PROFINET

Planungsrichtlinie

Guideline

for PROFINET

Version 1.59 – Date 30. Jan, 2025

Order No.: 8.061

File name : PROFINET_Planungsrichtlinie_8061_V159_Jan_25.docx

Prepared by PI Working Group PG3 “Installation Guides PROFIBUS and PROFINET” in Committee B.

NOTICE:

The information contained in this document is subject to change without notice. The material in this document details a PNO specification in accordance with the license and notices set forth on this page. This document does not represent a commitment to implement any portion of a PNO specification in any company's products.

The attention of adopters is directed to the possibility that compliance with or adoption of PNO specifications may require use of an invention covered by patent rights. PNO shall not be responsible for identifying patents for which a license may be required by any PNO specification, or for conducting legal inquiries into the legal validity or scope of those patents that are brought to its attention. PNO specifications are prospective and advisory only. Prospective users are responsible for protecting themselves against liability for infringement of patents.

WHILE THE INFORMATION IN THIS DOCUMENT IS BELIEVED TO BE ACCURATE, PNO MAKES NO WARRANTY OF ANY KIND, EXPRESS OR IMPLIED, WITH REGARD TO THIS DOCUMENT INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO ANY WARRANTY OF TITLE OR OWNERSHIP, IMPLIED WARRANTY OF MERCHANTABILITY OR WARRANTY OF FITNESS FOR PARTICULAR PURPOSE OR USE.

In no event shall PNO be liable for errors contained herein or for indirect, incidental, special, consequential, reliance or cover damages, including loss of profits, revenue, data or use, incurred by any user or any third party. Compliance with PNO specifications does not absolve manufacturers, from the requirements of safety and regulatory agencies (TÜV, BIA, UL, CSA, etc.).

USE OF TRADEMARKS:

PNO is the owner of several registered trademarks, such as PROFIBUS®, PROFINET®, omlox®, IO-Link®, MTP® and others. More detailed terms for the use can be found on the web page www.profibus.com. Please select buttons "Downloads / Presentations & logos". In some cases, PNO is the licensee of registered trademarks owned by third parties and which may be relevant in regard with products compliant to this document.

PNO shall always be the sole entity that may authorize developers, suppliers and sellers of hardware and software to use certification marks, trademarks or other special designations to indicate compliance with a PNO specification. Products developed using a PNO specification may claim compliance or conformance with a PNO specification only if the hardware and/or software satisfactorily meets the certification requirements set by PNO. Products that do not meet these requirements may claim only that the product was based on a PNO specification and must not claim compliance or conformance with a PNO specification.

COPYRIGHT

Copyright © 2025 PROFIBUS Nutzerorganisation e.V.

Any unauthorized use of this publication may violate Copyright Law, Trademark Law and other legal regulations. This document contains information which is protected by Copyright. No part of this work covered by Copyright herein may be reproduced or used in any form or by any means -graphic, electronic, or mechanical, including photocopying, recording, taping, or information storage and retrieval systems--without permission of the publisher.

Publisher:
PROFIBUS Nutzerorganisation e.V.
Ohiostrasse 8
76149 Karlsruhe
Germany
Phone: +49 (0) 721 / 986 197 0
Fax: +49 (0) 721 / 986 197 11
E-Mail: info@profibus.com
Website: www.profibus.com

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

LICENSE AGREEMENT

1. License

1.1 Subject of this license agreement is this document issued by the Licensor, in electronic form. If applicable, also software may be provided.

1.2 The user of this document (Licensee) acquires the license solely from PROFIBUS Nutzerorganisation e.V., having its principal place of business in Karlsruhe, Germany (hereinafter referred to as “Licensor”).

1.3 This document is not an industrial standard acknowledged by any standardization body or otherwise and may be further enhanced.

2. Rights and Duties of Licensee

2.1 Licensor hereby grants to Licensee the right to use this document exclusively for developing and supporting products compliant with this document. Licensee may copy this document for this purpose and for data backup purposes.

2.2 Licensee shall not be entitled to modify, decompile, reverse engineer or extract any individual parts of this document, unless this is permitted by mandatory Copyright Law. Furthermore, Licensee shall not be entitled to remove any alphanumeric identifiers, trademarks or copyright notices from this document and, insofar as Licensee is entitled to make copies of this document, Licensee shall copy them without alteration.

2.3 Licensee is not entitled to copy and redistribute this document to any third party, except for “Have Made” purposes. All copies must be obtained on an individual basis, directly from the website www.de.profibus.com or www.profibus.com or upon request from the Licensor.

3. Liability of Licensor

3.1 Licensor shall have no obligation to enhance the document and shall assume no liability in case the document or future versions thereof shall not be approved as an industrial standard.

3.2 Licensor’s liability for defects as to quality or title of this document, especially in relation to the correctness or absence of defects or the absence of claims or third-party rights or in relation to completeness, usability and/or fitness for purpose are excluded, except for cases involving gross negligence, willful misconduct or fraudulent concealment of a defect.

3.3 Any further liability is excluded unless required by law, e.g. in cases of personal injury or death, willful misconduct, gross negligence, or in case of breach of fundamental contractual obligations. The damages in case of breach of fundamental contractual obligations is limited to the contract-typical, foreseeable damage if there is no willful misconduct or gross negligence.

4. Place of Jurisdiction and Applicable Law

4.1 The sole place of jurisdiction shall be the principal place of business of Licensor.

4.2 All relations arising out of the contract shall be governed by the substantive law of Germany, to the exclusion of the United Nations Convention on Contracts for the International Sale of Goods (CISG).

In this specification the following key words (in **bold** text) will be used:

may: indicates flexibility of choice with no implied preference.

should: indicates flexibility of choice with a strongly preferred implementation.

shall: indicates a mandatory requirement. Designers **shall** implement such mandatory requirements to ensure interoperability and to claim conformance with this specification.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Revision Log

Version	Datum	Autor	Änderungshistorie
1.04	18.11.2010	Niemann	Finale Version
1.05	11.06.2013	Niemann	Interne Version, nicht veröffentlicht
1.06 bis 1.10	---	Niemann	Interne Versionen, nicht veröffentlicht
1.11	05.08.2014	Niemann	PoE und 4-paarige Verkabelung. Erweiterungen Performance-Betrachtungen. Umformatierung auf DIN A4
1.12	18.10.2014	Niemann	Einarbeiten Review-Kommentare
1.13	20.11.2014	Niemann	Abgleich des Änderungsstandes zwischen deutscher und englischer Version
1.14	30.12.2014	Niemann	Einarbeiten von Review Kommentaren nach Beiratsreview
1.15 bis 1.23	----	Niemann	Interne Versionen, nicht veröffentlicht
1.24	07.09.2018	Niemann	Einarbeiten von Review Kommentaren, Ergänzung Kapitel Netzwerkdokumentation. Anpassung Kapitel EMV an neue EMV-Richtlinie. Aktualisierung der Normen, Streichen Kapitel EMV und Verweis auf neue Richtlinie. Korrektur Tabelle für Kabelabstände korrigiert, fehlende Multiplikatoren aufgeführt. Beispiel ergänzt. Bilder als PNG-Grafiken eingefügt um Word-Abstürze zu beheben.
1.25	---	Niemann	Interne Version, nicht veröffentlicht
1.26	08.09.2018	Niemann	Review durch WG Leiter und letzte Änderungen vor WG-Review
1.32	01.11.2018	Niemann	Probleme mit Word Absturz bei Speichern Dokument behoben. Dokument neu angelegt. Daher keine Änderungsverfolgung möglich.
1.34	07.11.2018	Niemann	Kapitel Netzwerkdokumentation überarbeitet

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

1.35 bis 1.37	07.05.2019	Niemann	Einarbeitung von Kommentaren: Bevorzugte Verwendung von Kabeltyp B bei Vibrationseffekten, Verwendung von 1 GBit/s –Ethernet zwischen den Switches
1.38	17.09.2019	Niemann	Finalisierung für Freigabe. Ergänzung Einschränkung zu Kabelabständen.
1.39 bis 1.51	12.04.2022	Niemann	Ergänzungen für Ethernet APL, Korrektur, Bilder auf neuen Style Guide aktualisiert, Ausschluss der Haftung aktualisiert, Standards und Dokumente auf aktuelle Versionen aktualisiert. Fehler in Gerätenamen behoben (Bindestriche durch Punkt ersetzt). Kapitel 6.4 mit Unterkapiteln zum Thema Mixed Link-Speeds und Congestion-Loss neu hinzugefügt.
1.52	31.07.2022	Niemann	Korrekturlesen
1.53	23.09.2022	Niemann	Finalisierung nach WG Review für Freigabe
1.54	12.07.2024	Scholz	Ergänzungen und Änderungen für die Einführung von TSN: Analyse der Zeitanforderungen, CC-D, Auswahl der CC, Auswahl der Datenrate, Netzwerkarchitektur, Uhrzeit-Synchronisation, Anlagenbeispiele. Weitere Ergänzungen: Applikationsprofile, Grundlagen zur Netzwerktechnik, Netzwerke mit mehreren Controllern, Namensvergabe, GSD-Dateien. Funktionspotentialausgleich und Redundanz wurden durch einen Verweis auf die entsprechende Richtlinie ersetzt.
1.55	24.07.2024	Niemann	Review Version für WG
1.56 bis 1.57	07.10.2024	Niemann (Stelljes)	Korrekturarbeiten am Dokument durchgeführt. Angleichung mit engl.- Version.
1.58	01.11.2024	Niemann	Korrekturlesen, maximale Länge Glasfaser in Tabelle 3.6 und 3.11 angepasst. Kapitel Security ergänzt.
1.59	30.01.2025	Niemann	Finalisierung, Editorie lle Korrekturen, Disclaimer aktualisiert.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Inhaltsverzeichnis

1 EINLEITUNG 19

1.1 VORWORT 20

1.2 AUSSCHLUSS DER HAFTUNG 21

1.3 PNO DOKUMENTE 22

1.4 NORMATIVE REFERENZEN 26

1.5 SYMBOLERKLÄRUNGEN 29

1.5.1 Symbole zur Textstrukturierung 29

1.5.2 Symbole für Komponenten 30

1.5.3 Symbole für PROFINET Kabel 33

1.5.4 Symbole für Bereiche 35

1.6 ZUM AUFBAU DIESER RICHTLINIE 36

1.7 ZIEL DER RICHTLINIE 38

2 GERÄTEAUSWAHL 39

2.1 BESTIMMUNG UND PLATZIERUNG DER GERÄTETYPEN 41

2.2 ANALYSE DER ZEITANFORDERUNGEN DES PROZESSES 44

2.2.1 Beschreibung der PROFINET-Kommunikation 44

2.2.2 Bestimmung der Zeitanforderungen 46

2.3 DIE CONFORMANCE CLASSES 49

2.3.1 Beschreibung der Conformance Classes 49

2.3.2 Festlegung der Conformance Classes 51

2.3.3 Vorteile von TSN gegenüber RT 52

2.4 WEITERE KRITERIEN ZUR GERÄTEAUSWAHL 55

2.4.1 Applikationsprofile 56

2.4.2 Funktionale Sicherheit mit PROFIsafe 57

2.4.3 Vorgaben des Endkunden bezüglich der Geräteauswahl 58

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

2.4.4 Umweltanforderungen an das PROFINET-Gerät 59

2.4.5 Art des Anschlusses am PROFINET-Gerät 60

2.5 FESTLEGUNG DER GERÄTE 61

2.6 DOKUMENTATION DER ERGEBNISSE 62

3 BESTIMMUNG DER NETZWERKTOPOLOGIE 63

3.1 GRUNDLAGEN ZUR NETZWERKTECHNIK 65

3.2 EINSETZBARE PROFINET TOPOLOGIEN 69

3.3 AUSWAHL DER DATENRATE 73

3.4 PRIMÄRE INFRASTRUKTUR 74

3.5 EINSETZBARE ÜBERTRAGUNGSMEDIEN 75

3.5.1 PROFINET-Kupfer-Verkabelung (4-aderig, 8-aderig) 76

3.5.2 Ethernet-APL Kabel 80

3.5.3 Kabelabstände 81

3.5.4 PROFINET-LWL-Verkabelung 83

3.5.5 Auswahl der benötigten Steckverbinder 90

3.6 FESTLEGUNG DER TOPOLOGIE IN DEN FUNKTIONALEN GRUPPEN 93

3.7 LÖSEN VON WEITEREN KOMMUNIKATIONSAUFGABEN 96

3.7.1 Einordnung in die Netzwerkarchitektur 96

3.7.2 Bestimmung der weiteren Kommunikationsaufgaben 99

3.7.3 Die Lösungsmöglichkeiten für die weiteren Kommunikationsaufgaben 101

3.7.4 Festlegung der weiteren Topologie 109

3.8 ÜBERPRÜFUNG DER TOPOLOGIE 111

3.9 DOKUMENTATION DER TOPOLOGIE 111

4 PLANUNG VON ZUSATZFUNKTIONEN 112

4.1 UHRZEIT-SYNCHRONISATION 114

4.2 ERHÖHTE VERFÜGBARKEIT 117

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

4.3 NETZWERKE MIT MEHREREN CONTROLLERN 118
4.3.1 I-Device 118
4.3.2 Shared Devices 119
4.3.3 Shared Inputs 120
4.4 DRAHTLOSE ÜBERTRAGUNGSTECHNIK 121
4.5 POWER OVER ETHERNET 124
4.6 NUTZUNG VON FAST STARTUP 126
4.7 NUTZUNG EINER VORHANDENEN NETZWERK-INFRASTRUKTUR 127
4.8 PLANUNG VON ZUGANGSPUNKTEN ZUR NETZWERKDIAGNOSE 128
4.9 FESTLEGUNG DER FIRMWARE-STÄNDE UND ASSET MANAGEMENT 130
4.10 DOKUMENTATION DER ANGEPASSTEN NETZWERKTOPOLOGIE 130
4.11 SECURITY 131
5 ETHERNET-APL 132
5.1 WAS IST ETHERNET-APL? 133
5.2 MÖGLICHE TOPOLOGIEN FÜR EIN APL-SYSTEM 134
5.2.1 Alternative 1: APL-Field-Switches mit Industrial-Ethernet-Anschluss 135
5.2.2 Alternative 2: Gespeister APL-Trunk 137
6 ANLAGENBEISPIELE 139
6.1 FERTIGUNGSAUTOMATISIERUNG 141
6.2 AUTOMATISIERUNG EINER MASCHINE 142
6.3 PROZESSAUTOMATISIERUNG MIT REMOTE-I/O 143
6.4 PROZESSAUTOMATISIERUNG MIT ETHERNET-APL 144
6.5 KAMERA ALS SENSOR MIT TSN 145
6.6 DATENANALYSE UND SEQUENCE OF EVENTS MIT TSN 146
6.7 KONVERGENTE NETZE MIT TSN 148
7 PERFORMANCE BETRACHTUNGEN 150

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

7.1 DER PROFINET SENDEZYKLUS 152
7.1.1 Priorisierung von PROFINET Paketen und Switching-Verfahren 152
7.1.2 Aktualisierungszeit 153
7.1.3 Netzlast 155
7.1.4 Reaktionszeit von Verarbeitungsketten 156
7.2 PLANUNG DES IO-ZYKLUS 160
7.2.1 Planung der Aktualisierungszeiten 160
7.2.2 Festlegung der PROFINET-Kommunikationsüberwachung 162
7.3 PRÜFUNG DER NETZWERKTOPOLOGIE UNTER PERFORMANCE-ASPEKTEN 165
7.3.1 Prüfung der Linientiefe Netzwerke mit 100 Mbit/s 165
7.3.2 Überprüfung der Linientiefe für Ethernet-APL-Netzwerke 168
7.3.3 Prüfung der zyklischen Echtzeit Netzlast 169
7.3.4 Prüfung der Nicht-Echtzeit Netzlast 174
7.4 MIXED LINK-SPEEDS UND STERNTOPOLOGIE 178
7.4.1 Problembeschreibung Mixed Link-Speeds und Sterntopologie 178
7.4.2 Beispielsystem 179
7.4.3 Priorisierte Queues in Netzwerk-Switches 180
7.4.4 Congestion-Loss durch Priorisierung von Dateninformationen 181
7.4.5 Congestion-Loss am Eingang/Ausgang bei ungleicher Portanzahl 182
7.4.6 Congestion-Loss durch verschiedene Eingangs-/Ausgangs-Datenraten 183
7.4.7 Congestion-Loss in Ethernet-APL-Systemen 184
7.4.8 Zusammenfassung Congestion-Loss 186
7.4.9 Dauerhafter oder zufälliger Congestion-Loss 188
7.4.10 Planung von Maßnahmen zur Vermeidung von Congestion-Losses 189
7.5 DOKUMENTATION DER FESTLEGUNGEN 191
8 FESTLEGEN DER GERÄTEPARAMETER 192

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

8.1 NAMENSVERGABE 194
8.2 PLANUNG DER IP-ADRESSEN 196
8.3 PROFINET-ANLAGENBEISPIEL 199
9 ZUSAMMENFASSUNG 205
10 ANHANG 207
10.1 ADRESSEN 208
10.2 GLOSSAR 208
10.3 GSD-DATEIEN 209
10.4 KONFORMITÄT DES PROFINET-GERÄTENAMENS 209
10.5 DETAILS ZU PROFINET-KUPFERLEITUNGEN 211
10.6 DETAILS ZU PROFINET-LWL 223
10.7 AUSWAHL STECKVERBINDER 228
10.8 BEISPIELVERKABELUNGEN 238
10.9 AUSWAHL SWITCHES 245
10.10 FUNKTIONSPOTENTIALAUSGLEICH UND SCHIRMUNG VON PROFINET 249
10.11 PROFINET DOKUMENTATION 250
10.11.1 Dokumentationsrelevante Informationen PROFINET 250
10.11.2 Vorschlag einer Vorwärtsdokumentation 253
10.11.3 Beispiel einer Vorwärtsdokumentation PROFINET 257
10.11.4 Schwierigkeiten der Vorwärtsdokumentation im Produktlebenszyklus 272
10.11.5 Vorschlag einer Rückwärtsdokumentation bei PROFINET 274
10.11.6 Schwierigkeiten der Rückwärtsdokumentation 275
10.11.7 Anforderungen künftiger Rückwärtsdokumentationen 275
10.12 NETZLAST BERECHNUNGSWERKZEUG 276
11 STICHWORTVERZEICHNIS 281

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Struktur der Planung 36

Abbildung 2-1: Lageplan eines Anlagenbeispiels mit vorplatzierten Komponenten 41

Abbildung 2-2: Anlagenbeispiel mit räumlicher und funktionaler Gruppierung 42

Abbildung 2-3: Unterschied zwischen freilaufender und taktsynchroner Applikation 45

Abbildung 2-4: Anlagenbeispiel mit Echtzeit-Kanälen 48

Abbildung 2-5: Anlagenbeispiel mit Conformance Classes 54

Abbildung 2-6: Einsatz von PROFIsafe über PROFINET 57

Abbildung 3-1: Unterschied zwischen den Begriffen Port und Interface 65

Abbildung 3-2: Unterschied integrierter Switch und Switch als Einzelgerät 66

Abbildung 3-3: Verwendung eines Routers in PROFINET-Netzwerken 68

Abbildung 3-4: Stern-Topologie 69

Abbildung 3-5: Baum-Topologie 70

Abbildung 3-6: Linien-Topologie mit internen Switches 71

Abbildung 3-7: Ring-Topologie 72

Abbildung 3-8: Beispieltopologie für primäre Infrastruktur 74

Abbildung 3-9: Anwendung LWL-Technik bei EMI 84

Abbildung 3-10: Anlagenbeispiel mit vernetzten funktionalen Gruppen 95

Abbildung 3-11: Ein Beispiel für eine typische Netzwerkarchitektur 96

Abbildung 3-12: Anlagenbeispiel mit weiteren Kommunikationsaufgaben 100

Abbildung 3-13: Nutzung eines Gateways zur Anbindung eines Feldbusses 101

Abbildung 3-14: Direkte Verbindung von mehreren funktionalen Gruppen 102

Abbildung 3-15: Verbindung zweier funktionaler Gruppen mit PN/PN-Koppler 104

Abbildung 3-16: Verbindung von zwei Controllern über das zweite Ethernet-Interface 105

Abbildung 3-17: Anbindung an den Aggregation-Layer mit Router 106

Abbildung 3-18: Beispiele für die Anbindung von einzelnen Geräten 107

Abbildung 3-19: Anlagenbeispiel mit der vollständigen Topologie 109

Abbildung 3-20: Das Anlagenbeispiel aus Netzwerk-Sicht 110

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Abbildung 4-1: Mögliche Architektur für die Verteilung der Uhrzeitinformation 116

Abbildung 4-2: Einsatz von I-Device 118

Abbildung 4-3: Einsatz von Shared Devices 119

Abbildung 4-4: Einsatz von Shared Inputs 120

Abbildung 4-5: Einsatz drahtloser Übertragungstechnik 121

Abbildung 4-6: Topologieeinschränkung bei Power over Ethernet 124

Abbildung 4-7: Realisierung von „Fast Startup“ bei PROFINET 126

Abbildung 4-8: Auslesen von Datenströmen mittels TAP 129

Abbildung 5-1: Unterschiede zwischen Fast Ethernet und APL 134

Abbildung 5-2: Field-Switches mit Industrial-Ethernet-Anschluss 136

Abbildung 5-3: Gespeister APL-Trunk 137

Abbildung 6-1: Anlagenbeispiel Fertigungsautomatisierung 141

Abbildung 6-2: Anlagenbeispiel Maschinenautomatisierung 142

Abbildung 6-3: Anlagenbeispiel Prozessautomatisierung mit Remote-I/O 143

Abbildung 6-4: Anlagenbeispiel Prozessautomatisierung mit Ethernet-APL 144

Abbildung 6-5: Anlagenbeispiel Kamera als Sensor 145

Abbildung 6-6: Anlagenbeispiel Datenanalyse und Sequence of Events 146

Abbildung 6-7: Anlagenbeispiel konvergente Netze 148

Abbildung 7-1: Priorisierung der Echtzeit-Kommunikation bei PROFINET 152

Abbildung 7-2: Der PROFINET Sendezyklus 153

Abbildung 7-3: Netzlast, Sendezyklus 4 ms, Controller Sendetakt 1 ms 154

Abbildung 7-4: Netzlast, Sendezyklus 4 ms, Controller Sendetakt 4 ms 154

Abbildung 7-5: Beispielhafter Netzlastverlauf während eines Sendezyklus 155

Abbildung 7-6: Zyklen in der Verarbeitungskette 156

Abbildung 7-7: Beispiel für Zyklen in der Verarbeitungskette, kürzeste Reaktionszeit 157

Abbildung 7-8: Beispiel für Zyklen in der Verarbeitungskette, längste Reaktionszeit 158

Abbildung 7-9: Zyklische PROFINET Netzlast in Abhängigkeit von der Anzahl der Netzwerkteilnehmer und der Aktualisierungszeit (typ. PROFINET Pakete) bei 100 Mbit/s Datenrate 160

Abbildung 7-10: Störungen in der Kommunikation bei einem Fehler-Schwellwert von 3 162

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Abbildung 7-11: Gegenüberstellung niedriger (3, links) und hoher (10, rechts) Schwellwert 163

Abbildung 7-12: Beispiel Linientiefe 165

Abbildung 7-13: Beispiel für Verringerung der Linientiefe 167

Abbildung 7-14: Linientiefe mit APL-Field-Switches, angeschlossen an ein 100 Mbit/s-Netzwerk 168

Abbildung 7-15: Linientiefe mit APL-Trunk 169

Abbildung 7-16: Beispiel Netzlastverteilung Single-Controller-Anwendung 170

Abbildung 7-17: Beispiel einer Netzlastverteilung bei Multi-Controller-Anwendung 171

Abbildung 7-18: Beispielhafte Topologie mit Standard-Ethernet Teilnehmern 174

Abbildung 7-19: Einbindung von Standard-Ethernet-Teilnehmern 176

Abbildung 7-20: Optimierte Topologie zur Verringerung der Netzlast 177

Abbildung 7-21: Mixed Link-Speed und Sterntopologie in einem PROFINET-System 179

Abbildung 7-22: Switch-Prinzip mit Queues 180

Abbildung 7-23: Congestion-Loss durch ungleiche Verteilung an Ein- und Ausgang pro Port 182

Abbildung 7-24: Beispiel für die ungleiche Portanzahl von Eingang und Ausgang . 183

Abbildung 7-25: Beispiel für verschiedene Eingangs-/Ausgangs-Datenraten 184

Abbildung 7-26: Systemstruktur eines APL-Systems mit Trunk- und Spurtopologie 185

Abbildung 7-27: Ethernet-APL-System mit 100 Mbit/s Industrial-Ethernet bis zu den Field-Switches 186

Abbildung 8-1: PROFINET-Device (Auslieferungszustand) 194

Abbildung 8-2: PROFINET-Device (Adressvergabe) 196

Abbildung 8-3: Gesamtaufbau des Anlagenbeispiels 199

Abbildung 10-1: PROFINET-Kabel Typ A 217

Abbildung 10-2: PROFINET-PE-Kabel 218

Abbildung 10-3: PROFINET-Erdkabel 219

Abbildung 10-4: Schleppkabel 220

Abbildung 10-5: Kabel zur Girlandenaufhängung 221

Abbildung 10-6: Ethernet-APL-Kabel 222

Abbildung 10-7: PROFINET-Lichtwellenleiterkabel 226

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Abbildung 10-8: PROFINET-LWL-Schleppkabel 227

Abbildung 10-9: Typischer RJ45-Push-Pull-Steckverbinder in IP65-Ausführung 230

Abbildung 10-10: Typischer RJ45-Steckverbinder in IP20- Ausführung..... 230

Abbildung 10-11: Typsicher M12-Steckverbinder mit D-Codierung 231

Abbildung 10-12: Typischer M12 TypeX Steckverbinder 231

Abbildung 10-13: Typischer SCRJ-Steckverbinder in IP20-Ausführung..... 233

Abbildung 10-14: Typischer SCRJ-Push-Pull-Steckverbinder in IP65-Ausführung .. 233

Abbildung 10-15: Typischer LC-Steckverbinder in IP20-Ausführung 234

Abbildung 10-16: RJ45-Verteilermodul zur Hutschienenmontage in IP20 Umgebung 236

Abbildung 10-17: RJ45-Anschlussdose für IP65 / IP67 Umgebungen..... 236

Abbildung 10-18: RJ45-Push-Pull-Wanddurchführung zur Montage an Schaltschränken 237

Abbildung 10-19: M12-Wanddurchführung zur Montage an Schaltschränken 238

Abbildung 10-20: Beispiele kupferbasierter Verkabelung..... 238

Abbildung 10-21: Beispiel: LWL-Verkabelung 240

Abbildung 10-22: Darstellung der Dämpfungsbilanz bei Singlemode-Glasfaserstrecken..... 242

Abbildung 10-23: Darstellung der Dämpfungsbilanz von POF-LWL-Strecke 243

Abbildung 10-24: Interessen im Lifecycle einer Anlage..... 253

Abbildung 10-25: Beispiel Vorwärtsdokumentation PROFINET Deckblatt 258

Abbildung 10-26: Beispiel Vorwärtsdokumentation Automatisierung von drei Anlagenteilen 261

Abbildung 10-27: Beispiel Vorwärtsdokumentation PROFINET Topologie-Plan (physikalisch)..... 262

Abbildung 10-28: Beispiel Vorwärtsdokumentation PROFINET Topologie-Plan (logisch)..... 262

Abbildung 10-29: Beispiel Vorwärtsdokumentation PROFINET Ringtopologie 263

Abbildung 10-30: Beispiel Vorwärtsdokumentation PROFINET Informationen im Fehlerfall..... 270

Abbildung 10-31: Beispiel Vorwärtsdokumentation PROFINET Beispiel Diagnosezugang 271

Abbildung 10-32: Beispiel Vorwärtsdokumentation PROFINET Bewertung der IT-Security..... 272

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Abbildung 10-33: Bedienoberfläche des Netzlast-Berechnungswerkzeugs 276

Abbildung 10-34: Netzlast-Berechnung mit Durchschnittswerten 278

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1: Symbole zur Textstrukturierung 29

Tabelle 1-2: Symbole für Komponenten 30

Tabelle 1-3: Symbole für PROFINET-Kabel 33

Tabelle 1-4: Symbole für Bereiche 35

Tabelle 2-1: Die PROFINET Kommunikationsarten 45

Tabelle 2-2: Typische Anwendungen und ihre Zeitanforderungen und Umsetzungen 46

Tabelle 2-3: Die Funktionsumfänge der Conformance Classes 50

Tabelle 2-4: Übersicht über ausgewählte Applikationsprofile 56

Tabelle 2-5: Anschlusstechniken für PROFINET-Geräte 60

Tabelle 3-1: Vorteile der beiden Switch-Varianten 66

Tabelle 3-2: Erlaubte Datenraten in Abhängigkeit von der Conformance Class 73

Tabelle 3-3: Mindesttrennabstände S für PROFINET-Verkabelung gemäß EN 50174-2:2018 81

Tabelle 3-4: Faktor P für Stromversorgungsverkabelung 82

Tabelle 3-5: Spezifische Dämpfung von Fasertypen 85

Tabelle 3-6: Erreichbare Übertragungsstrecke der LWL-Fasertypen 86

Tabelle 3-7: Maximal zulässige PROFINET-End-to-end-link-Dämpfung 87

Tabelle 3-8: Dämpfung von Spleißen bzw. Steckverbinderpaaren 88

Tabelle 3-9: Einsatz unterschiedlicher Fasertypen 88

Tabelle 3-10: Übertragungslänge und Steckverbinderpaare (Kupfer) 91

Tabelle 3-11: Übertragungslänge und Steckverbinderpaare (LWL) 92

Tabelle 3-12: Vorteile und Nachteile von der direkten Verbindung mehrerer funktionaler Gruppen 103

Tabelle 3-13: Vorteile und Nachteile von der Verbindung mehrerer funktionaler Gruppen mit PN/PN-Koppler 104

Tabelle 3-14: Vorteile und Nachteile von der Verbindung mehrerer Geräte über das zweite Interface 105

Tabelle 3-15: Vorteile und Nachteile von der Anbindung an die Aggregation mit Routern 106

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Tabelle 3-16: Vorteile und Nachteile von der Anbindung einzelner Geräte an die Aggregation....107

Tabelle 5-1: Merkmale der verschiedenen APL-Netzwerkstrukturen....135

Tabelle 7-1: Maximale Linientiefe bei Verwendung von „Store-and-Forward“ Switches....166

Tabelle 7-2: Maximale Linientiefe bei Verwendung von „Cut-Through“ Switches....166

Tabelle 7-3: Erzeugte zyklische Echtzeit-Netzlast (typ. PROFINET Paketgröße 60 Byte PROFINET-Nutzdaten, 100 Mbit/s)....172

Tabelle 7-4: Grenzwerte für Netzlast der zyklischen Echtzeit-Kommunikation....173

Tabelle 7-5: Kategorien von Congestion-Loss....187

Tabelle 7-6: Planungsschritte zur Vermeidung/Verminderung von Congestion-Losses....189

Tabelle 8-1: Private IPv4-Adressebereiche....197

Tabelle 8-2: Übersicht der Anzahl der PROFINET-Netzwerkteilnehmer....200

Tabelle 8-3: Adressauswahl in Automatisierungsanlage 1....203

Tabelle 10-1: Leitungsparameter PROFINET Typ A Kupferkabel....211

Tabelle 10-2: Leitungsparameter PROFINET Typ B Kupferkabel....212

Tabelle 10-3: Leitungsparameter PROFINET Typ C Kupferkabel....212

Tabelle 10-4: Leitungsparameter PROFINET 8-Adern Typ A Kupferkabel....213

Tabelle 10-5: Leitungsparameter PROFINET 8-Adern Typ B Kupferkabel....213

Tabelle 10-6: Leitungsparameter PROFINET 8-Adern Typ C Kupferkabel....214

Tabelle 10-7: Mechanische Eigenschaften von PROFINET-Kupferkabeln....215

Tabelle 10-8: Mechanische Eigenschaften von Single / Multimode LWL....223

Tabelle 10-9: Mechanische Eigenschaften von POF-Lichtwellenleitern....224

Tabelle 10-10: Mechanische Eigenschaften von PCF-Lichtwellenleitern....224

Tabelle 10-11: Ausführungsformen von LWL-Kabeln....226

Tabelle 10-12: Materialliste kupferbasierte Verkabelung....239

Tabelle 10-13: Materialliste LWL-Verkabelung....241

Tabelle 10-14: Berechnung der End-to-end-link-Dämpfung bei Singlemodefasern....243

Tabelle 10-15: Berechnung der End-to-end-link-Dämpfung bei Polymerfaserstrecken....244

Tabelle 10-16: Zusätzliche Informationen zu den Geräten in der Topologie....256

Tabelle 10-17: Beispiel Vorwärtsdokumentation PROFINET Vorüberlegung....257

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Tabelle 10-18: Informationen im Schriftfeld nach [ISO 7200]....259

Tabelle 10-19: Vorschlag für das Schriftfeld nach [ISO 7200]....260

Tabelle 10-20: Beispiel für das Schriftfeld nach [ISO 7200]....260

Tabelle 10-21: Beispiel Vorwärtsdokumentation PROFINET Informationen zur Ringtopologie....263

Tabelle 10-22: Beispiel Vorwärtsdokumentation PROFINET zusätzliche Geräteinformationen....265

Tabelle 10-23: Beispiel Vorwärtsdokumentation PROFINET erweiterte Geräteinformationen....267

Tabelle 10-24: Beispiel Vorwärtsdokumentation PROFINET Kabelliste....269

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

1 Einleitung

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

1.1 Vorwort

Diese PROFINET-Planungsrichtlinie soll den Planer von PROFINET-Automatisierungsanlagen bei der Arbeit unterstützen, die professionelle Planung einer Anlage erleichtern und dabei als roter Faden für eine schrittweise Planung der Anlage dienen.

Die Darstellung der Informationen ist möglichst einfach und kurz gehalten. Dabei werden Grundkenntnisse über PROFINET-Technik, Elektrotechnik und Netzwerktechnik vorausgesetzt.

Diese Richtlinie ist keine zusammenfassende Beschreibung zum Thema PROFINET. Falls Sie weitergehende Informationen zu PROFINET benötigen, nutzen Sie bitte die entsprechenden Dokumente der PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. (PNO) oder entsprechende Fachliteratur. Auf die Montage und Inbetriebnahme von PROFINET wird in dieser Richtlinie nicht eingegangen. Zu diesem Thema sei an dieser Stelle auf die PROFINET-Montagerichtlinie (Order No.: 8.071) und die PROFINET-Inbetriebnahmerichtlinie (Order No.: 8.081) verwiesen. Informationen zum Funktionspotentialausgleich und Schirmung von PROFIBUS und PROFINET finden Sie in der Richtlinie mit dem gleichen Titel Order No.: 8.101. Die Planung der Redundanz wird in der PROFINET Planungsrichtlinie Redundanz (Order No.: 8.131) beschrieben.

Diese Planungsrichtlinie ersetzt kein vorhandenes Dokument. Sie stellt eine anwendungsorientierte Ergänzung dar. Die bisherigen Dokumente der PNO behalten daher weiterhin ihre Gültigkeit.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

1.2 Ausschluss der Haftung

Die PROFIBUS Nutzerorganisation e. V. (im Folgenden in diesem Disclaimer "PNO" genannt) hat bei der Erstellung dieses Dokuments größte Sorgfalt walten lassen und alle Informationen nach bestem Wissen und Gewissen zusammengestellt. Das Dokument basiert auf dem heutigen Wissensstand, hat informativen Charakter und wird unter Ausschluss jeglicher Haftung zur Verfügung gestellt. Dieses Dokument kann in Zukunft ohne ausdrücklichen Hinweis geändert, erweitert oder korrigiert werden.

Dieses Dokument hat keinen normativen Charakter. In bestimmten Betriebsumgebungen, bei bestimmten technischen Konstellationen oder beim Einsatz in bestimmten Ländern kann es sinnvoll sein, von den gegebenen Handlungsempfehlungen abzuweichen. In diesem Fall hat der Monteur und Betreiber der Anlage die Vor- und Nachteile der gegebenen Empfehlungen im konkreten Anwendungsfall abzuwägen und gegebenenfalls über die Umsetzung einer anderen Lösung zu entscheiden, sofern dies sinnvoll erscheint.

Der Anwender darf die Informationen zu keiner Zeit an Dritte weitergeben, vermarkten oder in sonstiger Weise zugänglich machen.

Jegliche Haftung für Sach- und Rechtsmängel der Informationen, insbesondere für deren Richtigkeit, Fehlerfreiheit, Nichtverletzen von Rechtsansprüchen oder Rechten Dritter sowie für deren Vollständigkeit und/oder Zweckmäßigkeit ist ausgeschlossen, es sei denn, es liegt grobe Fahrlässigkeit, Vorsatz oder arglistiges Verschweigen eines Mangels vor. Im Übrigen ist die Haftung ausgeschlossen, es sei denn, es liegen zwingende gesetzliche Vorschriften vor, z. B. bei Verletzung von Leben, Körper und Gesundheit, bei Vorsatz oder grober Fahrlässigkeit oder bei der Verletzung wesentlicher Vertragspflichten.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

1.3 PNO Dokumente

APL2021] Ethernet-APL Engineering Richtlinie

Order No.: 8.121, Version 1.11, Dezember 2021

[APS2021] Ethernet APL Port Profile Specification

Order No.: 2.662, Version 1.0, June 2021

[CCA2008] Conformance Class A Cabling Guideline

Order No.: 7.072, Version 1.0, July 2008

[CCS2011] Die PROFINET IO Conformance-Classes

Order No.: 7.041, Version 1.1, March 2011

[EMC2022] Funktionspotentialausgleich und Schirmung für PROFIBUS und PROFINET

Order No.: 8.101, Version 3.1, September 2022

[GSX2024] GSDX Container Technical Specification for PROFINET

Order No.: 2.752, Version d1.2, Sept. 2024

[HIG2020] High Availability Guideline for PROFINET

Order No.: 7.242, Version 1.2, February 2020

[MRE2018] Media Redundancy Guideline for PROFINET

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Order No.: 7.212, Version 1.03, April 2018

[PCI2023] PROFINET Cabling and Interconnection Technology

Order No.: 2.252, Version 5.3, May 2023

[PDE2018] PROFINET-Systembeschreibung – Technologie und Anwendung

Order No.: 4.131, Version November 2018

[PLM2008] Physical Layer Medium Dependent Sublayer on 650 nm Fibre Optics

Order No.: 2.432, Version 1.0, January 2008

[PNC2022] PROFINET-Inbetriebnahmerichtlinie

Order No.: 8.081, Version 1.53, September 2022

[PNI2022] PROFINET-Montagerichtlinie

Order No.: 8.071, Version 2.12, September 2022

[PNO2024a] Application Layer protocol for decentralized periphery

Order No.: 2.722, Version 2.4 MU5, March 2024

[PNO2024b] Application Layer services for decentralized periphery

Order No.: 2.712, Version 2.4 MU5, March 2024

[PNR2023] PROFINET Planungsrichtlinie Redundanz

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Order No.: 8131, Version 1.00, May 2023

[PRD2015] Profile Drive Technology PROFIdrive Profile

Order No.: 3.172, Version 4.2, October 2015

[PRE2021] Common Application Profile PROFIenergy

Order No.: 3.802, Version 1.3MU1, October 2021

[PRP2022] Profile for Process Control Devices

Order No.: 3.042, Version 4.02MU1, March 2022

[PRR2024] Profile Standard Robot Command Interface SRCI

Order No.: 3.252, Version 1.4, January 2024

[PRS2023] PROFIsafe – Profile for Safety Technology on PROFIBUS and PROFINET

Order No.: 3.192, Version 2.6MU2, February 2023

[PSA2013] PROFINET Security Richtlinie

Order No.: 7.001, Version 2.0, November 2013

[PSB2023] Security Class 1 for PROFINET-Security – Guideline for PROFINET

Order No.: 7.312 Version 1.1 – März 2023

[PSC202X] PROFINET Planungsrichtlinie Security

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Order No.: 7.361 (Dokument in Vorbereitung, noch nicht erschienen)

[PTS2020] PROFINET Time Synchronization

Order No.: 7.232, Version 1.0, November 2020

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

1.4 Normative Referenzen

[DIN EN 50174-2]:2018 - VDE 0800-174-2:2018-10

Informationstechnik - Installation von Kommunikationsverkabelung - Teil 2: Installationsplanung / Praktiken in Gebäuden

[DIN EN 50174-3]:2017 - VDE 0800-174-3:2017-11

Informationstechnik - Installation von Kommunikationsverkabelung - Teil 3: Installationsplanung und -praktiken im Freien

[DIN EN 50310]:2020 - VDE 0800-2-310:2020-06

Telekommunikationstechnische Potentialausgleichsanlagen für Gebäude und andere Strukturen

[IEC 11801-3]:2017 + AMD1:2021 CSV

Information technology - Generic cabling for customer premises – Part 3: Industrial Premises

[IEC 60364-4-41]:2005+AND1:2017 CSV

Low voltage electrical installations - Part 4-41: Protection for safety - Protection against electric shock

[IEC 60364-5-54]:2011 + AMD1:2021 CSV

Low-voltage electrical installations - Part 5-54: Selection and erection of electrical equipment - Earthing arrangements and protective conductors

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

[IEC 60529]:1989 + AMD1:1999 + AMD2:2013

Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)

[IEC 61140]:2016

Protection against electric shock - Common aspects for installation and equipment

[IEC 61300-3-4]:2012

Fiber optic interconnecting devices and passive components - Basic test and measurement procedures - Part 3-4: Examinations and measurements - Attenuation

[IEC 61156-13]:2023

Multicore and symmetrical pair/quad cables for digital communications – Part 13: Symmetrical single pair cables with transmission characteristics up to 20 MHz – Horizontal floor wiring - Sectional specification

[IEC 61158-2]:2014

Industrial communication networks – Fieldbus specification – Part 2: Physical layer specification and service definition

[IEC 61918:2018]

Industrial communication networks – Installation of communication networks in industrial premises

[IEC 61784-5-3]:2018

Industrial communication networks - Profiles - Part 5-3: Installation of fieldbuses – Installation profiles for CPF 3

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

[IEEE802.1Q]: 2022

IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee, IEEE 802.1Q-2018: IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks—Bridges and Bridged Networks, 2018. https://standards.ieee.org/ieee/802.1Q/10323/.

[IEEE802.1AS]: 2020

IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee, IEEE Std 802.1AS-2020, IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks – Timing and Synchronization for Time-Sensitive Applications, 2020. https://standards.ieee.org/ieee/802.1AS/7121/.

[IEEE P802.3cg]: 2019

IEEE Standard for Ethernet Amendment 5: Physical Layer Specifications and Management Parameters for 10 Mb/s Operation and Associated Power Delivery over a Single Balanced Pair of Conductors. https://standards.ieee.org/ieee/802.3cg/7308/.

[RFC_3492]

Costello: Punycode: A Bootstring encoding of Unicode for Internationalized Domain Names in Applications (IDNA). https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc3492.

[RFC_5681]

Allman, et al.: RFC 5681: TCP Congestion Control.
https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc5681.

[RFC_5905]

Mills, et al.: RFC 5905: Network Time Protocol Version 4: Protocol and Algorithms Specification. https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc5905.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

1.5 Symbolerklärungen

Die Abbildungen in dieser Richtlinie dienen Ihnen zum besseren Verständnis des Textes. Zusätzlich werden Symbole zur Textstrukturierung benutzt. Diese Symbole geben Hinweise auf wichtige Textstellen oder fassen Abschnitte zusammen.

1.5.1 Symbole zur Textstrukturierung

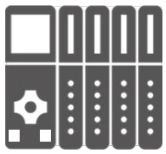
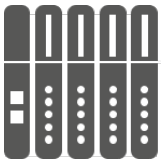
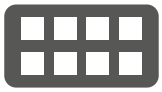
Tabelle 1-1: Symbole zur Textstrukturierung

Symbol	Name	Bedeutung
	Tipp	Wird verwendet zur Angabe einer Empfehlung und / oder Zusammenfassung des aktuellen Sachverhalts.
	Wichtig	Wird verwendet für Hinweise, bei deren Nichtbeachtung Störungen im Betriebsfall entstehen können.
	Handlungs-anweisung	Wird verwendet für direkte Handlungsanweisung.
	Gefahr	Wird verwendet bei Gefahren für Leben und Sicherheit. Die Beachtung der Anweisung ist äußerst wichtig!

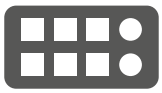
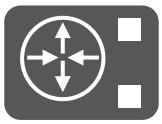
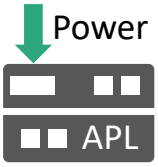
© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

1.5.2 Symbole für Komponenten

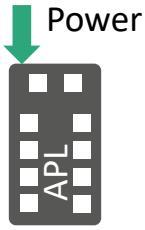
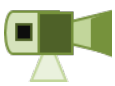
Tabelle 1-2: Symbole für Komponenten

Symbol	Name	Bedeutung
	Operator Konsole	Bedien- und Beobachtungsstation.
	Supervisor	Programmiergerät/PC mit Inbetriebnahme- und Diagnosefunktionen bei PROFINET.
	**Controller**	Gerät (typischerweise eine Steuerung), das den IO-Datenverkehr initiiert.
	**Device**	Feldgerät, dass einem PROFINET-Controller zugeordnet ist. Dies können z. B. ein Remote-I/O, ein Antrieb oder ein Bedienpanel sein.
	**Switch**	Gerät zur Verbindung mehrerer Netzwerkteilnehmer untereinander. Acht bzw. vier Anschlüsse für Kupferkabel.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

	**Switch**	Gerät zur Verbindung mehrerer Netzwerkteilnehmer untereinander. Sechs Ports für Kupferkabel plus zwei Ports für Lichtwellenleiter-Kabel.
	**Router**	Gerät zur Weiterleitung von Daten zwischen verschiedenen Netzwerken.
	Firewall	Gerät zur Kontrolle und Filterung von Daten zwischen verschiedenen Teilnetzen.
	Gateway	Gerät zur Verbindung unterschiedlicher Netzwerktechnologien, zum Beispiel von PROFINET und PROFIBUS DP.
	APL-Feldgerät	APL-Feldgerät (z.B. Temperaturtransmitter, Drucktransmitter, Durchflusstransmitter, Stellungsregler), mit Ethernet-APL-Schnittstelle. Das Gerät wird über das APL-Interface mit Energie versorgt und kommuniziert auch über Ethernet-APL. Messumformer mit zusätzlicher Energieversorgung (Vierdraht-Messumformer) sind möglich, werden hier aber nicht separat behandelt.
	**APL-Power-Switch**	Ethernet-Switch. Setzt Industrial Ethernet auf Ethernet-APL um. Benötigt Hilfsenergie zur Versorgung des untergeordneten APL-Netzwerks. Wird durch einen dicken grünen Pfeil angezeigt.
	APL-Field-Switch ohne Hilfsenergie-versorgung	Dieser Ethernet-APL-Feld-Switch stellt die Verbindung zwischen einem APL-Trunk und den Ethernet-APL-Feldgeräten (Spurs) her und versorgt die an den Switch angeschlossenen APL-Feldgeräte mit Energie. Bezieht die Energie über einen gespeisten Trunk.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

	**APL-Field-Switch mit Hilfsenergie-versorgung**	Dieser Ethernet-APL-Feld-Switch mit Hilfsenergie-versorgung verbindet das Industrial Ethernet Netz-werk oder den ungespeisten APL-Trunk mit den Ethernet-APL-Feldgeräten (Spurs) und stellt die Energie für die APL-Feldgeräte bereit. Der Switch wird an die Hilfsenergie angeschlossen und erhält weder über den nicht-gespeisten APL-Trunk noch über das Industrial Ethernet Energie.
	WLAN Access Point	Gerät welches einen Übergang von einer kabelge-bundenen Übertragung auf eine drahtlose Übertra-gung ermöglicht.
	Device mit WLAN	Feldgerät mit WLAN.
	Medienwandler	Umsetzer von einem physikalischen Medium auf ein anderes. Zum Beispiel von Kupferkabel auf Lichtwel-lenleiter.
	TAP	Engl.: „Test Access Point“. Gerät zum rückwirkungsfreien Auslesen von Netz-werkverkehr.
	Zeitempfänger	Bezieht über Satellit- oder Funksignalempfänger eine absolute Uhrzeit zur Festlegung einer synchro-nen Zeitsteuerung von PROFINET-Geräten. Typi-sche Zeitsignalquellen sind GPS und DCF 77.
	**Videokamera**	Gerät zur Bildüberwachung.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

	Bedienstation	Standard-PC mit Bedienfunktionen.
	Server	Server-Rechner mit z.B. Backup-Aufgaben.

1.5.3 Symbole für PROFINET Kabel

Tabelle 1-3: Symbole für PROFINET-Kabel

Symbol	Name	Bedeutung
	Standard Ethernet	Standard-Ethernet-Verbindung welche ohne PROFINET-Protokoll arbeitet.
	PROFINET-Kupfer-kabel	PROFINET-Industrial-Ethernet Kabel mit Kupfer-adern Mantelfarbe: grün Die gestrichene Linie deutet eine Verbindung mit erhöhten Determinismusanforderungen an.
	LWL	Lichtwellenleiterkabel Mantelfarbe: grün Hinweis: zur besseren Unterscheidung von Kup-fer und LWL werden die LWL in dieser Richtlinie orange dargestellt, auch wenn der Mantel des Kabels i.d.R. grün ist. Die gestrichelte Linie deutet auch hier eine Ver-bindung mit erhöhten Determinismusanforderun-gen an.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

APL	**Ethernet-APL-Kabel**	Ethernet-APL-Verbindung ohne Ex-Qualifikation. Die gestrichelte Linie kennzeichnet eine Verbindung mit erhöhten Determinismusanforderungen. Mantelfarbe: nicht festgelegt.
APL Ex e	**Ethernet-APL mit erhöhter Sicherheit (Ex e)**	Ethernet-APL-Verbindung, die in Bereichen mit explosionsfähiger Atmosphäre betrieben werden kann. Erhöhte Sicherheit (Ex e / non incendive). Die gestrichelte Linie zeigt eine inaktive Ringredundanzverbindung für erhöhte Verfügbarkeitsanforderungen an.
Ex i or I.S.	**Ethernet-APL mit Eigensicherheit (Ex i)**	Ethernet-APL-Verbindung, die in Bereichen mit explosionsfähiger Atmosphäre betrieben werden kann. Zündschutzart Eigensicherheit. Wird für APL-Spurs verwendet
	Leitende Verbindung	Elektrisch leitende Verbindung

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

1.5.4 Symbole für Bereiche

Tabelle 1-4: Symbole für Bereiche

Symbol	Name	Bedeutung
	EMI	Bereich in dem mit elektromagnetischen Interferenzen (EMI) zu rechnen ist.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

1.6 Zum Aufbau dieser Richtlinie

Der Aufbau dieser Richtlinie entspricht dem Planungsprozess. Dieser Prozess wird iterativ durchschritten, wobei jede Änderung in einem späteren Prozess eine mögliche Auswirkung auf die vorhergehenden Planungsschritte zeigt. Abbildung 1-1 zeigt die Struktur des Planungsprozesses.

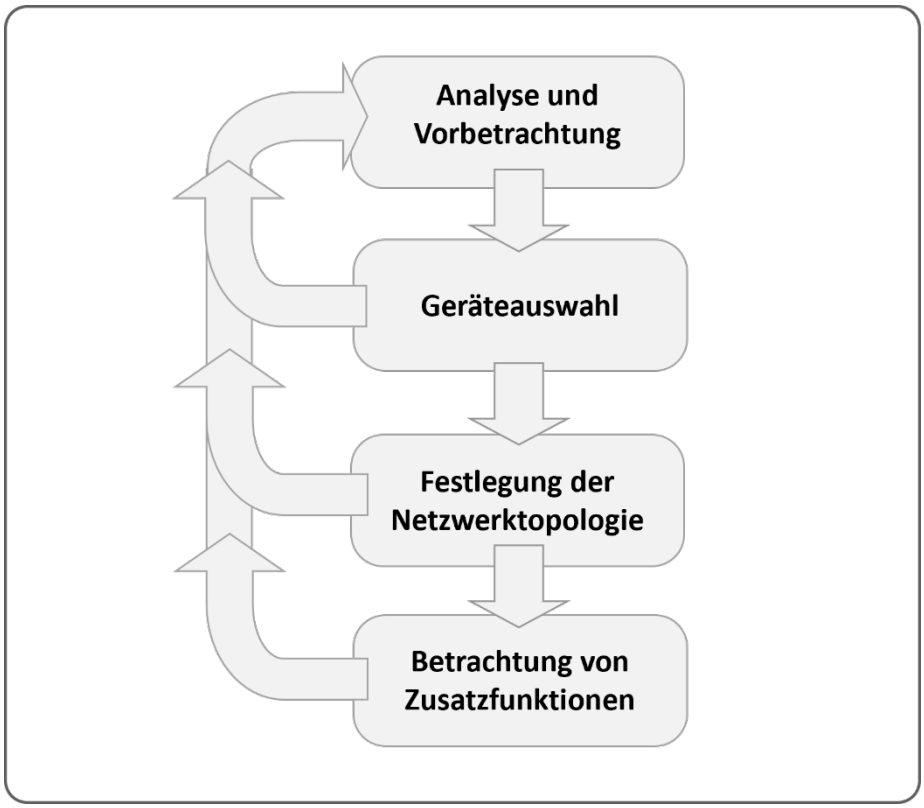


Abbildung 1-1: Struktur der Planung

Die Kapitel dieses Planungsdokuments orientieren sich an dieser Vorgehensweise. Während Kapitel 1 eine Einleitung enthält, wird in den darauffolgenden Kapiteln der Planungsprozess vom Allgemeinen zu den Details durchschritten. Die Kapitel beleuchten folgende Sachverhalte:

Kapitel 2: Zunächst wird mit einer Vorbetrachtung und Analyse des zu automatisierenden Prozesses begonnen. Dabei finden eine Festlegung der Eigenschaften und die Platzierung der Automatisierungskomponenten statt.

Kapitel 3: Dieses Kapitel beinhaltet die Topologie-Festlegung der Automatisierungsanlage anhand der gewonnenen Erkenntnisse aus Kapitel 2.

Kapitel 4: Hier wird die vorhandene Basisplanung um jene Fälle erweitert, die typischerweise nicht Teil von PROFINET sind.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Kapitel 5: In diesem Kapitel wird der Physical Layer Ethernet-APL erläutert und bei Bedarf in die Planung aufgenommen.

Kapitel 6: An dieser Stelle wurden die Funktionen von PROFINET vorgestellt. Daher werden hier einige Anlagenbeispiele gezeigt, die die gezeigten Funktionen verwenden.

Kapitel 7: Um die Performance in einem PROFINET-Netzwerk zu gewährleisten findet, aufbauend auf die vorherigen Kapitel, eine Betrachtung der Performance-relevanten Aspekte der PROFINET-Planung statt.

Kapitel 8: In diesem Kapitel wird auf eine sorgfältige Planung der Namens- und Adressvergabe eingegangen

Kapitel 9: Hier erfolgt eine kurze Zusammenfassung der Planungsergebnisse.

Darüber hinaus finden sich im Anhang (Kapitel 10) dieses Dokuments Zusatzinformationen über verschiedene Komponenten und deren Eigenschaften, die in einem PROFINET-Netzwerk zum Einsatz kommen. Dazu gehören Angaben wie Kabelparameter oder Anwendungsbeispiele zur Kabelauslegung und vieles mehr.

Ein Stichwortverzeichnis in Kapitel 10 erleichtert zudem die Suche nach themenbezogenen Informationen in der Richtlinie.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

1.7 Ziel der Richtlinie

Das Ziel dieser Richtlinie ist es, Ihnen bei der Auswahl von Geräten und Netzwerkkomponenten für den Aufbau eines PROFINET-Netzwerks zu helfen. Weiterhin wird durch Festlegung einer Netzwerkstruktur eine zuverlässige Performance des Netzwerkes erreicht und eine einfache Montage, Inbetriebnahme und Wartung ermöglicht.

Am Ende des Planungsprozesses sollten Ihnen folgende Informationen vorliegen oder erstellt worden sein:

- Anlagenaufbau
- Topologie
- Komponentenauswahl
- Auswahl des Übertragungsmediums
- Steckverbinder-Auswahl
- Kommunikationsbeziehungen
- Abschätzung über die zu übertragenden Datenmengen

Falls Ihnen eine dieser Angaben nicht vorliegt ist der Planungsprozess an gegebener Stelle wieder neu zu beginnen.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

2 Geräteauswahl

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Bevor die Planung beginnt…

…müssen Sie sich zunächst eine Übersicht über Ihr Vorhaben verschaffen. Beispielsweise können Sie sich einen ersten Überblick über das Projekt verschaffen, indem Sie mit einem Grundriss der Anlage arbeiten. So können Sie im Vorfeld der Planung eine erste Vorstellung über Ausdehnung und Umfang des zu planenden PROFINET-Netzwerks gewinnen.

Zuerst wird bestimmt, welche Gerätetypen notwendig sind, um die Automatisierungsaufgabe zu lösen. Die Gerätetypen werden anschließend in der Anlage platziert. Dabei wird ein Lageplan erstellt, der die Grundlage für die weitere Planung ist.

Anschließend erfolgt die Auswahl der Geräte. Die gewählten Geräte müssen in der Lage sein, die vorliegende Automatisierungsaufgabe zu lösen. Zentral ist dabei die Analyse der Zeitanforderungen, die durch den zu automatisierenden Prozess entstehen. Anhand dieser Anforderungen werden folgende Eigenschaften der Geräte festgelegt:

- Der Echtzeit-Kanal (RT, IRT oder TSN)
- Die Verwendung einer freilaufenden oder taktsynchronen Applikation
- Die Conformance Class

Neben den Zeitanforderungen sind eine Reihe von weiteren Kriterien bei der Auswahl der Geräte zu beachten. Diese beinhalten:

- PROFINET-Applikationsprofile
- Funktionale Sicherheit mit PROFIsafe
- Vorgaben des Endkunden
- Art der Anbindung des Geräts
- Schutzart der Geräte
- Sonstige Anforderungen

Auf Basis dieser Anforderungen erfolgt die Auswahl der Geräte.

Die Auswahl der Geräte entsprechend den genannten Kriterien stellt sicher, dass die Automatisierungsaufgabe gelöst werden kann. Prüfen Sie darüber hinaus die Herstellerangaben der von Ihnen gewählten Geräte auf Einschränkungen und Randbedingungen.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

2.1 Bestimmung und Platzierung der Gerätetypen

Zuerst müssen die Gerätetypen bestimmt werden, die zur Lösung der Automatisierungsaufgabe benötigt werden. Beispiele für Gerätetypen, die mit PROFINET verbunden werden können, sind:

- **Antriebe/Frequenzumrichter** für Transportbänder, Pumpen, Verdichter, …
- **Remote-I/Os** für die Anbindung von Sensoren und Aktoren
- **Bedienpanels** oder **PCs** für die Bedienung der Anlage
- **Controller** zur Steuerung der Anlage
- Sonstige Netzwerkteilnehmer

Jede Automatisierungsaufgabe erfordert eine individuelle Platzierung der einzelnen Komponenten. Auf Basis der zur Verfügung stehenden Informationen über den Aufbau der Anlage, oder dem Grundriss eines Gebäudes, muss daher zunächst ermittelt werden, welche Automatisierungskomponente an welchem Ort platziert werden muss.

Zum Beispiel:

- Der Controller kann in einem separaten Schaltschrank entfernt vom Prozess, oder gemeinsam mit weiteren Geräten nahe am Prozess platziert werden.
- Ein Bedienpanel kann zur Steuerung nah am Prozess oder zur Überwachung in einer örtlich entfernten Leitwarte platziert werden.

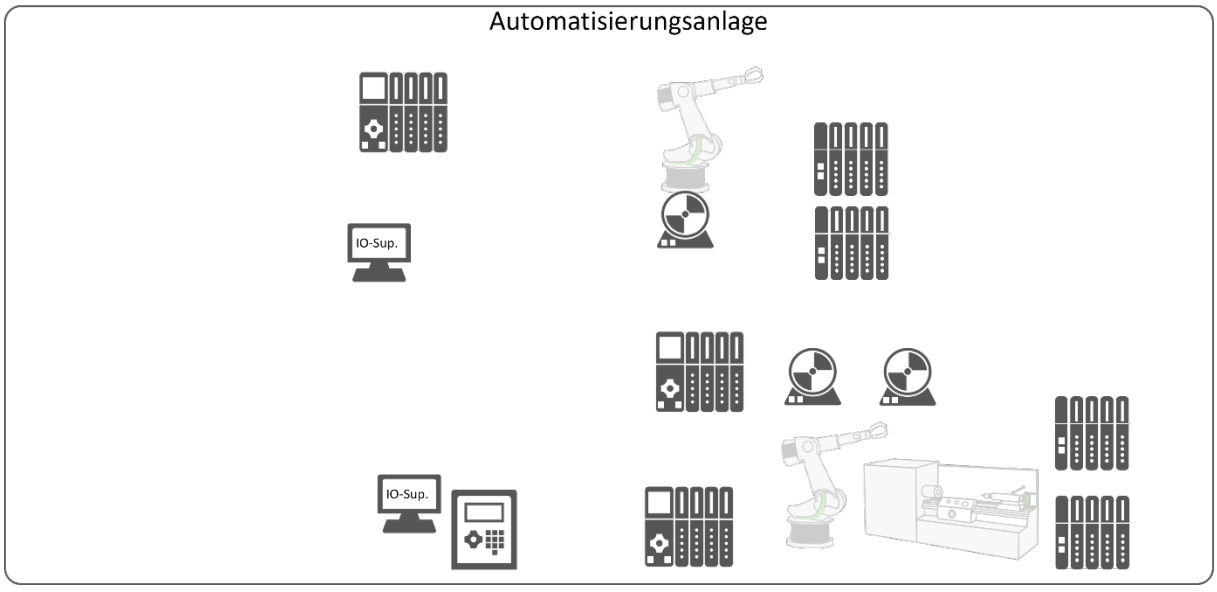


Abbildung 2-1: Lageplan eines Anlagenbeispiels mit vorplatzierten Komponenten

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Die erforderlichen Komponenten sind daraufhin in einem Lageplan der Automatisierungsanlage einzuzeichnen. Abbildung 2-1 zeigt einen solchen Lageplan für ein Anlagenbeispiel. Das Anlagenbeispiel wird auch in den weiteren Schritten der Planung genutzt, um die Planungsschritte zu erklären.

Anschließend sollten die Komponenten so gruppiert werden, dass eine räumliche und funktionale Gruppierung der Komponenten entsteht.

Die räumliche Gruppierung entsteht dabei in aller Regel über die örtliche Nähe im Lageplan. Die Ermittlung der funktionalen Gruppierung erfolgt über gemeinsame Steuerungsaufgaben und gibt an, mit welchen Devices ein Controller kommunizieren muss.

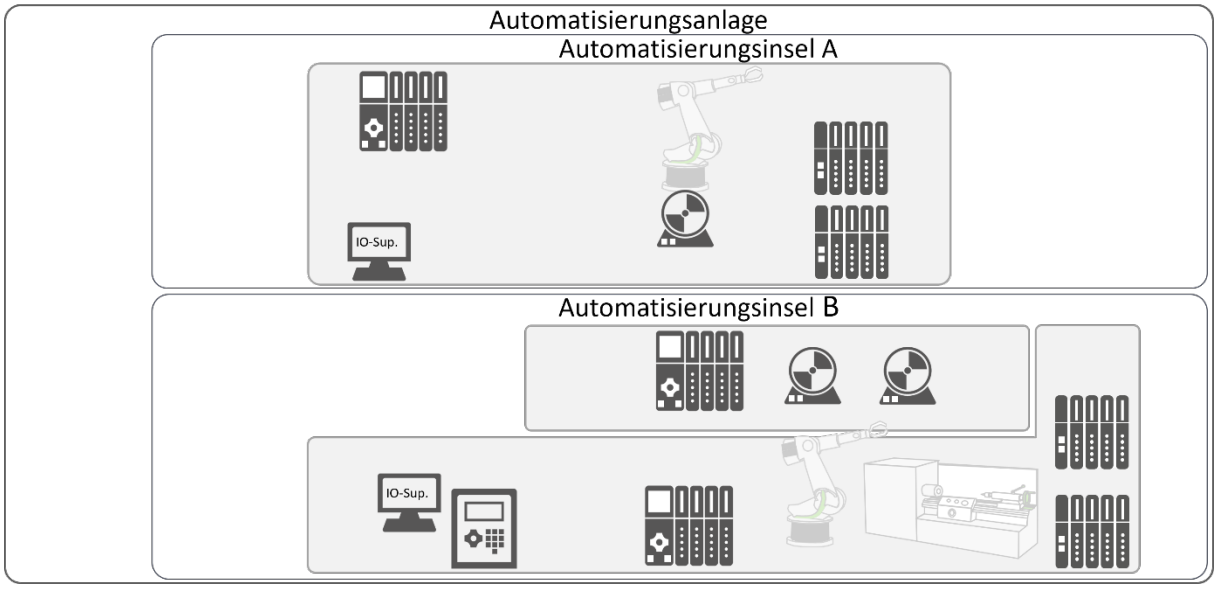


Abbildung 2-2: Anlagenbeispiel mit räumlicher und funktionaler Gruppierung

Abbildung 2-2 zeigt die räumliche und funktionale Gruppierung. Die Anlage wurde in zwei Inseln unterteilt. Die Unterteilung ergibt sich aus den räumlichen Gegebenheiten, wie es zum Beispiel bei unterschiedlichen Hallenbereichen der Fall sein kann.

Der Controller in Insel A kommuniziert mit den Devices in Insel A, weshalb die funktionale gleich der räumlichen Gruppierung ist.

In Insel B sind zwei Controller vorhanden, die jeweils eine funktionale Gruppierung erfordern. Ein Controller steuert zwei Antriebe und bildet mit diesen eine funktionale Gruppe. Die übrigen Devices kommunizieren mit dem zweiten Controller in Insel B und bilden somit eine weitere funktionale Gruppe.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Die Komponenten sind zu diesem Zeitpunkt noch nicht miteinander verbunden, sondern lediglich in der Automatisierungsanlage platziert und zu Gruppen zusammengefasst worden.

Markieren Sie die Bereiche mit erhöhten Anforderungen, z. B. in Bezug uaf Determinismus, um sicherzustellen, dass sie beim Entwurf gesondert berücksichtigt werden können.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

2.2 Analyse der Zeitanforderungen des Prozesses

Das Ziel dieses Kapitels ist es, die Zeitanforderungen an das PROFINET-Netzwerk zu bestimmen. Die Zeitanforderungen werden durch den technischen Prozess bestimmt, der automatisiert werden soll. Anschließend wird aus den Zeitanforderungen abgeleitet, welche Eigenschaften die Geräte haben müssen, um die Anforderungen zu erfüllen.

Bei vielen Automatisierungsanlagen sind die Zeitanforderungen niedrig, sodass sich keine besonderen Anforderungen an die Geräte ergeben.

Ein Kennzeichen von hohen Zeitanforderungen sind schnell ablaufende Prozesse, hochdynamische Regelungen und hochpräzise Sensorik oder Aktorik.

2.2.1 Beschreibung der PROFINET-Kommunikation

Die zentrale Funktion von PROFINET ist die Übertragung von Prozessdaten. Diese werden zyklisch übertragen. Die Zykluszeit wird **Aktualisierungszeit** genannt. Neben der zyklischen Kommunikation gibt es auch Daten, die azyklisch übertragen werden. Dazu zählen Alarme, Parameter, Diagnose- und Statusinformationen.

Das PROFINET-Netzwerk kann außerdem zur Übertragung beliebiger anderer Daten genutzt werden, da es auf Ethernet basiert. Beispielsweise können IP-basierte Protokolle wie MQTT oder OPC UA Client-Server im PROFINET-Netzwerk genutzt werden.

Für die Prozessdaten und Alarme gelten zeitliche Anforderungen an die Übertragung. Sie werden daher über einen Echtzeit-Kanal übertragen. Die übrigen Daten werden über den Nicht-Echtzeit-Kanal übertragen.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Tabelle 2-1: Die PROFINET Kommunikationsarten

Nicht-Echtzeit-Kanal	**Echtzeit-Kanal**		
Non-Real-Time **(NRT)**	**Real-Time** **(RT)**	**Isochronous Real-Time** **(IRT)**	**Time Sensitive Networking** **(TSN)**
-	Freilaufend	Freilaufend oder Taktsynchron	
Parameter Diagnose & Status TCP/IP und UDP/IP	Prozessdaten Alarme		

Tabelle 2-1 zeigt eine Übersicht über die Kommunikations- und Datenarten von PROFINET. Zu sehen ist, dass es drei Echtzeit-Kanäle gibt: RT, IRT und TSN. Diese Echtzeit-Kanäle unterscheiden sich in ihren Echtzeit-Eigenschaften. Daher wird die Wahl auf Basis der Zeitanforderungen getroffen.

