramm übertragen.

Bis zur oben genannten Bestätigung oder bis zum Empfang eines Telegramms mit geänderter Adresse (SA oder DA), das nicht quittiert wird (Send Data with No Acknowledge, SDN) muss der Responder das letzte Quittungs- oder Antwort-Telegramm gegebenfalls für eine Aufruf-Wiederholung bereithalten.

Bei Aufruf-Telegrammen, die nicht quittiert werden, und bei Request-FDL-Status, -Ident, -LSAP-Status ist FCV=0 und FCB=0; eine Auswertung beim Responder entfällt.

b5	b4	Bitposition		
FCB	FCV	Bedingung	Bedeutung	Aktion
0	0	DA = TS/127	Aufruf ohne Quittung Aufruf FDL-Status/ Ident/ LSAP-Status	letzte Quittung löschen
0/1	0/1	DA # TS	Aufruf an anderen Responder	letzte Quittung / Antwort löschen
1	0	DA = TS	Erstaufruf	FCBM := 1 SAM := SA letzte Quittung / Antwort löschen
0/1	1	DA = TS SA = SAM FCB # FCBM	Neuer Aufruf	letzte Quittung / Antwort löschen FCBM := FCB Quittung / Antwort bereithalten für Wiederholung
0/1	1	DA = TS SA = SAM FCB = FCBM	Aufruf-Wiederholung	FCBM := FCB Quittung / Antwort wieder- holen und weiterhin bereit halten
0/1	1	DA = TS SA # SAM	Neuer Initiator	FCBM := FCB SAM := SA Quittung / Antwort bereithalten für Wiederholung

FCBM gespeichertes FCB

SAM gespeicherte SA

3.4.2.4 Service Access Point

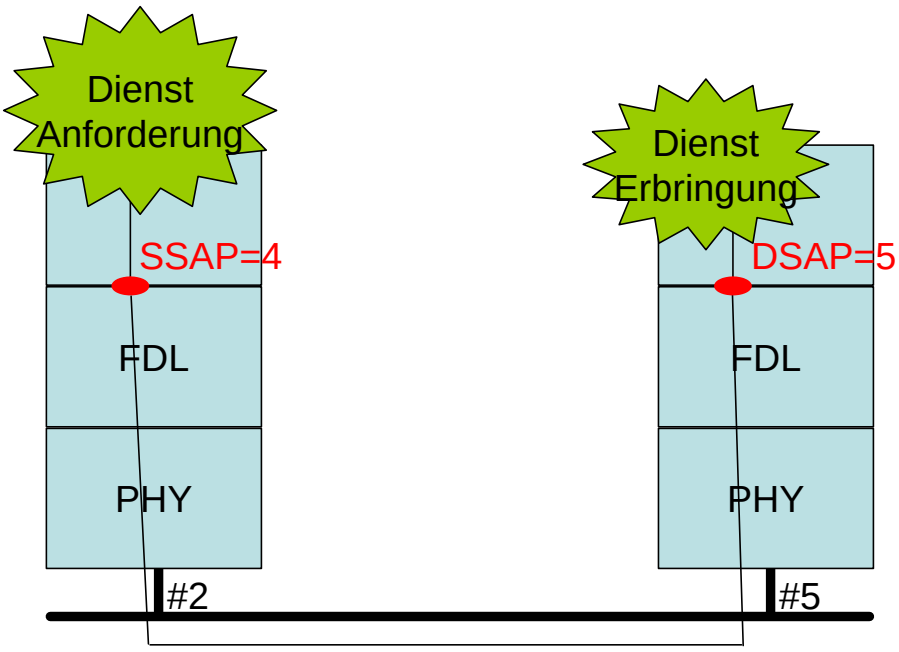
An der FDL-User - FDL Schnittstelle wird ein Datenübertragungsdienst über einen Dienstzugangspunkt (Service Access Point = SAP) abgewickelt. Beim aktiven und passiven sind gleichzeitig mehrere SAPs zulässig. Für diesen Fall muss bei der Übertragung einer Nachricht der zugehörige SAP mit gesendet werden.

Beispiel eines Frames mit SAPs:

SD2	LE	LEr	SD2	DA	SA	FC	DSAP	SSAP	PDU	FCS	ED

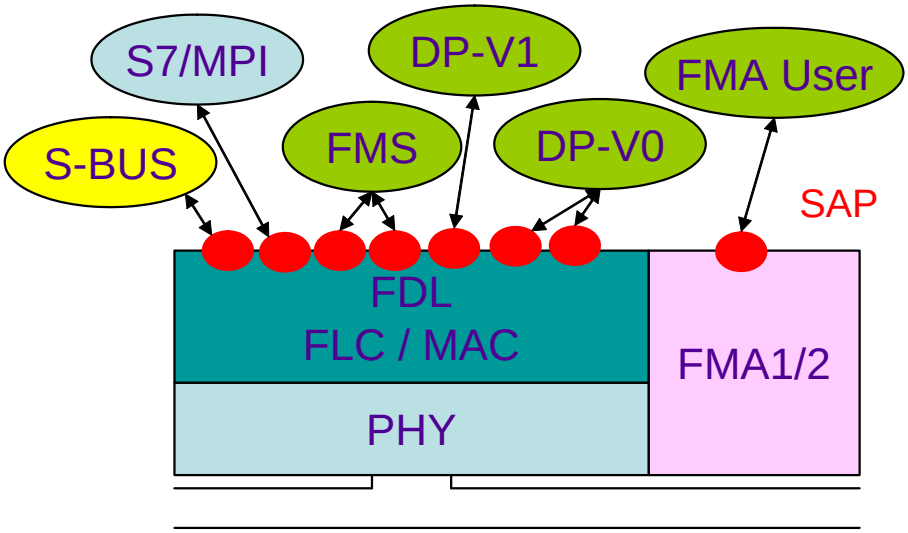
Der Quell-Dienstzugangspunkt (Source Service Access Point, SSAP), der die Zugangsadresse vom Local (lokalen) User zur FDL darstellt, wird im SSAP-Byte übertragen. Der Ziel-Dienstzugangspunkt (Destination Service Access Point, DSAP), der eine oder alle Zugangsadressen vom Remote (fernen)-User zur FDL darstellt, wird im DSAP-Byte übertragen (vergleiche auch untenstehende Abbildung).

© 2009 Max Felser



SSAP und DSAP

Mit der Hilfe des SAP wird unterschieden, welche Anwendung, und im Falle des DP Protokolls, welchen Dienst verwendet werden soll.



Einsatz der SAP

Eine erste Zuordnung der möglichen Werte für Master und Slave Teilnehmer findet sich in nachstehenden Tabellen:

SAP: Service Access Points des Masters

SAP	Name	Verwendung
---	Data_Exchange	DP MS0: Zyklischer Datenaustausch
0 (0x00) - 1 (0x01)		FDL Management
andere	Frei	Frei belegbar durch FMS oder andere Protokolle
50 (0x32)	MS2	DP MS2: Azyklisch Master Klasse 2
51 (0x33)	MS1	DP MS1: Azyklische Master Klasse 1
54 (0x36)	MM	DP Master zu Master Verbindung
62 (0x3E)	MS0	DP MS0: Slave Handler pro DP Slave

© 2009 Max Felser

SAP: Service Access Points des Slave

SAP	Name	Verwendung
---	Data_Exchange	MS0: Zyklischer Datenaustausch
0 (0x00) - 1 (0x01)		FDL Management
2 (0x02) – 44 (0x2C)	Frei	Frei belegbar durch FMS oder andere Protokolle
45 (0x2D) – 53 (0x35)	MS1 / MS2	DP: Azyklische Verbindungen mit Master Klasse ½
54 (0x36) – 62 (0x3E)	MS0	DP MS0: Zyklische Kommunikation mit Master Klasse 1
63 (0x3F)	Broadcast	An Alle

3.4.2.5 Prüfsumme

Die im Telegramm für Hamming-Abstand 4 notwendige Prüfsumme FCS (Frame Check Sequence) befindet sich immer unmittelbar vor dem End-delimiter (ED) und hat die Belegung:

7	6	5	4	3	2	1	0	
0 bis 255								Prüfsumme

Beim Format ohne Daten (SD1) muss die Prüfsumme durch die arithmetische Summe von DA, SA, und FC ohne Start- (SD) und End-delimiter (ED) und ohne Berücksichtigung der Überträge gebildet werden. Bei den Formaten fester Länge mit Daten (SD3) und variabler Länge (SD2) muss die Prüfsumme noch zusätzlich die Nutzdaten (PDU) mit einbeziehen.

Beispiel der in der FCS aufsummierten Bytes:

SD2	LE	LEr	SD2	DA	SA	FC	DSAP	SSAP	PDU	FCS	ED

Siehe auch den Absatz über die Fehlerbehandlung.

3.5 Telegrammsequenzen und Zeitverhältnisse

Das Feld

SYN

kennzeichnet die Synchronisationspause von 33 Bit.

Die Synchronisationspause kennzeichnet den Beginn einer neuen Telegrammsequenz.

Beispiel:
Ein Master erhält von seinem Kollegen den Token:

SYN	SD4	DA	SA

Er sendet ein Telegramm ohne Datenfeld:

SYN	SD1	DA	SA	FC	FCS	ED

Und bekommt eine Kurzquittung als Antwort.

SC

Der Master sendet ein weiteres Telegramm ohne Datenfeld:

SYN	SD1	DA	SA	FC	FCS	ED

Und erhält ein Telegramm mit variabler Länge als Antwort:

SD2	LE	LEr	SD2	DA	SA	FC	PDU	FCS	ED

© 2009 Max Felser

Der Master sendet ein Telegramm variabler Länge

SYN	SD2	LE	LEr	SD2	DA	SA	FC	PDU	FCS	ED

Und bekommt keine Antwort

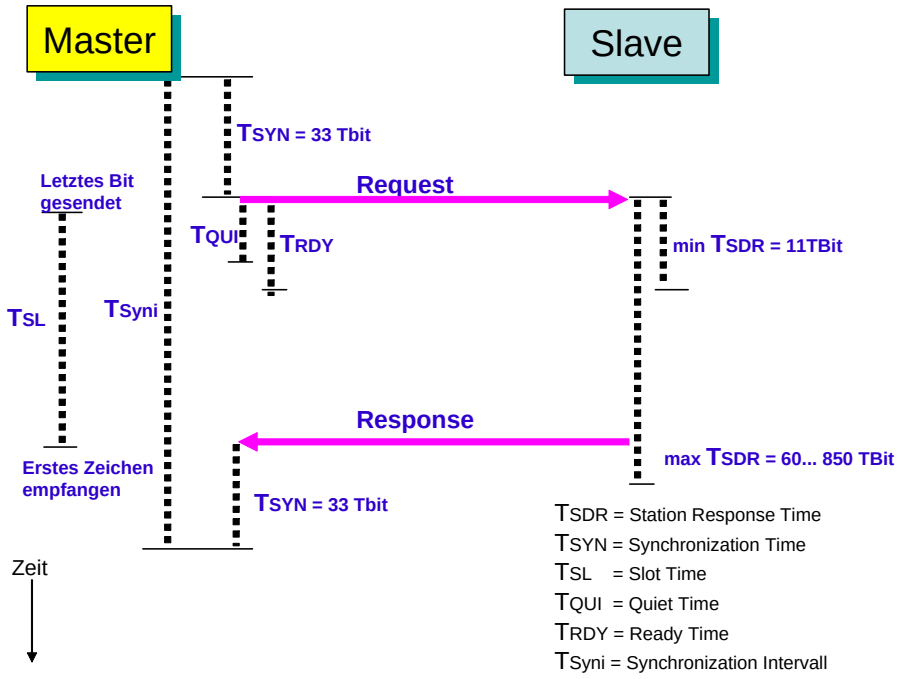
Der Master gibt die Kontrolle weiter und sendet ein Token Telegramm:

SYN	SD4	DA	SA

3.5.1 Zeitverhältnisse

Damit eine Telegrammsequenz richtig funktionieren kann, müssen auf einem PROFIBUS bestimmte Zeitverhältnisse richtig eingehalten werden.

Nach der Synchronisationspause der Dauer T_{SYN} zur Markierung des Beginns einer Sequenz wird das Request Telegramm vom Master an den Slave gesendet. Der Slave darf nicht schneller als nach min T_{SDR} (SDR = Station Delay of Responder), muss aber spätestens nach max T_{SDR} mit der Antwort beginnen. Die Min T_{SDR} Zeit muss mindestens die T_{QUI} Zeit der zwischengeschalteten Verstärker und Repeater und die T_{RDY} Zeit des Masters umfassen. In modernen PROFIBUS-DP Anlagen ist min T_{SDR} = 11. Langsamere PROFIBUS-FMS Slave haben Werte von min T_{SDR} von bis zu 255 T_{Bit}. Der Master wartet auf eine Antwort von einem Slave im Maximum T_{SL} (SL = Slot). Diese Zeit wird von max T_{SDR} bestimmt.



Zeitverhältnisse

Alle hier aufgeführten Zeiten können als FDL Parameter gelesen und verstellt werden.

© 2009 Max Felser

Parameter	Bitrate in kBit/s					
	≤ 187.5	500	1'500	3'000	6'000	12'000
T_{QUI}	0	0	0	3	6	9
T_{SET}	1	1	1	4	8	16
T_{RDY}	≤ 11	≤ 11	≤ 11	≤ 11	≤ 11	≤ 11
min T_{SDR}	11	11	11	11	11	11
max T_{SDR}	60	100	150	250	450	800
T_{SL}	100	200	300	400	600	1'000

Tabelle der Defaultwerte der Zeiten

3.6 Fehlerbehandlung

Obwohl der PROFIBUS aufgrund seiner Übertragungstechnik gut gegen Übertragungsfehler gesichert ist, können sie nicht vollständig ausgeschlossen werden. Ursache der Fehler können z. B. defekte Sender, ein schlecht abgeschirmtes Medium, Signalreflektionen oder zu grosse Abweichungen zwischen Sende- und Empfangstakt sein.

Praktische Untersuchungen haben gezeigt, dass die Fehlerrate auf einem Kabel kleiner als 10^{-4} d.h. nicht mehr als ein fehlerhaftes Bit auf 10'000 übertragene Bits ist. Mit dem Einsatz von Fehlererkennung und Fehlerkorrektur sollen diese Werte noch weiter gesenkt werden.

Mit einfachen Werkzeugen können auftretende Fehler in einem PROFIBUS System erkannt werden.

3.6.1 Fehlererkennung

UART-Bausteine sind in der Lage, einen Teil der Fehler zu erkennen: Rahmenfehler (frame error): das Stoppbit eines Zeichens wurde nicht erkannt - Überlauffehler (overrun error): ein empfangenes Zeichen wurde vom Empfänger mit dem nächsten Zeichen überschrieben, bevor das "alte" abgespeichert wurde.

Jedes Bytes wird bei einem UART Zeichen mit einer **geraden Parität** gesichert. Damit ein Fehler nicht erkannt werden kann, müssen in einem Byte eine gerade Anzahl von Bits, d.h. mindestens zwei Bits verändert werden. Dies entspricht einer Hamming Distanz von 2 und erlaubt die Erkennung von 50% aller Übertragungsfehlern.

Um eine sichere Fehlererkennung zu ermöglichen ist aber eine Hamming Distanz von mindestens 4 gefordert. Dies wird beim PROFIBUS durch eine zusätzliche **Prüfsumme** erreicht. Damit eine Kombination von Fehlern nicht erkannt werden kann, sind zwei Bitfehler in zwei Bytes notwendig, so dass die Prüfsumme gerade wieder stimmt. Damit müssen mindestens 4 Bits verändert werden, was der geforderten **Hamming Distanz 4** entspricht.

Da die Start- und Endezeichen bei der Bildung der Prüfsumme nicht berücksichtigt werden, sind diese Zeichen gegeneinander mit Hamming Distanz 4 gesichert.

Die Norm **IEC 870-5-1** definiert verschiedene Integritätsklassen für Fernwirksysteme:
Integritätsklasse 1 (I1) wird als genügend für zyklische Daten betrachtet
Integritätsklasse 2 (I2) ist geeignet für ereignisgesteuerte Daten und
Integritätsklasse 3 (I3) für Fernkontrolle.

Mit der Hilfe der Fehlererkennung wird die Bitfehlerwahrscheinlichkeit (Bit error probability) auf die Restfehlerwahrscheinlichkeit (Residual error probability) reduziert.

PROFIBUS soll Integritätsklasse 2 erreichen. Das verwendete Prüfsummenverfahren wird in IEC 870-5-1 als FT2.1 bezeichnet. Die Restfehlerrate lässt sich somit berechnen mit

$$R_{FT1.2}(p,i) := \left[2^{-(i+9)} \cdot (1-p)^{2 \cdot i+2} \cdot \sum_{j=0}^{8} \left(\frac{8!}{j! \cdot (8-j)!} \right) \cdot \left[(1-2 \cdot p)^{j} + (1-2 \cdot p)^{9-j} \right]^{i+1} \right] - (1-p)^{11 \cdot i+11}$$

p = Bitfehlerwahrscheinlichkeit (bit error probability)

© 2009 Max Felser

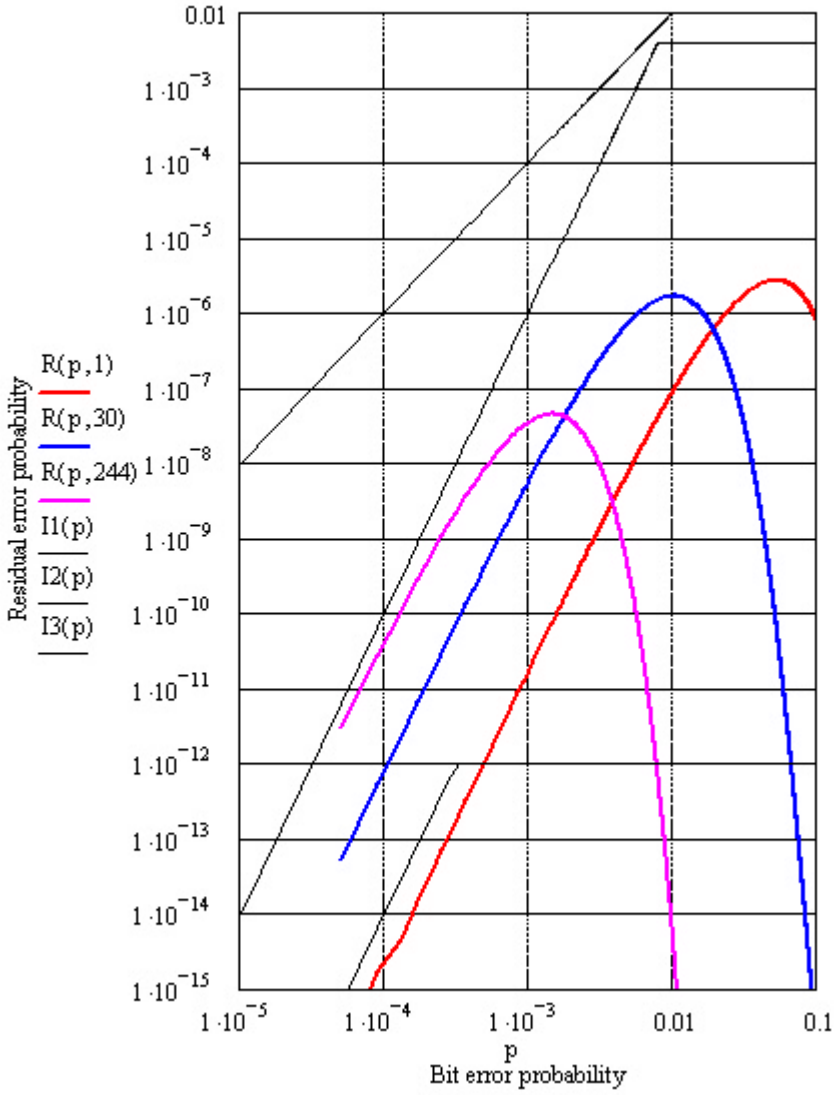
i = Anzahl der Bytes in einem Telegramm
RFT1.2 = Restfehlerwahrscheinlichkeit (residual error probability) für ein FT1.2 Telegramm

Die Kombination mit der geraden Parität ergibt eine weitere Reduktion zu

$$R(p,i) := 0.5 \cdot R_{FT1.2}(p,i) \cdot (1-p)^{11 \cdot 5}$$

R = Restfehlerwahrscheinlichkeit für ein PROFIBUS Telegramm

In der nachstehenden Graphik sind das Verhältnis zwischen Bitfehlerwahrscheinlichkeit und Restfehlerwahrscheinlichkeit für die drei Integritätsklassen und PROFIBUS Telegramme mit 1, 30 und 240 Nutzdatenbytes aufgezeichnet.



Eine Bitfehlerwahrscheinlichkeit von 10^{-4} lässt sich somit auch mit einem langen Telegramm mit 240 Nutzdatenbytes auf eine Restfehlerwahrscheinlichkeit von 10^{-10} reduzieren, was den Anforderungen der Integritätsklasse 2 entspricht.

3.6.2 Fehlerkorrektur

Stellt der Empfänger eines Telegramms einen Fehler fest, wird das Telegramm ignoriert (weggeworfen).

Somit ist die Fehlerkorrektur abhängig von der Art des verwendeten Dienstes:

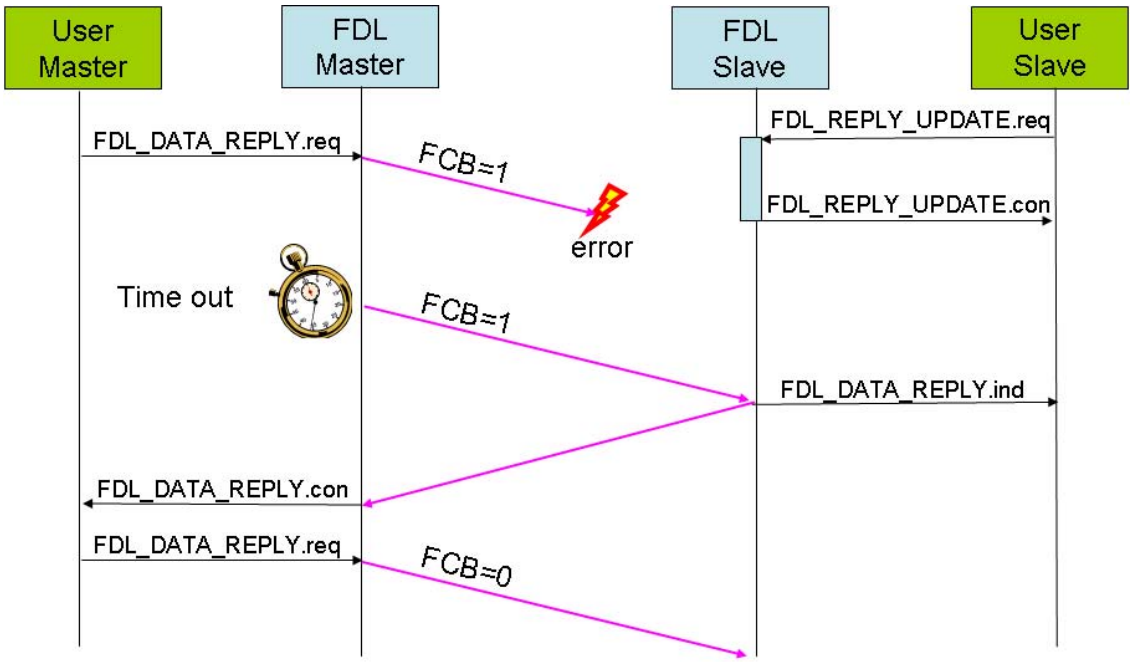
© 2009 Max Felser

SDN Dienst:
Es findet keine Korrektur statt. Der Sender kann auch nicht feststellen, ob von einem Empfänger ein Fehler festgestellt wurde. Es wird davon ausgegangen, dass die Anwendung diesen SDN Dienst zyklisch einsetzt und somit die Übertragung im nächsten Zyklus stattfindet.

SDA und SRD Dienste:
Der Sender erwartet innerhalb der Slot-Time eine Antwort vom Empfänger. Tritt diese Antwort nicht ein ist entweder das Anfragetelegramm (Request) oder das Antworttelegramm (Response) verloren gegangen.

Eine Fehlerkorrektur findet durch Wiederholung eines nicht beantworteten Telegramms statt.

Die nachstehende Graphik zeit die Sequenz im Fall eines SRD Dienstes, wenn das Anfragetelegramm fehlerhaft empfangen wird.



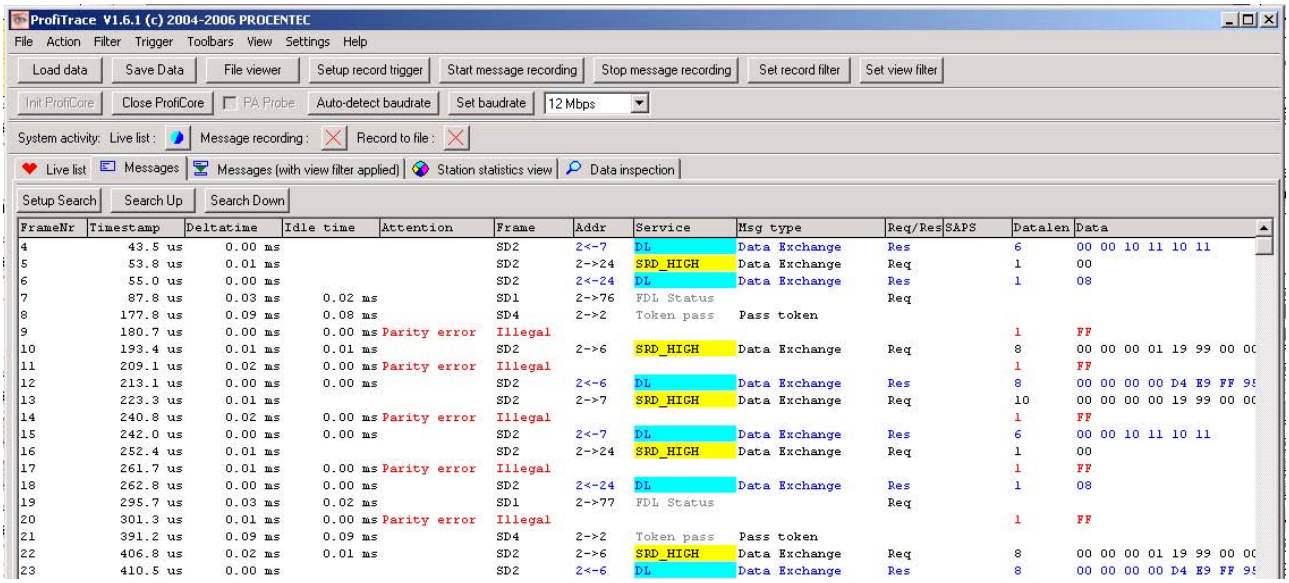
Mit der Hilfe des Frame Count Bits (FCB) kann der Empfänger erkennen, ob er ein Telegramm schon einmal empfangen und bearbeitet hat. Duplikate können erkannt und eliminiert werden.

3.6.3 Fehlerdiagnose

Für die Fehlerdiagnose muss ein Werkzeug eingesetzt werden. Die meisten Busmonitore können auch Übertragungsfehler darstellen und zählen.

Hier ein Bildschirmauszug aus einem ProfiTrace Werkzeug mit aufgezeichneten Paritätsfehlern erzeugt mit fehlerhaften Busabschlüssen:

© 2009 Max Felser



Mit diesem Werkzeug werden für alle Stationen auch Statistikzähler mitgeführt. Wenn zwei Telegramme hintereinander das selbe FCB aufweisen, ist dies eine Wiederholung (retries).

In einer korrekten Installation sollten keine Telegrammwiederholungen notwendig sein.

3.7 Literatur

Die folgenden Normen spezifizieren die FDL Datenübertragung:

IEC 61784-1:2007
Profile sets for continuous and discrete manufacturing relative to fieldbus use in industrial control systems

In dieser Norm wird aufgelistet, welche Abschnitte und Kapitel der Norm IEC 61158 für die Realisierung eines PROFIBUS Master oder Slave benötigt werden. Ein PROFIBUS-DP wird dabei als CPF3/1 und ein PROFIBUS-PA als CPF3/2 bezeichnet.

IEC 61158-3-3:2007
Digital data communications for measurement and control - Fieldbus for use in industrial control systems

Dieser Teil 3 Abschnitt 3 spezifiziert die **Dienste** des Link Layers des PROFIBUS. Er wird in diesem Teil der Norm als "Typ 3" bezeichnet. Erst seit der Ausgabe 2007 kann dieser Abschnitt der Norm getrennt gekauft werden! Sollte nur zusammen mit IEC61784-1 angewendet werden!

IEC 61158-4-3:2007
Digital data communications for measurement and control - Fieldbus for use in industrial control systems

Dieser Teil 4 Abschnitt 3 spezifiziert das **Protokoll** des Link Layers des PROFIBUS. Er wird in diesem Teil der Norm als "Typ 3" bezeichnet. Erst seit der Ausgabe 2007 kann dieser Abschnitt der Norm getrennt gekauft werden! Sollte nur zusammen mit IEC61784-1 angewendet werden!