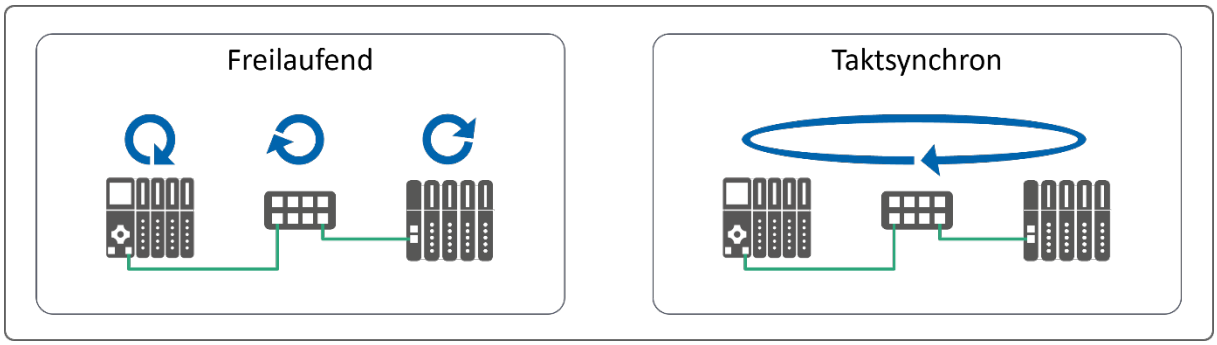


Abbildung 2-3: Unterschied zwischen freilaufender und taktsynchroner Applikation

Eine weitere Unterscheidung ist, ob die Applikation freilaufend oder taktsynchron ist. Die Applikation ist **taktsynchron**, wenn der Programmablauf in verschiedenen Geräten synchronisiert ist. Ist das nicht der Fall, heißt die Applikation **freilaufend**. Abbildung 2-3 zeigt beide Varianten.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

2.2.2 Bestimmung der Zeitanforderungen

Die Zeitanforderungen werden immer durch den technischen Prozess und die Automatisierungsaufgabe bestimmt. Zeitanforderungen können in verschiedenen Formen vorliegen, unter anderem als Anforderung an die Reaktionszeit, die Abtastzeit oder den Jitter.

In jeder Anlage liegen andere Zeitanforderungen vor. Allerdings liegen innerhalb bestimmter Anwendungsgebiete häufig ähnliche Zeitanforderungen vor, was die in Tabelle 2-2 gezeigte Klassifizierung ermöglicht. Beachten Sie, dass diese Klassifizierung nur einen Überblick für typische Automatisierungsaufgaben gibt. Eine individuelle Abschätzung der Zeitanforderungen ist erforderlich.

Tabelle 2-2: Typische Anwendungen und ihre Zeitanforderungen und Umsetzungen

<table>
<tr><th>Anwendungsgebiet</th><th>Typische Anwendung</th><th>Zeitanforderung</th><th>Typische Umsetzung</th></tr>
<tr><td>Prozessindustrie</td><td>Füllstandregelung
Temperaturregelung</td><td>Niedrig</td><td rowspan="2">RT oder TSN mit freilaufender Applikation</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Fertigungsindustrie
oder
Maschinenbau</td><td>Fließband
Hochregallager</td><td>Mittel</td></tr>
<tr><td>Servoantrieb
Mehrachssysteme
Roboterregelung</td><td>Hoch</td><td>IRT oder TSN mit taktsynchroner Applikation</td></tr>
</table>

Die Zeitanforderungen können durch geeignete Wahl des Echtzeit-Kanals und der Applikation ermöglicht werden. Zudem beeinflusst die Aktualisierungszeit und die Zykluszeit des Anwenderprogramms, welche Zeitanforderung das PROFINET-System erfüllen kann. Eine genauere Beschreibung dieser Zusammenhänge befindet sich in Kapitel 7. Eine ungefähre und verkürzte Einteilung ist wie folgt:

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

- Zeitanforderung > 10 ms: RT oder TSN mit freilaufender Applikation
- Zeitanforderung < 5 ms und > 250 µs: IRT oder TSN mit taktsynchroner Applikation
- Zeitanforderung < 250 µs: Herstellerspezifische Lösung

Ein Kennzeichen von hohen Zeitanforderungen sind schnell ablaufende Prozesse, hochdynamische Regelungen und hochpräzise Sensorik oder Aktorik.

Hersteller können spezielle Technologien entwickeln und vertreiben, um hohe Zeitanforderungen zu ermöglichen. Kontaktieren Sie in diesem Fall den Hersteller und besprechen Sie ihre Anforderungen mit diesem.

Dokumentieren Sie hohe Zeitanforderungen, die Sie in diesem Schritt bestimmt haben. Dokumentieren Sie auch, wie diese hohen Zeitanforderungen ermöglicht werden.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

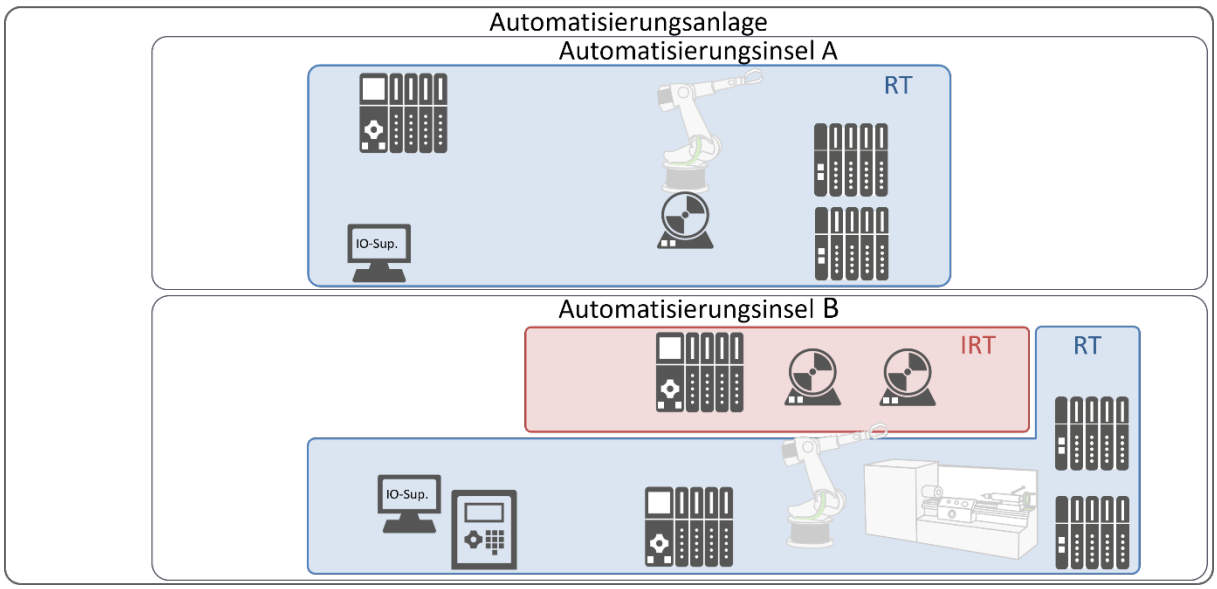


Abbildung 2-4: Anlagenbeispiel mit Echtzeit-Kanälen

Abbildung 2-4 zeigt das Anlagenbeispiel nach Bestimmung der Zeitanforderungen und der Festlegung der Echtzeit-Kanäle. In Insel B wird in einem Teilbereich IRT mit taktsynchroner Applikation verwendet, da mehrere Antriebe durch den Controller geregelt werden müssen.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

2.3 Die Conformance Classes

Der Funktionsumfang der PROFINET-Komponenten ist in vier sogenannte **Conformance Classes (CC)** eingeteilt. Ziel dieser Einteilung ist es, sinnvolle Funktionsumfänge zu definieren, um damit die Entscheidungskriterien für Anlagenbetreiber beim Einsatz von PROFINET-Komponenten einzugrenzen. Die CCs werden im Folgenden beschrieben. Danach werden die CCs für die Komponenten festgelegt.

Für detaillierte Informationen zu den einzelnen Conformance Classes nutzen Sie bitte das Dokument „Die PROFINET IO Conformance-Classes“ (Order No.: 7.041) der PROFIBUS Nutzerorganisation.

2.3.1 Beschreibung der Conformance Classes

Alle CCs beinhalten bestimmte Basisfunktionen. Diese sind:

- Standard-Ethernet-Kommunikation
- Verwendung von Twisted-Pair Kupferkabel oder Lichtwellenleiter
- Zyklische Kommunikation
    - Prozessdaten mit Aktualisierungszeiten zwischen 1 ms und 512 ms
- Azyklische Kommunikation
    - Alarme, Parameter, Diagnose- und Statusinformationen
- Zertifizierte Controller und Devices

Die CCs ergänzen diese Basisfunktionen. Es gibt vier CCs: CC-A, CC-B, CC-C und CC-D. Tabelle 2-3 zeigt die Funktionen, die durch die CCs festgelegt werden.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Tabelle 2-3: Die Funktionsumfänge der Conformance Classes

CC	A	B	C	D
Echtzeit-Kanal	RT	RT	IRT	TSN
Taktsynchronität	Nein	Nein	Optional	Optional
Switches zertifiziert	Nein	Ja	Ja	Ja
Netzwerkmanagement mit SNMP	Nein	Ja	Ja	Ja
Topologieerkennung mit LLDP	Nein	Ja	Ja	Ja
Stoßfreie Medienredundanz	Nein	Optional mit MRPD	Optional mit MRPD	Optional mit FRER
Isolation des Echtzeitverkehrs	Nein	Nein	Ja	Ja
Uhrzeit-Synchronisation	Optional	Optional	Optional	Optional
Drahtlose Kommunikation	Optional	Optional	Nein	Optional
Datenrate[a]	10 Mbit/s bis 10 Gbit/s	10 Mbit/s bis 10 Gbit/s	100 Mbit/s	10 Mbit/s bis 1 Tbit/s

[a]: Es muss mindestens eine der genannten Datenraten unterstützt werden.

Die CCs legen lediglich Mindestanforderung an die Geräte fest. Geräte können weitere Funktionen unterstützen, die nicht durch die Conformance Class festgelegt werden.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

2.3.2 Festlegung der Conformance Classes

Legen Sie jetzt die Conformance Class aller Geräte fest. Die Auswahl der CC hängt von den Zeitanforderungen, den verfügbaren Geräten und den weiteren benötigten Funktionen ab.

Hohe Zeitanforderungen

In Bereichen mit hohen Zeitanforderungen ist die Wahl der CC teilweise durch den Echtzeit-Kanal bestimmt, denn IRT ist nur in der CC-C und TSN nur in der CC-D verfügbar. Häufig kann aber entweder IRT oder TSN genutzt werden, um die hohe Zeitanforderung zu ermöglichen. Beachten Sie in diesem Fall die folgenden Hinweise, um die Entscheidung zwischen CC-C und CC-D zu treffen:

- Die CC-C und die CC-D können innerhalb einer funktionalen Gruppe nicht gemischt werden. Sie sind nicht miteinander kompatibel.
- Prüfen Sie, ob ein benötigtes Gerät nur in der CC-C oder nur in der CC-D verfügbar ist. In diesem Fall bestimmt das Gerät die CC.
- Die CC-D bietet gegenüber der CC-C den Vorteil von Gigabit-Ethernet.

Beachten Sie, dass Taktsynchronität eine **optionale** Funktion in der CC-C und CC-D ist.

Falls Sie eine taktsynchrone Applikation verwenden möchten, müssen Sie bei der Geräteauswahl sicherstellen, dass die Geräte Taktsynchronität unterstützen.

Die Information, ob ein Gerät Taktsynchronität unterstützt, finden Sie im Datenblatt, durch Kontakt mit dem Hersteller oder in der GSD-Datei (ApplicationClass = "Isochronous").

Keine hohen Zeitanforderungen

In Bereichen ohne hohe Zeitanforderungen kann als Echtzeit-Kanal RT oder TSN verwendet werden. Somit kommen die CC-A, CC-B und CC-D in Frage.

Die CC-A sollte nur dann verwendet werden, wenn andere CCs nicht verwendet werden können. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn ein Gerät nur in der CC-A verfügbar ist oder nicht-zertifizierte Switches verwendet werden.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Damit verbleibt in den meisten Anlagen die Wahl zwischen der CC-B mit RT und der CC-D mit TSN. An dieser Stelle wird kurz auf die Unterschiede zwischen diesen beiden CCs eingegangen, um Ihnen die Entscheidung zu erleichtern.

2.3.3 Vorteile von TSN gegenüber RT

In der CC-D wird Time Sensitive Networking (TSN) verwendet. Dabei handelt es sich um mehrere Ethernet-Standards, die zu einer Verbesserung der Eigenschaften des Netzwerks führen. Die CC-D bietet gegenüber der CC-B eine Reihe von Vorteilen:

- **Isolation des Echtzeitverkehrs**: Bei Verwendung von RT in der CC-B wird der Echtzeitverkehr gegenüber anderem Verkehr priorisiert behandelt. Wenn das Netzwerk durch Nicht-Echtzeitverkehr überlastet wird oder große Pakete übertragen werden, hat dies dennoch eine negative Auswirkung auf die Echtzeit-Kommunikation. Diese Probleme werden durch TSN gelöst.
  Die Nutzung von TSN sorgt dafür, dass die Übertragung der Prozessdaten nicht durch andere Daten im Netzwerk beeinflusst werden kann. Dadurch werden konvergente Netze, in denen PROFINET und andere Dienste dasselbe Netzwerk verwenden, einfacher umsetzbar.
- **Taktsynchrone Applikation**: TSN ermöglicht eine taktsynchrone Applikation. Die Umsetzung in Geräten der CC-D ist allerdings optional.
- **Stoßfreie Medienredundanz**: Die stoßfreie Medienredundanz wird optional mit FRER ermöglicht.

Die Unterschiede zwischen CC-B und CC-D betreffen somit hauptsächlich die Netzwerkeigenschaften. Da zu diesem Zeitpunkt das Netzwerk noch nicht geplant wurde, kann eine Anpassung der CCs im weiteren Planungsverlauf notwendig sein.

Geräte der Conformance Class D sind zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Dokuments (Juli 2024) noch nicht am Markt verfügbar, da die CC-D erst vor kurzer Zeit definiert wurde. Falls Sie Funktionen der CC-D verwenden möchten, haben sie zwei Optionen:

- Informieren Sie sich beim Hersteller, ob dieser Geräte anbietet, die Ihren Anforderungen entsprechen, ohne dass TSN verwendet wird.
- Informieren Sie sich beim Hersteller über die Markteinführung von Geräten der CC-D.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Geräte der Conformance Class D sind aktuell (Juli 2024) nicht am Markt verfügbar.

Legen Sie jetzt die Conformance Class eines jeden Gerätes fest. Dadurch ist sichergestellt, dass der gewünschte Funktionsumfang in den PROFINET-Geräten zur Verfügung steht.

Die CC-A sollte nur genutzt werden, wenn andere CCs nicht verwendet werden können.

Die CC-B ist für typische Anwendungen geeignet und wird meistens verwendet.

Die CC-C ist für Anwendungen mit hohen Zeitanforderungen geeignet.

Die CC-D ist sowohl für typische Anwendungen als auch für Anwendungen mit hohen Zeitanforderungen geeignet und bietet gegenüber der CC-B und der CC-C durch die Nutzung von TSN eine Reihe von Vorteilen.

Dokumentieren Sie die festgelegten Conformance Classes.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

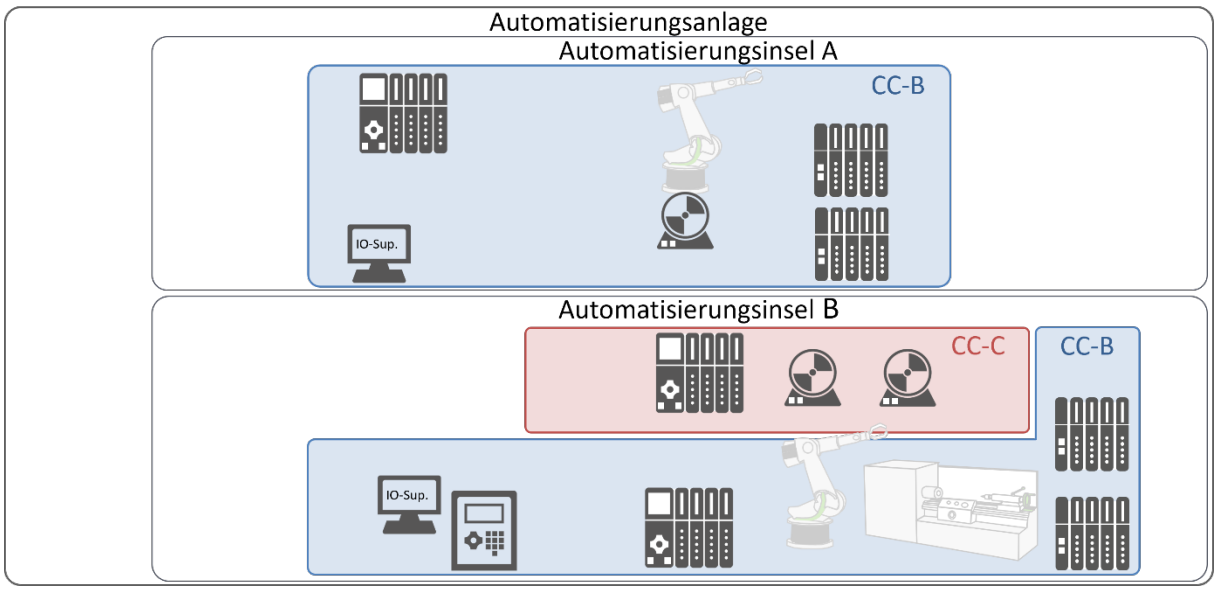


Abbildung 2-5: Anlagenbeispiel mit Conformance Classes

In Abbildung 2-5 ist das Anlagenbeispiel nach Festlegung der Conformance Classes zu sehen. Da in einem Teil von Insel B IRT verwendet wird, wird dort die CC-C verwendet. Für die übrigen Komponenten wird die CC-B verwendet.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

2.4 Weitere Kriterien zur Geräteauswahl

Neben dem Funktionsumfang der Conformance Classes sind bei der Auswahl der Geräte weitere Kriterien zu berücksichtigen. In diesem Kapitel finden Sie zu den folgenden Kriterien Informationen und Planungshinweise:

- PROFINET-Applikationsprofile
- Funktionale Sicherheit mit PROFIsafe
- Vorgaben des Endkunden
- Umweltanforderungen
- Art der Anbindung des Geräts
- Sonstige Vorgaben

Prüfen Sie darüber hinaus die Herstellerangaben der von Ihnen gewählten Geräte auf Einschränkungen und Randbedingungen.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

2.4.1 Applikationsprofile

PROFINET definiert Applikationsprofile, die optional von Geräten implementiert werden können. Applikationsprofile definieren herstellerübergreifend eine Reihe von Eigenschaften, die von den Geräten unterstützt werden. Es wird sichergestellt, dass sich Geräte verschiedener Hersteller identisch verhalten. Durch die Nutzung von Applikationsprofilen ergeben sich folgende Vorteile:

- Herstellerunabhängige Gerätewahl
- Einfacher Gerätetausch auch bei Wechsel des Herstellers
- Vereinfachte Konfiguration

Tabelle 2-4: Übersicht über ausgewählte Applikationsprofile

Profil	Zweck des Profils	Quelle
PROFIsafe	Übertragung sicherheitsrelevanter Daten	[PRS2023]
PROFIdrive	Schnittstelle zu Antrieben	[PRD2015]
PROFIenergy	Energiemanagement	[PRE2021]
PROFIprocess	Profil für die Prozessindustrie	[PRP2022]
SRCI	Programmierung von Robotern	[PRR2024]

Tabelle 2-4 zeigt einige Applikationsprofile und ihre Anwendungsgebiete. Neben den aufgelisteten Profilen gibt es viele weitere. Eine Übersicht ist unter der Adresse https://www.profibus.com/download/profiles zu finden.

Prüfen Sie, ob Sie eines oder mehrere Applikationsprofile verwenden möchten. Stellen Sie bei der Auswahl der Geräte sicher, dass die benötigten Profile unterstützt werden.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

2.4.2 Funktionale Sicherheit mit PROFIsafe

Bei PROFIsafe handelt es sich um ein PROFINET-Applikationsprofil für sicherheitsgerichtete Kommunikation. Dieses stellt sicher, dass Mensch und Maschine während des Betriebs einer Automatisierungsanlage nicht zu Schaden kommen. PROFIsafe-Geräte können mit Standard-PROFINET-Geräten parallel an einem PROFINET-Netzwerk betreiben werden. Abbildung 2-6 zeigt an einem Beispiel die Verwendung von PROFIsafe-Geräten innerhalb eines PROFINET-Netzwerks.

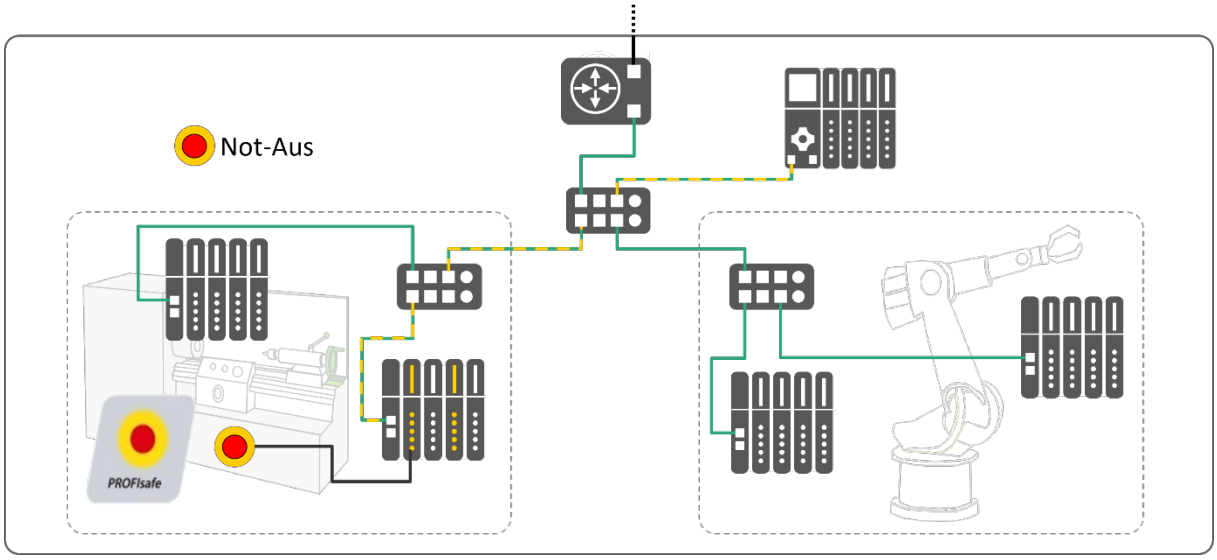


Abbildung 2-6: Einsatz von PROFIsafe über PROFINET

Die sicherheitsgerichtete PROFIsafe-Kommunikation (gelb), wie auch die PROFINET-Kommunikation, wird über das gemeinsam genutzte Netzwerk übertragen. Alle Teilnehmer der sicherheitsgerichteten Kommunikation müssen über eine IEC 61010-Zertifizierung verfügen (in der EU das CE-Zeichen).

Berücksichtigen Sie bei der Geräteauswahl sicherheitstechnische Aspekte, wenn während des Betriebs ein möglicher Schaden an Mensch und Maschine abgewendet werden muss. PROFIsafe-Geräte müssen neben einer PROFINET-Zertifizierung über eine PROFIsafe-Zertifizierung verfügen.

Weitere Informationen über PROFIsafe finden Sie in der IEC 61784-3-3.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

2.4.3 Vorgaben des Endkunden bezüglich der Geräteauswahl

Vielfach ist das Anforderungsprofil einer Automatisierungsanlage bereits vorbestimmt. In diesen Fällen ist es üblich, dass bei der Auslegung oder Auswahl von Geräten sogenannte Freigabelisten zum Einsatz kommen, die vom Endkunden bereitgestellt werden. Diese Listen enthalten vom Endkunden freigegebene Komponenten. Der Sinn einer Freigabeliste liegt darin:

- Den Zeit- und Arbeitsaufwand des Auswahlprozesses zu verkürzen.
- Gleichartige Komponenten in der gesamten Anlage zu verwenden.
- Stets dasselbe Anforderungsprofil zur Verfügung zu haben.

Vorgaben bei der Geräteauswahl, seitens Ihres Endkunden, sind stets zu beachten. Weiterhin gilt natürlich, dass die Freigabelisten Ihren Vorgaben der Conformance Classes entsprechen sollten.

Überprüfen Sie, ob Ihnen der aktuelle Stand der Freigabelisten zur Verfügung steht.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

2.4.4 Umweltanforderungen an das PROFINET-Gerät

Bei der Planung der Automatisierungsanlage sind für die Auswahl der Geräte auch die Umgebungsbedingungen zu berücksichtigen. Man unterscheidet bei der Lage der Geräte grundsätzlich zwischen dem Einbau im Schaltschrank und der ungeschützten Montage in der Anlage.

Beide Umgebungen stellen bestimmte Anforderungen an die Teilnehmer des PROFINET-Netzwerks.

- Eindringen von Fremdkörpern und Flüssigkeiten (IP-Schutzart)
- Mechanische Anforderungen, z.B. Vibration, Schock
- Temperatureinflüsse
- Elektromagnetische Einflüsse

Markieren Sie Bereiche in der Anlage, die besondere Anforderungen an das zu installierende Gerät stellen, um Ihre Geräteauswahl zu optimieren.

Berücksichtigen Sie bei der Geräteauswahl mögliche äußere Einflüsse. Passen Sie Ihre Geräteauswahl entsprechend der Herstellerangaben an.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

2.4.5 Art des Anschlusses am PROFINET-Gerät

PROFINET unterstützt eine Vielzahl an Anbindungsmöglichkeiten an das Netzwerk. Üblicherweise wird bei der Anbindung der PROFINET-Geräte eine Kupferverkabelung genutzt. Der Anschluss durch Lichtwellenleiter und die drahtlose Kommunikation sind ebenfalls möglich.

Für die Nutzung der leitungsgebundenen Übertragungsmedien stehen mehrere Anschlusstechniken zur Verfügung. Diese Anschlusstechniken lassen sich nach ihrem Übertragungsmedium einteilen, wie Tabelle 2-5 zeigt.

Tabelle 2-5: Anschlusstechniken für PROFINET-Geräte

Kupferkabelanschlüsse	Lichtwellenleiter-Anschlüsse
M12 RJ45 (IP20) Push-Pull-RJ45 (IP65)	M12 SCRJ (IP20) SCRJ-Push-Pull (IP65)

Die Anschlusstechnik wird vom ausgewählten Gerät bestimmt. In einem späteren Planungsschritt kann es aufgrund bestimmter Topologie- oder Umweltanforderungen notwendig sein, dass zusätzliche Medienkonverter benötigt werden.

Bei allen Steckverbindern und Kabeln handelt es sich um PROFINET-Komponenten, für die eine Herstellererklärung über die Konformität zu den PROFINET-Standards vorliegen muss.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

2.5 Festlegung der Geräte

Treffen Sie nun anhand der Ihnen vorliegenden Informationen die Geräteauswahl. Beachten Sie dabei die Anforderungen der Automatisierungsaufgabe, die Conformance Class, die Umgebungsbedingungen und weitere Anforderungen an die Geräte.

Zu einem späteren Zeitpunkt ist ggf. eine Anpassung der Auswahl der Geräte durchzuführen, um die Anschlusstechnik und das Übertragungsmedium auf die Anforderungen abzustimmen.

Überprüfen Sie nochmals ob alle Anforderungen, welche an die Platzierung und die Eigenschaften der Geräte gesetzt werden, auch berücksichtigt sind.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

2.6 Dokumentation der Ergebnisse

Als Abschluss der Geräteauswahl sollten Ihnen alle Informationen der ausgewählten Geräte vorliegen. Darunter fallen Geräteinformationen wie:

- Der verwendete Echtzeit-Kanal (RT, IRT oder TSN)
- Die Conformance Class
- Der Geräteanschluss bzw. das Übertragungsmedium (Kupfer, Lichtwellenleiter oder Drahtlos)
- Die Unterstützung von weiteren Funktionen

Führen Sie zu diesem Zeitpunkt noch keine Detailplanung von Geräteparametern durch. Diese sind Bestandteil späterer Kapitel.

Dokumentieren Sie Ihre Auswahl an PROFINET-Geräten und tragen Sie alle relevanten Informationen zusammen. Erstellen Sie Listen der ausgewählten Geräte und deren Eigenschaften.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

3 Bestimmung der Netzwerktopologie

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Diesem Kapitel ist die Analyse des Automatisierungsvorhabens vorausgegangen. Dabei wurde in einem ersten Schritt festgelegt, welche Geräte in der Anlage verwendet werden. Als Teil der fortschreitenden detaillierteren Planung wird als nächster Schritt die Netzwerktopologie für die Anlage erstellt. Dabei werden Netzwerkkomponenten wie Switches und Router eingeplant und die Übertragungsmedien festgelegt.

Es wird zunächst auf einige allgemeine Topologie-Beispiele eingegangen, gefolgt von einem Überblick der einsetzbaren Übertragungsmedien und deren wichtigsten Eigenschaften.

Die Netzwerktopologie wird in zwei Schritten festgelegt. Im ersten Schritt wird die Topologie innerhalb der funktionalen Gruppen festgelegt. Damit ist sichergestellt, dass alle Devices mit ihren Controllern kommunizieren können. Im zweiten Schritt werden die übrigen Kommunikationsaufgaben zwischen funktionalen Gruppen oder zu anderen Netzwerken gelöst. Dabei erfolgt auch eine Einordnung der Automatisierungsanlage in der Architektur des Unternehmensnetzes.

Wurden die Topologie und die zu verwenden Übertragungsmedien festgelegt, folgt eine Überprüfung, ob die in Kapitel 2 ausgewählten Geräte den Anschluss der gewählten Übertragungsmedien zulassen.

Abschließend erfolgt die Dokumentation der Topologieplanung.

Die hier betrachteten Informationen zu Übertragungsmedien und Steckverbindern stellen nur einen kurzen Abriss der wichtigsten Informationen dar.

Informieren Sie sich an gegebener Stelle (z.B. dem Hersteller) über genauere Informationen.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

3.1 Grundlagen zur Netzwerktechnik

In diesem Kapitel werden Grundlagen der Netzwerktechnik dargestellt, die für die Planung der Topologie relevant sind. Zunächst werden die Begriffe Port, Interface, Switch und Router definiert:

- Ein **Port** ist eine physische Buchse an einem Netzwerkteilnehmer, an die eine Ethernet-Leitung angeschlossen werden kann.
- Ein **Interface** ist ein logischer Zugriffspunkt an einem Netzwerkteilnehmer. Ein Interface kann einen oder mehrere Ports umfassen. Jedes Interface besitzt eine MAC-Adresse und eine IP-Adresse, über die das Interface adressiert werden kann.
- **Switches** werden verwendet, um ein Netzwerk zu erstellen, in dem alle Teilnehmer beliebig miteinander kommunizieren können. Ein Switch verfügt über mehrere Ports, an die die Teilnehmer angeschlossen werden. Als Switches können Einzelgeräte oder integrierte Switches genutzt werden. Ein Switch leitet eintreffende Daten an einen oder mehrere Ausgangsports weiter.
- **Router** werden verwendet, um mehrere Netzwerke miteinander zu verbinden. Ein Router verfügt über mehrere Interfaces. Damit eine Kommunikation über einen Router hinweg möglich ist, muss die Kommunikation IP-basiert stattfinden. Beispiele für IP-basierte Protokolle sind SNMP und HTTP.

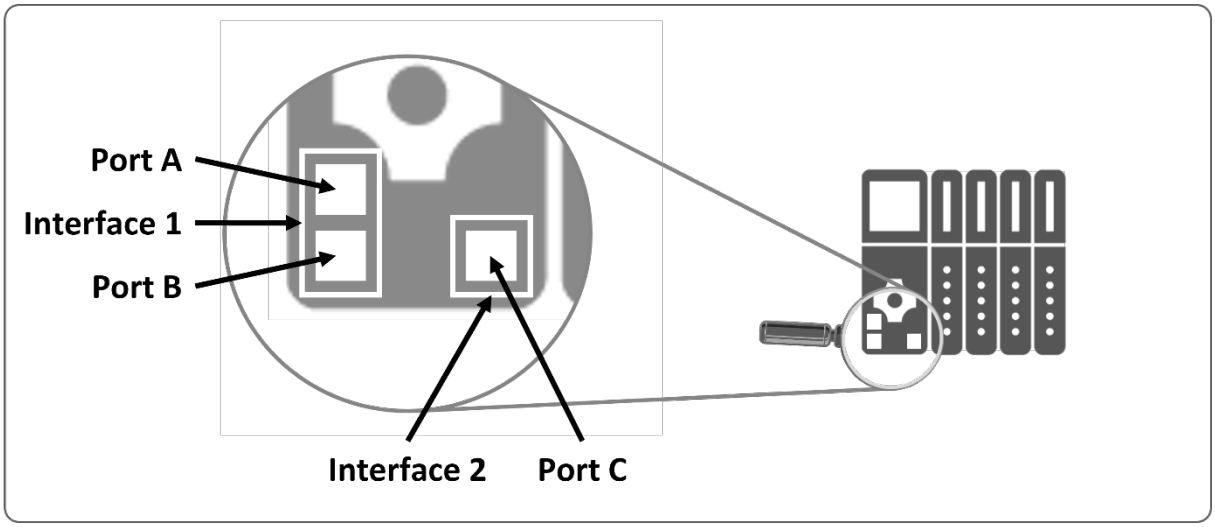


Abbildung 3-1: Unterschied zwischen den Begriffen Port und Interface

In Abbildung 3-1 ist ein PROFINET-Gerät mit zwei Interfaces zu sehen. Interface 1 verfügt über zwei Ports (Port A und Port B), Interface 2 über einen Port (Port C).

Falls ein PROFINET-Gerät mehrere Interfaces hat, kann es mit mehreren verschiedenen Netzwerken verbunden werden. Dies wird unter anderem genutzt, um das Gerät gleichzeitig mit zwei getrennten Netzwerken zu verbinden, z. B. für Redundanzzwecke.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Falls ein Interface über mehrere Ports verfügt, sind diese durch einen integrierten Switch miteinander verbunden. Dies ermöglicht die Anbindung von Geräten in einer Linien-Topologie. Alternativ können Switches als Einzelgeräte verwendet werden. Abbildung 3-2 zeigt den Unterschied der Anbindung über einen integrierten Switch oder einen Switch als Einzelgerät.

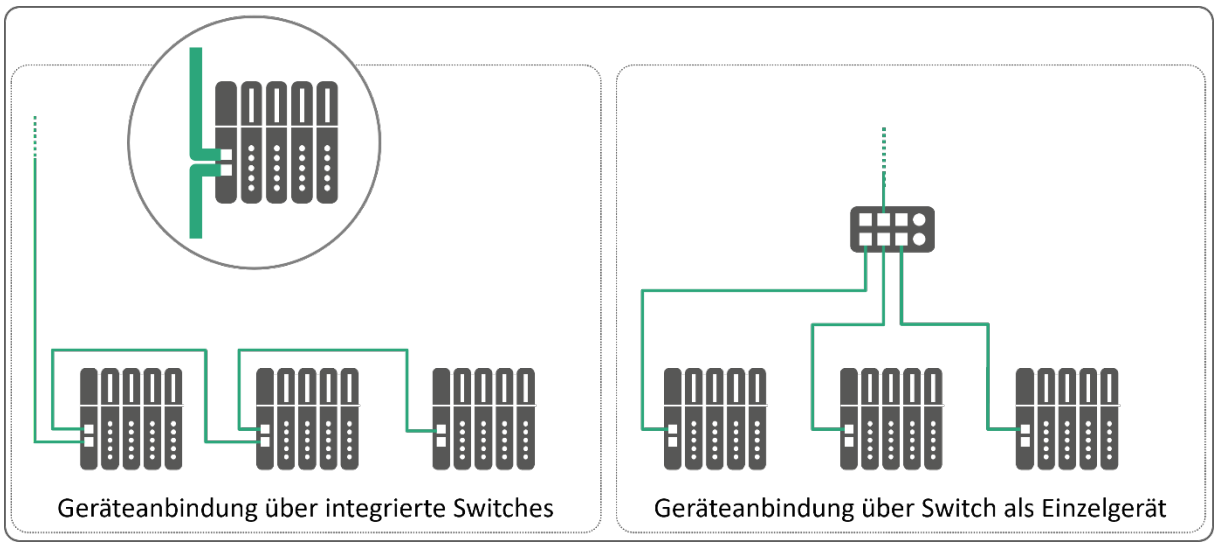


Abbildung 3-2: Unterschied integrierter Switch und Switch als Einzelgerät

In Tabelle 3-1 sind die Vorteile der beiden Switch-Varianten aufgelistet.

Tabelle 3-1: Vorteile der beiden Switch-Varianten

Vorteile integrierter Switches	Vorteile eines Switches als Einzelgerät
Kostenreduktion, da kein zusätzlicher Switch erforderlich ist. Tausch von defekten Netzwerkteilnehmern ohne Unterbrechung der restlichen Kommunikation ist bei Ring-Topologie mit Medienredundanz möglich.	Tausch von defekten Netzwerkteilnehmern ohne Unterbrechung der restlichen Kommunikation ist bei Stern- und Baum-Topologie möglich.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Ab Conformance Class B ist bei PROFINET der Einsatz von managed Switches vorgeschrieben. Aber auch für in Conformance Class A ausgeführte Anlagen bieten solche Switches Vorteile, wie eine bessere Diagnostizierbarkeit, weswegen ein Einsatz von managed Switches in jedem Fall empfohlen ist.

Die Auswahlkriterien für die Teilnehmer des PROFINET-Netzwerks bezüglich Geräteeigenschaften und Umweltanforderungen, sind für Switches als Einzelgeräte ebenso festzulegen. Eine Hilfestellung zur Auswahl von Switches als Einzelgerät befindet sich im Anhang dieses Dokuments (siehe Kapitel 10.9).

Da die PROFINET-Kommunikation von Prozessdaten nicht IP-basiert ist, kann sie nicht über Router hinweg erfolgen. Abbildung 3-3 zeigt zwei PROFINET-Netzwerke, die über Router miteinander verbunden sind. Innerhalb von Netzwerk 1 können alle Geräte Prozessdaten über PROFINET miteinander austauschen und zusätzlich mit IP-basierten Protokollen kommunizieren. Dasselbe gilt innerhalb von Netzwerk 2. Ein Gerät aus Netzwerk 1 kann über PROFINET allerdings keine Prozessdaten mit einem Gerät aus Netzwerk 2 austauschen. Nur die IP-basierte Kommunikation ist in diesem Fall möglich.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

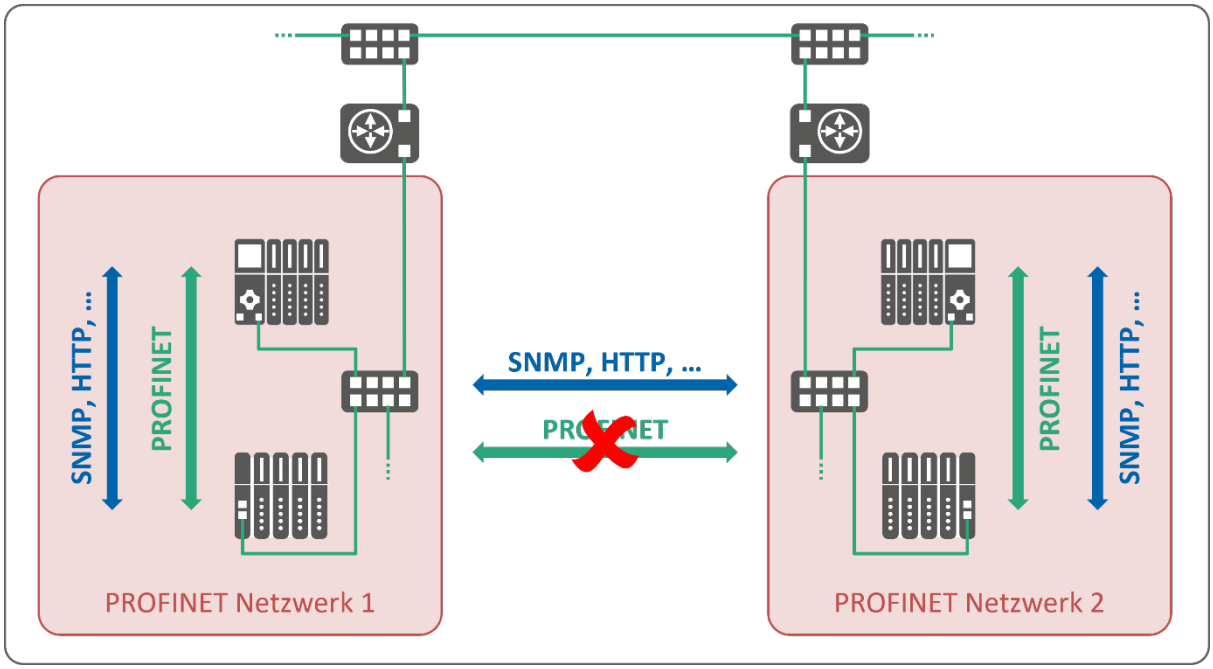


Abbildung 3-3: Verwendung eines Routers in PROFINET-Netzwerken

Innerhalb der funktionalen Gruppen, die Sie im Lageplan gekennzeichnet haben, werden Prozessdaten miteinander kommuniziert. Daher müssen alle Geräte einer funktionalen Gruppe mithilfe von Switches miteinander vernetzt werden. Die Vernetzung kann durch verschiedene Topologien und Übertragungsmedien erfolgen, die im Folgenden erläutert werden.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

3.2 Einsetzbare PROFINET Topologien

Auf den folgenden Seiten dieses Kapitels werden die verschiedenen grundlegenden PROFINET-Topologien vorgestellt.

Eine wesentliche Eigenschaft des PROFINET ist der variable Netzaufbau. Durch die Ausnutzung aller Topologie-Formen des Standard-Ethernets unterstützt PROFINET eine nahezu unbegrenzte Anzahl an Kombinationsmöglichkeiten.

Stern-Topologie

In Bereichen mit geringer räumlicher Ausdehnung bietet sich die Stern-Topologie an. Durch den Anschluss von mehreren Kommunikationsteilnehmern an einen zentralen Switch entsteht automatisch eine sternförmige Netzwerktopologie.

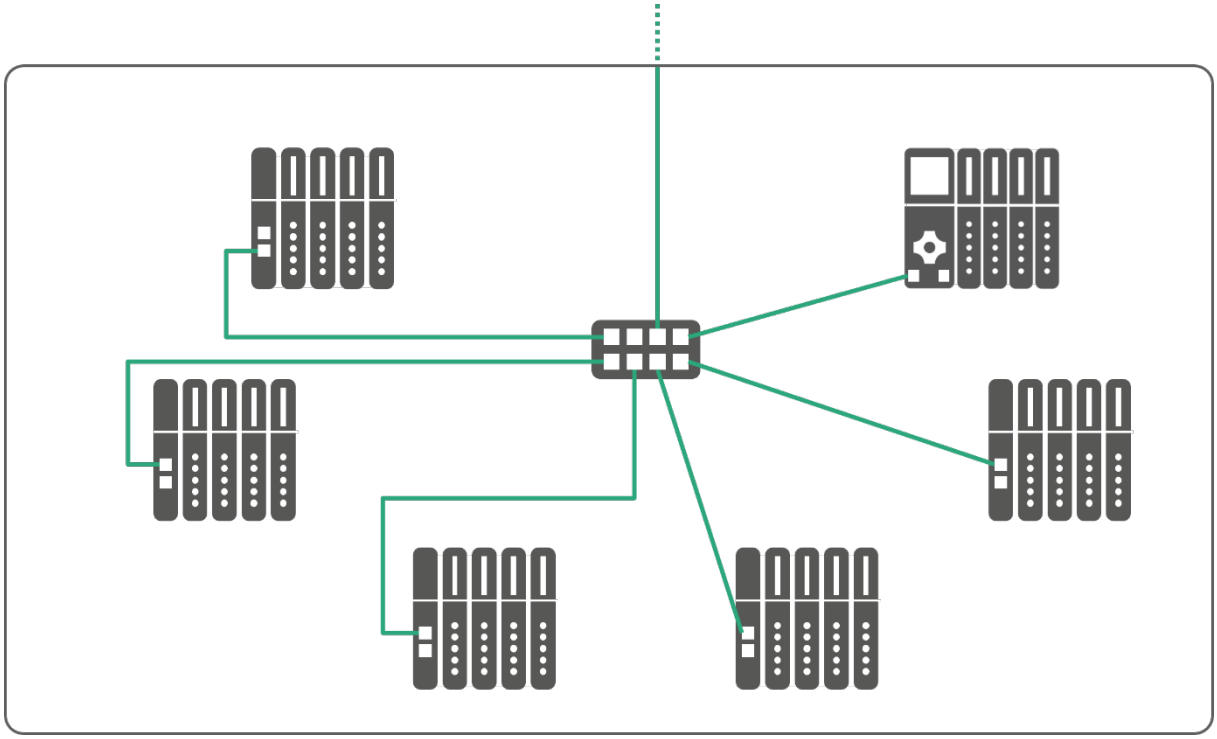


Abbildung 3-4: Stern-Topologie

Wenn ein einzelner PROFINET-Teilnehmer ausfällt oder entfernt wird, führt dies nicht zu einem Ausfall des gesamten Netzwerkes. Lediglich der Ausfall des zentralen Switches führt zur Unterbrechung der Kommunikation mit den angeschlossenen Teilnehmern.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Baum-Topologie

Die Baum-Topologie entsteht aus der Verbindung mehrerer sternförmiger Netzwerke zu einem Netzwerk. Funktional zusammenhängende Anlagenteile werden zu Sternpunkten zusammengefasst. Diese werden untereinander über benachbarte Switches vernetzt.

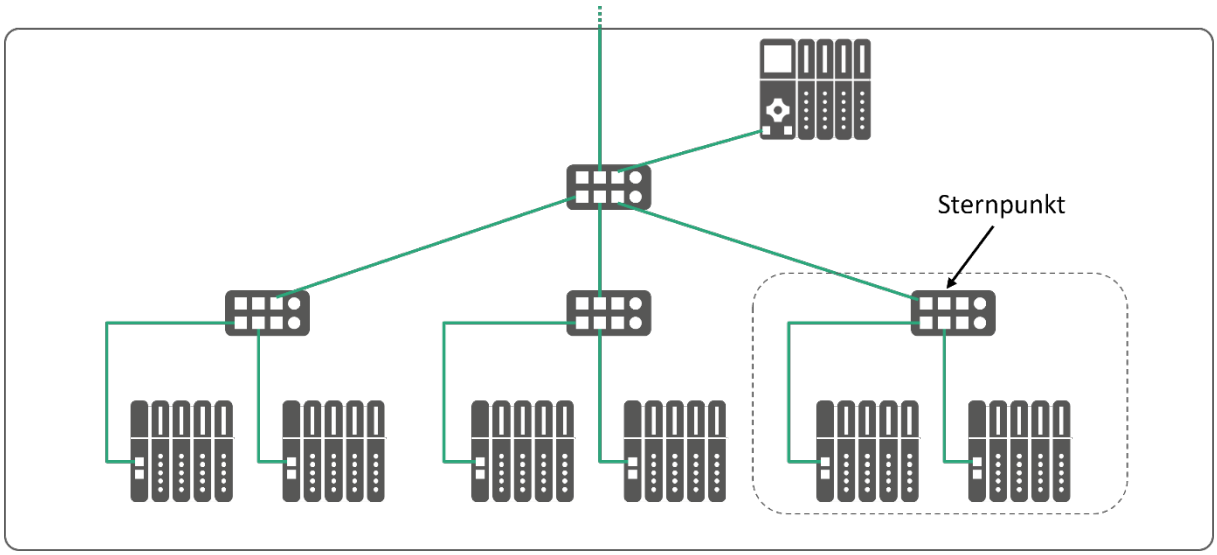


Abbildung 3-5: Baum-Topologie

Ein Switch übernimmt die Funktion des Signalverteilers im Sternpunkt. Da der Switch Nachrichten adressiert weiterleitet, gelangen nur Nachrichten auf benachbarte Verteiler, die auf dem jeweiligen Verteiler auch benötigt werden.

Die Baum-Topologie ist ein typisches Beispiel zur Aufteilung einer Automatisierungsanlage in unterschiedliche Fertigungsinseln.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Linien-Topologie

Eine bekannte Topologie aus der Automatisierung ist die Linie. Diese findet Anwendung in weitläufigen Automatisierungsanlagen wie Fließbändern, aber auch in Bereichen kleiner Maschinen. PROFINET-Geräte, welche über einen integrierten Switch verfügen, ermöglichen die leichte Realisierung der Linien-Topologie.

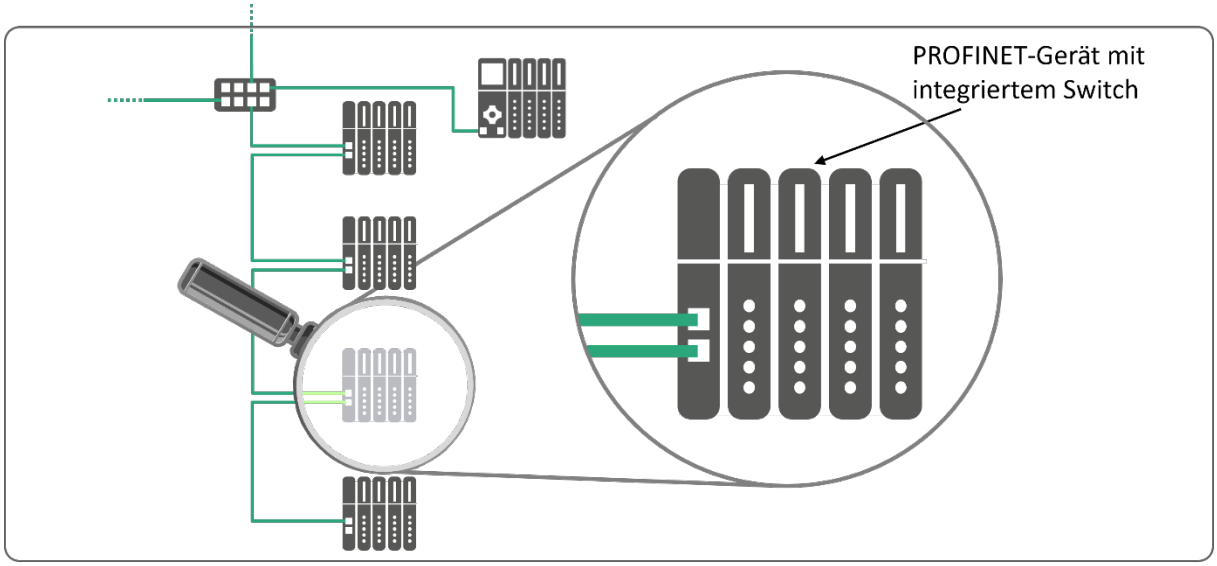


Abbildung 3-6: Linien-Topologie mit internen Switches

Die Verkabelung von PROFINET-Geräten ist so ohne Verwendung zusätzlicher Switches möglich.

Berücksichtigen Sie bei der Verwendung einer Linientopologie, dass bei Unterbrechung der Linie, (z.B. bei Ausfall eines Geräts) die in der Linie dahinter liegenden Geräte nicht mehr erreichbar sind. Dies kann durch die Erweiterung der Linie zu einer Ringstruktur unter Verwendung eines Redundanz-Protokolls vermieden werden.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Ring-Topologie

Die Bildung eines Rings ist in Standard-Ethernet nicht erlaubt. Durch Nutzung eines Redundanz-Protokolls werden Ringe bei PROFINET dennoch ermöglicht.

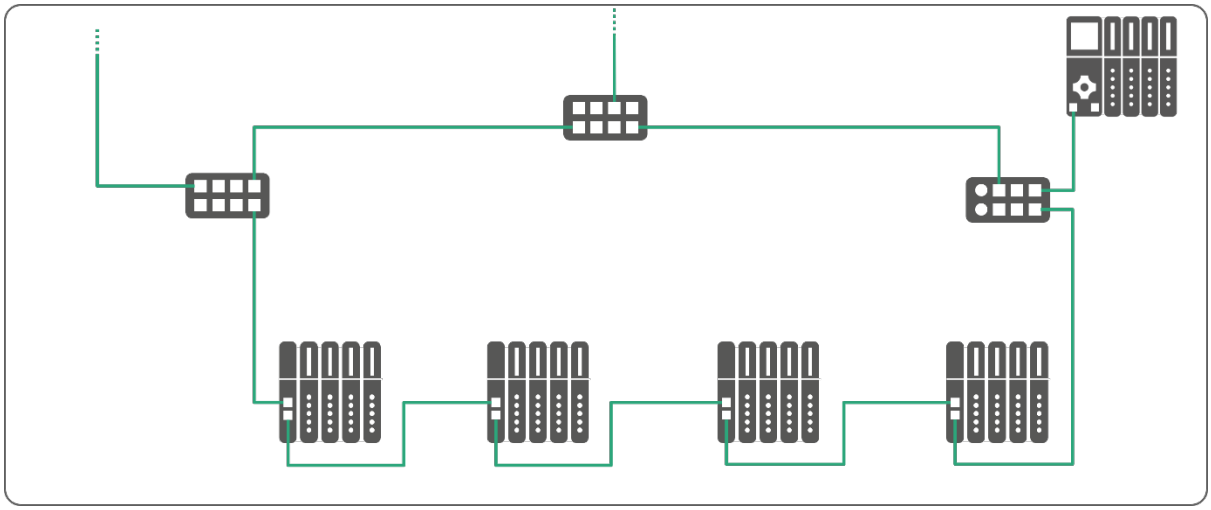


Abbildung 3-7: Ring-Topologie

Die Nutzung eines Rings erhöht die Verfügbarkeit der Anlage. Wenn ein Teilnehmer oder eine Verbindung ausfällt, wird der Ring zur Linie aufgespalten. Alle Teilnehmer sind weiterhin miteinander verbunden.

Eine Ring-Topologie erfordert zwingend die Nutzung eines Redundanz-Protokolls.

Lesen Sie Kapitel 4.2 und die PROFINET Planungsrichtlinie Redundanz (Order No.: 8.131), wenn Sie eine Ring-Topologie verwenden möchten.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

3.3 Auswahl der Datenrate

In einem PROFINET-Netzwerk können unterschiedliche Datenraten verwendet werden. Tabelle 3-2 zeigt die bei PROFINET in den verschiedenen CCs grundsätzlich erlaubten Datenraten. Beachten sie aber, dass die meisten Geräte nur einen kleinen Teil der erlaubten Datenraten implementieren. Die am häufigsten genutzten Datenraten sind 100 Mbit/s und 1 Gbit/s.

Tabelle 3-2: Erlaubte Datenraten in Abhängigkeit von der Conformance Class

Nicht-Echtzeit-Kanal	CC-A	CC-B	CC-C	CC-D
Erlaubte Datenrate	10 Mbit/s bis 10 Gbit/s	10 Mbit/s bis 10 Gbit/s	100 Mbit/s	10 Mbit/s bis 1 Tbit/s

Die Datenrate 100 Mbit/s ist auch unter dem Begriff „Fast Ethernet“ bekannt. Die Datenraten von 1 Gbit/s bis 100 Gbit/s werden in diesem Dokument als „Gigabit-Ethernet“ bezeichnet.

Die Auswahl der Datenrate hat Einfluss auf:

- Die nutzbaren Geräte: Die Geräte müssen die Datenrate unterstützen.
- Die Performance: Eine höhere Datenrate führt zu mehr verfügbarer Bandbreite und weniger Staus und Verzögerungen in den Switches. Zudem ist die Übertragung von großen Datenmengen schneller abgeschlossen.

In einem PROFINET-Netzwerk können mehrere verschiedene Datenraten verwendet werden, dies wird als **Mixed Link-Speeds** bezeichnet. In diesem Fall müssen besondere Anforderungen beachtet werden, um Staus an der Grenze zwischen zwei Datenraten zu vermeiden.

Lesen Sie Kapitel 7.4, falls Sie Mixed Link-Speeds verwenden möchten.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

3.4 Primäre Infrastruktur

Bei PROFINET findet der überwiegende Datenaustausch zwischen den Controllern und den Devices statt. Daher sollte die Kommunikationsstrecke, welche die Hauptlast trägt, hinreichend leistungsfähig sein.

Prinzipiell kann die Verbindung mithilfe einer beliebigen Topologie erfolgen. Es empfiehlt sich jedoch, je nach Anwendung, eine primäre Kommunikationsstrecke zu definieren, an die Teilnetze oder Linientopologien angeschlossen werden. Dies erleichtert außerdem eine spätere Erweiterung der Anlage.

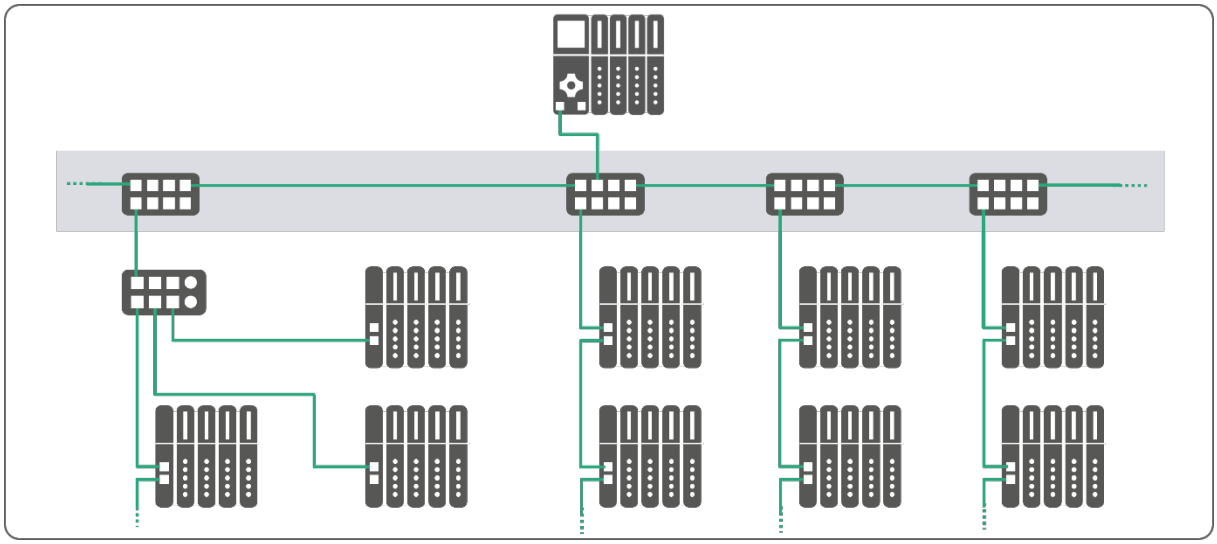


Abbildung 3-8: Beispieltopologie für primäre Infrastruktur

Abbildung 3-8 zeigt ein Beispiel für eine primäre Kommunikationsstrecke (grauer Kasten). Zur Steigerung der Verfügbarkeit kann diese bei Bedarf auch redundant ausgeführt werden.

In einem PROFINET-Netzwerk besteht die Möglichkeit Gigabit-Ethernet zwischen den Switches zu nutzen, auch wenn die Geräte nur für 100 Mbit/s ausgelegt sind. Für die Nutzung von Gigabit–Ethernet muss ein CAT 6-Kabel verwendet werden.

Eine primäre Kommunikationsstrecke ist besonders dann zu empfehlen, wenn das Netzwerk über viele Teilnehmer verfügt. Nutzen Sie möglichst PROFINET-zertifizierte, managed Switches für die primäre Kommunikationsstrecke.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

3.5 Einsetzbare Übertragungsmedien

Für eine kabelgebundene Vernetzung der Netzwerkteilnehmer stehen Kupferkabel und Lichtwellenleiter zu Verfügung. Das verwendete Kabel muss den Anforderungen des Automatisierungsvorhabens entsprechen. Hierzu bieten die Kabelhersteller eine ganze Reihe von PROFINET-Kabeln an, die sich durch ihre Einsatzgebiete und besonderen Eigenschaften unterscheiden.

Wenn eine kabelgebundene Vernetzung nicht möglich ist, können drahtlose Übertragungstechnologien wie WLAN, Bluetooth oder 5G verwendet werden. Die Nutzung von drahtloser Kommunikation ist nur in der CC-A und der CC-D möglich.

Drahtlose Kommunikation sollte nur dann eingesetzt werden, wenn es erforderlich ist. Die drahtlose Kommunikation weist gegenüber der kabelgebundenen Kommunikation eine Reihe von Nachteilen auf.

Die Nutzung von drahtloser Kommunikation erfordert eine spezielle Planung. Weitere Informationen finden Sie in Kapitel 4.4.

Die folgenden Kapitel beschreiben die wesentlichen Überlegungen, die bei der Wahl der PROFINET-Kupfer- und LWL-Verkabelung zu beachten sind. Gegenüber der Kupferverkabelung hat die LWL-Verkabelung weitere LWL-typische Parameter wie die Dämpfung und die genutzte Wellenlänge, die primär die Länge der Übertragungsstrecke begrenzen. Außerdem sind bei der Planung der korrekten Verlegung die Mindestabstände zwischen Datenleitungen und Energieleitungen einzuhalten (siehe Kapitel 3.5.3).

Im Anhang dieses Dokuments befindet sich neben einer Übersicht typischer Kabeleigenschaften eine weitergehende Beschreibung der Übertragungsmedien sowie deren Einsatzbereiche und Ausführungsformen.

Berücksichtigen Sie bei der Wahl des Übertragungsmediums die möglichen Einflüsse im Einsatzbereich (z.B. chemisch, elektrisch oder mechanisch).

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Eine PROFINET-Verbindung zwischen zwei Geräten wird „End-to-End-Link“ genannt, sofern die Steckverbinder an den beiden Kabelenden mit betrachtet werden. Von einem Channel spricht man, wenn lediglich die Übertragungsstecke, nicht aber die beiden Steckverbinder am Kabelende betrachtet werden.

Der Channel kann dabei aus unterschiedlichen Übertragungsmedien wie Kupfer oder Lichtwellenleitern bestehen.

Im Anhang finden Sie einige Beispiele, die die Auswahl der Verkabelungskomponenten veranschaulichen. Es werden auch vorkonfektionierte und vor Ort konfektionierte Kabel beschrieben.

Die korrekte Verlegung der PROFINET-Verkabelung muss bei der Planung berücksichtigt werden. Stellen Sie sicher, dass der zulässige Abstand zwischen Energie- und Datenkabeln nicht unterschritten wird. Weitere Informationen finden Sie in der PROFINET Installationsreichtlinie Best.-Nr.: 8.071.

3.5.1 PROFINET-Kupfer-Verkabelung (4-aderig, 8-aderig)

Ein PROFINET-Kupferkabel ist typischerweise ein 4-adriges, geschirmtes Kupferkabel (Sternvierer). Für hohe Übertragungsraten (1000 Mbit/s) sind 8-adrige Leitungen spezifiziert. Die verschiedenen Kabeltypen unterscheiden sich

- durch den Aufbau der Adern (fest / flexibel)
- und / oder der Ummantelung.

Die Adern sind farblich gekennzeichnet. Bei 4-adrigen Leitungen verfügen die Adern des Paares 1 über eine gelbe sowie eine orange Isolierung, während die Adern des Paares 2 eine blaue und eine weiße Isolierung besitzen. Die Adern der Paare sind gekreuzt gegenüberliegend angeordnet. 8-adrige PROFINET-Kupferkabel bestehen aus 4 Leitungspaaren mit den Farben Grün, Blau, Orange und Braun und den dazugehörigen weißen Adern.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Wie in Standard-Ethernet-Anwendungen, ist die maximal überbrückbare Entfernung bei Kupferverkabelungen auf 100 m zwischen Kommunikationsendpunkten begrenzt. Diese Übertragungsstrecke ist als PROFINET-End-to-end-link definiert.

In Automatisierungsanlagen sind ausschließlich PROFINET-Kabel zu verwenden.

Für ein PROFINET-Kabel liegt eine entsprechende Herstellererklärung vor.

Die Verwendung einer anwendungsneutralen Verkabelung (z.B. auf Basis bereits existierender Gebäudeverkabelungen) ist nur in Netzwerkbereichen zulässig, die der Conformance Class A entsprechen (z. B. zur Verbindung von Automatisierungsinseln).

Es empfiehlt sich jedoch, auch für diese Anwendung eine PROFINET-Verkabelung einzusetzen (z.B. zur Deckung höherer Conformance Class-Anforderungen).

Die gemeinsame Verlegung von Energieleitungen und Kupferverkabelungen zur Kommunikation unterliegt Vorschriften, um den elektromagnetischen Einfluss der Energieleitungen auf die Kommunikationsleitungen zu minimieren.

Lichtwellenleiter unterliegen nicht diesen elektromagnetischen Einflüssen.

Berücksichtigen Sie bei der Planung der Kabelführung, dass Vorschriften zur gemeinsamen Verlegung von Energieleitungen und der PROFINET-Kupferverkabelung eingehalten werden.

Folgen Sie dazu den Hinweisen in der PROFINET-Montagerichtlinie Order No.: 8.071 und in Kapitel 3.5.3.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Leitungstypen

Die Kupferkabel für PROFINET sind in verschiedene Typen eingeteilt, deren Hauptunterschied in den jeweiligen unterschiedlichen Anwendungen liegt:

Typ A-Verkabelungen sind für eine feste Verlegung gedacht. Dieser Typ unterliegt nach der Verlegung keiner Bewegung.

Typ B-Kabel ist für eine flexible Verlegung konzipiert. Dieser Kabeltyp erlaubt gelegentliche Bewegungen oder Vibrationen. Bei auftretenden Vibrationen ist dieser Kabeltyp zu verwenden, weil dieses Kabel weniger anfällig für Vibrationen ist.

Typ C-Kabel ist für spezielle Anwendungen (z.B. für permanente Bewegung des Kabels nach der Installation) gedacht. Dies gilt zum Beispiel für Anwendungen in Schleppketten oder bei Girlandenaufhängung.

Typ R-Kabel ist für Robotik-Anwendungen mit kombinierten Torsions- und Biegebelastungen gedacht.

Spezielle Eigenschaften des Kupferkabels, wie Zulassung zur Anwendung in Schleppketten oder Flammwidrigkeit können die maximale Kabellänge einer Kupferverbindung von 100 m herabsetzen.

Berücksichtigen Sie die Herstellerangaben für Kabel und Steckverbinder.

Neben der Ausführung der speziellen Eigenschaften von PROFINET-Kupferkabeln, werden im Anhang des Dokuments auch die Daten der einzelnen Leitungstypen detailliert aufgezeigt. Weitere Informationen zur Verkabelung und Verbindungstechnik finden Sie auch unter [PCI2023].

PROFINET-Kupferkabel-Ausführungen

Für PROFINET sind am Markt eine Reihe spezieller Kabelausführungen erhältlich. Die gängigsten PROFINET-Kabelausführungen sowie ihre Einsatzfälle sind nachfolgend aufgeführt:

- **PE-Kabel:** Das PE-Kabel eignet sich für die Verlegung in Bereichen, in denen mit ständiger Feuchtigkeit zu rechnen ist.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

- **Erdkabel**
- **Schwer entflammbares nicht korrodierendes Kabel (FRNC-Kabel):** Für die Verlegung in Bereichen, in denen besondere Brandschutzbestimmungen zu beachten sind, z.B. Hallen mit Publikumsverkehr.
- **Schleppleitung:** Einsatz für die Verlegung an beweglichen Maschinenteilen.
- **Kabel zur Girlandenaufhängung**
- **Schiffskabel (mit Schiffbauzulassung):** Zur Verlegung auf Schiffen und Offshore-Einheiten.

Verwenden Sie ausschließlich vom Hersteller speziell als PROFINET-Kabel spezifizierte Kabel. Nur diese stellen eine problemlose Inbetriebnahme und einen dauerhaften und fehlerfreien Betrieb der Anlage sicher.

Beachten Sie dafür das Informationsmaterial des Herstellers.

Weiterführende Informationen zur Verlegung und Erdung einer Kupferverkabelung finden Sie in der PROFINET-Montagerichtlinie Order No.: 8.071.

Informationen zur Montage und dem Aufbau der Erdung sowie zum Potentialausgleich in einem PROFINET-Netzwerk finden Sie in der PROFINET-Montagerichtlinie Order No.: 8.071 sowie in der Richtlinie Funktionspotentialausgleich und Schirmung von PROFIBUS und PROFINET Order No.: 8.101.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

3.5.2 Ethernet-APL Kabel

Ethernet APL definiert ein zweiadriges Kabel zum Anschluss von Sensoren und Aktoren an PROFINET. Die Leitung bietet eine Datenrate von 10 Mbit/s und liefert Energie an die Feldgeräte.

Weitere Einzelheiten zur Ethernet-APL-Verkabelung finden Sie in der Ethernet-APL-Engineering-Richtlinie [APL2021].

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

3.5.3 Kabelabstände

Bei der Verlegung von PROFINET-Kuperkabeln müssen bestimmte Mindesttrennabstände eingehalten werden, die in Tabelle 3-3 dargestellt sind. Die Werte sind der DIN EN 50174-2:2015-02 entnommen. Der Mindestabstand A zwischen Energiekabel(n) und PROFINET-Kabel wird berechnet durch Multiplizieren des aus Tabelle 3-3 zu entnehmenden Mindesttrennabstands S mit dem Faktor für die Stromversorgungsverkabelung P aus

Tabelle 3-4. Gemäß Kapitel 11.5.2. der Norm sollte der empfohlene Abstand das doppelte des Mindestabstandes betragen.

Tabelle 3-3: Mindesttrennabstände S für PROFINET-Verkabelung gemäß EN 50174-2:2018

	Für informationstechnische Verkabelung oder Stromversorgungsverkabelung verwendete Kabelkanäle		
Trennung ohne elektromagnetische Barriere	**Offener metallener Kabelkanal a**	**Lochblech-Kabelkanal b, c**	**Massiver metallener Kabelkanal d**
10 mm	8 mm	5 mm	0 mm

[a] Schirmleistung (0 MHz bis 100 MHz) äquivalent zu geschweißtem Stahlmaschenkorb mit der Maschengröße von 50 mm × 100 mm (Leitern ausgenommen). Diese Schirmleistung kann auch erzielt werden mit einer Stahlkabelwanne (Kabelbündel ohne Deckel) mit einer geringeren Wanddicke als 1,0 mm und/oder mehr als 20 % gleichmäßig gelochter Fläche.

[b] Schirmleistung (0 MHz bis 100 MHz) äquivalent zu einer Stahlkabelwanne (Kabelbündel ohne Deckel) mit einer Wanddicke von mindestens 1,0 mm und höchstens 20 % gleichmäßig gelochter Fläche. Diese Schirmleistung kann auch erzielt werden mit geschirmten Stromleitungen, die nicht die in Fußnote d festgelegten Leistungsmerkmale erfüllen.

[c] Die obere Oberfläche der installierten Kabel muss mindestens 10 mm unterhalb der Oberkante der Barriere liegen.

[d] Schirmleistung (0 MHz bis 100 MHz) äquivalent zu einem Stahl-Installationsrohr mit einer Wanddicke von 1,5 mm. Der angegebene Trennabstand gilt zusätzlich zu der von jeglicher durch Trennstege/Barrieren gebotenen Trennung.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Tabelle 3-4: Faktor P für Stromversorgungsverkabelung

Art des elektrischen Stromkreises [a, b, c]	**Anzahl der Stromkreise**	**Faktor für die Stromversorgungsverkabelung** P
20 A, 230 V, einphasig	1 bis 3	0,2
	4 bis 6	0,4
	7 bis 9	0,6
	10 bis 12	0,8
	13 bis 15	1,0
	16 bis 30	2
	31 bis 45	3
	46 bis 60	4
	61 bis 75	6
	>75	6

[a] Dreiphasige Kabel müssen als 3 einzelne einphasige Kabel behandelt werden.

[b] Mehr als 20 A müssen als Vielfaches von 20 A behandelt werden.

[c] Stromversorgungskabel für geringere Wechsel- oder Gleichspannung müssen auf Grundlage ihrer Stromstärkebemessung behandelt werden, d. h. ein 100 A/50 V-Gleichstromkabel entspricht 5 der 20-A-Kabel (P = 0,4).

Im Folgenden finden Sie ein Berechnungsbeispiel für empfohlene Abstände.

Annahme:

- Offener metallener Kabelkanal: gemäß Tabelle 3-3 Mindestrennabstand S = 8 mm

20 Versorgungsstromkreise mit je 20 A maximal, gemäß

- Tabelle 3-4: Faktor P = 2
- Empfohlener Abstand ist doppelter Mindestabstand gemäß Kapitel 11.5.2 der Norm

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Daraus ergibt sich:

Empfohlener_Abstand = 2 · Mindestabstand

Mindestabstand = S · P

Empfohlener_Abstand = 2 · S · P

Empfohlener_Abstand = 2 · 8 mm · 2 = 32 mm

Einschränkung:

Die Angaben in Bezug auf die minimalen Kabelabstände beziehen sich auf Installationen, bei denen PROFINET / PROFIBUS-Kabel über längere Strecken parallel zu ungeschirmten Energieleitungen laufen. Die hier gegebenen Werte stellen einen Orientierungsrahmen dar. Bei kürzerer paralleler Leitungsführung, z. B. im Inneren von Maschinen, bei geschirmten Energieleitungen oder bei der Nutzung von Hybridkabeln ist es zulässig die minimalen Abstände zu unterschreiten.

Die applikationsspezifischen reduzierten Abstände sind vom Hersteller der Systemkabel zu benennen. Dieses Vorgehen ist im Rahmen der EN 50174-2 vorgesehen.

Weitere Informationen bezüglich Mindesttrennabständen entnehmen Sie der IEC 61784-5-3 bzw. der EN 50174-2.

3.5.4 PROFINET-LWL-Verkabelung

In Bereichen, in denen mit elektromagnetischen Störfeldern oder hohen Potentialunterschieden zu rechnen ist, sollten Sie für die Verbindung von Automatisierungsinseln und -anlagen Lichtwellenleiter (LWL) verwenden. Die Nutzung von Lichtwellenleitern beseitigt elektromagnetische Einflüsse und/oder erdungsbedingte Ausgleichsströme durch die Schirme von PROFINET-Kupferkabeln.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

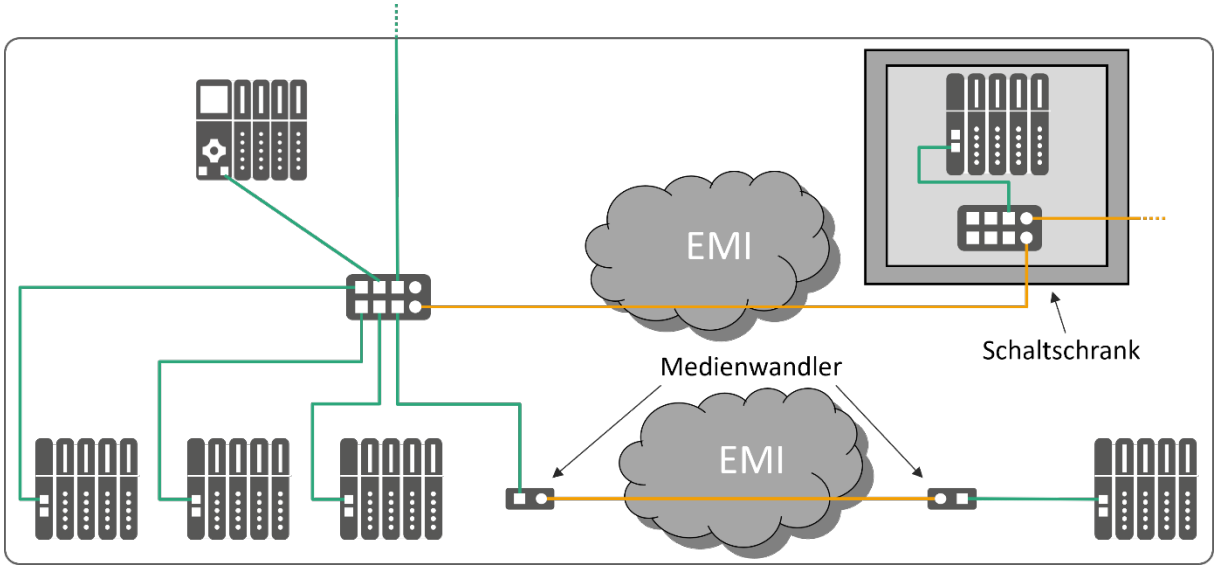


Abbildung 3-9: Anwendung LWL-Technik bei EMI

Abbildung 3-9 zeigt die Anwendung der LWL-Technik zur Anbindung von Netzwerkteilnehmern und / oder Schaltschränken in Bereichen elektromagnetischer Störungen. Die Vorteile der LWL-Übertragungstechnik gegenüber Kupferkabel sind:

- LWL überbücken in der Regel größere Entfernungen als Kupferkabel
- LWL ermöglichen eine komplette Potentialtrennung zwischen den gekoppelten Anlagenteilen
- LWL sind unempfindlich gegenüber elektromagnetischen Störungen (EMI)

Nachfolgend werden die unterschiedlichen Fasertypen beschrieben, die bei der Auslegung des PROFINET-Netzwerks Verwendung finden.

Optische Fasertypen

Bei Verwendung von Lichtwellenleitern (LWL) für PROFINET kommen vier verschiedene Fasertypen zum Einsatz. Die Auswahl eines Fasertyps muss unter Berücksichtigung der durch das Automatisierungsvorhaben gestellten Anforderungen erfolgen.

Folgende Fasertypen stehen zur Auswahl:

- Plastic-Optical-Fiber (POF)
- Glasfaser (Multimode)
- Glasfaser (Singlemode)
- Glasfaser mit Kunststoffmantel (Hard-Cladded-Silica-Fiber (HCF) oder Plastic-Cladded-Fiber (PCF))

Nachfolgend sind die wichtigsten LWL-Parameter aufgeführt.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Spezifische Dämpfung der Faser

Die spezifische Dämpfung der Faser ist abhängig von der Betriebswellenlänge und wird angegeben in dB/km. Die maximalen Werte für die verschiedenen Fasertypen, basierend auf der IEC 61784-5-3, sind in Tabelle 3-5 dargestellt.

Tabelle 3-5: Spezifische Dämpfung von Fasertypen

Fasertyp	Maximale Dämpfung	Wellenlänge
POF	≤ 230 dB/km	650 nm (LED-Anregung)
Multimode	≤ 1,5 dB/km	1 300 nm
Singlemode	≤ 0,5 dB/km	1 310 nm
HCF / PCF	≤ 10 dB/km	650 nm

Maximale LWL-Übertragungsstrecke

Mit jedem Fasertyp lässt sich, bedingt durch die jeweilige Dämpfung und die verwendete Wellenlänge des optischen Signals, nur eine begrenzte Übertragungsstrecke erzielen.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Tabelle 3-6: Erreichbare Übertragungsstrecke der LWL-Fasertypen

Faser-typ	Kerndurch-messer	Mantel-durchmes-ser	RT/IRT -Be-trieb	Übertragungsstrecke (typ. Werte)
POF	980 µm	1 000 µm	RT/IRT	bis 50 m
HCF / PCF	200 µm	230 µm	RT/IRT	bis 100 m
Multi-mode	50 µm oder 62,5 µm	125 µm	IRT	100 Mbit/s: bis 2 000 m 1 Gbit/s: bis 2 000 m
			RT	100 Mbit/s: bis 5 000 m 1 Gbit/s: bis 2 000 m
Sigle-mode	9 µm bis 10 µm	125 µm	IRT	100 Mbit/s: bis 4 000 m 1 Gbit/s: bis 4 000 m
			RT	100 Mbit/s: bis 26 km (200 km mit Extreme Long-Haul -Transceiver) 1 Gbit/s: bis40 km (120 km mit Extreme Long-Haul-Transceiver)

Die maximale Übertragungsstrecke ist ein Kriterium zur Auslegung einer LWL-Strecke. Bitte beachten Sie, dass die Angaben in Tabelle 3-6 lediglich Richtwerte darstellen. Es sind in jedem Fall die Angaben des Herstellers maßgeblich. Die nachfolgende maximale PROFINET-End-to-end-link-Dämpfung einer LWL-Strecke ist zudem maßgebend.

Maximal zulässige PROFINET-End-to-end-link-Dämpfung

In

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Tabelle 3-7 sind die maximal zulässigen Dämpfungswerte, basierend auf den Normen IEC 61784-5-3 und IEC 61300-3-4, für optische Übertragungsstrecken zusammengefasst.

Tabelle 3-7: Maximal zulässige PROFINET-End-to-end-link-Dämpfung

Fasertyp	Maximale PROFINET-End-to-end-link-Dämpfung	Wellenlänge
POF	12,5 dB	650 nm (LED-Anregung)
Multimode Glasfaser	62,5/125 µm: 11,3 dB 50/125 µm: 6,3 dB	1 300 nm
Singlemode Glasfaser	10,3 dB	1 310 nm
HCF / PCF	4,75 dB	650 nm

Bei der Verwendung von LWL-Verbindungen ist stets die maximal zulässige PROFINET-End-to-end-link-Dämpfung einzuhalten, welche der IEC 61300-3-4 entnommen sind.

Diese Grenzwerte enthalten darüber hinaus bereits Dämpfungsreserven.

Zusätzliche Verbindungsstellen im optischen Kabel

Zusätzliche Verbindungsstellen in der Verbindung (Spleiße bzw. Steckverbindungen) verursachen eine weitere Dämpfung des übertragenen optischen Signals. Plastic-Optical-Fiber (POF) und Hard-Cladded-Silica Fasern werden oftmals mit einfachen Mitteln im Feld konfektioniert. Diese Praxis ist mit einem höheren Dämpfungsansatz für die Steckstelle berücksichtigt. Typische Werte sind in Tabelle 3-8 dargestellt.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Tabelle 3-8: Dämpfung von Spleißen bzw. Steckverbinderpaaren

Fasertyp ➔ Verbindung ⬇	Glasfaser	Plastic-Optical-Fiber (POF) Hard-Cladded-Silica / PCF
Je thermische Spleißverbindung	0,3 dB	Nicht möglich
Je Steckverbinderpaar	0,75 dB	1,5 dB

Einsatz unterschiedlicher Fasertypen

Durch Verwendung unterschiedlicher Fasertypen in einer Anlage entstehen oft Kosten durch zusätzliche Materialien oder Werkzeuge. Der Einsatz unterschiedlicher Fasertypen innerhalb einer Anlage ist zwar möglich, sollte jedoch die Ausnahme sein.

Tabelle 3-9: Einsatz unterschiedlicher Fasertypen

Unterschiedliche Fasertypen sind zu rechtfertigen:	Unterschiedliche Fasertypen sollten vermieden werden:
Wenn in einer Anlage zahlreiche Verbindungen mit Kunststofffasern realisiert werden können und nur eine Strecke, aufgrund ihrer Länge, Glasfasern erfordert. Hier könnte es zu höheren Kosten kommen, wenn alle Strecken mit Glasfasern ausgelegt würden.	Wenn ein Großteil der Anlage mit Glasfasern ausgelegt werden muss und nur wenige Strecken den Einsatz von Kunststofffasern erlauben. Hier könnte es durch die zusätzliche Bearbeitung der Kunststofffaser (Werkzeug, Material) zu höheren Kosten kommen.

Dämpfung einer LWL-Strecke

Für die sichere Funktion eines faseroptischen Übertragungssystems ist es erforderlich, dass die übertragenen optischen Signale den Empfänger mit ausreichender Signalstärke erreichen. Die PROFINET-End-to-end-link-Dämpfung darf den maximal zulässigen Dämpfungswert nicht überschreiten.

Dabei sind folgende Einflussgrößen von Bedeutung:

- Spezifische Dämpfung der Faser

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

- Zusätzliche Verbindungsstellen im optischen Kabel

Unter Berücksichtigung dieser Einflussgrößen wird nachfolgende Bedingung für die Realisierbarkeit der optischen Grundstrecke überprüft. Für eine sichere Übertragung muss gelten:

Sendeleistung - Gesamtdämpfung ≥ Empfängerempfindlichkeit

Bei kurzen Übertragungsstrecken kann es ggf. erforderlich sein, die maximal zulässige Empfängerempfindlichkeit zu überprüfen. Ggf. ist am Sender die Sendeleistung zu reduzieren.

Bei der Planung einer LWL-Leitung geben die genannten Grenzwerte die maximale Übertragungsstrecke vor. Führen Sie darüber hinaus eine Überprüfung der Strecke anhand einer einfachen Dämpfungsberechnung durch.

Im Anhang des Dokuments finden Sie Beispiele zur Auswahl von Verkabelungskomponenten in LWL-Strecken. Zusätzlich ist ein Beispiel zur Ermittlung der Dämpfungsbilanz aufgeführt.

Dies ist allerdings nur eine Überprüfung und ersetzt keinesfalls eventuelle Abnahmemessungen.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

3.5.5 Auswahl der benötigten Steckverbinder

PROFINET-Kabel sind beidseitig mit Steckverbindern versehen. Die Kombination aus Steckverbinder am Kabel und Buchse wird als Paar angesehen. Im Anhang befindet sich eine Beschreibung der derzeit üblichen Steckverbinder für PROFINET (siehe Kapitel 10.7). Darüber hinaus finden Sie weitere Informationen zur Verkabelung und Verbindungstechnik auch unter [PCI2023].

Weiterhin sind auch die Steckverbinder am Anfang und Ende des Kabels mit einzubeziehen. Diese bilden mit der Buchse im Endgerät jeweils ein Paar.

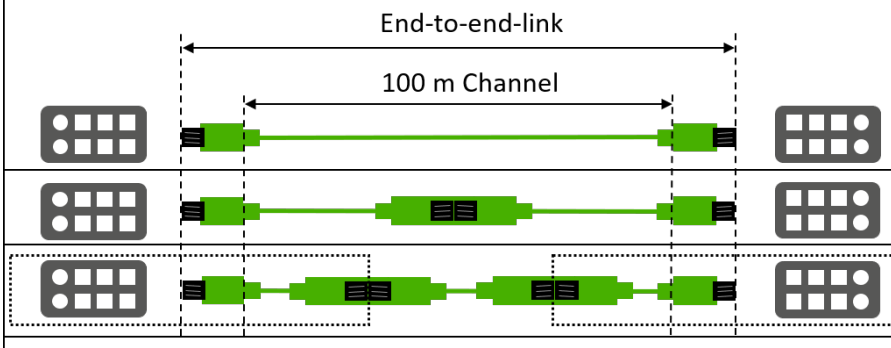
Zu den lösbaren Verbindungen gehören auch Wanddurchführungen und Übergangspunkte. Diese sind somit Teil des Steckverbinders. Eine kurze Ausführung hierzu finden Sie im Anhang.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Steckverbinder einer Kupferverkabelung

Beachten Sie bei der Planung Ihres PROFINET-Netzwerkes, dass die Anzahl der lösbaren Verbindungen innerhalb eines End-to-end-links begrenzt ist.

Tabelle 3-10: Übertragungslänge und Steckverbinderpaare (Kupfer)

Verkabelungsbeispiel von zwei Netzwerkkomponenten	Anzahl Paare	Maximale Strecke
	2	100 m
	3	100 m
	4	100 m
IP20 Umgebung Stecker Kupplung		

Werden die spezifizierten Kabel in Verbindung mit den spezifizierten Steckverbindern eingesetzt, so ergibt sich für den Einsatz von bis zu vier Steckverbinderpaaren eine maximale Verkabelungsstrecke von 100 m. Es ist darauf zu achten, möglichst wenige Steckverbindungen zu verwenden, da jede Steckverbindung auch eine mögliche Störquelle darstellt.

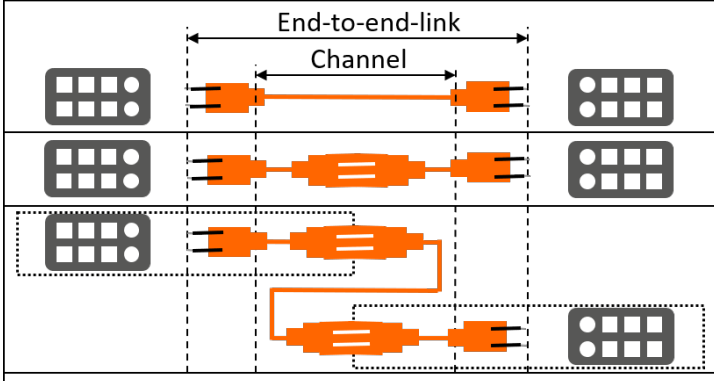
Werden mehr als vier Steckverbinderpaare in einer Anwendung benötigt muss sichergestellt sein, dass die Dämpfungswerte über die gesamte Stecke eingehalten werden. (Channel Class-D Werte)

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Steckverbinder einer LWL-Verbindung

Die maximale Anzahl der lösbaren Verbindungen eines auf LWL-basierenden Channels ist wie bei einem auf Kupferkabeln basierenden Channel begrenzt.

Tabelle 3-11: Übertragungslänge und Steckverbinderpaare (LWL)

Verkabelungsbeispiel von zwei Netzwerkkomponenten	Anzahl Paare	Maximale Strecke		
		POF	HCF/ PCF	Glasfaser MM / SM
	2	50 m	100 m	2.000 m / 14.000 m
	3	42,5 m	100 m	2.000 m / 14.000 m
	4	37 m	100 m	2.000 m / 14.000 m

Die vergleichsweise hohe Dämpfung bei POF-Fasern, mit gleichzeitiger Benutzung von mehreren Steckverbindern, hat einen großen Einfluss auf die maximale Strecke einer POF-Verbindung. Berücksichtigen Sie dies bei der Nutzung von POF-Fasern im Netzwerk.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

3.6 Festlegung der Topologie in den funktionalen Gruppen

In diesem Kapitel wird mit der Vernetzung begonnen. Innerhalb jeder funktionalen Gruppe wird die Topologie festgelegt, um die PROFINET-Kommunikation zu ermöglichen. In erster Linie ergibt sich dabei die Topologie des Netzes aus Kriterien wie:

- Räumliche Anordnung der Komponenten
- Zu überbrückende Entfernungen
- Anforderungen an die EMV
- Anforderungen an die Potentialtrennung
- Anforderungen zum Einsatz bestimmter Conformance Classes
- Anforderungen an erhöhte Verfügbarkeit
- Berücksichtigung von Netzlasten

Die Wahl der richtigen Topologie ist für die weitere Planung der PROFINET-Automatisierungsanlage wichtig. In einem späteren Planungsschritt ist ggf. eine Anpassung der Topologie vorzunehmen.

Für die Erstellung der Topologie können zusätzliche Switches erforderlich sein.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Durchlaufen Sie den folgenden Prozess für jede funktionale Gruppe:

Schritt 1

Prüfen Sie, ob eine Betrachtung der Performance des Netzwerks notwendig ist. Die Betrachtung der Performance ist notwendig, wenn einer der folgenden Fälle für das Netzwerk gilt:

- Teilnehmer-Anzahl > 64
- Verschiedene Datenraten
- Geräte mit hohem Datenaufkommen (z.B. Kamera)
- Nutzung von drahtloser Kommunikation

Lesen Sie in diesem Fall Kapitel 7 und beachten Sie die dort genannten Hinweise bei der Planung, um eine ausreichende Performance sicherzustellen.

Schritt 2

Planen Sie die Topologie für Geräte der CC-C oder CC-D. Diese müssen ein zusammenhängendes Teilnetz bilden, welches nicht durch Geräte anderer CCs unterbrochen wird. Falls Sie Switches einplanen, müssen diese ebenfalls die CC-C oder die CC-D erfüllen.

Schritt 3

Planen Sie die Topologie für die übrigen Geräte (CC-A und CC-B) der funktionalen Gruppe. Sie können die in Schritt 2 platzierten Switches für die Anbindung verwenden oder weitere Switches einplanen.

Schritt 4

Legen Sie das Übertragungsmedium für jede Verbindung fest. Legen Sie in diesem Schritt auch den exakten Verlauf der PROFINET-Kabel fest. Beachten Sie dabei die Länge des Kabels, die Anforderungen an die EMV und die Kabelabstände.

Überprüfen Sie für jeden Netzwerkteilnehmer, ob er das gewählte Übertragungsmedium unterstützt. Gegebenenfalls sind in der Übertragungsstrecke zusätzliche Medienkonverter zu installieren.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

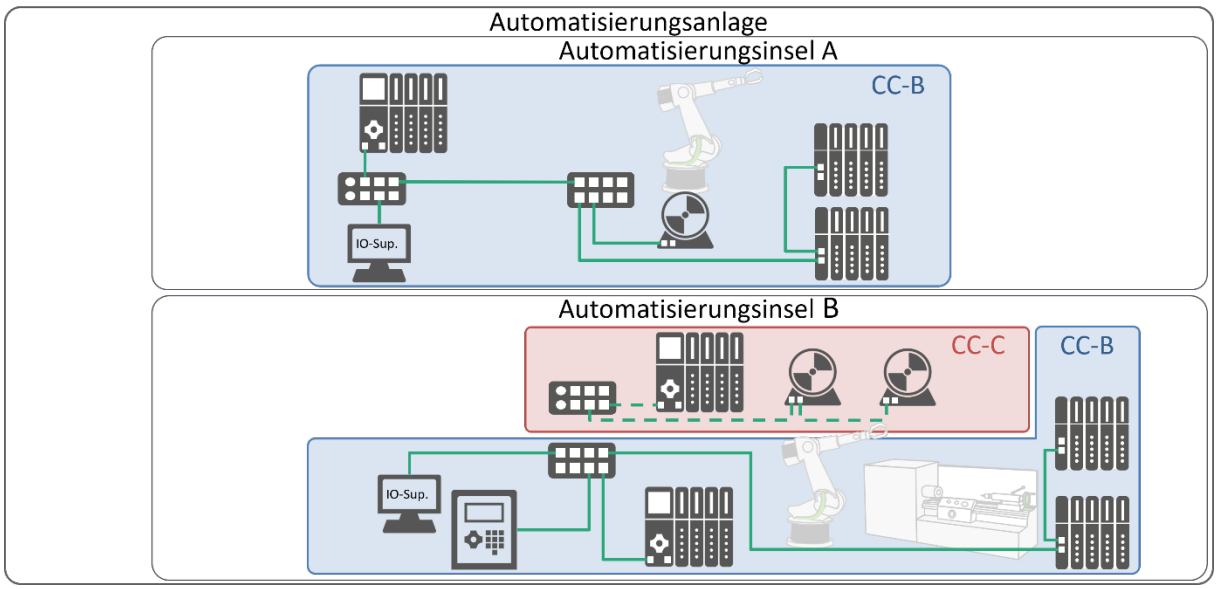


Abbildung 3-10: Anlagenbeispiel mit vernetzten funktionalen Gruppen

Abbildung 3-10 zeigt das Anlagenbeispiel, nachdem die vier Schritte für alle funktionalen Gruppen durchgeführt wurden. Die Komponenten der CC-C wurden über einen Switch in Baumtopologie miteinander verbunden. Der Switch erfüllt die CC-C, um die IRT-Kommunikation zu ermöglichen.

Die Komponenten der CC-B wurden teilweise mit einer Sterntopologie und teilweise mit einer Linientopologie verbunden. Dabei wurden notwendige Switches der CC-B eingeplant.

An diesem Punkt der Planung ist die PROFINET-Kommunikation innerhalb der funktionalen Gruppen ermöglicht wurden.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

3.7 Lösen von weiteren Kommunikationsaufgaben

Im vorherigen Kapitel wurde die Topologie innerhalb der funktionalen Gruppen festgelegt. In diesem Kapitel werden die funktionalen Gruppen untereinander oder mit anderen Netzwerken verbunden, um weitere Kommunikationsaufgaben zu lösen. Diese Planung erfolgt in mehreren Schritten:

1. Einordnung der Anlage in die Netzwerkarchitektur
2. Bestimmung der Kommunikationsaufgaben und ihrer Anforderungen
3. Informationen über verschiedene Lösungsvarianten und ihre Vorteile und Nachteile
4. Auswahl der Lösungen und Festlegung der Topologie

3.7.1 Einordnung in die Netzwerkarchitektur

Eine Einordnung des PROFINET-Systems in die Netzwerkarchitektur des Unternehmens hilft Ihnen dabei, notwendige Kommunikationsaufgaben zu identifizieren. Abbildung 3-11 zeigt eine beispielshafte Netzwerkarchitektur.

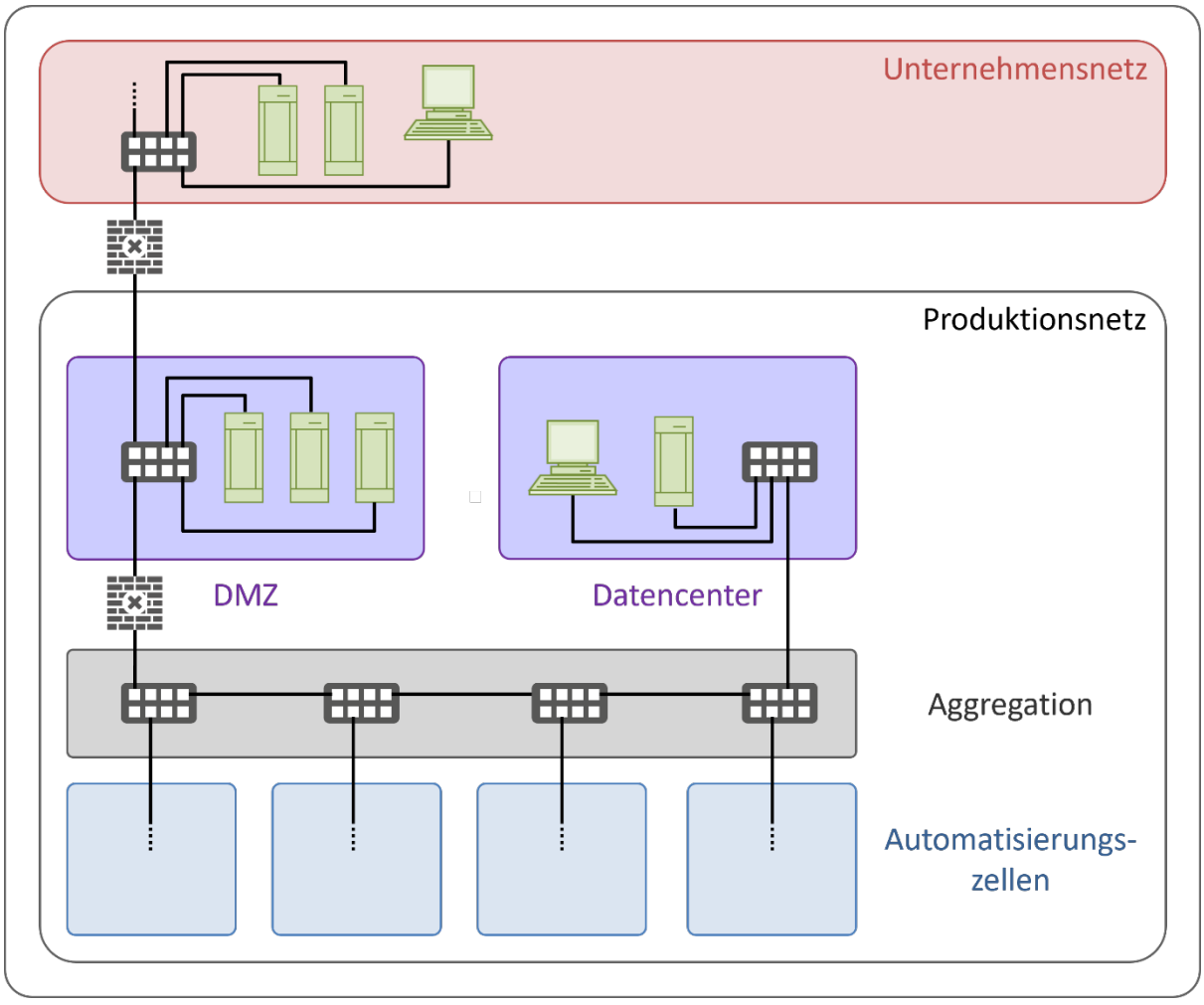


Abbildung 3-11: Ein Beispiel für eine typische Netzwerkarchitektur

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Die beispielshafte Netzwerkarchitektur in Abbildung 3-11 enthält verschiedene Bestandteile, die nun beschrieben werden.

Unternehmensnetz: Das Unternehmensnetz enthält die bürobezogenen Geräte und Dienste, wie PCs, Drucker, Netzlaufwerke und eine Internetanbindung.

Produktionsnetz: Das Produktionsnetz enthält die Geräte und Dienste, die für die Funktion des Automatisierungssystems notwendig sind. Eine Firewall zwischen Produktionsnetz und Unternehmensnetz verhindert, dass sich die beiden Netze negativ beeinflussen und stellt die Security sicher.

Produktionsnetz – Automatisierungszellen: Das Produktionsnetz enthält mehrere Automatisierungszellen. Jede Automatisierungszelle enthält ein PROFINET-System mit Controllern, Devices und weiteren Geräten. Eine Automatisierungszelle kann einen oder mehrere Controller beinhalten. Innerhalb einer Automatisierungszelle sind alle Geräte direkt über Switches miteinander verbunden. Somit können innerhalb jeder Automatisierungszelle Prozessdaten mit PROFINET übertragen werden.

Produktionsnetz – Aggregation: Die Aggregationsschicht dient der Anbindung der Automatisierungszellen an das restliche Netzwerk. Die Anbindung kann auf verschiedene Arten erfolgen, die im weiteren Verlauf des Kapitels erläutert werden. Die Kommunikation in der Aggregation erfolgt mit IP-basierten Protokollen und nicht mit PROFINET.

Produktionsnetz – Demilitarisierte Zone (DMZ): Die DMZ stellt eine Pufferzone zwischen Produktionsnetz und Unternehmensnetz dar. Geräte aus dem Unternehmensnetz können nicht direkt auf das Produktionsnetz zugreifen, sondern nur auf die DMZ. Typische Dienste in der DMZ sind: Einstiegspunkt für Fernwartung, Updateserver oder Active Directory.

Produktionsnetz – Datencenter: Im Gegensatz zur DMZ enthält das Datencenter Dienste, auf die kein Zugriff aus dem Unternehmensnetz erforderlich ist. Typische Dienste im Datencenter sind: PC mit Engineering-Tool, Prozessleitsystem oder Datenbanken.

Es sind verschiedene Netzwerkarchitekturen und verschiedene Positionierungen der Dienste in der Architektur möglich. Die Planungsrichtlinie kann nur einen kurzen Einstieg in die Planung der Netzwerkarchitektur geben. Neben den gezeigten Lösungen sind weitere Lösungen möglich, die andere Vorteile und Nachteile bieten.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Ordnen Sie nun Ihre Automatisierungsaufgabe in die Ihnen vorliegende Netzwerkarchitektur ein. Beantworten Sie zum Beispiel die folgenden Fragen:

- Gibt es bereits eine bestehende Netzwerkarchitektur? Falls ja, wie ist diese aufgebaut?
- Betrifft die Automatisierungsaufgabe eine Automatisierungszelle oder mehrere?
- Ist eine Kommunikation zwischen einem Gerät der Automatisierungszelle und einem Dienst der DMZ oder des Datencenters notwendig?
- Ist eine Kommunikation zwischen zwei Geräten aus verschiedenen Automatisierungszellen notwendig?
- Werden Dienste aus der DMZ oder dem Datencenter benötigt? Falls ja, sind diese Dienste bereits vorhanden? Welche Anforderungen stellen diese Dienste an die Kommunikation zu den Automatisierungszellen?

Diese Einordnung dient der Orientierung. Häufig ist es an diesem Punkt der Planung noch nicht möglich, die Fragen klar zu beantworten. Beispielsweise könnte jede funktionale Gruppe eine eigene Automatisierungszelle werden, oder mehrere funktionalen Gruppen werden zu einer Automatisierungszelle zusammengefasst.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

3.7.2 Bestimmung der weiteren Kommunikationsaufgaben

Ermitteln Sie nun Kommunikationsaufgaben, die über die Grenzen der funktionalen Gruppen hinweg bestehen. Beachten Sie dabei nicht nur die PROFINET-Geräte, sondern auch andere Netzwerkteilnehmer im PROFINET-Netzwerk. Beispiele für solche Kommunikationsaufgaben sind:

- Kommunikation mit einem bestehenden und untergeordneten Feldbus oder Sensor-/Aktuatorbus
- Kommunikation zwischen zwei Controllern.
- Kommunikation zwischen einem Controller und einem Device aus einer anderen funktionalen Gruppe.
- Kommunikation zwischen einem Controller und einem Dienst im Datencenter oder der DMZ.
- Kommunikation zwischen einem Gerät und einem Server oder der Cloud.

Bestimmen Sie für die vorhandenen Kommunikationsaufgaben, welche Anforderungen gelten. Beantworten Sie dafür zum Beispiel die folgenden Fragen:

- Bestehen Echtzeit-Anforderungen?
- Welche Netzlast wird durch die Kommunikation erzeugt?
- Besteht eine erhöhte Anforderung an die Verfügbarkeit der Kommunikation?
- Soll die Kommunikation mit funktionaler Sicherheit erfolgen?

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

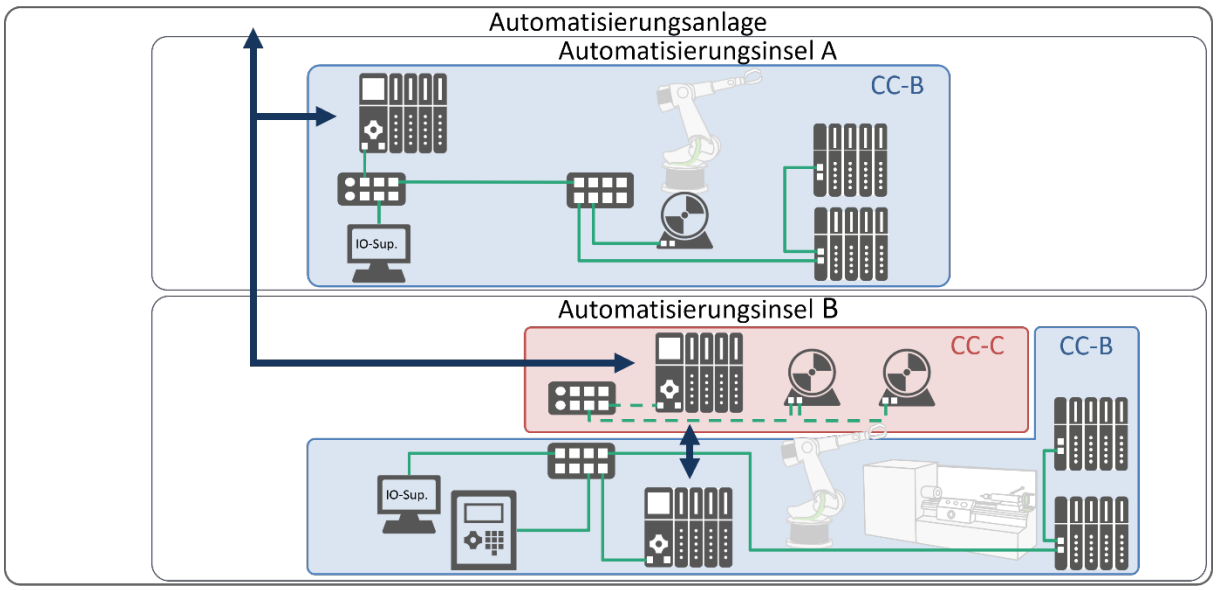


Abbildung 3-12: Anlagenbeispiel mit weiteren Kommunikationsaufgaben

Abbildung 3-12 zeigt die weiteren Kommunikationsaufgaben am Anlagenbeispiel. Die Kommunikationsaufgaben werden mit Pfeilen gekennzeichnet.

In Insel B ist eine Kommunikation zwischen den beiden Controllern erforderlich. Die Analyse hat im Beispiel ergeben, dass Echtzeit-Anforderungen an diese Kommunikation bestehen.

Beide Controller aus Insel B müssen mit dem Controller in Insel A kommunizieren. Dabei bestehen keine Echtzeit-Anforderungen.

Alle drei Controller sollen an ein übergeordnetes Prozessleitsystem angebunden werden. Dies wird durch den nach oben gerichteten Pfeil gekennzeichnet.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

3.7.3 Die Lösungsmöglichkeiten für die weiteren Kommunikationsaufgaben

Dieses Kapitel enthält Informationen zu den verschiedenen Lösungsvarianten für die weiteren Kommunikationsaufgaben.

Anbindung von Feldbus oder Sensor-/Aktorbus

Es kann vorkommen, dass untergeordnete Bussysteme mit PROFINET-Netzwerken verbunden werden. Dies betrifft meist einen bereits vorhandenen Feldbus oder Sensor-/Aktorbus. In beiden Fällen erfolgt die Anbindung an das PROFINET-Netzwerk über ein Gateway. Ein Gateway verfügt über ein Interface für PROFINET und ein Interface für den Bus. Gegenüber dem PROFINET-Netzwerk verhält sich das Gateway als PROFINET-Device. Abbildung 3-13 zeigt die Nutzung eines Gateways in einem Anlagenbeispiel.

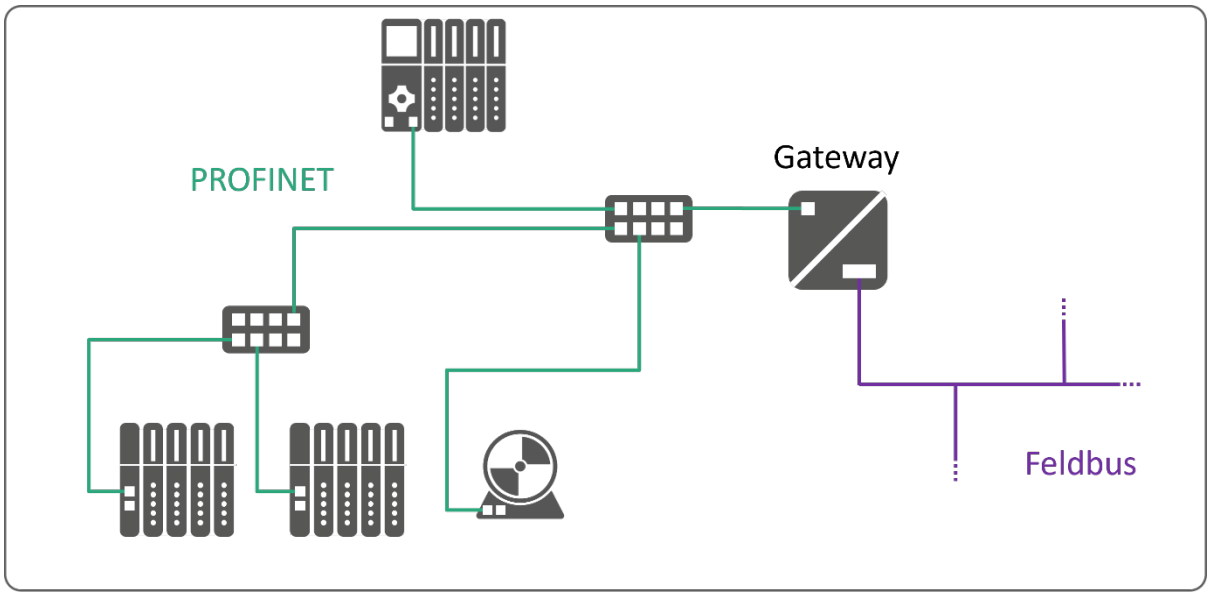


Abbildung 3-13: Nutzung eines Gateways zur Anbindung eines Feldbusses

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Direkte Verbindung mehrerer funktionaler Gruppen

Funktionale Gruppen können direkt miteinander verbunden werden. Sie bilden dann gemeinsam eine Automatisierungszelle mit mehreren Controllern.

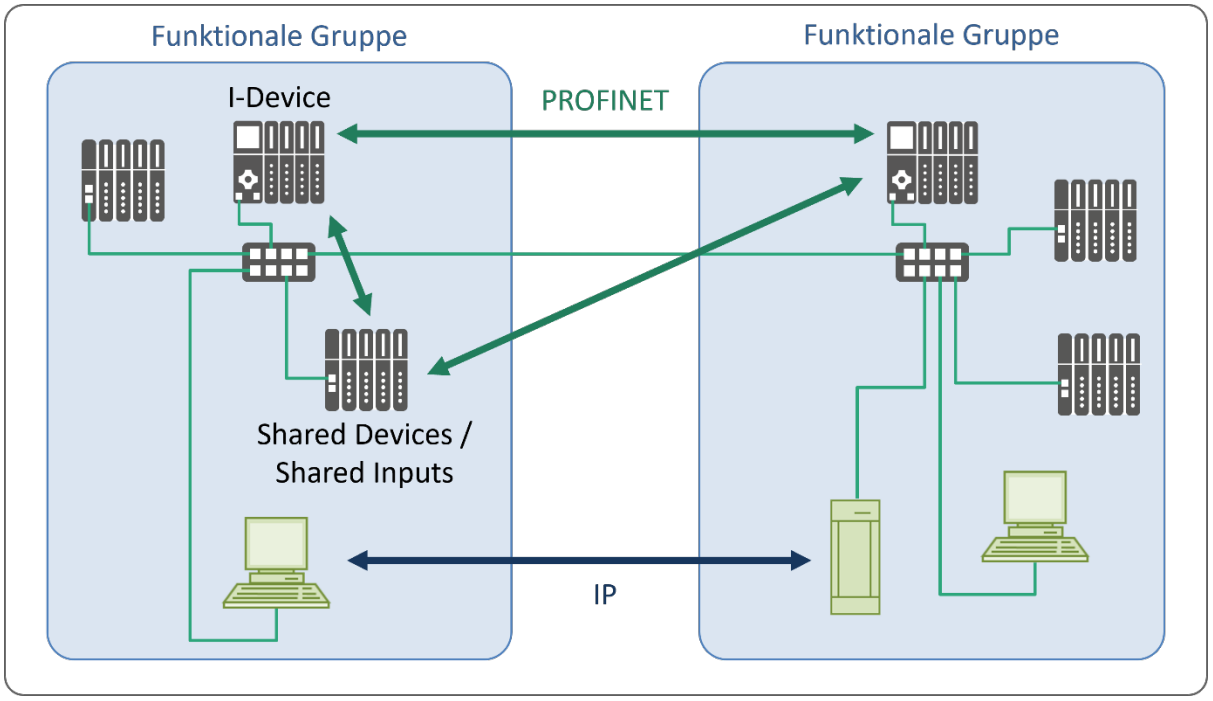


Abbildung 3-14: Direkte Verbindung von mehreren funktionalen Gruppen

Abbildung 3-14 zeigt ein Beispiel, in dem zwei funktionale Gruppen direkt miteinander verbunden wurden. Die Verbindung kann beispielsweise für die PROFINET-Kommunikation genutzt werden. PROFINET definiert für die Kommunikation zwischen Controllern die Funktion I-Device und für den Mehrfachzugriff auf Devices die Funktionen Shared Devices und Shared Inputs. Weitere Informationen zu diesen Funktionen finden Sie in Kapitel 4.3.

Außerdem ist die IP-basierte Kommunikation (z.B. MQTT, OPC UA Server-Client, …) in einem solchen Netzwerk möglich. Dies gilt sowohl für die PROFINET-Teilnehmer als auch für weitere Geräte im Netzwerk.

Funktionen wie I-Device, Shared Devices und Shared Inputs sind optionale Funktionen. Sie werden nicht von allen Geräten unterstützt. Beachten Sie dies bei der Geräteauswahl.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Ob ein Zusammenschluss mehrerer funktionaler Gruppen sinnvoll ist, bestimmt sich aus der räumlichen Nähe, der Teilnehmeranzahl und der Performance des Netzwerks, sowie aus den in Tabelle 3-12 genannten Vorteilen und Nachteilen.

Tabelle 3-12: Vorteile und Nachteile von der direkten Verbindung mehrerer funktionaler Gruppen

Vorteile	Nachteile
Sowohl PROFINET-Kommunikation als auch IP-basierte Kommunikation wird zwischen den funktionalen Gruppen ermöglicht. Sowohl Echtzeit-Kommunikation als auch Kommunikation mit funktionaler Sicherheit durch PROFIsafe ist möglich. Es ist nur eine Anbindung an die Aggregationsschicht notwendig. Es sind nur wenige zusätzliche Komponenten erforderlich.	Die Netzlast in der Automatisierungszelle steigt, da die Teilnehmeranzahl steigt.

Es gibt keine feste Grenze für die maximale Teilnehmeranzahl in einer Automatisierungszelle. Die maximale Anzahl ergibt sich aus der genutzten Datenrate, der Topologie, der Kommunikation und den zeitlichen Anforderungen. Beachten Sie die Informationen zur Performance des Netzwerks in Kapitel 7, wenn die Automatisierungszelle sehr viele Teilnehmer hat.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Verbindung mehrerer funktionaler Gruppen mit PN/PN-Kopplern

Zwei funktionale Gruppen können über einen PN/PN-Koppler miteinander verbunden werden. Abbildung 3-15 zeigt den Einsatz dieser Lösung.

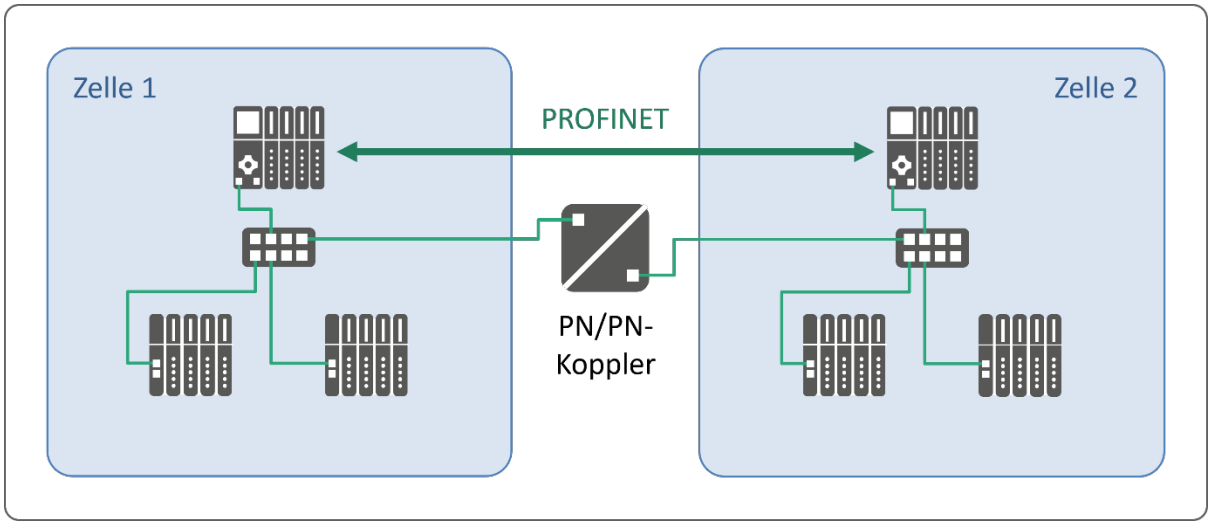


Abbildung 3-15: Verbindung zweier funktionaler Gruppen mit PN/PN-Koppler

Der PN/PN-Koppler erscheint in beiden Netzwerken als PROFINET-Device. Auf der einen Seite empfangene Eingangsdaten werden auf der anderen Seite als Ausgangsdaten zur Verfügung gestellt. Dadurch wird die Kommunikation zwischen den beiden Controllern ermöglicht. Tabelle 3-13 zeigt die Vorteile und Nachteile dieser Lösung.

Tabelle 3-13: Vorteile und Nachteile von der Verbindung mehrerer funktionaler Gruppen mit PN/PN-Koppler

Vorteile	Nachteile
Die PROFINET-Kommunikation zwischen den funktionalen Gruppen wird ermöglicht. Sowohl Echtzeit-Kommunikation als auch Kommunikation mit funktionaler Sicherheit durch PROFIsafe ist möglich, wenn der PN/PN-Koppler dies unterstützt. Die Lösung funktioniert mit beliebigen Controllern.	Es ist keine IP-basierte Kommunikation über den PN/PN-Koppler möglich. Jede Zelle benötigt eine Anbindung an die Aggregationsschicht. Bei mehr als zwei funktionalen Gruppen steigt die Anzahl der notwendigen PN/PN-Koppler stark an. Vier Gruppen erfordern sechs PN/PN-Koppler und fünf Gruppen erfordern bereits zehn PN/PN-Koppler.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Verbindung von Geräten über das zweite Ethernet-Interface

Falls Geräte über mehrere Ethernet-Interfaces verfügen, können diese benutzt werden, um Verbindungen herzustellen.

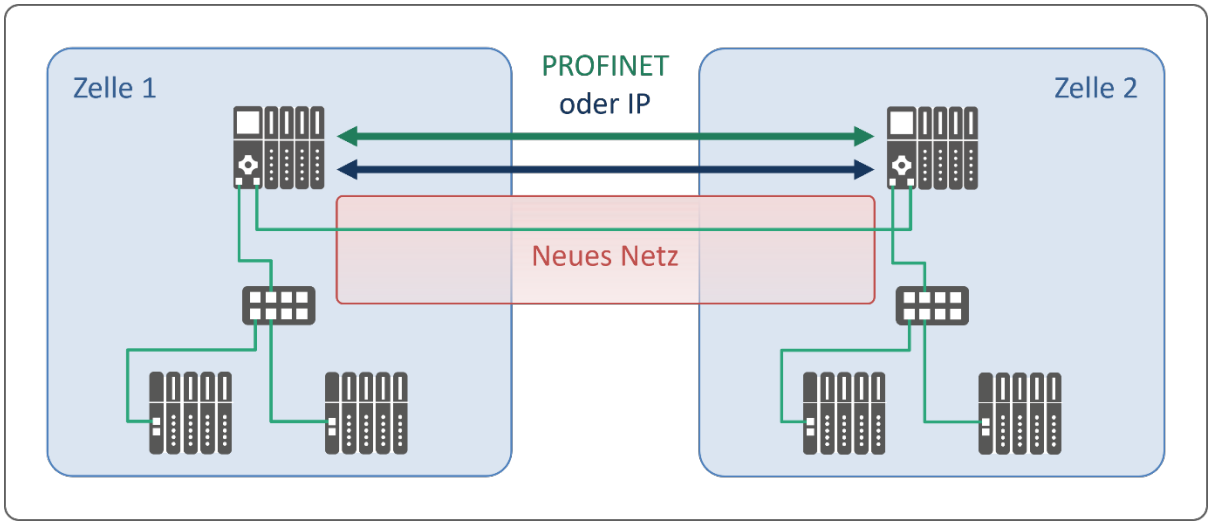


Abbildung 3-16: Verbindung von zwei Controllern über das zweite Ethernet-Interface

Abbildung 3-16 zeigt eine beispielhafte Anwendung, in der zwei Controller über ihr zweites Interface direkt miteinander verbunden werden. Dadurch entsteht ein drittes Netzwerk, welches nur über zwei Teilnehmer verfügt. Die Controller können uneingeschränkt miteinander kommunizieren, sowohl über PROFINET als auch IP-basiert. Sie können aber nicht mit den weiteren Teilnehmern des jeweils anderen Netzwerks kommunizieren.

Tabelle 3-14: Vorteile und Nachteile von der Verbindung mehrerer Geräte über das zweite Interface

Vorteile	Nachteile
Sowohl PROFINET-Kommunikation als auch IP-basierte Kommunikation wird ermöglicht. Sowohl Echtzeit-Kommunikation als auch Kommunikation mit funktionaler Sicherheit durch PROFIsafe ist möglich. Die Netzlast und Kommunikation in den funktionalen Gruppen werden nicht beeinflusst.	Die Kommunikation kann nur mit den Geräten erfolgen, die über ihr zweites Interface direkt miteinander verbunden sind. Jede Zelle benötigt eine Anbindung an die Aggregationsschicht. Nicht alle Geräte verfügen über mehr als ein Ethernet-Interface. Falls ein zweites Interface vorhanden ist, ist dieses nicht immer PROFINET-fähig.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Anbindung an die Aggregation-Layer mit Router

Die Automatisierungszelle kann mit der Aggregationsschicht verbunden werden, indem ein Router verwendet wird. Der Router trennt ein Netzwerk in mehrere Teilnetzwerke auf und übernimmt zudem die Weiterleitung von autorisierten Daten an die angeschlossenen Teilnetzwerke.

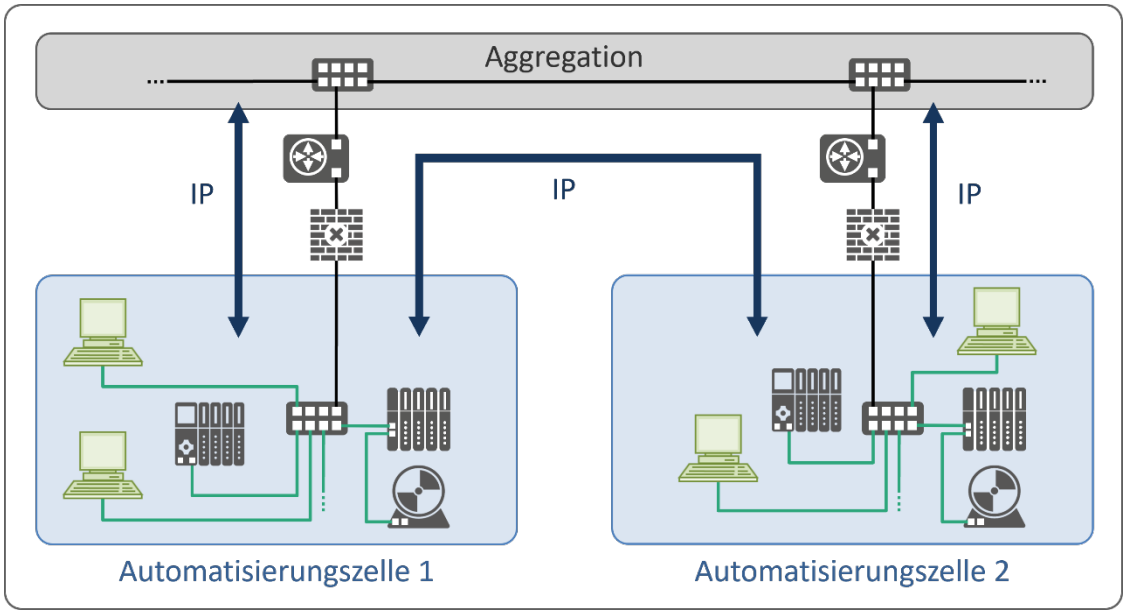


Abbildung 3-17: Anbindung an den Aggregation-Layer mit Router

Abbildung 3-17 zeigt die Nutzung von Routern an einem Beispiel auf. Zwei Zellen werden mit Routern an die Aggregation angebunden. Die IP-basierte Kommunikation zwischen den Zellen und mit übergeordneten Netzwerken ist möglich.

Tabelle 3-15: Vorteile und Nachteile von der Anbindung an die Aggregation mit Routern

Vorteile	Nachteile
Alle Netzwerkteilnehmer in der Automatisierungszelle sind aus dem übergeordneten Netzwerk mit IP-basierter Kommunikation erreichbar. Alle Netzwerkteilnehmer aus verschiedenen Automatisierungszellen können IP-basiert miteinander kommunizieren.	Aus Security-Sicht kann es ein Nachteil sein, wenn alle Netzwerkteilnehmer erreichbar sind. Die Übertragung von Prozessdaten über den Router hinweg ist mit PROFINET nicht möglich.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Anbindung von einzelnen Geräten an den Aggregation-Layer

Es kann sinnvoll sein, einzelne Geräte aus der Automatisierungszelle über ein zweites Interface an die Aggregationsschicht anzubinden. Bei dieser Lösung können die übrigen Teilnehmer der Automatisierungszelle nicht aus dem übergeordneten Netzwerk erreicht werden.

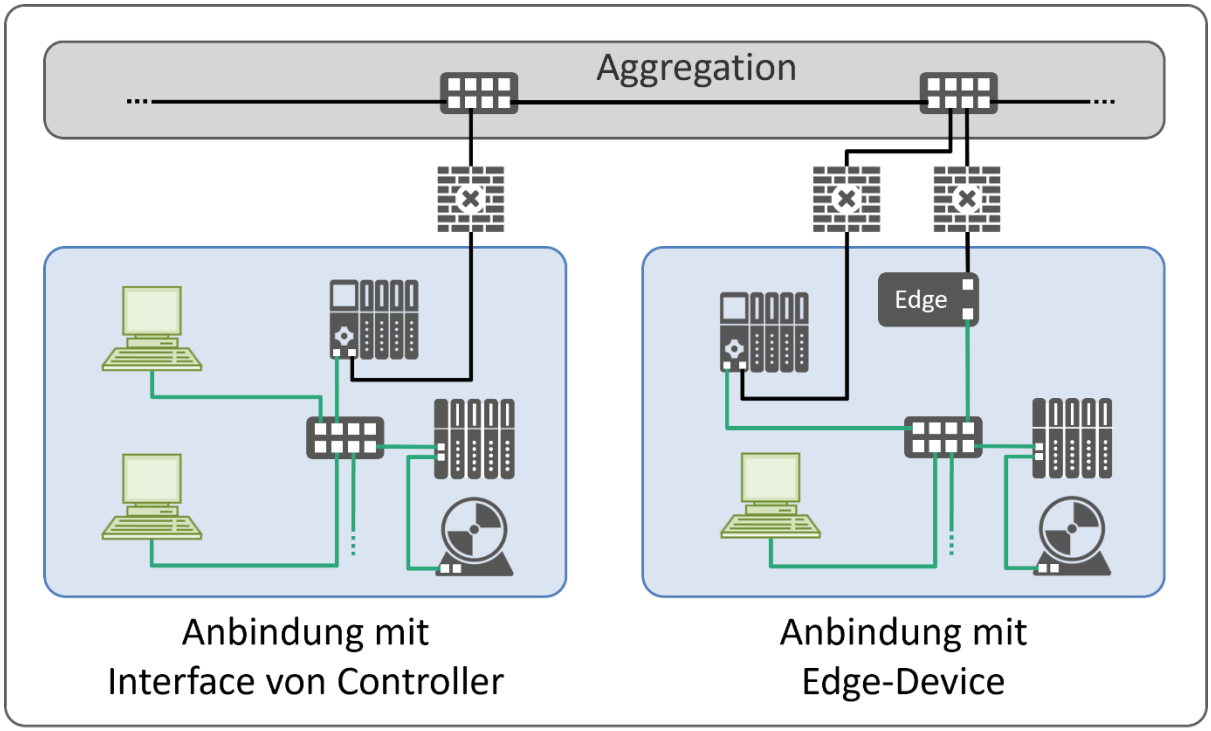


Abbildung 3-18: Beispiele für die Anbindung von einzelnen Geräten

Abbildung 3-18 zeigt zwei Beispiele, in denen einzelne Geräte an die Aggregation angebunden werden. In beiden Zellen wird der Controller angebunden. Dies bietet sich an, da der Controller über die relevanten Prozessdaten verfügt. In der rechten Zelle wird außerdem ein Edge-Device genutzt. Das Edge-Device sammelt Prozessdaten und nimmt eine Datenvorverarbeitung vor. Dadurch verringert sich die Datenmenge, die an das übergeordnete Netzwerk gesendet wird.

Tabelle 3-16: Vorteile und Nachteile von der Anbindung einzelner Geräte an die Aggregation

Vorteile	Nachteile
Aus Security-Sicht kann es ein Vorteil sein, wenn nicht alle Netzwerkteilnehmer erreichbar sind.	Die weiteren Netzwerkteilnehmer aus der Automatisierungszelle sind nicht aus dem übergeordneten Netzwerk erreichbar.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

In diesem Kapitel wurden verschiedene Lösungen gezeigt, um die Kommunikation über die Grenzen der funktionalen Gruppen hinweg zu ermöglichen. Beachten Sie zusätzlich die folgenden Hinweise:

Echtzeit-Anforderungen und Kommunikation mit funktionaler Sicherheit durch PROFIsafe erfordern besondere Beachtung bei der Planung, wenn sie über Geräte wie Router oder Firewalls hinweg erfolgen.

Bei einer Anbindung an übergeordnete Netzwerke sollte eine Firewall genutzt werden. Die Anbindung über eine Firewall verhindert einen unautorisierten Zugriff von außen auf Ihre Anlage. In welchen Fällen der Einsatz einer Firewall notwendig ist, hängt von der genauen Netzwerkarchitektur und dem Security-Konzept ab.

Beachten Sie zur Anbindung Ihrer PROFINET-Lösung an übergeordnete Netzwerke die Hinweise in der PROFINET Security Guideline (Order No.: 7.001).

Führen Sie die Anbindung von Automatisierungssystemen an das Unternehmensnetz und die Konfiguration des Routers oder der Firewall in jedem Fall nur in Absprache mit der IT-Abteilung des Unternehmens durch.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

3.7.4 Festlegung der weiteren Topologie

Entscheiden Sie sich jetzt für Lösungen, um die Kommunikationsaufgaben zu lösen. Legen Sie dabei die Netzwerktopologie fest und planen Sie benötigte Komponenten ein. Prüfen Sie, welche Funktionen ihre Geräte benötigen. Stellen Sie sicher, dass Ihre ausgewählten Geräte die notwendigen Funktionen unterstützen.

Dokumentieren Sie, welche Kommunikationsaufgaben vorliegen und wie diese gelöst werden. Dokumentieren Sie außerdem die erweiterte Topologie des Netzwerks.

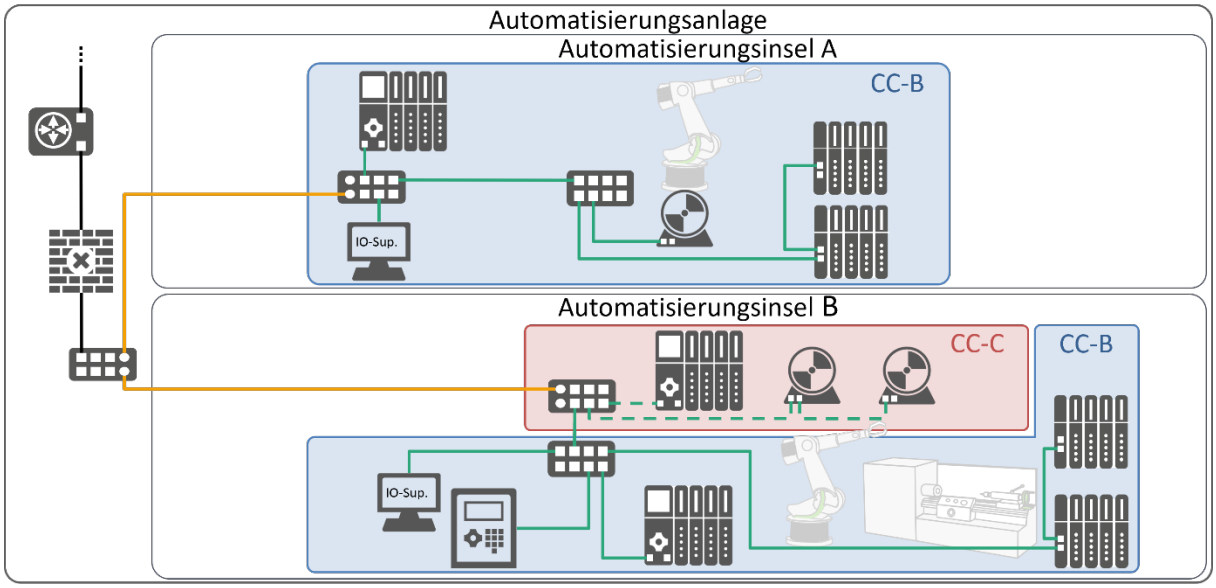


Abbildung 3-19: Anlagenbeispiel mit der vollständigen Topologie

Abbildung 3-19 zeigt das Anlagenbeispiel nach der Anbindung an weitere Netzwerke.

Die Kommunikationsaufgabe zwischen den Controllern wird durch direkte Verbindung der funktionalen Gruppen und Nutzung von I-Device gelöst. Somit handelt es sich nun um eine gemeinsame Automatisierungszelle. Die direkte Verbindung von Insel A und B wird mit Lichtwellenleiter realisiert, da die Leitungslänge größer als 100 m ist.

Die Anbindung an das Prozessleitsystem erfordert eine Anbindung an das übergeordnete Netzwerk. Diese wird durch einen Router mit Firewall realisiert.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Neben der räumlichen Ansicht der Anlage im Lageplan kann es ab dieser Stelle auch sinnvoll sein, die Netzwerktechnik der Anlage in einem Plan hervorzuheben. Abbildung 3-20 zeigt dasselbe Anlagenbeispiel aus Sicht der Netzwerktechnik und ohne räumliche Zuordnung.

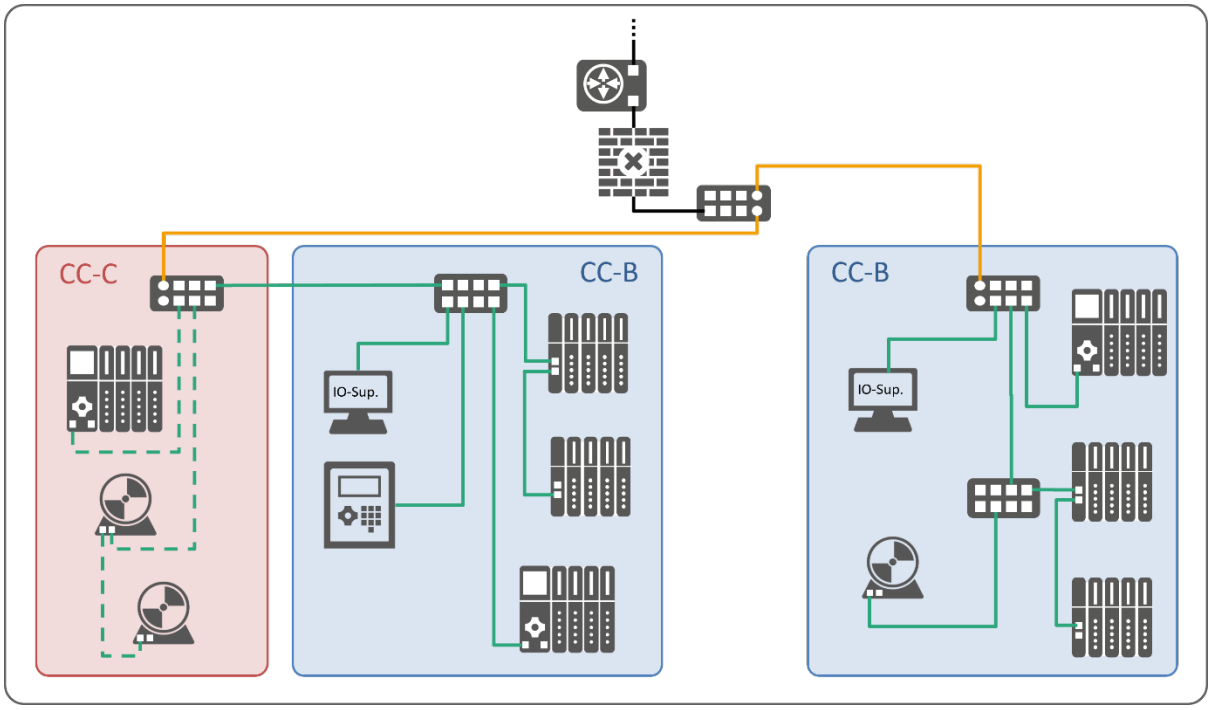


Abbildung 3-20: Das Anlagenbeispiel aus Netzwerk-Sicht

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

3.8 Überprüfung der Topologie

Nach der Festlegung der Topologie und der eingesetzten Übertragungsmedien für die jeweiligen Übertragungsstrecken muss geprüft werden, ob die bisher ausgewählten PROFINET-Geräte die entsprechenden Medien unterstützen.