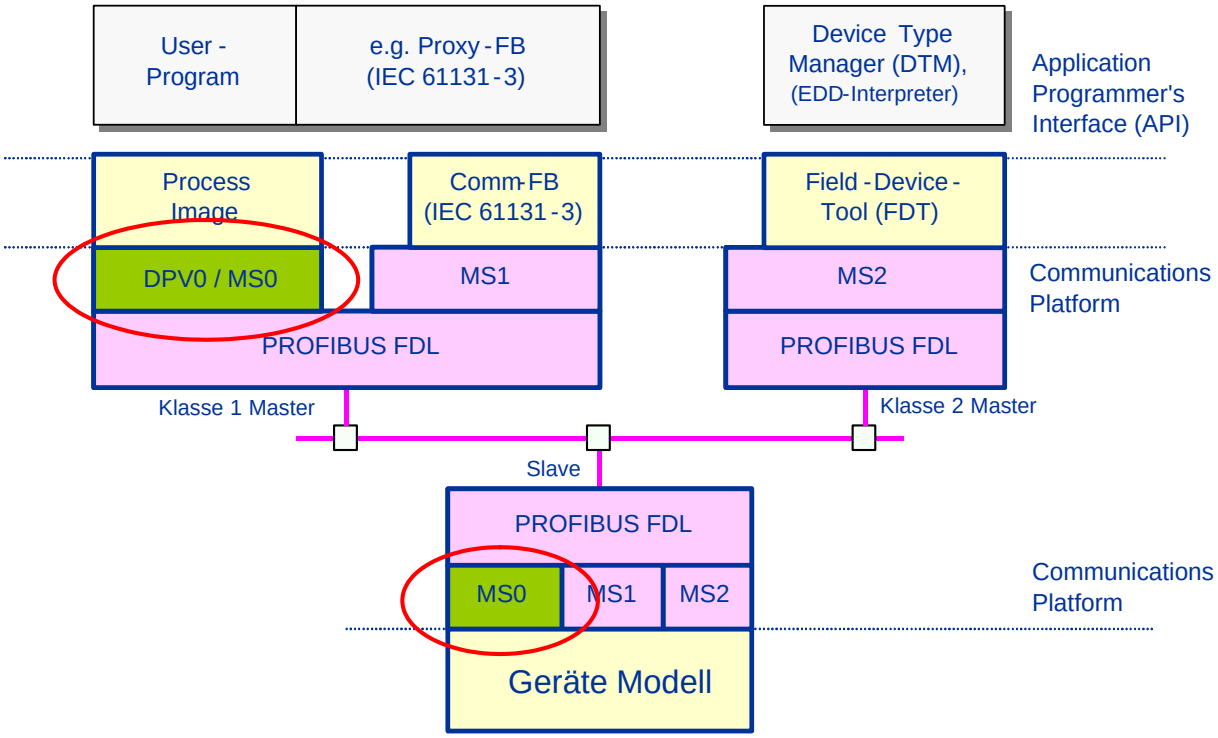
© 2009 Max Felser

Die alten DIN19245 und EN50170-2 Normen sind heute ausser Kraft und sollten für neue Entwicklungen nicht mehr verwendet werden, obwohl sich die Festlegungen in den letzten Jahren nur in Details geändert haben.

© 2009 Max Felser

4 MS0: Zyklischer Datenaustausch

Beim PROFIBUS werden Master der Klasse 1 und 2 von den Slave Geräten unterschieden. Diese Geräte kommunizieren mit unterschiedlichen Kommunikationsmodellen.



Modell der PROFIBUS Kommunikation

Wir betrachten hier den Fall einer Kommunikation einer Steuerung mit seiner abgesetzten Peripherie, d.h. den Slave Geräten. Die Abkürzung DP steht dabei für Dezentrale Peripherie. Wir bezeichnen die Steuerung in unserem Fall als DP-Master der Klasse 1 und die peripheren Ein- und Ausgabeelemente als DP-Slave. Dieses Kommunikationsprotokoll wird als MS0 bezeichnet. Die Komminikationsbeziehungen MS1 und MS2 dienen der azyklischen Kontrolle der Parameter und werden in einem späteren Kapitel erläutert.

Der DP-Master der Klasse 1 (Steuerung) wird dabei die einzelnen DP-Slave (Peripherie) pollen. Er schreibt immer alle Ausgangswerte eines DP-Slaves und erhält von Ihm als Antwort sofort alle Eingangswerte zurück. Dies wird der Reihe nach mit allen DP-Slave vom DP-Master so gemacht. Nach einem Zyklus beginnt er wieder von vorne. Die Steuerung bildet so mit den Daten der dezentralen Peripherie ein Prozessabbild (Process Image).

Der DP-Master muss somit bevor er seine Kommunikation aufnehmen kann konfiguriert werden. Er muss wissen, welche DP-Slave auf dem PROFIBUS von ihm kontrolliert werden müssen und welche Daten dabei ausgetauscht werden sollen. Er braucht die Beschreibung der Kommunikationseigenschaften der angeschlossenen Geräte. Dies wird beim PROFIBUS in elektronischem Format geliefert, der sogenannten Generic-Station-Description GSD-Datei (früher auch als Geräte-Stamm-Daten bezeichnet). Durch einlesen dieser GSD-Datei kann somit ein Konfigurationswerkzeug die Kommunikationseigenschaften eines DP-Slave kennenlernen, es ist ein elektronisches Datenblatt (Electronic Datasheet).

In den nächsten Kapitel werden somit die Grundfunktionen des PROFIBUS-DP erläutert, wobei in jedem Kapitel auch die Beschreibungen in der GSD und die dazu gehörenden Telegramme erläutert werden.

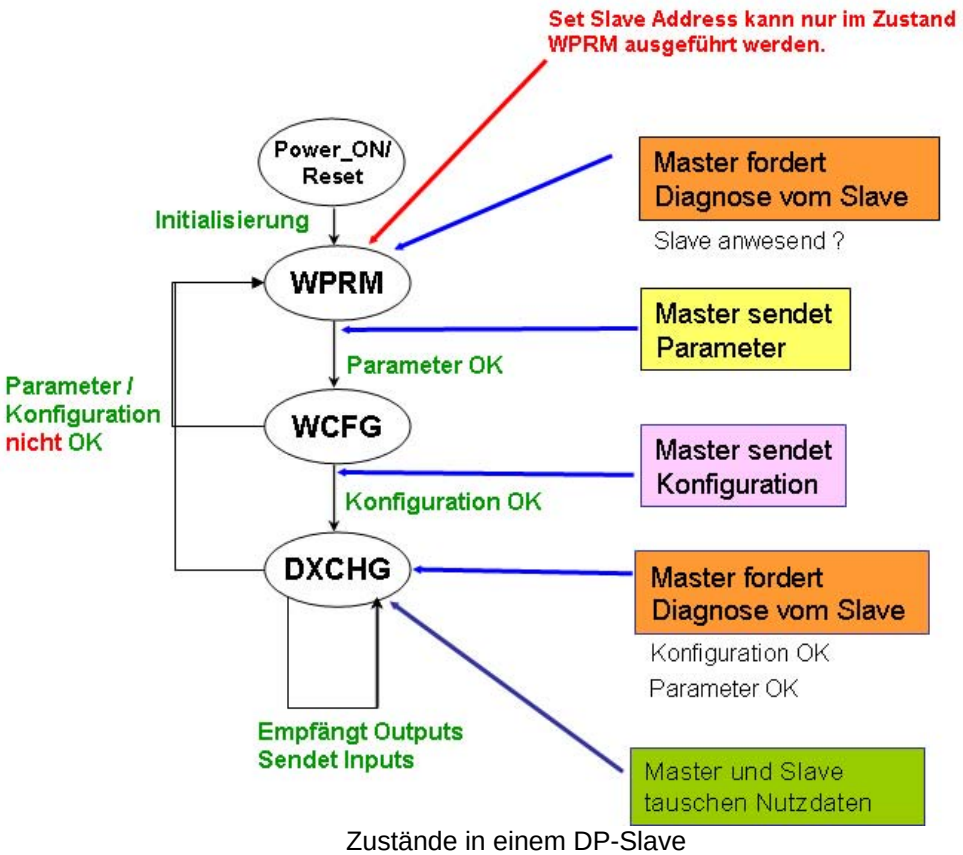
4.1 Initialisierung eines DP-Slave

Die Kommunikation in einem DP-Slave ist immer in einem bestimmten Zustand. Damit der Zustand Data-Exchange erreicht werden kann, erwartet der DP-Slave vom DP-Master eine Sequenz von Telegrammen. Diese Telegramme werden in den nachfolgenden Kapiteln genauer erläutert.

4.1.1 Zustände des DP-Slave

Der DP-Slave (Peripherie) ist in einem der folgenden Zustände:

© 2009 Max Felser



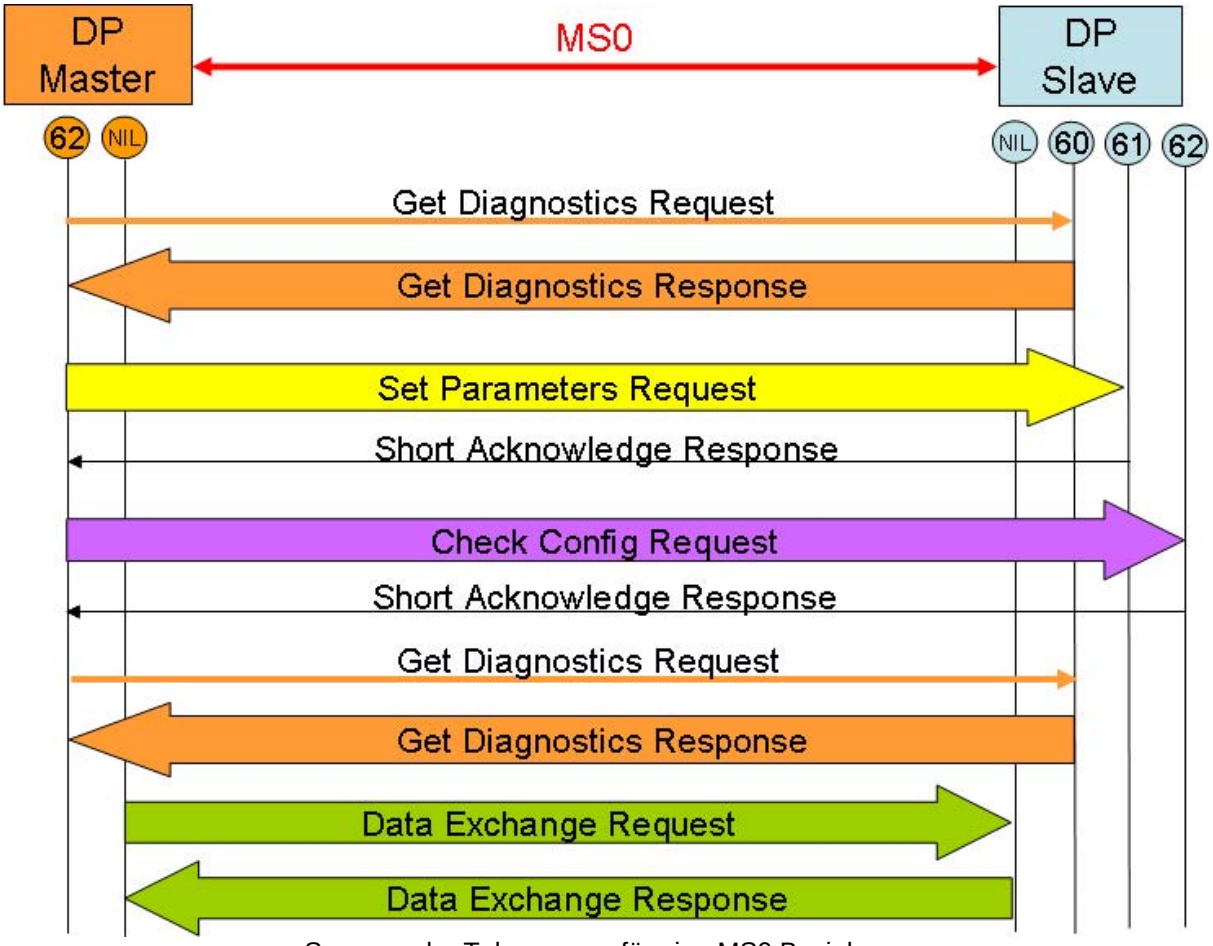
Zustände in einem DP-Slave

Ein zyklischer Datenaustausch zwischen einem Master Klasse 1 - der Steuerung - und einem DP-Slave - Feldgerät - kann nur stattfinden, wenn der DP-Slave im Zustand Data Exchange (DXCHG) ist. Dazu muss der DP-Slave vom DP-Master der Klasse 1 eine Sequenz von Telegrammen erhalten.

4.1.2 Initialisierungssequenz

Damit ein DP-Slave in den Zustand DXCHG geht erwartet er von einem DP-Master eine bestimmte Sequenz von Telegrammen:

© 2009 Max Felser



Sequenz der Telegramme für eine MS0 Beziehung

Die Reihenfolge der Telegramme ist:

1. Mit einer Diagnoseanfrage stellt die Steuerung fest ob der DP-Slave vorhanden ist. Diese Anfrage wird so lange wiederholt bis der DP-Slave antwortet.
2. Mit einem Set Parameter werden die Initial-Parameter von der Steuerung an den Slave übertragen.
3. Mit dem Check Configuration Telegramm wird die korrekte Konfiguration überprüft.
4. Mit einer weiteren Diagnoseanforderung überprüft die Steuerung ob der Slave jetzt korrekt initialisiert und für den Datenaustausch bereit ist.
5. Jetzt sind wir im zyklischen Datenaustausch. Die Steuerung sendet die Ausgangsdaten und erhält die Eingangsdaten zurück.

4.1.3 Belegung der SAP

Die Dienste werden beim DP Protokoll mit den SAP (Service Access Point) kodiert. Ein Telegramm das an einen SAP adressiert wird, hat automatisch eine bestimmte Bedeutung. Der SAP bestimmt somit die Funktion des Telegramms.

Für eine MS0 Verbindung werden die folgenden SAP verwendet:

SAP: Service Access Points des Masters

SAP	**Name**	**Bedeutung**
---	Data_Exchange	Zyklischer Datenaustausch
62 (0x3E)	MSCY1M	**Slave Handler pro DP Slave**

© 2009 Max Felser

SAP: Service Access Points des DP-Slave

SAP	Name	Daten vom Master zum Slave	Daten vom Slave zum Master
---	Data_Exchange	Output Daten	Input Daten
53 (0x35)	Ext_User_Prm	Ext. Parameter	SC
55 (0x37)	Set_Slave_Adr	Adresse	SC
56 (0x38)	Rd_Inp	Leer	Input Daten
57 (0x39)	Rd_Outp	Leer	Output Daten
58 (0x3A)	Global_Control	Control	---
59 (0x3B)	Get_Cfg	Leer	***Konfiguration***
60 (0x3C)	Slave_Diagnosis	Leer	***Diagnose***
61 (0x3D)	Set_Prm	***Parameter***	SC
62 (0x3E)	Chk_Cfg	***Konfiguration***	SC

Die Dateninhalte der einzelnen Telegramme werden in den nächsten Kapitel erläutert.

4.2 Adressänderungen

Die PROFIBUS Adresse eines DP-Slave kann auf zwei Arten eingestellt werden:
1. Durch Einstellungen am Gerät mit der Hilfe von Schaltern oder einer anderen Bedienungsschnittstelle.
2. Durch das Senden eines speziellen Telegramms über den PROFIBUS.

Diese zweite Funktion wird nicht zwingend von jedem DP-Slave unterstützt. Der Eintrag

Set_Slave_Add_supp = 1

in der GSD Datei zeigt an, ob diese Funktion unterstützt wird.

Eine Adressänderung eines DP-Slave kann nur im Zustand **Wait Parameter (WPRM)** erfolgen. Nur in diesem Zustand des DP-Slave kann der Master - typischerweise ein Master der Klasse 2 - ein Telegramm zum Ändern der Adresse des DP-Slave senden. Dabei sollte er vorgängig überprüfen, dass die neue Adresse auch frei ist.

Nach dem Ändern der Adresse ist ein Kaltstart (Speisung aus und wieder ein) des DP-Slave erforderlich.

Adresse: Telegramm zum ändern der Adresse mit 4 Bytes

Byte 1: Neue Adresse

7	6	5	4	3	2	1	0	
0–125 (0x00–0xFE)								Neue Adresse

Byte 2 & 3: Ident Nummer

7	6	5	4	3	2	1	0	
0-255 (0x00-0xFF)								Ident Nummer high Byte
0-255 (0x00-0xFF)								Ident Nummer low Byte

Byte 4:

7	6	5	4	3	2	1	0	
							X	Weitere Änderungen der Adresse sind nicht erlaubt
0	0	0	0	0	0	0		Reserviert

4.3 Parametrierung

Der DP-Master Klasse 1 (Steuerung) kann einem DP-Slave bei der Initialisierung Parameter für sein Gerät übergeben. Es können Standardparameter und gerätespezifische Parameter für das Gerät oder einzelne Module des Gerätes unterschieden werden.

© 2009 Max Felser

Die gerätespezifischen Parameter werden in der GSD-Datei beschrieben. Alle Parameter werden mit dem Set_Parameter Telegramm vom DP-Master Klasse 1 an den DP-Slave übertragen. Bevor dies nicht geschehen ist, kann der DP-Slave keine Nutzdaten austauschen.

4.3.1 Set_Parameter Telegramm

Set Parameter Telegramm bestehn aus min. 7 und max. 244 Bytes Nutzdaten.

Befehl	Watch-dog 1	Watch-dog 2	Min TSDR	Ident H	Ident L	Gruppe	DPV1 Status_1	DPV1 Status_2	DPV1 Status_3	User

Die ersten sieben Bytes der Parameter sind in der Norm verbindlich vorgeschrieben. Bytes 8 bis 10 sind in DP-V1 festgeschrieben. Weitere Bytes sind Anwenderspezifisch.

Die Parameter werden nach folgendem Muster kodiert: X = Wert 1 aktiviert, Wert 0 deaktiviert

Parameter: Telegramm mit min. 7 max. 244 Bytes DU

Byte 1: Befehl

7	6	5	4	3	2	1	0	
					0	0	0	Reserviert
				X				Watchdog aktiviert
			X					FREEZE aktiviert
		X						SYNC aktiviert
	X							Unlock (Priorität gegenüber Lock)
X								Lock

Die einzelnen Bits haben die folgende Bedeutung:

Lock_Req: Der DP-Master setzt dieses Bit auf 1, um den Zugriff auf einem DP-Slave für andere Master zu sperren.

Unlock_Req: Der DP-Master setzt dieses Bit auf 1, um den Zugriff auf einen DP-Slave für einen anderen DP-Master wieder freizugeben. Dieses Bit hat Priorität über Bit 7/ Lock_Req.

Sync_Req: Mit diesem Bit wird dem DP-Slave angezeigt, dass er im Sync-Mode betrieben werden soll, sobald das Kommando mit der Funktion Global_Control übergeben wird. Unterstützt ein DP-Slave das Sync-Kommando nicht, dann muss er in den Diagnosedaten Not_Supported setzen. Durch diese Abfrage bei der Parametrierung werden Fehler während des Nutzdatenbetriebs vermieden.

Freeze_Req: Mit diesem Bit wird dem DP-Slave angezeigt, dass er im Freeze-Mode betrieben werden soll, sobald das Kommando mit der Funktion Global_Control übergeben wird. Unterstützt ein DP-Slave das Freeze-Kommando nicht, dann muss er in den Diagnosedaten Not_Supported setzen. Durch diese Abfrage bei der Parametrierung werden Fehler während des Nutzdatenbetriebs vermieden.

WD_On (Watchdog on): Wird dieses Bit auf 0 gesetzt, so wird die Ansprechüberwachung deaktiviert.

Byte 2 & 3: Watchdog (Ansprechüberwachung)

7	6	5	4	3	2	1	0	
0- 255 (0x00-xFF)								Watchdog Faktor_1
0- 255 (0x00-xFF)								Watchdog Faktor_2

Die in den beiden Bytes abgelegten Werte stellen Faktoren für die Einstellung der Ansprechüberwachungszeit (TWD) dar. Die Anspechüberwachung sorgt in einem DP-Slave dafür, dass bei einem Ausfall des DP-Masters, nach dem Ablaufen dieser Zeit, die Ausgänge den sicheren Zustand einnehmen.

Die Zeit berechnet sich wie folgt:

Watchdog = Faktor_1 * Faktor_2 * 10 ms

© 2009 Max Felser

Somit lassen sich Zeiten vom 10ms bis 650 sec. unabhängig von der Baudrate realisieren. Mit dem Bit 2 im Byte 8 kann diese Zeitbasis der Ansprechüberwachung auf 1 ms eingestellt werden. Damit lassen sich 10 mal kürzere Zeiten einstellen. Die Ansprechüberwachung wird durch das Bit WD_On ein- oder ausgeschaltet.

Byte 4: minimale Antwortzeit des Slave

7	6	5	4	3	2	1	0	
0, 11-255 (0x00, 0x0B–0xFF)								Min. TSDR in TBit

Das ist die Zeit, die der DP-Slave mindestens warten muss, bis er seine Antworttelegramme an den DP-Master zurücksenden darf.

Reiner DP-Betrieb: 0, 11 bis max T_{SDR} gemäss Norm
Mischbetrieb (zB. DP&FMS): 0, 11 bis 255 T_{Bit}

Beim Wert 00 bleibt der bisherige Wert erhalten.

Byte 5 & 6: Ident Nummer

7	6	5	4	3	2	1	0	
0-255 (0x00-0xFF)								Ident Nummer high Byte
0-255 (0x00-0xFF)								Ident Nummer low Byte

Der DP-Slave akzeptiert nur Parametriertelegramme, bei denen die übertragene Ident-Nummer mit der eigenen Ident-Nummer übereinstimmt. Ausnahme: Die min TSDR kann auch gesetzt werden, falls die beiden Bits Lock_Req und Unlock_Req Null sind und die Ident_Nummer nicht übereinstimmt.

Byte 7: Gruppenzuteilung

7	6	5	4	3	2	1	0	
							X	Gerät gehört zur Gruppe 1
						X		Gerät gehört zur Gruppe 2
								....
X								Gerät gehört zur Gruppe 8

Mit diesem Octet kann eine Gruppenbildung für die Funktionen Global_Control durchgeführt werden. Jedes Bit stellt eine Gruppe dar. Wird nur bei gesetztem Lock_Req_Bit übernommen.

Die nächsten Bytes sind Erweiterungen für DP-V1. Eine Steuerung, die diese Erweiterungen nicht unterstützt, sollte diese Werte alle auf 0 setzen. Wenn ein Gerät, dass diese Erweiterungen unterstützt setzt in der GSD Dateo das Schlüsselwort:

DPV1_Slave = 1

Byte 8: DPV1_Status_1

7	6	5	4	3	2	1	0	
			0	0		0	0	Reserviert
					X			Zeitbasis des Watchdog ist 1 ms (und nicht 10 ms)
		X						Der Slave soll als Publisher arbeiten
	X							Der Slave soll im Fail_Safe Modus arbeiten
X								Der Slave soll im DP-V1 Modus arbeiten

Mit dem Schlüsselwort
WD_Base_1ms_supp = 1
in der GSD Datei wird angezeigt, ob der DP-Slave diese Funktion des 1 ms Watchdogs unterstützt.

© 2009 Max Felser

Byte 9: DPV1_Status_2

7	6	5	4	3	2	1	0	
							X	**Check_Cfg_Mode:** Reduzierte Konfigurationskontrolle
						0		Reserviert
					X			Updatealarm einschalten
				X				Statusalarm einschalten
			X					Herstellerspezifischen Alarm einschalten
		X						Diagnosealarm einschalten
	X							Prozessalarm einschalten
X								Einsteckalarm (Pull-Plug) einschalten

Check_Cfg_Mode: Wenn dieses Bit auf 0 ist, muss der Slave die Chk_Config Telegramme vom DP-V1 Master auf Konsistenz überprüfen und fehlerhafte Konfigurationen zurückweisen. Ist dieses Bit auf 1 sind aber herstellerspezifische Abweichungen erlaubt. z.B. ist es möglich ein Modul in der Konfiguration zu akzeptieren, obwohl es im Moment nicht gesteckt ist.

Die Unterstützung von diesem Bit wird in der GSD Datei mit dem Schlüsselwort
Check_Cfg_Mode = 1
angezeigt.

Byte 10: DPV1_Status_3

7	6	5	4	3	2	1	0	
					0 1 2 3 4 5 6 7			1 Alarm von jedem Typ möglich 2 Alarme im ganzen möglich 4 Alarme im ganzen möglich 8 Alarme im ganzen möglich 12 Alarme im ganzen möglich 16 Alarme im ganzen möglich 24 Alarme im ganzen möglich 32 Alarme im ganzen möglich
				X				**Prm_Structure:** Es folgt ein Parameter Block
			X					Isochroner Modus einschalten (Block Typ = 4)
X								Redundanzbefehle einschalten (Block Typ = 2)
	0	0						Reserviert

Wenn das Bit **Prm_Structure** gesetzt ist, folgen anschliessend an diese Daten Parameterblöcke mit weiteren normierten Parametern oder Befehlen. Die einzelnen Blöcke und Befehlsgruppen können mit einzelnen Bits aktiviert werden.

Der ganze Block wird in einem festen Format aufgebaut.

Structure_Length	Structure_Type	Slot_Number	reserved	User_Parameter_Data

Structure_Length

7	6	5	4	3	2	1	0	
5 - 244 (0x05–0xFF) 255 (0xFF)								Länge des Parameterblocks inklusive dieses Byte Rest des Parametertelegramms ist ein Block

Structure_Type

7	6	5	4	3	2	1	0	
2 (0x02) 3 (0x03) 4 (0x04) 5 (0x05) 7 (0x07)								Redundanz Befehle DxB Tabellen Parameter für Isochronen Zyklus F-Parameter für PROFIsafe Subscriber Tabellen

© 2009 Max Felser

4.3.2 Set_Parameter Sequenz

Der DP-Master sendet die Parameter an den DP-Slave in einem Set-Parameters Telegramm. Er sendet dazu ein SRD Dienst an den SAP 61. Der Slave antwortet mit einer Kurzquittung (ein Zeichen).

Addr	Msg type	Req/Res	SAPS	Datalen	Data
1->22	**Set Parameters**	Req	62-> **61**	7	B8 01 63 0B 05 AA 22
1<-22	Ack	Res			

Nach dem Erhalt der gültigen Parameter wechselt der DP-Slave vom Zustand "Wait Parameter" (WPRM) in den Zustand "Wait Configuration" (WCFG).

Bei fehlerhaften Parametern, z.B. falsche Ident Nummer, wird in dem Zustand WPRM gewartet und in der nächsten Diagnose das Parameter Fehler Bit gesetzt.

4.3.3 Parameter in der GSD

Für die Eintragungen in der GSD Datei bestehen zwei Formate. In einer ersten Version werden die anwenderspezifischen Parameter mit einem Parameterpaar festgelegt, und in einer erweiterten (mindestens GSD Revision 1) können die einzelnen Parameterwerte mit Texten versehen werden und auch einzelnen Modulen zugewiesen werden.

In einer GSD Datei sollten nicht beide Versionen gleichzeitig vorkommen. Sind beide Versionen angegeben, so ist die letzte in der GSD aufgeführte Version massgebend.

Einfache Version

User_Prm_Data_Len = 5
User_Prm_Data = 0x00, 0x10, 0x00 , 0x00, 0x2F

In diesem Beispiel werden die anwenderspezifischen Parameter auf eine feste Länge von 5 Bytes festgelegt. Mit dem zweiten Schlüsselwort werten die Werte der einzelnen Bytes festgelegt. Im Set_Parameter Telegramm werden somit 7 normierten und anschliessend diese 5 anwenderspezifischen, also 12 Bytes übertragen.

Erweiterte Version (ab GSD Revision 1)

In einem ersten Block werden den einzelnen Parametern und deren Werten Texte zugewiesen:

PrmText= 1
Text (0)= „disable“ ; Wert 0 bedeutet disable
Text (1)= „enable“ ; Wert 1 bedeutet enable
EndPrmText

In einem zweiten Block werden die einzelnen Parameter beschrieben. Defaultwerte und mögliche Wertebereiche werden festgelegt. In diesem Beispiel wird dem Bit 5 der Text aus der Beschreibung 1 zugewiesen.

ExtUserPrmData=1 „Diagnostic Alarm“
Bit (5) 1 0-1 ; Das Bit 5 hat die Vorbelegung 1 und die möglichen Werte 0 oder 1
Prm_Text_Ref = 1 ; Das Bit 5 in dieser Referenz verweist auf PrmText=1
EndExtUserprmdata

Nun wird die maximale Länge der anwederspezifischen Parameter angegeben. Es können auch weniger angegeben werden. Die Angabe dieses Parameters schliesst die Angaben des Parameters User_Prm_Data aus!

Max_User_Prm_Data_Len= 50

Nun können die Parameter für das Gerät festgelegt werden. In einem ersten Schlüsselwort können die Parameter mit Werten vorbelegt werden. Ab einem bestimmten Byte (hier 0, also das 8. Byte im

© 2009 Max Felser

Set_Parameter Telegramm) werden in diesem Beispiel 4 Bytes mit Werten vorbelegt. Beim Einsatz dieses Schlüsselwortes kann User_Prm_Data nicht mehr verwendet werden.