Sofern möglich sollten Sie Geräte auswählen, die das erforderliche Übertragungsmedium unterstützen. Wo diese nicht möglich ist, können Sie auf Medienkonverter oder Switches mit unterschiedlichen Medienanschlüssen zurückgreifen.

Beachten Sie, dass der Einbau eines Switches oder Medienwandlers auch zusätzlichen Platz erfordert.

3.9 Dokumentation der Topologie

Dokumentieren Sie als Abschluss der Festlegung der Netzwerktopologie alle Informationen zur Wahl der:

- Switches
- Topologie
- Übertragungsmedien
- Steckverbinder
- Datenraten
- weiteren Netzwerkkomponenten

Dokumentieren Sie gegebenenfalls Änderungen an der Geräteauswahl und überprüfen Sie, ob eine erneute Anpassung der Netzwerktopologie erforderlich ist.

Die in den folgenden Kapiteln betrachtete Thematik zur Berücksichtigung der Netzwerkperformance und Einbindung zusätzlicher Netzwerkteilnehmer kann unter Umständen eine Anpassung der Netzwerktopologie notwendig machen.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

4 Planung von Zusatzfunktionen

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

PROFINET-Automatisierungsanlagen lassen sich um viele Funktionen erweitern. Diese speziellen Aspekte der Planung werden im Folgenden behandelt. Dieses Kapitel liefert Informationen zu:

- Uhrzeit-Synchronisation
- Erhöhte Verfügbarkeit
- Netzwerke mit mehreren Controllern
- Drahtlose Übertragungstechnik
- Power over Ethernet (PoE)
- Fast Startup (FSU)
- Nutzung von vorhandener Kabelinfrastruktur
- Planung von Zugangspunkten zur Netzdiagnose
- Festlegung von Firmware-Ständen und Asset Management

Die speziellen Aspekte der Planung erfordern unter Umständen eine Anpassung der bereits getroffenen Entscheidungen bei der Geräteauswahl und im Aufbau der Topologie.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

4.1 Uhrzeit-Synchronisation

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Synchronisation von Uhrzeiten in PROFINET-Netzwerken. Dieses Kapitel beantwortet die folgenden Fragen:

- Wann ist die Uhrzeit-Synchronisation sinnvoll und wann notwendig?
- Welche Uhrzeiten gibt es?
- Wie wird die Uhrzeit-Synchronisation erreicht?
- Was muss bei der Planung beachtet werden?

Die Details der PROFINET Zeitsynchronisation werden hier nicht beschrieben. Weitere Informationen finden Sie in der PROFINET Guideline Time Synchronization (Order No.: 7.232).

Bei PROFINET wird zwischen zwei Arten von Uhrzeiten unterschieden:

- **Working Clock**: Es wird eine relative Uhrzeit genutzt. Die Synchronisation findet nur innerhalb des lokalen Netzwerkes statt. Zeitquelle ist meistens der Controller.
- **Global Clock**: Die absolute Uhrzeit wird durch einen Zeitserver, per Satellit oder per Funk empfangen. Die Geräte im Netzwerk werden mit dieser synchronisiert.

Diese Uhrzeiten können mithilfe von verschiedenen Protokollen synchronisiert werden:

- **NTP** [RFC_5905] ist im Bürobereich üblich und erreicht eine Genauigkeit von etwa **1 s**.
- **gPTP** [IEEE802.1AS] wird für die Uhrzeit-Synchronisation bei PROFINET verwendet und erreicht folgende Genauigkeiten:
    - Working Clock: **1 µs**
    - Global Clock: **1 ms**

Planung der Working Clock

Die Working Clock wird unter anderem für die taktsynchrone Applikation genutzt. Die Working Clock ist durch die Auswahl der geeigneten Conformance Class in Kapitel 2.3.2 und die Planung der Topologie in Kapitel 3.6 bereits bei der Planung berücksichtigt worden.

Beachten Sie, dass die maximale Linientiefe zwischen Zeitquelle und zu synchronisierenden Geräten 64 beträgt.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Anwendungen der Global Clock

Die Global Clock dient dazu, die PROFINET-Geräte mit der absoluten Uhrzeit zu synchronisieren. Auftretende Ereignisse können mit einem global gültigen Zeitstempel versehen und gespeichert werden. Dies ermöglicht unter anderem folgende Anwendungen:

- **Sequence of Events**: Nach Ausfällen oder Unfällen sollte die Ursache für die Störung ermittelt werden. Das ist nur möglich, wenn die Reihenfolge der Ereignisse im Nachhinein bestimmt werden kann.
- **Security Event Logging**: Beim Protokollieren von sicherheitsrelevanten Ereignissen i**st** die Nutzung von Zeitstempeln sinnvoll.
- **Datenanalyse**: Prozessdaten können gesammelt werden, um für verschiedene Zwecke analysiert zu werden. Akkurate Zeitstempel sind notwendig, um die Analysen durchführen zu können.

Diese Anwendungen sind grundsätzlich auch ohne die Zeitsynchronisation der Devices möglich, wenn die Zeitstempel in einem anderen Gerät (zum Beispiel Controller oder Prozessleitsystem) erzeugt werden. Es gilt aber: Je dichter an der Ursache eines Ereignisses die Zeitstempel erzeugt werden, desto genauer sind die Zeitstempel.

Planung der Global Clock

Bei der Planung der Uhrzeit-Synchronisation der Global Clock müssen Sie folgende Aspekte beachten:

- Die zu synchronisierenden Geräte müssen die gewünschte Anwendung (z.B. Zeitstempelung für Sequence of Events, …) unterstützen.
- Es muss eine geeignete Zeitquelle verwendet werden. Als Zeitquelle können zum Beispiel Satellitensysteme (GNSS wie GPS) oder funkbasierte Zeitsender wie DCF77 verwendet werden. Eine andere Variante ist die Nutzung eines vorhandenen Zeitservers im Netzwerk. Dabei muss beachtet werden, dass die Synchronisation der Global Clock immer nur so genau sein kann wie die Zeitquelle.
- Die Zeitquelle, die zu synchronisierenden Geräte und alle Bridges zwischen diesen müssen die Uhrzeitsynchronisation nach gPTP / IEEE 802.1AS mit zwei Zeitdomänen unterstützen.
- Die maximale Linientiefe zwischen Zeitquelle und zu synchronisierenden Geräten beträgt 64.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

gPTP stellt keine Anforderungen an die Topologie des Netzwerks. Die Uhrzeit-Synchronisation mit gPTP kann über Router, Firewalls und Gateways hinweg erfolgen, wenn diese Geräte gPTP unterstützen.

Die Uhrzeit-Synchronisation der Global Clock ist in allen CCs optional. Es muss für jedes Gerät überprüft werden, ob dieses gPTP / IEEE 802.1AS mit zwei Zeitdomänen unterstützt.

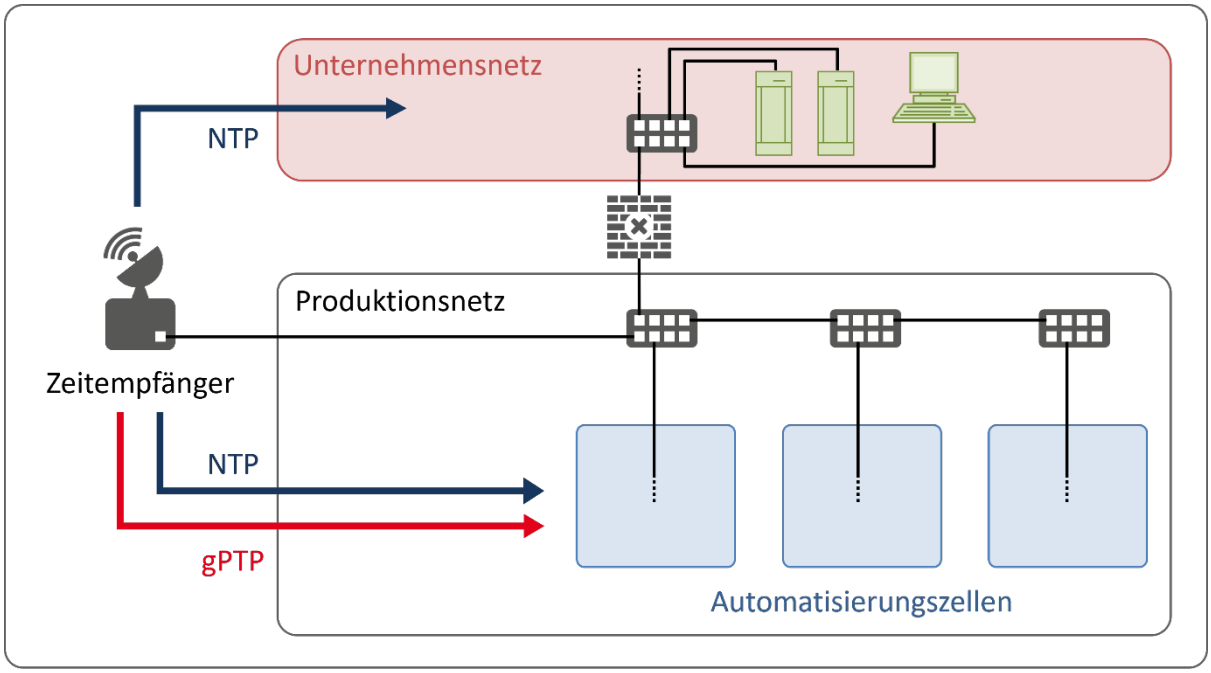


Abbildung 4-1: Mögliche Architektur für die Verteilung der Uhrzeitinformation

Abbildung 4-1 zeigt eine beispielhafte Architektur, in der sowohl das Unternehmensnetz als auch das Produktionsnetz mit der Uhrzeitquelle synchronisiert werden. Ein Zeitempfänger erhält die absolute Uhrzeit per Satellit oder Funk.

Das Produktionsnetz wird sowohl mit gPTP als auch mit NTP synchronisiert. Dies hat den Vorteil, dass Komponenten, die nur NTP unterstützen, ebenfalls synchronisiert werden können, wenn auch nur mit einer geringeren Genauigkeit.

Das Unternehmensnetz wird mit NTP synchronisiert, da im IT-Bereich die geringere Genauigkeit ausreicht und die meisten Geräte nur NTP unterstützen.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

4.2 Erhöhte Verfügbarkeit

In einigen Fällen ist in der Automatisierungstechnik eine erhöhte Anlagenverfügbarkeit notwendig. Für PROFINET Anlagen gibt es drei Ansätze, um die Verfügbarkeit zu erhöhen:

- Anpassung der Netzwerktopologie
- Medienredundanz
- Systemredundanz

Durch die Anpassung der Netzwerktopologie kann beeinflusst werden, wie viele Geräte durch einen Ausfall oder einen Gerätetausch beeinflusst sind.

Basis für die Medienredundanz ist der Einsatz einer Ringtopologie. Grundidee ist dabei, dass der Ausfall eines einzelnen Geräts oder eines einzelnen Kabels den Ring lediglich an einer Stelle auftrennt. Es bildet sich dann eine Linientopologie, in der weiterhin jeder Teilnehmer mit jedem anderen Teilnehmer verbunden ist.

Die Systemredundanz beschreibt die doppelte Ausführung des Controllers, der Devices und der Verbindung zwischen diesen. Die Systemredundanz kann in verschiedenen Stufen ausgeführt werden, wobei die Ausfallsicherheit von Stufe zu Stufe steigt. Durch Verwendung der Systemredundanz kann ein hochverfügbares Anlagennetz erstellt werden.

Wenn Sie Medienredundanz oder Systemredundanz verwenden möchten, lesen Sie die PROFINET Planungsrichtlinie Redundanz (Order No.: 8.131).

Prüfen Sie die Anforderungen an die Verfügbarkeit, die Ihre Automatisierungsaufgabe stellt. Planen Sie, falls benötigt, Medien- oder Systemredundanz ein.

Medien- und Systemredundanz sind optionale Funktionen. Stellen Sie sicher, dass die gewählten Geräte die benötigten Funktionen unterstützen.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

4.3 Netzwerke mit mehreren Controllern

In einem PROFINET-Netzwerk können mehrere Controller verwendet werden. In Netzwerken mit nur einem Controller findet die zyklische Kommunikation von Prozessdaten nur zwischen Controller und Device statt. In Netzwerken mit mehreren Controllern ergeben sich zwei weitere mögliche Kommunikationsbeziehungen:

- Kommunikation zwischen Controller und Controller
- Kommunikation von einem Device mit mehreren Controllern

Im Folgenden werden drei Funktionen erläutert, die diese Kommunikationsbeziehungen ermöglichen.

4.3.1 I-Device

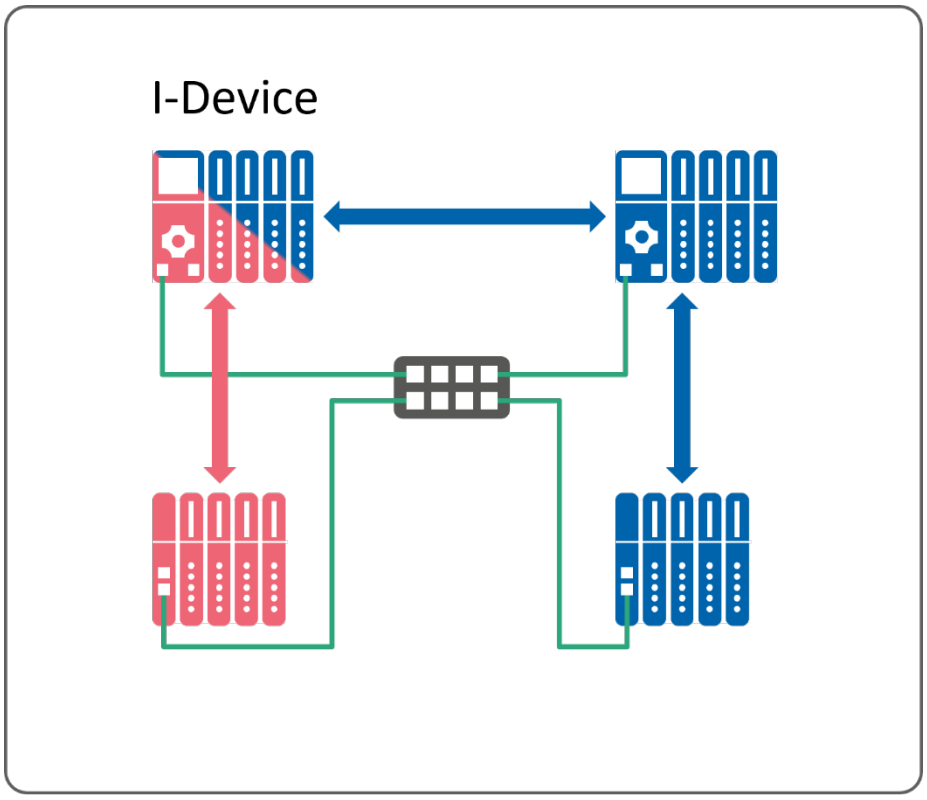


Abbildung 4-2: Einsatz von I-Device

Durch I-Device wird die Kommunikation zwischen Controller und Controller ermöglicht.

I-Device ist eine Funktion, die ein Controller optional unterstützen kann. Wenn I-Device aktiviert ist, verhält sich der Controller sowohl wie ein PROFINET-Controller als auch wie ein PROFINET-Device. Der Controller kann sowohl zu Devices als auch zu anderen Controllern eine Kommunikationsbeziehung aufbauen.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Abbildung 4-2 zeigt den Einsatz von I-Device. Der linke Controller verwendet I-Device und kommuniziert sowohl mit einem Device als auch mit dem rechten Controller.

4.3.2 Shared Devices

Durch die Funktion Shared Device wird die Kommunikation von einem Device mit mehreren Controllern ermöglicht. Abbildung 4-3 zeigt zwei Controller, die parallel auf ein Shared Device zugreifen.

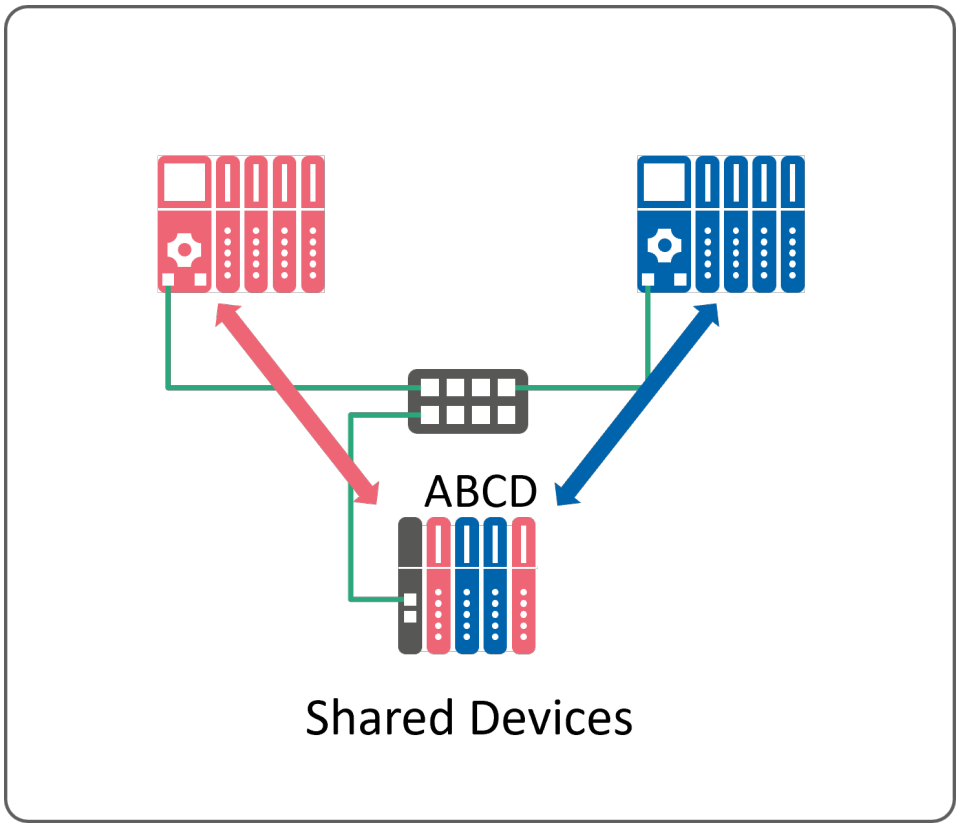


Abbildung 4-3: Einsatz von Shared Devices

Shared Device ist eine Funktion, die ein Device optional unterstützen kann. Das Device muss dafür aus mehreren Modulen aufgebaut sein. Jedes Modul wird genau einem Controller fest zugeordnet. Die Controller können unabhängig voneinander und parallel mit den ihnen zugeordneten Modulen kommunizieren.

Abbildung 4-3 zeigt den Einsatz von Shared Devices. Das Device verfügt über vier Module. Die Module A und D sind dem linken Controller zugeordnet. Die Module B und C sind dem rechten Controller zugeordnet.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

4.3.3 Shared Inputs

Durch die Funktion Shared Input wird die Kommunikation von einem Device mit mehreren Controllern ermöglicht.

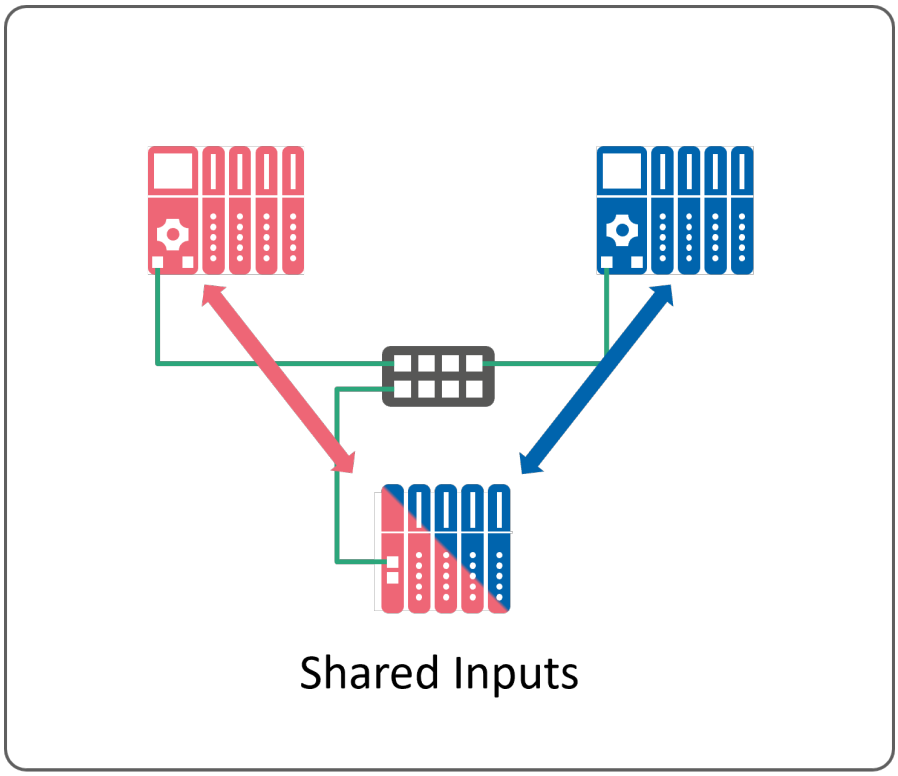


Abbildung 4-4: Einsatz von Shared Inputs

Shared Input ist eine Funktion, die ein Device optional unterstützen kann. Ein Shared Input ist ein Eingang, der von mehreren Controllern gleichzeitig gelesen werden kann. Die Ausgänge können weiterhin nur von einem Controller gesteuert werden.

Abbildung 4-4 zeigt den Einsatz von Shared Inputs. Die Eingänge des Devices werden zyklisch an beide Controller gesendet.

Die Funktionen I-Device, Shared Devices und Shared Inputs werden nicht von allen PROFINET-Geräten unterstützt.

Passen Sie Ihre Geräteauswahl an, falls Sie eine der Funktionen verwenden möchten.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

4.4 Drahtlose Übertragungstechnik

PROFINET ermöglicht den Einsatz von drahtlosen Übertragungssystemen. Im Gegensatz zum Einsatz von leitungsgebundenen Verbindungen, nutzt die drahtlose Technik den „freien“ Raum als Übertragungsmedium. Dieses gemeinsam genutzte Medium wird in der Automatisierungstechnik zumeist als Infrastruktur-Netzwerk mit zentralem Zugangspunkt (Access Point) aufgebaut. Ad-hoc-Netzwerke ohne zentralen Zugangspunkt finden selten Anwendung.

Die Nutzung der Funktechnologie bedarf dabei einer gezielten Berücksichtigung von Faktoren, die bei der Nutzung einer leitungsgebundenen Übertragungstechnik nicht auftreten. Darunter fallen die Begriffe:

- Dämpfung im freien Raum bei Sichtkontakt (Freiraumdämpfung)
- Reflexion von Funkwellen an Barrieren
- Interferenz mit anderen Signalquellen
- Streuung, Beugung und Absorption von Signalen an Oberflächen und Barrieren

Diese Effekte müssen beachtet werden, wenn sie einen Einfluss auf die Signalstärke des drahtlosen Systems haben. Abbildung 4-5 zeigt die verschiedenen Einflüsse auf eine drahtlose Übertragungstechnik.

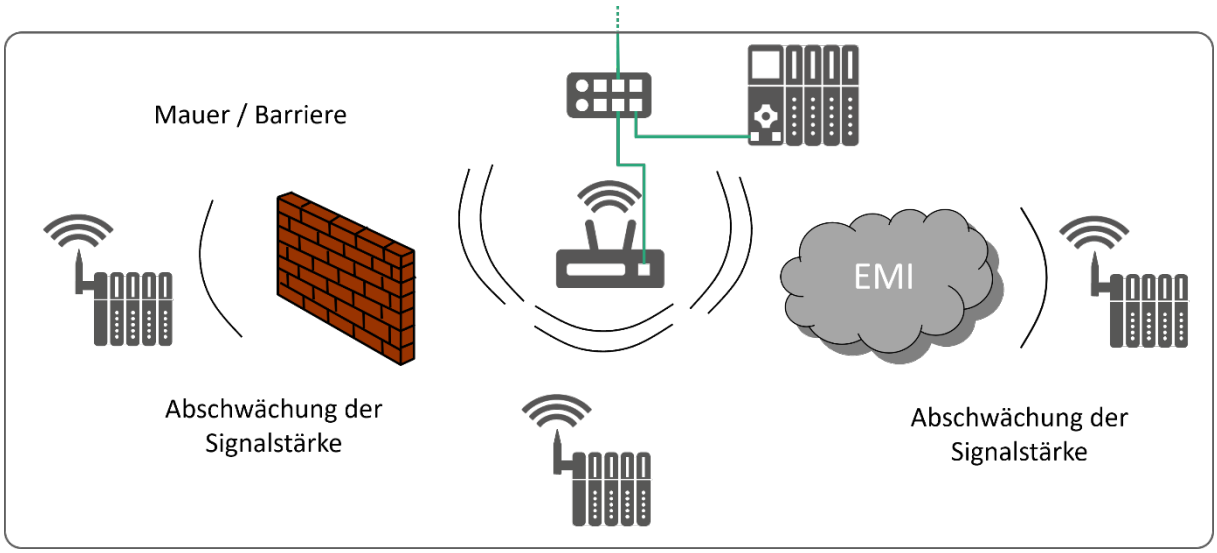


Abbildung 4-5: Einsatz drahtloser Übertragungstechnik

Eine sichere Abdeckung des Versorgungsgebiets ist nur gewährleistet, wenn eine entsprechende Funkfeldplanung und Anlagendokumentation durchgeführt worden ist. Die Funkfeldplanung dient der Ermittlung des Einflusses auf die Ausbreitung und das Verhalten von Funkwellen. Dabei werden Punkte berücksichtigt wie räumliche Gegebenheiten, also Faktoren wie

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Raumdimensionen, Wanddicken, Wandmaterialien und Metallhindernisse usw. (siehe auch Abbildung 4-5).

Die Ermittlung dieser Faktoren kann z.B. durch Messungen vor Ort oder durch Prüfung von Gebäude- bzw. Anlagenplänen erfolgen. Ebenso ist es möglich, Simulationswerkzeuge für eine Funkfeldplanung zu nutzen, die eine Berechnung der Signalausbreitung und damit eine verbesserte Planung anhand von Gebäudeplänen durchführen.

Darüber hinaus sollte nach Abschluss der Installationen eine Messung der Signalqualität in der Anlage erfolgen. Weitere Informationen hierzu finden Sie in der PROFINET-Inbetriebnahmerichtlinie Order No.: 8.081.

Berücksichtigen Sie bei der Planung, dass ein drahtloser Zugangspunkt einen freien Port an einem Switch benötigt. Passen Sie dafür ggf. die Auswahl Ihrer Komponenten und Ihrer Netzwerktopologie an.

Drahtlose Systeme unterstützen unterschiedliche Datenraten, was folglich einen Einfluss auf die Anzahl der drahtlosen PROFINET-Teilnehmer bzw. deren Aktualisierungsrate hat. Daher ist eine geeignete Aktualisierungszeit für die drahtlosen PROFINET-Teilnehmer zu wählen.

Informieren sie sich über die unterstützte Brutto- bzw. Netto-Datenrate Ihres drahtlosen Zugangspunktes und nutzen Sie das Netzlast-Berechnungswerkzeug zur Auslegung des drahtlosen Übertragungssystems.

Die allgemein geringere Übertragungsrate drahtloser Netzwerke im Vergleich zu einer leitungsgebundenen Infrastruktur, setzt die Aktualisierungsrate in einem drahtlosen PROFINET-Netzwerk herab.

Dies setzt zudem die maximale Anzahl an Clients pro Access Point herab.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Der Einsatz einer drahtlosen Übertragung ist sinnvoll, wenn eine Verkabelung nicht oder nur unter Schwierigkeiten verwendet werden kann, oder der Einsatz einer drahtlosen Übertragungstechnik die notwendige Mobilität und Flexibilität ermöglicht.

Gute Anwendungsbeispiele für eine drahtlose Übertragung sind z.B. fahrerlose Transportsysteme, Fördereinrichtungen, aber auch Sensornetze mit kurzen Ausdehnungen.

Drahtlose Netzwerke müssen gegenüber unautorisierten Zugriffen von außen geschützt werden. Treffen Sie Vorkehrungen zur Absicherung Ihres drahtlosen Netzwerks.

Dieses Kapitel kann lediglich einen Einstieg in die Thematik geben. Beim Einsatz von drahtloser Übertragungstechnik sind weitreichende Planungen erforderlich (z.B. räumliche Abdeckung, Planung der Frequenzen, etc.). Diese umfassenden Planungsarbeiten werden im Rahmen dieser Richtlinie nicht behandelt.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

4.5 Power over Ethernet

Power over Ethernet (PoE, IEEE802.3 Clause 33) ermöglicht es Geräte mit einer geringen Leistungsaufnahme direkt über die PROFINET-Leitung mit Energie zu versorgen. So kann eine separate Energieversorgung entfallen. Dadurch können unter Umständen Installationskosten eingespart werden. Typische Geräte, die sich über Power over Ethernet versorgen lassen, sind:

- Access Points (Drahtlose Zugangspunkte)
- IP-Kameras
- Bedienpanel und Bedienstationen
- Barcode Reader

PoE muss sowohl von dem speisenden Gerät (z.B. ein Switch oder ein separater Injektor) als auch dem zu versorgenden Gerät unterstützt werden. Der Einsatz von PoE bietet sich dann an, wenn die Verlegung einer Energieversorgung parallel zum PROFINET-Kabel vermieden werden soll.

Bitte beachten Sie, dass bei der Verwendung von Power over Ethernet die Netzwerktopologie eingeschränkt ist. Zwischen dem speisenden und dem zu versorgenden Geräte muss eine direkte Verbindung bestehen (siehe Abbildung 4-6).

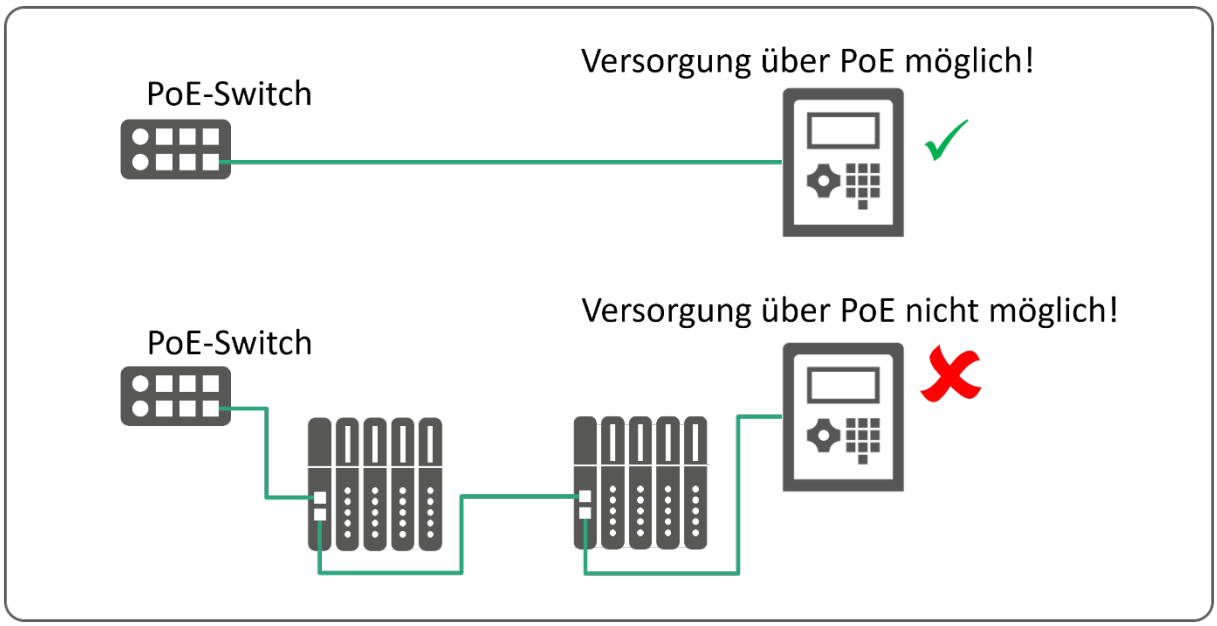


Abbildung 4-6: Topologieeinschränkung bei Power over Ethernet

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Ethernet-APL (siehe Kapitel 5) liefert Energie über das Netzwerkkabel. Es ist zu beachten, dass sich die Energieversorgung von APL von der Energieversorgung von Power over Ethernet (PoE) unterscheidet. Die beiden Versorgungskonzepte dürfen nicht in einem System gemischt werden. Es ist nicht möglich, Geräte, die über PoE mit Energie versorgt werden, an ein APL-Netzwerk anzuschließen und es ist nicht möglich, ein APL-Feldgerät an ein Netzwerk mit PoE anzuschließen.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

4.6 Nutzung von Fast Startup

In einigen Anwendungen ist es notwendig, dass ein PROFINET-Gerät innerhalb kürzester Zeit betriebsbereit ist. Dies ist z.B. nach einem Werkzeugwechsel bei einem Roboter der Fall. Um die Hochlaufzeitzeit nach einem Start zu minimieren, bietet PROFINET die Protokoll-Funktion des „Fast Startup“ (FSU). Diese wird durch Konfiguration der Geräte, die Fast Startup unterstützen, aktiviert.

Um Hochlaufzeiten von unter 500 ms realisieren zu können, muss an dem betreffenden Switch des Netzwerkteilnehmers die Funktion Auto-Negotiation und Auto-Cross-Over deaktivierbar sein. Um dennoch eine Verbindung zu ermöglichen, wird ein Crossover-Kabel oder ein Switch mit Portbeschaltung zum Kreuzen der Anschlüsse benötigt. Abbildung 4-7 zeigt die Realisierung mit Hilfe eines Crossover-Kabels.

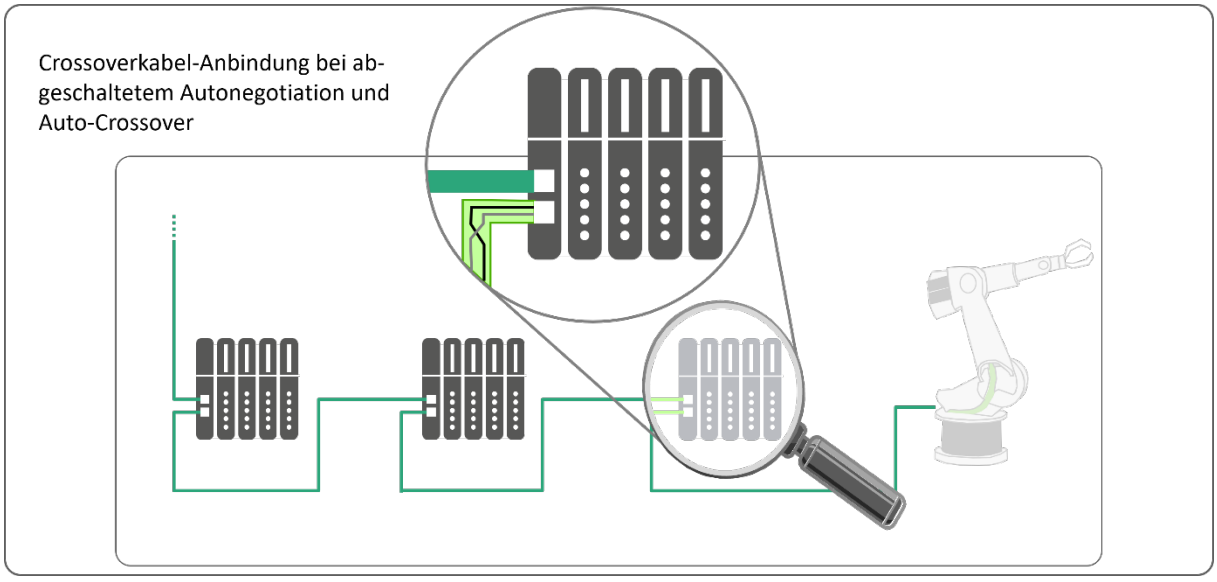


Abbildung 4-7: Realisierung von „Fast Startup“ bei PROFINET

Informieren Sie sich über die FSU-Funktionalität und die Anbindung der betreffenden Netzwerkteilnehmer in den Unterlagen des Geräteherstellers.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

4.7 Nutzung einer vorhandenen Netzwerk-Infrastruktur

Verkabelung

Bei der Nutzung von PROFINET kann eine bereits bestehende Verkabelungs-Infrastruktur genutzt werden. Dies ist allerdings grundsätzlich nur dann möglich, wenn Ihre Kabelinfrastruktur für eine PROFINET-Übertragung geeignet ist. Die Kabel sind für PROFINET geeignet, wenn es sich bei der Verkabelung um ein 4-adriges oder 8-adriges, symmetrisches, verdrilltes sowie geschirmtes Kupferkabel zur Übertragung von Standard-Ethernet handelt.

Die im industriellen Umfeld für Standard-Ethernet oft verwendete anwendungsneutrale Verkabelung fällt bei der Nutzung von PROFINET jedoch unter den Einsatzbereich der Conformance Class A und ist ausschließlich dort zu verwenden.

Wenn Sie bei der zur planenden PROFINET-Anlage auf eine bereits vorhandene Verkabelung zurückgreifen, finden Sie in der Conformance Class A Cabling Guideline [CCA2008] entsprechende Hinweise. Weitere Informationen zur Verkabelung und Verbindungstechnik finden Sie auch in [PCI2023].

Bei der Verwendung bereits vorhandener Verkabelung, sollte die Planung ausgehend von der vorhandenen Infrastruktur erfolgen. Die vorhandene Kabel-Infrastruktur ist um noch erforderliche Übertragungsstrecken zu erweitern.

Switches

Bei Verwendung von Standard-Switches in einer vorhandenen Infrastruktur ist zu beachten, dass diese die folgenden Funktionen unterstützen, die PROFINET benötigt:

- VLAN-Priorisierung nach IEEE 802.1Q mit mindestens zwei Queues
- Behandlung von LLDP-Paketen nach IEEE 802.1AB

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

In der CC-A werden Switches nicht zertifiziert. Die Hersteller können aber die Unterstützung von PROFINET erklären. Achten Sie entweder auf die eben genannten Funktionen oder auf eine Herstellererklärung, um zu bestimmen, ob die Switches verwendet werden können.

4.8 Planung von Zugangspunkten zur Netzwerkdiagnose

Während der Inbetriebnahme und für die Instandhaltung werden Zugangspunkte zum Netzwerk benötigt, um ggf. Netzwerkverkehr zu analysieren oder Geräte auszulesen. Auch zur Fehlersuche oder für eine Langzeit-Diagnose des Netzwerkzustandes sind solche Zugangspunkte nötig.

Um im laufenden Betrieb Diagnosegeräte ohne Unterbrechung des Anlagenbetriebes anschließen zu können, sollten Zugangspunkte zum Netz zur Verfügung stehen.

Halten Sie über die Anlage verteilt gut zugängliche Ports für Diagnosezwecke frei.

In jedem Fall sollte an Kommunikations-Knotenpunkten, wie direkt vor dem Controller, ein Switch mit Diagnoseport zur Verfügung stehen.

An freien Ports kann, falls der Switch dies unterstützt, mittels Port-Mirroring eine erste, grobe Analyse des Netzwerkverkehres durch den entsprechenden Switch durchgeführt werden.

Für eine genaue Diagnose des Datenverkehres besteht die Möglichkeit, mittels eines TAPs (engl. „Test-Access-Point“) eine Analyse von Datenströmen durchzuführen. Ein TAP wird, wie in Abbildung 4-8 dargestellt. direkt in eine Kommunikationsstrecke eingesetzt

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

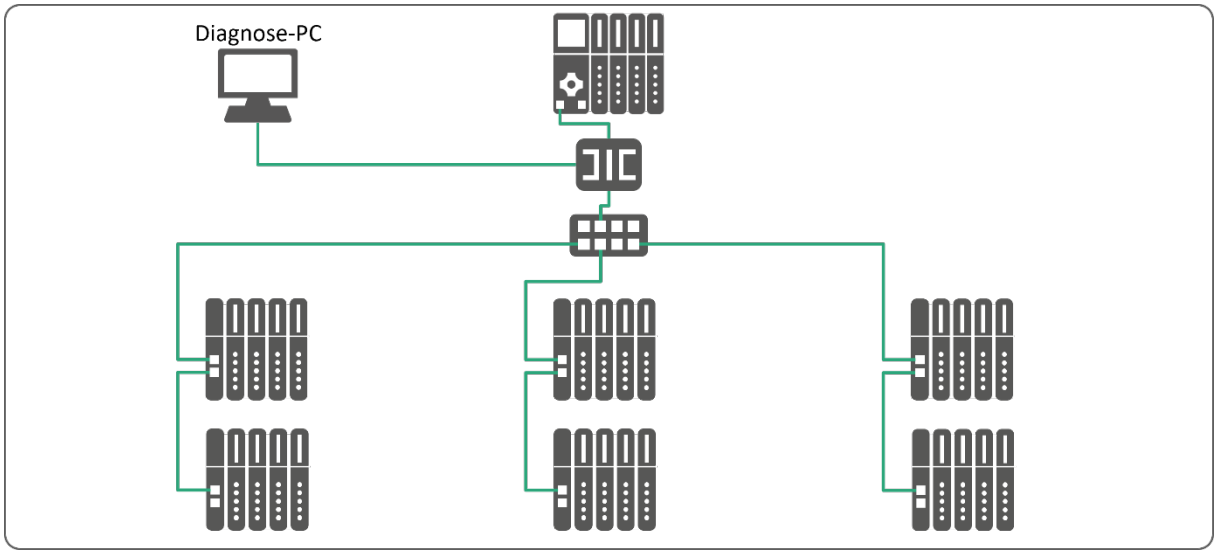


Abbildung 4-8: Auslesen von Datenströmen mittels TAP

Die Auswertung des Datenstromes kann beispielsweise mittels eines PCs stattfinden. Auch Diagnosegeräte mit integriertem TAP sind am Markt verfügbar.

Zum Einsetzen bzw. Entfernen eines TAPs muss die Kommunikationsverbindung aufgetrennt werden. Daher kann es sinnvoll sein, eine permanente Installation von TAPs an wichtigen Punkten einzuplanen.

Da es sich bei dem TAP um eine zusätzliche Komponente im Netzwerk handelt, sind Auswirkungen auf die Verfügbarkeit des Netzwerkes möglich. Bei der Verwendung von passiven, rückwirkungsfreien TAPs sind diese Auswirkungen jedoch als gering anzusehen. Siehe auch [PNC2022].

Es kann sinnvoll sein, TAPs an wichtigen Punkten, beispielsweise direkt vor dem Controller, einzuplanen.

Es wird empfohlen nur passive TAPs ohne Rückwirkung auf die PROFINET Kommunikation zu verwenden.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

4.9 Festlegung der Firmware-Stände und Asset Management

Oft existieren für PROFINET-Geräte verschiedene Firmware-Stände, weil beispielsweise Funktionen softwareseitig erweitert wurden.

Es ist dennoch sinnvoll, bei der Planung einer Anlage einen einheitlichen Firmware-Stand festzulegen und die PROFINET-Geräte vor der Inbetriebnahme auf diesen Firmware-Stand zu bringen. Dies gewährleistet ein einheitliches Geräte- und Projektierungs-Verhalten. Informieren Sie sich beim Hersteller der von Ihnen verwendeten Gerätetypen über aktuelle Firmware-Version und legen diese für jeden von Ihnen verwendeten Gerätetyp fest. Verschiedene Stände für den denselben Gerätetyp sollten vermieden werden.

Legen Sie einen einheitlichen Firmware-Stand pro Gerätetyp fest.

Ggf. ist auch die Festlegung eines einheitlichen Hardware-Standes sinnvoll.

Bringen Sie ggf. PROFINET-Geräte mit einem älteren Firmware-Stand vor der Inbetriebnahme auf den definierten Stand.

4.10 Dokumentation der angepassten Netzwerktopologie

Erweitern Sie Ihre Dokumentation um die Ergebnisse, die Sie während der Betrachtung der speziellen Aspekte ermittelt haben. Ein Vorschlag für eine Netzwerkdokumentation wird im Anhang in Kapitel 10.11 gegeben.

Nutzen Sie mögliche Zusatzfunktionen des Projektierungswerkzeugs oder firmeneigene Dokumentationswerkzeuge oder eine andere Software zur Dokumentation der Planung.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

4.11 Security

Der Aspekt der Security (OT-Security) wird in diesem Dokument nur in einzelnen Aspekten – z. B. im Rahmen der Anlagendokumentation – behandelt. Ausführliche Informationen zum Thema PROFINET Security finden Sie in den folgenden Dokumenten:

- [PSA2013] PROFINET Security Richtlinie
- [PSB2023] Security Class 1 for PROFINET-Security – Guideline for PROFINET
- [PSC202X] PROFINET Planungsrichtlinie Security (Noch nicht erschienen, in Vorbereitung)

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

5 Ethernet-APL

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Dieses Kapitel beschreibt die Grundlagen von Ethernet-APL mit einem 2-adrigen Physical Layer, der zur Anbindung von Feldgeräten an ein Ethernet-Netzwerk verwendet wird. Detaillierte Informationen über den Planungsprozess von Ethernet-APL finden Sie in der Ethernet-APL Engineering Richtlinie [APL2021].

5.1 Was ist Ethernet-APL?

Der zunehmende Einsatz von Industrial Ethernet bringt Vorteile in Bezug auf die Netzwerkdiagnose, bei der Schulung des Personals und bei der Nutzung einer konvergenten Kommunikationstechnologie, sofern die Ethernet-Technologie im gesamten Werk eingesetzt wird. Die Grundvoraussetzungen für ein solches Netzwerk sind:

- Kommunikation unter Berücksichtigung der Anforderungen der Prozessindustrie (raue Umgebung, spezifische Topologie-Vorgaben)
- Der Betrieb in Bereichen mit explosionsfähiger Atmosphäre muss möglich sein
- Die Handhabung durch das Instandhaltungspersonal muss möglich sein
- Robuste und einfache Anschlusstechnik
- Die Zykluszeit für die Übertragung liegt zwischen 10 ms und 2 000 ms, je nach Anwendung
- Die Feldgeräte müssen den standardisierten APL-Physical-Layer unterstützen.
- Die Protokolle müssen von allen Buskomponenten (z.B. Feldgeräte, Prozessleitsysteme, Infrastrukturkomponenten, ...) unterstützt werden.
- Die verwendeten Protokolle müssen miteinander kompatibel sein, d.h. ein gleichzeitiger Betrieb muss möglich sein.

Mit dem Physical Layer von Ethernet-APL haben die kooperierenden Standardisierungsorganisationen (SDOs), die im APL-Projekt zusammenarbeiten, eine Kommunikationslösung definiert, die die Nachfrage der Prozessindustrie nach einer einheitlichen Netzwerkarchitektur im Automatisierungsbereich mit den folgenden Merkmalen erfüllt:

- Ethernet-basierte Kommunikation
- Zweidrahtverbindung bis zum Sensor
- Spannungsversorgung der Geräte über den Zweidrahtanschluss
- Die Wiederverwendung bestehender Kabelinstallationen muss möglich sein (abhängig vom Kabeltyp)
- Der Betrieb von Feldgeräten und Switches in den Bereichen mit explosionsfähiger Atmosphäre ist möglich
- Der Austausch von defekten Geräten während des Betriebs in explosionsgefährdeter Atmosphäre ist möglich.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

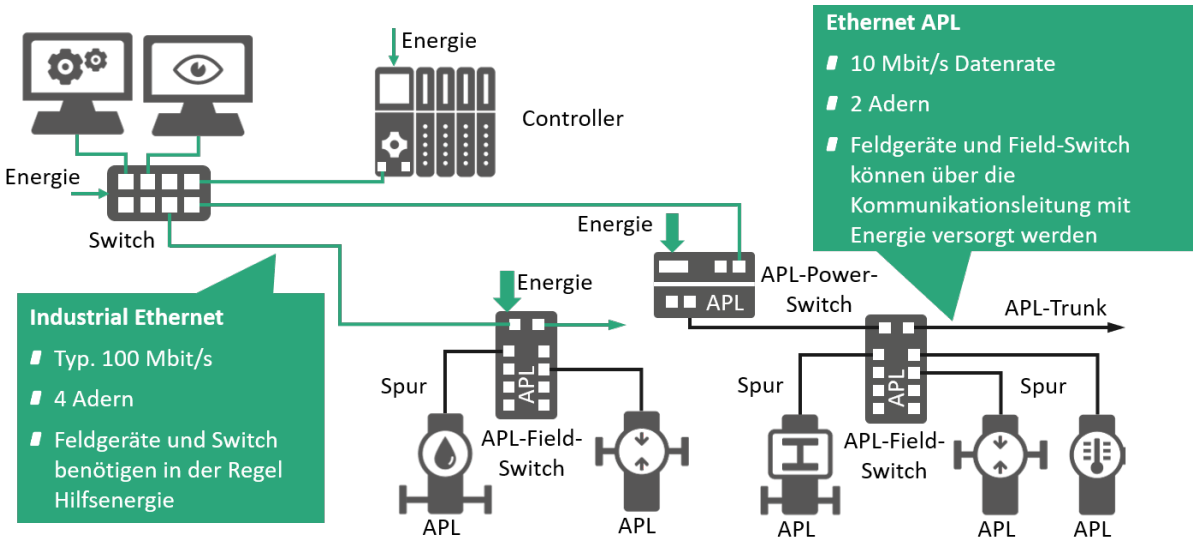


Abbildung 5-1: Unterschiede zwischen Fast Ethernet und APL

Abbildung 5-1 zeigt die Unterschiede zwischen Industrial Ethernet (typ. 100 Mbit/s) und Ethernet-APL. Links oben ist ein Controller in Kombination mit einer Engineering- und Leitstation dargestellt. Die beiden Geräte sind z. B. über ein 100 Mbit/s Industrial Ethernet verbunden. Beide Geräte benötigen Hilfsenergie. Das Ethernet-Kabel verfügt über 4 Adern, die Kommunikation erfolgt in der Regel im Vollduplex-Modus bei einer Länge von maximal 100 m, sofern Kupferkabel verwendet werden. In der Mitte von Abbildung 5-1 ist ein APL-Power-Switch dargestellt. Der APL-Power-Switch wird auf der einen Seite an das Fast-Ethernet angeschlossen und mit Hilfsenergie versorgt. Der APL-Power-Switch wandelt das 100-Mbit/s—Fast-Ethernet in das 10-Mbit/s-Ethernet-APL-Signal um. Ethernet-APL verwendet zwei Adern (single pair) und gewährleistet darüber eine Vollduplex-Kommunikation. Der APL-Trunk verbindet den APL-Power-Switch mit den APL-Field-Switches. Die Länge eines APL-Trunk-Segments kann bis zu 1 000 m betragen. Parallel dazu versorgt der APL-Power-Switch die an das APL-Netzwerk angeschlossenen Geräte mit elektrischer Energie. In diesem Fall der APL-Field-Switch und die APL-Feldgeräte. Die APL-Feldgeräte sind über die APL-Spurs mit den APL-Field-Switches verbunden. Zusätzlich zeigt Abbildung 5-1 auch einen Field-Switch, der direkt an das 100Mbit/s-Industrial-Ethernet angeschlossen ist.

Es ist zu erkennen, dass Ethernet-APL ein weiterer Physical Layer für PROFINET ist. Der Anwender hat nun die Wahl, ob er 100-Mbit/s-Ethernet-Physical Layer, eine noch höhere Übertragungsgeschwindigkeit oder den 10 Mbit/s Ethernet-APL-Physical Layer nutzen möchte.

5.2 Mögliche Topologien für ein APL-System

Ethernet-APL bietet die Möglichkeit, drei verschiedene Topologien zu verwenden, die in Tabelle 5-1 in Bezug auf ihre Eigenschaften verglichen werden.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Tabelle 5-1: Merkmale der verschiedenen APL-Netzwerkstrukturen

Merkmal	Field-Switches mit Industrial-Ethernet	Gespeister APL-Trunk
Maximale Spur-Länge	≤ 200 m für Kabelkategorie IV[1]	≤ 200 m für Kabelkategorie IV[3]
Maximale Trunk-Länge / Industrial-Ethernet-Länge	Lichtwellenleiter: Abhängig von der Lichtwellenleiterart. Normalerweise ≤ 2 000 m für Multimode-Fasern. Kupferkabel: ≤ 100 m	≤ 1 000 m für Kabel der Kategorie IV[3]. Abhängig von der Leistungsaufnahme der Field-Switches und der Devices und dem verwendeten Kabel.
Zu berücksichtigender Spannungsabfall auf dem Trunk	Nein	Ja
Datenrate auf Trunk / Industrial Ethernet	Typ. 100 Mbit/s	10 Mbit/s
Netzlast (Kommunikationslast) auf dem Trunk / Industrial Ethernet zu berücksichtigen	Ja, bei 100 Mbit/s Datenrate sind die Beeinträchtigungen jedoch vernachlässigbar	Ja
Im Feld benötigte Hilfsenergie	Ja, für die Versorgung der Field-Switches	Nein, Field-Switches werden über den Trunk versorgt.
Potentialausgleich	Bei Verwendung von Lichtwellenleitern zur Verbindung der Field-Switches ist der Potentialausgleich unkritisch	Zu beachten, insbesondere bei Verwendung großer Trunk-Längen

In den nächsten Kapiteln werden die drei Topologie-Alternativen im Detail behandelt.

5.2.1 Alternative 1: APL-Field-Switches mit Industrial-Ethernet-Anschluss

Bei dieser Alternative wird das Standard-Industrial-Ethernet verwendet, um die APL-Field-Switches mit dem Automatisierungsnetzwerk zu verbinden. In diesem Fall wird das Automatisierungsnetzwerk über einen Lichtwellenleiter zu den APL-Field-Switches geführt. Kupferkabel ist ebenfalls möglich, aber die Längenbegrenzung muss beachtet werden. Ein Power-Switch ist nicht erforderlich. Die APL-Field-Switches müssen über eine Hilfsspannungsquelle versorgt werden.

[1] Siehe [APL2021] zu Details der Kabelspezifikation

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

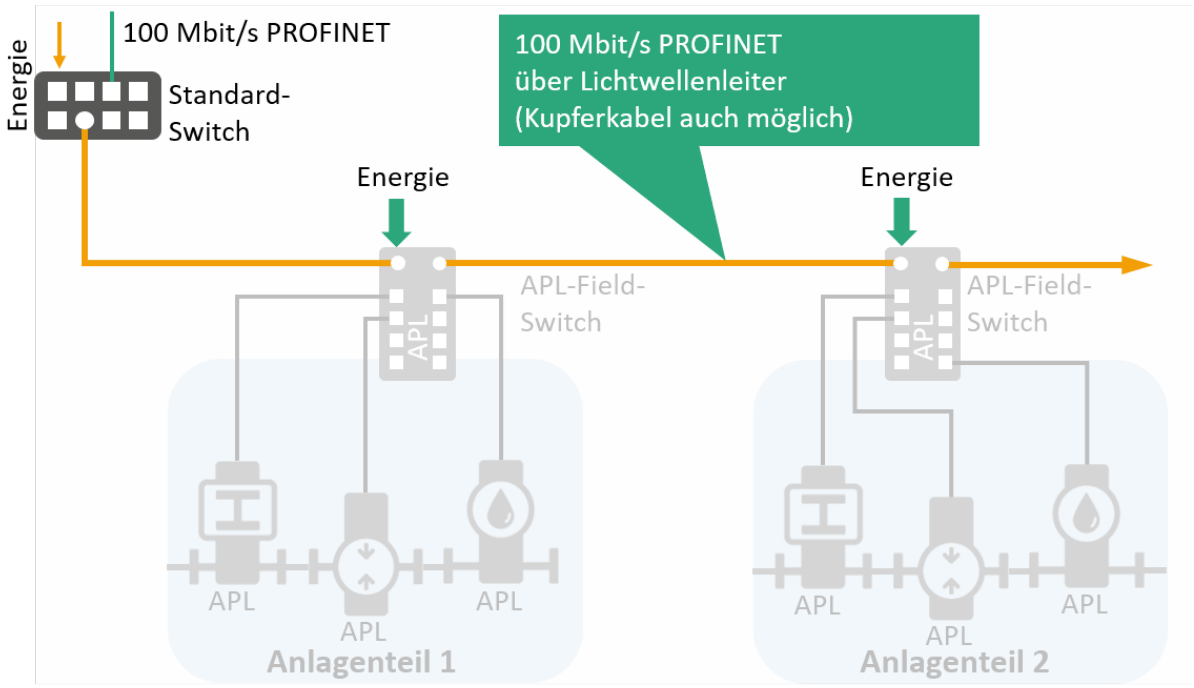


Abbildung 5-2: Field-Switches mit Industrial-Ethernet-Anschluss

Abbildung 5-2 zeigt eine Netzwerkstruktur auf Basis von Industrial Ethernet. Kupferleitungen erlauben Entfernungen von bis zu 100 m. Multimode-Lichtwellenleiter erlauben typischerweise Entfernungen zwischen den APL-Field-Switches von bis zu 2 000 m.

Bei der Errichtung von APL-Netzwerken mit großen Kabellängen ist die Schirmung und der Funktionspotentialausgleich zu beachten. Siehe APL-Engineering-Richtlinie [APL2021] für weitere Details. In Anlagen mit unklarer Situation in Bezug auf Funktionspotentialausgleich und Schirmung ist der Einsatz von LWL-Industrial Ethernet (FO) eine Alternative.

Weitere Informationen finden Sie in der Ethernet-APL Engineering Richtlinie [APL2021].

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

5.2.2 Alternative 2: Gespeister APL-Trunk

Dieses Kapitel befasst sich mit dem gespeisten APL-Trunk.

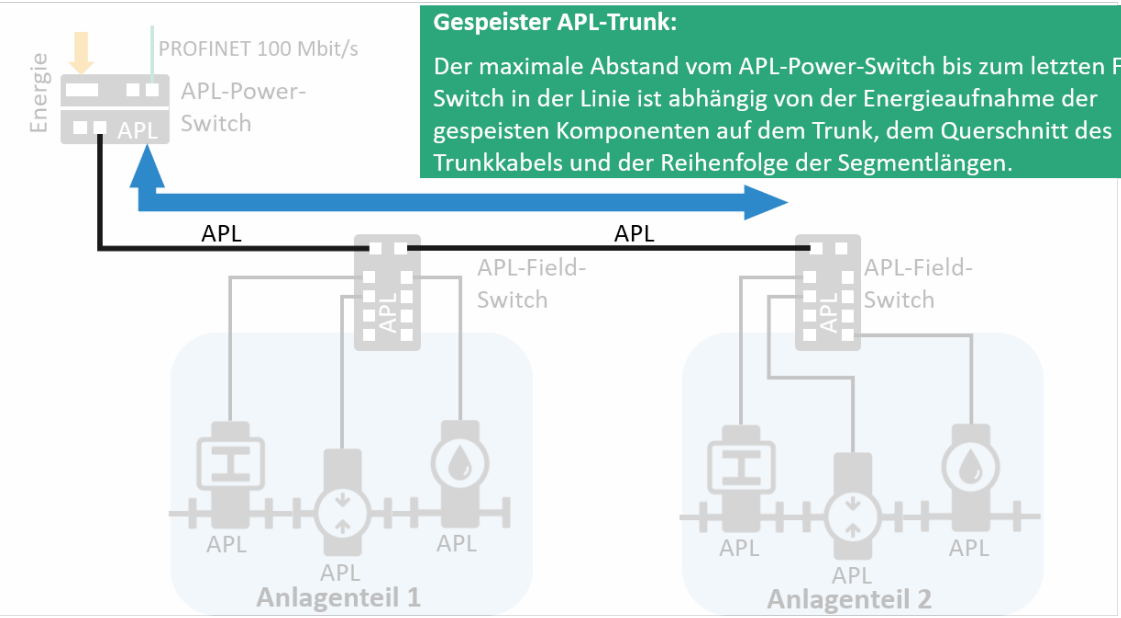


Abbildung 5-3: Gespeister APL-Trunk

Abbildung 5-3 definiert die letzte Begrenzung für die Platzierung der APL-Field-Switches, wenn ein gespeister Trunk verwendet wird. Die maximale Entfernung für jedes Segment in der Leitung kann bis zu 1000 m betragen, hängt aber von den folgenden Parametern ab:

- Ausgangsspannung des APL-Power-Switches.
- Anzahl der APL-Field-Switches, die mit dem gespeisten APL-Trunk verbunden sind.
- Anzahl der an die Field-Switches angeschlossenen APL-Feldgeräte und deren Leistungsaufnahme.
- Aderquerschnitt der Trunk-Leitung.
- Temperatur der Trunk-Leitung, da der Widerstand von der Umgebungstemperatur abhängt.

Der Standort der APL-Feldgeräte wird durch den technischen Prozess definiert und ist Input für den APL-Planungsprozess. Die APL-Feldgeräte sind so zu platzieren, dass die Spur-Länge maximal 200 m beträgt, der maximale Abstand zwischen dem Power-Switch und dem letzten Field-Switch in der Linie muss berechnet werden. Diese Kabellängen sind abhängig vom Kabeltyp.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

In der Ethernet-APL Engineering Richtlinie [APL2021] finden Sie weitere Details.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

6 Anlagenbeispiele

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Sie haben nun all die PROFINET-Funktionen, die in diesem Dokument beschrieben werden, im Planungsprozess beachtet. Dieses Kapitel stellt einige Automatisierungsaufgaben beispielhaft vor und beschreibt, wie diese mit PROFINET gelöst werden können.

Zuerst werden typische Anlagen aus folgenden Industrien gezeigt:

- Fertigungsindustrie
- Maschinenbau
- Prozessindustrie

Im Anschluss werden drei Beispiele gezeigt, in denen die neuen Funktionen von TSN in der CC-D genutzt werden:

- Einbindung einer Kamera in den Prozess
- Zeitsynchronisation für Datenanalyse und Sequence of Events
- Konvergente Netze

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

6.1 Fertigungsautomatisierung

Der Aufbau einer Automatisierungsanlage, welche für die Fertigungsautomatisierung gedacht ist, könnte folgende Struktur vorsehen.

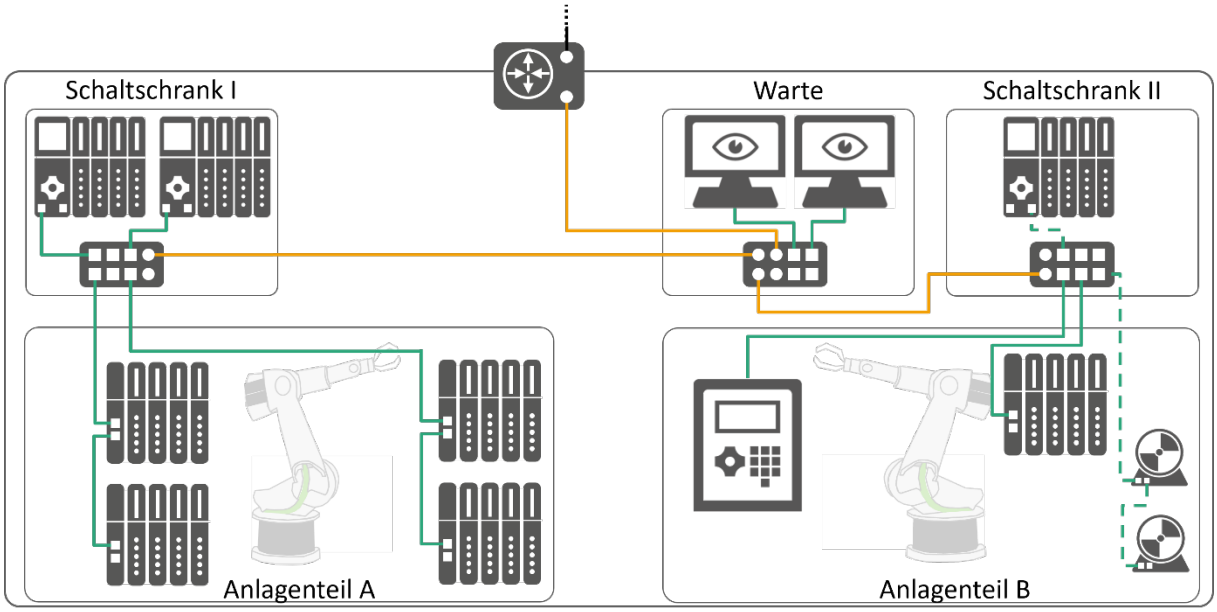


Abbildung 6-1: Anlagenbeispiel Fertigungsautomatisierung

In diesem Beispiel sind die Controller und Switches in separaten Schaltschränken am Rande der Fertigungslinie untergebracht. Alle Controller können ungehindert miteinander kommunizieren. Aufgrund der weit voneinander positionierten Anlagenteile werden die Entfernungen zwischen den Switchen mittels Lichtwellenleitern überbrückt.

In Anlagenteil A sind die Devices nahe dem Fertigungsprozess untergebracht und über eine Linienstruktur angebunden In Anlagenteil B sind neben einer taktsynchronen Anbindung von Antrieben weitere zyklisch-kommunizierende PROFINET-Geräte wie Devices und Bedienpanel vorhanden.

In diesem Beispiel sind deutlich die Vermischungen der verschiedenen Topologien zu erkennen.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

6.2 Automatisierung einer Maschine

Folgendes Beispiel zeigt die Automatisierung einer Maschine. Die Anlage ist hier in mehrere Bereiche aufgeteilt, die unterschiedliche Funktionen übernehmen. Die Reaktionszeiten der Anlage sind typischerweise klein.

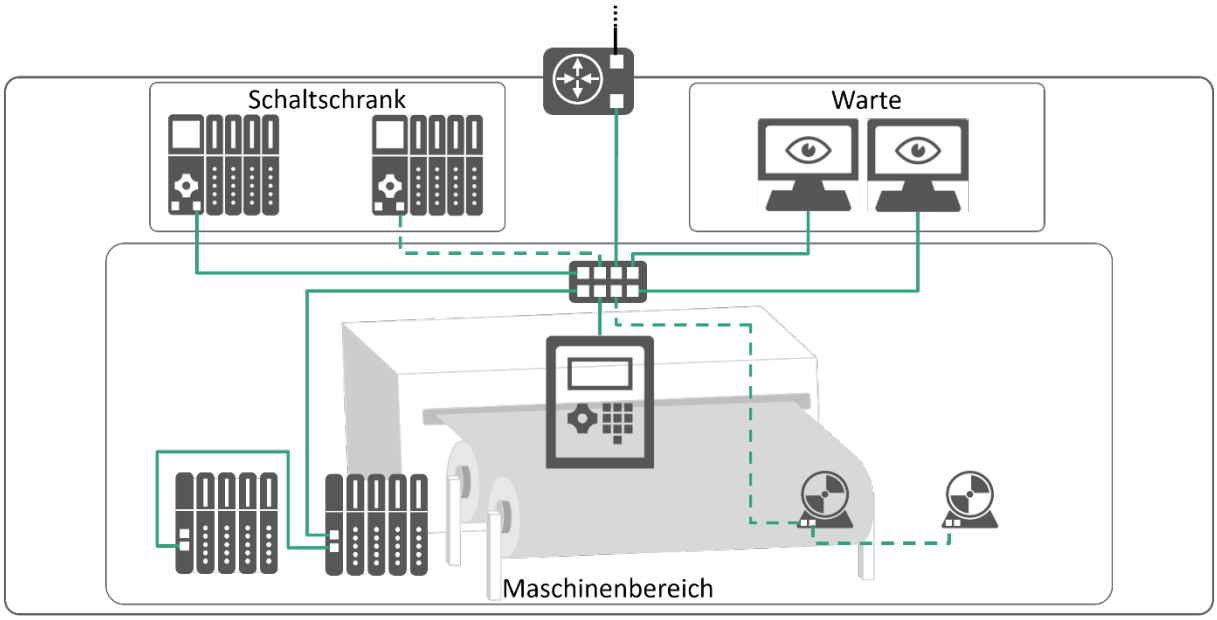


Abbildung 6-2: Anlagenbeispiel Maschinenautomatisierung

Während die Operator-Konsole in der Warte und die Controller außerhalb des Maschinenbereichs in einem Schaltschrank verbaut sind, befinden sich die Devices und ein Bedienpanel im Maschinenbereich.

Die PROFINET-Geräte, welche eine taktsynchrone Anbindung benötigen, werden in einem ersten Schritt positioniert und an den Switch angebunden. Die besondere Anforderung an Determinismus (z.B. lagegeregelte Achsen) erfordern, dass die Antriebe an einen IRT-fähigen Switch taktsynchron angebunden werden. IRT-fähige- sowie nicht-IRT-fähige PROFINET-Geräte können gemeinsam an einem IRT-fähigen Switch betrieben werden.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

6.3 Prozessautomatisierung mit Remote-I/O

Die Prozessautomatisierung zielt unter anderem auf die Anwendungsgebiete der Chemieindustrie ab. Hier wird PROFINET üblicherweise genutzt, um zum Beispiel die folgenden Anlagen zu vernetzen:

- Chemische Reaktoren
- Kraftwerke
- Chemieanlagen

Die Anforderungen an die Reaktionszeiten sind in der Prozessautomatisierung typischerweise geringer als in der Fertigungs- und Maschinenautomatisierung.

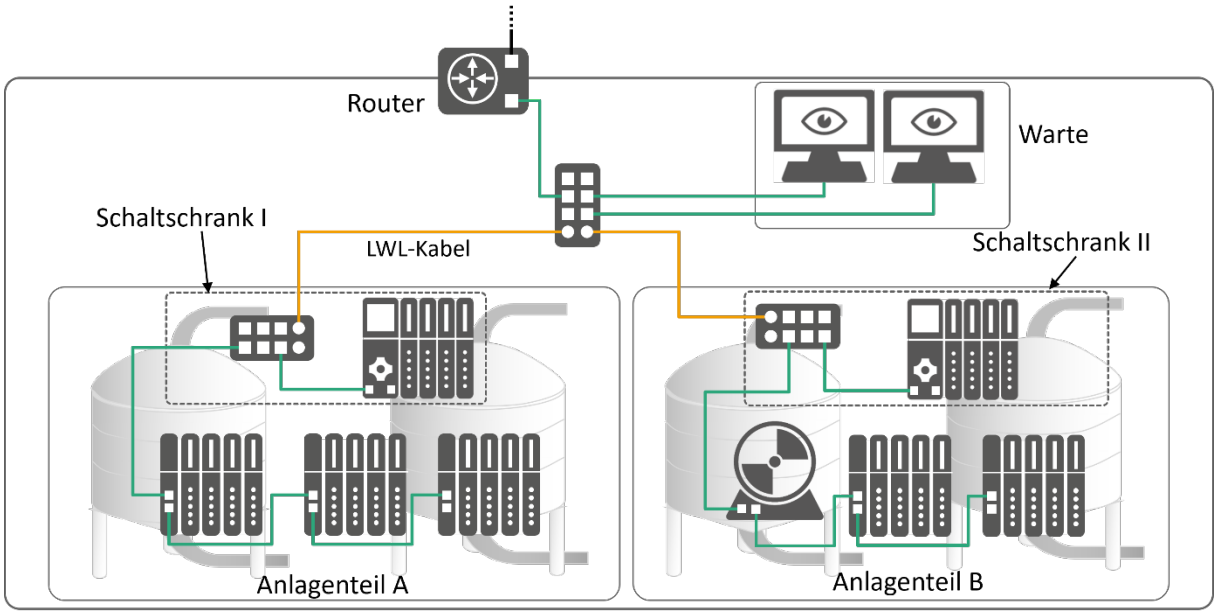


Abbildung 6-3: Anlagenbeispiel Prozessautomatisierung mit Remote-I/O

Die Warte übernimmt die Überwachung der beiden Prozesse, die in Anlagenteil A und B aufgeteilt sind. Beide Anlagenteile verfügen dabei über einen örtlich naheliegenden Schaltschrank, der mit Switch und Controller ausgestattet ist.

Aufgrund der Weitläufigkeit der Anlage werden die Netzwerkteilnehmer über eine Sterntopologie angebunden. Von der Warte bis zu den Schaltschränken wird LWL-Kabel verwendet und innerhalb der Anlagenteile A und B wird eine Linienstruktur eingesetzt. Dies führt zu einem geringeren Verkabelungsaufwand. Die Sensoren und Aktoren sind mit den Feldgeräten verbunden, z. B. über 4 ... 20 mA und HART.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

6.4 Prozessautomatisierung mit Ethernet-APL

Ethernet-APL ist ein Zweidraht-Ethernet mit 10 Mbit/s, das für den direkten Anschluss von Sensoren und Aktoren an PROFINET vorgesehen ist. Siehe Kapitel 5 und die Ethernet-APL Engineering Richtlinie [APL2021] für weitere Details.

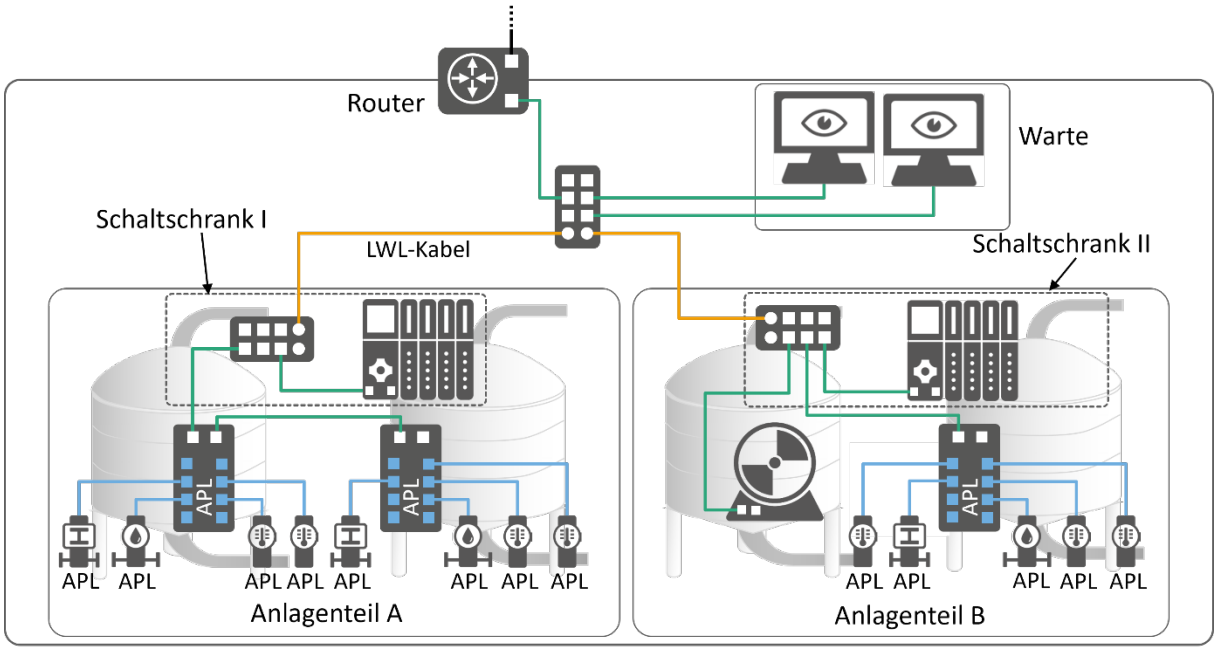


Abbildung 6-4: Anlagenbeispiel Prozessautomatisierung mit Ethernet-APL

Abbildung 6-4 zeigt eine Beispielanlage in der Prozessindustrie, die mit Ethernet-APL-Sensoren ausgestattet ist. Das Anlagenlayout im oberen Teil ähnelt dem vorangegangenen Beispiel in Abbildung 6-3, aber anstelle der Remote-I/O wandeln APL-Field-Switches die jeweils 100 Mbit/s-PROFINET-Signale in 10 Mbit/s-Ethernet-APL-Signale um. Die APL-Feldgeräte sind über 10 Mbit/s-APL-Spurs mit den Field-Switches verbunden. Diese Spurs transportieren sowohl Daten als auch Energie zu den Sensoren. Der Einsatz eines Remote-I/O ist nicht mehr notwendig.

Weitere Informationen finden Sie in Kapitel 5 und in der Ethernet-APL Engineering Richtlinie.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

6.5 Kamera als Sensor mit TSN

Das folgende Beispiel zeigt eine Sortieranlage. Eine Videokamera wird in den Prozess eingebunden. Die Kamera kann somit als Sensor für den Echtzeitbetrieb angesehen werden.

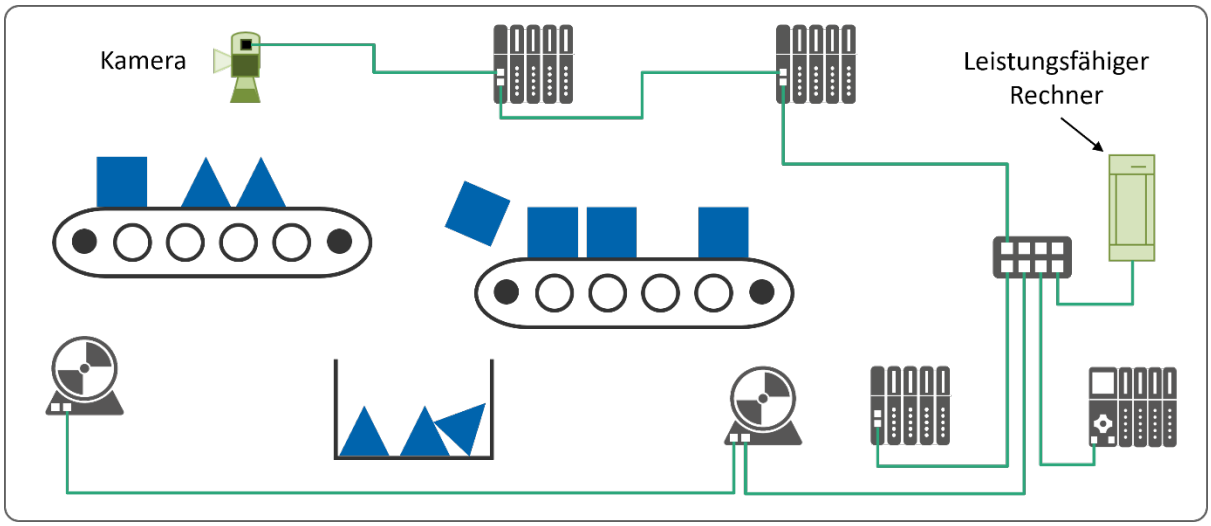


Abbildung 6-5: Anlagenbeispiel Kamera als Sensor

In einer Sortieranlage befinden sich zwei Arten von Objekten auf einem Fließband. Die Objekte können anhand ihres Aussehens unterschieden werden.

Eine Kamera mit hoher Auflösung und Framerate wird verwendet, um ein Video des Fließbands aufzunehmen. Die Bilder werden mit Zeitstempeln versehen und an einen Rechner mit hoher Rechenleistung gesendet. Dieser führt eine Objekterkennung durch. Anhand der Zeitstempel kann er exakt berechnen, wann die Ventile geöffnet werden müssen, um die Objekte mit einem Luftstoß auszusortieren. Die berechneten Zeitstempel werden über den Controller an den Remote-I/O gesendet, welcher die Ventile zum korrekten Zeitpunkt ansteuert.

Folgende Technologien werden genutzt, um das Anlagenbeispiel zu ermöglichen:

- Es wird Gigabit-Ethernet genutzt, da die Kamera eine Datenrate von 150 Mbit/s benötigt.
- Die Uhrzeit-Synchronisation mit gPTP wird genutzt. Die Zeitstempel werden mithilfe der Working Clock der Geräte erzeugt.
- Als Conformance Class wird die CC-D genutzt. Der Videostream und die Prozessdaten werden über dasselbe Netzwerk übertragen. Durch die in der CC-D genutzten TSN-Technologien ist sichergestellt, dass der Videostream keine negativen Auswirkungen auf die Übertragung der Prozessdaten hat.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

6.6 Datenanalyse und Sequence of Events mit TSN

Das folgende Beispiel zeigt zwei Pumpenstationen. Global gültige Zeitstempel werden genutzt, um mehrere Technologien zu ermöglichen.

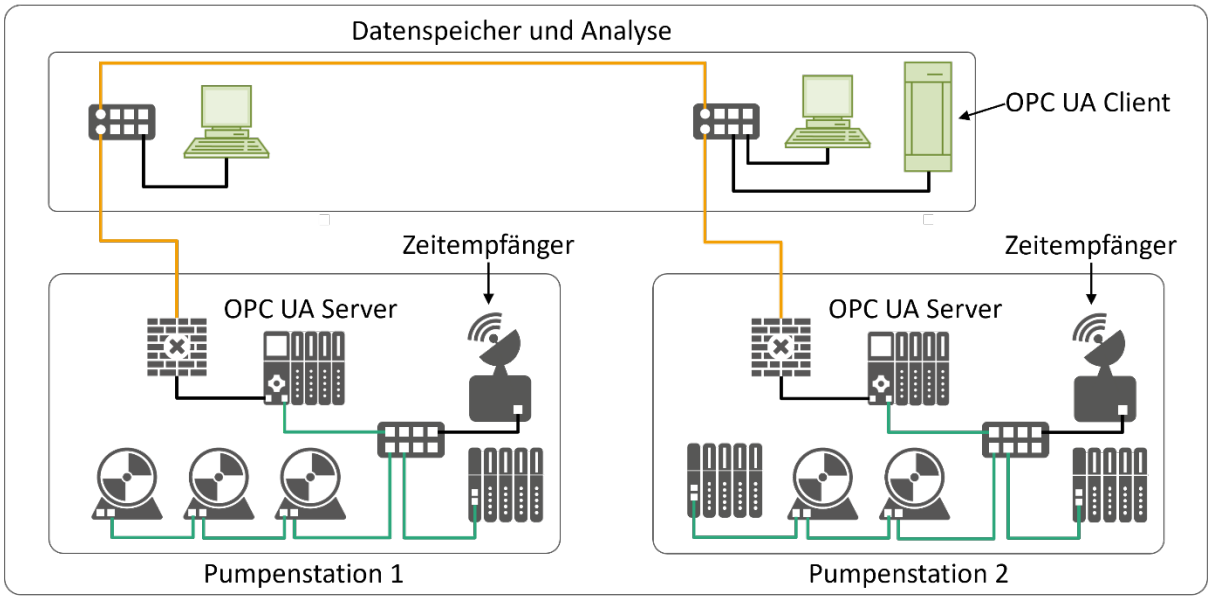


Abbildung 6-6: Anlagenbeispiel Datenanalyse und Sequence of Events

In dieser Anlage werden zwei Pumpenstationen genutzt, um den Druck in einem gemeinsamen Wassernetz zu regeln. Im Fehlerfall soll die Ursache und der Verlauf des Ausfalls bestimmt werden können. Daher werden bestimmte Signale und Ereignisse mit Zeitstempeln versehen und auf den Controllern zwischengespeichert. Auf den Controllern läuft jeweils ein OPC UA Server, der die Werte zur Verfügung stellt. Eine Datenbank nutzt einen OPC UA Client, um die Daten des Controllers zu erhalten und dauerhaft zu speichern. Im Fehlerfall können diese Daten genutzt werden, um den Fehlerhergang zu bestimmen. Dies wird auch als **Sequence of Events** bezeichnet.

In der Anlage entstehen außerdem Daten, die nicht für die Steuerung des Prozesses nötig sind, aber dennoch wertvoll sind. Dazu zählen Daten der Frequenzumrichter und Sensorik. In dieser Anlage werden beispielsweise Vibrationssensoren an den Pumpengehäusen angebracht. Diese Daten werden ebenfalls mit Zeitstempeln versehen und vom Controller an eine Datenbank gesendet. Datenanalysten können die Daten verwenden, um Veränderungen im Pumpenverhalten zu bestimmen und die Notwendigkeit von Wartungen zu ermitteln. Dies wird auch als **Predictive Maintenance** bezeichnet.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Die Geräte der Anlage müssen die Uhrzeit Synchronisation der Global Clock unterstützen:

- Die Uhrzeit wird mithilfe von gPTP synchronisiert. Diese kann dann genutzt werden, um Daten mit exakten Zeitstempeln zu versehen. Da sich die Pumpen in unterschiedlichen Netzwerken befinden muss die Global Clock verwendet werden. Dafür ist ein lokaler Zeitempfänger notwendig. Im Beispiel wird ein GPS-Empfänger verwendet.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

6.7 Konvergente Netze mit TSN

Das folgende Beispiel zeigt eine typische Anlage der Fertigungsindustrie. Die Anlage ist mit einem übergeordneten Netzwerk verbunden. Es werden eine Reihe von IP-basierten Protokollen genutzt, um unabhängig vom Controller mit Netzwerkteilnehmern zu kommunizieren.

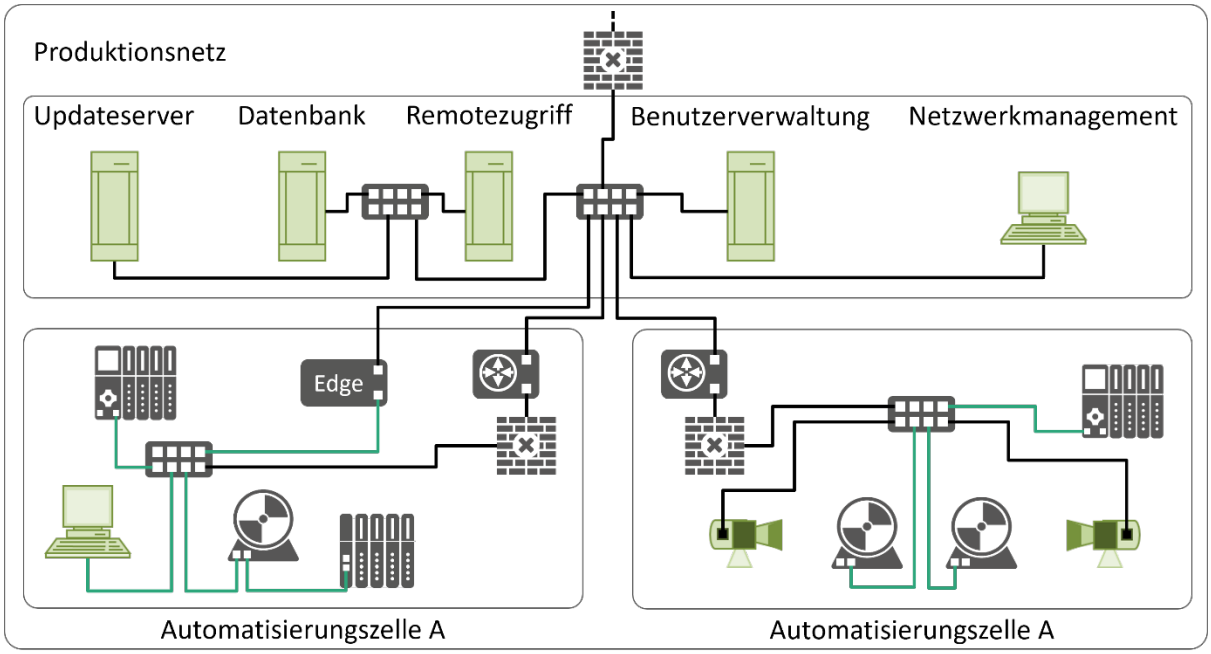


Abbildung 6-7: Anlagenbeispiel konvergente Netze

In dieser Anlage werden neben den PROFINET-Geräten eine Reihe von anderen Geräten an das Netzwerk angeschlossen, dazu gehören ein Standard-PC und eine Videokamera. Zudem sollen alle Netzwerkteilnehmer aus dem übergeordneten Netzwerk erreichbar sein. Die PROFINET-Netzwerke werden daher mithilfe von Routern und Firewalls an das übergeordnete Netzwerk angebunden. Das übergeordnete Netzwerk enthält Server und PCs für folgende Dienste:

- **Updateserver**: Das Betriebssystem und die Programme des Standard-PCs beziehen über den Updateserver die aktuelle Softwareversion.
- **Datenbank**: Ein MQTT-Broker sammelt Daten von PROFINET-Teilnehmern und speichert diese langfristig. Außerdem empfängt er das Bild der Überwachungskamera als UDP-Stream und speichert dieses ebenfalls.
- **Remotezugriff**: Ein eigener Server dient dem Remotezugriff. Bei Aufträgen zur Fernwartung muss zuerst der Zugriff aus dem Internet auf den Remoteserver erfolgen. Dieser Zugriff erfordert eine Autorisierung und eine Authentifizierung. Erst danach kann das Produktionsnetz erreicht werden.
- **Benutzerverwaltung**: Im Unternehmen wird eine einheitliche Benutzerverwaltung verwendet, die auch im Produktionsnetz verwendet wird.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

- **Zentrales Netzwerkmanagement**: Das Unternehmen verfügt über ein Netzwerk, welches sowohl Unternehmensnetz als auch Produktionsnetz umfasst. Daher wird das Netzwerkmanagement für das gesamte Netzwerk zentral durchgeführt.

In den PROFINET-Netzwerken wird die CC-D zusammen mit Gigabit-Ethernet verwendet. Dies hat folgende Gründe:

- Die verschiedenen Protokolle werden im selben Netzwerk wie die Prozessdaten übertragen. Durch die in der CC-D genutzten TSN-Technologien ist sichergestellt, dass diese Kommunikation keine negativen Auswirkungen auf die Echtzeit-Übertragung der Prozessdaten hat. Der Echtzeit-Verkehr ist durch die TSN-Mechanismen logisch und zeitlich vom Nicht-Echtzeit-Verkehr isoliert.
- Durch die Videokamera entsteht eine bekannte und hohe Nicht-Echtzeit-Last. Durch den Updateserver entsteht eine nicht planbare, unregelmäßige und hohe Nicht-Echtzeit-Last.
  Die Nutzung von Gigabit-Ethernet ermöglicht die schnelle Übertragung von großen Datenmengen. Der Videostream der Kamera nimmt somit einen geringeren Anteil an der gesamten Bandbreite ein. Die Updates benötigen weniger Zeit. Es verbleibt mehr Bandbreite für weitere Anwendungen, wodurch diese ebenfalls schneller werden.

Die dargestellten Dienste und Protokolle sind lediglich Beispiele. Es können beliebige Dienste und Protokolle genutzt werden, sofern die Geräte diese unterstützten und die Kommunikation IP-basiert stattfindet.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

7 Performance Betrachtungen

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Mit den getroffenen Festlegungen zu Ihrem PROFINET-Netzwerk bedarf es nun einer Betrachtung der Performance des Netzwerkes. Dieses Kapitel wird Sie schrittweise durch die Analyse Ihrer bisherigen Planung führen und dabei Punkte von besonderer Wichtigkeit in Bezug auf die Performance aufzeigen. Der Inhalt dieses Kapitels befasst sich dabei mit:

- Beschreibung des PROFINET-IO-Zyklus
- Festlegung von Geräteparametern, die für die Performance des Netzwerkes wichtig sind
- Topologie des PROFINET-Netzwerkes mit besonderem Fokus auf die Topologie sowie zyklische und azyklische Belastungen durch PROFINET-Geräte sowie Standard-Ethernet-Geräte

Gegebenenfalls ist eine Anpassung der Netzwerktopologie notwendig um eine störungsfreie und sichere Kommunikation zu gewährleisten.

Isochrone Echtzeit-Kommunikation (IRT) sowie der Einfluss von Safety- und Security-Konzepten werden in diesem Kapitel nicht behandelt.

Das folgende Kapitel 7.1 liefert einen kurzen Überblick über performancerelevante Funktionsweisen von PROFINET bzw. von Ethernet im Allgemeinen. Sollte diese Information für Sie nicht von Interesse sein, lesen Sie direkt bei Kapitel 7.2 weiter.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

7.1 Der PROFINET Sendezyklus

Dieses Kapitel beschreibt die Performance-relevanten Funktionsweisen von PROFINET. Es liefert Ihnen damit die Grundlage für die Analyse der bisherigen Planungen.

7.1.1 Priorisierung von PROFINET Paketen und Switching-Verfahren

Es können zwei Arten der Kommunikation in einem PROFINET-Netzwerk auftreten: Echtzeit-Kommunikation (RT) und Nicht-Echtzeit-Kommunikation (NRT).
Echtzeit-Kommunikation wird dabei priorisiert. Dies wird über den Standard-Ethernet Priorisierungs-Mechanismus im VLAN-Tag realisiert wie in Abbildung 7-1 beispielhaft dargestellt. Das RT-Paket wird den NRT Paketen gegenüber bevorzugt behandelt.

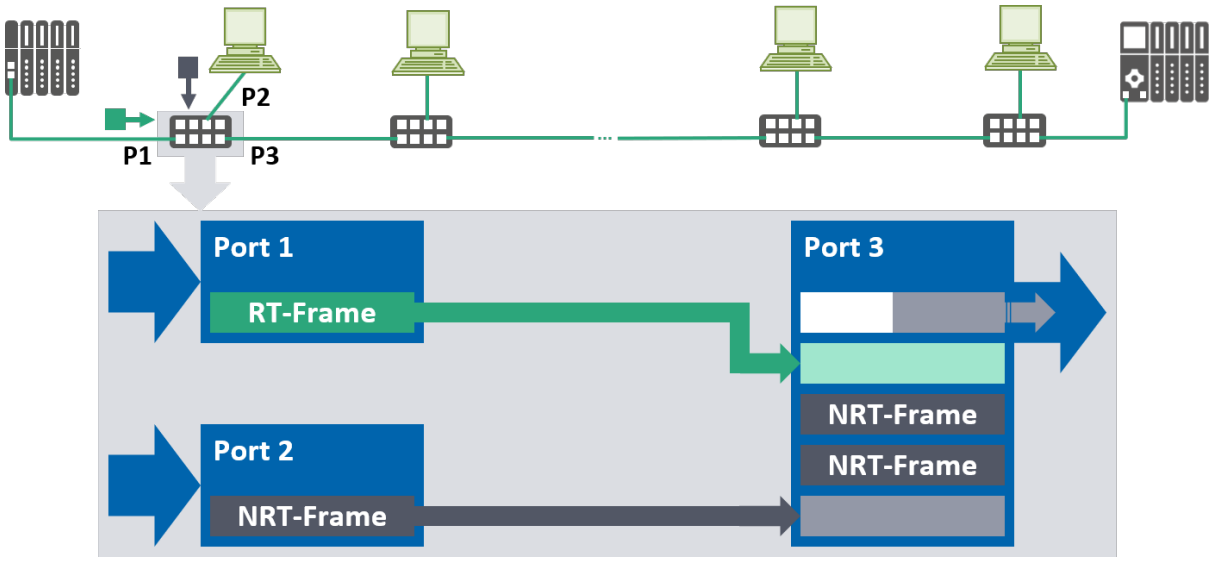


Abbildung 7-1: Priorisierung der Echtzeit-Kommunikation bei PROFINET

NRT-Kommunikation findet daher nur in der nicht durch RT-Kommunikation beanspruchten Zeit statt. Üblicherweise verwendet werden die Switching-Verfahren:

- **„Store-And-Forward"-Switches:** Hier wird das gesamte Paket eingelesen, auf Fehler geprüft und weitergeleitet oder im Fehlerfall verworfen.
- **„Cut-Through"-Switches:** Hier werden nur die für das Weiterleiten unbedingt notwendigen Teile des Paketes (Adressinformationen) eingelesen und das Paket dann direkt und ohne weitere Verzögerung weitergeleitet.

Das verwendete Switching-Verfahren ist für die Planung der Topologie, insbesondere im Bezug auf die Linientiefe (Anzahl der Switches zwischen Controller und Device), von Bedeutung. Dieser Sachverhalt wird in Kapitel 7.3.1 näher behandelt.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

7.1.2 Aktualisierungszeit

PROFINET-Geräte können, je nach Anforderung des zu automatisierenden Prozesses und verwendeter Hardware, in unterschiedlichen Zeitintervallen aktualisiert werden. Die Aktualisierungszeit kann sich dabei zwischen verschiedenen PROFINET-Geräten einer Anlage unterscheiden. Das PROFINET-Gerät mit der höchsten parametrierten Aktualisierungszeit bestimmt den Sendezyklus, in dem alle PROFINET-Geräte mindestens einmal mit Daten versorgt werden bzw. ihre Daten senden, wie in Abbildung 7-2 zu sehen.

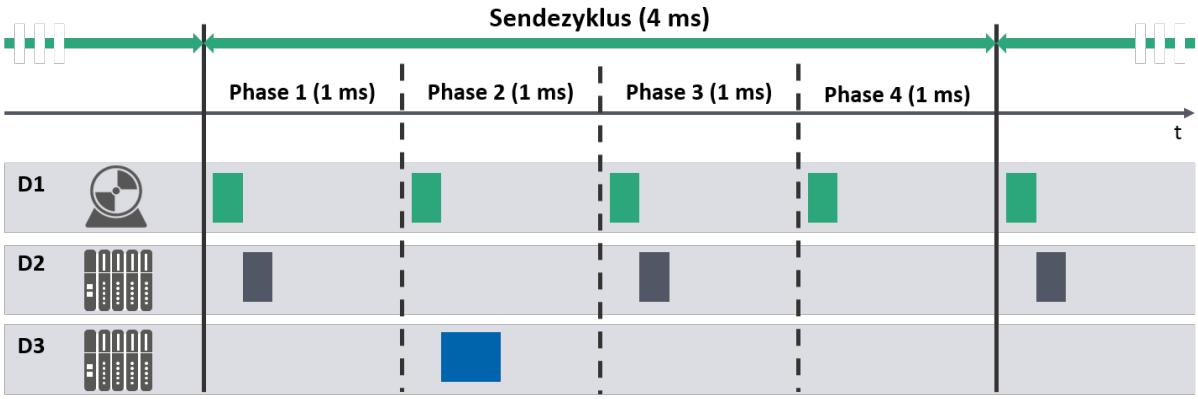


Abbildung 7-2: Der PROFINET Sendezyklus

Für kleinere Aktualisierungszeiten wird dieser Sendezyklus in mehrere Phasen eingeteilt. Die Länge einer Phase T_p wird definiert durch ein Vielfaches des PROFINET Basistaktes von 31,25 µs, wie in Formel (7-1) definiert. Dieses Vielfache ist als $SendClockFactor$ definiert.

$$T_p = SendClockFactor \cdot 31{,}25\ \mu s \qquad \textbf{(7-1)}$$

Andere Aktualisierungszeiten T_a als den minimalen Sendetakt werden durch einen Untersetzungsfaktor, die $ReductionRatio$, eingestellt, wie in Formel (7-2) gezeigt.

$$T_a = ReductionRatio \cdot SendClockFactor \cdot 31{,}25\ \mu s \qquad \textbf{(7-2)}$$

Im Beispiel auf Abbildung 7-2 bestimmt das Device D1 den minimalen Sendetakt mit einer Aktualisierungszeit von 1 ms. Das Device D2 würde eine $ReductionRatio$ von 2, das Device D3 eine $ReductionRatio$ von 4 zugewiesen bekommen.

Im Controller kann zusätzlich der Sendetakt eingestellt werden, der den minimalen Takt zum Senden von Paketen definiert. Der Sendetakt des Controllers kann maximal der kleinsten parametrierten Aktualisierungszeit eines mit Daten zu versorgenden Devices entsprechen.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Dies soll im Folgenden an einem weiteren Beispiel für eine typische Anwendung erläutert werden. Die gewählten Zahlenwerte sind nur zur Verdeutlichung des Prinzips gewählt worden.

Beispiel: 4 Devices sollen mit einer Aktualisierungszeit von 4 ms mit Daten vom Controller versorgt werden.

Wenn Controller Sendetakt den Wert 1 ms aufweist, wird jede Millisekunde ein Paket verschickt.

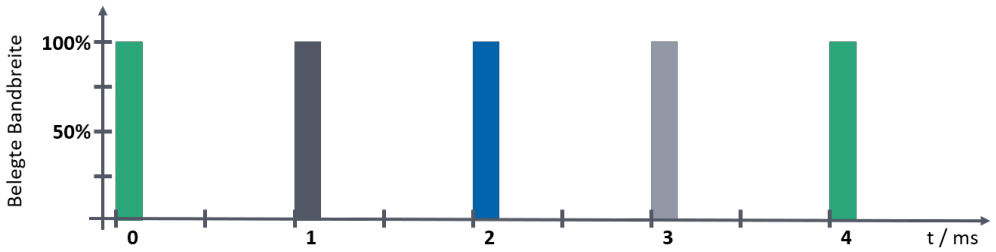


Abbildung 7-3: Netzlast, Sendezyklus 4 ms, Controller Sendetakt 1 ms

Bei einem Controller Sendetakt von 4 ms werden alle 4 Millisekunden 4 Pakete mit Daten verschickt.

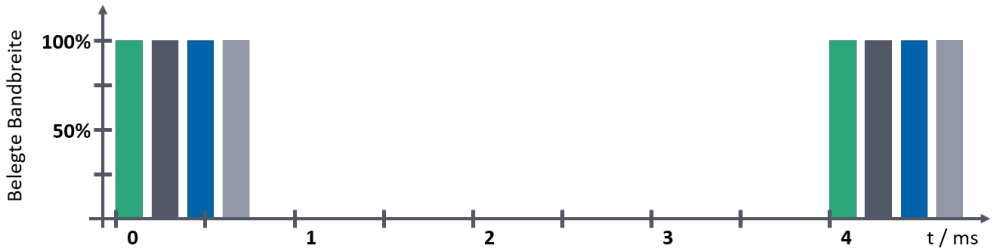


Abbildung 7-4: Netzlast, Sendezyklus 4 ms, Controller Sendetakt 4 ms

In beiden Fällen werden alle Geräte mit einem Abstand von 4 ms mit Daten versorgt. Im ersten Fall wird die Last verteilt, wohingegen im zweiten Fall eine Häufung von Paketen auftritt, die zu einer ungleichmäßigen Auslastung des Busses führt.

Wie das Beispiel zeigt, empfiehlt es sich, den Controller Sendetakt auch bei höheren Aktualisierungszeiten der Devices niedrig zu halten, um eine bessere Verteilung der erzeugten Netzlast zu erreichen. Bei Änderung der Aktualisierungszeit von Geräten sollte demnach die *ReductionRatio*, nicht der Sendetakt des Controllers, geändert werden.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Diese Berechnungen erfolgen in der Regel durch das Engineering-Tool und erfordern lediglich die Vorgabe der Aktualisierungszeit.

Das PROFINET-Gerät sendet seine Daten nach der Parametrierung selbstständig mit dem durch die Aktualisierungszeit vorgegebenen zeitlichen Abstand. Nur dieser zeitliche Abstand der Nachrichtenpakete ist bei PROFINET RT-Kommunikation definiert, nicht der genaue Zeitpunkt.

Die eingestellte Aktualisierungszeit beeinflusst wesentlich die zu übertragene Datenmenge und damit die Netzlast, die im nächsten Kapitel erläutert wird.

7.1.3 Netzlast

Das Verhältnis von belegter Bandbreite zu maximal verfügbarer Bandbreite wird als Netzlast bezeichnet. Die Verteilung der Last auf den Betrachtungszeitraum ist beliebig.

Für die Definition der Netzlast ist daher der Betrachtungszeitraum wichtig, denn während einer Übertragung sind für bestimmte Zeiträume immer 100% der Netzwerkbandbreite belegt, wie in Abbildung 7-5 am Beispiel eines Sendezyklus dargestellt ist. Pakete unterschiedlicher Länge, hier z.B. 108 Byte (grün, grau) und 300 Byte (blau), belegen für die Dauer ihrer Übertragung die volle Bandbreite.

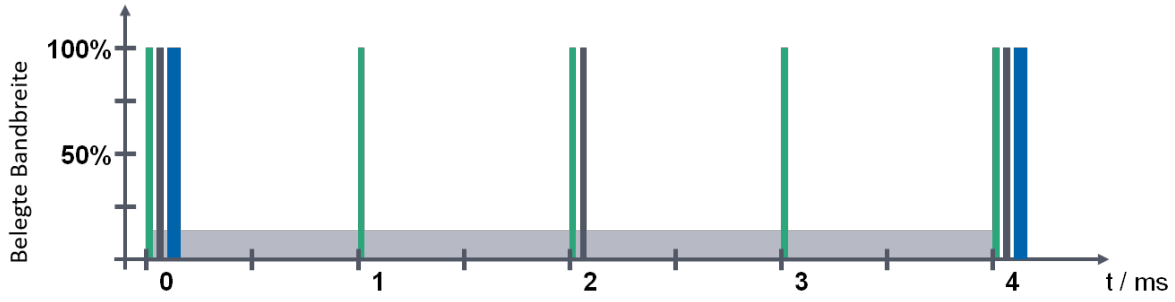


Abbildung 7-5: Beispielhafter Netzlastverlauf während eines Sendezyklus

Bei der Netzlastermittelung findet eine Mittelwertbildung statt und die Verteilung der Last innerhalb des Betrachtungszeitraumes kann nicht unmittelbar bestimmt werden. Je größer der Betrachtungszeitraum, desto stärker auch die Mittelwertbildung – kurzzeitige Netzlastspitzen werden „verwischt“. Für das Beispiel in Abbildung 7-5, beträgt die Netzlast bezogen auf 4 ms beispielsweise 2 %.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Bei PROFINET werden Daten üblicherweise in Voll-Duplex übertragen, also gleichzeitig empfangen und gesendet. Daher können beide Kommunikationsrichtungen getrennt betrachtet werden.

Das Verhältnis von belegter zu maximal verfügbarer Bandbreite wird als Netzlast bezeichnet.

Je nach Menge der zu übertragenen Daten und der eingestellten Aktualisierungszeit wird die maximal verfügbare Bandbreite durch die RT Kommunikation beansprucht. Dementsprechend weniger Reserven für NRT-Kommunikation stehen zur Verfügung. Bitte beachten Sie, dass Ethernet APL (siehe Kapitel 5) mit einer Datenrate von 10 Mbit/s arbeitet. Die Kombination verschiedener Verbindungsgeschwindigkeiten in einem Netzwerk kann zu Überlastungsproblemen in Switches führen. Weitere Informationen dazu finden Sie in Kapitel 7.4.

7.1.4 Reaktionszeit von Verarbeitungsketten

Jedes PROFINET-Gerät arbeitet sein Programm sequenziell mit einer gewissen Zykluszeit ab, wobei Eingänge am Anfang eines jeden Zyklus eingelesen und Ausgänge am Ende eines jeden Zyklus gesetzt werden. Die Lage dieser, in Abbildung 7-6 dargestellten, Zyklen zueinander beeinflusst die Reaktionszeit einer Verarbeitungskette.

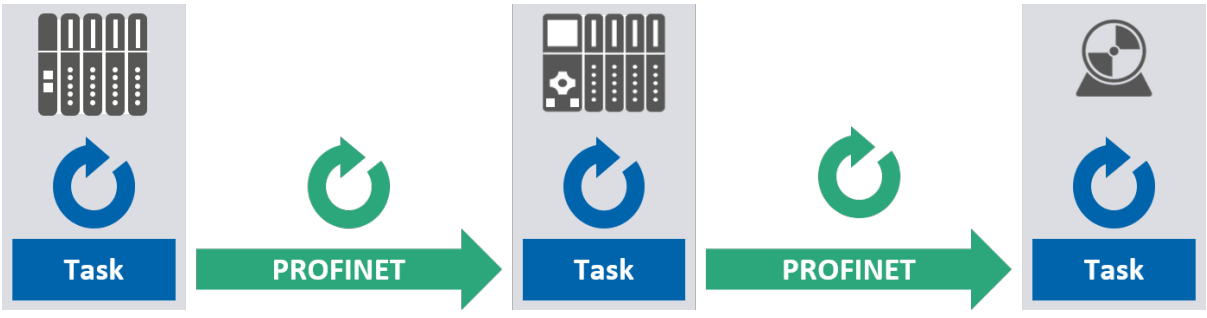


Abbildung 7-6: Zyklen in der Verarbeitungskette

Abbildung 7-7 zeigt ein Beispiel für die Verarbeitung eines Ereignisses. Es könnte sich z.B. um die Eingabe eines Stopp-Befehls für einen Motor handeln.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

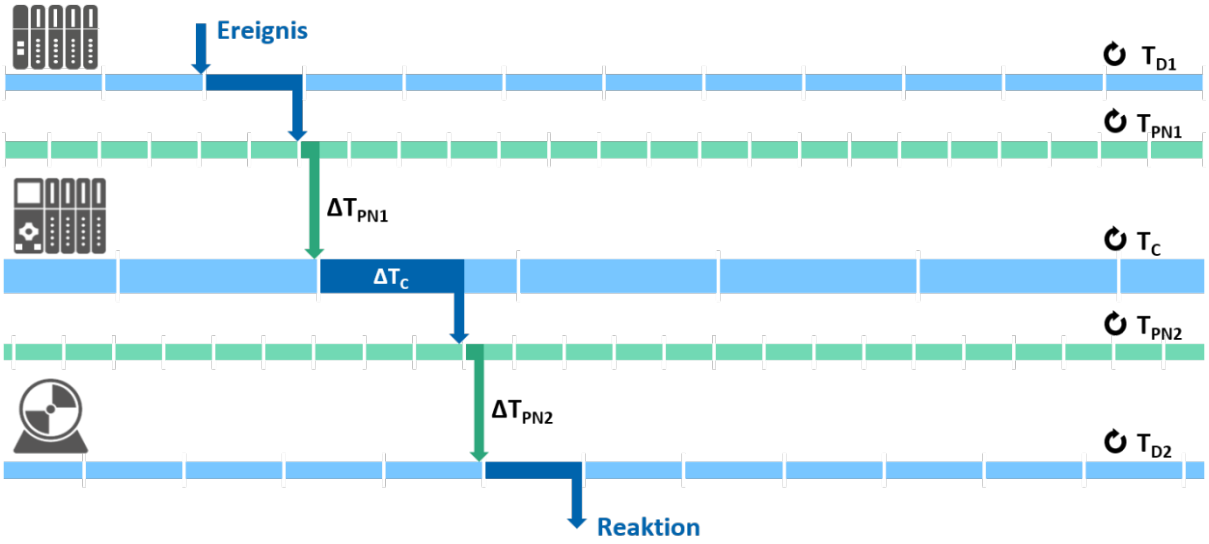


Abbildung 7-7: Beispiel für Zyklen in der Verarbeitungskette, kürzeste Reaktionszeit

Die Ausführungsdauer wird bestimmt durch

- die Zykluszeit des Controllers T_C.
- die Bearbeitungszeit im Controller ΔT_C.
- die Zykluszeiten der Devices T_{D1} und T_{D2}.
- die Zykluszeiten Aktualisierungszeiten der Devices T_{PN1} und T_{PN2}.
- die Übertragungszeiten der Daten durch das Netzwerk ΔT_{PN1} und ΔT_{PN2}.

Dieses Beispiel geht von einer zyklischen Bearbeitung der SPS-Task im Controller aus, wie z.B. bei IEC 61131-3-Systemen. Hierbei wird angenommen, dass die Bearbeitungszeit der SPS-Task ΔT_C kürzer ist, als die Zykluszeit T_C der Task. Für den Fall einer Abarbeitung in einer Endlosschleife im Controller (sogenannter „SPS-Modus“), entspricht die Zykluszeit des Controllers T_C der Bearbeitungszeit im Controller ΔT_C.

Im günstigsten Fall treffen die Daten immer „gerade noch rechtzeitig“ kurz vor Beginn eines jeden Zyklus ein und können direkt verarbeitet werden. Es entstehen keine zusätzlichen Verzögerungen.

Im ungünstigsten Fall muss in jedem Verarbeitungsschritt ein kompletter Zyklus gewartet werden, bis eine Auswertung und Reaktion erfolgen kann, wie in Abbildung 7-8 dargestellt ist. Dieser Betrachtung liegt zu Grunde, dass bei der zyklischen Verarbeitung das jeweilige Ereignis „gerade nicht mehr“ erfasst wird und dass erst im drauf folgenden Zyklus eine Verarbeitung erfolgen kann.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

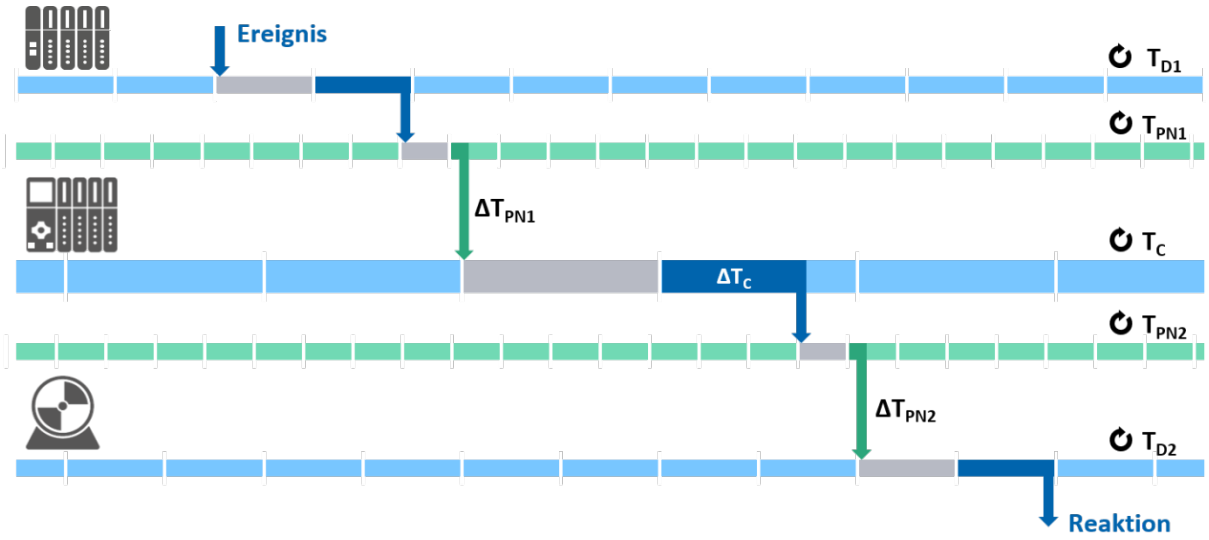


Abbildung 7-8: Beispiel für Zyklen in der Verarbeitungskette, längste Reaktionszeit

Da sich die Zyklen aller im System vorhandenen Komponenten nicht miteinander synchronisiert werden, ist immer mit einer gewissen Schwankung der Reaktionszeit zu rechnen.

Die Reaktionszeit der Verarbeitungskette kann im ungünstigsten Fall mehr als das doppelte des günstigsten Falls betragen, wie das folgende Beispiel zeigt.

Beispiel: Unter der Annahme von

T_C = 15 ms

ΔT_C = 10 ms

$T_{D1} = T_{D2}$ = 3 ms

$T_{PN1} = T_{PN2}$ = 2 ms

$\Delta T_{PN1} = \Delta T_{PN2}$ = 100 µs

Ergibt sich eine Reaktionszeit von

minimal:

$T_{D1}+\Delta T_{PN1}+\Delta T_C+\Delta T_{PN2}+T_{D2}$ = **16,2 ms**

maximal:

$2 \cdot T_{D1}+T_{PN1}+\Delta T_{PN1}+T_C+\Delta T_C+T_{PN2}+\Delta T_{PN2}+2 \cdot T_{D2}$ = **41,2 ms**

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Der Einfluss der PROFINET-Aktualisierungszeit ist im oben angeführten Beispiel vergleichsweise gering, wie das folgende Beispiel zeigt:

Beispiel: Bei einer Reduzierung der Aktualisierungszeit, T_{PN1} und T_{PN2}, von 2 ms auf 1 ms ergibt sich mit den übrigen Annahmen des vorangegangenen Beispiels eine minimale Reaktionszeit von 16,2 ms und eine maximale Reaktionszeit von 39,2 ms.

Das Verhältnis von Aktualisierungszeit zu Controller-Zykluszeit beträgt in diesem Fall 1:15.

Eine Reduzierung der Controller Zykluszeit hat im oben angeführten Beispiel hingegen einen deutlich größeren Einfluss auf die Reaktionszeit:

Beispiel: Bei der Reduzierung der Controller-Zykluszeit T_C von 15 ms auf 10 ms und einer Controller-Bearbeitungszeit ΔT_C von 5 ms ergibt sich mit den übrigen Annahmen des ersten Beispiels eine minimale Reaktionszeit von 11,2 ms und eine maximale Reaktionszeit von 31,2 ms.

Das Verhältnis von Aktualisierungszeit zu Controller-Zykluszeit beträgt in diesem Fall 1:5.

Eine Änderung des Verhältnisses von Aktualisierungszeit zu Controller-Zykluszeit führt zu einer Veränderung der Reaktionszeit.

Die Reaktionszeit Ihres Automatisierungssystems muss für Ihre Anwendung ausreichend kurz sein.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

7.2 Planung des IO-Zyklus

Im Folgenden werden Festlegungen der Gerätekonfigurationen behandelt. Dabei wird auf Aktualisierungszeiten und die Überwachungsfunktionen von PROFINET eingegangen.

7.2.1 Planung der Aktualisierungszeiten

Controller zyklisch mit einer definierten Zykluszeit. Passend zur Zykluszeit des Controllers muss nun die Aktualisierungszeit für die übrigen PROFINET-Geräte festgelegt werden. Für Multi-Controller-Anwendungen müssen die dem jeweiligen Controller zugeordneten PROFINET-Geräte betrachtet werden.

Durch kleine Aktualisierungszeiten werden Daten in kürzeren Zeitabständen aktualisiert und stehen dementsprechend schneller zur Verarbeitung zur Verfügung. Jedoch steigt dadurch die übertragene Datenmenge pro Zeit und damit die Netzlast.
Abbildung 7-9 zeigt für eine typische PROFINET-Paketgröße von 108 Byte (60 Byte Nutzdaten), wie die Netzlast in Abhängigkeit von der Aktualisierungszeit und der Anzahl der Netzwerkteilnehmer ansteigt.

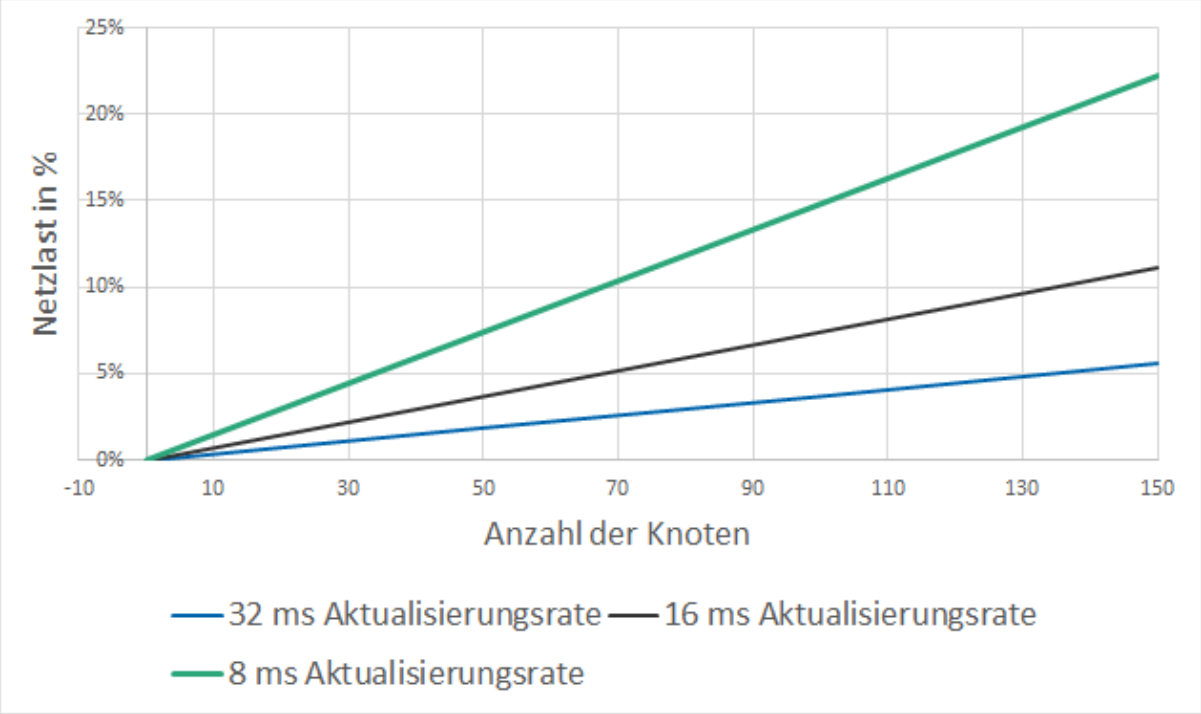


Abbildung 7-9: Zyklische PROFINET Netzlast in Abhängigkeit von der Anzahl der Netzwerkteilnehmer und der Aktualisierungszeit (typ. PROFINET Pakete) bei 100 Mbit/s Datenrate

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Wird die Netzlast durch zyklische Echtzeit-Kommunikation größer, sinkt die für andere Kommunikation zur Verfügung stehende Bandbreite. Das Thema Netzlast wird in Kapitel 7.3.3 noch ausführlicher behandelt.

Ethernet APL (siehe Kapitel 5) arbeitet mit einer Datenrate von 10 Mbit/s und ist für den Anschluss von Sensoren und Aktoren an das PROFINET-Netzwerk vorgesehen. Die typischen Netzwerkaktualisierungszeiten in der Prozessindustrie, die für Ethernet-APL-Feldgeräte verwendet werden, sind im Vergleich zur Fabrikautomation langsam. Daher sollten die Netzwerkaktualisierungsraten für Ethernet-APL-Sensoren auf Werte eingestellt werden, die dem Bedarf der Prozessautomatisierungsanwendung entsprechen (z. B. 128 ms). Detaillierte Informationen zur Berechnung der Netzwerkauslastung von Ethernet-APL-Segmenten finden Sie in [APL2021].

Je kleiner die Aktualisierungszeit, desto mehr Bandbreite wird durch die zyklische Echtzeitkommunikation belegt.

Je größer die Aktualisierungszeit, desto größer die Reaktionszeit.

Sie sollten daher die Aktualisierungszeit je PROFINET-Gerät stets so klein wie nötig und so groß wie möglich wählen.

Beachten Sie die Tabelle bezüglich Linientiefe und Aktualisierungszeit in Kapitel 7.3.1.

- Legen Sie die Aktualisierungszeit für alle Geräte fest.
- Beachten Sie, dass bei Verwendung von drahtloser Übertragungstechnik die Aktualisierungszeiten angepasst werden müssen.
- Prüfen Sie die sich daraus ergebende Reaktionszeit des Gesamtsystems.
- Dokumentieren Sie die Festlegungen.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

7.2.2 Festlegung der PROFINET-Kommunikationsüberwachung

In Netzwerken kann es zu Fehlern in der Datenübertragung kommen. Daher ist eine gewisse Fehlertoleranz bei der Überwachung der Kommunikation notwendig. Andererseits muss ein Fehler ausreichend schnell erkannt werden, um bei einem tatsächlichen Ausfall der Kommunikation beispielsweise Ausgänge auf einen definierten Zustand zu setzen.
Diese Kommunikationsüberwachung soll nun überprüft und gegebenenfalls angepasst werden.

Die Kommunikationsüberwachung von PROFINET überwacht das Eintreffen gültiger Daten. Werden für eine eingestellte Zeit bzw. eine eingestellte Anzahl von Kommunikationszyklen keine gültigen Daten mehr empfangen, wird ein Fehler angenommen.

Die Anzahl an Kommunikationszyklen ohne gültige Daten, bei der ein Fehler angenommen wird, wird im Folgenden als Schwellwert bezeichnet.

Die Einstellung der Kommunikationsüberwachung kann je nach Hersteller unterschiedlich benannt sein. Beispielsweise:

- „Anzahl akzeptierter Aktualisierungszyklen mit fehlenden IO-Daten“
- „Anzahl Aktualisierungszyklen ohne IO-Daten“
- „Fehlerhafte Telegramme bis zum Verbindungsabbruch“

Abbildung 7-10 stellt den Vorgang bei der Standard-Schwellwert-Einstellung von 3 dar.

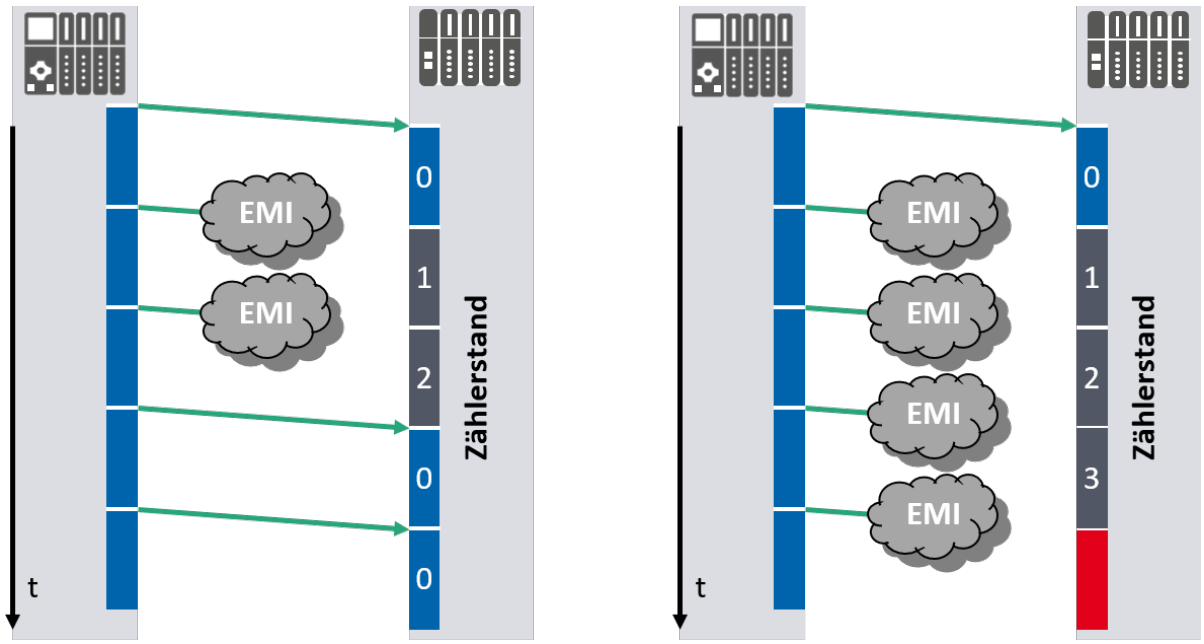


Abbildung 7-10: Störungen in der Kommunikation bei einem Fehler-Schwellwert von 3

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Im ersten Fall (linke Bildhälfte) wird die Kommunikation zwei Zyklen lang gestört, beispielsweise durch eine elektromagnetische Interferenz (EMI). Da der Schwellwert nicht erreicht wird, wird der Zähler bei Wieder-Einsetzen der Kommunikation zurückgesetzt und die Kommunikation wird normal fortgesetzt.
Dauert die Störung, wie im zweiten Fall (rechte Bildhälfte) länger an, wird von einem Fehler ausgegangen und die Kommunikationsbeziehung abgebaut.

Von der Höhe des Schwellwertes hängt die Zeit ab, ab dem ein Ausbleiben von gültigen Daten als Fehler gewertet wird.
Je höher der Schwellwert ist, umso später wird ein Fehler in der Kommunikation erkannt. Abbildung 7-11 verdeutlicht diesen Sachverhalt bei einer andauernden Störung für den Standard-Schwellwert von 3 und einem Schwellwert von 10.

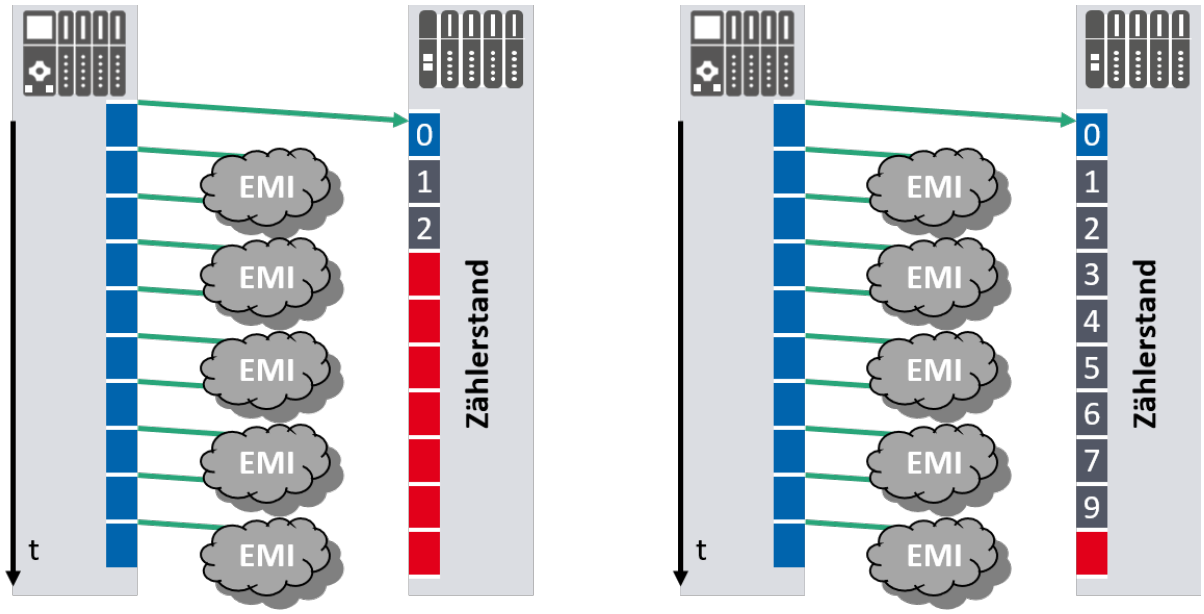


Abbildung 7-11: Gegenüberstellung niedriger (3, links) und hoher (10, rechts) Schwellwert

Die Zeit bis zur Fehlererkennung ergibt sich aus der Kommunikations-Zykluszeit und dem Schwellwert. Für die Standard-Einstellung von 3 als Schwellwert wird ein Fehler bei einer Aktualisierungszeit von 2 ms also nach 6 ms, bei einer Aktualisierungszeit von 4 ms nach 12 ms usw. erkannt.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Ein höherer Schwellwert erhöht die Fehlertoleranz im Störungsfall, verlängert jedoch auch die Zeit bis zum Erkennen eines Fehlers.

Es wird empfohlen die Standard-Einstellung von 3 beizubehalten. Bei einer Abweichung von dieser Vorgabe muss geprüft werden, ob die Reaktionszeit im Fehlerfall noch ausreichend kurz ist.

Legen Sie die Schwellwerte für die Überwachungsfunktionen fest und dokumentieren Sie die Festlegungen.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

7.3 Prüfung der Netzwerktopologie unter Performance-Aspekten

Nachdem die Aktualisierungszeiten und Überwachungsfunktionen festgelegt wurden, soll nun die geplante Topologie unter Performance-Aspekten geprüft werden.

7.3.1 Prüfung der Linientiefe Netzwerke mit 100 Mbit/s

Jeder Switch, der zischen einem IO Device und einem Controller platziert wird, führt zu einer Verzögerung des Datentransfers. Die Anzahl der Switches zwischen einem Controller und den IO Devices wird Linientiefe genannt. Beim Entwurf einer Anlage die die maximale Linientiefe zu beachten. Bei der Durchleitung von Datenpaketen durch Linientopologien entsteht immer eine gewisse Verzögerung durch die integrierten Switches in den Devices. Eine große Linientiefe führt zu einer Verzögerung. Diese muss bei der Planung berücksichtigt werden. Abbildung 7-12 zeigt ein Beispiel, einer größten Linientiefe von 9.

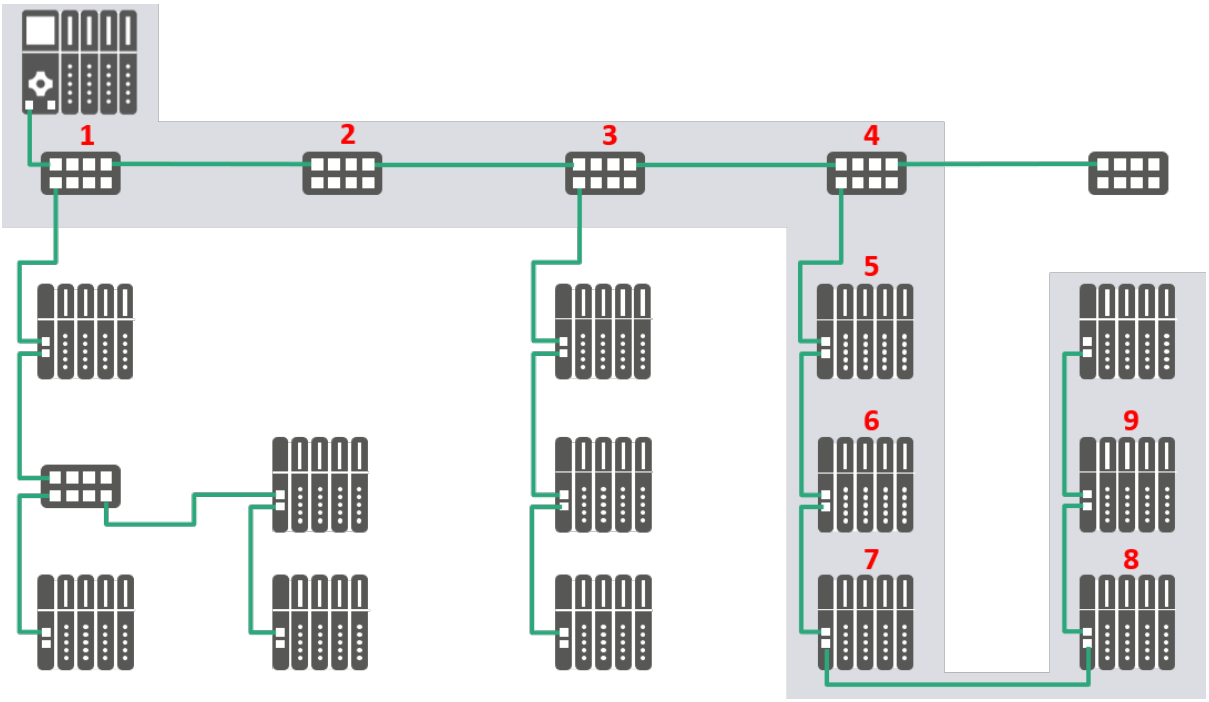


Abbildung 7-12: Beispiel Linientiefe

Meist bestehen die kritischen Kommunikationsbeziehungen zwischen den Devices und den Controllern. Sind mehrere Controller beteiligt, müssen jeweils die dem Controller zugeordneten Devices betrachtet werden.

Je größer die Linientiefe, desto höher ist die Verzögerung der Datenübertragung. Das bedeutet, dass die Daten bei ihrem Eintreffen ein gewisses Alter haben. Für zeitkritische Anwendungen sollte daher auf hohe Linientiefen verzichtet werden.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Hohe Linientiefen können die Reaktionszeit unerwünscht beeinflussen.

Prüfen Sie, welche Switch-Typen („Store and Foreward“ oder „Cut-Through“ in ihrer Anlage geplant sind. Store and Foreward-Switches weisen eine höhere Durchleitverzögerung auf als Cut-Through-Switches.

Ist nicht bekannt, welche Art von Switches verwendet wird, ist sicherheitshalber immer von „Store-and-Forward“-Switches auszugehen.

Bei der Verwendung von „Store-and-Forward“ Switches, gelten die in Tabelle 7-1 angegebenen maximalen Linientiefen.

Tabelle 7-1: Maximale Linientiefe bei Verwendung von „Store-and-Forward“ Switches

Aktualisierungsrate	**1 ms**	**2 ms**	**4 ms**	**8 ms**
Maximale Linientiefe	7	14	28	58

Für diese Linientiefen erreicht die Durchleitezeit durch die Linien-Topologie bei einer Worst-Case-Betrachtung die Größenordnung der Aktualisierungszeit.

Bei der Verwendung von „Cut-Through“ Switches, gelten die in Tabelle 7-2 angegebenen maximalen Linientiefen.

Tabelle 7-2: Maximale Linientiefe bei Verwendung von „Cut-Through“ Switches

Aktualisierungsrate	**1 ms**	**2 ms**	**4 ms**	**8 ms**
Maximale Linientiefe	64	100	100	100

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Auch aus Gründen der Verfügbarkeit und Diagnostizierbarkeit wird empfohlen, Linientiefen von maximal 45 zu planen.

Dies stellt auch eine spätere Erweiterbarkeit unter Verwendung von Medienredundanz (MRP) sicher.

Gemischte Anordnungen aus „Store-and-Forward“ und „Cut-Through“ Switches sind möglich. In diesem Fall sollte entweder von den Grenzwerten für „Store-and-Forward“ Switches ausgegangen werden oder die Durchleitezeit explizit berechnet werden.

Können die Werte aus Tabelle 7-1 bzw. Tabelle 7-2 nicht eingehalten werden, sollte das Netz umstrukturiert werden. Beispielsweise können Linien-Topologien, wie in Abbildung 7-13 dargestellt, in mehrere kürzere Linien aufgeteilt werden.

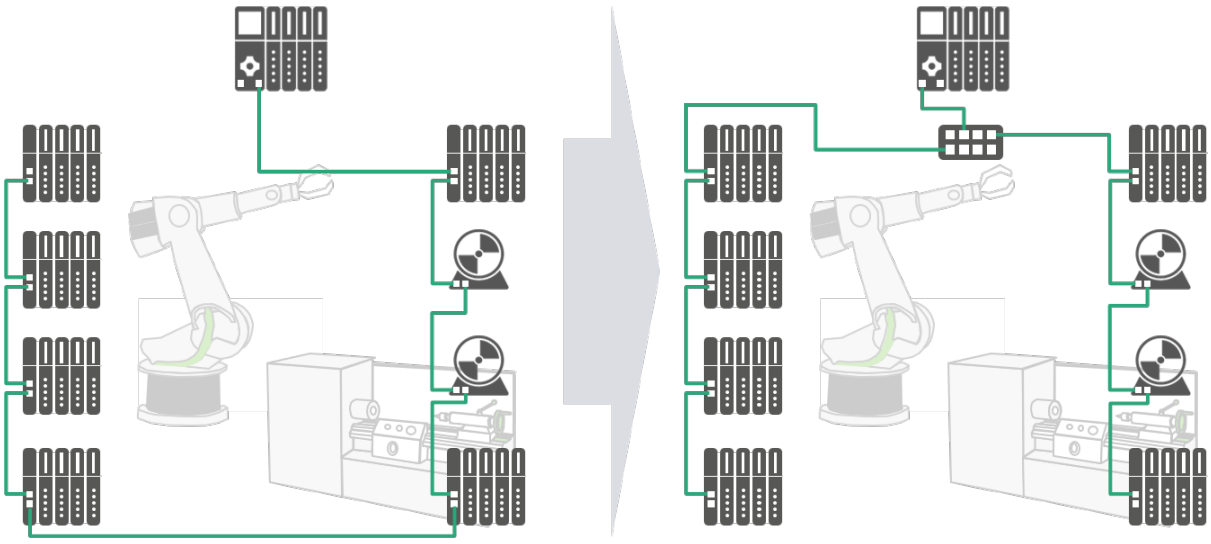


Abbildung 7-13: Beispiel für Verringerung der Linientiefe

Die Möglichkeiten zur Umstrukturierung hängen dabei von dem individuellen Aufbau der Anlage ab. Der Mehraufwand für eventuell nötige zusätzliche Switches und Verkabelung steht dabei dem Gewinn an Verfügbarkeit und der Verbesserung der Reaktionszeit der Anlage gegenüber.