Ext_User_Prm_Data_Const (0)= 0x00,0x01,0x02,0x03

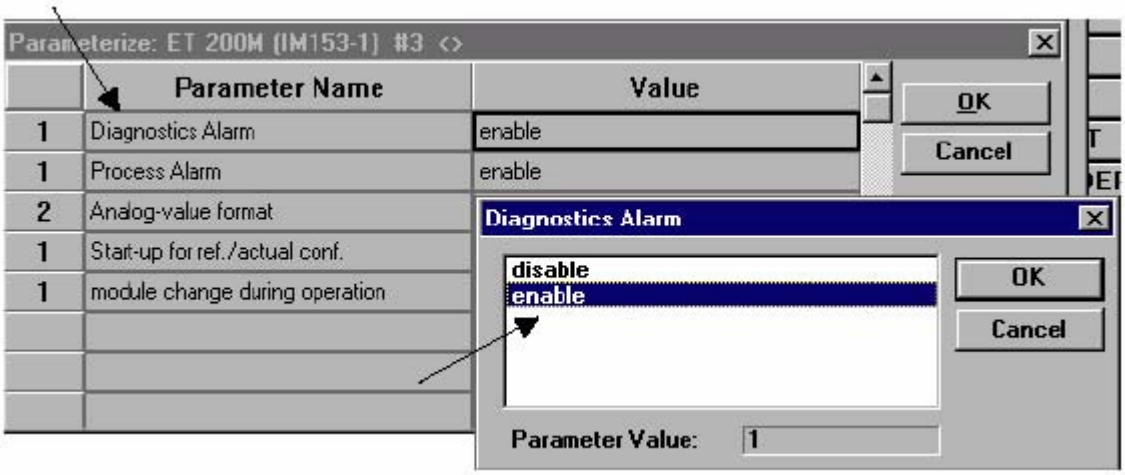
Nun können die Einstellmöglichkeiten zu den einzelnen Bytes aufgeführt werden. Dazu wird angegeben in welchem Byte welcher Parameter verwendet wird. In diesem Beispiel wird das 2 anwenderspezifische Byte (das 10. Byte im Set_Parameter Telegramm) mit der Parameterbeschreibung 1 eingestellt:

Ext_User_Prm_Text_Ref(2)=1

Die Texte, auf die referenziert wird, müssen vor dem Verweis stehen.

Beim Projektieren will der Anwender festlegen, ob ein Diagnosealarm (abhängig von Octet 2 der Anwenderparameter (Ext_User_Prm_Const (0)) erzeugt werden soll oder nicht. Die Vorbelegung ist, dass kein Diagnosealarm erzeugt werden soll. Will der Anwender dieses Verhalten ändern, kann er gemäss vorheriger Referenzierung (Ext_User_Prm_Text_Ref(2)=1 auf ExtUserPrmData=1 "Diagnostic Alarm" auf PrmText= 1) die Reaktion symbolisch auswählen.

Im Projektierungstool (hier COM PROFIBUS der Fa. Siemens) werden beim Projektieren der Anwenderparameter die in der GSD Datei projektierten Texte angezeigt:



Auf die gleiche Art und Weise können auch Parameter für ein einzelnes Modul definiert werden. Dazu wird das zusätzliche Schlüsselwort Ext_Module_Prm_Data verwendet.

Module " Demo-Modul" 0x00
Ext_Module_Prm_Data_Len = 2 ; dieses Modul hat zwei Parameterbytes
Ext_User_Prm_Data_Const (0) = 0x00, 0x00 ; die beiden Bytes werden vorbelegt
Ext_User_Prm_Data_Ref(0) = 1 ; Byte 0 wird gemäss Beschreibung 1 eingestellt
EndModule

Die Summe aller Anwenderparameter darf die Max_User_Prm_Data_Len nicht überschreiten!

4.4 Konfiguration

Damit der Master der Klasse 1 (die Steuerung) mit einem Slave effizient Kommunizieren kann, muss er wissen, wie viele Bytes der Master dem Slave als Ausgänge senden und wie viele Bytes er als Eingänge erhalten wird. Dies wird in der Konfiguration festgelegt.

Die möglichen Konfigurationen von einem DP-Slave werden in der GSD Datei festgelegt. Die aktuelle Defaultkonfiguration kann mit einem Get-Cfg Telegramm auch vom DP-Master aus dem DP-Slave ausgelesen werden. Bevor der DP-Slave Nutzdaten mit einem DP-Master austauschen kann, muss die gültige Konfiguration vom DP-Master dem DP-Slave mit dem Chk-Cfg Telegramm bestätigt werden.

© 2009 Max Felser

4.4.1 Definition der Module

Jeder Slave ist mit Slots (Einbaupositionen) ausgerüstet. In jedem Slot kann ein Modul sein. Ein leerer Slot kann speziell gekennzeichnet werden (leeres Modul).

Ein DP-Slave mit einer festen Konfiguration ist mit einem oder mehreren fest eingestellten Modulen ausgerüstet. Ein modularer DP-Slave kann ein- oder mehrere Module aufweisen, die aus einer Liste von möglichen Modulen ausgewählt werden können. Nur in erweiterten Funktionalitäten dürfen zwischen den gesteckten und den projektierten Modulen Unterschiede auftreten.

Jedes Modul wird mit einem Code beschrieben. Es gibt zwei Formate:
a) kompaktes Format – ein Byte pro Modul
b) spezielles Format – mehrere Byte pro Modul

4.4.1.1 Kompaktes Format

Codierung des Bytes für das kompakte Format:

7	6	5	4	3	2	1	0	
		0	1					Eingang (Input)
		1	0					Ausgang (Output)
		1	1					Ein-/Ausgabe (Input & Output)
				0-15				Länge der Daten 00 = 1 Byte oder Wort 15 = 16 Byte oder Worte
	1							Wort(e) zu 16 Bit
	0							Byte
1								Konsistenz über das ganze Modul
0								Konsistenz über ein Byte oder Wort

Ein Modul im kompakten Format kann somit bis zu 16 Byte oder 16 Worte umfassen. Ein Wort umfasst 16 Bit.

Mit der Konsistenz wird dem DP-Master (Steuerung) ein Hinweis über die Verwendung der Daten gemacht: dürfen diese Bytes oder Worte einzeln interpretiert werden, oder müssen sie immer gesamthaft verarbeitet werden. Es ist die Aufgabe des DP-Masters die geforderte Konsistenz sicherzustellen.

Beispiele zur Modulcodierung kompaktes Format:
0x11 = 2 Byte Eingänge
0x22 = 3 Byte Ausgänge
0xB3 = 4 Worte Eingänge und Ausgänge mit Konsistenz über das ganze Modul

4.4.1.2 Spezielles Format

Codierungen für das spezielle Format:

7	6	5	4	3	2	1	0	
		0	0					Header spezielles Format
				0-15				Anzahl der Byte herstellerspezifisch 0 = keine herstellerspezifischen Daten 1-14 = Anzahl der Byte am Schluss
0	0							Leerplatz
0	1							Es folgt ein Längenbyte für Eingaben
1	0							Es folgt ein Längenbyte für Ausgaben
1	1							Es folgt je ein Längenbyte für E und A

Aufbau des Längenbytes: (zuerst Ausgänge dann Eingänge)

© 2009 Max Felser

7	6	5	4	3	2	1	0	
		0-63						Länge der E/A Daten: 00 = 1 Byte / Wort 63 = 64 Byte / Worte
	1							Länge in Worten (zu 16 Bit)
	0							Länge in Byte
1								Konsistenz über das ganze Modul
0								Konsistenz über ein Byte oder Wort

Ein Modul im speziellen Format kann bis zu 64 Byte oder Worte umfassen.

Mit dem speziellen Format ist es möglich, dass der Hersteller weitere Informationen in die Konfiguration ein packt. Diese Werte sind bei DP-V0 frei belegbar. Erst bei den Erweiterungen DP-V1 werden diese Bytes weiter spezifiziert.

Beispiele zur Modulcodierung spezielles Format:
0x00 = leeres Modul
0x03 0x00 0x01 0x02 = keine zyklischen Daten, Byte 0x00,0x01 und 0x02 sind herstellerspezifisch
0x80 0x01 = 2 Byte Ausgabe, keine Eingabe
0x40 0x00 = 1 Byte Eingabe, keine Ausgabe
0xC1 0x43 0x81 0x11 = 4 Worte Ausgänge, 2 Byte Konsistent Eingänge, Wert 0x11 herstellerspezifisch

In der Norm sind die folgenden Werte für Datentypbezeichnungen reserviert. Datentypen werden als herstellerspezifische Byte codiert:

7	6	5	4	3	2	1	0	EN 50170-2 & DP-V1	IEC 61158-6
							1 (0x01)	Boolean	Boolean
							2 (0x02)	Integer8	Integer8
							3 (0x03)	Integer16	Integer16
							4 (0x04)	Integer32	Integer32
							5 (0x05)	Unsigned8	Unsigned8
							6 (0x06)	Unsigned16	Unsigned16
							7 (0x07)	Unsigned32	Unsigned32
							8 (0x08)	Floating Point	Floating Point
							9 (0x09)	Visible String	Visible String
							10 (0x0A)	Octet String	Octet String
							11 (0x0B)	Date	-
							12 (0x0C)	Time of Day	Time of Day
							13 (0x0D)	Time Difference	-
							14 (0x0E)	Time of Day	-
							15 (0x0F)	Time Difference	-
							16-31	Reserviert	
							50 (0x32)	-	Date
							52 (0x34)		Time of Day
							53 (0x35)		Time Difference
							54 (0x36)		Time Difference
							57 (0x37)		Network Time
							58 (0x38)		Network Time Difference
							andere	Reserviert	
							128 – 255 (0x80 – 0xFF)	Reserviert für Profile	

In verschiedenen Profilen sind weitere Werte festgelegt worden.

© 2009 Max Felser

Tabelle der Festlegungen im Profil PA V3.0:

7	6	5	4	3	2	1	0	
							129 (0x81)	FB AI
							130 (0x82)	FB AO
							131 (0x83)	FB DI
							132 (0x84)	FB DO
							133 (0x85)	FB TOTALIZER
							134 (0x86)	FB PID

Bei diesem Profil wird zwingend ein zweites Byte vorgeschrieben, das wie folgt codiert wird:

2. Byte	7	6	5	4	3	2	1	0	
	1								Fest für Alle
FB AI		-	-	-	-	-	-	x	OUT
FB AO								x	READBACK
							x		SP
						x			RCAS_IN
					x				RCAS_OUT
				x					CHECK_BACK
			x						POS_D
FB DI		-	-	-	-	-	-	x	OUT_D
FB DO								x	READBACK_D
							x		SP_D
						x			RCAS_IN_D
					x				RCAS_OUT_D
				x					RCAS_BACK_D
FB TOTALIZER								x	TOTAL
							x		SET_TOT
						x			MODE_TOT

Festlegungen im Profil PROFIdrive V3.1, je nach Funktionsblock werden zusätzliche Bytes vorgeschrieben.

7	6	5	4	3	2	1	0	PROFIdrive 3.1:	2. Byte	3. Byte
							249 (0xF9)	DXB	DXB Länge 1 = 1 Wort 2 = 2 Worte	
							253 (0xFD)	Standard Telegramm	Nummer High Byte	Nummer Low Byte
							254 (0xFE)	Achsen Seperator	-	-

Zusätzlich sind die Definitionen des DP/PA Link von Siemens aufgeführt:

7	6	5	4	3	2	1	0	DP/PA Link:
							252 (0xFC)	Start komplexer Slave
							253 (0xFD)	Ende komplexer Slave
							254 (0xFE)	PA Adresse nicht belegt

In der GSD Datei wird mit dem Schlüsselwort
DPV1_Data_Types = 1
angegeben, ob der Slave diese erweiterten Datentypen unterstützt.

4.4.2 Module in der GSD

In einer GSD-Datei werden DP-Slave mit fester und modularer Konfiguration unterschieden.

DP-Slave mit fester Konfiguration

Ein DP-Slave mit einer festen Konfiguration wird in der GSD den Eintrag

Modular_Station = 0

aufweisen und anschliessend einen oder mehrere Einträge für Module in der Art

Module = "module 1" 0x3F ; 16 inputs and 16 outputs
EndModule

Alle aufgeführten Module sind fest im Gerät eingebaut und der Anwender kann die Anzahl und Reihenfolge in einer festen Konfiguration nicht verändern.

DP-Slave mit modularer Konfiguration

In einer modularen Konfiguration wird die maximale Anzahl der Module vorgegeben. Weiter werden die maximale Anzahl der Daten festgelegt.

Modular_Station = 1 ; modulare Station
Max_Module = 4 ; es können max. 4 Module definiert werden
Max_Input_Len = 100 ; Höchstlänge der Eingänge
Max_Output_Len = 100 ; Höchstlänge der Ausgänge
Max_Data_Len = 200 ; Höchstlänge der Ein- und Ausgänge

Die aufgeführten Module sind eine Auswahl und der Anwender kann hier eine bestimmte Auswahl treffen. Dabei darf die Anzahl der Module und auch die Anzahl der Aus- und Eingangsdaten des DP-Slaves nicht überschritten werden.

Module = "Leerslot" 0x00
EndModule

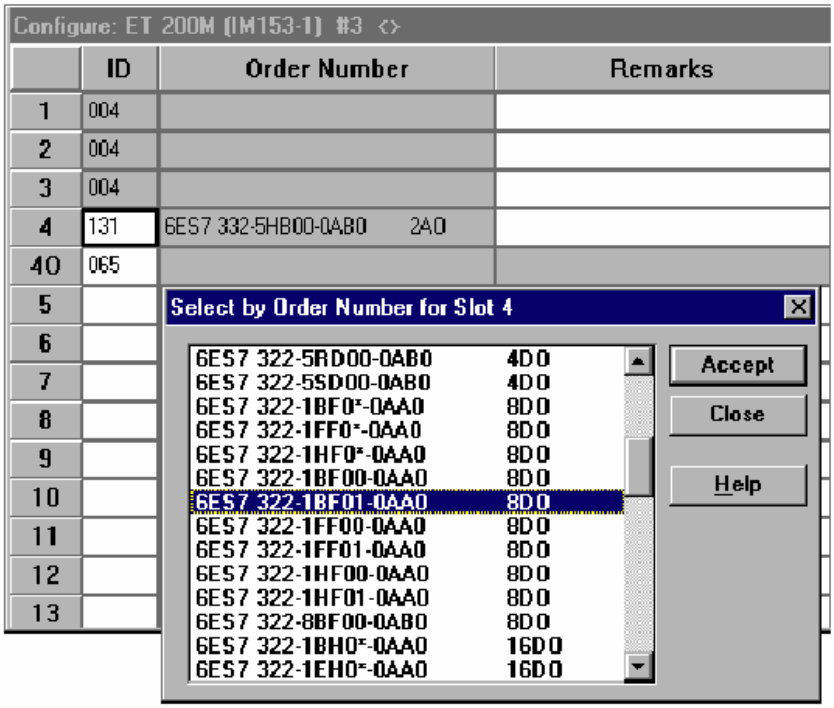
Module="2 Bytes Output" 0x21
EndModule

Module="2 Bytes Input" 0x11
EndModule

Module="6ES7 322-1BF01-0AA0 8DO" 0x83,0x00,0x00,0x2F,0xC8
EndModule

Dieses letzte Modul kann in einem Konfigurationswerkzeug dann so aussehen:

© 2009 Max Felser



4.4.3 Telegramme auf dem Bus

Es sind zwei Telegramme für die Konfiguration definiert:

Get_Configuration: Der DP-Master kann die aktuelle gültige Konfiguration aus dem DP-Slave auslesen.

Chk_Configuration: Der DP-Master sendet die aktuelle gültige Konfiguration an den DP-Slave zur Bestätigung.

4.4.3.1 Konfiguration auslesen

Zum auslesen der Konfiguration des DP-Slave von einem DP-Master wird ein leeres SRD Telegramm vom SAP 62 an den SAP 59 gesendet. Der passive DP-Slave antwortet mit den Konfigurationsinformationen:

Addr	Msg type	Req/Res	SAPS	Datalen	Data
1->22	**Get Configuration**	Req	62 -> **59**		
1<-22	**Get Configuration**	Res	62 <- **59**	2	11 21

Wenn unterschiedliche Konfigurationen möglich sind, gibt der Slave eine gültge Version an, d.h. er muss die beim Lesen angegebene Konfiguration bei einer Initialisierung akzeptieren!

4.4.3.2 Konfiguration bestätigen

Der DP-Master bestätigt dem DP-Slave in einem Check-Configuartion Telegramm seine Konfiguration. Er sendet dazu ein SRD Dienst an den SAP 62. Der Slave antwortet mit einer Kurzquittung (ein Zeichen).

Addr	Msg type	Req/Res	SAPS	Datalen	Data
1->22	**Chk Configuration**	Req	62-> **62**	2	11 21
1<-22	Ack	Res			

Nach der Kontrolle der Konfiguration wechselt der DP-Slave vom Zustand "Wait Configuration" (WCFG) in

den Zustand "Data Exchange" (DEXCHG).

Mit einer Kurzquittung akzeptiert der Slave dieses Telegramm. Wenn die Konfiguration in diesem Telegram nicht mit der Konfiguration im DP-Slave übereinstimmt, d.h. nicht Kompatibel ist, wird trotzdem eine positive Kurzquittung gesendet. Im nächsten Diagnosetelegramm wird aber ein Konfigurationsfehler Cfg_Fault signalisiert. Eine Ausnahme ist möglich, wenn das Check_Cfg_Mode Bit im Set_Parameter Telegramm gesetzt wurde.

4.5 Diagnose

Im PROFIBUS-DP werden umfangreiche Diagnosemöglichkeiten unterstützt. Die aktuelle Diagnose kann von einem DP-Master jederzeit beim DP-Slave abgefragt werden. Diagnosetelegramme können neben der Standarddiagnose weitere gerätespezifische Diagnose in der GSD beschreiben.

Der DP-Slave kann jederzeit im Datentelegramm melden, dass eine aktuelle Diagnose ansteht. Dazu markiert er sein Datentelegramm im zyklischen Datenaustausch als hohe Priorität.

4.5.1 Diagnoseabfrage

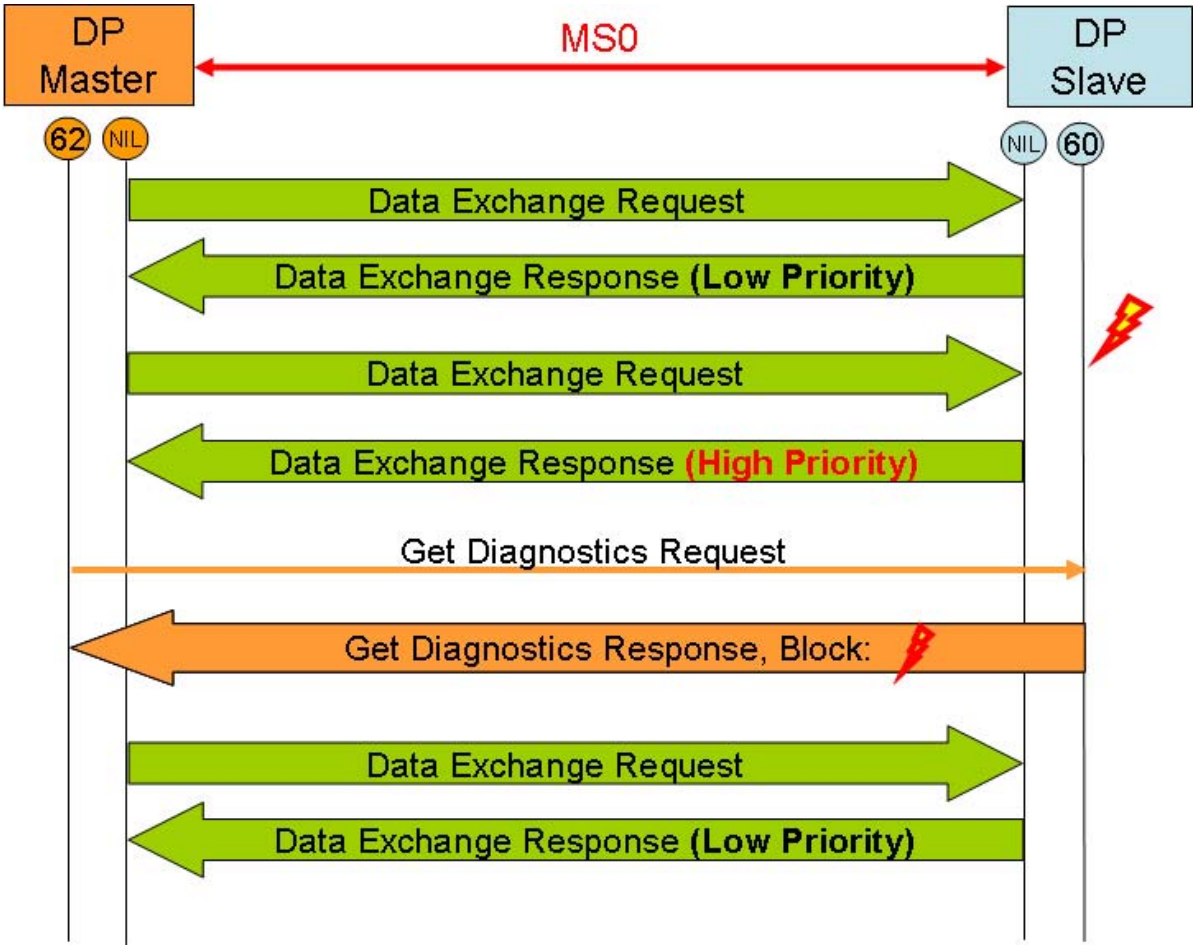
Wenn eine Steuerung den Zustand eines DP-Slave wissen will, sendet sie ein leeres SRD Telegramm, diesmal an den SAP 60. Der Slave antwortet mit den Diagnoseinformationen:

Addr	Msg type	Req/Res	SAPS	Datalen	Data
1->22	**Slave Diagnosis**	Req	62 -> **60**		
1<-22	**Slave Diagnosis**	Res	62 <- **60**	6	00 04 00 00 00 85

Die Diagnose besteht aus 6 Diagnosebyte und optional aus weiteren Diagnoseblöcken.

Die Diagnose wird angefordert am Anfang und am Ende einer Initialisierungssequenz oder wenn der DP-Slave durch Antworten mit hoher Priorität eine Diagnoseabfrage anfordert:

© 2009 Max Felser



Im normalen zyklischen Datenaustausch antwortet der DP-Slave immer mit einem Datentelegramm mit tiefer Priorität (Low Priority). Wenn ein Ereignis eine Diagnoseabfrage erfordert, antwortet der DP-Slave beim nächsten Zyklus mit hoher Priorität. Der DP-Master frägt die Diagnose ab und fährt mit dem zyklischen Datenaustausch fort.

4.5.2 Codierung der Diagnose

Das Diagnosetelegramm ist in mehrere Teile aufgeteilt. Die ersten 6 Bytes und deren Bedeutung ist fest in der Norm vorgegeben. Nach den obligatorischen 6 Byte folgen optional ein oder mehrere Diagnose-Blöcke. Diese Diagnoseblöcke können unterschiedliche Formate aufweisen.

Diagnose: Telegramm mit min. 6 und max. 244 Bytes DU

Status1	Status2	Status3	Adr	Ident H	Ident L	Block1	Block2

Die ersten 6 Byte der Diagnose werden nach folgendem Schlüssel decodiert:
X = Wert 1 aktiviert, Wert 0 desaktiviert
M = Slave sendet 0, Master ergänzt wenn nötig

© 2009 Max Felser

Byte 1: Status 1

7	6	5	4	3	2	1	0		
							M	Station_Non_Existent	Station existiert nicht
						X		Station_Not_ready	Slave ist nicht für den Datenaustausch bereit
					X			Cfg_Fault	Fehler im Konfigurationstelegramm
				X				Ext_Diag	Im Telegramm folgt eine erweiterte Diagnose
			X					Not_Supported	Angeforderte Funktion wird vom Slave nicht unterstützt
		M						Invalid_Slave_Response	Ungültige Antwort vom Slave
	X							Prm_Fault	Fehler im Parametertelegramm
M								Master_lock	Slave ist von einem anderen Master gelockt

Station_Non_Existent: Dieses Bit wird von einem Slave immer auf Null gesetzt.
Hier merkt sich ein Master, dass dieser Slave keine Antwort gibt.

Station_Not_ready: Dieses Bit wird vom DP-Slave gesetzt, wenn der DP-Slave noch nicht für den Datenaustausch bereit ist.

Cfg_Fault: Dieses Bit wird vom DP-Slave gesetzt, sobald die vom Master zuletzt erhaltenen Konfigurationsdaten mit denen, die der DP-Slave ermittelt hat, nicht übereinstimmen.

Ext_Diag: Dieses Bit zeigt an, dass in dem slavespezifischen Diagnosebereich ein Diagnoseeintrag vorliegt.

Not_Supported: Dieses Bit wird von einem Slave gesetzt, sobald eine Funktion angefordert wird, die von diesem Slave nicht unterstützt wird

Invalid_Slave-Response: Dieses Bit wird von einem Slave immer auf Null gesetzt.
Hier merkt sich ein Master, dass ein Slave ungültige Antworten gibt.

Prm_Fault: Dieses Bit wird vom DP-Slave gesetzt, falls das letzte Parametertelegramm fehlerhaft war.

Master_lock: Dieses Bit wird von einem Slave immer auf Null gesetzt.
Hier merkt sich ein Master, dass dieser Slave von einem anderen Master schon gelockt wurde.

Byte 2: Status 2

7	6	5	4	3	2	1	0		
							X	Prm_Req	Slave muss neu parametriert werden
						X		Stat_Diag	Statische Diagnose
					1				Fest auf 1
				X				WD_On	Watchdog on
			X					Freeze_Mode	Freeze Kommando erhalten
		X						Sync_Mode	Sync Kommando erhalten
	0								Reserviert
M								Deactivated	Slave ist deaktiviert

Prm_req: Setzt der DP-Slave dieses Bit, so muss er neu parametriert und konfiguriert werden. Das Bit bleibt so lange gesetzt, bis eine Parametrierung erfolgt ist.

Stat_Diag (Statische Diagnose): Setzt der DP-Slave dieses Bit, so muss der DP-Master solange Diagnosedaten abholen, bis dieses Bit wieder gelöscht wird. Der DP-Slave setzt zum Beispiel dieses Bit, wenn er keine gültigen Nutzdaten zur Verfügung stellen kann.

WD_On (Watchdog on): Ist dieses Bit auf 1 gesetzt, so ist die Ansprechüberwachung aktiviert.

Freeze_Mode: Dieses Bit wird vom DP-Slave gesetzt, sobald dieser DP-Slave das Freeze Kommando erhalten hat

Sync_Mode: Dieses Bit wird vom DP-Slave gesetzt, sobald dieser DP-Slave das Sync Kommando erhalten

© 2009 Max Felser

hat.

Deactivated: Dieses Bit wird von einem Slave immer auf Null gesetzt.
Hier merkt sich ein Master, dass dieser Slave deaktiviert ist und somit nicht mehr zyklische kontrolliert werden soll.

Byte 3: Status 3

7	6	5	4	3	2	1	0	
	0	0	0	0	0	0	0	Reserviert
X								Slave hat mehr Diagnose als im Telegramm Platz hat

Ext_Diag_Overflow: Ist dieses Bit gesetzt, so liegen mehr Diagnoseinformationen vor, als in einem Telegramm übertragen werden können.

Byte 4: Adresse des Masters

7	6	5	4	3	2	1	0	
0-125 (0x00-0x7E)								Adresse des Masters nach Parametrierung Default ist 255 (0xFF)

Wenn der Slave keine gültigen Parameter hat, setzt er diesen Wert auf 255. Sobald gültige Parameter von einem Master der Klasse 1 mit einem Lock eingetroffen sind, wird die Adresse von diesem Master eingetragen. Somit kann man hier erkennen, welcher Master die zyklische Kontrolle über einen Slave ausübt.

Byte 5 und 6: Ident Nummer

7	6	5	4	3	2	1	0	
0-255 (0x00-0xFF)								Ident Nummer high Byte
0-255 (0x00-0xFF)								Ident Nummer low Byte

In diesen beiden Bytes gibt der Slave seine eigene Ident_Number bekannt.

4.5.3 Diagnoseblöcke

Wenn das Bit Ext_Diag gesetzt ist, folgen ab dem Byte 7 weitere Diagnoseblöcke. Jeder Block beginnt mit einem Headerbyte. Dieses Headerbyte bestimmt den Typ und Länge des Diagnoseblockes.

Es sind drei Formate definiert:
a) Gerätebezogene Diagnose
b) Kennungsbezogene Diagnose
c) Kanalbezogene Diagnose

Kennungsbezogene Diagnose:

7	6	5	4	3	2	1	0	
0	1							Header Kennungsbezogene Diagnose
		0 – 63						Anzahl der Bytes in der Kennungsbezogenen Diagnose (inkl. dieses Byte)

Erstes Byte der kennungsbezogenen Diagnose:

7	6	5	4	3	2	1	0	
							X	Modul Nr. 1 hat eine Diagnose
						X		Modul Nr. 2 hat eine Diagnose
								....
X								Modul Nr. 8 hat eine Diagnose

Zweites Byte der kennungsbezogenen Diagnose:

© 2009 Max Felser

7	6	5	4	3	2	1	0	
							X	Modul Nr. 9 hat eine Diagnose
						X		Modul Nr. 10 hat eine Diagnose
								....
X								Modul Nr. 16 hat eine Diagnose

Die Kennungsbezogene Diagnose bezieht sich auf die Position des Moduls im Konfigurationstelegramm. Ereignisse auf dem entsprechenden Modul werden durch gesetzte Bits signalisiert.

Beispiel für Kennungsbezogene Diagnose

Addr	Msg type	Req/Res	SAPS	Datalen	Data
1->14	**Slave Diagnosis**	Req	62 -> **60**		
1<-14	**Slave Diagnosis**	Res	62 <- **60**	10	08 04 00 00 00 85 44 00 01 00

In diesem Beispiel hat das Modul mit der 9. Kennung ein Problem signalisiert.