Prüfen Sie die Linientiefe Ihrer Anlage und nehmen sie ggf. Anpassungen der Topologie vor. Berücksichtigen Sie dabei Tabelle 7-1 bzw. Tabelle 7-2

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

7.3.2 Überprüfung der Linientiefe für Ethernet-APL-Netzwerke

Ethernet-APL ermöglicht die direkte Anbindung von APL-Feldgeräten an ein PROFINET-Netzwerk unter Verwendung des 10 Mbit/s-Ethernet Advanced Physical Layer (Ethernet-APL). Mögliche Netzwerkstrukturen sind in Kapitel 5 zu finden. Abbildung 5-2 zeigt eine Topologie, die APL-Feldgeräte über einen Field-Switch direkt an das 100 Mbit/s-PROFINET-Netzwerk anschließt.

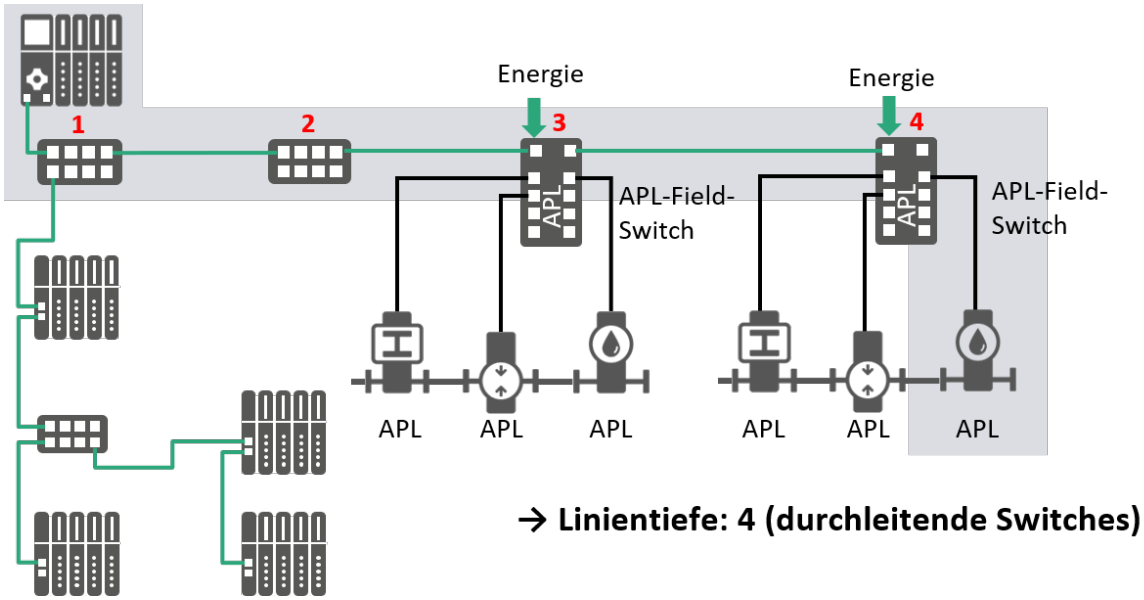


Abbildung 7-14: Linientiefe mit APL-Field-Switches, angeschlossen an ein 100 Mbit/s-Netzwerk

Abbildung 7-14 zeigt die Berechnung der Linientiefe für Netzwerke mit Ethernet-APL-Field Switches, die direkt an das 100 Mbit/s-PROFINET angeschlossen sind. Das angewendete Berechnungsprinzip ist mit dem zuvor beschriebenen Rechenverfahren aus Kapitel 7.3.1 identisch.

Bei einer APL-Topologie mit einem gespeisten Trunk, wie in Abbildung 5-3 dargestellt, muss die Linientiefe des Trunks zusätzlich zur bisher bekannten Linientiefe berücksichtigt werden.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

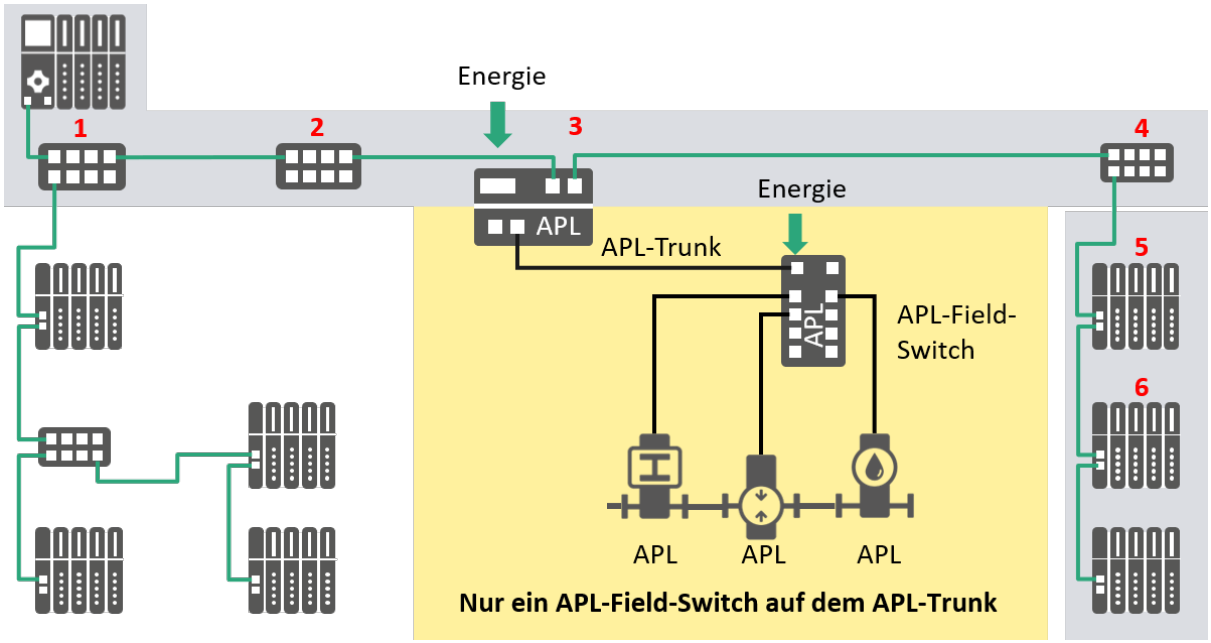


Abbildung 7-15: Linientiefe mit APL-Trunk

Abbildung 7-15 zeigt ein Netzwerk mit einem APL-Trunk. Derzeit darf nur ein APL-Field-Switch an einen Trunk angeschlossen werden.

Die Begrenzung auf einen Field-Switch pro Trunk ist ein vorläufiger Wert aufgrund von PROFINET, da die Konformitätsprüfung noch läuft. Diese Beschränkung bezieht sich nicht auf Ethernet-APL und wird vermutlich in Zukunft geändert.

7.3.3 Prüfung der zyklischen Echtzeit Netzlast

Die Aktualisierungszeiten der PROFINET-Geräte sollten Sie bereits in einem früheren Arbeitsschritt festgelegt haben.

Wie bereits in Kapitel 7.2.1 angemerkt, erzeugt jedes PROFINET-Gerät bei gegebener Aktualisierungszeit eine gewisse zyklische Netzlast. Diese zyklische Echtzeit-Netzlast (RT-Netzlast) soll in diesem Kapitel analysiert und bewertet werden.

Abbildung 7-16 zeigt ein Beispiel eines PROFINET-Netzwerkes mit einem Controller und mehreren Devices. Zu Anschauungszwecken wird angenommen, dass jedes der Devices im Beispiel eine zyklische Echtzeit-Netzlast von 1% erzeugt. Dieser Wert dient lediglich der Anschauung – in realen Anlagen ist er üblicherweise kleiner. Es wird in diesem Beispiel nur die

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Richtung von den Devices zum Controller betrachtet, obwohl Daten in beide Richtungen fließen.

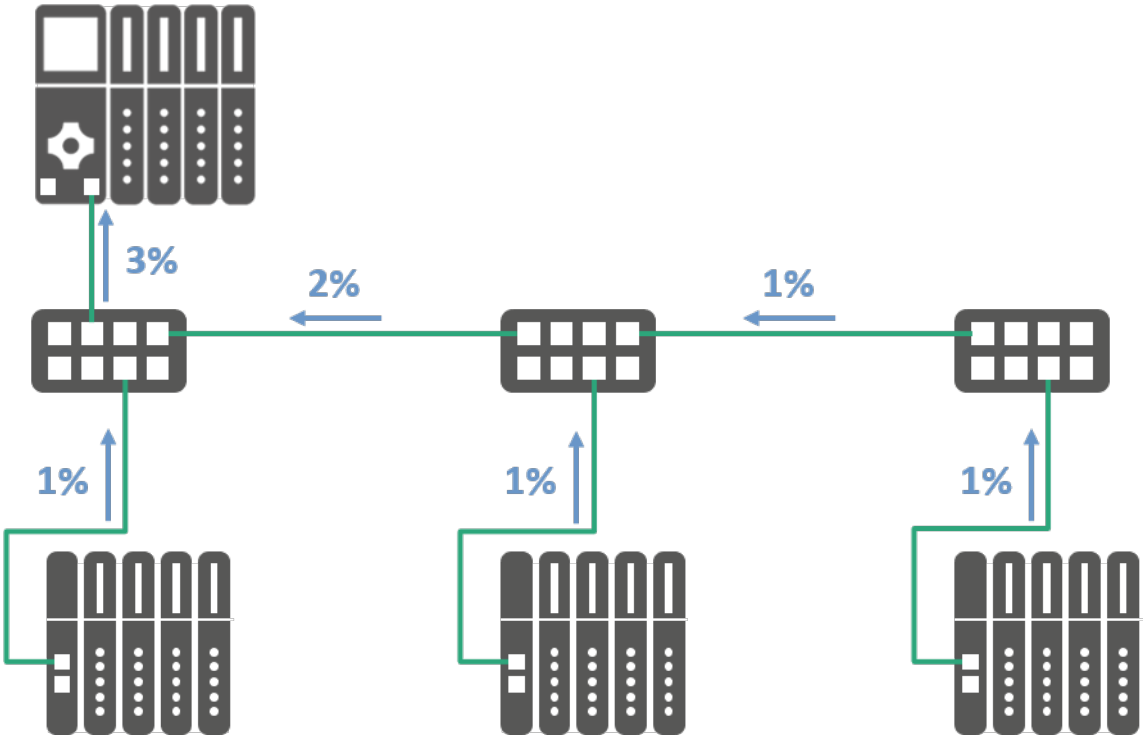


Abbildung 7-16: Beispiel Netzlastverteilung Single-Controller-Anwendung

Wie im Beispiel dargestellt, addieren sich Datenströme in gleicher Richtung. Die höchste Netzlast, nämlich die Summe der erzeugten Netzlasten, stellt sich auf der Verbindung zwischen dem letzten Switch und dem Controller ein.

Dies kommt auch bei Anwendungen mit mehreren Controllern zum Tragen. Als Beispiel wird die gegebene Konfiguration um einen weiteren Controller und drei ihm zugeordnete Devices erweitert, wie in Abbildung 7-17 dargestellt. An den rot markierten Stellen addieren sich die Netzlasten, die jeweils unterschiedliche Controller adressieren, auf.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

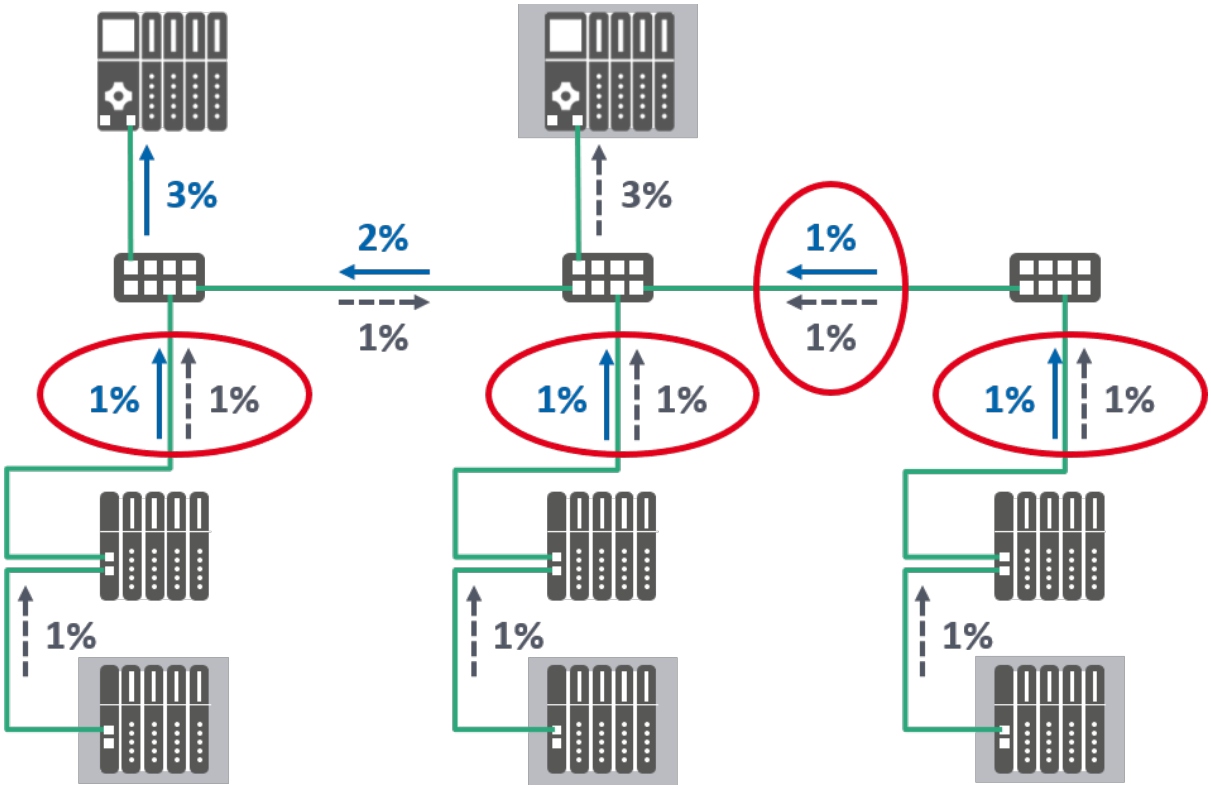


Abbildung 7-17: Beispiel einer Netzlastverteilung bei Multi-Controller-Anwendung

Für die Planung ist es nun wichtig, kritische Punkte in der Topologie zu bestimmen. Dies sind Punkte maximaler Netzlast. In den gegebenen Beispielen sind dies die Verbindungen zu den beiden Controllern.

Kritische Punkte sind Punkte maximaler Netzlast.

Die Kommunikation erfolgt in Sende- und Empfangsrichtung gleichzeitig, so dass die Betrachtung der höher belasteten Richtung ausreicht.

Für die Bestimmung der kritischen Punkte muss die von jedem PROFINET-Gerät erzeugte zyklische Echtzeit-Netzlast bekannt sein. Diese hängt von Aktualisierungszeit und Datenmenge ab.

Tabelle 7-3 liefert ein Beispiel für von PROFINET-Geräten erzeugte zyklische Echtzeit-Netzlast bei verschiedenen Aktualisierungszeiten unter der Annahme von 100 Mbit/s Netzwerkbandbreite. Dabei wird von einem typischen PROFINET-Paket von 108 Byte (60 Byte Nutzdaten) ausgegangen. Da die Datenmenge von der Anwendung abhängt, kann diese Tabelle nur als erster Anhaltspunkt dienen. Es wird in jedem Fall empfohlen die erzeugte Netzlast für Ihren individuellen Anwendungsfall zu berechnen.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Tabelle 7-3: Erzeugte zyklische Echtzeit-Netzlast (typ. PROFINET Paketgröße 60 Byte PROFINET-Nutzdaten, 100 Mbit/s)

Aktualisierungs-zeit	Erzeugte zyklische Echtzeit-Netzlast pro PROFINET-Gerät
1 ms	0,86 %
2 ms	0,43 %
4 ms	0,22 %
8 ms	0,11 %

Die angegebenen Werte beinhalten Preambel, StartFrameDelimiter und InterFrameGap.

Bestimmen Sie die Netzlast in Ihrer Anlage und ermitteln sie kritische Punkte.

Nutzen Sie zur Berechnung beispielsweise das Netzlast-Berechnungswerkzeug, welches zum kostenlosen Download angeboten wird auf:

www.profinet.com

unter „Download > Installation Guide > PROFINET Installation Guide“

Eine Übersicht der Bedienoberfläche sowie eine kurze Bedienungsanleitung finden sie im Anhang.

Programme zur Netzlast-Berechnung werden außerdem von verschiedenen Herstellern angeboten. In der Regel bietet auch das Engineering-Tool diese Option.

Einen ersten Anhaltspunkt kann Tabelle 7-3 liefern.

Um ausreichende Reserven für Erweiterungen und vor allem für NRT-Kommunikation zu lassen, sollten die Grenzwerte in Tabelle 7-4 bei der Planung eingehalten werden.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Tabelle 7-4: Grenzwerte für Netzlast der zyklischen Echtzeit-Kommunikation

Netzlast	Empfehlung
<20 %:	Keine Handlung erforderlich.
20…50 %:	Es wird eine Überprüfung der geplanten Netzlast empfohlen.
>50 %:	Es müssen Maßnahmen zur Verminderung der Netzlast ergriffen werden.

Zur Verringerung der Netzlast gibt es verschiedene Optionen, wobei als erstes in Betracht gezogen werden sollte:

- **Die Erhöhung der Aktualisierungszeit** (siehe Kapitel 7.2.1).

Weitere Möglichkeiten sind

- **Bei Multicontroller-Anwendungen: Die Separierung der dem jeweiligen Controller zugeordneten PROFINET-Geräte auf unterschiedliche Netzpfade**, um Strecken mit parallelem Datenverkehr, wie in Abbildung 7-17, zu entlasten.
- **Die Anbindung von Teilnetzen über zusätzliche Netzwerkadapter im Controller.**
- **Der Einsatz weiterer Controller zur Lastverteilung.** Diese sollten über separate Pfade mit dem Netzwerk verbunden werden, um tatsächlich zu einer Verminderung der Netzlast auf kritischen Abschnitten beizutragen.

Nehmen Sie, falls erforderlich, Änderungen an der Topologie vor und dokumentieren Sie diese.

Für Ethernet-APL-Netze gelten die gleichen Überlegungen zur Netzlast, wie in diesem Kapitel beschrieben, jedoch angepasst an die 10 Mbit/s Datenrate des Ethernet-APL-Netzes. Eine detaillierte Beschreibung der Netzlastberechnung für Ethernet-APL-Netze findet sich in der Ethernet-APL Engineering Guideline [APL2021].

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

7.3.4 Prüfung der Nicht-Echtzeit Netzlast

PROFINET bietet den Vorteil Standard-Ethernet-Teilnehmer, wie beispielsweise Kameras, PCs oder Bedienpanel, direkt in das Anlagennetz einzubinden.

Soll von dieser Option Gebrauch gemacht werden, sind die Einflüsse dieser Teilnehmer auf die Echtzeit-Kommunikation zu beachten. Es kann zu einer Vermischung des PROFINET-Datenverkehrs und des Standard-Ethernet-Datenverkehrs kommen. Standard-Ethernet-Teilnehmer tauschen dabei unter Umständen große Datenmengen untereinander aus.

Es sind verschiedene Fälle möglich:

Regelmäßige NRT Kommunikation: Beispielsweise ein Video-Stream von einer Kamera zu einem Auswertungs-PC. Es wird eine dauerhafte zusätzliche Netzlast generiert.

Temporäre NRT Kommunikation: Datenströme die nur zeitweise auftreten, wie z.B. Datensicherung auf einem Archiv-Server, der Aufruf eines Bildes von einer Bedienstation usw.

Abbildung 7-18 zeigt beispielhaft eine Topologie mit einem Archiv-Server, als Beispiel für temporäre NRT-Kommunikation, sowie eine Kamera und eine Bedienstation als Standard-Ethernet Teilnehmer, die eine regelmäßige NRT-Kommunikation erzeugen (Video-Stream).

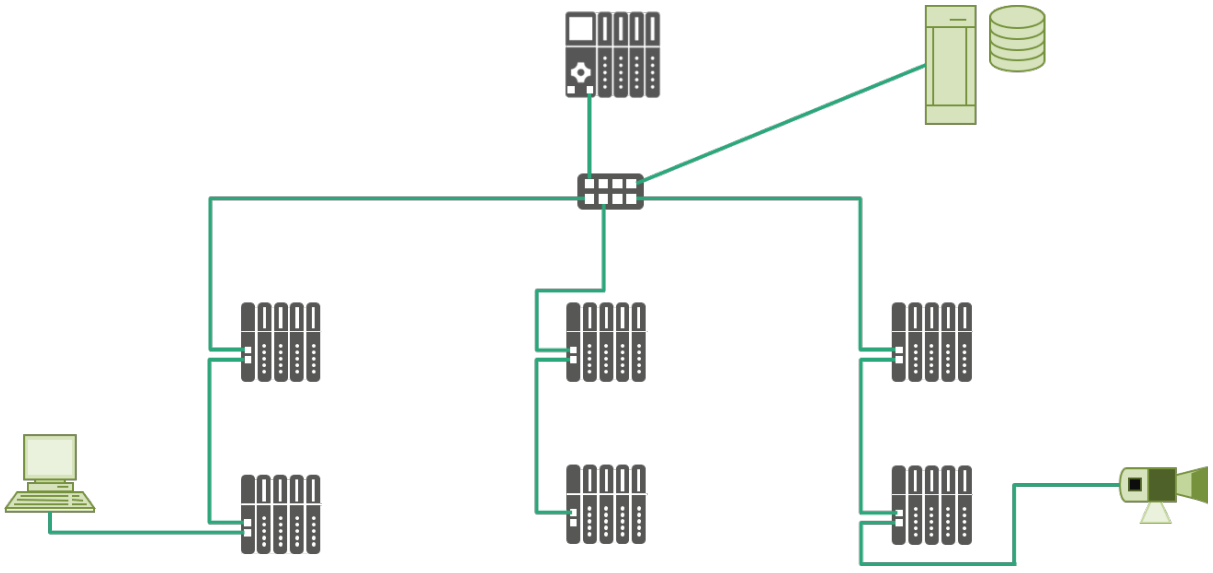


Abbildung 7-18: Beispielhafte Topologie mit Standard-Ethernet Teilnehmern

Die genaue Höhe der zusätzlich erzeugten Netzlast ist oft nur aufwendig oder gar nicht zu bestimmen. Falls bestimmbar, liefert Sie weitere Anhaltspunkte zur Bewertung der Netzauslastung.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Bestimmen Sie, falls möglich, die durch Standard-Ethernet-Teilnehmer erzeugte **regelmäßige** NRT-Last.

Diese addiert sich zur zyklischen Echtzeit-Netzlast, die in Kapitel 7.3.3 bestimmt wurde. Bestimmen Sie ggf. kritische Punkte in der Topologie neu und prüfen Sie die Einhaltung der in Kapitel 7.3.3 gegebenen Netzlastgrenzen.

Für temporäre NRT-Kommunikation ist ebenso der Zeitpunkt der Kommunikation in vielen Fällen nicht bestimmbar.

Manche Standard-Ethernet-Teilnehmer führen ebenfalls eine Priorisierung ihrer Pakete durch. Dadurch kann es zu Prioritätskonflikten mit PROFINET-Paketen kommen, da diese nicht mehr bevorzugt behandelt werden.

Insbesondere davon betroffen sind Bild- (Kamera) und Ton-Datenströme (VoIP).

Sind Teilnehmer im Netz vorhanden, die Bild- oder Ton-Datenströme generieren, sollten diese auf eine eventuelle Nachrichten-Priorisierung hin überprüft werden und die Priorisierung, sofern möglich, deaktiviert werden. Ist ein Deaktivieren nicht möglich oder ist nicht feststellbar, ob priorisierter Datenverkehr von diesen Geräten durchgeführt wird, sollten diese Datenströme sicherheitshalber separiert werden.

Separieren Sie ggf. Teilnehmer, die eine Nachrichten-Priorisierung vornehmen

Ändern Sie gegebenenfalls die Topologie und dokumentieren Sie die Änderungen.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Kommunikationsbeziehungen bestehen nicht nur zwischen Controller und den Devices. Genauso können Devices untereinander kommunizieren. Diese Kommunikation tritt häufig zwischen Standard-Ethernet Teilnehmern auf.

Abbildung 7-19 zeigt ein typisches Beispiel für diese Art der Kommunikation zwischen Standard-Ethernet Teilnehmern. Zwischen einer Kamera und einer Bedienstation wird hier eine große Datenmenge übertragen.

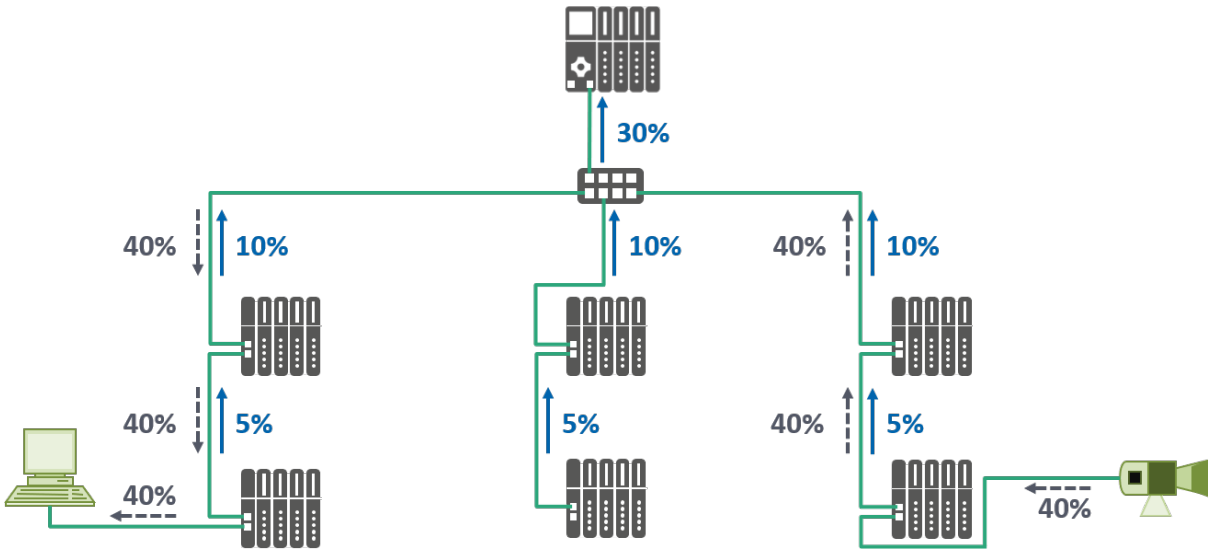


Abbildung 7-19: Einbindung von Standard-Ethernet-Teilnehmern

Bei ungünstiger Anordnung, wie in Abbildung 7-19, muss dieser Datenstrom quer durch das Anlagennetz geleitet werden und belastet Strecken mit zyklischer Echtzeitkommunikation zusätzlich. In diesem Fall würde auf Grund des zusätzlichen Kommunikationsaufkommens die Netzlast stellenweise auf 50% steigen (Abbildung 7-19, roter Kreis).

Um dem zu begegnen, sollte die Topologie geändert werden. Beispielsweise könnten Kamera und PC direkt an den Switch angeschlossen werden. Der große Datenstrom würde dann das restliche Netz nicht weiter belasten, wie in Abbildung 7-20 dargestellt.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

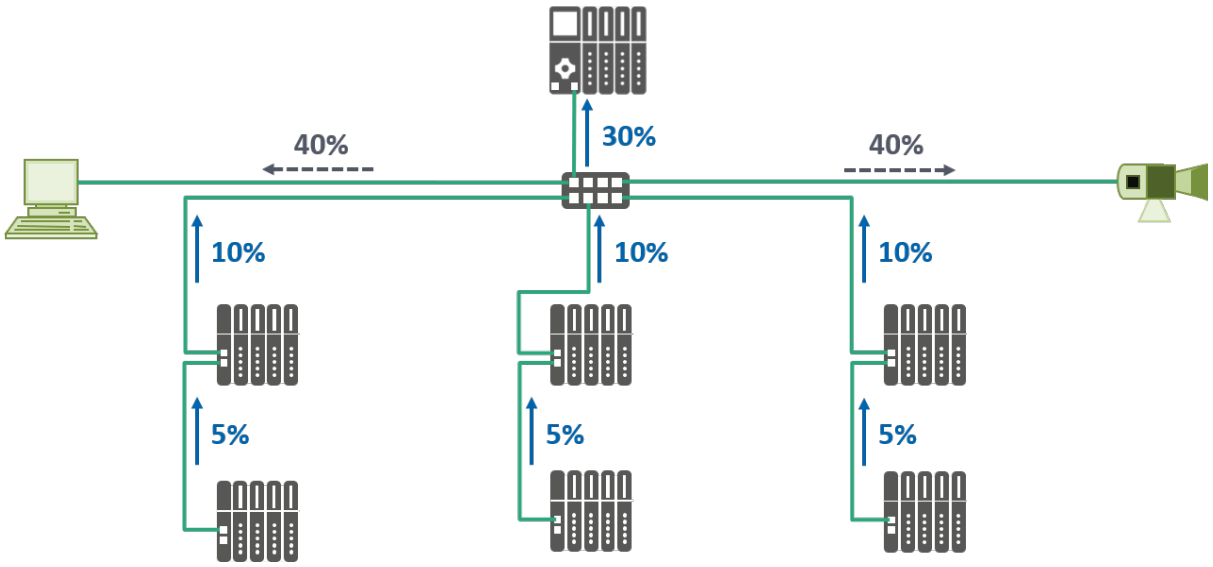


Abbildung 7-20: Optimierte Topologie zur Verringerung der Netzlast

Switches verfügen üblicherweise über eine ausreichend große, interne Bandbreite, so dass sich „kreuzende“ Datenströme nicht gegenseitig beeinflussen.

Prüfen Sie die Notwendigkeit einer Separierung von Datenströmen.

Ändern Sie gegebenenfalls die Topologie und dokumentieren Sie die Änderungen.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

7.4 Mixed Link-Speeds und Sterntopologie

Dieses Kapitel befasst sich mit Netzwerken, die unterschiedliche Datenraten (mixed Link-Speeds) in verschiedenen Teilen des Netzwerks verwenden. Darüber hinaus werden die Auswirkungen von Topologien mit Sternstruktur behandelt. Diese beiden Punkte werden hier gemeinsam behandelt, da sie zusammen zum Verlust von Daten in Switches führen können, was als Congestion-Loss bezeichnet wird, wenn sie bei der Planung nicht berücksichtigt werden.

7.4.1 Problembeschreibung Mixed Link-Speeds und Sterntopologie

Mixed Link-Speeds: In den vorangegangenen Kapiteln dieses Dokuments wurde in einem PROFINET-Netzwerk von einer Datenrate von 100 Mbit/s ausgegangen. Aufgrund des technischen Fortschritts sind nun auch höhere Datenraten wie 10 Gbit/s, 1 Gbit/s für PROFINET einsetzbar [PNO2024a]. Gleichzeitig werden geringere Datenraten von 10 Mbit/s genutzt, um Sensoren und Aktoren direkt an PROFINET anzuschließen, z. B. über den Ethernet-APL Physical Layer [APL2021] oder eine Netzwerkverbindung nach Single Pair Ethernet [IEEE P802.3cg]. Dies führt zu einer Situation, in der eine Kombination verschiedener Datenraten, auch als Mixed-Link-Speeds bezeichnet, in einem einzigen Netzwerk verwendet werden. Mixed Link-Speeds stellen zusätzliche Anforderungen an einen Switch, da die Datenmenge, die über eine Hochgeschwindigkeitsverbindung in den Switch gelangt, an eine oder mehrere Verbindungen mit einer niedrigeren Geschwindigkeit weitergeleitet werden muss. Wenn diese Datenströme nicht richtig ausgeglichen werden, kann es in einem Switch zu einem Datenverlust kommen. Dieser Datenverlust wird als Congestion-Loss bezeichnet.

Sterntopologie: Feldgeräte, die als Endgeräte ausgelegt sind, werden an einen Switch angeschlossen. In diesem Fall werden in der Regel Switches mit einer höheren Portanzahl verwendet. In einer Sterntopologie kann es zu Congestion-Loss kommen, wenn die Puffergröße am Uplink-Port nicht ausreichend groß ist. APL-Field-Switches, die eine größere Anzahl von Feldgeräten sternförmig mit einem Uplink verbinden, sind ein Beispiel für diesen Fall. Der Ethernet-APL Physical Layer ermöglicht die Anbindung von Ethernet-APL-Feldgeräten an PROFINET [APL2021].

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

7.4.2 Beispielsystem

Abbildung 7-21 zeigt ein Beispielsystem, das sowohl die mixed Link-Speeds als auch das Problem der Sterntopologie veranschaulicht. Bitte beachten Sie, dass dies nur ein vereinfachtes Beispiel ist. Typische Systeme, die solch hohe Datenraten verwenden, bestehen aus weit mehr Komponenten, als hier dargestellt.

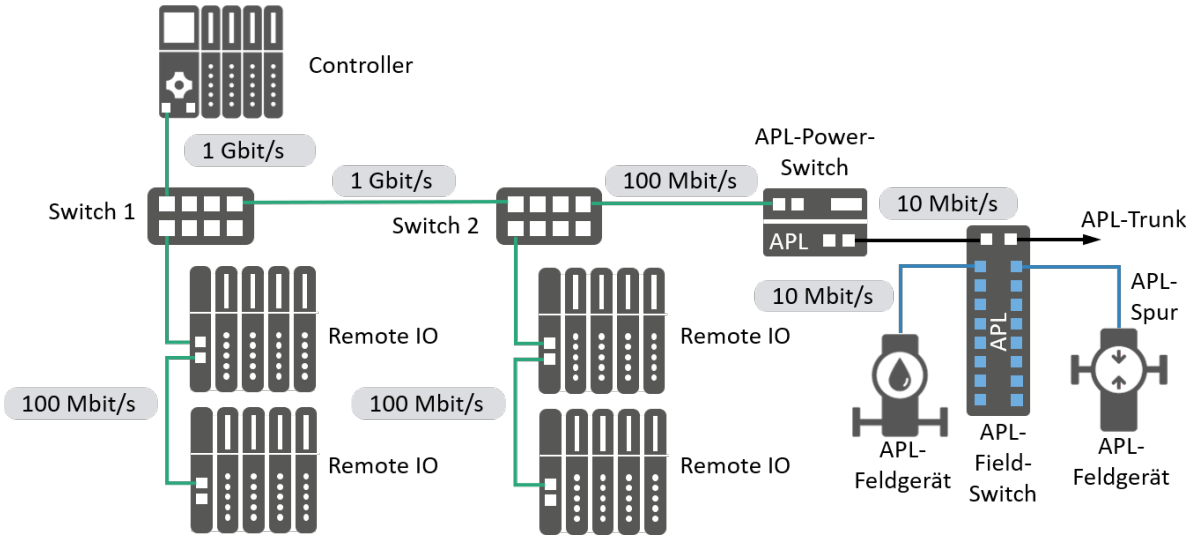


Abbildung 7-21: Mixed Link-Speed und Sterntopologie in einem PROFINET-System

Die Verbindung zwischen dem Controller und Switch 1 sowie die Verbindung zwischen Switch 1 und Switch 2 arbeiten mit einer Link-Geschwindigkeit von 1 Gbit/s. Die Verbindung zwischen Switch 2 und dem APL-Power-Switch läuft mit 100 Mbit/s, ebenso wie die Verbindung zu den Remote-I/Os. Die Ethernet-APL-Verbindung zwischen dem APL-Power-Switch und dem APL-Field-Switch, auch APL-Trunk genannt, sowie die Verbindung zwischen dem APL-Field-Switch und den APL-Field-Devices läuft mit 10 Mbit/s.

In diesem Beispiel dient der Controller als zentrale Verarbeitungsstelle, die alle Daten von und zu den Geräten empfängt und sendet. Die Übertragungsgeschwindigkeiten auf dem Weg von den Sensoren zum Controllersteigen je nach der zu übertragenden Datenmenge. Die Verwendung von unterschiedlichen Link-Speeds ist eine gute Maßnahme, um die Bandbreite der Links an die Bedürfnisse der Anwendung anzupassen. Gleichzeitig muss bei unterschiedlichen Link-Geschwindigkeiten besonders auf Congestion-Loss geachtet werden.

Parallel dazu zeigt das Beispiel in Abbildung 7-21 auf der rechten Seite eine Sterntopologie mit einem Ethernet-APL-Field-Switch. Der Field-Switch ist in der Lage 16 Geräte an einen einzigen Uplink, den Ethernet-APL-Trunk, anzuschließen.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Zusätzlich zur beschriebenen Echtzeitkommunikation über PROFINET können weitere Kommunikationsbeziehungen wie OPC-UA oder http-Verbindungen zu Webservern in den Geräten bestehen.

7.4.3 Priorisierte Queues in Netzwerk-Switches

In diesem Kapitel werden verschiedene Szenarien erläutert, die zu Congestion-Loss führen. Um das Problem der Congestion-Loss im Allgemeinen zu verstehen, muss man sich das Funktionsprinzip eines Switches genauer ansehen.

PROFINET verwendet einen priorisierten Netzwerkverkehr gemäß [IEE802.1Q]. Dieser Standard definiert acht Prioritäten von 0 (niedrig) bis 7 (hoch). Um das folgende Beispiel zu vereinfachen, werden nur zwei der acht Prioritäten betrachtet. In den Beispielen wird zwischen Non-Real-Time-Traffic (NRT) mit niedriger Priorität und Real-Time-Traffic (RT) mit hoher Priorität unterschieden.

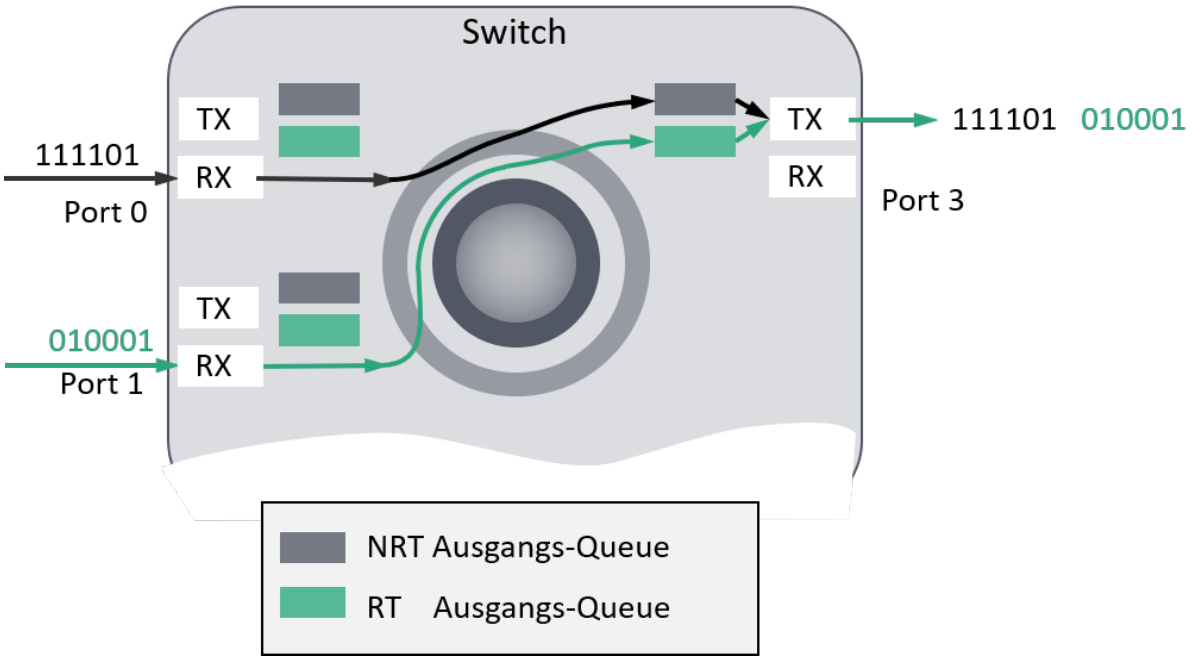


Abbildung 7-22: Switch-Prinzip mit Queues

Abbildung 7-22 zeigt die vereinfachte Struktur eines Switches. Ein Switch ist ein Gerät, das ein Ethernet-Datenpaket an einem Eingangsanschluss (RX) empfängt und das Datenpaket an einen Ausgangsanschluss (TX) weiterleitet, abhängig von den Adressinformationen im Datenpaket. Jeder Port eines Switches (weiße Quadrate mit TX und RX) ist mit einem Kabel, auch Link genannt, verbunden. Jeder Link kann Daten empfangen und senden, normalerweise im Vollduplex-Modus. Switches, die für PROFINET eingesetzt werden, unterstützen in der Regel die Priorisierung des Datenverkehrs nach IEEE 802.1Q. Damit lässt sich jedem Datenpaket eine Priorität zwischen 0 und 7 zuweisen. Der Switch stellt verschiedene

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Warteschlangen (Queues) für die ausgehenden Daten jedes Ports bereit, die den verschiedenen Prioritäten zugeordnet sind. Wie bereits beschrieben, werden in Abbildung 7-22 nur zwei der acht Queues für die Prioritäten dargestellt. Ausgehende Daten werden entsprechend ihrer Priorität gesendet.

Bei der Nutzung unterschiedlicher Datenraten ist es hilfreich, die Datenmenge auf dem eingehenden Port mit der hohen Datenrate zu begrenzen, um die Weiterleitung der Daten an die Anschlüsse mit der niedrigeren Datenrate zu gewährleisten. Zu diesem Zweck werden Ingress Rate Limiter eingesetzt. In [PNO2024a] werden Ingress Rate Limiter in Switches in Abbildung 124 beschrieben. Die Ratenbegrenzung orientiert sich an [IEE802.1Q] Kapitel 8.6.5.

7.4.4 Congestion-Loss durch Priorisierung von Dateninformationen

Abbildung 7-22 zeigt die priorisierten Puffer in vereinfachter Form. Für jeden Anschluss sind die Ausgangspuffer für Datenpakete mit hoher Priorität (mit RT bezeichnet, grüner Kasten) und die Ausgangspuffer für Pakete mit niedriger Priorität (mit NRT bezeichnet, grauer Kasten) dargestellt. Wenn ein priorisiertes RT-Paket (grüne Linie) an Port 1 eintrifft, wird das Paket empfangen, die Zieladresse im Paket gelesen und die Switch-Elektronik leitet das Paket an den entsprechenden Ziel-Port weiter. In diesem Fall Port 2. Dort wird das RT-Paket in der Ausgangswarteschlange für RT-Pakete (grüner Kasten) abgelegt und anschließend über Port 2 versendet. Wenn zur gleichen Zeit ein Paket mit niedriger Priorität (NRT) (schwarze Linie) an Port 0 in den Switch eintritt und das Paket den gleichen Ziel-Port hat, leitet die Switch-Elektronik das Paket auch an Port 2 weiter, speichert es aber in der NRT-Ausgangs-Queue. Das Prioritätsschema am Ausgang stellt nun sicher, dass die Daten in der RT-Queue zuerst gesendet werden, danach, wenn die RT-Queue leer ist, sendet der Switch das NRT-Paket. Aufgrund von Hardwarebeschränkungen ist die Größe der Ausgangs-Queue (d. h. die Anzahl der Pakete, die in einer Warteschlange gespeichert werden können) begrenzt. Wenn mehr Pakete in die Queue eingehen, als den Switch über den Port verlassen, wird die Queue überlastet, und in diesem Fall werden die NRT-Datenpakete aufgrund der begrenzten Größe der Ausgangs-Queue normalerweise verworfen. Bei einer großen Anzahl von ausgehenden RT-Paketen kann der Puffer für die NRT-Pakete voll werden, was dazu führt, dass NRT-Pakete verworfen werden. Wir werden dies später bezeichnen als **Fall 1: Prioritätsbedingter Congestion-Loss.**

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

In vielen Fällen arbeitet die NRT-Kommunikation (z. B. http oder https) verbindungsorientiert. Das bedeutet, dass das TCP/IP-Protokoll den Verlust von Datenpaketen erkennt und sie wiederholt. Daher führt ein prioritätsbedingter Congestion-Loss zu einer Verringerung der Verbindungsgeschwindigkeit, aber nicht zu einem echten Verlust der NRT-Daten, wenn das verwendete Protokoll die Anpassung an die verfügbare Bandbreite und die erneute Übertragung unterstützt.

7.4.5 Congestion-Loss am Eingang/Ausgang bei ungleicher Portanzahl

Da die Auswirkungen der Prioritäten im vorherigen Kapitel berücksichtigt wurden, konzentriert sich dieses Kapitel auf Datenpakete mit derselben Priorität.

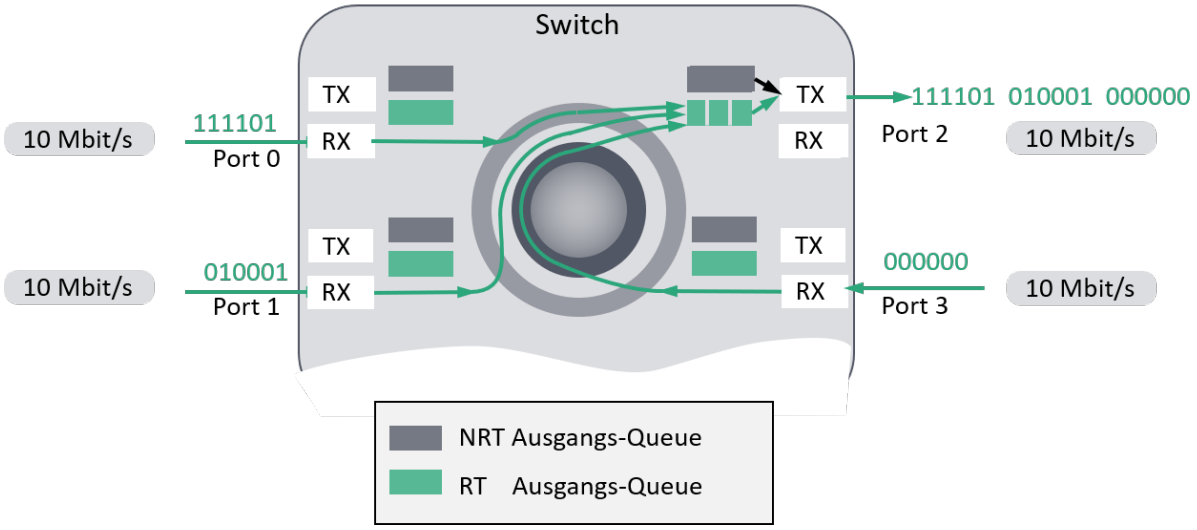


Abbildung 7-23: Congestion-Loss durch ungleiche Verteilung an Ein- und Ausgang pro Port

Abbildung 6 23 zeigt ein Beispiel, bei dem drei auf Port 0, 1 und 3 eingehende Datenpakete an Port 2 weitergeleitet werden sollen. Wenn die Größe des Ausgangspuffers von Anschluss 2 es erlaubt, alle drei Pakete zu speichern, ist die Übertragung der Daten in Ordnung. Ist der Puffer kleiner, werden eines oder mehrere der Datenpakete verworfen und es kommt zu Congestion-Loss.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

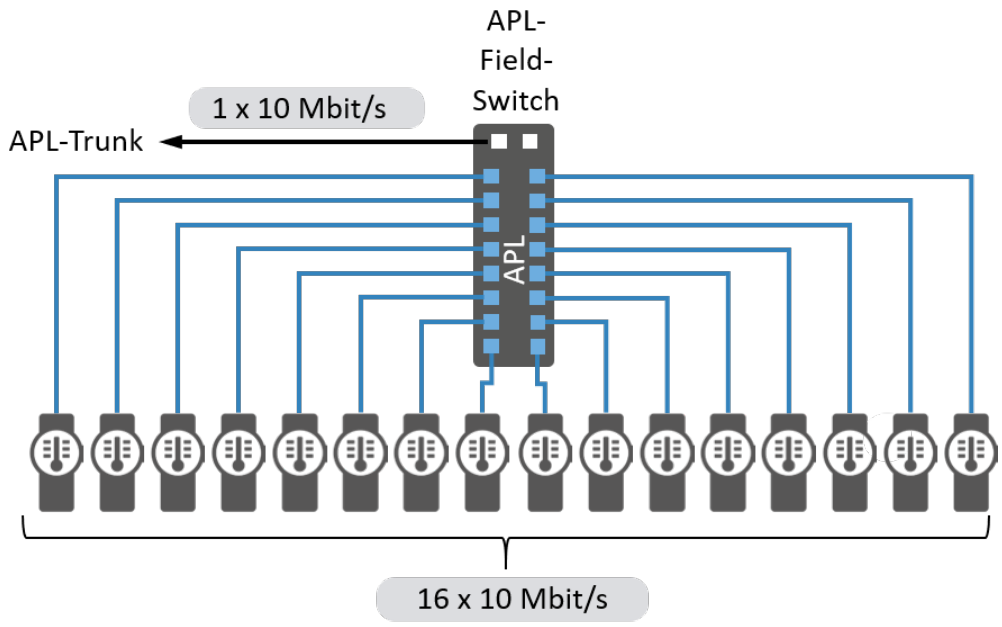


Abbildung 7-24: Beispiel für die ungleiche Portanzahl von Eingang und Ausgang

Ein Beispiel für ein solches Ungleichgewicht ist in Abbildung 7-24 dargestellt. In diesem Beispiel ist der Ethernet-APL-Feld-Switch dargestellt. In diesem Fall hat der APL-Feld-Switch 16 Spurleitungen zum Anschluss der APL-Feldgeräte mit je 10 Mbit/s und eine 10 Mbit/s verbindet den Field-Switch mit dem Power-Switch (siehe auch Übersicht in Abbildung 7-21). Es ist zu erkennen, dass es in einer ungünstigen Situation (z. B. wenn alle Geräte zufällig gleichzeitig Datenpakete senden) zu einem Congestion-Loss kommen kann. Für den Fall, dass der APL Field Switch selbst als PROFINET-Gerät arbeitet, erhöht sich die Anzahl der Knoten sogar von 16 auf 17. Dieses Problem wird im Folgenden bezeichnet als **Fall 2: Congestion-Loss bei ungleich verteilter Portanzahl**. In Kapitel 7.4.9 wird auf die Unterscheidung zwischen einem permanenten und einem ungewollten Stau eingegangen.

7.4.6 Congestion-Loss durch verschiedene Eingangs-/Ausgangs-Datenraten

In den beiden vorangegangenen Kapiteln wurden Beispiele für Congestion-Loss behandelt, bei denen alle Verbindungen mit der gleichen Datenrate betrieben wurden. Im nächsten Beispiel geht es um einen Anwendungsfall mit verschiedenen Datenraten (mixed Link-Speeds).

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

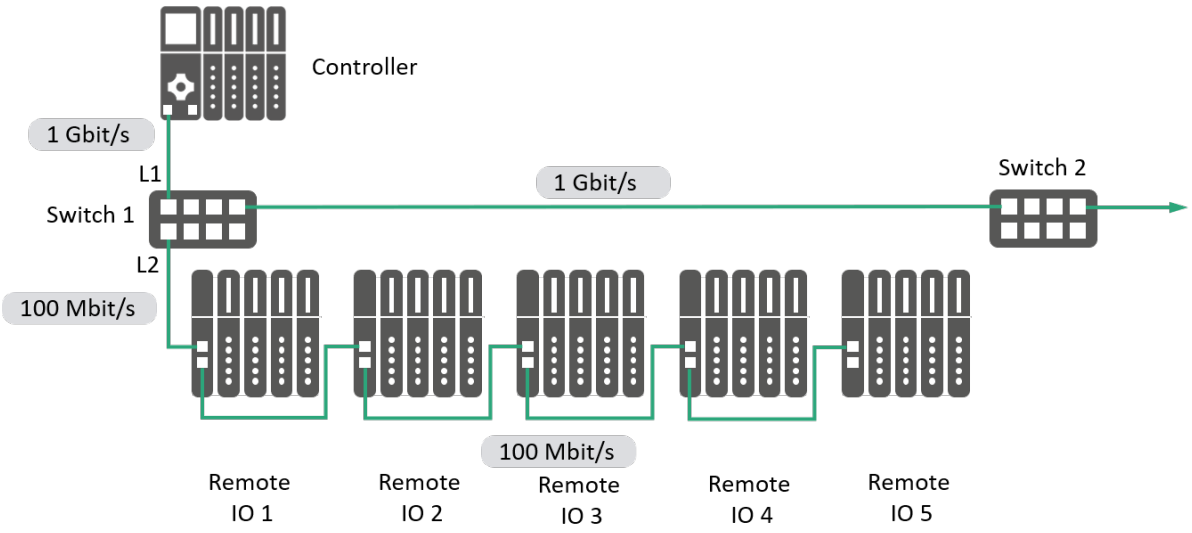


Abbildung 7-25: Beispiel für verschiedene Eingangs-/Ausgangs-Datenraten

Abbildung 7-25 zeigt ein Beispiel, bei dem der Controller mit Switch 1 über eine Verbindung mit 1 Gbit/s (L1) verbunden ist. Gleichzeitig sind die Remote-I/Os 1 bis 5 über eine 100 Mbit/s-Verbindung über eine Linientopologie (L2) mit demselben Switch verbunden. Wenn wir nun davon ausgehen, dass der Controller die Ausgangsdaten in einem Burst an die Remote-I/Os sendet, könnte am ausgehenden Port von Switch 1, der die Remote-I/Os über den Link L2 verbindet, ein Überlastungsproblem entstehen. Diese hohe Anzahl an eingehenden Datenpaketen auf Link L1 könnte zu einem Überlauf des Ausgangsports führen, der die Daten an L2 weiterleitet. Dieses Problem wird bezeichnet als **Fall 3: Congestion-Loss durch verschiedene Link-Speeds**.

Der beschriebene Congestion-Loss ist auch dann von Bedeutung, wenn eine größere Anzahl von Broadcast- oder Multicast-Paketen im Netz vorhanden ist. Da ein Switch Broad- oder Multicast-Pakete an alle Ports weiterleitet, können die Ports mit der niedrigeren Geschwindigkeit aufgrund einer höheren Anzahl von Broad- oder Multicast-Nachrichten überlastet sein.

In Kapitel 7.4.9 wird auf die Unterscheidung zwischen einem dauerhaften und einem ungewollten Datenstau (Congestion) eingegangen. Im nächsten Kapitel werden nun die drei beschriebenen Fälle zusammengefasst.

7.4.7 Congestion-Loss in Ethernet-APL-Systemen

Das nächste Kapitel befasst sich mit Ethernet-APL-Systemen und möglichen Congestion-Loss-Situationen in solchen Systemen. Abbildung 7-26 zeigt ein APL-System mit einer Trunk- und Spurtopologie.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

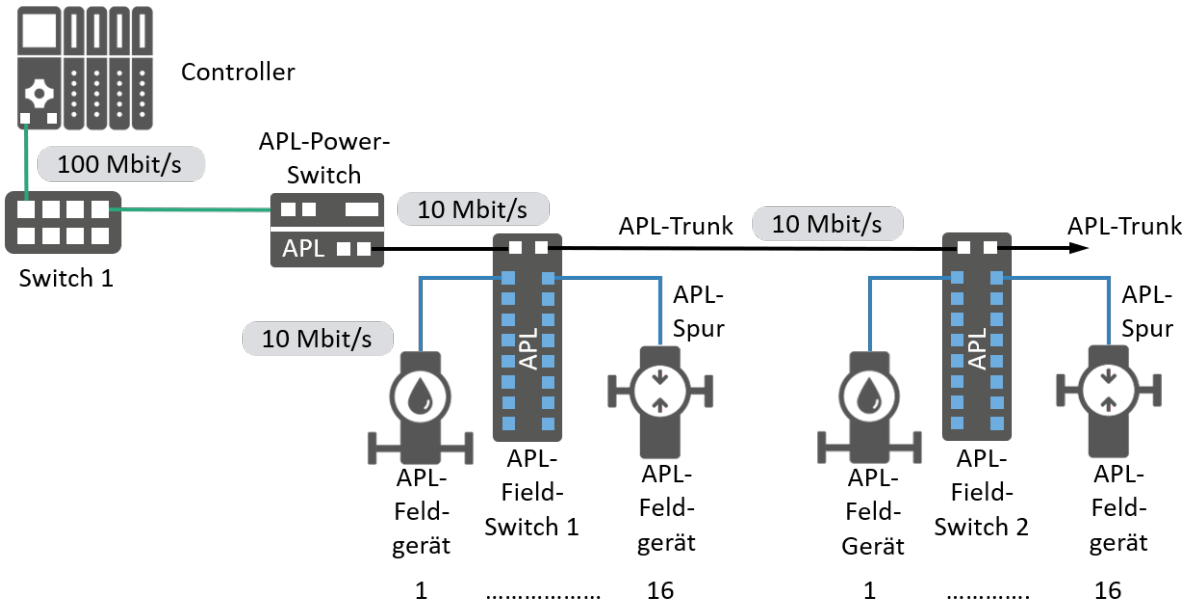


Abbildung 7-26: Systemstruktur eines APL-Systems mit Trunk- und Spurtopologie

In diesem Beispiel ist der Controller über eine 100-MBit/s-PROFINET-Verbindung mit einem Switch verbunden. Ein APL-Power-Switch wandelt den 100 Mbit/s Physical-Lyer in den 10 Mbit/s Ethernet-APL-Physcial-Layer um. Es ist ersichtlich, dass die in Kapitel 7.4.6 beschriebenen Probleme mit Congestion-Loss auch für den APL-Power-Switch gelten. Gleichzeitig müssen die APL-Field-Switches 1 und 2 im Hinblick auf die in Kapitel 7.4.5 beschriebenen Probleme mit Congestion-Loss berücksichtigt werden. In Abbildung 7-24 ist zu erkennen, dass der APL-Field-Switch 1 sowohl die eingehenden Daten von den 16 Spurs als auch die eingehenden Daten vom APL Trunk auf der rechten Seite verarbeiten muss.

Abbildung 7-27 zeigt eine alternative Topologie, die Industrial-Ethernet mit einer Datenrate von 100 Mbit/s verwendet, um die Field-Switches mit dem Controller zu verbinden.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

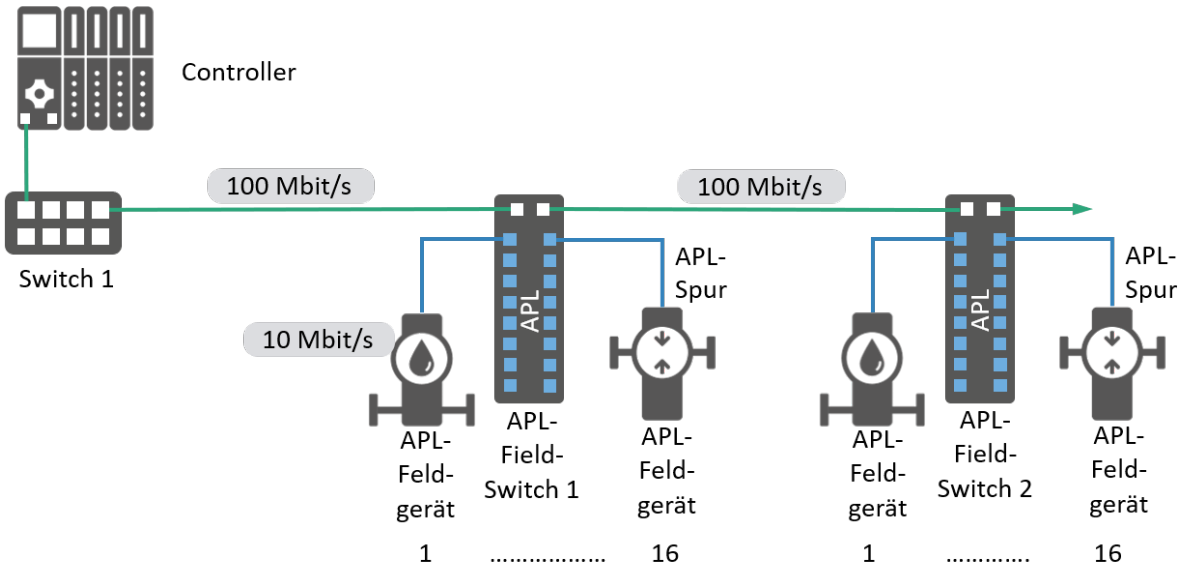


Abbildung 7-27: Ethernet-APL-System mit 100 Mbit/s Industrial-Ethernet bis zu den Field-Switches

In diesem Fall müssen die APL-Field-Switches 1 und 2 im Hinblick auf die in Kapitel 7.4.5 beschriebene Congestion-Loss-Problematik betrachtet werden. Im Vergleich zum Beispiel mit der Trunk- und Spurtopologie ist die Congestion-Loss-Problematik weniger relevant, da die Verbindung zum Controller mit einer Datenrate von 100 Mbit/s im Vergleich zu den in Abbildung 7-24 gezeigten 10 Mbit/s läuft.

Weitere Details zu möglichen Ethernet-APL-Topologien sind in [APL2021] zu finden.

7.4.8 Zusammenfassung Congestion-Loss

In diesem Kapitel werden die in den vorangegangenen Kapiteln erörterten Congestion-Loss-Probleme zusammengefasst. Tabelle 7-5 fasst die diskutierten Kategorien und die jeweiligen Ursachen zusammen.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Tabelle 7-5: Kategorien von Congestion-Loss

Fall-Nr.	Beschreibung	Ursache
1: Prioritätsbedingter Congestion-Loss (Kapitel 7.4.4)	Die Ausgangs-Queue für Pakete mit niedriger Priorität (NRT) wird durch die bevorzugte Datenverkehrsübertragung mit hoher Priorität (RT) überlastet. In der Regel unkritisch, wenn auf die Strategie der erneuten Übertragung abgestimmt, da der NRT-Verkehr verbindungsorientiert ist und verlorene Datenpakete wiederholt werden.	RT-Verkehr, der parallel zum NRT-Verkehr über denselben Anschluss ausgeführt wird
2: Congestion-Loss bei ungleich verteilter Portanzahl (Kapitel 7.4.5)	Ein Switch verbindet eine Reihe von Geräten und alle Geräte senden ihre Daten an einen einzigen (ausgehenden) Port.	Nicht-synchronisiertes Senden einer großen Anzahl von Geräten, die an einen Switch angeschlossen sind und gleichzeitig Informationen an einen einzigen ausgehenden Port senden
3: Congestion-Loss durch Kombination verschiedener Link-Speeds (Kapitel 7.4.6)	Ein Switch verbindet eine Datenleitung mit hoher Datenrate (z. B. 1 Gbit/s) mit einer Datenleitung mit geringer Datenrate (z. B. 100 Mbit/s). Ein Burst von Datenpaketen kommt an der Verbindung mit einer hohen Datenrate an und alle Pakete müssen an einen einzelnen Port mit einer niedrigeren Datenrate weitergeleitet werden.	Umwandlung der Übertragungsgeschwindigkeit in einem Switch, bei dem ein Burst von Datenpaketen oder eine hohe Anzahl von Broadcast- und/oder Multicast-Paketen an einen Anschluss mit einer niedrigeren Datenrate weitergeleitet werden soll.

Bei zyklisch übertragenem Echtzeitverkehr wird keine erneute Übertragung durchgeführt. Daher kann das Verwerfen von Frames aufgrund von Congestion-Loss zu einem Verbindungsverlust führen.

Bei anderen Vorgängen, z. B. beim Verbindungsaufbau oder bei Diagnosen und Ereignissen, wird die Übertragung wiederholt. So führt das Verwerfen von Frames aufgrund von Congestion-Loss zu einer erneuten Übertragung und, wenn der Congestion-Loss zeitgleich mit der erneuten Übertragung auftritt, zum Verlust der Verbindung.

Nachdem die Überlastungsprobleme im Allgemeinen erörtert wurden, wird im nächsten Kapitel untersucht, ob diese Probleme im Normalbetrieb auftreten.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

7.4.9 Dauerhafter oder zufälliger Congestion-Loss

Wenn man sich die beschriebenen Szenarien ansieht, stellt sich die Frage, wie wahrscheinlich ein solcher Congestion-Loss in der Praxis ist. Um dies herauszufinden, müssen zwei Aspekte berücksichtigt werden:

1. Netzwerklast durch permanenten, zyklischen Datenverkehr.
2. Netzwerkbelastung durch eine größere Anzahl von Datenpaketen, die in einem sehr kurzen Zeitfenster gesendet werden.

Um die permanente Netzbelastung zu bewerten, soll das Beispiel in Abbildung 7-24 näher betrachtet werden. Das Beispiel zeigt einen APL-Field-Switch mit sechzehn 10-Mbit/s-Spurs, die Daten in einen einzigen 10-Mbit/s-Trunk-Link einspeisen. In [APL2021] wird eine Gleichung zur Berechnung der Netzlast angegeben, die von einem einzelnen APL-Feldgerät erzeugt wird. Für diese Berechnung gelten die folgenden Annahmen:

- Netzwerk-Aktualisierungsrate 64 ms
- Nutzdaten für einen Datenrahmen: 46 Bytes (Mindestframegröße)
- Datenrate 10 Mbit/s
- Anzahl der an den Switch angeschlossenen APL-Feldgeräte: 16

Nach der Berechnung in [APL2021] führt dieser Aufbau zu einer Gesamtnetzlast von 2,2% auf dem APL-Trunk. Es liegt auf der Hand, dass bei diesem Aufbau keine Congestion-Losses durch permanenten zyklischen Verkehr auftreten, jedoch sollte die dauerhafte Netzlast berechnet und die in [APL2021] empfohlenen Maximalwerte eingehalten sowie eine Reserve für anderen zyklischen oder nicht-zyklischen Verkehr berücksichtigt werden. Bitte beachten Sie, dass die niedrige Netzaktualisierungsrate und die geringe Nutzlastgröße auf die Prozessindustrie zurückzuführen sind. Andere Anwendungen könnten größere Nutzlasten und höhere Datenraten erfordern. Dennoch erlaubt das in [APL2021] beschriebene Berechnungsprinzip die Berechnung jeder Netzwerk-Aktualisierungsrate in Kombination mit jeder Datengröße innerhalb der Grenzen des Ethernet-Protokolls.

Wenn also die anhaltende Netzlast im vorigen Beispiel recht gering ist, warum wird dann in diesem Dokument überhaupt das Problem des Überlastungsverlustes diskutiert? Das liegt daran, dass die Geräte ihre Daten zyklisch senden, aber der Zeitpunkt, zu dem sie senden, nicht synchronisiert ist. Dies könnte dazu führen, dass alle sechzehn APL-Feldgeräte in Abbildung 7-24 ihre Daten gleichzeitig senden. In diesem (möglicherweise unwahrscheinlichen) Fall kommt es wahrscheinlich zu einem Überlastungsproblem. Da PROFINET RT keine zeitliche Synchronisation der Sendepunkte vorsieht, ist das Problem vorhanden, wenn auch nicht sehr wahrscheinlich. Dennoch kann der Planungsprozess dazu beitragen, die Auswirkungen

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

eines möglichen Überlastungsausfalls zu verringern. Die notwendigen Vorkehrungen werden im nächsten Kapitel beschrieben.

7.4.10 Planung von Maßnahmen zur Vermeidung von Congestion-Losses

Dieses Kapitel behandelt die Maßnahmen zur Vermeidung von Engpässen im Netzwerk oder zumindest zur Verringerung der Wahrscheinlichkeit von Engpässen. Zu diesem Zweck sind die in Tabelle 7-6 beschriebenen Planungsmaßnahmen zu beachten.

Tabelle 7-6: Planungsschritte zur Vermeidung/Verminderung von Congestion-Losses

Maß-nahme	Beschreibung	Dokument-Verweis
1	Berechnen Sie die zyklische Netzlast und halten Sie die Last unter den empfohlenen Grenzwerten. Durch diese Maßnahme bleibt auch für den Nicht-Echtzeitverkehr genügend Bandbreite erhalten. Halten Sie die Aktualisierungsraten so schnell wie nötig, aber so niedrig wie möglich.	APL: Siehe [APL2021] Kapitel 4.8.2. PROFINET im Allgemeinen: Siehe Kapitel 7.1.3 in diesem Dokument.
2	Beachten Sie, dass Switches mit einer Vielzahl von Anschlüssen, wie in Abbildung 7-24 dargestellt, aufgrund des unsynchronisierten Betriebs der Feldgeräte einen Congestion-Loss verursachen können. Stellen Sie sicher, dass der Switch eine ausreichende Puffergröße, für die an den Trunk zu übertragenden Daten bereitstellt	Überprüfen Sie die Herstellerangaben und/oder wenden Sie sich an den Hersteller des verwendeten Switches.
3	Stellen Sie sicher, dass der Controller die IO-Daten nicht in Bursts sendet, wenn Netzwerke mit unterschiedlichen Übertragungsgeschwindigkeiten verwendet werden, wie in Kapitel 7.4.6 beschrieben.	In [PNO2024a] wird ein Limiter für Ausgangsdaten (Traffic Shaper für Ausgangsdaten) beschrieben, um Bursts zu vermeiden, die zu Congestion-Losses führen könnten. Prüfen Sie die Herstellerangaben und/oder wenden Sie sich an den Hersteller des verwendeten Controllers.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

4	Verwenden Sie einen Ratenbegrenzer (Rate-Limiter) in einem Switch, um die Menge des Datenverkehrs (insbesondere Bursts) zu begrenzen, der von einem Netz mit höherer Geschwindigkeit (z. B. 100 Mbit/s) zu einem Netz mit niedrigerer Geschwindigkeit (z. B. 10 Mbit/s) läuft. Der Ratenbegrenzer kann z. B. in Switch 1 oder dem APL Power Switch in Abbildung 7-26 platziert werden.	In [PNO2024a] werden Ratenbegrenzer (Rate-Limiter) in Switches an der Domänengrenze in Abbildung 124 beschrieben. Die Ratenbegrenzung orientiert sich an [IEE802.1Q] Kapitel 8.6.5.

Neben diesen Planungsschritten sollte die PROFINET Inbetriebnahmerichtlinie [PNC2022] beachtet werden, insbesondere die Kapitel 5.4.3 (Netzlast) und 5.4.4 (Broadcasts und Multicasts).

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

7.5 Dokumentation der Festlegungen

Abschließend sollten Sie alle Änderungen, die Sie im Laufe der vorangegangenen Schritte vorgenommen haben, in Ihre Dokumentation übernehmen. Dies beinhaltet:

- Änderungen an der Topologie des Netzwerks
- Festlegung von Aktualisierungszeiten
- Festlegung von Überwachungsfunktionen

Stellen Sie sicher, dass alle von Ihnen getroffenen Festlegungen und Änderungen in Ihre Dokumentation übertragen sind und ergänzen Sie diese gegebenenfalls.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

8 Festlegen der Geräteparameter

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Nachdem die Planung für die Netzwerkteilnehmer und die Netzinfrastruktur durchgeführt worden ist, müssen nun den einzelnen Netzwerkteilnehmern entsprechende Parameter zugeordnet werden. Dabei handelt es sich um:

- Gerätenamen
- IP-Adresse

In diesem Kapitel wird auf eine geordnete Namens- und IP-Adressvergabe eingegangen. Alle PROFINET-Geräte benötigen einen eindeutigen Gerätenamen sowie eine eindeutige IP-Adresse. Für weitere Netzwerkteilnehmer hängt es von der Conformance Class ab, ob diese eine IP-Adresse und/oder einen Gerätenamen verfügen.

Allen PROFINET-Geräten muss ein Gerätename und eine IP-Adresse zugeordnet werden. Auch Switches ab CC-B sind als PROFINET-Gerät mit Gerätenamen und IP-Adresse zu versehen.

Beide Adressparameter können in der Regel während der Projektierung den PROFINET-Geräten zugewiesen werden, sofern diese vom Netzwerkteilnehmer unterstützt werden.

Dokumentieren Sie die benötigten Adressparameter der Geräte, sofern Sie dies nicht bei der Geräteauswahl bereits durchgeführt haben.

Um die Thematik zu verdeutlichen, wird Ihnen im Anschluss an die Erläuterungen ein Beispiel zur geordneten Namens- und IP-Adressvergabe aufgezeigt. Dabei wird auf das bereits bekannte Anlagenbeispiel aus den vorherigen Kapiteln zurückgegriffen.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

8.1 Namensvergabe

Bevor ein PROFINET-Device mit einem PROFINET Controller kommunizieren kann, muss beiden Gesprächspartnern zunächst ein Gerätename zugewiesen werden.

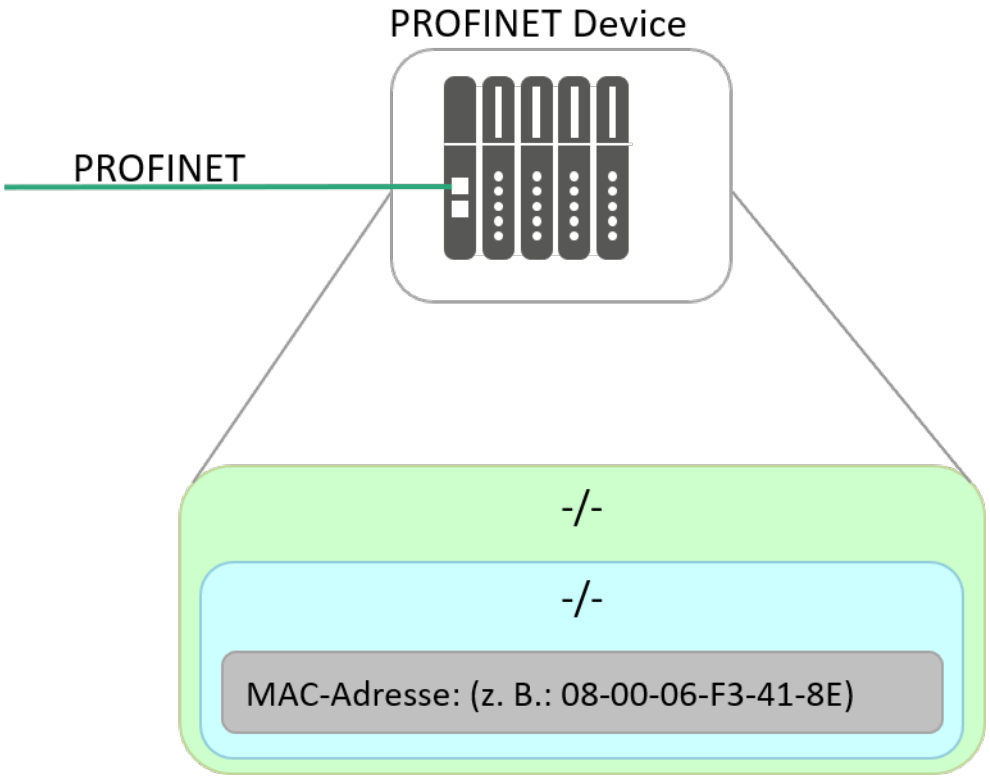


Abbildung 8-1: PROFINET-Device (Auslieferungszustand)

Bei PROFINET ist diese Vorgehensweise gewählt worden, da selbsterklärende Namen einfacher zu handhaben sind als IP-Adressen. Im Auslieferungszustand hat ein PROFINET-Device keinen Gerätenamen, sondern verfügt nur über eine MAC-Adresse. Diese ist fest im PROFINET-Gerät gespeichert, weltweit eindeutig und kann in der Regel nicht verändert werden. Bei vielen PROFINET-Geräten ist die MAC-Adresse auf dem Gehäuse oder dem Typschild vermerkt.

Erst nach der Zuweisung eines Gerätenamens ist ein PROFINET-Device für einen PROFINET Controller adressierbar. Der Gerätename muss vom Device gespeichert werden. Er kann alternativ, sofern vom PROFINET-Device unterstützt, direkt auf ein Speichermedium (z. B. auf eine SD-Karte) geschrieben werden. Das Speichermedium kann dann in das PROFINET-Device eingesetzt. Anschließend wird der Gerätename vom Speichermedium in das PROFINET-Device kopiert.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Als Gerätename empfiehlt sich die Übernahme der im Elektroplan genutzten Gerätebezeichnung. Mit heute üblichen Engineering-Tools gelten keine Einschränkungen an den Gerätenamen, da das Engineering-Tool den sichtbaren Namen automatisch in einen PROFINET-konformen Gerätenamen übersetzt.

Sollte Ihr Engineering-Tool diese automatische Umwandlung des Namens nicht unterstützen, müssen Sie die ausführlichen Anforderungen an PROFINET-Gerätenamen beachten. Diese finden Sie im Anhang in Kapitel 10.4.

Es lohnt sich in jedem Fall eine sinnvolle und aussagekräftige Namenskonvention festzulegen, die dem Wartungspersonal Informationen über Funktion und Einbauort des Gerätes gibt.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

8.2 Planung der IP-Adressen

Automatische Adresskonfiguration

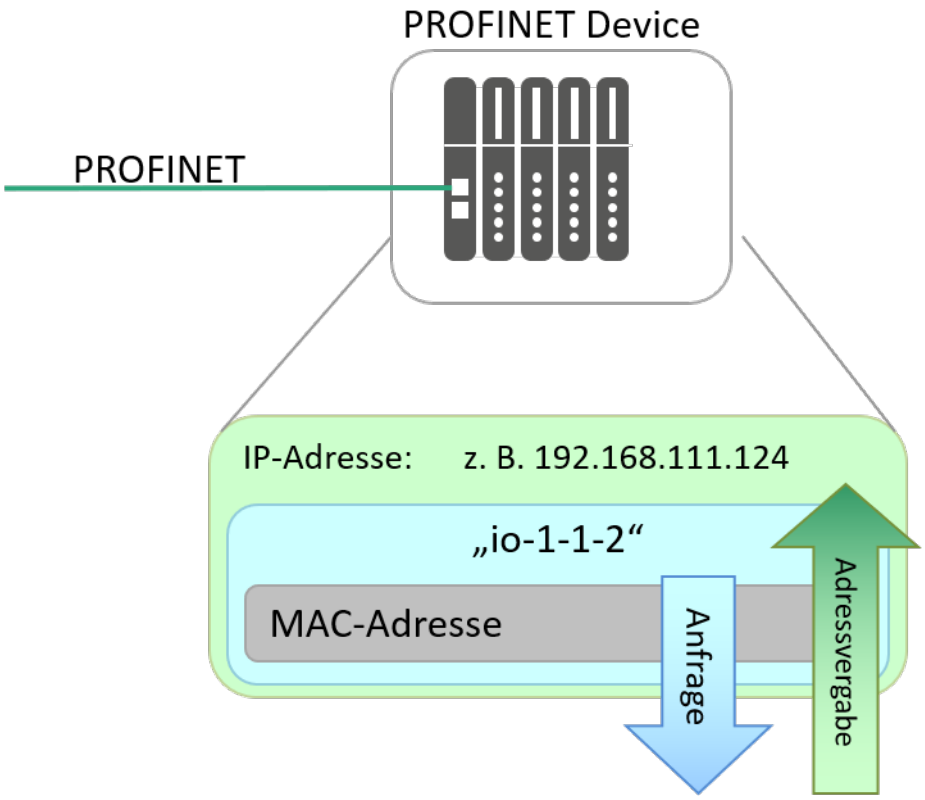


Abbildung 8-2: PROFINET-Device (Adressvergabe)

Die IP-Adresse wird in der Konfiguration des PROFINET-Projektes eingestellt. Dies geschieht meistens automatisch. Die so festgelegte Adresse wird dann beim Start des PROFINET Controllers auf das PROFINET-Device übertragen. In der Regel besteht eine feste Zuordnung von IP-Adresse zu Gerätenamen. Diese kann darüber hinaus auch remanent gespeichert werden. Die Adressierung eines PROFINET-Device beinhaltet demnach insgesamt:

MAC-Adresse, die im PROFINET-Gerät vorgegeben ist und in der Regel nicht veränderbar ist.

Gerätename, der variabel gewählt werden kann, der Übersichtlichkeit wegen jedoch dem jeweiligen Anlagenteil entsprechend gewählt werden sollte.

IP-Adresse, für die, wie für den Namen, ein festes Schema zur Vergabe der Adresse definiert werden sollte. Dies erleichtert Ihnen die Zuordnung zu den Gerätetypen.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Information zur Adresskonfiguration

Die Notation der in PROFINET-Netzwerken genutzten IPv4-Adresse besteht aus vier Dezimalzahlen, die jeweils zwischen 0 und 255 liegen und mit einem Punkt getrennt werden, wie zum Beispiel 192.168.2.10.

Neben dem Gerätenamen und der unveränderlichen MAC-Adresse ist die IP-Adresse dazu notwendig einen Netzwerkteilnehmer eindeutig zu identifizieren. Neben den IP-Adressen, die in öffentlichen Netzwerken wie dem Internet genutzt werden, sind für private bzw. nicht öffentliche Bereiche fest definierte Adressbereiche reserviert. Tabelle 8-1 zeigt die unterschiedlichen privaten Adressbereiche. Die fett geschriebene Zahl gibt das Netzwerk an, während der Bereich dahinter einmalig vergeben wird und den Netzwerkteilnehmer eindeutig identifiziert.

Tabelle 8-1: Private IPv4-Adressebereiche

Anzahl Netze	Klasse	Adressbereich	Netzmaske	Anzahl der Teilnehmer je Netz
1	Class A	**10**.0.0.0 bis **10**.255.255.255	255.0.0.0	16,8 Millionen
16	Class B	**172.16**.0.0 bis **172.31**.255.255	255.255.0.0	65534
256	Class C	**192.168.0**.0 bis **192.168.255**.255	255.255.255.0	254

Parallel zur IP-Adresse wird eine Netzmaske (manchmal auch Subnetzmaske genannt) angegeben. IP-Adresse und Netzmaske bilden dabei ein festes Paar. Die Notation der Netzmaske entspricht der der IP-Adresse.

Die Verwendung der privaten IP-Adressen wird empfohlen. Die Nutzung von öffentlichen IP-Adressen liegt in der Verantwortung des Anlagenbetreibers.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Bei der Vergabe sollten grundsätzlich folgende Punkte beachtet werden:

- Aus der Vorbetrachtung sind Ihnen die **Anzahl der Teilnehmer** an einem Netzwerk bekannt. Wählen Sie den **Adressbereich mit entsprechender Größe**.
- **Definieren Sie ein Adressierungsschema.** Teilen Sie die PROFINET-Netzwerkteilnehmer in Klassen ein. Legen Sie für jede Klasse einen eigenen Adressbereich fest.
- **Doppelt verwendete IP-Adressen sind nicht zulässig.** Die Verwendung von identischen IP-Adressen führt unweigerlich zu Kommunikationsproblemen bei den betroffenen Netzwerkteilnehmern.

In den meisten Fällen ist eine Adressierung mit Hilfe des privaten Class C Adressbereiches ausreichend. Für spezielle Fälle, in denen ein größerer Adressraum mit mehr als 254 Adressen (Class C) benötigt wird, kann auf die privaten Class B oder Class A Netze umgestellt werden.

Beachten Sie, dass in größeren Firmen die IP-Adressen meist bei der für die Firmennetzwerke zuständigen Abteilung des Unternehmens vergeben werden.

Dokumentieren Sie die Vergabe der IP-Adressen und Gerätenamen.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

8.3 PROFINET-Anlagenbeispiel

Die IP-Adressvergabe einer PROFINET-Automatisierungsanlage wird nun beispielhaft erläutert, wobei auf das Anlagenbeispiel dieses Dokuments zurückgegriffen wird.

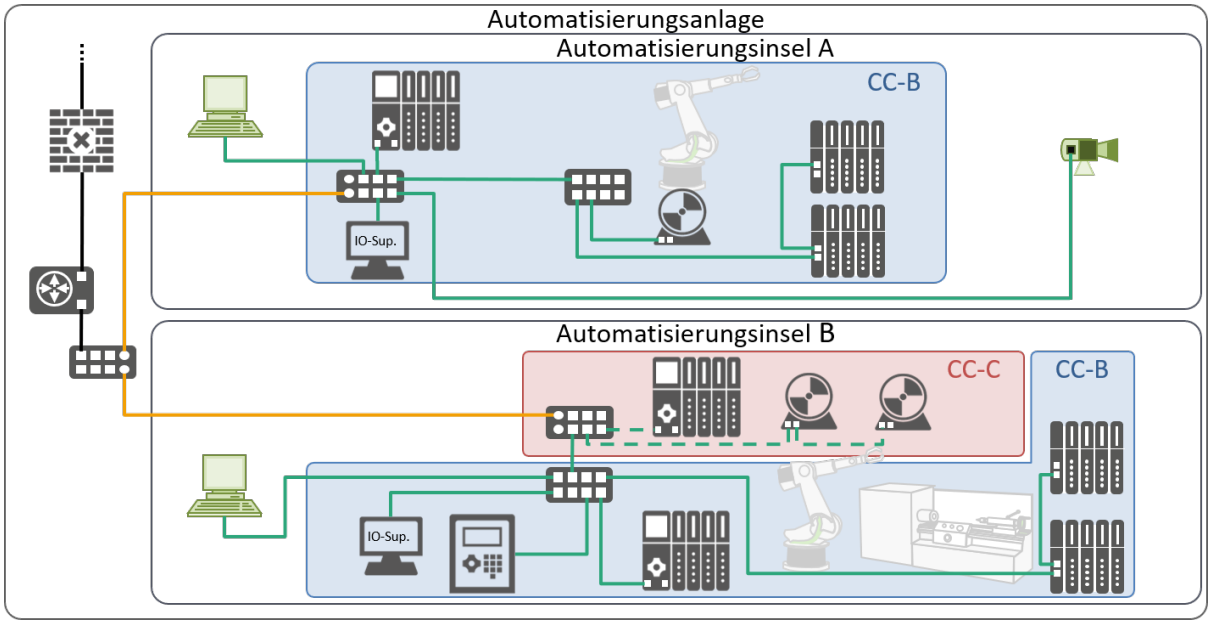


Abbildung 8-3: Gesamtaufbau des Anlagenbeispiels

Überblick über die Anlage

Während der Auslegung ist die Topologie und die Anzahl der PROFINET-Devices für die Anlage festgelegt worden. Das Ergebnis dieser Planung ist folgendermaßen angenommen worden:

Automatisierungsinsel A

- Anzahl PROFINET-Devices: 3
- Baum-Topologie mit angeschlossener Linien-Topologie
- 2 Switches, 1 Controller
- IO-Supervisor, Bedienstation, Kamera

Automatisierungsinsel B

- Anzahl PROFINET-Devices: 5
- Baum-Topologie mit angeschlossener Linien-Topologie
- 2 Switches (IRT-Funktion in einem Switch), 2 Controller
- IO-Supervisor, Bedienstation

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Übergeordnete Verbindung / Leitstation

- Stern- bzw. Baum-Topologie
- LWL-Anbindung
- 1 Switch, 1 Router und 1 Firewall

Nach Zusammenfassung der Anforderungen ergibt sich folgende Anzahl an IP-Adressen für das Anlagenbeispiel.

Tabelle 8-2: Übersicht der Anzahl der PROFINET-Netzwerkteilnehmer

Automatisierungsanlage							
Automatisierungsinsel A							
Anzahl Switches	2	Anzahl Devices	3	Controller / IO-Supervisor	1 / 1	Sonstige	2
Automatisierungsinsel B							
Anzahl Switches	2	Anzahl Devices	5	Controller / IO-Supervisor	2 / 1	Sonstige	1
Übergeordnete Anbindung / Leitstation							
Anzahl Switches	1 (+ 1 Router)	Anzahl Devices	0	Controller / IO-Supervisor	0 / 0	Sonstige	0

Adressauswahl

Wenn Sie eine große Anlage in Betrieb nehmen, sollten Sie eine Adress-Tabelle anlegen, in der die wichtigsten Informationen der PROFINET-Teilnehmer eingetragen werden. Damit können Sie auch zu späteren Zeitpunkten gezielt fehlerhafte oder auszutauschende PROFINET-Teilnehmer finden.

Mit Hilfe dieser Adressen kann eine Adressierung der einzelnen Anlagenteile vorgenommen werden. Es empfiehlt sich Adresse in Blöcken bestimmten Anlagenbereichen zuzuordnen. Alternativ kann man auch Adressebereiche bestimmten Gerätetypen zuordnen, wie z. B. Drives, Remote-I/O, etc. Für spätere Erweiterungen sollte zudem eine Adressreserve mit eingeplant werden. Für die oben genannte Anlage könnte das Adressierungsschema wie folgt aussehen.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Auswahl der IP-Adressen:

1. Die einzelnen Gerätetypen innerhalb der Anlage werden in verschiedene Adressräume gelegt: (siehe Beispiel)

Beispiel:	Controller/Router:	192.168.2.1 bis 192.168.2.19
	Switches:	192.168.2.20 bis 192.168.2.49
	PN Devices	192.168.2.50 bis 192.168.2.199
		E/A: 192.168.2.50 bis 192.168.2.99
		Antriebe: 192.168.2.100 bis 192.168.2.149
		Panel: 192.168.2.150 bis 192.168.2.199
	Zusatzfunktionen/ Reserve:	192.168.2.200 bis 192.168.2.254

Die Netzmaske entspricht hierbei dem Standard Class C Adressbereich (Subnetzmaske „255.255.255.0“).

Falls der gewählte Adressbereich zu klein sollte, kann ein ähnliches Schema auch auf die anderen privaten IPv4-Adressbereiche (Class A / Class B) angewendet werden.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

2. Jede Automatisierungsanlage erhält einen Adressbereich

Beispiel: Übergeordnete Verbindung: 192.168.1.xxx

Automatisierungsanlage 1: 192.168.2.xxx

Automatisierungsanlage 2: 192.168.3.xxx usw.

In der Regel wird für eine Automatisierungsanlage nur ein Class C-Netzwerk verwendet. Zur Kommunikation zwischen den einzelnen Automatisierungsanlagen mit unterschiedlichem Adressbereich wird, falls erforderlich, ein Router zur Anbindung genutzt (nur IP-basierte Kommunikation).

Auswahl der Gerätenamen

Entsprechend dem vorgeschlagenen Schema aus Kapitel 8.1 sieht die beispielhafte Namenswahl folgende Bezeichnung für ein PROFINET-Gerät vor:

1. Der Gerätename enthält die Bezeichnung des Typs.

z.B.: E/A-Gerät „io“ Switch „swi“

Antrieb „drv“ Panel „hmi“

2. Neben dem Gerätetyp sollte eine fortlaufende Nummerierung und / oder ein Ortskennzeichen im Gerätenamen vorhanden sein, der über die Platzierung des Geräts in der Anlage Aufschluss gibt.

z.B.: Das zweite Device der Automatisierungsanlage 1 in Automatisierungsinsel 2 erhält die Bezeichnung

„io-1-2-2“

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

In dem gewählten Beispiel ist bei „swi-1-0-1” die Ziffer „0” hinterlegt, was darauf deutet, dass dieser Switch zwar der Automatisierungsanlage 1 zugeordnet ist, aber in dieser keiner bestimmten Insel zugewiesen ist. Dieser Switch stellt die Verbindung der Inseln untereinander und zum übergeordneten Router her.

Adressauswahl

Mit Hilfe dieser Notation bietet sich beispielhaft für die Beispielanlage folgende Adressvergabe an:

Tabelle 8-3: Adressauswahl in Automatisierungsanlage 1

Typ	Bezeichnung laut Planung	Gerätename	IP-Adresse
Router	ROUT_V1	-/-	192.168.2.1
-/-	-/-	-/-	-/-
PN Controller	CPU-123-AB	cpu.1.1.1	192.168.2.2
PN Controller	CPU-345-CD	cpu.1.2.1	192.168.2.3
PN Controller	CPU-678-EF	cpu.1.2.2	192.168.2.4
Switch	Switch-AB1	swi.1.0.1	192.168.2.20
Switch	Switch-CD2	swi.1.1.1	192.168.2.21
Switch	Switch-EF3	swi.1.1.2	192.168.2.22
Switch	Switch-GH3	swi.1.2.3	192.168.2.23
Switch	Switch-IJ4	swi.1.2.4	192.168.2.24
PN Device	E/A-Gerät-V3	io.1.1.1	192.168.2.50
PN Device	E/A-Gerät-V2	io.1.1.2	192.168.2.51
PN Device	E/A-Gerät-V6	io.1.2.1	192.168.2.52

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

PN Device	E/A-Gerät-98	io.1.2.2	192.168.2.53
PN Device	ANTRIEB_IRT	drv.1.1.1	192.168.2.100
PN Device	ANTRIEB_V2	drv.1.1.2	192.168.2.101
PN Device	ANTRIEB_V4	drv.1.2.1	192.168.2.102
PN Device	IO_PANEL_1	hmi.1.2.1	192.168.2.150
Videokamera	CAM_V1	-/-	192.168.2.200
Bedienstation	STAT_1	-/-	192.168.2.201
Bedienstation	STAT_2	-/-	192.168.2.202
PN IO-Supervisor	IO_SUP_1	-/-	192.168.2.203
PN IO-Supervisor	IO_SUP_2	-/-	192.168.2.204

Eine Tabelle dient der Verbesserung der Übersicht über die Anlage, erleichtert Arbeiten und spart Zeit.

Die Switches erhalten in diesem Beispiel einen Gerätenamen und eine IP-Adresse. Diese sind bei Switchen ab Conformance Class B erforderlich und in diesem Beispiel entsprechend ausgewählt worden.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

9 Zusammenfassung

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Mit Abschluss der PROFINET-Planung liegen Ihnen sämtliche Informationen bezüglich Ihrer gesamten PROFINET-Automatisierungsanlage vor. Dies beinhaltet Informationen wie:

Komponentenauswahl, wie den PROFINET-Geräten, Switches, Übertragungsmedien und Steckverbinder. Dazu zählen auch deren benötigte Anforderungen, Eigenschaften, Conformance Class und Zusatzfunktionen.

Kommunikationsbeziehungen mit den zu übertragenden Datenmengen und der räumlichen sowie funktionalen Gruppierung sämtlicher PROFINET-Geräte.

Netzwerktopologie der Automatisierungsanlage unter Berücksichtigung der zu übertragenden Datenmengen und Kommunikationsbeziehungen der Anlagenteile. Darüber hinaus sind Erweiterungen wie Standard-Ethernet-Geräte und evtl. Netzlasten mit in die Topologie-Bildung eingeflossen.

Eine **Performance-Betrachtung** mit Berücksichtigung von unter anderem gemeinsamen Netzlasten von Standard-Ethernet-Geräten und PROFINET-Geräten sowie deren Aktualisierungszeiten.

Geräteparameter, wie IP-Adresse und Gerätenamen.

Überprüfen Sie in diesem Zusammenhang, ob Ihnen alle Informationen der Planung Ihrer PROFINET-Automatisierungsanlage vorliegen.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

10 Anhang

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

10.1 Adressen

PROFINET-Competence Center

Die PI Competence Center (PICC) sind Ansprechpartner bei Problemen mit dem PROFINET. In den PROFINET-Competence Centern stehen Spezialisten zur Verfügung, die Ihnen bei Problemen weiterhelfen. Außerdem führen die PROFINET-Competence-Center Schulungen durch.

Die aktuellen Adressen der PI Competence Center finden Sie im Internet unter

www.profinet.com

im Bereich Support.

10.2 Glossar

Wichtige Begriffe zum PROFINET finden Sie im PI-Glossar auf der Seite

www.profinet.com

unter dem Suchbegriff „Glossary".

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

10.3 GSD-Dateien

Jeder PROFINET-Teilnehmer wird durch eine General Station Description (GSD) beschrieben. Dabei handelt es sich um eine Datei, in der Informationen zum Gerät in maschinenlesbarer Form stehen. Dafür wird die auf XML basierende Sprache GSDML verwendet.

Damit die Projektierung stattfinden kann benötigt das Engineering-Tool die GSD-Dateien für alle PROFINET-Teilnehmer. Die GSD-Datei eines Geräts erhalten Sie beim Hersteller. Manche Engineering-Tools verfügen über eine Datenbank, mit der GSD-Dateien anhand der Artikelnummer bezogen werden können.

Meist kommen Sie im Planungsprozess nicht mit GSD-Dateien in Kontakt.

Erst bei der Projektierung werden diese in das Engineering-Tool eingebunden.

Im Rahmen von Security-Erweiterungen von PROFINET werden GSD-Dateien künftig digital signiert. Hierfür wird ein neues Dateiformat, das so genannte GSDX-Format eingeführt. Weitere Informationen zu diesem Dateiformat finden Sie in [GSX2024].

10.4 Konformität des PROFINET-Gerätenamens

Übliche Engineering-Tools wandeln den sichtbaren PROFINET-Gerätenamen intern mithilfe von PunyCode [RFC_3492] in einen internen, PROFINET-konformen Gerätenamen um. Sollte Ihr Engineering-Tool diese automatische Umwandlung nicht unterstützen, müssen Sie die folgenden Anforderungen an den Gerätenamen beachten:

Der Gerätename muss die folgenden Bedingungen erfüllen:

- Ein Name besteht aus einer oder mehreren Bezeichnungen, getrennt durch [.]
- Die Länge einer Bezeichnung beträgt 1 bis 63 Oktette
- Die Länge eines Namens beträgt 1 bis 240 Oktette
- Bezeichnungen bestehen aus [a-z, 0-9 oder -]
- Bezeichnungen beginnen und enden nicht mit [-]
- Die erste Bezeichnung darf nicht die Form "port-xyz" oder "port-xyz-abcde" mit a, b, c, d, e, x, y, z = 0...9 haben, um eine falsche Ähnlichkeit mit dem Feld AliasNameValue zu vermeiden.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

- Gerätenamen haben nicht die Form a.b.c.d mit a, b, c, d = 0...999, um eine falsche Ähnlichkeit mit IPv4-Adressen zu vermeiden.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

10.5 Details zu PROFINET-Kupferleitungen

Dieser Teil des Anhangs führt Detailinformationen zu den PROFINET-Kupferleitungen auf.. Weitere Informationen zur Verkabelung und Verbindungstechnik finden Sie auch unter [PCI2023].

Eigenschaften von PROFINET-Kupferleitungen

Parameter zu den Leitungstypen

Tabelle 10-1: Leitungsparameter PROFINET Typ A Kupferkabel

Parameter	Grenzvorgaben
Wellenwiderstand	100 Ω ± 15 Ω
Schleifenwiderstand	<115 Ω/km
Übertragungsgeschwindigkeit	100 Mbit/s
max. Länge einer Verbindung	100 m
Aderanzahl	4
Aderdurchmesser	0,64 mm
Aderquerschnitt	0,32 mm^2 (AWG 22/1)
Mantelfarbe	Grün
Farbe der Isolierungen	weiß, blau, gelb, orange

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Tabelle 10-2: Leitungsparameter PROFINET Typ B Kupferkabel

Parameter	Grenzvorgaben
Wellenwiderstand	100 Ω ± 15 Ω
Schleifenwiderstand	<115 Ω/km
Übertragungsgeschwindigkeit	100 Mbit/s
max. Länge einer Verbindung	100 m
Aderanzahl	4
Aderdurchmesser	0,75 mm
Aderquerschnitt	0,36 mm^2 (AWG 22/7)
Mantelfarbe	Grün
Farbe der Isolierungen	weiß, blau, gelb, orange

Tabelle 10-3: Leitungsparameter PROFINET Typ C Kupferkabel

Parameter	Grenzvorgaben
Wellenwiderstand	100 Ω ± 15 Ω
Schleifenwiderstand	<115 Ω/km
Übertragungsgeschwindigkeit	100 Mbit/s
max. Länge einer Verbindung	100 m
Aderanzahl	4
Aderdurchmesser	0,13 mm
Aderquerschnitt	AWG 22/7 oder 22/19
Mantelfarbe	Grün
Farbe der Isolierungen	weiß, blau, gelb, orange

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Tabelle 10-4: Leitungsparameter PROFINET 8-Adern Typ A Kupferkabel

Parameter	Grenzvorgaben
Wellenwiderstand	100 Ω ± 15 Ω
Schleifenwiderstand	<85 Ω/km (AWG 23/1)
Übertragungsgeschwindigkeit	1000 Mbit/s
max. Länge einer Verbindung	100 m
Aderanzahl	8
Aderdurchmesser	≥0,546 mm (AWG 23/1)
Mantelfarbe	Grün
Farbe der Isolierungen	weiß / orange, weiß / grün, weiß / blau, weiß / braun

Tabelle 10-5: Leitungsparameter PROFINET 8-Adern Typ B Kupferkabel

Parameter	Grenzvorgaben
Wellenwiderstand	100 Ω ± 15 Ω
Schleifenwiderstand	<85 Ω/km (AWG 23/7)
Übertragungsgeschwindigkeit	1000 Mbit/s
max. Länge einer Verbindung	100 m
Aderanzahl	8
Aderquerschnitt	≥0,254 mm^2 (AWG 23/7)
Mantelfarbe	Grün
Farbe der Isolierungen	weiß / orange, weiß / grün, weiß / blau, weiß / braun

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Tabelle 10-6: Leitungsparameter PROFINET 8-Adern Typ C Kupferkabel

Parameter	Grenzvorgaben
Wellenwiderstand	100 Ω ± 15 Ω
Schleifenwiderstand	<95 Ω/km (AWG 24)
Übertragungsgeschwindigkeit	1000 Mbit/s
max. Länge einer Verbindung	100 m
Aderanzahl	8
Aderdurchmesser	Anwendungsspezifisch
Aderquerschnitt	Anwendungsspezifisch
Mantelfarbe	Anwendungsspezifisch
Farbe der Isolierungen	weiß / orange, weiß / grün, weiß / blau, weiß / braun

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Mechanische Eigenschaften

Die Hersteller der Kabel geben neben den physikalischen Aufbaudaten (z.B. Durchmesser und Leitermaterial) weitere mechanische Kabeleigenschaften an, die Aufschluss über die Einsatzbereiche und Verlegungsmöglichkeiten der Kabel geben. Typische Herstellerangaben hierzu sind:

- Biegeradius
- Biegehäufigkeit
- Zugfestigkeit

Während der Biegeradius und die Biegehäufigkeit hauptsächlich vom Aderaufbau (fest / flexibel) abhängig sind, werden für eine höhere Zugfestigkeit zusätzliche Elemente wie z.B. Aramidfasern in das Kabel eingebracht.

Die in Tabelle 10-7 aufgeführten Grenzwerte sind der Norm IEC 61784-5-3 entnommen.

Tabelle 10-7: Mechanische Eigenschaften von PROFINET-Kupferkabeln

Parameter	Grenzvorgaben
Minimaler Biegeradius, einmal gebogen	20…65 mm
Biegeradius, mehrmals gebogen	50…100 mm
Zugkraft	<150 N
Permanente Zugbelastung	< 50 N
Maximale Querkräfte	--
Temperaturbereich während der Installation	-20…+60 °C

Die Grenzvorgaben sind abhängig vom Kabeltyp. Genaue Angaben entnehmen Sie bitte den Spezifikationen der Hersteller.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Chemische Eigenschaften

PROFINET-Kupferkabel sind mit unterschiedlichen Mantelmaterialien verfügbar, um sie gegen Umwelteinflüsse zu schützen.

Kabelhersteller geben die Eigenschaften oder das Vorhandensein eines bestimmten Stoffes (z.B. Halogen / Silikon) in den Kabeldatenblättern an. Typische Herstellerangaben hierzu sind:

- UV-Beständigkeit
- Silikonfreiheit
- Beständigkeit gegen Mineralöle und Fette
- zulässige Temperaturbereiche

Ein besonderes Augenmerk muss auf das Brandverhalten der Kabel gelegt werden. Die Angaben hierzu sind von den Kabelherstellern meist gesondert, unter Bezug auf die folgenden Eigenschaften, aufgeführt:

- Halogenfreiheit
- Flammwidrigkeit
- Rauchgasdichte

Die Rauchgasdichte hängt eng mit der Halogenfreiheit des Kabels zusammen und wird nicht von jedem Hersteller angegeben. Achten Sie auch auf Bezeichnungszusätze wie FRNC (Flame-Retardant-Non-Corrosive). FRNC kennzeichnet ein Kabel als halogenfrei und flammwidrig.

In Bereichen, in denen im Falle eines Brandes Menschenleben durch toxische Gase und Rauchgasentwicklung gefährdet sind, ist ausschließlich halogenfreies und flammwidriges Kabel einzusetzen.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Ausführungsformen von Kupferleitungen

PROFINET-Kabel

In diesem Abschnitt sind PROFINET-Kabel mit 2 Aderpaaren dargestellt. Der Aufbau für 4 paarige Leitungen ist analog hierzu.

Das am meisten verwendete Material für PROFINET-Kabelmäntel ist PVC (PolylVinylChlorid). PVC ist i. a. UV-beständig und chemisch stabil. Es ist widersteht Salzwasser, Alkohol, leichten Säuren und Öl. PVC sollte nicht eingesetzt werden beim Einsatz von Kohlenwasserstoffen oder organischen Lösungsmitteln. Beachten Sie den eingeschränkten Temperaturbereich von typisch (-30 °C bis +70 °C)

PROFINET-Kabel vom Typ A genügen den meisten Anforderungen eines Automatisierungs-vorhabens und sind deshalb die am häufigste verwendete Kabelausführung. Sie sind als Rundleitung mit vier massiven Adern ausgeführt und radialsymmetrisch. Die Adern sind zum sogenannten Stern-Vierer verseilt.

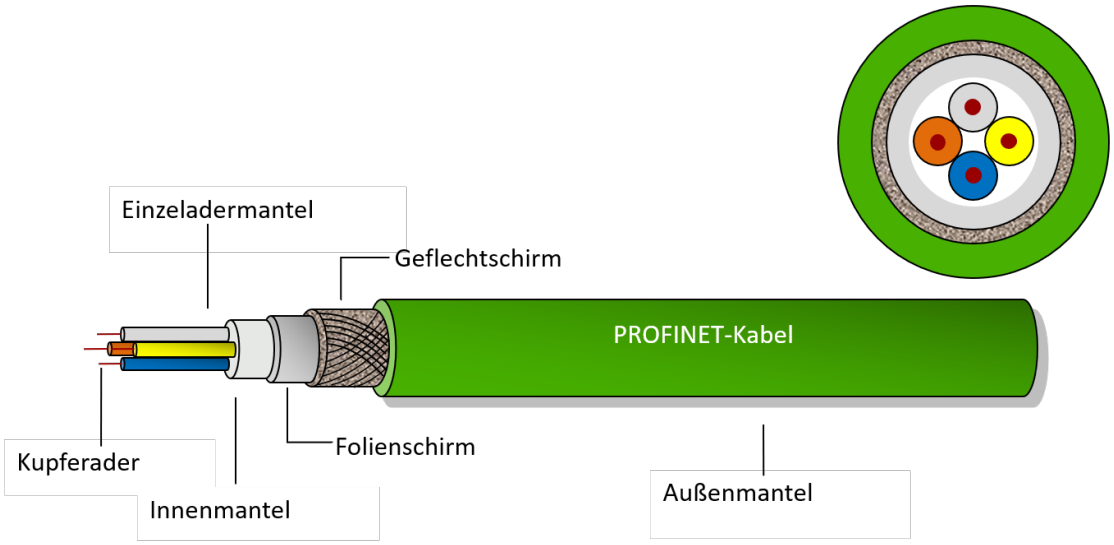


Abbildung 10-1: PROFINET-Kabel Typ A

Das PROFINET-Kabel vom Typ A ist für feste Verlegung, beispielsweise auf Trassen, ausgelegt.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

PROFINET-PE-Kabel

Der PE (PolyEthylen)-Mantel hat bessere elektrische Eigenschaften als PVC. PCS zeichnet sich dadurch aus, dass das Material keine oder nur eine geringe Wasseraufnahme aufweist. Daher werden diese Kabel in Bereichen verwendet, in denen mit ständiger Feuchtigkeit zu rechnen ist, z. B. bei Erdkabeln. Zusätzlich sind PE-Kabel in schwarzer Mantelfarbe UV-beständig. Der Unterschied zu den Typ A Kupferkabeln zeigt sich nur in der unterschiedlichen Mantelfarbe und in dem Mantelmaterial.

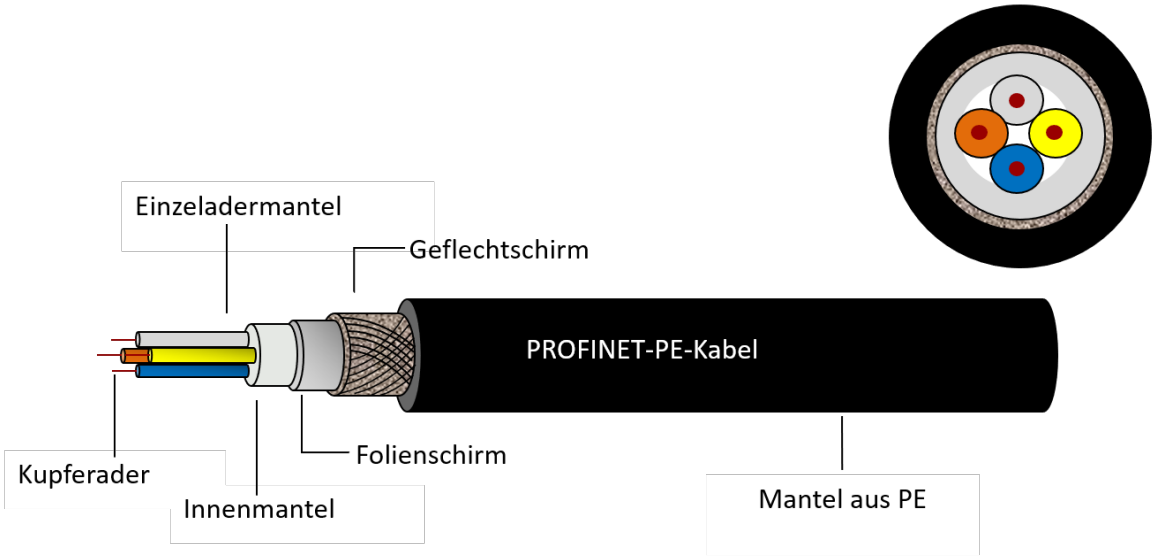


Abbildung 10-2: PROFINET-PE-Kabel

Das PE-Kabel eignet sich für die Verlegung in Bereichen, in denen mit ständiger Feuchtigkeit zu rechnen ist. Durch den PE-Mantel ist das Kabel, ohne flammhemmende Beimischung, leicht entflammbar.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

PROFINET-Erdkabel

PROFINET-Erdkabel besitzen robuste, schwarze Außenmäntel aus PE. Dieser ist oftmals als Zusatzmantel auf ein PROFINET-Kabel aufgebracht. Nach Abnahme des Außenmantels lässt sich das freigelegte PROFINET-Kabel wie gewohnt weiterführen und konfektionieren.

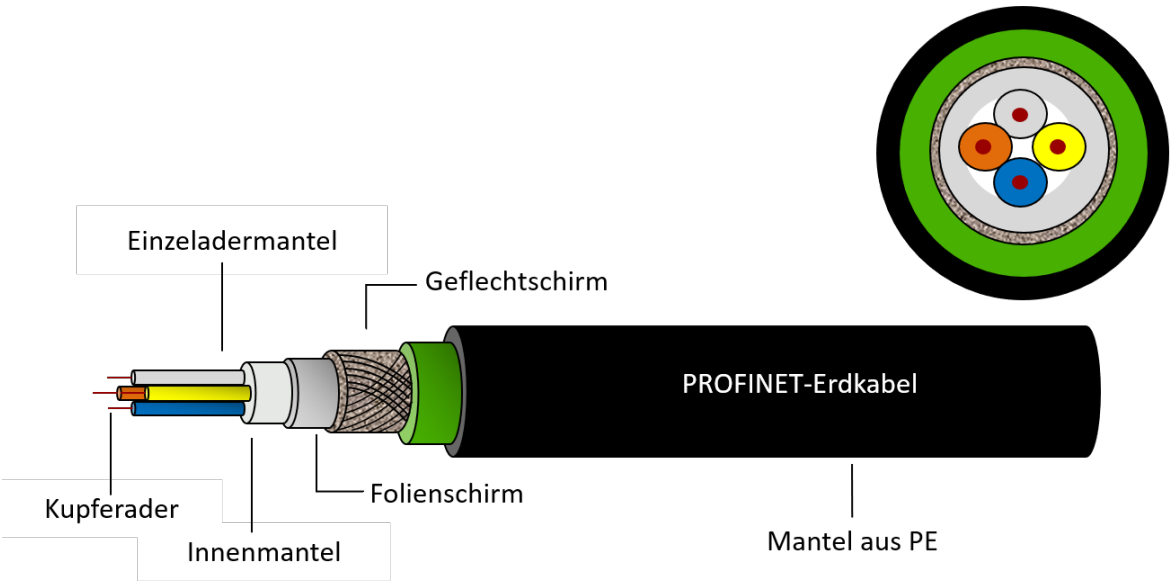


Abbildung 10-3: PROFINET-Erdkabel

Für die Verlegung unter „freiem Himmel“ oder für die Erdverlegung geeignet.

Am Markt sind Kabel mit einem zusätzlichen Schutz gegen Nagetiere erhältlich. Dieser wird durch eine zusätzliche Bewehrung durch Metalldrähte oder Glasfaser gewährleistet. Beachten Sie dazu bitte die Angaben der Hersteller.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Schleppleitung

Die Adern dieser Kabelausführung bestehen aus feindrahtigen Litzen und befähigen dadurch das Kabel für den Einsatz an bewegten Maschinenteilen. Der vieradrige Aufbau als Stern-Vierer erhöht dabei die Querdruckfestigkeit bzw. Trittfestigkeit. Der Mantel dieser Kabelart ist üblicherweise halogenfrei und beständig gegen Mineralöle und Fette.

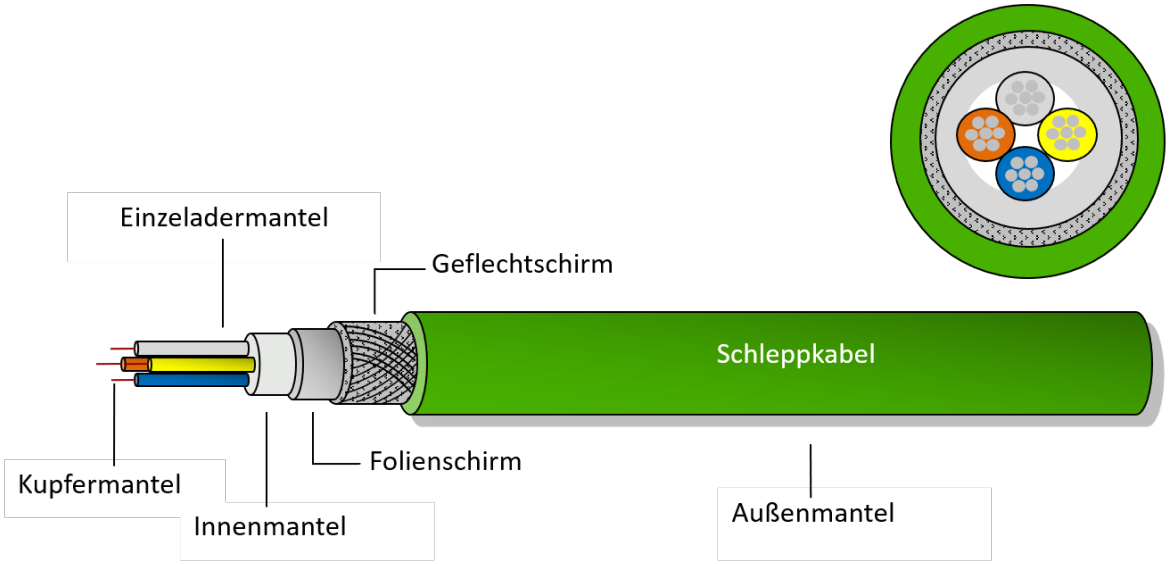


Abbildung 10-4: Schleppkabel

Benutzen Sie speziell konstruierte Leitungen, wenn eine häufige Bewegung des Kabels gefordert ist, wie z.B. beim Einsatz an beweglichen Maschinenteilen. Es sind Spezialkabel für Schleppketten am Markt erhältlich.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Kabel zur Girlandenaufhängung

Die Adern dieser Kabelausführung bestehen (ähnlich wie beim Schleppkabel) aus feindrahtigen Litzen und befähigen dadurch das Kabel für den Einsatz zur Girlandenaufhängung. Der vieradrige Aufbau als Stern-Vierer erhöht dabei die Querdruckfestigkeit bzw. Trittfestigkeit. Der Mantel dieser Kabelausführung ist üblicherweise halogenfrei und beständig gegen Mineralöle und Fette.

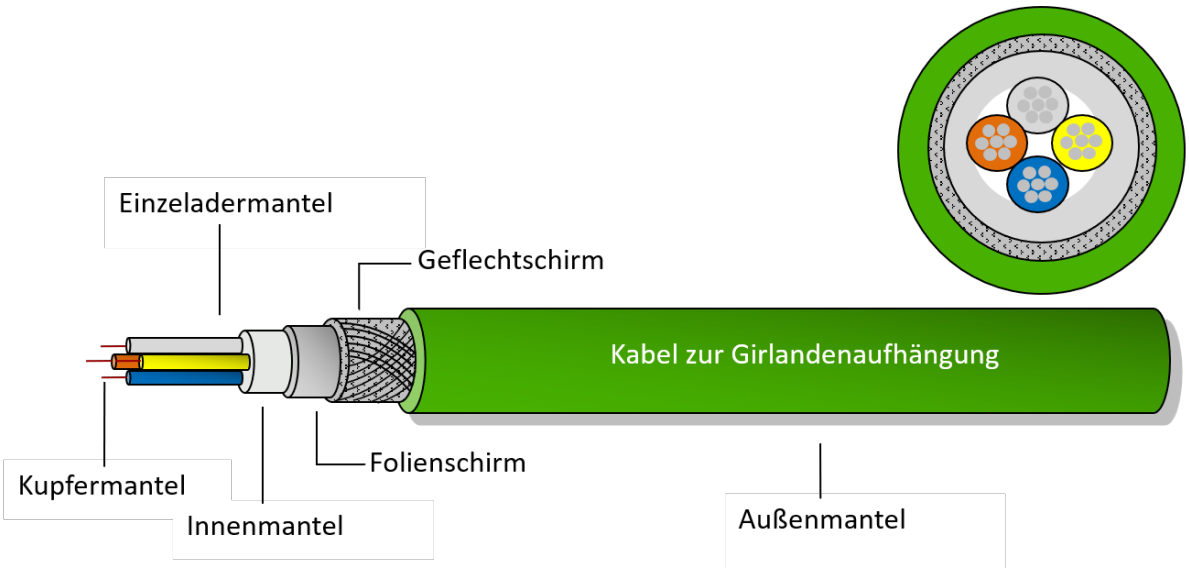


Abbildung 10-5: Kabel zur Girlandenaufhängung

Benutzen Sie speziell konstruierte Leitungen, wenn eine permanente Bewegung des Kabels gefordert ist, wie z.B. beim Einsatz an beweglichen Maschinenteilen. Es sind Spezialkabel für Torsionsbewegungen am Markt erhältlich.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Schwer entflammbares Kabel (FRNC-Kabel)

FRNC (Flame Retardant Non-Corrosive) Kabel verfügen über einen Mantel aus einem halogenfreien Material besteht. Solche Kabel werden dort eingesetzt, wo eine Entzündung von Kabeln viermieden werden muss. Die Mantelfarbe ist üblicherweise grün.

Benutzen Sie halogenfreie Kabel für die Verkabelung in Bereichen, in denen im Falle eines Feuers erhöhte Anforderungen an das Brandverhalten der Kabel bestehen. Mögliche Einsatzorte sind z.B. Wohngebäude oder Krankenhäuser.

Ethernet-APL-Kabel

Das unterstützte Ethernet-APL-Kabel ist ein geschirmtes, verdrilltes Kabel mit einem Wellenwiderstand im Bereich von 100 Ω ± 20 % in einem Frequenzbereich von 100 kHz bis 20 MHz, wie er typischerweise für PROFIBUS PA und FOUNDATION Fieldbus H1 verwendet wird. Die Aderquerschnitte können im Bereich von 26AWG (0,14 mm²) bis 14AWG (2,5 mm²) liegen, entweder mit massiven oder verseilten Drähten. Kabelparameter für Ethernet-APL-Kabel sind in der Engineering-Richtlinie für Ethernet-APL [APL2021] sowie in der Ethernet-APL-Port-Profil-Spezifikation [APS2021] zu finden. Abbildung 10 6 zeigt den Aufbau eines Ethernet-APL-Kabels.

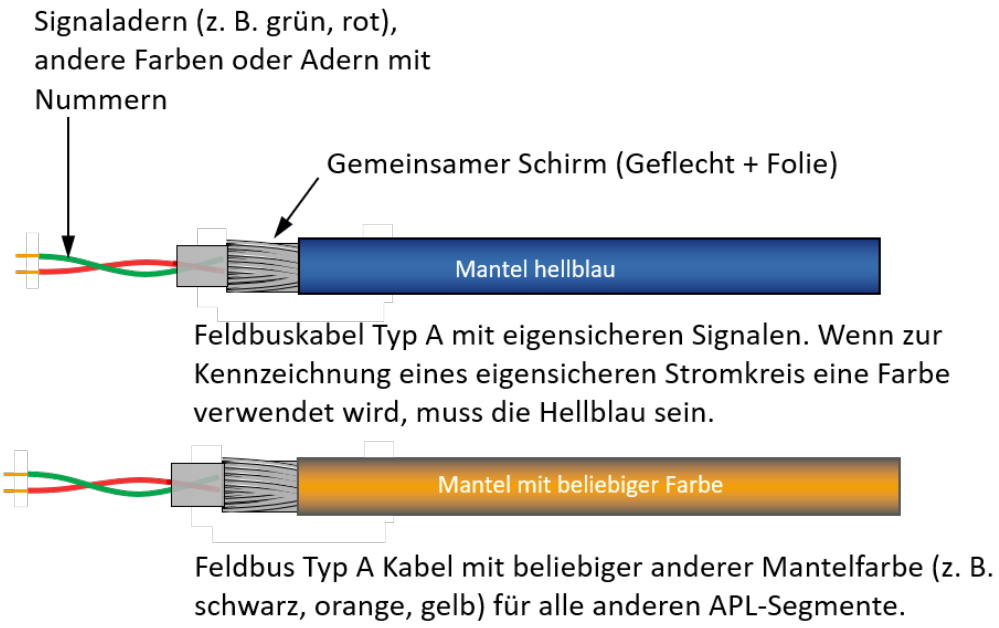


Abbildung 10-6: Ethernet-APL-Kabel

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Für Neuinstallationen wurde in der [IEC 61156-13] ein spezielles Zweidraht-Ethernet-Kabel spezifiziert. Dieses Kabel sollte in allen Fällen verwendet werden, in denen die Wiederverwendung eines vorhandenen Kabels nicht erforderlich ist.

10.6 Details zu PROFINET-LWL

Dieser Teil des Anhangs führt Detailinformationen zu den PROFINET-LWL-Leitungen auf. Weitere Informationen zur Verkabelung und Verbindungstechnik finden Sie auch unter [PCI2023].

Eigenschaften von PROFINET-LWL

Mechanische Eigenschaften

Die mechanischen Kabeleigenschaften geben Aufschluss über die Einsatzbereiche und Verlegungsmöglichkeiten der Kabel. Um diesbezüglich einen Überblick zu erhalten, sind in den nachfolgenden Tabellen konkrete Werte für typische mechanische Eigenschaften der LWL-Kabel aufgeführt. Dabei wird zusätzlich zwischen den verwendeten Fasertypen unterschieden.

Die in Tabelle 10-8 und Tabelle 10-9 aufgeführten Grenzwerte sind der Norm IEC 61784-5-3 entnommen.

Tabelle 10-8: Mechanische Eigenschaften von Single / Multimode LWL

Parameter	Grenzvorgaben
Minimaler Biegeradius, einmal gebogen minimal	50…200 mm
Biegeradius, mehrmals gebogen minimal	30…200 mm
Zugkraft maximal	500…800 N
Permanente Zugbelastung maximal	500…800 N
Querkräfte maximal	300...500 N/cm
Temperaturbereich während der Installation	-5…+50 °C

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Tabelle 10-9: Mechanische Eigenschaften von POF-Lichtwellenleitern

Parameter	Grenzvorgaben
Minimaler Biegeradius, einmal gebogen minimal	30…100 N
Biegeradius, mehrmals gebogen minimal	50…150 N
Zugkraft maximal	50…100 N
Permanente Zugbelastung maximal	Nicht erlaubt
Querkräfte maximal	35…100 N/cm
Temperaturbereich während der Installation	0…+50 °C

Die in Tabelle 10-10 aufgeführten Grenzwerte sind der Norm IEC 61784-5-3 entnommen.

Tabelle 10-10: Mechanische Eigenschaften von PCF-Lichtwellenleitern

Parameter	Grenzvorgaben
Minimaler Biegeradius, einmal gebogen minimal	75…200 mm
Biegeradius, mehrmals gebogen minimal	75…200 mm
Zugkraft maximal	100…800 N
Permanente Zugbelastung maximal	< 100 N
Querkräfte maximal	75…300 N/cm
Temperaturbereich während der Installation	-5…+60 °C

Die Grenzvorgaben sind abhängig vom Kabeltyp. Genaue Angaben entnehmen Sie den Spezifikationen der Hersteller.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Die Kabeleigenschaften in den obigen Tabellen decken die Anforderungen gängiger Industrieapplikationen ab. Spezielle Anwendungen wie Schleppketten, Girlandenaufhängung oder Torsionsbewegungen erfordern abgestimmte Kabelkonstruktionen mit darüberhinausgehenden Eigenschaften.

Chemische Eigenschaften

LWL-Kabel besitzen, genau wie die bereits behandelten Kupferkabel unterschiedliche Mantelmaterialien, durch die sie bestimmte Eigenschaften erhalten.

- Typische Herstellerangaben hierzu sind:
- UV-Beständigkeit
- Silikonfreiheit
- Beständigkeit gegen Mineralöle und Fette
- zulässige Temperaturen

Auch bei LWL-Kabeln muss ein besonderes Augenmerk auf das Brandverhalten des Kabels gelegt werden. Die hierzu von den Herstellern gemachten Angaben sind:

- Halogenfreiheit
- Flammwidrigkeit
- Rauchgasdichte

In Bereichen, in denen im Falle eines Brandes Menschenleben durch toxische Gase und Rauchgasentwicklung gefährdet sind, ist ausschließlich halogenfreies und flammwidriges Kabel einzusetzen.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Ausführungsformen von LWL-Kabeln

Die für PROFINET gängigsten Kabelausführungen, mit ihren Einsatzfällen, sind in Tabelle 10-11 aufgeführt. Die beschriebenen Kabelausführungen sind mit allen in Kapitel 3.5.4 genannten Fasertypen realisierbar. Weitere Kabel mit zusätzlichem Schutz, z.B. mit zusätzlichen Bewehrungen als Nagetierschutz oder spezielle Erdverlegungskabel, sind am Markt erhältlich.

Tabelle 10-11: Ausführungsformen von LWL-Kabeln

Kabelausführung	Einsatzfall
PROFINET-LWL-Kabel	Für eine einfache Punkt zu Punkt Verbindung zwischen zwei PROFINET-Geräten
PROFINET-LWL-Schleppkabel	Für die Verlegung an beweglichen Maschinenteilen

PROFINET-LWL-Kabel

Die Abbildung 10-7 zeigt den grundsätzlichen Aufbau eines PROFINET-LWL-Kabels. Es enthält zwei parallellaufende Adern. Die Adern eignen sich zur direkten Steckerkonfektionierung. Die orange Ader ist mit Richtungspfeilen bedruckt, um die Zuordnung der Adern zum Sende- bzw. Empfängeranschluss zu erleichtern.

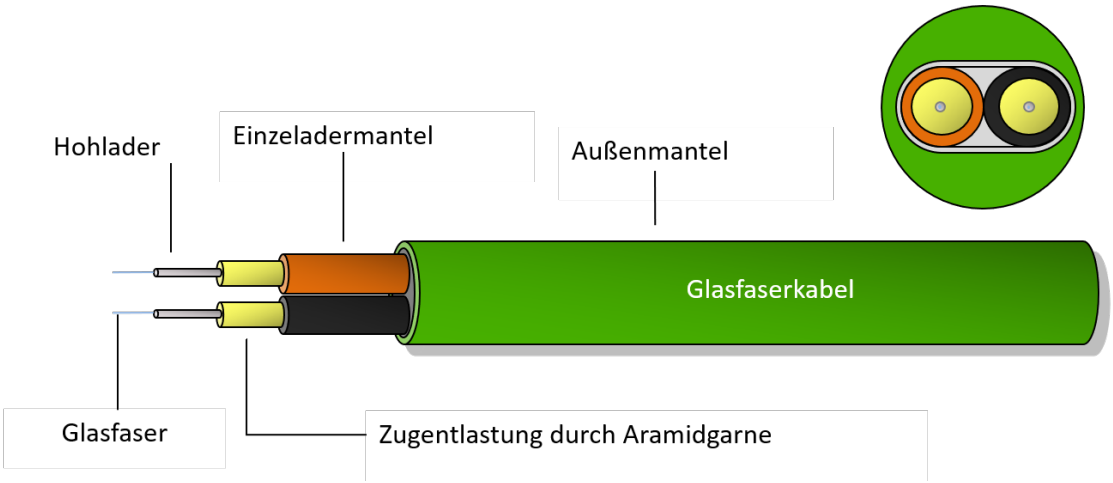


Abbildung 10-7: PROFINET-Lichtwellenleiterkabel

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

PROFINET-LWL-Schleppkabel

Das LWL-Schleppkabel (Abbildung 10-8) besitzt eine zusätzliche Vliesbewicklung sowie Zugentlastungselemente und ein zusätzliches Stützelement. Der Mantel dieser Kabelart ist üblicherweise halogenfrei und beständig gegen Mineralöle und Fette.

Benutzen Sie speziell konstruierte Leitungen, wenn eine häufige Bewegung des Kabels gefordert ist, wie z.B. beim Einsatz an beweglichen Maschinenteilen. PROFINET-LWL-Schleppkabel sind mit allen Fasertypen am Markt erhältlich.

Kabel zur Verwendung in Schleppketten lassen sich in der Regel nicht zur Girlandenaufhängung verwenden.

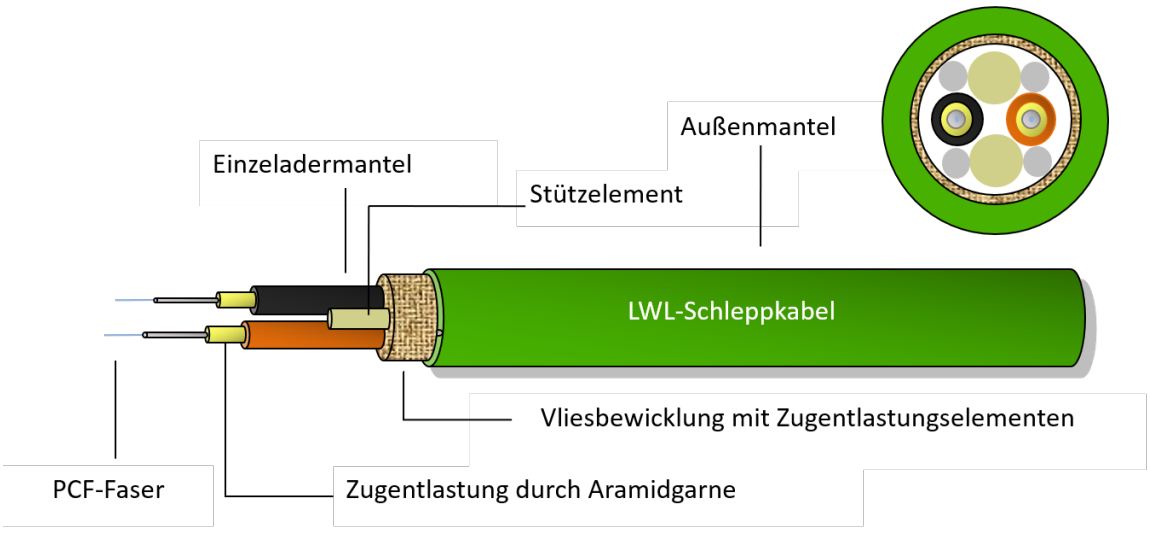


Abbildung 10-8: PROFINET-LWL-Schleppkabel

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

10.7 Auswahl Steckverbinder

Im Verlauf dieses Kapitels werden diese Anforderungen näher beleuchtet, so dass Ihre bisherige Planung mit der geeigneten und von Ihnen benötigten Anschlusstechnik ergänzt wird. Weitere Informationen zur Verkabelung und Verbindungstechnik finden Sie auch unter [PCI2023].

Das Kapitel ist wie folgt strukturiert:

- Erklärung der Unterschiede von vorkonfektionierten und feldkonfektionierbaren Kabeln
- Vorstellung der erhältlichen Anschlusstechnik
- Auswahl der benötigten Steckverbinder

Unterschiede von vorkonfektionierten und feldkonfektionierbaren Kabeln

Vorkonfektionierte Kabel

Vorkonfektionierte Kabel sind bereits werksseitig auf beiden Seiten mit Steckverbindern versehen. Die Benutzung von vorkonfektionierten Kabeln setzt voraus, dass die Entfernungen (Kabelführung beachten) zwischen den einzelnen Netzkomponenten genau bekannt sind.

Vorteile von vorkonfektionierten Kabeln:

- Senkt die Montagezeit durch Wegfall der Kabelkonfektionierung.
- Fehler bei der Konfektionierung werden vermieden.
- Das Montagepersonal muss nicht in der Konfektionierung von PROFINET-Kabeln unterwiesen worden sein.
- Keine speziellen Werkzeuge zur Konfektionierung notwendig.
- Eignet sich besonders für die Verdrahtung im Schaltschrank.

Nachteile von vorkonfektionierten Kabeln:

- Beim Verlegen der Kabel können die bereits angebrachten Steckverbinder hinderlich sein oder beschädigt werden.
- Bei der Bestellung der Kabel ist eine Festlegung der Kabellängen erforderlich.
- Bei zu langen vorkonfektionierten Kabeln müssen Restlängen richtig untergebracht werden.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Feldkonfektionierbare Kabel

Vor Ort konfektionierbare Kabel werden vom Hersteller ohne Steckverbinder als Meterware ausgeliefert und müssen vom Montagepersonal vor Ort konfektioniert werden.

Vorteile von feldkonfektionierbaren Kabeln:

- Eine Festlegung der Kabellänge ist bei der Bestellung nicht erforderlich
- Die Kabel sind ohne Steckverbinder einfacher zu verlegen

Nachteile von feldkonfektionierbaren Kabeln:

- Die Konfektionierung der Kabel vor Ort benötigt Zeit
- Es ist spezielles Werkzeug notwendig
- Das Montagepersonal muss in der Konfektionierung von PROFINET-Kabeln unterwiesen worden sein
- Potentielle Fehlerquelle (Abnahmemessung wird empfohlen)

Für die benötigten Werkzeuge zur Kabelkonfektionierung wenden Sie sich bitte an den Hersteller Ihrer Kabel und / oder an den Hersteller der von Ihnen benötigten Anschlusstechnik.

Weiterführende Informationen zu der Konfektionierung von Steckverbindern bzw. Kabeln finden Sie in der PROFINET-Montagerichtlinie Order No.: 8.071.

Anschlusstechnik für Kupferkabel

In diesem Kapitel werden die Anschlusstechniken für Kupferkabel mit den verschiedenen Schutzarten beschrieben und anhand von mehreren Abbildungen vorgestellt.

Die in den nachfolgenden Abbildungen (Abbildung 10-9 und Abbildung 10-10) dargestellten Steckverbinder sind Prinzipzeichnungen und orientieren sich an den am Markt erhältlichen Modellen. Das tatsächliche Design ist herstellerabhängig.

Steckverbinder

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

RJ45-Steckverbinder

Der RJ45-Steckverbinder ist für den Anschluss an Endgeräte und Netzwerkkomponenten geeignet. Ein wesentliches Kriterium für die Verwendbarkeit von Steckverbindern besteht in der Beherrschbarkeit vor Ort. Im Schaltschrankbereich wird der RJ45-Steckverbinder in seiner IP20 Ausführung eingesetzt. Außerhalb des Schaltschrankes muss der rauen Umgebung Rechnung getragen werden. Hier kommt der RJ45-Push-Pull in IP65 oder IP67 zum Einsatz. Darüber hinaus hat der RJ45-Standard den Vorteil, dass er für den Anschluss von Notebooks oder Engineering-Tools im Servicefall schnell und unkompliziert einsetzbar ist.

In der Abbildung 10-9 und in der Abbildung 10-10 sind zwei Varianten der RJ45-Anschlusstechnik mit verschiedenen Schutzarten dargestellt.