Kanalbezogene Diagnose:
Die Kanalbezogene Diagnose gibt Auskunft über Kanalfehler von Modulen und stellt eine Detaillierung der kennungsbezogenen Diagnose dar. Die Kanalbezogene Diagnose hat immer eine feste Länge von 3 Byte

Kanalbezogene Diagnose Header (1. Byte):

7	6	5	4	3	2	1	0	
1	0							Header Kanalbezogene Diagnose
		0 – 63						Betroffenes Modul Nr. 1 - 64

Kanalbezogene Diagnose 2. Byte:

7	6	5	4	3	2	1	0	
		0 – 63						Nummer des betroffenen Kanals im Modul
0	1							Eingang (Input)
1	0							Ausgang (Output)
1	1							Ein- und Ausgang (Input& Output)

Kanalbezogene Diagnose 3. Byte:

7	6	5	4	3	2	1	0	
0	0	1						Bit
0	1	0						2 Bit
0	1	1						4 Bit
1	0	0						Byte
1	0	1						Wort
1	1	0						2 Worte
			1					Kurzschluss
			2					Unterspannung
			3					Überspannung
			4					Überlast
			5					Übertemperatur
			6					Leitungsbruch
			7					Obere Grenze überschritten
			8					Untere Grenze unterschritten
			9					Fehler
			10-15					Reserviert
			16-31					Herstellerspezifisch

Beispiel für Kanalbezogene Diagnose

© 2009 Max Felser

Addr	Msg type	Req/Res	SAPS	Datalen	Data
1->14	**Slave Diagnosis**	Req	62 -> **60**		
1<-14	**Slave Diagnosis**	Res	62 <- **60**	9	08 04 00 00 00 85 88 41 21

In diesem Beispiel hat das Modul mit der 9. Kennung einen Kurzschluss auf dem 2. binären Eingang.

Selbstverständlich können auch mehrere Diagnoseblöcke in einem Telegramm auftreten:

Addr	Msg type	Req/Res	SAPS	Datalen	Data
1->14	**Slave Diagnosis**	Req	62 -> **60**		
1<-14	**Slave Diagnosis**	Res	62 <- **60**	10	08 04 00 00 00 85 44 00 01 00 88 41 21

Gerätebezogene Diagnose:
In DP-V0 ist die Gerätebezogene Diagnose nicht weiter spezifiziert. Die Bedeutung der einzelnen Bits muss vom Hersteller in der GSD Datei festgelegt werden.

Header für Gerätebezogene Diagnose:

7	6	5	4	3	2	1	0	
0	0							Header Gerätebezogene Diagnose
		0 - 63						Anzahl der Bytes in der Gerätebezogenen Diagnose (inkl. Dieses Byte)

Im DP-V1 werden die Gerätebezogenen Diagnosen zu Alarmblöcken und/oder Statusmeldungen aufgebaut. Zur Aktivierung dieser Syntax muss im Parametertelegramm das Bit DPV1_Enable auf 1 gesetzt und der entsprechende Alarm freigegeben sein. Der ganze Block wird in einem festen Format aufgebaut.

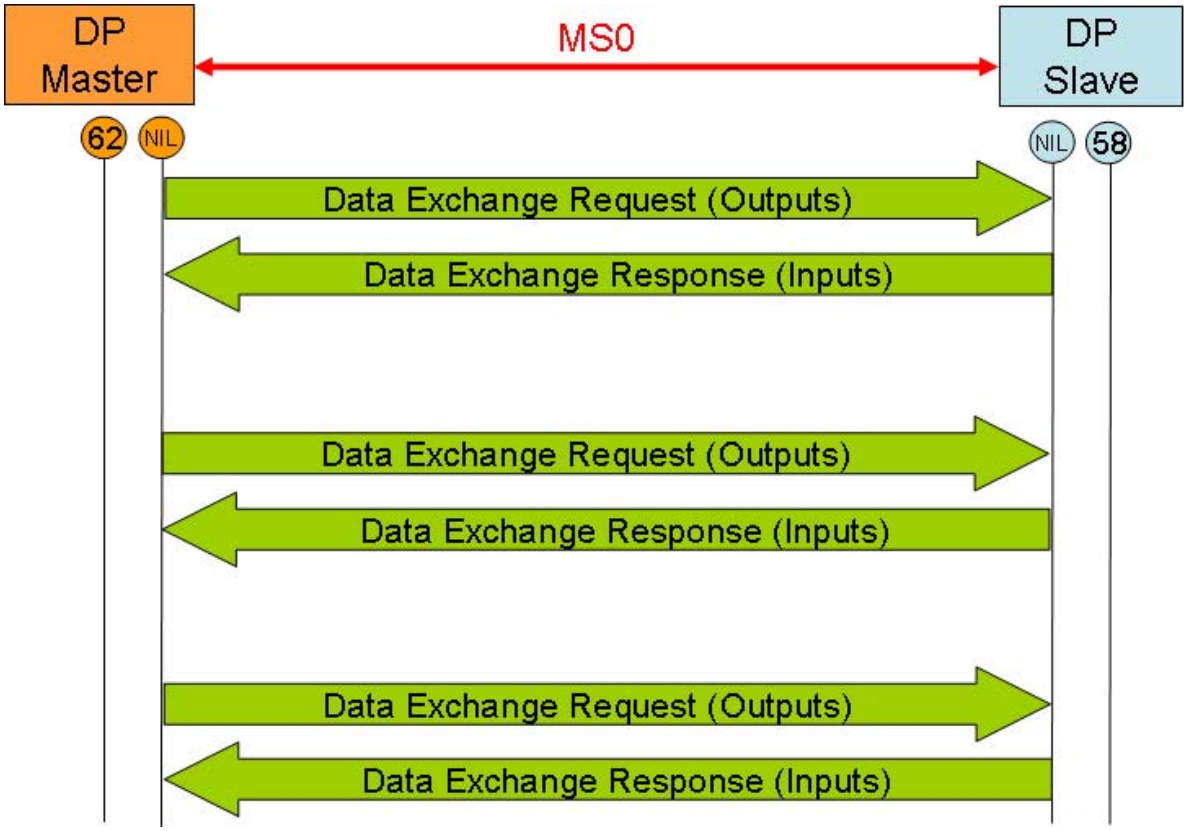
- Alarm-Block
- Status-Block

(Siehe das Kapitel über die MS1 Verbindung)

4.6 Zyklischer Datenaustausch

Sobald der DP-Slave den Zustand DXCH (Data-exchange) erreicht hat, sendet der DP-Master der Klasse 1 - die Steuerung - zyklisch die Ausgangsdaten und erwartet vom DP-Slave als Antwort die Eingangsdaten zurück:

© 2009 Max Felser



Dabei können unterschiedliche Ereignisse auftreten:

- Der DP-Master der hat auch einen Betriebszustand und kann diesen wechseln.
- Mit SYNC und FREEZE Befehlen kann der DP-Master die Verarbeitung der Daten im DP-Slave steuern.
- Der Zyklus der Datenübertragung kann synchronisiert werden.
- Die DP-Slave können Diagnosemeldungen signalisieren.

4.6.1 Zustand des Master Klasse 1

Der DP-Master der Klasse 1 kann in verschiedenen Betriebszuständen sein.

Zustand	Bedeutung
Off-Line	nicht eingeschaltet, keine Buskommunikation
Stop	PROFIBUS läuft, erkennt andere Stationen, DP-Slave werden nicht initialisiert Klasse 2 Kommunikation (MS2) ist möglich
Clear	DP-Slave werden initialisiert und blockiert Eingänge werden gelesen, Ausgänge bleiben leer
Operate	Regelmässige Datenkommunikation mit allen DP-Slave Der Betriebszustand wird signalisiert

Der Zustand **Operate** sollte der normale Zustand sein. In diesem Fall sendet der Master Klasse 1 zyklisch die Ausgangsdaten an die Slave und erwartet die Eingangsdaten. Der Betriebszustand Operate wird mit einem Global_Control Telegramm in einem Zeitabstand von 3 mal dem Watchdog (Ansprechüberwachung) signalisiert. Im Global_Control sind dabei beide Byte auf 0 gesetzt.

Der Zustand **Clear** ist gedacht für den Fall, dass z.B. eine Steuerung gestopped wurde und keine gültigen Ausgangsdaten mehr verfügbar sind. Der Master signalisiert diesen Zustand sofort mit einem Global_Control Telegramm mit dem „Clear“ Bit gesetzt.

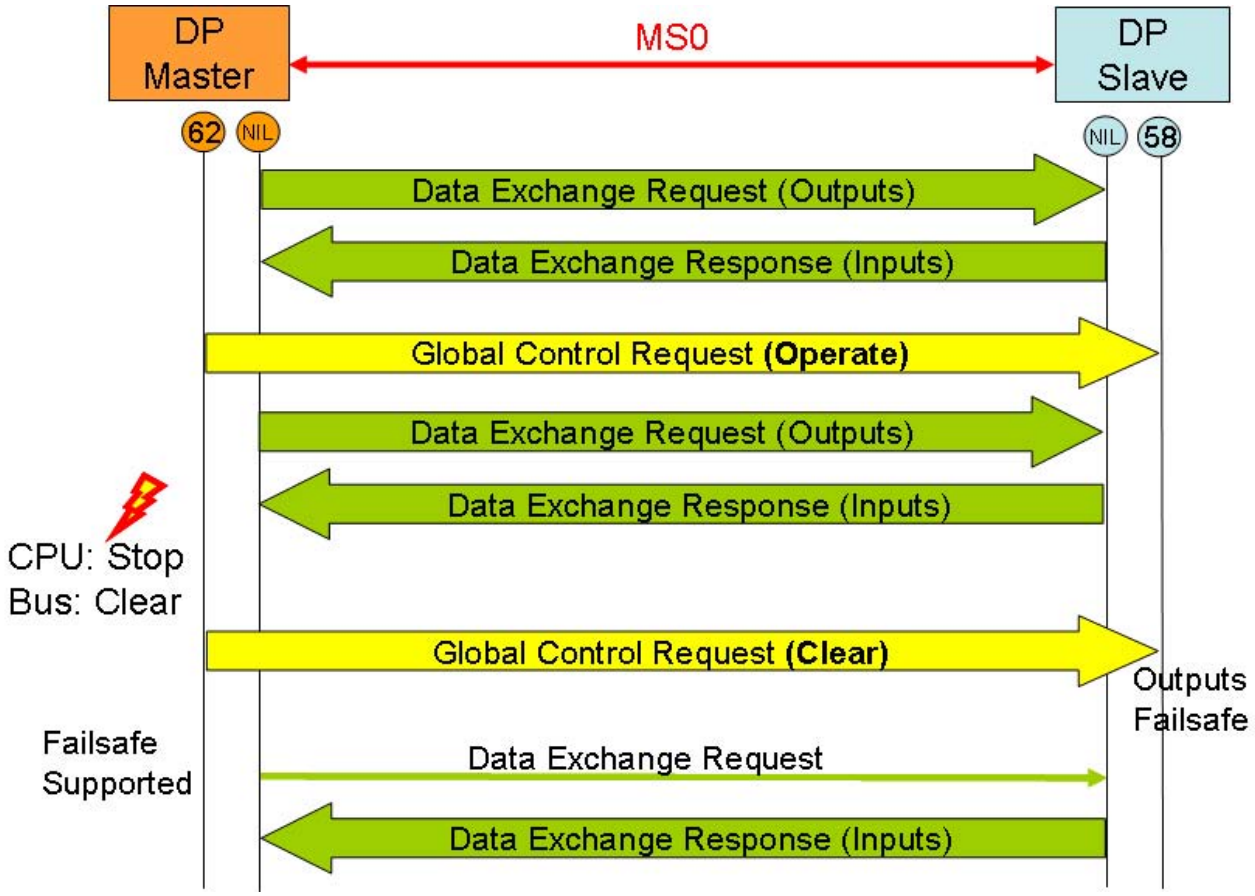
© 2009 Max Felser

Das Verhalten des Master Klasse 1 ist dabei für jeden Slave unterschiedlich. Die Möglichkeiten des DP-Slave werden in der GSD-Datei beschrieben:

Slave unterstützt Failsafe:
Fail_Safe = 1
In diesem Fall sendet der Master in der zyklischen Datenübertragung im Zustand Clear keine Daten mehr an den Slave. Der Slave setzt selbständig Ersatzwerte oder ergreift Massnahmen, je nach den Definitionen in den Parametern.

Slave unterstützt nicht Failsafe:
Fail_Safe = 0
In diesem Fall sendet der Master Klasse 1 im Zustand Clear die notwendigen Anzahl bytes an den Slave, aber mit allen Werten auf 0 gesetzt, unabhängig von der Bedeutung dieser Werte für die Anwendung.

Eine Sequenz mit Telegrammen mit Failsafe kann nun so aussehen:



4.6.2 Global Control Telegrammformate

Das Global_Control Telegramm besteht aus zwei Bytes und wird vom Master der Klasse 1 als Multicast an die Adresse 127 (0x7F) und den SAP = 58 (0x3A) gesendet. Dazu wird der SDN Dienst verwendet.

Global Control:

Control	Gruppenzuteilung

Control

7	6	5	4	3	2	1	0	
0	0						0	Reserviert
						x		Clear Data, Signalisierung des Betriebszustandes des Master Klasse 1
					x			UNFREEZE
				x				FREEZE
			x					UNSYNC
		x						SYNC

Gruppenzuteilung

7	6	5	4	3	2	1	0	
							x	Gruppe 1
						x		Gruppe 2
					x			Gruppe 3
				x				Gruppe 4
			x					Gruppe 5
		x						Gruppe 6
	x							Gruppe 7
x								Gruppe 8 oder Isochroner Takt

Wenn der Master Klasse 1 mit einem Isochronen Zyklus arbeitet, ist die Gruppe 8 fest für das Taktschlägertelegramm reserviert und kann nicht mehr frei eingesetzt werden.

4.6.3 SYNC und FREEZE Befehle

Durch Anwendungsbefehle können zwischen den zyklischen Daten Kontrollbefehle für SYNC und FREEZE gesendet werden.

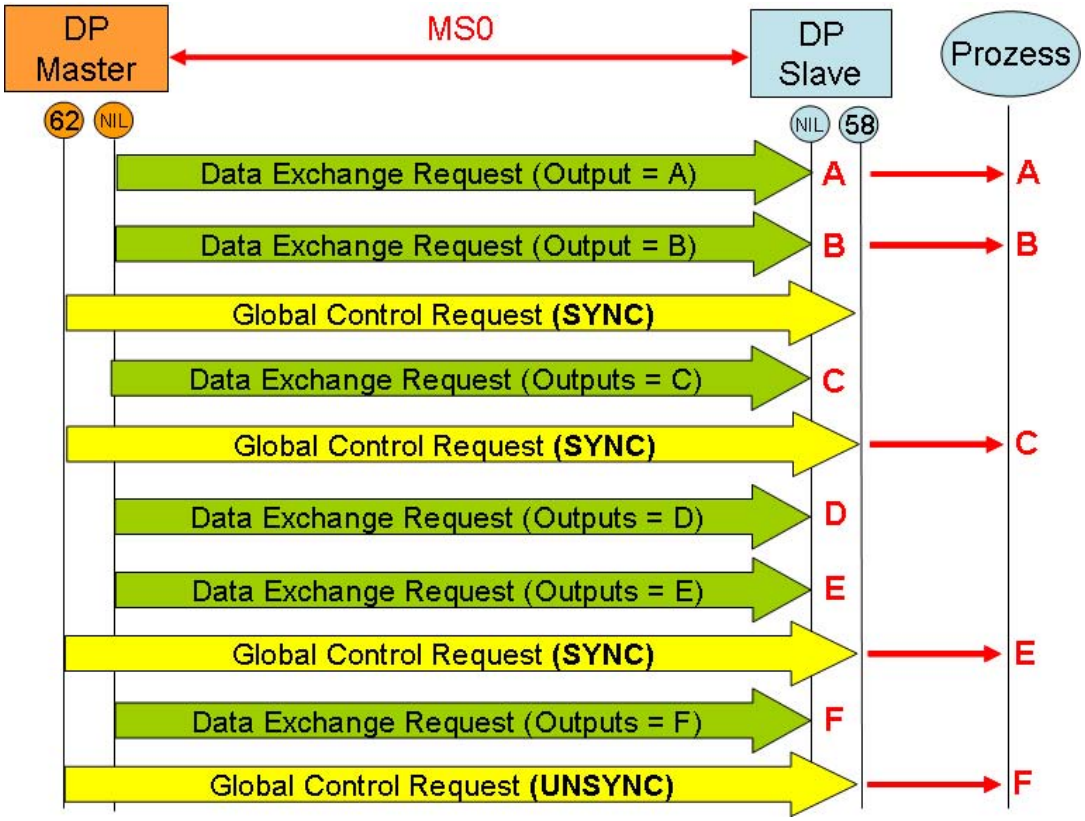
SYNC der Ausgänge
Ein SYNC Befehl führt dazu, dass alle mit der Gruppenadresse angesprochenen Slave die Ausgangsdaten zwischenspeichern, und nur beim Auftreten eines SYNC Befehles an die physikalischen Ausgänge weitergeben. Ein SYNC Befehl kann mit einem UNSYNC Befehl aufgehoben werden.

FREEZE der Eingänge
Ein FREEZE Befehl bewirkt, dass alle mit der Gruppenadresse angesprochenen Slave die physikalischen Eingangswerte zwischenspeichern. Dieser Zwischenspeicher wird nur mit einem weiteren FREEZE Befehl neu geladen. Mit einem UNFREEZE kann diese Betriebsart wieder ausgeschaltet werden.

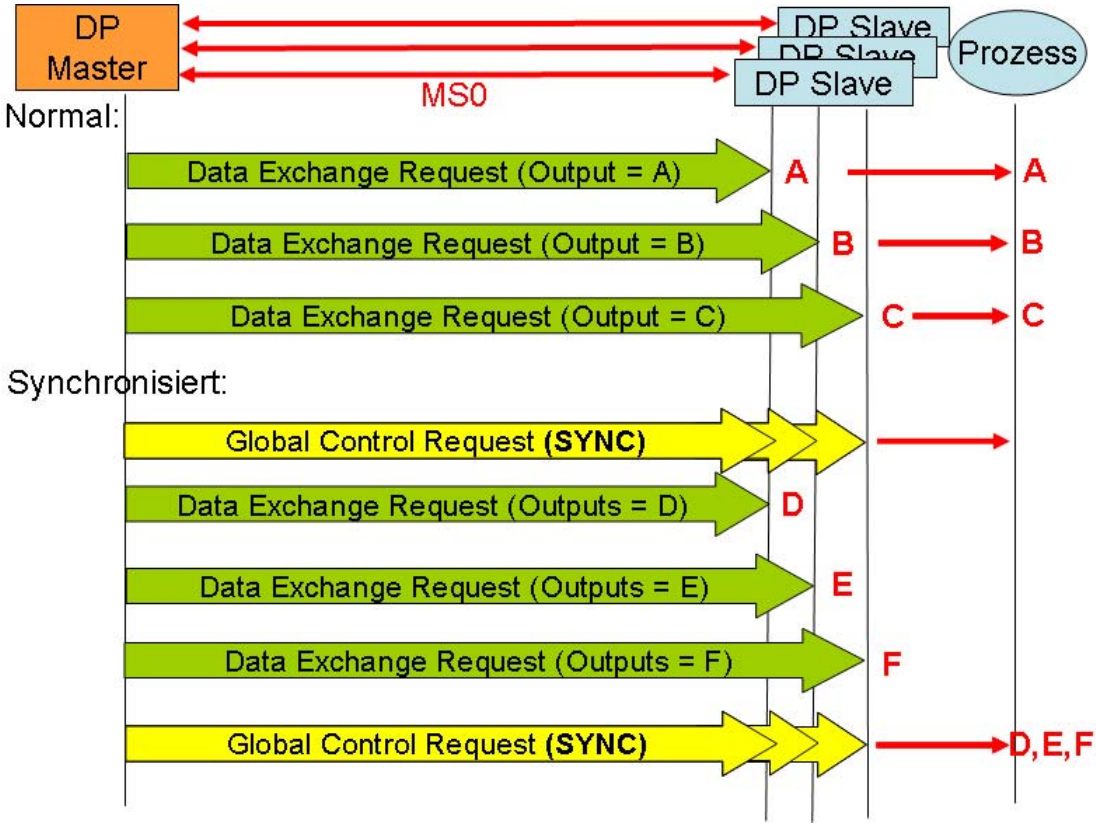
Diese SYNC und FREEZE Befehle werden mit einem Global Control (GC) als SDN Dienst übertragen.

Die nachfolgenden Darstellungen zeigen das Beispiel einer Synchronisation der Ausgänge:

© 2009 Max Felser



Das Ziel dieser Synchronisationsbefehle ist die zeitgleiche Ausgabe von Daten an den Prozess durch unterchiedliche DP-Slave (Feldgeräte). Die Daten werden beim PROFIBUS immer nacheinander vom DP-Master an die DP-Slave übergeben. Im Normalbetrieb hat jeder DP-Slave die Möglichkeit, diese Daten sofort zu verarbeiten. Somit werden diese Ausgangsdaten oder Sollwerte zu unterschiedlichen Zeiten verarbeitet, was zu Inkonsistenzen in einer verteilten Anwendung führen kann. Im synchonisierten Betrieb werden die Daten immer noch nacheinander übertragen aber erst beim SYNC Befehl durch die Anwendung übernommen.



Erst mit dem Einsatz des Isochronen Zyklus wird nicht nur die Datenübernahme, sondern auch der Applikationszyklus im DP-Slave synchronisiert.

Die Funktion des FREEZE Befehls ist Analog wie beim SYNC, nur werden anstelle der Ausgänge sychronisiert die Eingänge mit einem FREEZE Befehl eingefroren und anschliessend abgeholt.

Diese SYNC und FREEZE Befehle sind optional. In der GSD Datei wir darum festgehalten, ob diese Funktionen von diesem DP-Slave auch unterstützt werden:

Freeze_Mode_supp = 1
Sync_Mode_supp = 1

Die heute auf dem Markt verfügbaren PROFIBUS Bausteine (ASICs) unterstützen diese FREEZE und SYNC Befehle mit der Hardware. Diese Funktionen sind somit bei den meisten DP-Slave verfügbar.

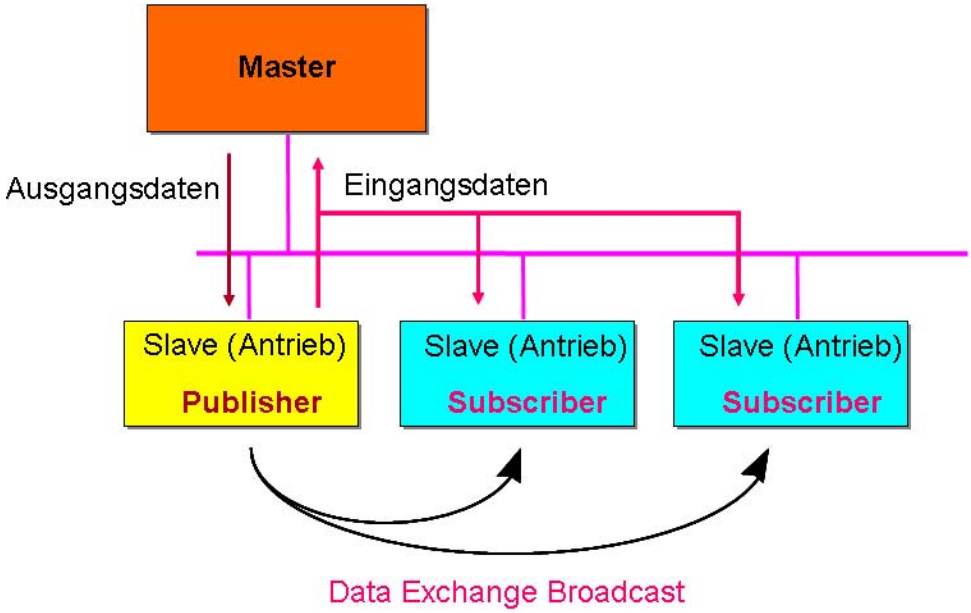
Der DP-Master muss im Set Parameter Telegramm die geplante Verwendung von FREEZE und SYNC beim DP-Slave parametrieren.

4.7 Direkter Datenaustausch

Bei Bedarf kann ein DP-Slave auch direkt mit einem anderen DP-Slave Daten austauschen. Diese Funktion wird auch als "**Querverkehr**" bezeichnet.

Dieser direkte Datenaustausch gehört zu den DP-V2 Protokollerweiterungen und sind optional. Sie werden mit dem MSRD Dienst realisiert.

Beim direkten Datenaustausch sendet der DP-Master der Klasse 1 (MC1) die Ausgangsdaten an einen DP-Slave. Dieser antwortet mit seinen Eingangsdaten und sendet diese an Alle (Broadcast). Dieser DP-Slave wird somit als Publisher (Veröffentlicher) bezeichnet. Weitere DP-Slave können nun als Subscriber (Abonnenten) arbeiten, und diese veröffentlichten Daten abonnieren.



Diese Funktion des direkten Datenaustausches wird in den Normen als **Data Exchange Broadcast** bezeichnet.

In den nächsten Abschnitten sollen nun die Bedingungen und Funktionen des Publishers und des Subscribers näher erläutert werden.

4.7.1 Publisher

Der Publisher veröffentlicht die zyklischen Daten für alle anderen Teilnehmer. Es müssen dabei die folgenden Bedingungen erfüllt werden:

© 2009 Max Felser

Der DP-Master der Klasse 1 - die Steuerung - markiert im Set_Parameter Telegramm bei der Initialisierung des zyklischen Datenaustausches im Byte 8 das Bit "der Slave soll als Publisher arbeiten".

Gleichzeitig wird die minTSRD auf 37 T_{Bit} gesetzt. Damit wird sichergestellt, dass die Antwort des Publishers mindestens die 33 Bitzeiten für ein SYN verzögert wird und somit von allen Teilnehmern als Beginn einer neuen Telegrammsequenz erkannt wird.

Bei den zyklischen Daten ersetzt der Master den SRD Dienst durch den MSRD Dienst mit dem Funktionscode 7. Der Slave anwortet mit dem Funktionscode 8 oder 10 und adressiert die Antwort an die broadcast Adresse 127.

Ein DP-Slave der als Publisher arbeiten kann, zeigt dies in der GSD-Datei mit dem Schlüsselwort

Publisher_supp = 1

Dazu ist mindestens die Revision 3 der GSD Syntax erforderlich.

Hinweis:
Diese publisher Funktionen sind sehr einfach zu realisieren. Die meisten ASICs von Siemens enthalten die publisher Funktionen, auch wenn der Hersteller dies nicht freigeschaltet hat. Es ist darum möglich bei einfachen Feldgeräten ohne Prozessor die z.B. mit einem LSPM2 realisiert wurden, die GSD mit dem Schlüsselwort Publisher_Supported zu ergänzen und die publisher Funktion kann von einem entsprechenden Master eingeschaltet werden!

4.7.2 Subscriber

Der Subscriber abonniert die Daten von einem oder mehreren Publishern.

Der Master sendet in seinem Set_Parameter Telegramm eine entsprechende Subscriber Tabelle und zeigt damit auf, auf welche Publisher der Subscriber sich abonnieren soll.

Diese Funktion ist etwas umfangreich zu implementieren und wird vor allem bei Intelligenten Slave (z.B. Steuerungen oder Antrieben) eingesetzt.

Ein DP-Slave der als Subscriber arbeiten kann, zeigt dies in der GSD-Datei mit dem Schlüsselwort

Subscriber_supp = 1

Dazu ist mindestens die Revision 4 der GSD Syntax erforderlich und dass auch die DP-V1 Parameter unterstützt werden.

4.8 Zykluszeiten

Die Zykluszeit des PROFIBUS-DP bestimmt die möglichen Reaktionszeiten eines Reaktiven Systemes. In der Praxis kommt diese Zykluszeit zweimal in der Systemreaktionszeit vor und beeinflusst die Systemreaktionszeit um die 2 bis 20% d.h. der Anteil der Buszykluszeit an der gesamten Reaktionszeit des Systems ist in der Regel relativ klein.

In einem PROFIBUS-DP Netzwerk können wir drei verschiedene Zykluszeiten unterscheiden:

1. Der DP-Master der Klasse 1 (Steuerung) arbeitet sein Steuerungsprogramm in einer bestimmten Zykluszeit ab. Vor jedem Zyklus werden die Eingangsdaten gelesen und nach dem Zyklus stehen neue Ausgangsdaten zur Verfügung. Dies wird als Master-Applikationszyklus bezeichnet.
2. Der DP-Slave nimmt die Ausgangsdaten, bearbeitet seine Gerätefunktionen und stellt die Eingangsdaten in einer bestimmten Zykluszeit zur Verfügung. Dies wird als Slave-Applikationszyklus bezeichnet.
3. Der PROFIBUS kopiert zyklisch die Ausgangsdaten vom DP-Master auf den DP-Slave und die Eingangsdaten vom DP-Slave auf den DP-Master. Dies wird hier als Buszyklus bezeichnet.

Beim PROFIBUS DP können nun drei verschiedene Betriebsarten unterschieden werden:

Freilaufender Buszyklus
Die Zyklen des Masters, des PROFIBUS und der DP-Slaves sind nicht miteinander gekoppelt. Damit ein solches System funktionieren kann, sollte die Zykluszeit des DP-Slaves kleiner als die Zykluszeit des

© 2009 Max Felser

PROFIBUS und diese wiederum kürzer als die Zykluszeit der Steuerung sein. Die Zykluszeit des PROFIBUS-DP sollte somit zwischen den beiden anderen Zykluszeiten liegen. Wir geben hier eine einfache Schätzformel für die Buszykluszeit und die Rechnung für ein Einzelmastersystem. Projektierungswerkzeuge rechnen die Zykluszeiten für eine geplante Anlage automatisch aus.

Äquidistanter Buszyklus
Die Dauer des Buszyklus wird fest projektiert und vom DP-Master auf die Mikrosekunde genau eingehalten. Dies ist erst mit einem ASIC ASPC2 ab Version E (ca. 1999) möglich.

Isochroner Zyklus
Zusätzlich zum festen Buszyklus werden auch der Slave-Applikationszyklus und auch - mit Einschränkungen - der Master Applikationszyklus auf den Buszyklus synchronisiert.

4.8.1 Rechnung für Einzelmaster

Für Einzelmastersyteme kann die minimale Buszykluszeit $T_{BZyklus}$ genauer berechnet werden.

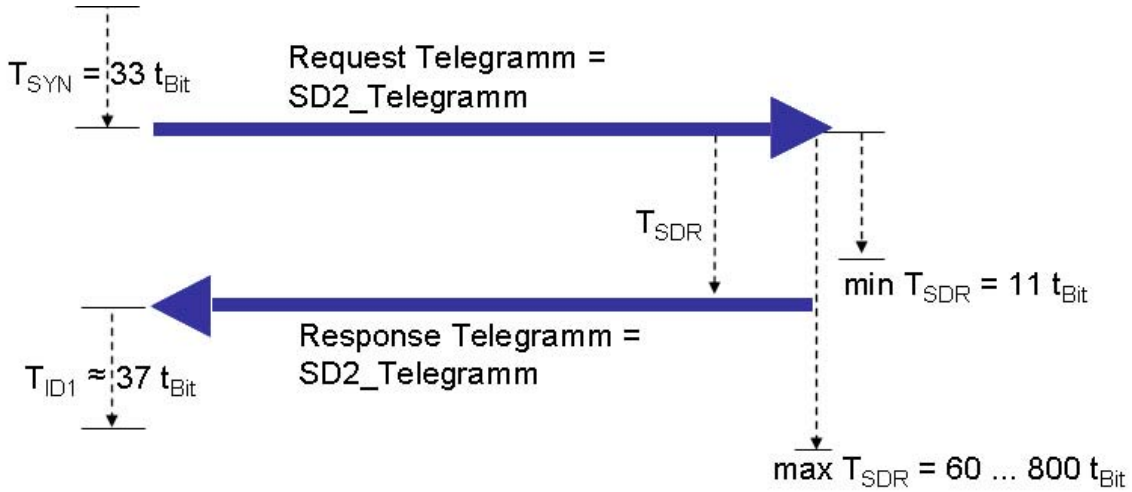
Wir berechnen zuerst die **Dauer eines PROFIBUS Telegramms**:

Jedes Byte in einem Telegramm wird als 11 Bit übertragen (Siehe auch UART Codierung). Zyklische Nutzdaten werden in einem SD2 Telegramm ohne SAPs übertragen. Ein SD2 Telegramm ohne SAPs umfasst 9 Bytes zusätzlich für Struktur, Adressen und Fehlererkennung, d.h. 99 Bits. Statusabfragen sind ein SD1 Telegramm (ohne Daten) mit 6 Byte und somit 66 Bits und ein Token Telegramm mit SD4 umfasst 3 Byte und somit 33 Bits (Siehe auch Telegrammformate).

Somit haben wir die Telegrammlängen:
SD1_Telegramm = 66 Bits
SD2_Telegramm = Bytes x 11 + 99 Bit (ohne SAPs)
SD2_Telegramm = Bytes x 11 + 121 Bit (mit SAPs)
SD4_Telegramm = 33 Bits (Token)

Ein Bit hat je nach Bitrate eine unterschiedliche Dauer: Für 12 MBit/s ist t_{Bit} = 83 ns und bei 1.5 MBit/s wird t_{Bit} = 0,67 µs.

Nun bestimmen wir die Zykluszeit für einen **DP Meldungszyklus**:



wobei
T_{ID1} = "Idle Time" bis der Master für neuen Meldungszyklus bereit ist
T_{ID1} ~ 37 t_{Bit} (für Master basierend auf ASPC2 ASICs)

$T_{Meldungszyklus} = T_{SYN} + 2 \times SD2_Telegramm + typT_{SDR} + T_{ID1}$
$T_{Meldungszyklus} = 33 + 2x(Bytes \times 11 + 99) + 32 + 37$
$\mathbf{T_{Meldungszyklus} \approx 300 + Bytes \times 11\ t_{Bit}}$

Der **Buszyklus** wird somit

$$T_{BZyklus} = (T_{Token} + T_{GAP} + Slave \times T_{Meldungszyklus}) \, t_{Bit}$$

wobei für die einzelnen Werte gilt:

T_{GAP} ist die Zeit um einen GAP-Update durchzuführen. Hier wird der schlechteste Fall angenommen, wenn kein Teilnehmer antwortet und somit die T_{SL} abgewartet werden muss:
$T_{GAP} = T_{SYN} + SD1_Telegramm + T_{SL}$

T_{Token} ist die Zeit um einen Token zu senden:
$T_{Token} = T_{SYN} + SD4_Telegramm + T_{ID2}$

T_{ID2} ist die „Idle Time“ bis der Master bereit ist einen Token zu senden, typisch 150 t_{Bit}

Bytes = Anzahl Input und Output Data Bytes gesammthaft
Slaves = Anzahl der Slaves

Mit T_{SLOT} wird die maximale Wartezeit auf eine Antwort angenähert. Diese Zeit ist anhängig von der Bitrate und wird hier mit einer absoluten Zeit von 75 µs angenähert

Diese Formel berücksichtigt keine Diagnosemeldungen, keine Telegrammwiederholungen, keine zusätzlichen azyklischen Telegramme und auch keine zusätzlichen Master und stellt somit nur ein ideales Einmastersystem dar!

4.8.2 Schätzformel

Damit eine einfache Abschätzung der PROFIBUS-DP Buszykluszeit möglich ist, können die Erkenntnisse aus den vorangehenden Kapiteln auf die folgende Formel reduziert werden:

$$T_{BZyklus} = (380 + Slave \times 300 + Bytes \times 11) \times t_{Bit} + 75\ \mu s$$

oder direkt mit der Bitrate

$$T_{BZyklus} = (380 + Slave \times 300 + Bytes \times 11)/Bitrate + 75\ \mu s$$

wobei
$T_{BZyklus}$ = Schätzung der Buszykluszeit ±10%
Slaves = Anzahl der DP-Slave Stationen im Netzwerk
Bytes = Anzahl der Bytes aller Eingänge und aller Ausgänge zusammengezählt
t_{Bit} = Dauer eines Bits, entspricht dem Kehrwert der Bitrate des PROFIBUS

Diese Schätzformel ergibt eine Grössenordnung ±10% für Biraten > 500 kBit/s und keinen minimal- oder maximal-Wert!

Einfaches Beispiel:

Wir haben einen DP-Master der 640 digitale Ein- und Ausgänge kontrollieren muss. Wir fassen diese digitalen Daten optimal auf 80 Bytes zusammen und verteilen diese auf insgesamt 20 Klemmenblöcke als DP-Slave. Wir wollen eine Bitrate von 1.5 MBit/s einsetzen.

Slave = 20, Bytes = 80, Bitrate = 1500 kBit/s d.h. t_{Bit} = 0,667 µs

Wir erhalten eine geschätzte Buszykluszeit von

$T_{BZyklus}$ = (380 + 20 x 300 + 80 x 11) x 0,667 + 75 = 4917 µs ≈ 5 ms

Umfangreicheres Beispiel:

Wir haben eine SPS als DP-Master die verschiedene Feldgeräte als DP-Slave mit einer Zykluszeit unter einer ms kontrollieren soll. Wie gross muss die Bitrate mindestens sein?

© 2009 Max Felser

Adresse	Anzahl Eingangsbytes	Anzahl Ausgangsbytes
2	3	3
3	5	0
4	10	20
5	0	5
Summe	***18***	***28***

Die minimale Bitrate lässt sich bestimmen mit

Bitrate > (380 +Slaves x 300 + Bytes x 11) / ($T_{BZyklus}$ - 75 µs)

Mit Slave = 4, Bytes = 46 und einer Buszykluszeit von 1 ms erhalten wir eine minimale Birate von 2.2 MBit/s. Wir wählen darum die nächst höhere einstellbare Bitrate von **3 MBit/s.** Die Nachrechnung mit der Schätzformel ergibt eine Buszykluszeit von **0,77 ms**, was unsere Spezifikation erfüllt.

4.8.3 Schätzformel PA

Für PROFIBUS PA kann die Schätzformel weiter vereinfacht werden. Die Daten werden mit der festen Bitrate 31,25 kBit/s übertragen und wir treffen die Annahme, dass für jeden Prozesswert (PV) 5 Byte übertragen werden. Die Dauer für die Übertragung eines solchen Prozesswertes liegt somit ungefähr bei 1,1 ms (= 5x8 Bit).

Je nach eingesetztem Koppler müssen andere Busparameter eingestellt werden, was die Berechnung etwas verändert.

für Bitrate = 45,45 kBit/s gilt $T_{BZyklus} \approx$ **21,3 + (14,5 * Slaves) + (1,1 * PV) ms**
für Bitrate = 93,75 kBit/s gilt $T_{BZyklus} \approx$ **29,5 + (11,5 * Slaves) + (1,1 * PV) ms**

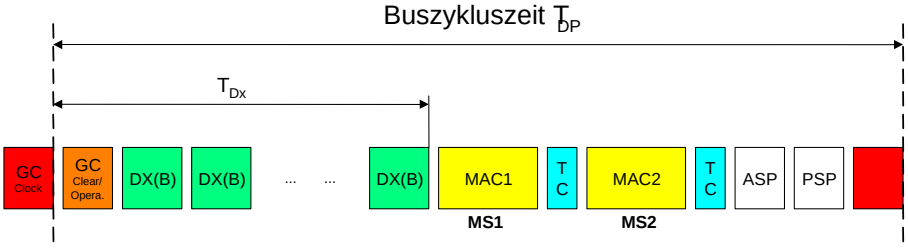
Diese Schätzformeln stimmen in praktischen Messungen relativ gut, solange kein weiterer Master eingefügt und keine azyklischen Daten übertragen werden. Ein azyklischer Dienst benötigt in der Regel zwischen 40 und 60 ms.

Beim Einsatz eines transparenten Kopplers oder eines DP/PA Link müssen die aufgeführten PA Buszykluszeiten und die DP Buszykluszeit zusammengezählt werden, um die Gesamtzykluszeit zu bestimmen. Oftmals ist dabei die DP Buszykluszeit vernachlässigbar klein im Verhältnis zur PA Buszykluszeit.

4.8.4 Äquidistanter Zyklus

Die Buszykluszeit T_{DP} in einem multimaster System hängt von verschiedenen Faktoren ab:
- wie viele Master der Klasse 2 sind neben dem Master der Klasse 1 im System aktiv?
- wie viele azyklische Daten werden vom Master der Klasse 1 oder von den Master der Klasse 2 übertragen?

Um die Buszykluszeit konstant zu halten - äquidistant - wird das folgende Verfahren angewendet:



Der DP-Master der Klasse 1 beginnt mit dem zyklischen Datenaustausch. Er kann dies mit dem Senden eines Global Control (GC) Telegramms signalisieren. Anschliessend sendet er als erstes - sofern notwendig - ein GC für die Signalisierung seines Betriebszustandes. Nun folgen die zyklischen Daten für alle DP-Slave. Der Zeitbedarf der zyklischen Daten kann wie für einen Einzelmaster berechnet werden. Anschliessend arbeitet der Master der Klasse 1 einen azyklischen Dienst ab (MS1) und gibt den Token (TC) weiter an

© 2009 Max Felser

einen allfälligen Master der Klasse 2. Dieser Master arbeitet seinerseits einen azyklischen Dienst (MS2) ab und gibt den Token wieder an den Master der Klasse 1 zurück.

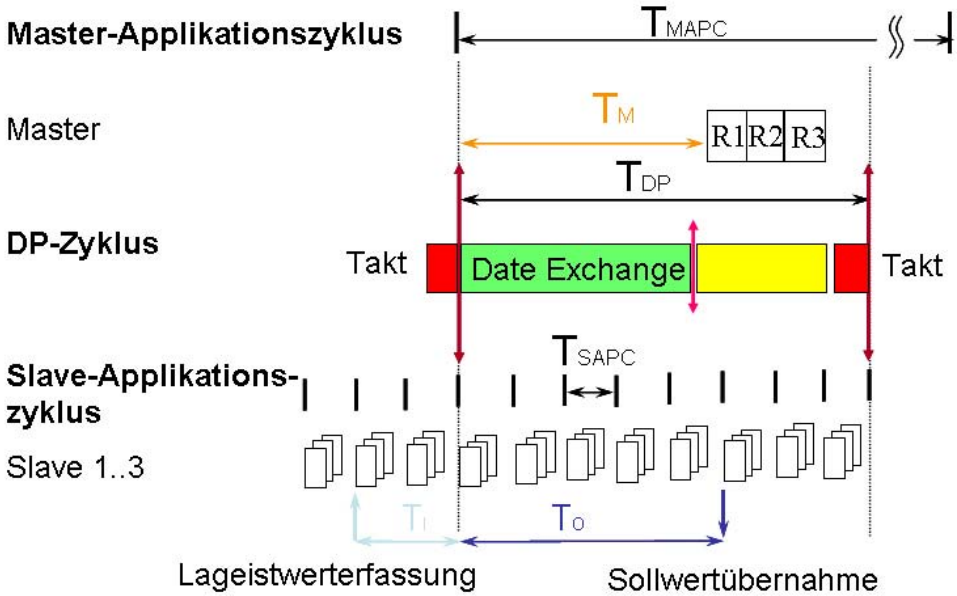
In einem nicht äquidistanten Zyklus wird hier der Master der Klasse 1 sofort mit der zyklische Kommunikation weiter fahren. Die Dauer des Buszyklus hängt somit in starkem Umfang von der Anwesenheit eines zweiten Masters und dem Bedarf an azyklischen Diensten ab.

Bei einem **äquidistanten Buszyklus** wartet der Master der Klasse 1, bis die Zykluszeit abgelaufen ist, bevor er einen weiteren Buszyklus startet. Dazu macht er eine "aktive Pause" (ASP). Er sendet immer ein FDL Status Request Telegramm an sich selber. Damit ist der Bus für alle anderen Teilnehmer aktiv und kontrolliert. Erst wenn die Zeit für ein solches Telegramm zu kurz wird - z.B. die Restzeit auch kleiner als T_{SL} ist - macht der zyklische Master eine "passive Pause" (PSP) bis die Buszykluszeit abgelaufen ist. Auf die Mikrosekunde genau kann nun - wenn erwünscht - wieder ein Takt-Telegramm gesendet werden oder der zyklische Datenaustausch gestartet werden.

Damit der äquidistante Zyklus eingehalten werden kann, muss diese Zeit genügend gross gewählt werden und die Anzahl der erlaubten azyklischen Dienste bei einem Master der Klasse 2 muss begrenzt werden.

4.8.5 Isochroner Zyklus

In einem Isochronen Betrieb werden die Slave-Applikationszyklen und im beschränkten Umfang auch die Master-Applikationszyklen auf den äquidistanten Buszyklus des PROFIBUS synchronisiert.



Der äquidistante DP-Zyklus T_{DP} bestimmt den Zyklus aller Teilnehmer.

Der **DP-Master** hat einen Master-Applikationszyklus T_{MAPC} der in der Regel länger als der DP-Zyklus dauert. Die Kommunikationsbaugruppe meldet der Anwendung das Ende der zyklischen Daten (T_M) damit mit der Berechnung der Regelalgorithmen unverzüglich begonnen werden kann.

Der **DP-Slave** hat einen lokalen Slave-Applikationszyklus T_{ASPC}, der ein ganzzahliges Vielfaches des DP-Zyklus ist. Dieser lokale Slave-Applikationszyklus wird wie eine lokale Uhr eingesetzt und wird als Phase Locked Loop (PLL) auf die Taktschlägertelegramme (Global Control mit Gruppe 8) des PROFIBUS synchronisiert. Die Lageistwerte (Eingangsdaten T_I) werden eine definierte Anzahl von lokalen Zyklen vor dem PROFIBUS Zyklus erfasst und die Sollwerte (Ausgangsdaten T_O) werden zu einer bestimmten Anzahl lokaler Zyklen später übernommen. Im einfachsten Fall sind die beiden Zeiten T_I und T_O Null.

Somit braucht es für den Isochronen Buszyklus die folgenden Parameter:

© 2009 Max Felser

Parameter	Einheit	Erlaubte Werte
TBASE_DP	Zeitbasis für T_{DP} (in Einheiten von 1/12µs)	375, 750, 1500, 3000, 6000, 12000 (Der Wert 1500 muss zwingend unterstützt werden)
TDP	DP-Zyklus (in Einheiten von TBASE_DP)	1 bis 216-1 (min 500µs, max 32 ms)
TMAPC	Master-Applikationszyklus (in Einheiten von T_{DP})	1 to 14
TBASE_IO	Zeitbasis (in Einheiten von 1/12µs) für die Zeiten T_I und T_O	375, 750, 1500, 3000, 6000, 12000 (Der Wert 1500 muss zwingend unterstützt werden)
TI	Zeit T_I (in Einheiten von TBASE_IO)	0 (Spezialfall), 1 to 216-1
TO	Zeit T_O (in Einheiten von TBASE_IO)	0 (Spezialfall), 1 to 216-1
TDX	Zeit T_{DX} (in Einheiten von 1/12ms)	0 (Spezialfall), 1 to 232-1

Die notwendigen Einstellungen werden im Parametertelegramm als Datenblock an den DP-Slave übertragen.

In der GSD Datei werden die Möglichkeiten eines DP-Slave für den Isochronen Zyklus beschrieben. Diese Schlüsselwörter sind erst ab Revision 4 der GSD Syntax definiert.

Isochron_Mode_supp = 1
Dieser DP-Slave unterstützt den isochronen Buszyklus. Wenn hier 0 (=FALSE) steht, sind alle anderen Parameter ungültig.

Isochron_Mode_required = 0
Wenn dieser Wert 1 (=TRUE) ist, kann der DP-Slave nur mit einem isochronen Buszyklus arbeiten. Dies kann zum Beispiel bei Lageregelungen mit Antrieben der Fall sein.

TBASE_DP = 1500 ; 1500 * 1/12 µs = 125 µs
TDP_MAX = 256 ; 256 * 125µs = 32ms
TDP_MIN = 16 ; 16 * 125µs = 2ms
TDP_MAX sollte 32 ms nicht überschreiten. Auf Grund dieser Werte wird ein Planungswerkzeug den DP-Zyklus als ganzzahliges Vielfaches der einzelnen Parameter planen.

T_PLL_W_MAX = 12 ; equal 12*1/12 µs = 1µs
Der maximale Wert des Jitters welcher von diesem Feldgerät noch akzeptiert werden kann basierend auf 1/12 µs.

TBASE_IO = 1500 ; 1500 * 1/12 µs = 125µs
TI_MIN = 1 ; 1 * 125µs = 125µs
TO_MIN = 1 ; 1 * 125µs = 125µs

Der Wert TI_MIN = TO_MIN = 0 zwingt den Master die Parameter T_O und T_I auf 0 zu setzen (vereinfachter Betrieb).

4.9 Literatur

Eine umfassende Darstellung der MS0 Kommunikationsbeziehung bietet auch das Buch:

Popp, Manfred: **PROFIBUS - DP/DPV1** Huethig, 2. Auflage 2000, 3-7785-2781-9	Grundlagen, Tipps und Tricks für Anwender. Dieses Buch enthält eine ausführliche Darstellung der MS0 Beziehung, wobei die einzelnen Leistungsklassen DP-V0, DPV1 und DP-V2 in getrennten Kapiteln dargestellt werden.

Die folgenden Normen spezifizieren die MS0 Kommunikationsbeziehung:

© 2009 Max Felser

IEC 61784-1:2007
Profile sets for continuous and discrete manufacturing relative to fieldbus use in industrial control systems

In dieser Norm wird aufgelistet, welche Abschnitte und Kapitel der Norm IEC 61158 für die Realisierung eines PROFIBUS Master oder Slave benötigt werden. Ein PROFIBUS-DP wird dabei als CPF3/1 und ein PROFIBUS-PA als CPF3/2 bezeichnet.

IEC 61158-5-3:2007
Digital data communications for measurement and control - Fieldbus for use in industrial control systems

Dieser Teil 5 Abschnitt 3 spezifiziert die **Dienste** des Application Layers des PROFIBUS. Er wird in diesem Teil der Norm als "Typ 3" bezeichnet. Erst seit der Ausgabe 2007 kann dieser Abschnitt der Norm getrennt gekauft werden! Sollte nur zusammen mit IEC61784-1 angewendet werden!

IEC 61158-6-3:2007
Digital data communications for measurement and control - Fieldbus for use in industrial control systems

Dieser Teil 6 Abschnitt 3 spezifiziert das **Protokoll** des Application Layers des PROFIBUS. Er wird in diesem Teil der Norm als "Typ 3" bezeichnet. Erst seit der Ausgabe 2007 kann dieser Abschnitt der Norm getrennt gekauft werden! Sollte nur zusammen mit IEC61784-1 angewendet werden!

Die alten DIN19245 und EN50170-2 Normen sind heute ausser Kraft und sollten für neue Entwicklungen nicht mehr verwendet werden. Die Funktionen sind in den neuen Normen nicht unwesentlich erweitert worden!

Auf wenigen Seiten sind die wesentlichen Informationen und die Codierung der Telegramme zusammengefasst. Es sind die folgenden Tabellen verfügbar:

TAB 1
Kompakte Tabellen

Zusammenfassende Tabelle für die Decodierung des PROFIBUS-DP auf 2 A4 Seiten, hilfreich beim Einsatz eines einfachen Busmonitores
Version 1.2 (8.9.04)

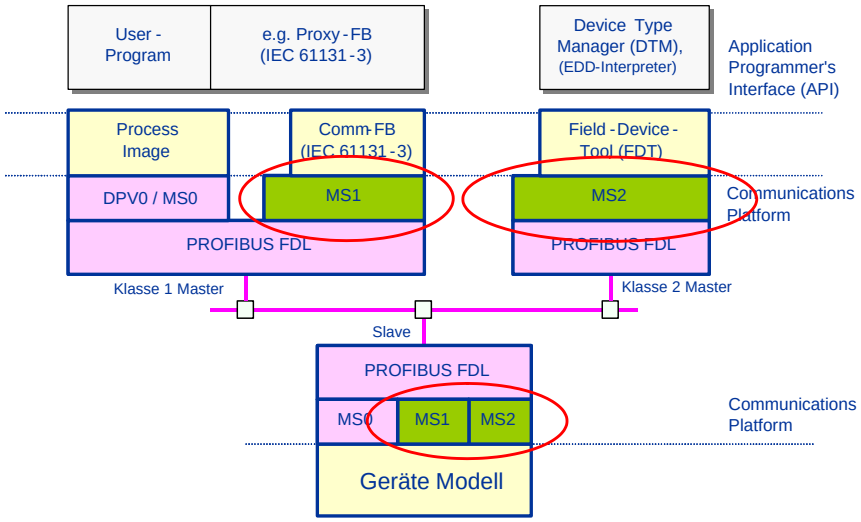
TAB 2
Erweiterte Tabellen

Erweiterte Zusammenfassung auf 4 A4 Seiten Version 2.4 (6.11.07)

© 2009 Max Felser

5 MS1/MS2: Azyklischer Datenaustausch

Beim PROFIBUS werden Master der Klasse 1 und 2 von den Slave Geräten unterschieden. Diese Geräte kommunizieren mit unterschiedlichen Kommunikationsmodellen.



Modell der PROFIBUS Kommunikation

Eine Steuerung kommuniziert mit dem MS0 Protokoll mit seiner Peripherie. Dieses Protokoll ist in einem vorangehenden Kapitel beschrieben worden, und wird hier nicht mehr weiter erläutert.

Wir betrachten in diesem Kapitel wie eine Steuerung (Master der Klasse 1) oder eine Engineeringstation (Master der Klasse 2) mit dem Slave azyklisch Parameter austauscht.

Komplexe Slave-Geräte (z.B. in der Prozessindustrie) benötigen erweiterte Kommunikationsfähigkeiten. Dies beinhaltet azyklischer Datenaustausch, ein erweitertes Alarmmodell und die Einführung von komplexen Datenstrukturen. In diesem Kapitel werden die notwendigen Erweiterungen zum Standard DP-V0 Protokoll erläutert. Wir gehen dabei davon aus, dass der Leser mit den Grundlagen vom PROFIBUS DP-V0 Protokoll vertraut ist.

Diese Erweiterungen werden als DP-V1 bezeichnet und sind so angelegt, dass ein DP-Slave immer mit einem Standardmaster mit den Grundfunktionen DP-V0 kommunizieren kann.

Im Standard PROFIBUS-DP kann eine Master der Klasse 1 mit einem DP Slave zyklische Daten austauschen. Ein Master der Klasse 2 kann gleichzeitig mit dem Master Klasse 1 Kommunizieren und die Konfiguration kontrollieren. Beim Zugriff auf den DP-Slave ist der Master der Klasse 2 aber in seinen Funktionen stark eingeschränkt: Die zyklischen Prozessdaten können nur gelesen, nicht aber geschrieben werden.

Im erweiterten Protokoll DP-V1 werden neben den zyklischen Prozessdaten noch zusätzliche Parameterdaten spezifiziert. Diese Parameterdaten können vom Master Klasse 1 und 2 über spezielle Kommunikationsbeziehungen gelesen und geschrieben werden. Zusätzlich wird für eine erweiterte Diagnose ein Alarmhandling eingeführt.

Wir werden somit die folgenden Kapitel ansprechen müssen:

- Wie werden die Parameterdaten in diesen Geräten modelliert?
- Wie werden die azyklischen Kommunikationen zwischen Master der Klasse 1 und Slave aufgebaut und verwaltet?
- Wie werden die azyklischen Kommunikationen zwischen Master der Klasse 2 und Slave aufgebaut und verwaltet?
- Wie werden die Alarme behandelt.

© 2009 Max Felser

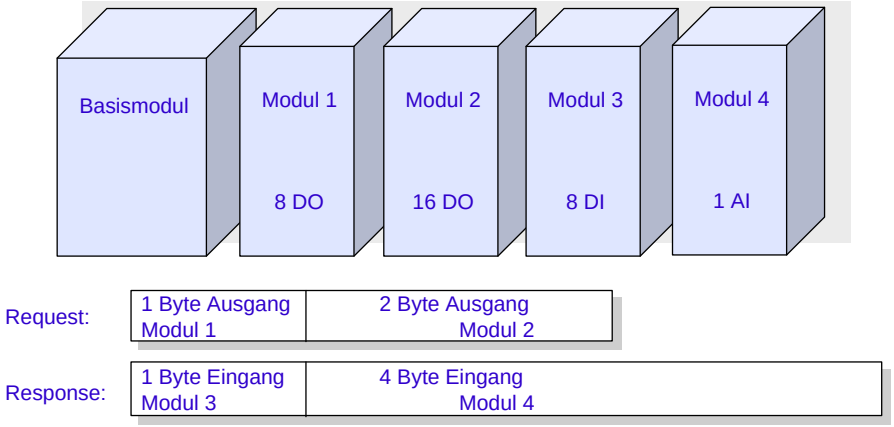
5.1 Allgemeines

Für die MS1 und MS2 Verbindungen wird ein erweitertes Gerätemodell des DP-V1 verwendet. Zusätzliche werden die Funktionen für Identifikation und den Unterhalt für alle Geräte als obligatorisch erklärt.

5.1.1 DP-V1 Gerätemodell

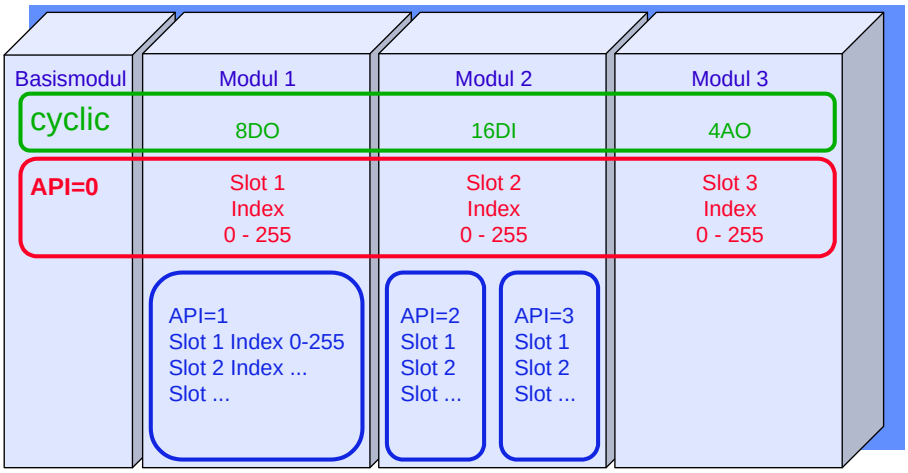
Ein Standard DP-Slave konnte fest oder modular aufgebaut sein. Die Anzahl und Struktur der einzelnen Module bestimmt die Anzahl der zyklischen Prozessdaten, die im Datenaustausch ausgetauscht werden.

Bei einem DP-V1 Slave werden alle Daten in Slots aufgeteilt. Im Falle eines modularen Slave entspricht die Nummer des Moduls der Nummer des Slots. Bei einem kompakten Slave können die Slots frei einzelnen virtuellen Geräteteilen zugeordnet werden.



Datenmodell der Zyklischen Kommunikation

Innerhalb eines Slots werden die einzelnen Variablem mit einem Index nummeriert. Jede Variable muss in einem PROFIBUS Telegramm übertragen werden können und ist somit auf 244 Byte maximale Grösse beschränkt. Jeder Master der DP-V1 unterstützt, muss diese Maximale Telegrammgrösse unterstützen.



Datenmodell im Gerät

Anmerkung: Es gibt auf dem Markt immer noch Master die nur Telegramme bis 32 Byte unterstützen.

Jedes Gerät wird in verschiedene Anwendungen Unterteilt (Application Process Instance = API). Die API=0 enthält die zyklischen Daten und denjenigen Satz von Prozessparametern, der vom Master Klasse 1 (und default auch Klasse 2) verändert werden kann. Neben diesem API=0 können in einem Gerät weitere Anwendungen definiert werden. In diesen APIs werden die Parameterdaten neu mit Slot und Index nummeriert und können nur mit einem Master Klasse 2 verändert werden.
Beim Verbindungsaufbau wird der Master das API selektieren und einen SCL (Security Level) angeben. Bei der weiteren Kommunikation mit Read und Write werden mit Slot und Index die Variablen des API adressiert, die für diesen SCL freigegeben sind.

© 2009 Max Felser

5.1.2 I&M Funktionen

Für die Identifikation und Maintenance (I&M) sind beim PROFIBUS Datenrecords (Datenstrukturen) definiert worden, die bei allen Geräten mit DP-V1 obligatorisch implementiert werden müssen. Diese Datenstrukturen dienen dazu das Feldgerät eindeutig zu identifizieren und den Unterhalt zu erleichtern.

Diese Informationen werden in die folgenden Strukturen unterteilt:

I&M0 (65000): Gerätespezifische Basisinformationen
Der Hersteller und das Gerät mit seiner Hardware- und Software-Versionen wird eindeutig identifiziert.

I&M1 (65001): Informationen zum Ort
Wie wird das Gerät in der Anlage bezeichnet - der Tag - und wo wurde es installiert.

I&M2 (65002): Informationen zur Zeit
Wann wurde das Gerät Installiert

I&M3 (65003): Beschreibung
Hier kann der Hersteller zusätzliche Informationen angeben.

Jede Struktur umfasst immer 64 Bytes.

Die I&M0 Daten sind obligatorisch in allen DP-V1-Slave zu implementieren (ab 2006). Die anderen Daten sind optional. Einzelne Profile können weitere Datenrecords festlegen.

Die I&M Daten werden mit dem Call-Dienst aus dem Gerät gelesen oder geschrieben.

5.1.2.1 I&M0 Basisinformationen

Die 64 Bytes des I&M0 Records sind wie folgt aufgeteilt:

Bezeichnung	Bedeutung	Bytes	Datentyp
Header	Für den Hersteller reservierten Bereich.	10	Herstellerabhängig
MANUFACTURER_ID	Kennung des Herstellers	2	Unsigned16
ORDER_ID	Herstellerspezifische Bestellnummer	20	VisibleString
SERIAL_NUMBER		16	VisibleString
HARDWARE_REVISION	Hardware Ausgabestand	2	Unsigned16
SOFTWARE_REVISION	Firmware Revision	4	VisibleString(1),Unsigned8 (3)
REVISION_COUNTER	Revisionszähler	2	Unsigned16
PROFILE_ID	Profil	2	Unsigned16
PROFILE_SPECIFIC_TYPE	Geräteklasse	2	OctetString
IM_VERSION		2	Unsigned8
IM_SUPPORTED		2	OctetString

Die Kennung des Hersteller (MANUFACTURER_ID) ist eine Nummer. Die XML Datei auf der Webseite unter http://www.profibus.com/IM/Man_ID_Table.xml gibt zu jeder Hersteller Nummer den Namen der Firma und optional einen Link auf die Webseite der Firma. Zusammen mit der ORDER_ID kann so eine Webanfrage gestartet werden und Informationen zum entsprechenden Produkt abgefragt werden. Die Idee ist, dass ein Engineering Werkzeug diese XML-Datei regelmässig herunterladen und aktualisieren kann.

5.1.3 Azyklische Dienste

Die azyklischen Dienste enthalten immer im ersten Byte eine Funktionsnummer (Function_Num). Diese Funktionsnummer bestimmt den azyklischen Dienst. Bei der Antwort (Response) signalisiert das 7. Bit ob bei der Anfrage (Request) ein Fehler aufgetreten ist.

Die Kodierung der Dienste wird in der nachstehenden Darstellung aufgelistet.

© 2009 Max Felser

Byte Function_Num:

7	6	5	4	3	2	1	0	
X								0 positive Antwort / 1 Fehlermeldung
							(0x48)	Idle
							(0x51)	DPV1_Data_Transport
							(0x56)	DPV1_Resource_Manager
							(0x57)	DPV1_Initiate
							(0x58)	DPV1_Abort
							(0x5C)	DPV1_Alarm_Ack
							94 (0x5E)	DPV1_Read
							95 (0x5F)	DPV1_Write

Bei einer negativen Antwort enthält die Antwort immer 4 Byte: Nach der Funktionsnummer mit gesetztem 7. Bit folgen immer die folgenden Bytes:

Function_Num	Error_Decode	Error_Code1	Error_Code2

mit den Bedeutungen:

Byte **Error_Decode**: Art der Statusmeldung

7	6	5	4	3	2	1	0	
							0 - 127	Reserviert
							128 (0x80)	PROFIBUS DP
							129 - 253	Reserviert
							254 (0xFE)	PROFIBUS-FMS
							255 (0xFF)	HART

Byte **Error_Code_1**: besteht aus der Fehlerklasse (Error_Class Bit 4 bis 7) und dem Error_Code (Bit 0 bis 3). Die Bedeutung des Fehlercodes ist abhängig von der Fehlerklasse:

7	6	5	4	3	2	1	0	**Error_Class**	Error_Code
			0-9					**Reserviert**	
			10				0	**Fehler der Anwendung**	Read error
							1		Write error
							2		Module failure
							3 – 7		Reserved
							8		Version conflict
							9		Feature not supported
							10 – 15		User specific
			11				0	**Zugriffsfehler**	Invalid index
							1		Write length error
							2		Invalid slot
							3		Type conflict
							4		Invalid area
							5		State conflict
							6		Access denied
							7		Invalid range
							8		Invalid parameter
							9		Invalid type
							10 - 15		User specific
			12				0	**Resourcenfehler**	Read constrain conflict
							1		Write constarint conflict
							2		Resource busy
							3		Resource unavailable
							8		Version conflict
							4 – 7		Reserved
							9 - 15		User specific
			13-15					**User specific**	

Byte **Error_Code_2**: Weitere herstellerspezifische Fehlercodes.

© 2009 Max Felser

5.2 MS1 Verbindung

Hier wird beschrieben, wie ein Master der Klasse 1 (Steuerung) mit einen DP-Slave (Feldgerät) azyklische Daten austauschen kann.

5.2.1 Verbindungskontrolle

Damit eine Steuerung als DP-Master der Klasse 1 azyklisch Parameterdaten in einem Salve verändern kann, muss sie zuerst eine zyklische MS0 Kommunikation erstellen. Sie muss dem DP-Slave die richtigen Parameter zustellen (Set_Parameter) und die Konfiguration bestätigen (Chk_Config). Somit ist der DP-Slave gelocked und kann nur von einem einzigen DP-Master der Klasse 1 angesprochen werden.

Die Möglichkeiten eines DP-Slaves eine MS1 Verbindung zu unterstützen werden in der GSD Datei beschrieben:

DPV1_Slave = 1
C1_Read_Write_supp = 1

Mit diesen beiden Schlüsselwörtern in der GSD Datei wird festgehalten, dass dieses Feldgerät eine MS1 Verbindung unterstützt.

C1_Max_Data_Len = 32
MIt diesem Schlüsselwort kann eine maximale Länge der azyklischen Daten festgelegt werden.

C1_Response_Timeout = 10 ; (1...65535) 10x 10 ms = 100 ms
Mit diesem Schlüsselwort wird eine maximale Antwortzeit in 10 ms Zeiteinheiten auf eine azyklische Anfrage durch den Slave betimmt.

C1_Read_Write_required = 1
Die Unterstützung des azyklischen Dienste ist für die korrekte Funktion des DP-Slave obligatorisch.

Damit ein Slave erkennen kann, ob eine Steuerung mit den azyklischen Parametern kommunizieren kann, setzt die Steuerung im Set_Parameter Telegramm im 8.Byte das 7. Bit (DPV1 Enable). Sobald nun der Slave im Zustand Dataexchange (DXCHG) ist, ist er auch bereit für den azyklischen Datenaustausch. Es können Daten gelesen und geschrieben und Alarme behandelt werden.

Für die Kommunikation werden dabei zusätzliche SAPs freigeschaltet:

SAP: Service Access Points des Masters

SAP	Name	Bedeutung
51 (0x33)	MS1	Azyklische Master Klasse 1

SAP: Service Access Points des DP-Slave

SAP	Name	Daten vom Master zum Slave	Daten vom Slave zum Master
50 (0x32)	Alarm_SAP	DS_Alarm_ack	
51 (0x33)	Server_SAP	DS_Read_REQ, DS_Write_REQ	DS_Read_RES, DS_Write_RES

5.2.2 Azyklische Dienste

Auf dieser MS1 Verbindung können zwei Dienste DPV1_Read und DPV1_Write für Daten ausgeführt werden:

DPV1_Read:

0x5E	Slot_Number	Index	ReqLength

Mehrere Pollzyklen ohne Daten, letzter Pollzylus mit Antwortdaten. Bei einer positiven Antwort:

0x5E	Slot_Number	Index	ResLength	Data

Bei einer negativen Antwort:

© 2009 Max Felser

0xDE	Error_Decode	Error_Code1	Error_Code2

Als Resultat erhalten wir die Daten und die Länge zurück. Sie widerspiegelt die effektive Länge der zurückgegebenen Daten. Es ist auch erlaubt, nur den Anfang (z.B. Header) einer Information zu lesen. Es gibt einen Fehler, wenn das Objekt nicht existiert oder der Zugriff nicht erlaubt ist.

Hier ein Beispiel einer Telegramm-Sequenz zum azyklischen Lesen, wie diese auf einem Busmonitor erscheinen kann:

Addr	Msg type	Req/Res	SAPS	Datalen	Data
1->22	**DPV1_read_req**	Req	51 -> 51	4	5E 01 10 FF
1<-22	**Short acknowledge**	Res			
1->22	**DPV1_Poll**	Req	51 -> 51		
1<-22	**Short acknowledge**	Res			
1->22	**DPV1_Poll**	Req	51 -> 51		
1<-22	**DPV1_read_res**	Res	51 <- 51	6	5E 01 10 02 01 02

In diesem Beispiel wird von der Steuerung mit der Adresse 1 im Feldgerät mit der Adresse 22 im Slot 1 der Index 16 (0x10) ausgelesen. Dabei wird die maximale Anzahl der Bytes (Länge > 240) angefordert. Der Slave antwortet sofort mit einer Kurzquittung. Im nächsten Zyklus pollt der Master den Slave um die Antwort abzufragen. Je nach Verarbeitungsgeschwindigkeit des Slaves muss dieses Pollen mehrmals wiederholt werden. In der Antwort steht nun die korrekte Länge der Daten gefolgt von den Werten.

DPV1_Write:

0x5F	Slot_Number	Index	ReqLength	Data

Mehrere Pollzyklen ohne Daten, letzter Pollzylus mit Antwortdaten. Bei einer positiven Antwort:

0x5F	Slot_Number	Index	ResLength

Bei einer negativen Antwort:

0xDF	Error_Decode	Error_Code1	Error_Code2

Als Resultat erhalten wir eine Bestätigung der Anzahl der geschriebenen Bytes. Es darf auch nur ein Teil des Objektes geschrieben werden. Ein ReqLength länger als das Objekt ist aber nicht erlaubt. Fehlermeldungen entstehen, wenn das Objekt nicht vorhanden oder der Zugriff nicht erlaubt ist.

Im Fehlerfall wird mit eine Fehlertelegramm geantwortet. Dabei wird die Funktion mit einem Error-Code zurückgegeben. Diese Codes werden in einem vorangehenden Kapitel erläutert.

5.2.3 Alarmbehandlung

Diagnosemeldungen werden von jedem DP-Slave unterstützt. Diese Meldungen werden einfach bei Bedarf abgesetzt, aber weder quittiert noch deren Empfang und Verarbeitung überprüft.

Bei einer MS1 Verbindung werden nun zusätzliche Alarm- und Status-Meldungen festgelegt.

- Bei einer Status-Meldung werden die Strukturen der Daten der Ereignisse umfassender festgelegt.
- Bei Alarmen werden unterschiedliche Arten unterschieden, die Sequenz der Telegramme für die Quittierung ist festgelegt und die Strukturen der Daten sind definiert.

© 2009 Max Felser

5.2.3.1 Alarm-Arten

Alarme werden einem Slot zugeordnet und können unterschiedliche Arten aufweisen.

Die unterstützten Alarme werden in der GSD Datei festgelegt. Im Set_Parameter Telegramm legt der DP-Master fest, welche Alarme vom DP-Slave gesendet werden dürfen.

Diagnostic_Alarm_supp = 1
Diagnostic_Alarm_required = 0
Der DP-Slave unterstützt Diagnosealarme, braucht aber diese Unterstützung nicht zwingend für die korrekte Funktion. Ein Diagnosealarm signaliisert ein Ereignis in einem Slot wie z.B. eine Übertemperatur, ein Kurzschluss etc.

Process_Alarm_supp = 1
Process_Alarm_required = 0
Ein Prozessalarm signaliisert ein Ereignis in Zusammenhang mit dem angeschlossenen Prozess wie z.B. ein Überschreiten eines oberen Grenzwertes.

Pull_Plug_Alarm_supp = 1
Pull_Plug_Alarm_required = 0
Wenn ein Modul aus einem Slot aus- oder eingesteckt wird, kann dieser DP-Slave einen pul- oder Plug-Alarm erzeugen.

Status_Alarm_supp = 1
Status_Alarm_required = 0
Mit einem Statusalarm wird eine Zustandsänderung im DP-Slave wie z.B. Ready, Run, Stop etc. signalisiert.

Update_Alarm_supp = 1
Update_Alarm_required = 0
Sobald ein Parameter durch eine lokale Bedienung or ein Engineeringgerät geändert wird, kann von diesem DP-Slave ein Alarm generiert werden.

Manufacturer_Specific_Alarm_supp = 1
Manufacturer_Specific_Alarm_required = 1
Der Hersteller kann weitere Alarme definieren.

5.2.3.2 Alarm-Sequenzen

Das Alarmmodell erlaubt die Übertragung von Alarmen von einem DP-V1 Slave zu seinem DP-V1 Master und verlangt die explizite Quittierung dieses Alarms durch den Master an den Slave.

Als Grundbedingung für einen Alarm müssen folgende Bedingungen erfüllt sein:

- Der Slave muss im DATA-EXCH Zustand sein
- Die MS1 Verbindung muss aktiviert sein (d.h. im Parametertelegramm wurde DPV1_Enable = TRUE gesetzt.
- Das entsprechende Bit für diesen Alarm im Parametertelegramm ist auch gesetzt.
- Die Grenze der maximalen aktiven Alarme wurde noch nicht erreicht. Es werden zwei Modelle für die maximale Anzahl der Alarme unterstützt:
  1. Nur ein Alarm pro spezifizierten Typ kann aktiv sein (Alarm_Type_Mode).
  2. Mehrere Alarme mit einer fixierten Totalzahl können aktiv sein (Alarm_Sequence_Mode).

Mit den folgenden GSD Datei Schlüsselwörtern wird dieser Alarmmodus angegeben:

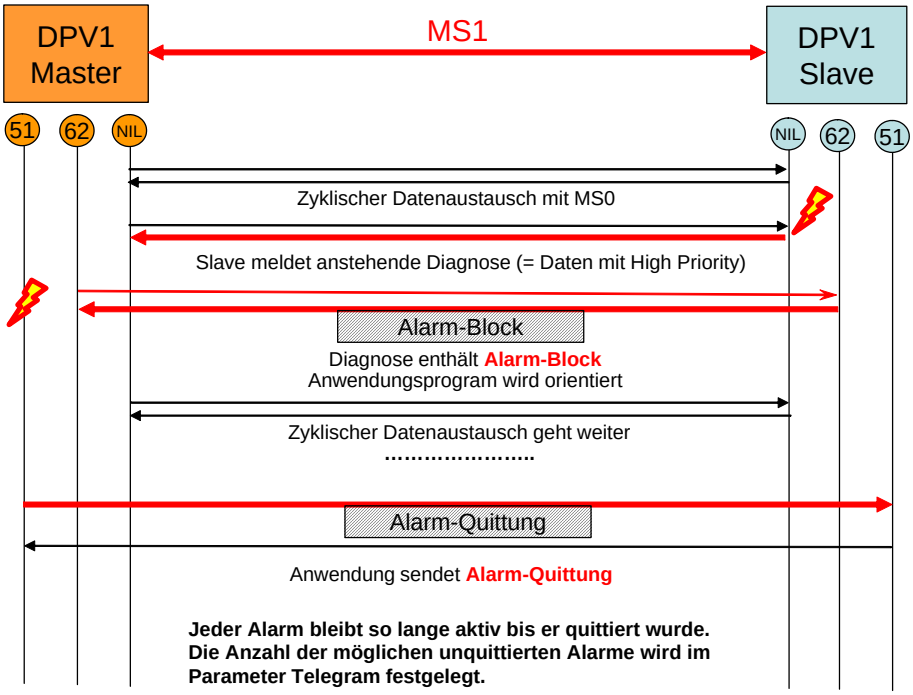
Alarm_Sequence_Mode_Count = 0 ; 0 = nicht Unterstützt, 2 - 32 Anzahl der ausstehenden Alarme
Die aktuelle Anzahl wird vom Master im Set_Parameter Telegramm eingestellt. Diese Funktion ist optional, d.h. der Wert 0 ist erlaubt

Alarm_Type_Mode_supp = 1
Die Unterstützung des Alarm_Type_Mode ist obligatorsich, d.h. dieses Schlüsselwort muss bei unterstützten Alarmen zwingend mit dem Wert 1 in der GSD stehen.

Wenn ein Alarm auftritt, wird die Alarmmeldung in das Diagnosefeld des Diagnose Telegramms eingefügt und der DP-V1 Master mit dem Prioritätsbit im nächsten Datenzyklus aufgefordert, die Diagnose zu lesen.

© 2009 Max Felser

Ein Lesen des Alarms wird registriert und der Alarm in eine Warteschlange geschrieben. Weitere Alarme werden diesen Alarm nicht überschreiben.



Ablauf bei Alarmen

Der DP-Master der Klasse 1 (Steuerung) mit dem zyklischen Prozessdatenaustausch (MS0) ist der einzige Master, der beim DP-Slave Alarme quittieren darf. Er verwendet dazu den SAP51, wie für die anderen azyklischen Dienste. Der DP-Slave kann otional einen zusätzlichen SAP = 50 für die Quittierung der Alarme zur Verfügung stellen. Damit werden die Quittungen nicht durch eventuell ausstehende azyklische Dienste verzögert. Die Unterstützung dieser Option wird in der GSD Datei durch das Schlüsselwort
Extra_Alarm_SAP_supp = 1
angezeigt. Diese beiden SAP werden vom DP-V1 Slave aktiviert, sobald er im Data-Exchange Zustand ist. Da diese beiden SAP einen direkten Bezug zur zyklischen Kommunikation MS0 aufweisen, muss diese Kommunikationsbeziehung nicht speziell mit einem Initiate und Abort verwaltet werden.

Der DP-V1 Master muss die Alarme explizit mit einem DPV1_Alarm_Ack Telegramm auf SAP 50 oder 51 quittieren. Nach erfolgreicher Quittierung kann der DP-V1 Slave den Alarm aus der Warteschlange entfernen. Die maximale Anzahl der Alarme in dieser Warteschlange wird im Parametertelegramm festgelegt.

5.2.3.3 Alarmmeldungen

Alarme werden als Blöcke in einem Diagnose-Telegramm übertragen. Diese Blöcke haben die folgende Struktur:

Header	Alarm_Typ	Slot_Number	Alarm_Specifier	Diag_User_Data

Der **Header** für einen Alarm-Block spezifiziert die Länge des Blocks:

7	6	5	4	3	2	1	0	
0	**0**							Header für Diagnose-Block
		0 - 63						Anzahl der Bytes in diesem Diagnose-Block (inkl. Dieses Byte)

Im Byte **Alarm_Typ** wird die Art des Alarms angezeigt:

7	6	5	4	3	2	1	0	
0								**Kennzeichnung als Alarmblock**
						0 (0x00)		Reserviert
						1 (0x01)		Diagnosealarm
						2 (0x02)		Prozessalarm
						3 (0x03)		Pull Alarm
						4 (0x04)		Plug Alarm
						5 (0x05)		Status Alarm
						6 (0x06)		Update Alarm
						21-126		Herstellerspezifisch
						sonst		Reserviert

Byte **Slot_Number:**

7	6	5	4	3	2	1	0	
0 – 254								Nummer des betroffenen Slots (255 ist reserviert)

Byte **Alarm_Specifier**:

7	6	5	4	3	2	1	0	
						0	1	Fehler tritt auf und Störung liegt an
						1	0	Fehler geht und Störung ist weg
						1	1	Fehler geht aber Störung bleibt
					1			Quittung erforderlich
					0			Quittung nicht erforderlich
0-31								Sequenznummer des Alarms

Weitere Bytes **Diag_User_Data** sind herstellerspezifisch und müssen in der GSD Datei erklärt werden.

5.2.3.4 Statusmeldungen

Neben den Diagnose-Blöcken nach MS0 können weitere Status-Diagnose-Blöcke in einem Diagnose-Telegramm übertragen werden. Diese Blöcke haben die folgende Struktur:

Header	Status_Typ	Slot_Number	Status_Specifier	Diag_User_Data

Der **Header** für einen Alarm-Block spezifiziert die Länge des Blocks:

7	6	5	4	3	2	1	0	
0	**0**							Header für Diagnose-Block
		0 - 63						Anzahl der Bytes in diesem Diagnose-Block (inkl. dieses Byte)

Im Byte **Status_Type** wird die Art der Statusmeldung mitgeteilt:

7	6	5	4	3	2	1	0	
1								**Kennzeichnung als Statusblock**
						0 (0x00)		Reserviert
						1 (0x01)		Statusmeldung
						2 (0x02)		Modulstatus
						3 (0x03)		DXB Link Status
						4 - 29		Reserviert
						30 (0x1E)		Quittung für einen Parameterbefehl
						31 (0x1F)		Status gelesen
	32 -126							Herstellerspezifisch
	127							Reserviert

Byte **Slot_Number:**

7	6	5	4	3	2	1	0	
0 – 254								Nummer des betroffenen Slots (255 ist reserviert)

Byte **Status_Specifier**:

7	6	5	4	3	2	1	0	
						0 1 2 3		Keine weitere Unterscheidung Status kommt Status geht reserviert
0 - 63								Reserviert

Weitere Bytes **Diag_User_Data** sind herstellerspezifisch und müssen in der GSD erklärt werden.

5.3 MS2 Verbindung

Eine MS2 Verbindung wird mit einem DPV1_Initiate explizit aufgebaut und mit einem DPV1_Abort wieder geschlossen. Die Verbindung wird zeitlich auf Aktivitäten überwacht. Die möglichen azyklischen Dienste sind das lesen und schreiben von Daten, ähnlich wie bei der MS1 Verbindung.

5.3.1 Verbindungsaufbau

Damit ein Engineering-Werkzeug jederzeit auf einen Slave zugreiffen kann, wird er als Master der Klasse 2 auf den Bus geschaltet. Er muss explizit eine Verbindung mit dem Slave aufbauen.

Dazu werden weitere SAP beim Master und beim Slave reserviert:

SAP: Service Access Points des Masters

SAP	Name	Bedeutung
50 (0x32)	MS2	Azyklische Master Klasse 2

SAP: Service Access Points des DP-Slave

SAP	Name	Data Unit vom Master zum Slave	Data Unit vom Slave zum Master
≤ 48 (0x30)	Communication	DS_xxx_REQ, MS2_Abort_REQ	DS_xxx_RES
49 (0x31)	Resource Manager	MS2_Initiate_REQ	Resource_Manager_REQ

Eine Verbindung wird mit einem DPV1_Initiate explizit aufgebaut und mit einem DPV1_Abort wieder geschlossen.

Für den Aufbau einer Verbindung müssen die folgenden Dienste und Telegramme gesendet werden:

DPV1_Initiate: auf SAP = 49 (Resourcen Manager)

Funct_Num 0x57	Reserved 3 Bytes	Send Timeout	Features Supported	Profil features supported	Profile ident number	Add_Adr Param

Ein Pollzykus auf dem SAP = 49 mit den Antwortdaten:

Funct_Num 0x56	Server_SAP	Min Send Timeout

Wenn der Resource-Manager keinen freien SAP mehr hat, meldet er auf dem FDL Layer RS (= no Resource available).

Der Master beginnt mit mehreren Pollzyklen auf dem neuen SAP = Server_SAP, bis eine Antwort gegeben wird oder die Zeit Min_Send_Timout abgelaufen ist.

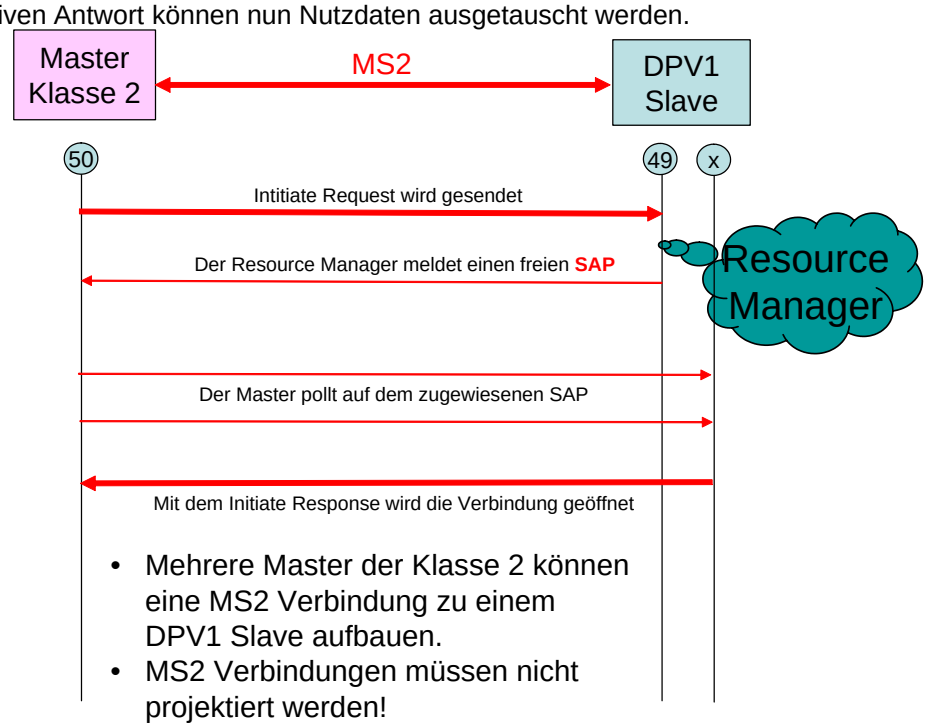
Funct_Num 0x57	Max_Len_ Data_Unit	Features Supported	Profil features supported	Profile ident number	Add_Adr Param

Eine negative Antwort:

Funct_Num 0xD7	Error_Decode	Error_Code1	Error_Code2

© 2009 Max Felser

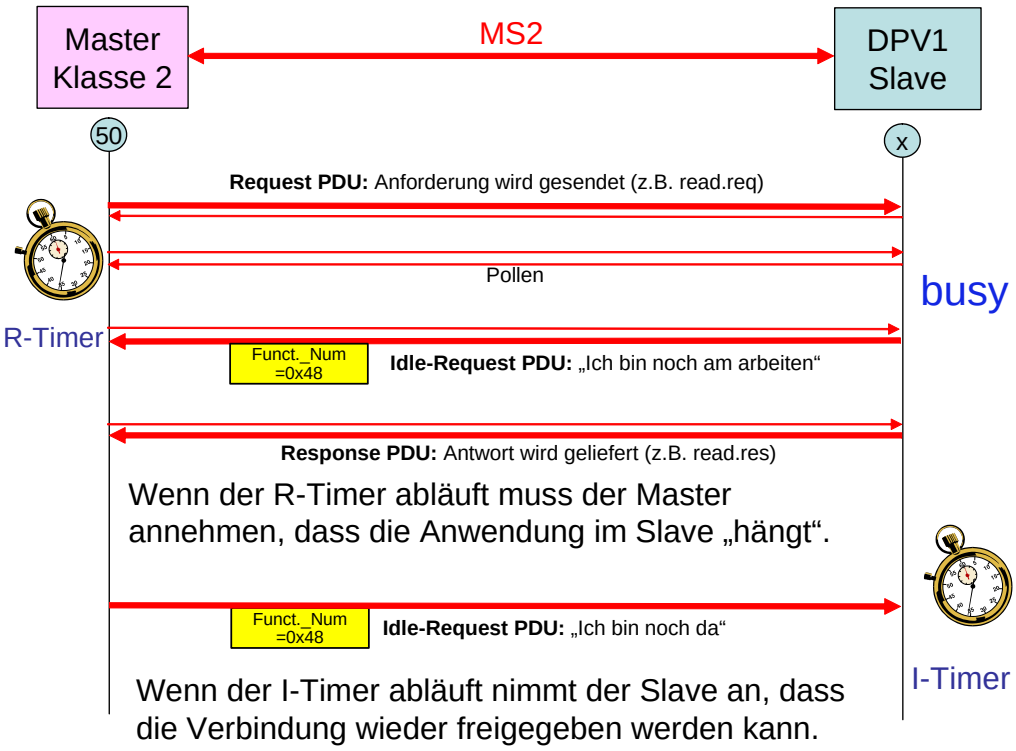
Bei einer positiven Antwort können nun Nutzdaten ausgetauscht werden.



Telegrammsequenz für einen MS2 Verbindungsaufbau

5.3.2 Verbindungsüberwachung

MS2 Verbindungen werden vom Master und auch vom Slave überwacht.



MS2 Verbindungsüberwachung

5.3.3 Verbindungsabbau

Eine nicht mehr verwendete Verbindung wird explizit mit dem Dienst DPV1_Abort abgebaut.

© 2009 Max Felser

DPV1_Abort:

Funct_Num 0x57	Subnet	Instance &Reason	

Die Bedeutung der möglichen Gründe ist

7	6	5	4	3	2	1	0	**Instance**	**Reason Code**	Bedeutung
0	0							**Reserviert**		
		0	0				1 2 3 9 10 11	**FDL**	**UE** **RR** **RS** **NR** **DH**	FDL User Error FDL No Resource FDL Reject Service – z.B. SAP nicht aktiviert FDL No Response Data FDL Data Reply High
		0	1				0 1 2 3 4 5 6 15	**DDLM**	**ABT_SE** **ABT_FE** **ABT_TO**	Sequence Error, Dienst in diesem Zustand nicht erlaubt
		1	0					**USER**		

5.3.4 Azyklische Dienste

Auf dieser MS2 Verbindung können verschiedene Dienste für Daten ausgeführt werden:

DPV1_Read:

0x5E	Slot_Number	Index	ReqLength

Mehrere Pollzyklen ohne Daten, letzter Pollzylus mit Antwortdaten. Bei einer positiven Antwort:

0x5E	Slot_Number	Index	ResLength	Data

Bei einer negativen Antwort:

0xDE	Error_Decode	Error_Code1	Error_Code2

Als Resultat erhalten wir die Daten und die Länge zurück. Sie widerspiegelt die effektive Länge der zurückgegebenen Daten. Es ist auch erlaubt, nur den Anfang (z.B. header) einer Information zu lesen. Es gibt einen Fehler, wenn das Objekt nicht existiert oder der Zugriff nicht erlaubt ist.

DPV1_Write:

0x5F	Slot_Number	Index	ReqLength	Data

Mehrere Pollzyklen ohne Daten, letzter Pollzylus mit Antwortdaten. Bei einer positiven Antwort:

0x5F	Slot_Number	Index	ResLength

Bei einer negativen Antwort:

0xDF	Error_Decode	Error_Code1	Error_Code2

Als Resultat erhalten wir eine Bestätigung der Anzahl der geschriebenen Bytes. Es darf auch nur ein Teil des Objektes geschrieben werden. Ein ReqLength länger als das Objekt ist aber nicht erlaubt. Fehlermeldungen entstehen, wenn das Objekt nicht vorhanden oder der Zugriff nicht erlaubt ist. Im Fehlerfall wird mit eine Fehlertelegramm geantwortet. Dabei wird die Funktion mit einem Error-Code zurückgegeben.

Mit einem Transport-Dienst können Objekte gleichzeitig geschrieben und gelesen werden:

© 2009 Max Felser

DPV1_Transport:

0x51	Slot_Number	Index	ReqLength	Data

Mehrere Pollzyklen ohne Daten, letzter Pollzylus mit Antwortdaten. Bei einer positiven Antwort:

0x51	Slot_Number	Index	ResLength	Data

Bei einer negativen Antwort:

0xD1	Error_Decode	Error_Code1	Error_Code2

5.4 Funktionsaufrufe

Mit den azyklischen Diensten können einfache Variablen gelesen und geschrieben werden. Mit der Hilfe von zusätzlichen Funktionen werden nun diese Funktionalität erweitert und insbesondere wird der Adressraum und das Datenvolumen stark vergrössert.

Grundsätzliche verwenden diese Funktionen die azyklischen Dienste DPV1_Read und DPV1_Write der MS1 oder MS2 Verbindung. Dabei werden neben dem erweiterten Funktionscode zusätzliche Datenfelder definiert.

Wir erläutern dies hier am Beispiel der Call-Funktion, die zum Auslesen der I&M Funktionen benötigt wird:

EXTENDED_FUNCTION_NUM	Reserviert	Index	Argument
1 Byte	1 Byte	2 Byte	64 Byte
8 = Call-Funktion	0	IM_Index z.B. 65000 für I&M0	IM_Record

Mit einem DPV1_Write werden nun diese Werte an das Objekt mit Index = 255 übergeben und mit einem DPV1_Read wird die Antwort ausgelesen. Wird beim DPV1_Write der IM_Record mitgeliefert haben wir einen Schreibvorgang, ohne IM_Record wird der IM_Record ausgelesen.

Somit haben wir die folgende Sequenz von Telegrammen um einen I&M0 Record auszulesen:

Addr	Msg type	Req/Res	SAPS	Datalen	Data
0->22	DPV1_write_req	Req	50 -> 45	8	5F 00 FF 04 08 00 19 64
0<-22	DPV1_write_res	Res	50 <- 45	4	5F 00 FF 04
0->22	DPV1_read_req	Req	50 -> 45	4	5E 00 FF FF
0<-22	DPV1_read_res	Res	50 <- 45	72	5E 00 FF 44 08 00 19 64 I&M0-Daten....

Im ersten Telegramm schreiben wir die Call-Funktion für den IM_Index 65000 (0xFD8E) in den Index 255 des Slot 0. Dies wird im zweiten Telegramm positiv bestätigt. In einer zweiten Sequenz wird nun der Index 255 des Slot 0 ausgelesen. Das Antworttelegramm enthält die Daten des I&M0 Records im Umfang von 64 Bytes. Die Bedeutung dieser Bytes ist im Kapitel über die I&M Funktionen beschrieben.

Zusätzlich muss vorgängig bei einer MS2 Verbindung die Verbindung aufgebaut werden.

5.5 Zusammenfassende Tabellen

5.5.1 Belegung der SAP

SAP: Service Access Points des Masters

SAP	Name	Bedeutung
---	Data_Exchange	Zyklischer Datenaustausch

© 2009 Max Felser

50 (0x32)	MS2	Azyklischer Master Klasse 2
51 (0x33)	MS1	Azyklischer Master Klasse 1
54 (0x36)	MM	Master zu Master Verbindung
62 (0x3E)	MS0	Slave Handler pro DP Slave

SAP: Service Access Points des DP-Slave

SAP	Name	Data Unit vom Master zum Slave	Data Unit vom Slave zum Master
---	Data_Exchange	Output Daten	Input Daten
≤ 48 (0x30)	Communication	DS_xxx_REQ, MS2_Abort_REQ	DS_xxx_RES
49 (0x31)	Resource Manager	MS2_Initiate_REQ	Resource_Manager_REQ
50 (0x32)	Alarm_SAP		
51 (0x33)	Server_SAP	DS_Read_REQ, DS_Write_REQ	DS_Read_RES, DS_Write_RES
52 (0x34)			
53 (0x35)	Ext_User_Prm	Ext. Parameter	SC
54 (0x36)			
55 (0x37)	Set_Slave_Adr	Adresse	SC
56 (0x38)	Rd_Inp	Leer	Input Daten
57 (0x39)	Rd_Outp	Leer	Output Daten
58 (0x3A)	Global_Control	Control	---
59 (0x3B)	Get_Cfg	Leer	Konfiguration
60 (0x3C)	Slave_Diagnosis	Leer	Diagnose
61 (0x3D)	Set_Prm	Parameter	SC
62 (0x3E)	Chk_Cfg	Konfiguration	SC

5.5.2 Codierung der DP-V1 Funktionen

Ein DP-V1 Dienst wird im ersten Byte immer mit einer Funktionsnummer (Function_Num) codiert:

DPV1_Dienst	Function_Num	Richtung	Weitere Parameter
Initiate	0x57	REQ	reserved (3 Octets), Send_Timeout, Features_Supported, Profile_Features_Supported, Profile_Ident_Number, Add_Addr_Param
		RES	Max_Len_Data_Unit, Features_Supported, Profile_Features_Supported, Profile_Ident_Number, Add_Addr_Param
Abort	0x58	REQ	Subnet, Instance/Reason_Code
Read	0x5E	REQ	Slot_Number, Index, Length
		RES	Slot_Number, Index, Length, Data
Write	0x5F	REQ	Slot_Number, Index, Length, Data
		RES	Slot_Number, Index, Length
Alarm_Ack	0x5C	REQ	Slot_Number, Alarm_Type, Specifier
		RES	Slot_Number, Alarm_Type, Specifier
Idle	0x48	REQ	-
		RES	-
Data_Transport	0x51	REQ	Slot_Number, Index, Length, Data
		RES	Function_Num (0x51), Slot_Number, Index, Length, Data
Resource_Manager	0x56	REQ	Function_Num (0x56), Server_SAP, Send_Timeout

© 2009 Max Felser

6 Geräteentwicklung

In diesem Kapitel werden Hinweise gegeben, wie man als Gerätehersteller zu einer PROFIBUS Schnittstelle kommt.

In einem ersten Kapitel werden die grundsätzlichen und häufigsten Fragen beantwortet:
- Wie viel kostet eine PROFIBUS Interface?
- Wie leistungsfähig muss eine PROFIBUS Interface sein?
- Wie lange gibt es den PROFIBUS noch?
- Welche Lizenzen sind mit dem PROFIBUS verbunden?

In einem weiteren Kapitel werden mögliche Strukturen und deren Eigenschaften von PROFIBUS Schnittstellen aufgeführt und zuletzt werden unterschiedliche Bauformen aufgeführt.

6.1 Anforderungen

Die Anforderungen an eine Feldbusanschaltung können nach verschiedenen Kriterien zusammengefasst werden: Kostengünstig, Leistungsfähig, Marktgängig und Offenheit.

Kostengünstig
Die verschiedenen Kommunikationsanschaltungen haben nicht nur unterschiedliche Leistungsmerkmale, sondern unterscheiden sich auch betreffend dem Preis, den eine solche Anschaltung kosten darf. Wenn wir als Faustformel davon ausgehen, dass die Netzwerkanschaltung eines Systemelementes nicht mehr als 30% der Elementkosten ausmachen soll, dann haben wir die möglichen Preisdimensionen aufgeführt: Ein Anschluss an ein Industriesteuerungssystem von 10'000 Fr. darf ohne weiteres in der Grössenordnung von 3'000 Fr. liegen. Wenn aber ein einzelner Sensor von weniger als 100 Fr. angeschlossen wird, muss der Feldbusanschluss für weniger als 30 Fr. möglich sein. Ja, wenn ein einzelner Kontaktschalter von unter einem Franken angeschlossen werden soll, muss der Anschluss für einen Sensor-Aktor-Bus auch unter einem Franken möglich sein. Insbesondere der letzte hier geschilderte Bereich wird heute in der Praxis noch nicht erreicht. Bei den heutigen Sensor-Aktor-Busse können die Anschlusskosten (je nach Technologie und Bussystem) zwischen 10 bis 40 Franken pro Anschlusspunkt betragen.

Die gleichen Überlegungen müssen auch über die vorgesehenen Stückzahlen angestellt werden. Sollen nur einzelne Anschlüsse für spezielle Messgeräte oder Sensoren erstellt werden, so können kaum eigene Entwicklungsleistungen amortisiert werden. Soll aber ein Produkt entwickelt werden, das nachher in grossen Stückzahlen auf den Markt kommt, so kann mit eigener Entwicklungsleistung unter Umständen der Herstellungspreis der Kommunikationsanschaltung reduziert werden. Für alle industriellen Kommunikationssysteme ist es heute möglich, von einfachen Chips mit Schemas und Aufbauanleitungen bis zur kompletten Anschaltbaugruppe auf einer Platine alle Arten von Anschaltungen von entsprechenden Technologielieferanten zu erhalten. Nur in seltenen Fällen von grossen Massenherstellern lohnt es sich, die Technologie der industriellen Kommunikation selber zu erarbeiten.

Leistungsfähig
Die Anforderuneg an eine Feldbusanschaltung sind auch unterschiedlich entsprechend dem Anwendungsgebiet. Je nach Einsatz verändern sich die Anforderungen an die Reaktionszeiten und Datenmengen die übertragen werden müssen. Aufgrund dieser Anforderungen können z.B. für den PROFIBUS unterschiedliche Leistungsmerkmale zusammengestellt werden.

Bezeichnung	Anwendung	Forderungen	Bitrate
PA/GA	Prozessautomation Gebäudeautomation	Grosse Distanzen Langsame Prozesse	93.75 kBit/s
MPI	Programmierung	Kompatibel mit SIMATIC	187.5 kBit/s
FMS	Master-Master Kommunikation	(nur noch wenig eingesetzt)	500 kBit/s
DP	Dezentrale Peripherie	Effiziente Protokolle	1.5 Mbit/s
MC	Motion Control	Kurze Zykluszeiten	12 Mbit/s

Die Preisstruktur ist somit auch für jedes Profil wieder unterschiedlich. Es ist ganz klar, dass je höher die Anforderung, desto höher die Kosten für deine Anschaltung. Somit muss es auch möglich sein, durch Reduktion der Anforderungen die Kosten für eine Anschaltung zu senken.

© 2009 Max Felser

Beim PROFIBUS haben wir noch ein anderes Unterscheidungsmerkmal: Die einzelnen Geräte können entweder aktive Master oder passive Slave sein. Der Aufwand für die Realisierung eines aktiven Masters ist um einen Faktor 10 grösser als für einen passiven Slave!

Die zu übertragende Datenmenge ist ein weiteres Kriterium. Die Prozessdaten sind in der Regel nicht besonders umfangreich. Es setzt sich heute durch, für einen Prozesspunkt einen Float-Wert von 4 Byte gefolgt von einem Statusbyte einzusetzen. Dies bedeutet, dass pro Wert 5 Byte übertragen werden müssen. Beim PROFIBUS können so mehr als 40 Prozesspunkte in einem Gerät auf Einmal übertragen werden während beim CAN für jeden Prozesspunkt ein eigenes Telegramm eingesetzt werden muss. Für die Parametrierung und das Engineering werden noch grössere Datenmengen übertragen.

Marktgängig
Warum spielt die Markgängigkeit eine wichtige Rolle? Ein einzelner Hersteller kann nicht mehr alle Produkte die es zur Integration eines komplexen Systems braucht selber entwickeln und herstellen. Darum greift man zu offenen Schnittstellen, die mit marktgängigen Produkten abgedeckt sind. Der Hersteller beschränkt sich auf die Entwicklung und Produktion desjenigen Produktes, wo seine Kernkompetenzen sind und ergänzt seine Produkte mit denjenigen von anderen Hersteller. Ein Feldbus ist somit umso geeigneter, desto mehr Hersteller und Produkte es von diesem System gibt.

Ebenso wichtig ist die Zukunftssicherheit. Wenn in einen neue Technologie investiert wird, will man sicher sein, dass diese Entwicklungen amortisiert werden können. In der Automatisierungstechnik ist der Produktelebenszyklus wesentlich grösser und länger als in der Informationstechnik üblich. Bei der Informationstechnik veraltet die Hardware nach einem Jahr, die Betriebssysteme werden alle drei Jahre Ausgewechselt und die Anwendungsprogramme spätestens nach sechs Jahren. In der Automatisierungstechnik will man ein Gebäude 30 Jahre mit derselben Infrastruktur nutzen, eine Fertigungsstrasse bleibt mindestens 10 Jahre in Betrieb und in der Chemischen Industrie haben wir noch heute 20 jährige Informatik im Produktionseinsatz.

Mehr als 50% aller Feldbus-Systeme in der Automatisierungstechnik werden heute mit PROFIBUS nach IEC 61158 realisiert. Die Prognosen deuten darauf hin, dass dies auch in der Zukunft so bleiben wird. Eine Alternative stellt im Moment nur Ethernet basierte Technologie dar, die aber noch in mehrere Varianten aufgeteilt ist und mit PROFINET ein nahtloser Übergang vom PROFIBUS möglich wird.

Offenheit
Feldbusse sind auf bestimmte Anwendungen zugeschnitten. Der PROFIBUS-DP ist optimiert zur Anschaltung von Dezentraler Peripherie (DP) an eine Steuerung, der PROFIBUS-PA wurde speziell für die Prozess-Atomation (PA) entwickelt. Wenn jetzt aber Steuerungen auf einen solchen Feldbus geschaltet werden, haben Sie zusätzliche Anforderungen: Die Kommunikation soll auch zwischen den Steuerungen möglich sein. Ebenso müssen Programmier und Engineeringwerkzeuge über denselben Bus auch auf die Steuerungen zugreifen können. Die Steuerung soll über den Bus in Betrieb genommen werden können.

Diese Funktionen sind nicht weiter normiert, da die Erfahrung gezeigt hat, dass hier sich die einzelnen Steuerungsbauer sehr stark unterscheiden. Die Programmierschnittstelle ist und bleibt herstellerspezifisch. Ein Feldbus für Embedded Control muss somit mit firmenspezifischen Erweiterungen ergänzt werden können, ohne die Kompatibilität mit der Normierung zu verlieren.

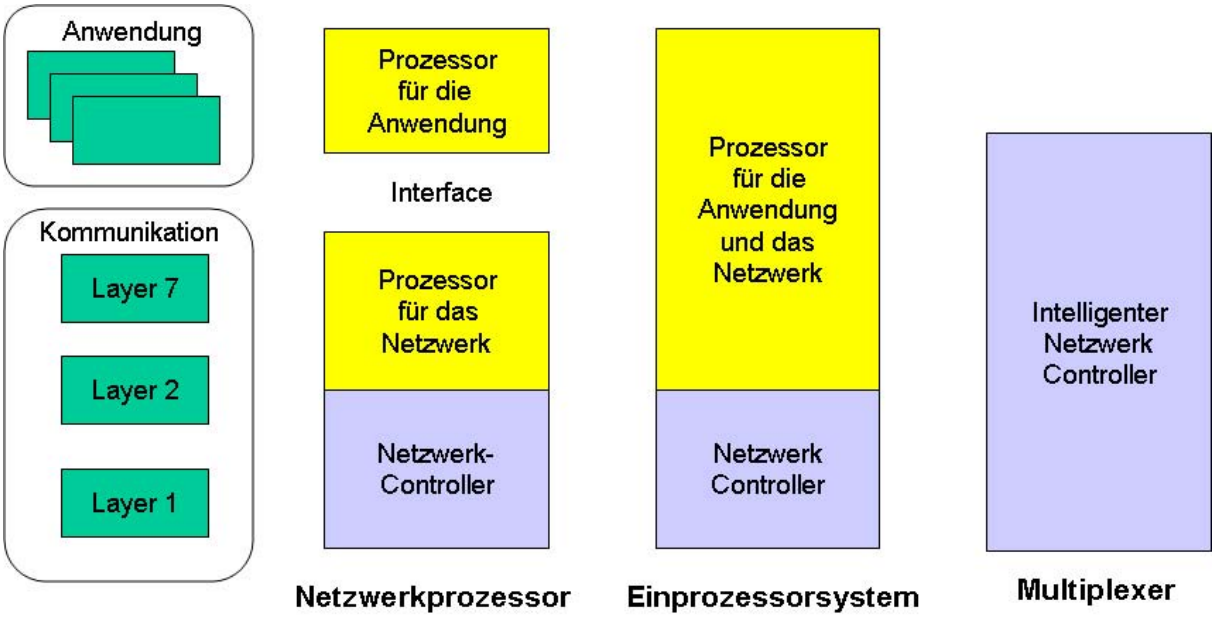
Offenheit hat verschiedene Aspekte: technische und juristische Offenheit. Die technische Offenheit bedeutet, dass wir auf die technische Dokumentation zugreifen können und eine genaue Beschreibung zugänglich ist, die für eine Implementierung verwendet werden kann. Oftmals wird die technische Offenheit heute mit internationalen Normen dokumentiert. Als Beispiel kann hier IEC 61158 dienen, wo 10 verschiedene Feldbusse für die allgemeine Automatisierung normiert sind.

Die juristische Offenheit ist viel komplexer. Wenn ein Feldbus eine internationale Norm ist, kann er trotzdem einen Patentrechtlichen Schutz umfassen, d.h. wir brauchen eine Lizenz um diese Norm in einem Produkt implementieren zu können. Die Normierungsgremien verlangen nur, dass diese Einschränkungen bei der Normierung deklariert werden, und alle Hersteller zu denselben Bedingungen eine Lizenz bekommen. Oftmals besteht eine generelle Freigabe, die sich auf die normierten Teile beschränkt, d.h. man darf den normierten Teil implementieren, aber keine herstellerspezifischen Ergänzungen vornehmen. Diese Einschränkungen gelten z.B. bei der DeviceNet und Foundation Fieldbus Technologie nach IEC 61158. Für den PROFIBUS gibt es zwar Patente von Siemens, aber keine Einschränkungen betreffend den Nutzungsrechten und Lizenzen: Es dürfen auch nur Teile der Norm implementiert werden und beliebige Ergänzungen vorgenommen werden.

© 2009 Max Felser

6.2 Geräteklassen

Es gibt grundsätzlich drei Möglichkeiten eine Busanschaltung für den PROFIBUS zu realisieren:
1. Multiplexer
2. Einprozessorsystem
3. Netzwerkprozessor



Multiplexer
Bei einer einfachen, digitalen Klemme kann ein Multiplexer eingesetzt werden. Dieser Multiplexer-Baustein übernimmt alle Protokollfunktionen des PROFIBUS. Er wandelt das PROFIBUS DP-V0 Protokoll direkt in binäre Ein- und Ausgänge um.

Das PROFIBUS Feldgerät verfügt somit über **keinen** eigenen Prozessor und **keine** Software. Für die Eingabe der Stations-Adresse und der erforderlichen Ident-Nummer werden einfache Schieberegister eingelesen.

Die Funktionalität eines Multiplexers beschränkt sich somit auf eine einfache MS0 Beziehung ohne die Möglichkeit von umfangreiche anwendungsspezifische Diagnose zu erzeugen.

Einprozessorsystem
Das Feldgerät ist mit einem Prozessor ausgerüstet. Dieser Prozessor übernimmt neben den Funktionen des Feldgerätes auch noch Aufgaben für die PROFIBUS Kommunikation. Er wird dabei von einem **PROFIBUS-Kontroller** unterstützt.

Die verfügbaren PROFIBUS-Kontroller können ähnlich wie ein Multiplexer selbständig eine MS0 Beziehung verwalten. Somit wird der Prozessor nur bei der Initialisierung dieser MS0 Beziehung und bei der Verarbeitung von zusätzlichen MS1/MS2 Beziehungen gefordert. Die restliche Prozessorleistung steht somit dem Feldgerät zur Verfügung.

PROFIBUS-Kontroller können zu den meisten Mikroprozessoren verwendet werden. Die Software zur Ansteuerung dieser Kontroller ist oftmals kostenlos oder gegen eine geringe Gebühr im Quellcode erhältlich. Für die notwendige Software für die MS1/MS2 Funktionen sind Lizenzen erhältlich.

Einprozessorsysteme können mit diskreten Prozessoren und PROFIBUS-Kontroller aufgebaut werden oder gemeinsam in einem Baustein sein. Somit ist es auch hier möglich ein Feldgerät mit einem "System-on-Chip" zu realisieren.

Netzwerkprozessor
Sobald die Anwendung nicht mit einem beschränkten Anteil der verfügbaren Prozessorleistung realisiert werden kann, ist es sinnvoll für den PROFIBUS neben dem Prozessor für die Anwendung einen zusätzlichen Netzwerkprozessor ein zu setzen.

Dies ist typischerweise für Master der Klasse 1 der Fall, wo die Funktionen der Steuerung auf einem vom

© 2009 Max Felser

PROFIBUS getrennten Prozessor realisiert werden. Aber auch bei Feldgeräten wird diese Lösung gewählt, wenn z.B. die PROFIBUS-Anschaltung nachträglich in das Feldgerät eingebaut werden soll und die Schaltung nicht verändert oder nicht angepasst werden kann.

Als Netzwerkprozessoren können Einprozessorbauteile oder ganze Baugruppen beschafft werden. Diese Baugruppen sind z.B. PCI-Karten für den PC oder Auf- oder Einsteckmodule für die unterschiedlichsten Schnittstellen und Bauformen.

6.3 Bauformen

Wir haben ein Feldgerät und wollen einen Anschluss für den PROFIBUS. Dazu müssen verschiedene Fragen geklärt werden, damit eine optimale Lösung für die Realisierung der Anbindung gefunden werden kann.

Die wichtigsten Fragen sind:

Wie viele Produkte mit einem PROFIBUS Anschluss sollen verkauft werden?

Die Stückzahlen bestimmen wie viel Entwicklungsaufwand amortisiert werden kann. Damit wird auch eingeschränkt, welche Stufe der Fertigprodukte eingekauft werden soll.

a) weniger als ein paar hundert Produkte pro Jahr
→ damit stehen vorgefertigte Baugruppen im Vordergrund

b) mehr als ein ein paar hundert Produkte pro Jahr
→ damit steht ein Eigenbau mit Bauteilen im Vordergrund

c) mehr als ein paar tausend Produkte pro Jahr
→ neben der Lösung mit Bauteilen könnte eine eigene Entwicklung sinnvoll sein

Welcher Funktionsumfang soll unterstützt werden?

a) Minimale Funktionen (DP-V0)
Alle Feldgeräte müssen zumindest eine MS0 Beziehung unterstützen. Dies wird als DPV0 bezeichnet.

b) Erweiterte Funktionen (DP-V1)
Zusätzlich sollen MS1/MS2 Beziehungen für das Lesen und Schreiben von Variablen unterstützt werden. Optional kommt die Verarbeitung von Alarmen dazu.

Wichtig ist dabei, ob die Hardware auch MBP oder nur MBP unterstützen soll! Dies stellt ganz andere Anforderungen an die Komponenten, insbesondere wenn auch noch Exx i unterstützt werden soll.

c) Optimierte Funktionen (DP-V2)
Zu diesem optimierten Funktionen nach DP-V2 gehört der Isochrone Zyklus, die Zeitsynchronisation und der Querverkehr. Alle diese Erweiterungen brauchen die Unterstützung der Hardware und sind somit nicht nur mit Software erweiterbar. Insbesondere beim Isochronen Zyklus müssen die Synchronisationsimpulse mit einem PLL synchronisiert werden.

6.3.1 Baugruppen

Von verschiedenen Herstellern werden Baugruppen mit PROFIBUS Schnittstellen zur Verfügung gestellt.

Serielle Schnittstellenwandler
Das Feldgerät besitzt schon eine serielle Schnittstelle, und der Prozess verlangt keine kurzen Antwortzeiten. In diesem Fall ist der Einsatz eines seriellen Schnittstellenwandlers sinnvoll.

Ein Modul, oftmals geeignet für die direkte Montage in einem Schaltschrank oder direkt im Feld, macht eine Umwandlung des PROFIBUS Protokoll in ein serielles Protokoll wie z.B. MODBUS. Die Entwicklungskosten sind sehr klein und die Lösung ist sofort funktionsbereit.

Einsteckmodule
Verschiedene Hersteller bieten Module an, die das ganze PROFIBUS Protokoll abarbeiten. Diese Module

© 2009 Max Felser

verfügen über serielle oder parallele Schnittstellen und werden oftmals mit derselben Schnittstelle auch für andere Busprotokolle angeboten. Geräteseitig muss oftmals eine Integration dieser herstellerspezifischen Schnittstelle in das Feldgerät vorgenommen werden.

Diese Module sind interessant für Lösungen mit kleinen Stückzahlen für unterschiedliche Bussysteme.

Aufsteckmodule
Das selbe Prinzip wird bis zu den kleinstmöglichen Bauformen angeboten, wo die ganze Busanschaltung den Umfang eines grossen Bausteines annimmt.

HART Transmitter für die Prozessautomation
Für die Prozessautomation sind auch Module verfügbar, die das PROFIBUS-PA Protokoll in ein HART Protokoll umformen. Dabei sind Klemmen auf dem Markt verfügbar, die das PROFIBUS-PA Protokoll umformen und direkt im Feld eingesetzt werden können. Für die Integration in einem Messumformer sind Einbaukarten verfügbar, die in einen Messumformer integriert werden können.

6.3.2 Bauteile

Von verschiedenen Hersteller werden technologische Komponenten für die Erstellung eines PROFIBUS Anschlusses zur Verfügung gestellt. Für die Auswahl eines ASICs können wir die folgenden Merkmale unterscheiden:

1. Einsatz als DP-Master oder als DP-Slave (vergleiche Stationen)?
2. Interner, externer oder kein Prozessor (vergleiche Geräteklassen)?
3. MBP oder RS-485 Übertragung?

Einfache Multiplexer für Klemmen

Solche Bausteine mit bis 40 digitalen Ein- und Ausgängen werden von unterschiedlichen Herstellern angeboten. Sie arbeiten das ganze MS0 Protokoll selbständig ab und brauchen keinen Prozessor und somit auch keine Software. Hier ein paar Beispiele:

Bezeichnung	Hersteller	Kurzbeschreibung
LSPM2	Siemens	DP-V0 Protokoll in Hardware
VPCLS2	Profichip	Kompatibel zum LSPM2

PROFIBUS-Kontroller
Ein PROFIBUS-Kontroller verarbeitet einen wesentlichen Teil des PROFIBUS DP-V0 Protokolls selbständig und entlastet so einen Prozessor. Dies ist für eine Bitrate von 12 MBit/s zwingend notwendig. Diese ASICs werden in den Speicherbereich eines Prozessors geschaltet, d.h. sie werden wie einen externen Speicher RAM über den parallelen Prozessor-Bus angeschaltet. Wir unterscheiden in der nachstehenden Tabelle von Beispielen unterschiedliche Leistungsmerkmale:

(MS0) Unterstützt MS0 Beziehungen (DP-V0) als Slave
(M) Kann auch als Master eingesetzt werden
(MS1) Kann mit Software für MS1/MS2 Beziehungen (DP-V1) ausgerüstet werden
(ISO) Unterstützt auch Isochrone Zyklen mit einem PLL
(MBP) Kann auch mit einer MBP Schnittstelle ausgerüstet werden
(ser) Unterstützt auch eine serielle Schnittstelle zum Prozessor

Bezeichnung	Hersteller	(MS0)	(M)	(MS1)	(ISO)	(MBP)	(ser)
SPC3	Siemens	x					
SPC42	Siemens	x		x		x	
ASPC2	Siemens	x	x	x	x		
VPC3+C	Profichip	x		x			
VPC3+S	Profichip	x		x	x		x
VPC3+	Profichip	x		x			

© 2009 Max Felser

Bezeichnung	Hersteller	(MS0)	(M)	(MS1)	(ISO)	(MBP)	(ser)
FIND1		1)				x	

1) der FIND Baustein enthält nur das Framing der Telegramme und verarbeitet somit das PROFIBUS Protokoll in der Software. Diese Lösung ist somit nur für langsame Feldgeräte der Prozessautomation sinnvoll. Dabei kann eine HW gebaut werden, die auch das FF Protokoll abarbeiten kann.

Netzwerk-Prozessor
Ein Netzwerk-Prozessor enthält in einem Bauteil einen Mikroprozessor und den PROFIBUS-Kontroller und ist somit geeignet für den Aufbau eines Einprozessorsystems oder leistungsfähigen Netzwerkanschaltung. Hier ein paar Beispiele von Produkten auf dem Markt:

Bezeichnung	Hersteller	Mikroprozessor	PB-Kontroller	Bemerkungen
DPC31	Siemens	8032	SPC3	+ (MS1)(MBP)
EC1	Hilscher	80186	ASPC2	
NetX xx	Hilscher	ARM9	microCode	
ProfiCore	ADESCOM	beliebig	FPGA wie DPC31	1)
MC68360MC5	Freescale	MC68360	Microcode	2)

1) der ProfiCore ist ein FPGA IP-Core mit den Funktionen des DPC31, der mit einem beliebigen Prozessor in einem FPGA kombiniert werden kann.
2) dieser kostenlose Microcode verarbeitet das Framing von PROFBUS Telegrammen bis zu einer Bitrate von 1,5 MBit/s. Damit können auch Master programmiert werden.

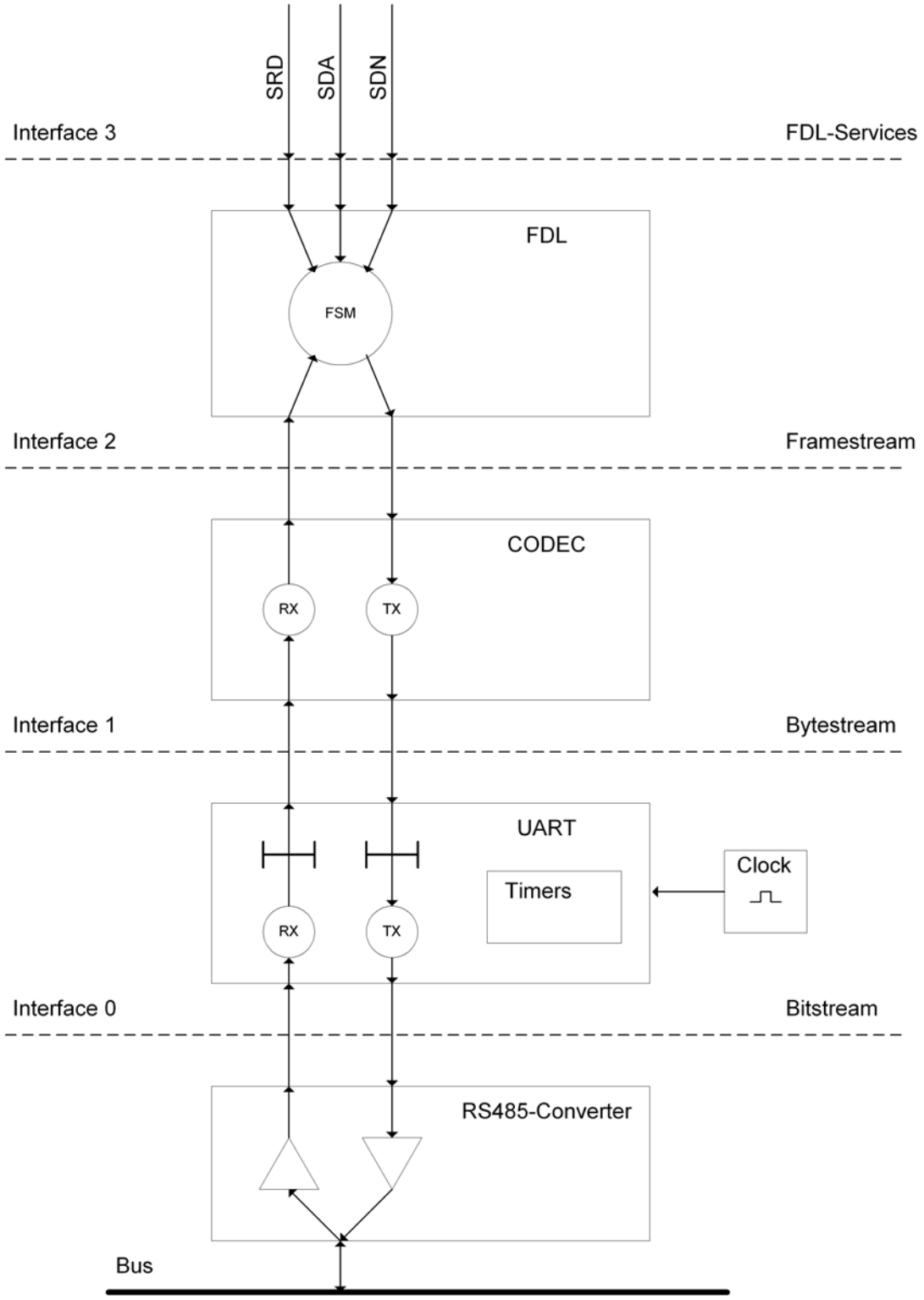
6.3.3 Eigenbau

Wie kann man selber eine PROFIBUS Anschaltung entwickeln?

Damit die unterschiedlichen Implementierungsmöglichkeiten besser aufgezeigt und ausgenutzt werden können, wird der Teil des PROFIBUS-FDL (FDL = Fieldbus Data Link) hier in einzelne Module zerlegt.

Systemstruktur
Die Struktur des Systems hat folgenden Aufbau:

© 2009 Max Felser



Das Modul FDL
Im Modul FDL (FDL = Fieldbus Data Link) werden die Dienstleistungen der Kommunikation bereitgestellt. In der Norm sind diese Zustandsmaschinen (FSM = Final State Maschine) abschliessend, und in der neuen IEC 61158 auch formal vollständig definiert

Für einen Master (mit Initiator und/oder Responder Funktion) muss diese Zustandsmaschine vollständig implementiert werden. Für einen Slave (nur Responder Funktion) müssen nur die Zustände 0 (Off) und 10 (P Idle) implementiert werden, d.h. der Funktionsblock ist praktisch leer.

Die Zustandsmachine ist zeitabhängig, d.h. einzelne Zustandsübergänge werden durch die Zeit bestimmt. Diese Zeit kann aber in einem grossen Rahmen durch Parameter verstellt werden, so dass auch langsame

© 2009 Max Felser

Implementationen noch normgerecht möglich sind. Die Grenzen werden aber hier durch die praktische Einsetzbarkeit gegeben.

Das Modul CODEC
Im Modul CODEC werden aus den Nutzdaten die Telegramme zum Senden gebildet und die ankommenden Telegramme decodiert und auf Übertragungsfehler kontrolliert. Fehlerhafte Telegramme werden weggeworfen. Ebenso finden wir in diesem Block den Adressfilter, d.h. nur Telegramme mit der physikalischen Adresse der Station werden weiter ausgewertet. Die Telegramme werden aufgrund des Funktionscodes dem richtigen SAP übergeben.

Diese Rahmenbildung (Framing) ist zeitkritisch, d.h. es müssen bestimmte Bedingungen zwingend eingehalten werden:
- Schlupflose Übertragung und Synchronisation
- Antwortverzögerung (Station Delay of Responder)

Schlupflose Übertragung und Synchronisation
Damit der Beginn eines Telegrams genau definiert und festgestellt werden kann, wird eine Schlupffreie Übertragung gefordert d.h. die einzelnen UART Zeichen eines Telegramms müssen ohne Pause übertragen werden. Nach dem Stop-Bit folgt direkt das Start-Bit des nächsten Zeichen. Der Beginn eines Telegramms wird mit einer Pause grösser 33 Bit, d.h. mit mindestens drei Zeichen Abstand signalisiert.

Die ersten Implementierungen des PROFIBUS waren hier noch sehr tolerant, d.h. auch innerhalb eines Telegrammes haben sie Pausen akzeptiert, wenn diese Pausen die 33 Bit nicht überschreiten. Neuere ASICs sind hier sehr strickt und verwerfen Telegramme, die einen Schlupf aufweisen. Somit muss bei der Implementierung das Zusammenwirken des Framing und des Rx/Tx Teiles sehr eng sein und die Zeitverhältnisse müssen genau kontrolliert werden.

Antwortverzögerung
Mit der TSDR (SDR = Station Delay of Responder) wird vorgeschrieben, in welchen Zeiten der Responder einem Initiator frühestens (minTSDR) und spätestens (maxTSDR) eine Antwort zustellen muss.

Die maxTSDR kann durch den Anwender fast beliebig gross gemacht werden. Somit können auch langsame Softwarelösungen realisiert werden. In der Praxis wird die Systemreaktionszeit mit der Slot Time durch den langsamsten DP-Slave bestimmt, darum werden in der Norm enge Grenzen für max TSDR empfohlen.

Für DP-Slave werden die folgenden Zeiten für TSDR als Defaultwerte empfohlen:

Bitrate in kBit/s	**9.6**	**19.2**	**93.75**	**187.5**	**500**	**1500**	**12000**
TSDR min.	11	11	11	11	11	11	11
TSDR max.				<=60	<=100	<=150	<= 800
Mischbetrieb (FMS/DP)	30	60	125	250	255		

Der Master (oder Initiator) muss innerhalb der TRDY (Ready Time) bereit sein, die Antwort des Responder zu empfangen. Bei den oben aufgeführten Werten muss er somit eine TRDY von weniger als 11 Tbit aufweisen. Die erhöhten Werte des min TSDR werden im Mischbetrieb nötig, damit auch mit SW realisierten "alten" FMS-Knoten den neueren mit ASIC realisierten DP-Slave folgen können und die Stationen korrekt erkannt werden. Praktische Messungen haben gezeigt, dass dies z.B. bei der Live-List zu Problemen führt, d.h. der Master kann trotzdem nicht alle Slave erkennen da nicht alle ASICs die minTSDR für alle Dienste korrekt anpassen.

Das Modul UART
In diesem Block UART (= Universal Asynchronous Receiver Transmitter) werden die einzelnen Zeichen gesendet und empfangen. Sie werden dazu mit einem Start-Bit, einer Parität und einem Stop-Bit versehen.

Damit der Empfänger die einzelnen Bits richtig erkennen kann, braucht er einen Clock, der mindestens 4x Grösser als die Bitrate ist. Nur mit einem solchen Clock kann der korrekte Pegel in der Mitte der Bitdauer mit einer minimalen Toleranz festgestellt werden.

Für Slaveanschaltungen ist es üblich, hier noch eine Bitratenerkennung anzufügen. Eine Bitratenerkennung funktioniert nach dem folgenden Prinzip:

Ein Timer überwacht die Kommunikation. Wenn ein korrektes Zeichen (Parität und Stop-Bit) empfangen wird, wird der Timer zurückgesetzt. Wenn der Timer abläuft wird eine neue Bitrate eingestellt. Immer

© 2009 Max Felser

wenn zwei fehlerhafte Zeichen eingetroffen sind, wird die Bitrate um eine Stufe verstellt bis richtige Zeichen erkannt werden können.

Die automatische Bitratenerkennung muss nicht zwingend eingebaut werden.

Zeitanforderungen
Die Anforderungen an die Ausführungszeit sind für die einzelnen Module sehr unterschiedlich und sollen hier etwas zusammengestellt werden.

Es sind dazu die folgenden Berechnungen und Abschätzungen gemacht worden:

Rx/Tx Block:
Das NRZ-Datensignal muss mit einem mindestens 4 mal grösseren Clock als die Bitrate abgetastet werden (Kommerzielle UART verwendet in der Regel einen 16x grösseren Clock als die Bitrate).

Framing:
Alle 11 Bit erreicht diesen Block ein neues Zeichen.

Responder:
Die Antwort sollte spätestens nach maxTSDR bereitstehen.

Initiator:
Der Initiator muss nach maximal minTSDR, d.h. nach TDRY bereit sein, die Anwort des Responders zu empfangen.

Für einzelne Bitraten gelten somit die folgenden Zeiten:

Bitrate (Tbit)	9.6 kBit/s (104ms)	187,5 kBit/s (5,3ms)	1.5 Mbit/s (0,66 ms)	12 Mbit/s (0,083ms)
Clock im Tx/Rx	> 38,4 kHz (<26 ms)	>0,75 MHz (<1,3 ms)	> 6 MHz (< 0,166ms)	> 48 MHz (<0,02ms)
Clock im Framing	>872 Hz (<110 ms)	>17 kHz (<58 ms)	> (7,3 ms)	> 4 MHz (<0,9 ms)
Responder	< 30 Tbit (< 3 ms)	< 60 Tbit (< 320 ms)	< 150 Tbit (< 100ms)	< 800 Tbit (< 66 ms)
Initiator	11 Tbit (110 ms)	11 Tbit (58 ms)	11 Tbit (7,3 ms)	11 Tbit (0,9 ms)

Wenn wir davon ausgehen, dass 10 bis 20 Instruktionen eines Mikrokontrollers mindestens 50 ms benötigen erkennen wir die möglichen Grenzen einer Realisierung in Software. Wenn für die Bearbeitung einer Aufgabe weniger als 50 ms zur Verfügung stehen, ist eine Realisierung in Hardware anzustreben.

Realisierungen
Um den PROFIBUS-FDL zu realisieren können verschiedene Technologien eingesetzt werden.

Software
Bei der Realisierung in Software steht die Programmierung mit C (möglichst unabhängig von einem Prozessor) im Vordergrund. Das beschränkende Element ist hier die mögliche Verarbeitungsgeschwindigkeit.
Beim Einsatz von modernen Compilern ist nicht damit zu rechnen, dass eine wesentliche Beschleunigung der Abarbeitungszeiten durch eine Programmierung in Assembler erreicht werden kann. In der Praxis wird heute auch bei zeitkritischen Anwendungen 90 bis 95% des Codes in C und nur ein kleiner Rest in Assembler geschrieben.

Für die Realisierung von PROFIBUS-FDL hat Software den Vorteil, dass schnelle Entwicklungszyklen realisiert werden können und flexibel auf neue Anforderungen reagiert werden kann. Dies ist insbesondere in einem frühen Projektstand von Vorteil.

Für erste Versuche sind die beschriebenen Module in C auf der seriellen Schnittstelle unter Windows NT realisiert worden. Als Einschränkung wurde das Modul FDL nur als single-Master, d.h. ohne Token-pasing implementiert. Die pratischen Tests haben gezeigt, dass diese Schnittstelle bis zu 19200 Bit/s eingesetzt werden kann.

Für industrielle Steuerungen sind diese Protokolle inklusive Token-passing in einem Mikrocontroller realisiert worden. Messungen haben gezeigt, dass Bitraten bis zu 187,5 kBit/s mit dem im Mikrokontroller

© 2009 Max Felser

eingebauten UART ohne weiteres erreicht werden können. Für eine weitere Beschleunigung bis 1,5Mbit/s muss ein entsprechend leistungsfähiger UART eingesetzt werden.

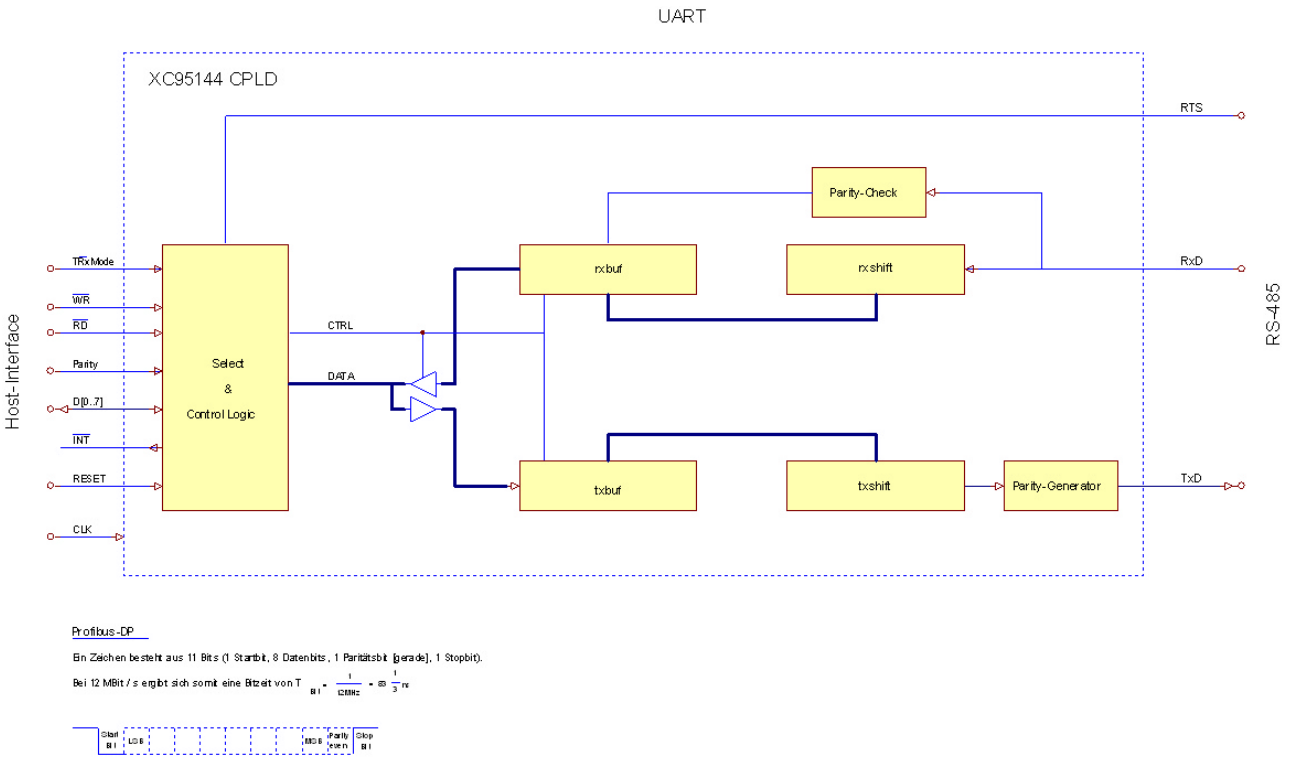
Hardware

Für den PROFIBUS stehen heute verschiedene ASICs mit fest eingebauten Funktionen zur Verfügung. Eine gewisse Anzahl dieser ASICs verfügt auch über eine PROFIBUS-FDL Schnittstelle. Für eine Kostengünstige Alternative ist aber die Frage, wieweit sich die einzelnen Module auch als Hardware nachbilden lassen.

Die Realisierung einer Hardware erfolgt heute am zukunftssichersten mit einer Beschreibung mit VHDL (V Hardware Descrition Language). Die Beschreibungen einer Hardware in VHDL können anschliessend wahlweise in einen FPGA oder bei genügenden Stückzahlen in einem ASIC realisiert werden.

VHDL erlaubt auch eine prozedurale Beschreibung, die einer Realisierung in C sehr nahe sein kann. Mit dem Einsatz eines FPGA können auch kurze Entwicklungszyklen realisiert werden. Die grösste Anforderung an die Entwicklung in VHDL ist aber ein systematischer Test der definierten Funktionen.

Für die Überprüfung der Machbarkeit ist das Modul UART für eine Bitrate von 12 Mbit/s in ein CPLD mit VHDL realisiert worden. In einfachen Funktionstests ist die korrekte Funktion überprüft worden. Somit ist es Grundsätzlich möglich auch eine reine Softwarestruktur mit diesem UART bis 12 Mbit/s zu realisieren.



Hybride Lösungen

In der Praxis werden hybride Lösungen am meisten eingesetzt. Die schnellen Blöcke werden in Hardware realisiert und die komplexen „langsamen“ Funktionen in Software. Die Kunst ist es, für jedes Anforderungsprofil die richtige Schnittstelle und Aufteilung zu finden.

Eine modulare Struktur und definierte Schnittstellen zwischen den verschiedenen Blöcken erlauben den Aufbau von Systemen mit unterschiedlichen Eigenschaften. Eine mögliche Struktur ist in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Bit rate	**< 187.5 kBit/s**	**< 1.5 MBit/s**	**< 12 MBit/s**
Rx/Tx Block	HW	HW	HW
Framing Block	SW	HW	HW
MAC/SAP Block	SW	SW	HW

Die erste Lösung läuft schon auf einer Standard-HW (mit UART). Somit ist es möglich eine Realisierung zu finden, die ohne zusätzliche Hardware auskommt. Es ist Grundsätzlich möglich, jede serielle Schnittstelle

© 2009 Max Felser

auf einer Steuerung mit diesem Protokoll auszurüsten, ohne zusätzliche Hardwarekosten. Der einschränkende Punkt ist hier die zur Verfügung stehenden Softwareresourcen punkto Prozessorleistung und Speicher.

Andere Baudraten können mit einem „normalen“ UART nur eingestellt werden, wenn spezielle Quarze eingesetzt werden. Dies wird in der praktischen Realisierung die einschränkende Grösse sein. Es ist im Detail zu prüfen, wieweit die Bitraten 45,45 und 93,75 kBit/s bei der vorhandenen Hardware eingestellt werden können und welches die Einschränkungen bei der Prozessorlast sein werden.

Die zweite Lösung kann mit einem FPGA oder CPLD realisiert werden. Es ist dabei anzustreben, dass eine Lösung gefunden wird, die möglichst in allen Steuerungen in der gleichen Konfiguration eingesetzt werden kann. Damit können grosse Stückzahlen erreicht werden und somit die Chipherstellkosten reduziert werden.

Bei der dritten Lösung ist nicht sicher, dass die geforderte Komplexität der Hardwarebausteine die Auswahl von kostengünstigeren Bausteinen erlaubt, als heute fix-fertige ASICs auf dem Markt verfügbar sind. Die geforderten Funktionen sind so umfangreich und komplex, dass FPGA in der Preislage von klar über 30 CHF eingesetzt werden müssen.

Schlussfolgerungen
Wer einen Feldbus einsetzen will, verwendet Grundsätzlich vorhandene Bausteine und baut so seine Feldbusanschaltung auf. Dies ist der übliche Weg. Wir haben hier gezeigt, dass es spezielle Anforderungen gibt, die es wünschenswert erscheinen lassen, dass der Aufbau der Anschaltung vollständig kontrolliert und selber aufgebaut wird. Unter diesen Voraussetzungen wird es möglich, Feldbusanschaltungen, insbesondere für spezielle Anwendungsfelder, kostengünstig zu realisieren.

© 2009 Max Felser

Index

- A -

AMPROLYZER 18
Anprechüberwachung 103
ASICs 149
ASP (Active Space) 127
azyklischer Datenaustausch 131

- B -

Baugruppen 148
BT200 46
  Installationskontrolle 48
  Kabelkontrolle 47
Busparameter 79
Buszykluszeit 124

- C -

Cfg_Fault 115
Check_Cfg_Mode 105
CV (Function Code) 89

- D -

Data Exchange Broadcast 123
Datenaustausch
  äquidistant 127
  azyklisch 131
  direkt 123
  isochron 128
  zyklisch 118
Decodierungstabellen 130
DH (Function Code = Data High) 89
Diagnose-Repeater 40
direkter Datenaustausch 123
DL (Function Code = Data Low) 89
DP/PA Link 54
DP/PA Segmentkoppler 53
DP-Master
  Klasse 1 2
  Klasse 2 2
  Klasse 3 77
DP-V0 Telegramme
  Chk Configuration 112
  Data_Exchange 118
  Get Configuration 112
  Global_Control 120
  Set_Parameter 103
  Set_Slave_Adr 102
  Slave_Diagnosis 114
DP-V1 6
DP-V1 Telegramme 133
  DPV1_Abort 141
  DPV1_Initiate 140
  DPV1_Read 135, 142
  DPV1_Write 135, 142
DP-V2 6
DSAP (Destination Service Access Point) 90

- E -

ED (End Delimiter) 87

- F -

FC (Fast Connect) 32
FCB (Frame Count Bit) 89, 96
FCS (Frame Check Sequence) 92
FCV (Frame Count Valid) 89
FDL Dienste 75
  CS (Clock Synchronisation) 77
  CSRD (Clyclic Send and Request Data) 76
  MSRD (Send Request Data with Multicast Reply) 76
  SDA (Send Data with Acknowledge) 75
  SDN (Send Data with No acknowledge) 75
  SRD (Send and Request Data) 76
FO (Fiber-Optics) 58
Freeze_Req 103

- G -

GSD Datei Schlüsselwort
  Alarm_Sequence_Mode_Count 137
  Alarm_Type_Mode_supp 137
  C1_Max_Data_Len 135
  C1_Read_Write_required 135
  C1_Read_Write_supp 135
  C1_Response_Timeout 135
  Check_Cfg_Mode 105
  Diagnostic_Alarm_supp 137
  DPV1_Data_Types 108
  DPV1_Slave 104, 135
  End_Physical_Interface 24
  Ext_Module_Prm_Data_Len 107
  Ext_User_Prm_Data_Const 106
  Extra_Alarm_SAP_supp 137
  ExtUserPrmData 106
  Fail_Safe 119
  Freeze_Mode_supp 121
  GSD_Revision 11
  Ident_Number 11, 12
  Isochron_Mode_required 128
  Isochron_Mode_supp 128
  Manufacturer_Specific_Alarm_supp 137
  Max_Data_Len 110
  Max_Input_Len 110
  Max_Module 110
  Max_Output_Len 110
  Max_User_Prm_Data_Len 106
  Model_Name 11

© 2009 Max Felser

GSD Datei Schlüsselwort
Modular_Station 110
Module 110
Physical_Interface 24
PrmText 106
Process_Alarm_supp 137
Protocol_Ident 11
Publisher_supp 123
Pull_Plug_Alarm_supp 137
Reaction_Delay 24
Revision 11
Revision_Number 11
Set_Slave_Add_supp 102
Stations_Type 11
Status_Alarm_supp 137
Subscriber_supp 124
Sync_Mode_supp 121
T_PLL_W_MAX 128
TBASE_DP 128
TBASE_IO 128
TDP_MAX 128
TDP_MIN 128
TI_MIN 128
TO_MIN 128
Transmission_Delay 24
Update_Alarm_supp 137
User_Prm_Data 106
User_Prm_Data_Len 106
Vendor_Name 11
WD_Base_1ms_supp 104
GSD Editoren 17

- H -

HCS (Hard Cladded Fiber) 61

- I -

I&M Funktionen 133
Ident Number 12

- K -

Kabeltester 45
BT200 46
NetTEST II 49
Topology 51

- L -

Live-List 82
LWL (Lichtwellenleiter) 58
Distanzen 61
Echobetrieb 59
Fasertypen 61
Medienredundanz 64
Stecker 62
Sternkoppler 63
LWL-Konverter 60

- M -

Master
Klasse 1 2
Klasse 3 77
Master Simulatoren 19
ProfiCaptain 20
PROFItester 20
MBP Übertragung 52
Busabschluss 56
Koppler 53
Link 54
Stichleitungen 55
Mehrfacher-Repeater 39
minTSDR 93, 104
MSRD (Send Request Data with Multicast Reply)
Function Code 89
Service 76
Multiplexer 147

- N -

NetTEST II 49
Installationskontrolle 50
Kabelkontrolle 49
Normen
DIN 19245 7
EN 50170 7
IEC 61158 8
IEC 61784 8
NR (Function Code = No Response) 89

- O -

OLM (Optical Link Modul) 60

- P -

PCF (Polymer Cladded Fiber) 61
PDU (Protocol Data Unit) 87
Potentialausgleich 69
ProfiCaptain 20
Installationskontrolle 21
PROFItester 20
ProfiTrace 18
PSP (Passive Space) 127
Publisher 76, 123

- Q -

Querverkehr 123

- R -

Repeater 38
Diagnose-Repeater 40

© 2009 Max Felser

Repeater 38
Mehrfacher-Repeater 39
RR (Function Code) 89
RS (Function Code) 89
RS 485 Norm 72
RS 485 Übertragung
Busabschlüsse 28
Elektrische Pegel 26
Kabellängen 31
Stichleitungen 30

- S -

SAP (Service Access Point) 90
SC (Short Confirmation) 87
ScopeWare 51
SD2 (Start Delimiter 2) 87
SD4 (Startdelimiter 4 = Token) 87
SDA (Send Data with Acknowledge) 75
SDA_HIGH (Function Code) 89
SDA_LOW (Function Code) 89
SDN (Send Data with No acknowledge) 75
SDN_HIGH (Function Code) 89
SDN_LOW (Function Code) 89
Signalkontrolle 45
ScopeWare 51
SRD (Send and Request Data) 76
SRD_HIGH (Function Code) 89
SRD_LOW (Function Code) 89
SSAP (Source Service Access Point) 90
Subscriber 76, 124
SYN (Synchronisationspause) 92
Sync_Req 103

- T -

TE (Function Code) 89
Token-Frame 87
Tokenumlaufzeit 84
Topology 51
TSDR (Station Delay of Responder) 93

- U -

UART 86
UE (Function Code = User Error) 89

- W -

Watchdog 103

- Z -

zyklischer Datenaustausch 118
Zykluszeit 124

© 2009 Max Felser