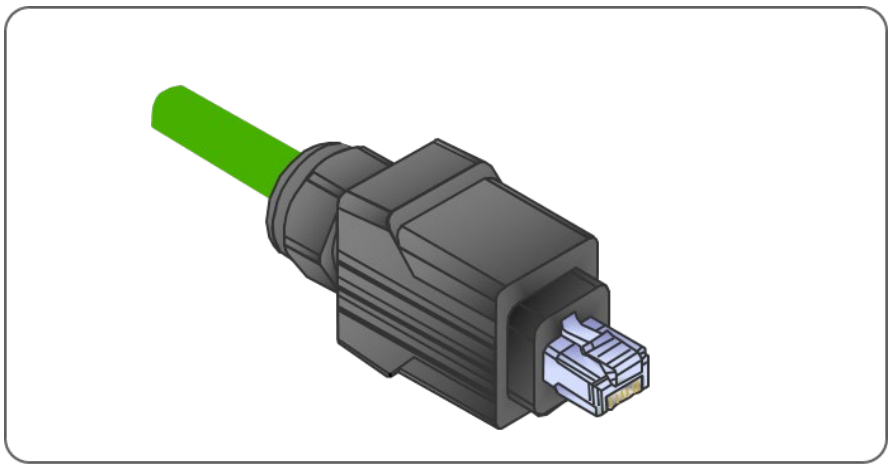


Abbildung 10-9: Typischer RJ45-Push-Pull-Steckverbinder in IP65-Ausführung

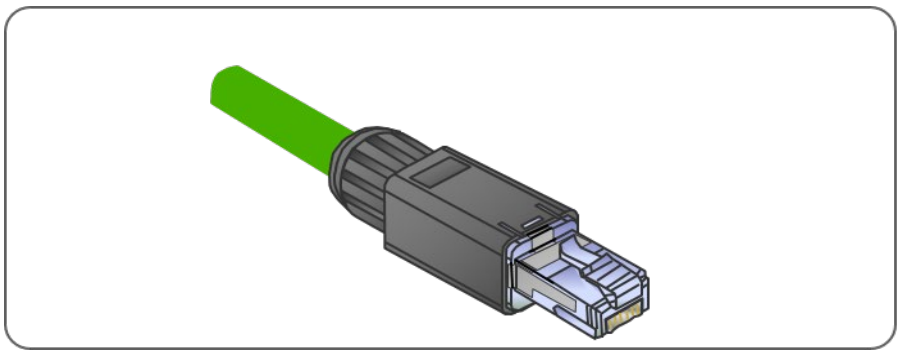


Abbildung 10-10: Typischer RJ45-Steckverbinder in IP20- Ausführung

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

M12 Steckverbinder

Für den Einsatz in rauer Industrieumgebung mit Schutzart IP67 hat die PNO mit dem M12 einen Steckverbinder spezifiziert, der einen sicheren Anschluss für Sensoren / Aktoren bietet. Der M12 ist in der IEC 61076-2-101 normiert.

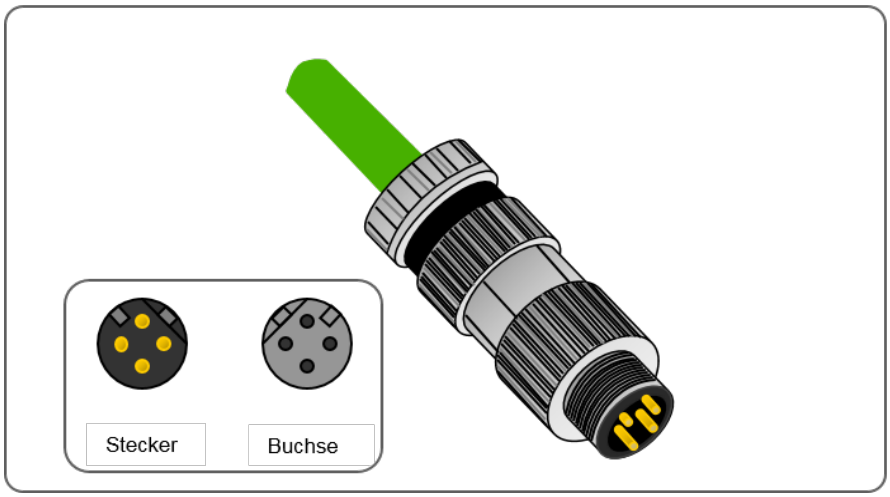


Abbildung 10-11: Typsicher M12-Steckverbinder mit D-Codierung

M12 TypeX Steckverbinder

Für höhere Übertragungsraten in rauer Industrieumgebung ist der M12 TypeX Steckverbinder geeignet.

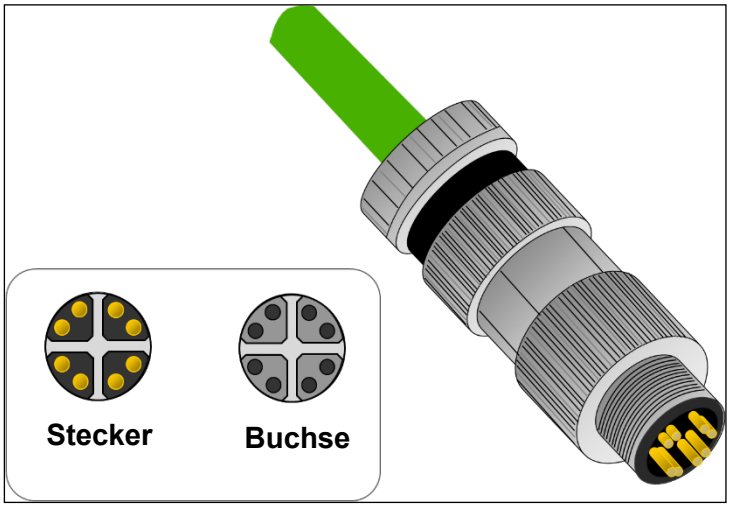


Abbildung 10-12: Typischer M12 TypeX Steckverbinder

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Anschlusstechnik für LWL

Die optischen Schnittstellen von PROFINET-Geräten müssen den Spezifikationen für Multimodefasern (IEC 9314-3) und für Singlemodefasern (IEC 9314-4) entsprechen. Zu unterscheiden sind lösbare und dauerhafte Verbindungen von PROFINET-LWL-Steckverbindern. Diese sollten nur von geschultem Personal mit passendem Spezialwerkzeug konfektioniert werden.

Weiterführende Informationen zu der Konfektionierung von LWL-Steckverbindern bzw. LWL-Kabeln finden Sie in der PROFINET-Montagerichtlinie Order No.: 8.071.

Für die benötigten Werkzeuge zur Kabelkonfektionierung wenden Sie sich bitte an den Hersteller Ihrer bestellten Kabel und / oder an den Hersteller der von Ihnen benötigten Anschlusstechnik.

Dauerhafte Verbindungen von LWL werden immer durch das so genannte Spleißen realisiert. Spleißen wird hauptsächlich eingesetzt, um LWL-Kabel zu verlängern oder um Faserbrüche zu reparieren.

Steckverbinder

Die in den nachfolgenden Abbildungen (Abbildung 10-13 und Abbildung 10-14) dargestellten Steckverbinder sind Prinzipzeichnungen und orientieren sich an den am Markt erhältlichen Modellen. Das tatsächliche Design ist herstellerabhängig.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

SCRJ-Steckverbinder

Zur PROFINET-Datenübertragung mittels LWL ist der SCRJ vorgesehen. Die Grundausführung dieses Steckers ist für den Einsatz in Schaltschränken bestimmt (Schutzart IP20). Für raue Umgebungen oder IP65 / IP67 Anforderungen wird die SCRJ-Push-Pull Variante (Abbildung 10-14) verwendet.

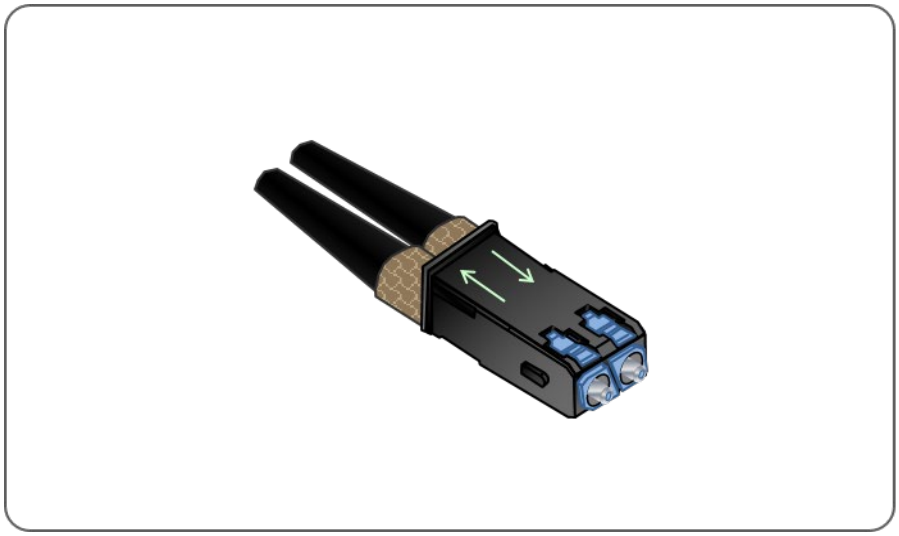


Abbildung 10-13: Typischer SCRJ-Steckverbinder in IP20-Ausführung

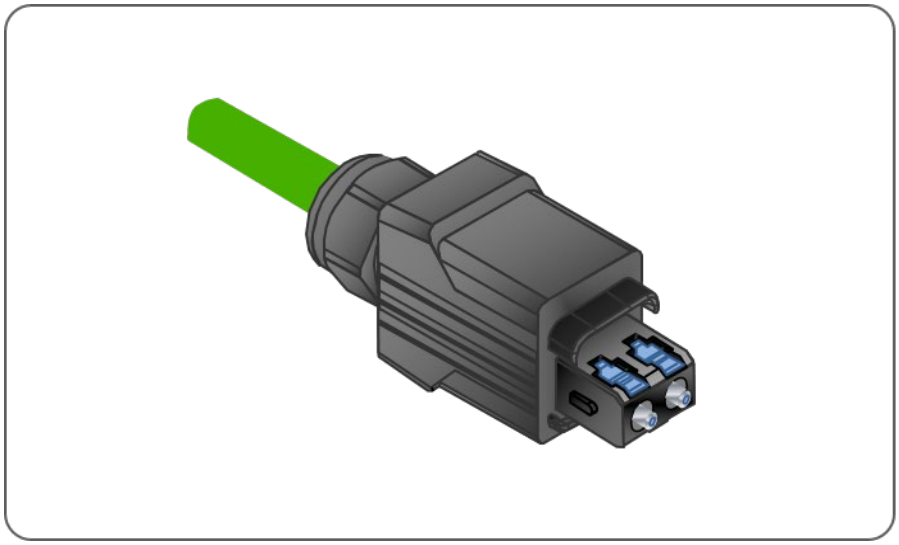


Abbildung 10-14: Typischer SCRJ-Push-Pull-Steckverbinder in IP65-Ausführung

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

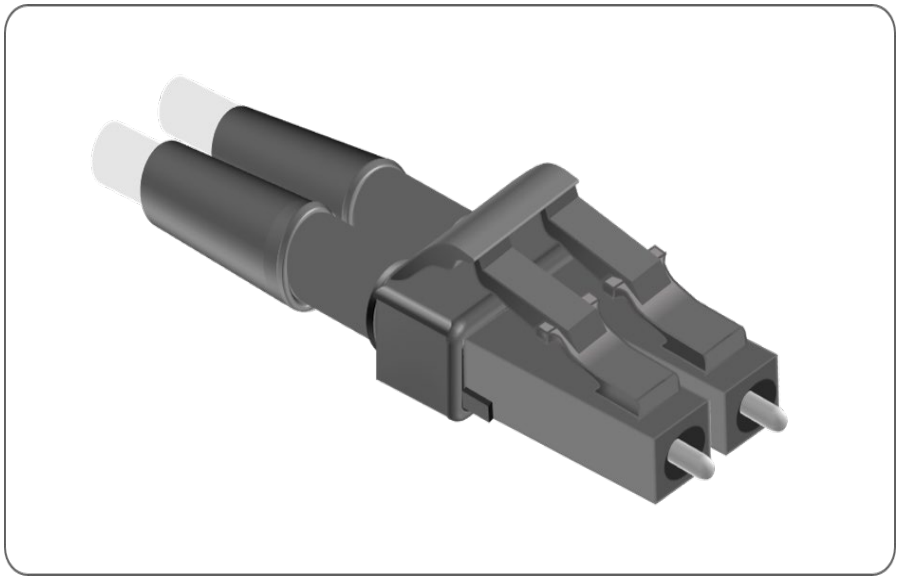


Abbildung 10-15: Typischer LC-Steckverbinder in IP20-Ausführung

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Steckverbinder vom Typ BFOC und SC

Die Verwendung der Steckverbinder vom Typ BFOC / 2,5 (IEC 60874-10) und des SC-Stecksystems (IEC 60874-14) wird für neue Automatisierungsanlagen nicht empfohlen.

Übergangspunkte

Übergangspunkte sind Anschlussmöglichkeiten von PROFINET-Kabeln zur weiteren Verteilung. Für den Einsatz in rauen Umgebungen existieren Ausführungen mit der Schutzart IP65 / IP67 und für den Einsatz innerhalb von Schalt- oder Verteilerschränken sind Module mit der Schutzart IP20 erhältlich.

Zusätzlich unterscheiden sich die verschiedenen Verteiler und Anschlussdosen in:

- der Anzahl und Art von Ports (Kupfer oder LWL),
- der Anzahl maximal zulässiger Steckzyklen,
- der Anschlusstechnik (evtl. wird Spezialwerkzeug benötigt) und
- in der Schutzart.

Genaue Informationen über die technischen Eigenschaften der evtl. von Ihnen benötigten Übergangspunkte entnehmen Sie bitte den Herstellerangaben.

In der Abbildung 10-16 und in der Abbildung 10-17 sind zwei beispielhafte Varianten von RJ45-Verteilern mit verschiedenen Schutzarten dargestellt, die sich an am Markt erhältlichen Modellen orientieren.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

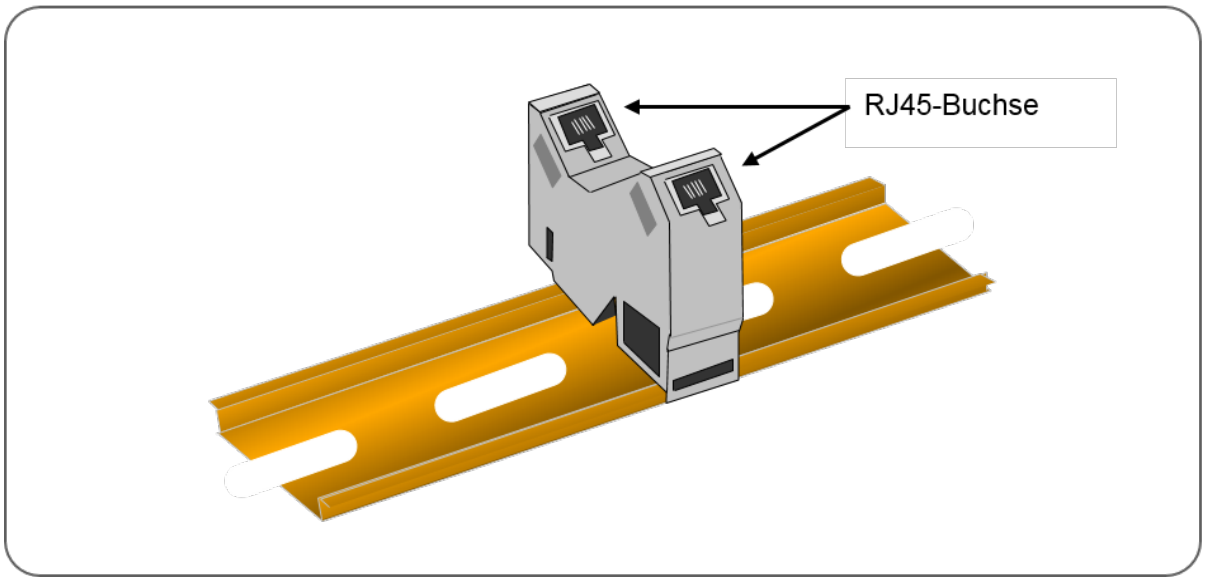


Abbildung 10-16: RJ45-Verteilermodul zur Hutschienenmontage in IP20 Umgebung

Verteilermodule für IP20 Umgebungen sind für alle gängigen LWL- und Kupfer-Steckverbinder mit entsprechenden Buchsen am Markt erhältlich.

Verteilermodule zur Hutschienenmontage können für den Übergang der Festverkabelung (Horizontalverkabelung) zur schaltschrankinternen Verkabelung mit Patch- oder Adapterkabeln genutzt werden.

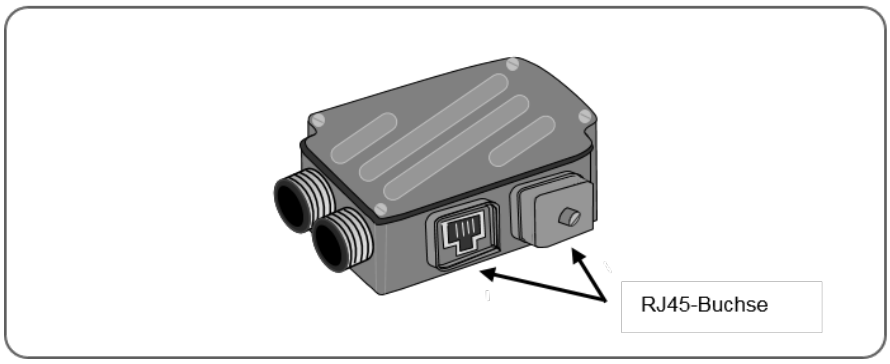


Abbildung 10-17: RJ45-Anschlussdose für IP65 / IP67 Umgebungen

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Anschlussdosen sind für alle gängigen LWL- und Kupfer-Steckverbinder mit entsprechenden Ports und Buchsen von verschiedenen Herstellern erhältlich.

Anschlussdosen können für den Übergang der festen zur flexiblen Verkabelung verwendet werden. Leitungen in Schleppketten können so z.B. leicht ausgetauscht werden.

Wanddurchführungen

Wanddurchführungen dienen zur sicheren Einführung von PROFINET-Kupferkabeln oder von PROFINET-Lichtwellenleitern in Schaltschränke. Derartige Durchführungen erlauben einen Übergang von einer externen IP65/ IP67 Umgebung in eine schrankinterne IP 20 Umgebung.

Genaue Informationen über die technischen Eigenschaften der evtl. von Ihnen benötigten Wanddurchführungen entnehmen Sie bitte den Herstellerangaben.

In der Abbildung 10-18 ist eine RJ45-Push-Pull-Wanddurchführung und in der Abbildung 10-19 eine M12-Wanddurchführung dargestellt. Diese Wanddurchführungen sind Prinzipzeichnungen und orientieren sich lediglich an derzeit am Markt verfügbaren Modellen.

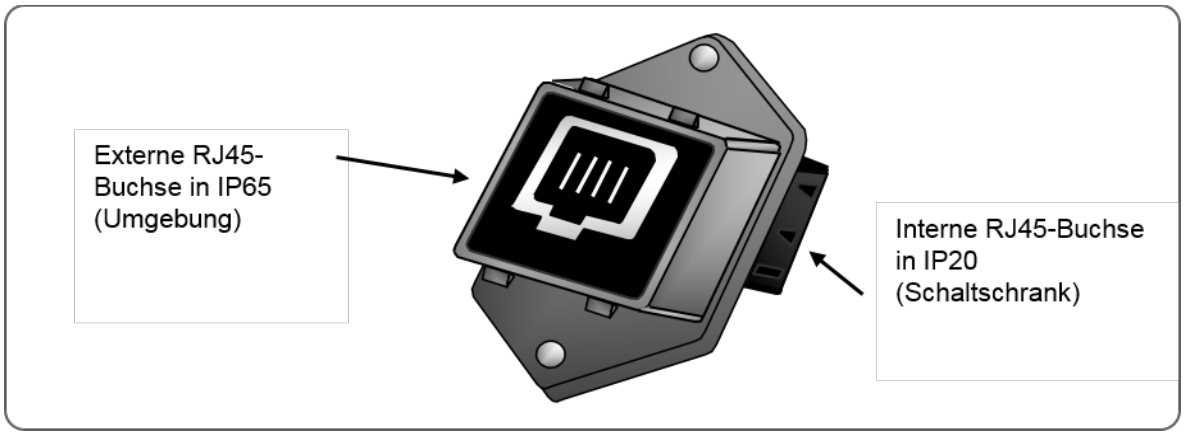


Abbildung 10-18: RJ45-Push-Pull-Wanddurchführung zur Montage an Schaltschränken

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

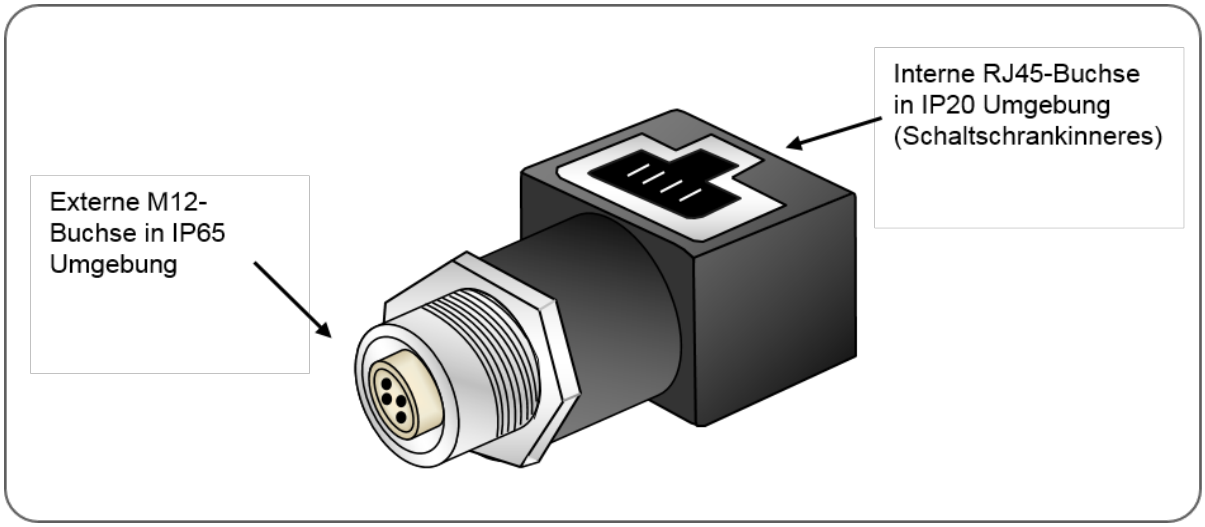


Abbildung 10-19: M12-Wanddurchführung zur Montage an Schaltschränken

10.8 Beispielverkabelungen

Nachfolgend sind zwei Beispiele der Komponentenwahl für LWL- und Kupferverkabelung aufgezeigt. Ein Berechnungsbeispiel zur Dämpfungsbilanz wird an weiteren Beispielen durchgeführt.

Beispiel: Kupferverkabelung

Die in Abbildung 10-20 dargestellte kupferbasierte Verkabelung in Sterntopologie soll zeigen, wie die dazu notwendigen Komponenten gewählt werden könnten.

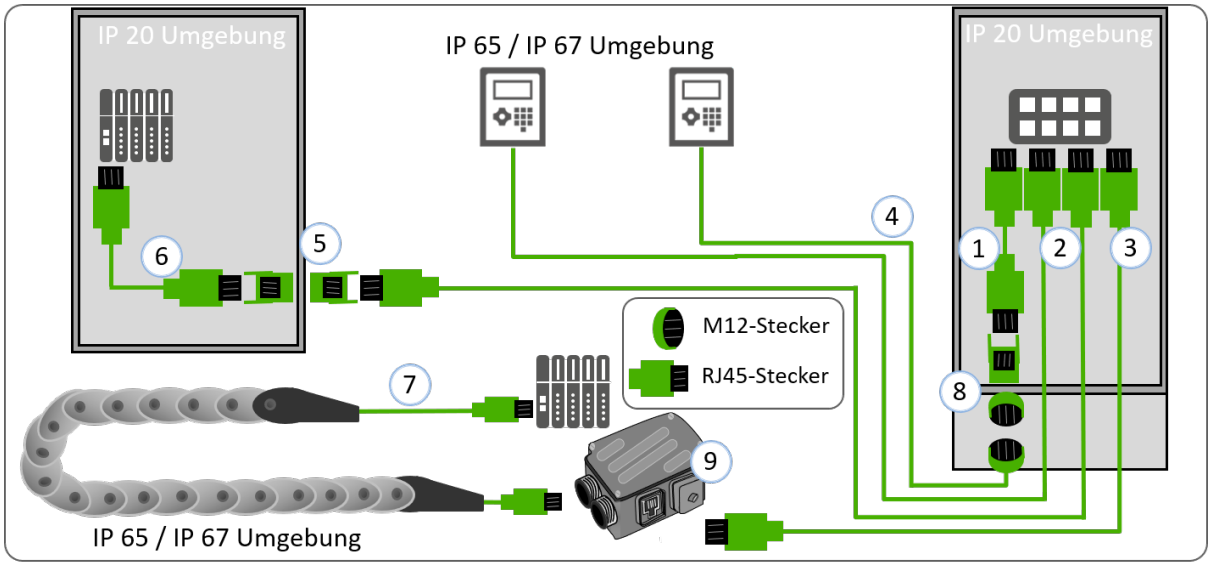


Abbildung 10-20: Beispiele kupferbasierter Verkabelung

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

In Tabelle 10-12 ist die Materialliste für die kupferbasierte Verkabelung auf der vorherigen Seite dargestellt.

Tabelle 10-12: Materialliste kupferbasierte Verkabelung

Nummer	Bezeichnung
1	Vorkonfektionierte PROFINET-Leitung mit RJ45-Steckern in einer IP20-Umgebung
2	Vorkonfektionierte PROFINET-Leitung mit RJ45-Steckern in einer IP65 / IP67-Umgebung
3	Feldkonfektionierbare PROFINET-Leitung, für feste Verlegung mit RJ45-Steckern IP65 / IP67 Umgebung und RJ45 in einer IP20-Umgebung
4	Vorkonfektionierte PROFINET-Leitung mit M12-Steckern zum Einsatz in einer IP65 / IP67-Umgebung
5	Wanddurchführung zur Umsetzung von RJ45 IP65 / IP67 auf RJ45 IP20
6	Vorkonfektionierte PROFINET-Leitung, für feste Verlegung mit RJ45-Steckern in einer IP20-Umgebung
7	Feldkonfektionierbare PROFINET-Leitung Schleppkettentauglich mit RJ45-Steckern in einer IP65 / IP67-Umgebung
8	Wanddurchführung on M12 IP65 / IP67 auf RJ45 IP20
9	RJ45-Anschlussdose für eine IP65 / IP67 Umgebung

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Beispiel: LWL-Verkabelung

Die in Abbildung 10-21 dargestellte LWL-Verkabelung in Sterntopologie soll zeigen, wie die dazu notwendigen Komponenten gewählt werden könnten.

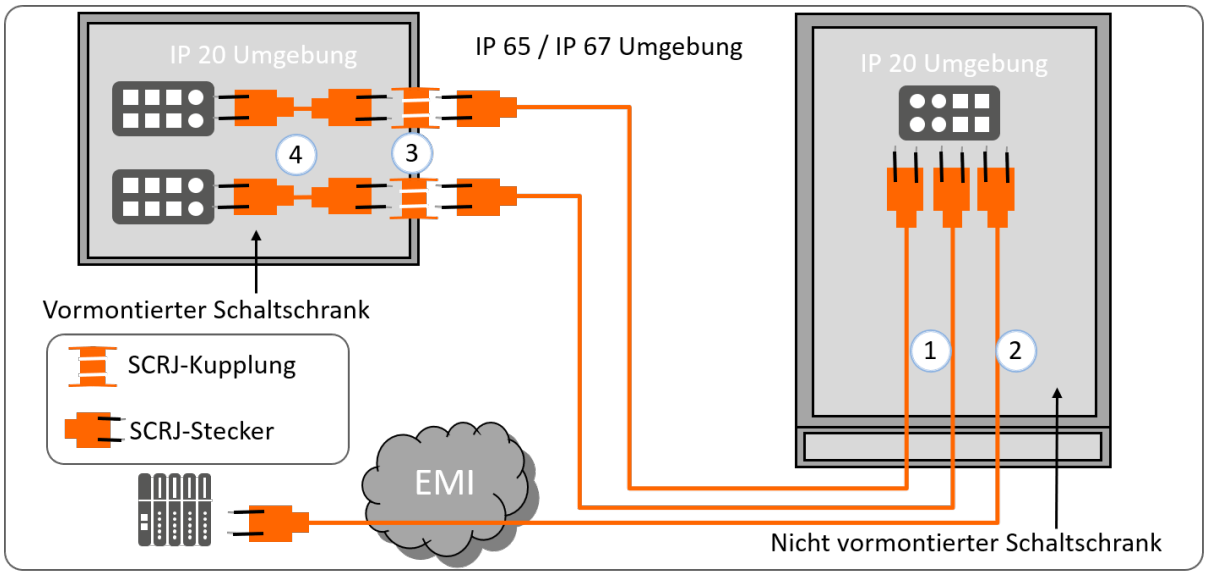


Abbildung 10-21: Beispiel: LWL-Verkabelung

Passive Kopplungen wie z. B. Verteilermodule, Anschlussdosen oder Wanddurchführungen erhöhen die Signaldämpfung und reduzieren dadurch die maximale Leitungslänge.

Bei POF-Leitungen reduziert sich z. B. die max. Länge um ca. 6,5 m je passiver Kupplung. So reduzieren zwei passive Kopplungen die Maximallänge einer POF-Leitung von 50 m 50 m- 2 · 6.5 m = 37 m.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

In Tabelle 10-13 ist die Materialliste für die LWL-Verkabelung auf der vorherigen Seite dargestellt.

Tabelle 10-13: Materialliste LWL-Verkabelung

Nummer	Bezeichnung
1	Vorkonfektionierte LWL Leitung beidseitig mit SCRJ- Steckverbindern in IP65 / IP67 und in IP20 Umgebung
2	Vorkonfektioniertes POF Kabel beidseitig mit SCRJ-Steckverbindern in IP65 / IP67 und in IP20 Umgebung
3	SCRJ-Wanddurchführung von IP65 / IP67 auf IP20 Umgebung
4	Vorkonfektioniertes Adapterkabel mit SCRJ- Steckverbindern in IP20 Umgebung

Kupplungen und Steckverbinder sind in vielen Variationen für unterschiedliche Anwendungsfälle am Markt erhältlich. Ziehen Sie bei der Auswahl der Anschlusstechnik die Produktkataloge der Hersteller zu Rate, um für Ihre Applikation die geeignete Anschlusstechnik zu finden.

Dokumentieren Sie Ihre Auswahl der Anschlusstechnik.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Berechnungsbeispiele

Anhand von zwei Beispielen wird nun die Berechnung von Dämpfung erläutert.

Abbildung 10-22 zeigt ein einfaches Beispiel einer Single-Mode-Glasfaserstrecke.

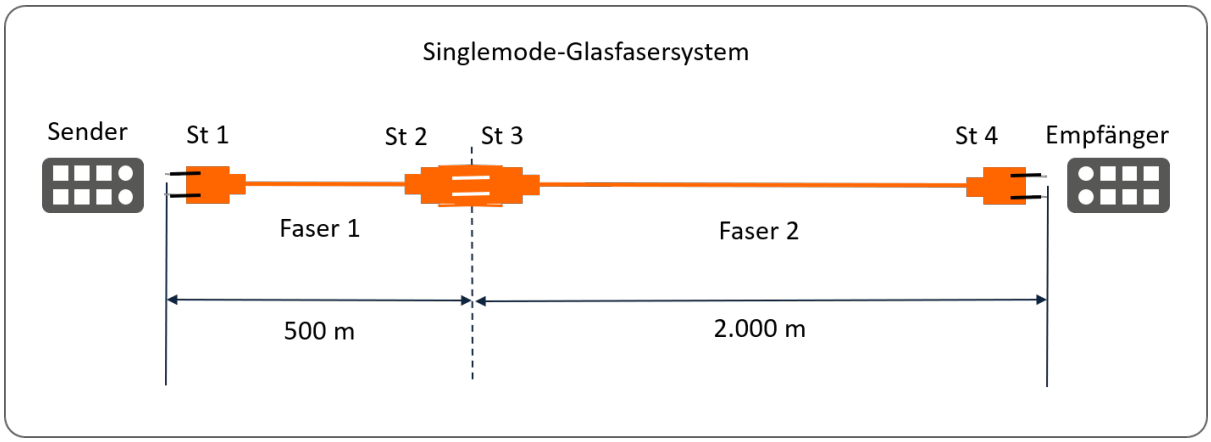


Abbildung 10-22: Darstellung der Dämpfungsbilanz bei Singlemode-Glasfaserstrecken

Beachten Sie bitte, dass im Verlaufe der Strecke die Steckstellen (Verbindungsstelle von 2 Steckern) zu zählen sind, nicht die Stecker selber

In Tabelle 10-14 sind die einzelnen passiven Komponenten, die von ihnen verursachten Dämpfungen und die Gesamtdämpfung für das Beispiel in Abbildung 10-22 dargestellt. Die Dämpfung der Faser wird mit 0,5 dB/km angenommen. Die Verbindungen erzeugen jeweils eine Dämpfung von 0,75 dB. Nach Tabelle 3-6 beträgt die maximal zulässige PROFINET-End-to-end-link-Dämpfung 10,3 dB.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Dämpfungsbilanz:

Tabelle 10-14: Berechnung der End-to-end-link-Dämpfung bei Singlemodefasern

Faser 1 500 m	Verbindungen (St 1+2/3+4)	Faser 2 2 000 m	Gesamtdämpfung √
0,25 dB	3 · 0,75 dB	1 dB	= 3,5 dB
Die maximal zulässige Dämpfung beträgt 10,3 dB			

Abbildung 10-23 zeigt die Dämpfungsberechnung am Beispiel einer Polymerfaserstrecke (POF).

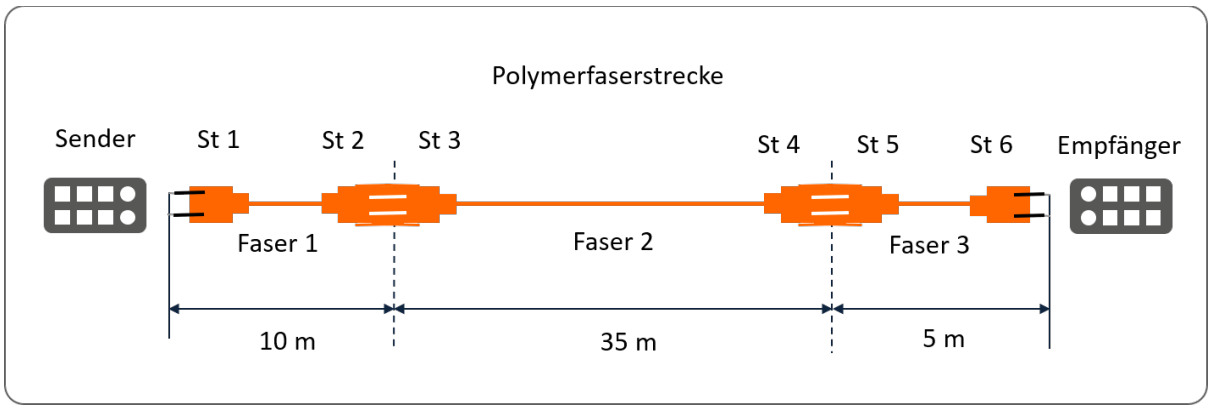


Abbildung 10-23: Darstellung der Dämpfungsbilanz von POF-LWL-Strecke

In Tabelle 10-15 sind die einzelnen passiven Komponenten, die von ihnen verursachten Dämpfungen und die Gesamtdämpfung für das Beispiel in Abbildung 10-23 dargestellt. Nach Tabelle 3-7 beträgt die maximal zulässige PROFINET-End-to-end-link-Dämpfung 11,5 dB.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Dämpfungsbilanz:

Tabelle 10-15: Berechnung der End-to-end-link-Dämpfung bei Polymerfaserstrecken

Faser 1 **10 m**	**Steckverbinder** **(St 1+2/3+4/5+6)**	**Faser 2** **35 m**	**Faser 3** **5 m**	**Gesamtdämpfung** X
2,3 dB	4 · 1,5 dB	8,05 dB	1,15 dB	= 17,5 dB
Die maximal zulässige Dämpfung beträgt 11,5 dB				

Wie zu erkennen ist, übersteigt die PROFINET-End-to-end-link-Dämpfung in diesem Beispiel den maximal zulässigen Wert. Um einen Wert ≤ 11,5 dB zu erreichen, müssten entweder die Übertragungsstrecke oder die Anzahl der passiven Kupplungen entsprechend reduziert werden.

Die Berechnung und ggf. graphische Darstellung der Dämpfungsbilanz zeigt, ob die geplante LWL-Strecke die übertragungstechnischen Anforderungen erfüllt.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

10.9 Auswahl Switches

Für PROFINET geeignete Switches sind für Fast-Ethernet (100 Mbit/s, IEEE 802.3u) und Full-Duplex Übertragung ausgelegt. Im Full-Duplex-Betrieb empfängt und sendet ein Switch gleichzeitig Daten am selben Port. Es treten keine Kollisionen auf.

Switches existieren am Markt in IP20 Ausführungen zur Hutschienenmontage und in IP65/67 Ausführungen für die Montage im Feld. Folgender Abschnitt erläutert einige Funktionen von Switches die bei der Auswahl berücksichtigt werden. Zunächst sind die Switches in zwei Typen eingeteilt:

- Unmanaged Switches
- Managed Switches (zusätzlich mit PROFINET-Funktionalität)

Der Vorteil des PROFINET ist die Priorisierung des PROFINET-Datenverkehrs. Diese ist jedoch nur gewährleistet, wenn Switches mit „Quality of Service“ (QoS)-Support verwendet werden (IEEE 802.1q / p).

Unmanaged Switches

Unmanaged Switches schalten den gesamten Datenverkehr auf Basis der Adress-/Port-Zuordnungstabelle. Der Anwender hat hier keine Eingriffsmöglichkeiten. Hierbei handelt es sich um eine kostengünstige Variante eines Switches.

Ein unmanaged Switch bietet kein Web-Interface und hat keine Diagnosefunktionen.

Verwendung findet dieser Typ Switch in Conformance Class A Netzwerken.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Managed Switch

Bei den Managed Switches bieten gegenüber den unmanaged Switches einige Vorteile. Diese Vorteile sind z. B. diverse Eingriffsmöglichkeiten für den Anwender über ein Web-Interface und integrierte Diagnosefunktionen. Die Fähigkeiten der Managementsoftware sind von Switch zu Switch unterschiedlich und beinhaltet Punkte von der Redundanzsteuerung bis hin zur Statistikauswertung des Datenverkehrs im Netzwerk.

Managed Switches unterstützen Diagnosefunktionen. Die bereitgestellten Funktionen der Switches werden entweder über ein Web-Interface oder ein entsprechendes Projektierungswerkzeug gesteuert bzw. ausgelesen.

Damit ein Switch als PROFINET-Gerät erkannt werden kann, muss der Switch die PROFINET-IO-Dienste unterstützen. Die Erkennung eines Switch als PROFINET-Gerät ist ab Conformance Class B Netzwerken vorgesehen.

Managed Switches sind in Conformance Class B und C Netzwerken einzusetzen, wenn z.B. die Redundanzsteuerung genutzt werden soll.

Switches können zusätzliche nach dem „Cut-through“ oder „Store-and-Forward“ Switching-Verfahren unterschieden werden

Cut-Through Switches

Cut-Through Switches bieten eine geringere Durchleiteverzögerung als „Store-and-Forward“ Switches, weil das Nachrichtenpaket direkt nach dem Erkennen der Zieladresse weitergeleitet wird. Bei dieser Betriebsart werden nur so viele Bytes des Datenpaketes im Puffer des Switches zwischengespeichert, wie für die Auswertung in der Adress-/Port-Zuordnungstabelle erforderlich ist. Danach werden alle eingehenden Bytes des Datenpaketes direkt an den entsprechenden Port ohne Zwischenspeicherung weitergeleitet. Die Weiterleitverzögerung ist hier nicht abhängig von der Telegrammlänge des zu übertragenen Datenpakets.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Store-and-forward Switches

Store-and-forward Switches lesen und puffern das gesamte Nachrichtenpaket am ankommenden Port. Danach wird das komplette Datenpaket auf Fehler geprüft und weitergeleitet, sofern es fehlerfrei ist. Durch die vollständige Zwischenspeicherung kommt es bei diesen Switches zu längeren Durchlaufzeiten, als bei Switches die nach dem Cut-Through Verfahren arbeiten. Die Weiterleitverzögerung ist hier abhängig von der Telegrammlänge des zu übertragenen Datenpakets.

Autosensing/Autonegotiation

Autosensing beschreibt die Eigenschaft von Netzknoten (Endgeräte und Netzkomponenten) automatisch die Übertragungsrate eines Signals zu erkennen.

Autonegotiation beschreibt die zusätzliche Eigenschaft der beteiligten Knoten, vor der ersten Datenübertragung, die Übertragungsrate miteinander auszuhandeln und zu vereinbaren.

Wenn Fast Startup an einem Port verwendet wird, sollte zur weiteren Verbesserung der Hochlaufzeit Autonegotiation deaktiviert sein.

Auto-Cross-Over

Auto-Cross-Over ermöglicht die automatische Kreuzung der Sende- und Empfangsleistungen an Twisted-Pair Schnittstellen. Ist diese Funktion deaktiviert so wird zum Verbindungsaufbau möglicherweise ein Cross-Over-Kabel oder ein Switch mit Portbeschaltung zum Kreuzen der Anschlüsse benötigt.

Wenn Fast Startup an einem Port verwendet wird, sollte zur weiteren Verbesserung der Hochlaufzeit Auto-Cross-Over deaktiviert sein.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Redundanzunterstützung

Die Redundanzunterstützung ermöglicht die stoßfreie bzw. nicht stoßfreie Umschaltung von ausgefallenen Verbindungen auf eine redundante Leitung.

Die Realisierung der Redundanz erfolgt bei PROFINET IO nur durch managed Switches, die ein entsprechendes Redundanz-Protokoll (MRP) unterstützen und über ein Projektierungswerkzeug oder Web-Service konfiguriert werden.

Port Mirroring

Port Mirroring ist für die Diagnose in einem Netz eine hilfreiche Funktion. Sie ermöglicht es, die alle ein- und ausgehenden Daten an einem Port eines Switches (dem mirrored Port) auf einen anderen Port (dem Mirror-Port) zu kopieren und dort zu analysieren. Die meisten Switches mit Port Mirroring erlauben die Auswahl und Konfiguration von Mirror-Port und mirrored-Port über das Web-Interface des Switches.

Beachten Sie, dass Port Mirroring nur von managed Switches zur Verfügung gestellt wird. Beachten Sie auch, dass viele managed Switches kein Port Mirroring unterstützen. Stellen Sie sicher, dass diese Funktion vom Switch unterstützt wird, sofern sie diese einsetzen möchten.

Weiterführende Informationen zu den Diagnosemöglichkeiten finden Sie in der PROFINET-Inbetriebnahmerichtlinie Order No.: 8.081.

Power over Ethernet

Power over Ethernet (PoE) erlaubt es Geräte über die Ethernet-Leitung mit Energie zu versorgen. Ein Switch mit einem PoE-Injektor wird hierfür benötigt.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Switches mit PoE-funktionalität sind in verschiedenen Ausführungen bezüglich der maximalen Leistung verfügbar. Wählen Sie den Typ entsprechend zur Anzahl der zu versorgenden Komponenten.

Gigabit-Ethernet

Sollen PROFINET-Netzwerke mit einer Übertragungsgeschwindigkeit von 1000 Mbit realisiert werden, muss dieses ebenfalls von den Switches unterstützt werden. Wählen Sie entsprechende Modelle mit der benötigten Anzahl an Gbit fähigen Ports aus.

Die Unterstützung der jeweiligen Conformance Class

Wie bereits erwähnt, muss auch ein Switch die jeweiligen Anforderungen an die Conformance Class erfüllen.

Der Hersteller muss angeben, für welche Conformance Class der Switch geeignet ist. Verwenden Sie ausschließlich Switches, die von der PNO zertifiziert worden sind.

10.10 Funktionspotentialausgleich und Schirmung von PROFINET

Informationen zum Funktionspotentialausgleich und zur Schirmung finden Sie in der Richtlinie Funktionspotentialausgleich und Schirmung von PROFIBUS und PROFINET, Order No.: 8.101.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

10.11 PROFINET Dokumentation

Dieses Kapitel macht einen Vorschlag für die Dokumentation von PROFINET Netzwerken. Die Hinweise sind als Empfehlungen anzusehen. Abhängig von den Gegebenheiten in der Anlage bzw. im Unternehmen kann von den Vorgaben abgewichen werden.

10.11.1 Dokumentationsrelevante Informationen PROFINET

Vor Beginn der Dokumentation sollten die folgenden Aspekte geklärt werden:

- Verantwortlichkeiten
  - Für Erstellung der Netzwerkdokumentation
  - Für Verwaltung der Netzwerkdokumentation
  - Gibt es Anlagenverantwortliche? Gibt es Verantwortlichkeiten für einzelne Anlagenteile?
- Wie und wo soll die Dokumentation verteilt werden?

Das Deckblatt soll alle identifizierenden Informationen enthalten:

- Identifikation der Dokumentation
  - Art des Dokumentes (hier: Netzwerkdokumentation)
  - Identifikationsnummer / -name
  - Ausgabedatum
  - Revisionsindex oder Versionsstand
  - Revisionsdatum
  - Status des Dokumentes (Ist das Dokument ein Entwurf oder eine finale Version?)
  - Spezifische Daten (Kundenname, Anlagenname)
- Informationen zum Ersteller
  - Name der Firma
  - Adresse der Firma
  - Verantwortlicher Autor

Die Netzwerkdokumentation soll vom Überblick des Netzwerkes der Gesamtanlage, über Detailansichten der Netzwerke von Teilanlagen, hin zu gerätespezifischen Angaben erfolgen. Die Übersicht über die Topologie eignet sich aufgrund der visuellen Darstellung für den ersten Einstieg.

- An R&I-Diagramm, Anlagenstruktur oder Architektur der Räumlichkeit angelehnt
- Einzeichnen der Assets
  - Automatisierungsgeräte
  - Netzinfrastruktur
    - Verkabelung inklusive Patch-Felder
    - Verdrahtungsreihenfolge muss richtig dargestellt sein

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

        - Ringtopologien sind zu vermerken
    - Anlagen-Verantwortliche notieren
- Bezeichnung / Benennung der Geräte muss enthalten sein
    - Typ / Art des Gerätes (SPS, Switch, Repeater, …)
    - Klare Zuordnung zu Örtlichkeiten schaffen
        - Gebäude(teil) benennen
        - Räumlichkeit benennen
        - Höhenangabe notieren, vereinfacht das Finden der Geräte (z.B. im Hochregallager)
        - Schaltschrank notieren
- Verbindungsklemmen der Geräte (Ports) müssen bezeichnet sein
- Segmentierungsplan
- Informationen zum Kabel
    - Kabellänge zwischen zwei Teilnehmer
    - Kabel-Typ des verwendeten Kabels (in Kabelliste vorhanden?)
    - Medium (Kupfer, LWL) muss notiert sein
        - Wo sind Konverter von Kupferkabel auf LWL verwendet?

Weiterführende Informationen sollten aus Gründen der Übersichtlichkeit separat im Anhang zur Topologie aufbewahrt werden.

- Informationen über Produkte
    - Hersteller
    - Laufende Nummer der Geräte
    - Modell- / Typbezeichnung
    - Ersatzteile
        - Seriennummer
        - Typnummer
        - Versionsnummer
        - (alternative) Bezugsquelle
        - Referenzbild
    - Datenblätter aufbewahren
    - Funktion des Gerätes beschreiben
    - Zertifikate
    - Genutzte Software- bzw. Firmware-Stände dokumentieren
- Referenzmessung des Netzwerkes dokumentieren
    - Netzwerkauslastung im Normalbetrieb messen und dokumentieren
    - Stellen mit zu erwartenden EMV-Störungen markieren
    - Validierungsreport Physical-Layer (Wie sind die physikalischen Größen bei Inbetriebnahme?)
    - Validierungsreport Communication-Layer (Wie sieht die Daten-Modulierung aus?)

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

  - Validierungsreport Ex-Bereich (Welche Geräte sind im Ex-Bereich eingesetzt? Sind diese zertifiziert?)
  - Gibt es Verzögerungszeiten? Wie lange dauert die Verzögerung?
- Informationen für den Fehlerfall
  - Liste zur Fehlerlokalisierung
  - Beschreibung der eingebauten Diagnosesysteme
  - Zeichnungen und Diagramme
  - Kontaktdaten zur weiteren Hilfe (Hotline / Support)
  - Wer hat die Verantwortlichkeit für die Anlage(nteile)?

Für PROFINET-Netzwerke sind weitere Informationen zu dokumentieren.

- Devicename im Topologie-Plan dokumentieren
- IP-Adresse im Topologie-Plan am Gerät notieren
- Subnetzmaske im Topologie-Plan am Gerät notieren
- MAC-Adressen der Geräte auflisten
- GSD gesichert? Welche GSD sind verwendet?
- Welche Protokolle werden genutzt? Welche Dienste werden unterstützt?
- Ringtopologie und zugehörige Umschaltzeiten

Folgende besondere Merkmale der Dokumentation sind für ein IT-Security-Audit aufzuführen:

- Bei Verwendung von Firewalls
  - Ist die Firewall durch Passwörter geschützt?
  - Einbauort (physikalisch und logisch) kennzeichnen
  - Regelwerk der Firewalls dokumentieren
- Virenscanner
  - Vorhanden?
  - Wie oft wird dieser aktualisiert?
  - Wie oft wird das Segment gescannt?
- Welche Ports / Dienste sind aktiv?
- Weisen die aktuellen Firmware-Stände Sicherheitslücken auf?
- VLANs vorhanden?
- Passwörter
  - Vorhanden?
  - Geändert, falls Standardpasswort vorhanden war?
  - Zugriffsberechtigung zu den Passwörtern geregelt?
- Zugangsberechtigungen zu sensiblen Räumlichkeiten geregelt? (F&E)
- Dokumentation von Mitarbeiterschulung
- Notfallhandbuch vorhanden?
  - Wie ist das Verhalten im Angriffsfall geregelt?

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

10.11.2 Vorschlag einer Vorwärtsdokumentation

Dieses Kapitel soll zur Unterstützung der kompakten Informationen aus dem Kapitel 10.11.1 dienen. Dazu werden die einzelnen Schritte einer Vorwärtsdokumentation textuell erörtert und die Schwierigkeiten beschrieben.

Eine Netzwerkdokumentation besitzt häufig mehr als eine Zielgruppe (Montage, Revision, Betreiber, Fehlersuche, Auditierung). Jedoch kann vereinfacht in zwei Interessensbereiche getrennt werden (vergleiche Abbildung 10-24).

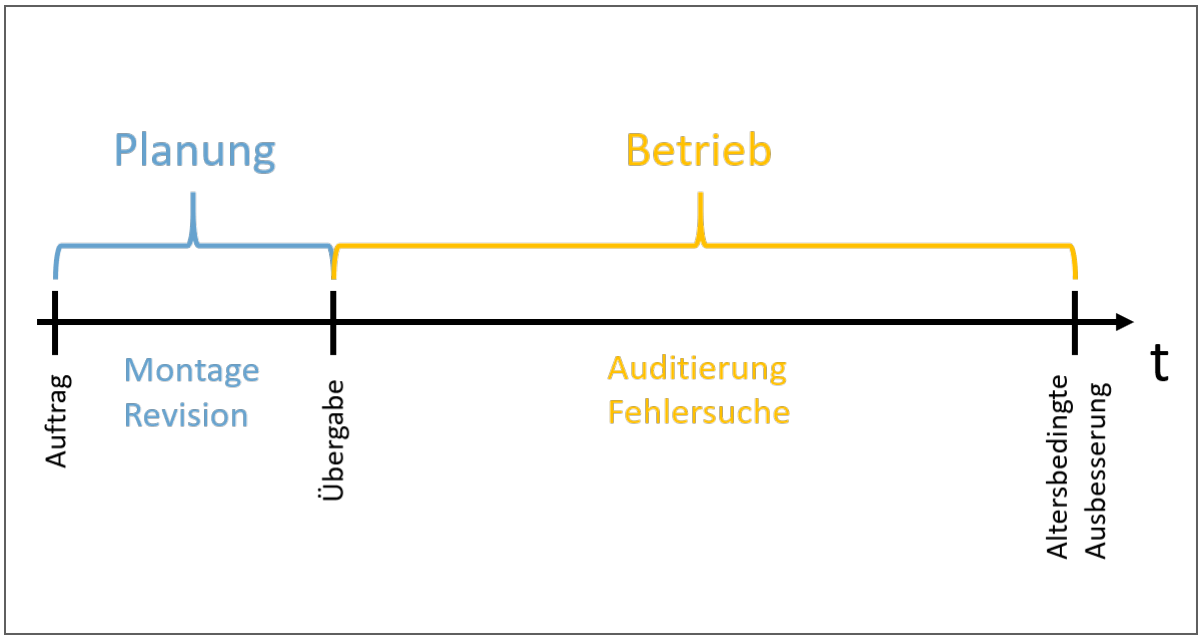


Abbildung 10-24: Interessen im Lifecycle einer Anlage

Da die Montage sowie die Revision meist Stromlaufpläne zur Hilfe nehmen, ist die hauptsächliche Zielgruppe der Netzwerkdokumentation der Betreiber einer Anlage.

Der nächste Schritt legt fest in welchem Format die Netzwerkdokumentation erstellt wird. Es muss klar sein, ob gedruckte Pläne ausgelegt oder die Dokumentation digital erfolgen soll. Bedenken Sie dabei den Zugriffsschutz auf sensible Daten. Digitale Pläne müssen in ein Datei-Format abgespeichert werden, bei dem der Zugriff (lesend und schreibend) und die Lesbarkeit sowie die Integrität der Daten gewährleistet wird. Bitte beachten Sie die Aufbewahrungsdauer. Über diese Zeit muss die Dokumentation zur Verfügung stehen.

Weiterhin müssen die Verantwortlichkeiten für die Erstellung sowie für die Verwaltung der Dokumentation im Betrieb festgesetzt sein. Bei größeren Unternehmen oder Anlagen ist es erforderlich die Verantwortlichen für die betroffene Anlage oder Anlagenteile einzuholen.

Der Anfang einer Vorwärtsdokumentation bildet das Deckblatt. Dieses sollte alle identifizierenden Informationen (Anlage, Ersteller, Verantwortlichkeit) bereitstellen. Die Information zur

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Revision (Index, Datum) ermöglichen mit dem Versionsstand die eindeutige Bestimmung der Aktualität. Darüber hinaus ist es sinnvoll den Status aufzuführen. Der Ersteller der Dokumentation muss für Rückfragen eindeutig identifizierbar sein.

Es ist ein Inhaltsverzeichnis zu erstellen. Dieses sollte nach dem Deckblatt folgen. Je genauer das Inhaltsverzeichnis gestaltet ist, desto gezielter kann auf die Informationen zugegriffen werden.

Beginnen Sie mit dem Topologie-Plan. Dabei ist es hilfreich mit der Vorlage der Architektur oder eines R&I-Diagramms zu arbeiten. Hier sind alle notwendigen Netzwerkteilnehmer einzuzeichnen und fortlaufend zu nummerieren. Vergeben Sie eindeutige Gerätenamen (Devicename). Der Name sollte sich aus dem Typ oder der Funktion des Teilnehmers zusammensetzen und einen Hinweis zur Lokalisierung (Gebäude / -teil, Räumlichkeit) geben. Die Lokalisierung kann dabei durch eine Höhenangabe ergänzt werden. Ergänzen Sie die Topologie um die IP-Adresse und Subnetzmaske eines jeden Gerätes. Die verschiedenen Verantwortlichkeiten der Segmente oder Gebäudeteile müssen im Plan klar zu erkennen sein.

Dokumentieren Sie jedes Kabel und jede Steckverbindung in der korrekten Reihenfolge. Die Steckverbindung am Gerät ist durch Angabe des Ports des Teilnehmers eindeutig im Plan einzutragen. Es ist besonders auf Patch-Felder zu achten. Ringtopologien sind ausdrücklich zu kennzeichnen. Es ist sinnvoll jede Verbindung eindeutig zu benennen (Kabelliste vorhanden?) und die verlegte Kabellänge zu notieren. Sollten unterschiedliche Medien (Kupfer, LWL, Drahtlos) Verwendung finden, sind diese unterschiedlich zu zeichnen.

Alle weiterführenden Informationen sollten sich im Anhang zu der Übersicht befinden, damit die Übersicht bleibt, was sie ist, und zwar übersichtlich. Es bietet sich eine tabellarische Auflistung aller Informationen im Anhang geordnet nach Kategorien (Produkt, Kabel) an.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Tabelle 10-16 umfasst die weiterführenden Informationen. Notieren Sie die genutzten Protokolle und Dienste der einzelnen Geräte. Zusätzlich sind alle Datenblätter und Zertifikate aufzubewahren. Es empfiehlt sich neben den Informationen aus Tabelle 10-16 die Typnummer, (alternative) Bezugsquellen und ein jeweiliges Bild des Teilnehmers in der Dokumentation aufzubewahren.

Erweitern Sie die Dokumentation um die Kalkulation der Netzwerkauslastung sowie die Messung dieser in den einzelnen Segmenten. Notieren Sie weiterhin die Verzögerungszeiten in der Datenkommunikation während der Inbetriebnahme. Ebenfalls sind EMV-gefährdete Bereiche zu markieren. Hilfreich ist je ein Validierungsreport zum Physical-Layer und Communication-Layer. Aus diesen soll hervorgehen, ob und in wieweit die physikalischen (Strom, Spannung) und kommunikationstechnischen (Flankenanstiegszeit, Flankenabfallzeit) Vorgaben zum PROFINET von der Anlage ursprünglich eingehalten wurden.

Markieren Sie alle eingebauten Diagnosesysteme und notieren Sie die Kontaktdaten zur weiteren Hilfe wie Fachverantwortliche, -berater oder Hotline und Support.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Tabelle 10-16: Zusätzliche Informationen zu den Geräten in der Topologie

Nr.	Devicename	Hersteller	Modell / Typ	MAC-Adresse	HW-Ver-sion	Firmware	Seriennummer
1	Sw.HA1.1	Hersteller 1	Switch 12	12-34-56-78-9A-BC	1.3	1.3.1	ABC-12345
2	SPS.HA1.1	Hersteller 2	SPS 5	13-24-56-11-90-01	2.0	2.2	1920-1812-8212-0

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Bei IT-Security Audits müssen weitere Informationen vorgehalten werden. Für die Bewertung der IT-Sicherheit sind die Verwendungsstellen von Firewalls in der Topologie zu kennzeichnen. Dokumentieren Sie das Regelwerk jeder Firewall. Dokumentieren Sie weiterhin, ob Standardpasswörter geändert sind. Eine Passwortliste ist zu empfehlen, um den Verlust des Wissens durch Erkrankung, Unfall, Tod oder Arbeitsplatzwechsel zu vermeiden. Achten Sie auf den Zugriffsschutz. Darüber hinaus sollten Sie die Mitarbeiterschulung zur IT-Sicherheit dokumentieren und ein Notfallhandbuch mit Verhaltensregeln im Angriffsfall vorweisen können. Unter Verwendung eines Virenscanners dokumentieren Sie die Häufigkeit der Aktualisierung und die Häufigkeit der Scan-Vorgänge. Dokumentieren Sie weiterhin vorhandene VLANs.

10.11.3 Beispiel einer Vorwärtsdokumentation PROFINET

Tabelle 10-17 zeigt die Vorüberlegungen.

Tabelle 10-17: Beispiel Vorwärtsdokumentation PROFINET Vorüberlegung

Zielgruppe	Betreiber, Fachkenntnisse vorhanden, Fachsprache ok	
Zielland / Zielsprache	Deutschland / deutsch	
Art der Ausgabe	Print, Pläne zentral verwalten, Zugriff nur durch Gegenzeichnen	
Anzahl der Ausgaben	3 (1 Planung, 1 Betreiber, 1 Sicherung extern)	
Zeitraum der Verfügbarkeit	12 Jahre, durch drei gedruckte Pläne an verschiedenen Orten sichergestellt	
Verantwortlichkeiten	Erstellung	Firma A, Herr Mustermann
	Verwaltung	Firma Betreiber, Frau Musterfrau
	Anlage	Frau Meier (Verwaltung) Herr Schmidt (Halle 1) Frau Schulze (Halle 2)

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Abbildung 10-25 zeigt beispielhaft ein mögliches Deckblatt.

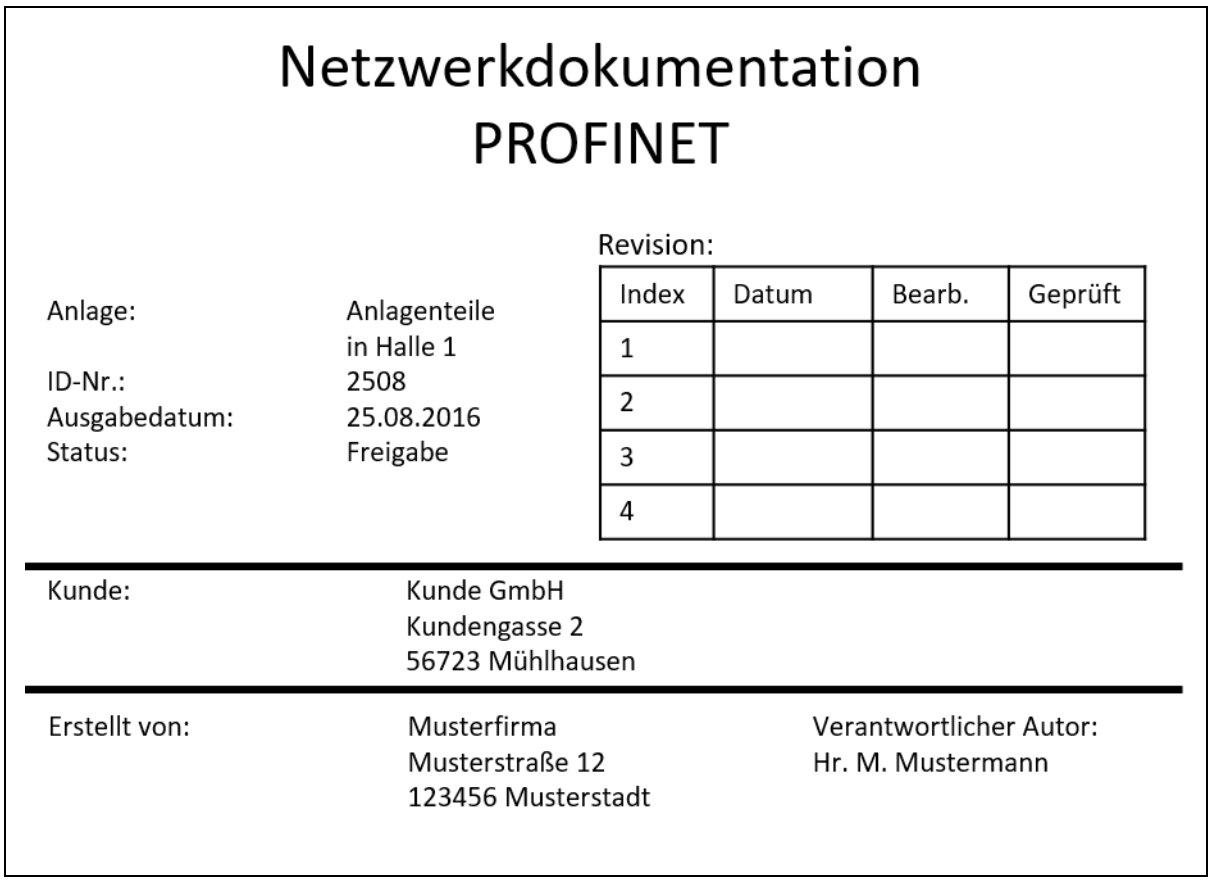


Abbildung 10-25: Beispiel Vorwärtsdokumentation PROFINET Deckblatt

Die Informationen des Deckblattes sollen auf allen weiteren Seiten ebenfalls vorhanden sein. Dazu eignet sich ein Schriftfeld auf jeder Seite. Dieses ist unten rechts anzubringen und beinhaltet alle relevanten Informationen über das Dokument. Tabelle 10-18 fasst die 15 wichtigsten Informationen tabellarisch zusammen. Tabelle 10-19 zeigt den Aufbau des Schriftfeldes und Tabelle 10-20 zeigt ein Beispiel für das Schriftfeld, wie es im Folgenden auf den Seiten unten rechts durch einen grauen Kasten angedeutet wird.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Tabelle 10-18: Informationen im Schriftfeld nach [ISO 7200]

Nummer	Datenfeld
1	Gesetzlicher Eigentümer des Dokumentes
2	Titel
3	Zusätzlicher Titel
4	Referenznummer
5	Änderungsindex
6	Ausgabedatum der ersten Ausgabe des Dokumentes
7	Sprache
8	Seiten- / Blattzahl
9	Dokumentenart
10	Status des Dokumentes
11	Verantwortliche Abteilung
12	Technische Referenz (Ansprechpartner mit nötigen Kenntnissen)
13	Name des Erstellers
14	Name der genehmigenden Person
15	Klassifikation / Schlüsselwörter

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Tabelle 10-19: Vorschlag für das Schriftfeld nach [ISO 7200]

Verantwortl. Abtlg. (11)	**Technische Referenz** (12)	**Erstellt durch** (13)	**Genehmigt von** (14)			(15)
(1)		**Dokumentenart** (9)	**Dokumentenstatus** (10)			
		Titel, Zusätzlicher Titel (2), (3)	(4)			
			Änd. (5)	**Ausgabedatum** (6)	**Spr.** (7)	**Blatt** (8)

Tabelle 10-20: Beispiel für das Schriftfeld nach [ISO 7200]

Verantwortl. Abtlg. Plan 2	**Technische Referenz** Fr. N. Meier	**Erstellt durch** Hr. M. Mustermann	**Genehmigt von** Hr. K. Schmidt			
Musterfirma		**Dokumentenart** Netzwerkdokumentation	**Dokumentenstatus** Freigegeben			
		Titel, Zusätzlicher Titel PROFINET Anlagenteile Halle 1	2508			
			Änd. A	**Ausgabedatum** 25.08.2016	**Spr.** De	**Blatt** 1/5

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Abbildung 10-26 zeigt die zu automatisierende Anlage. Sie besteht aus drei Anlagenteilen in Halle 1 (Verantwortung: Herr Schmidt) eines Unternehmens. In der Halle ist bereits ein Schaltschrank eingeplant, sodass dieser auf der Zeichnung durch eine Punkt-Strich-Linie zu erkennen ist.

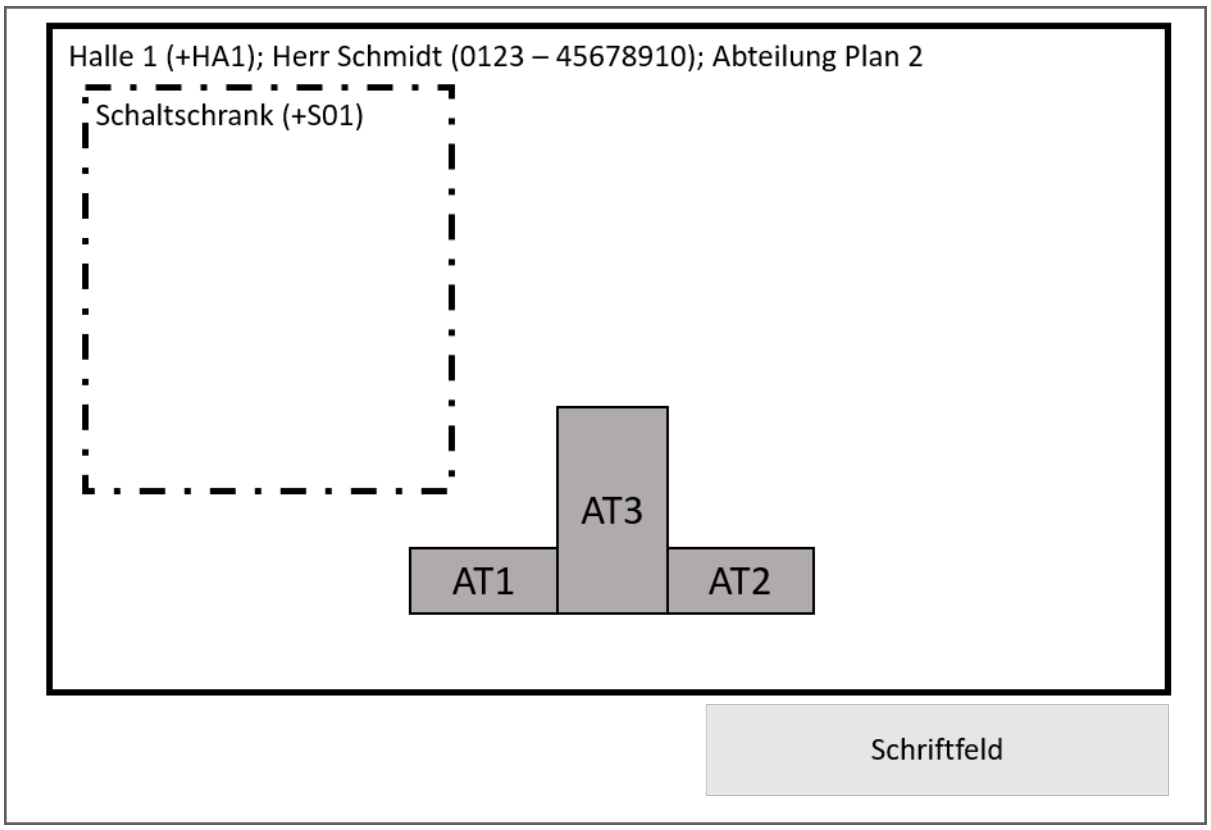


Abbildung 10-26: Beispiel Vorwärtsdokumentation Automatisierung von drei Anlagenteilen

Abbildung 10-27 zeigt die gesetzten Automatisierungsgeräte sowie die benötigte Netzwerkinfrastruktur. Neben einer SPS und drei Remote-I/Os sind ebenfalls ein Switch zum Verbinden der Netzwerkteilnehmer sowie ein Bedienpanel zum Visualisieren des Prozesses verbaut. Der logische Topologie-Plan ist in Abbildung 10-28 dargestellt.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

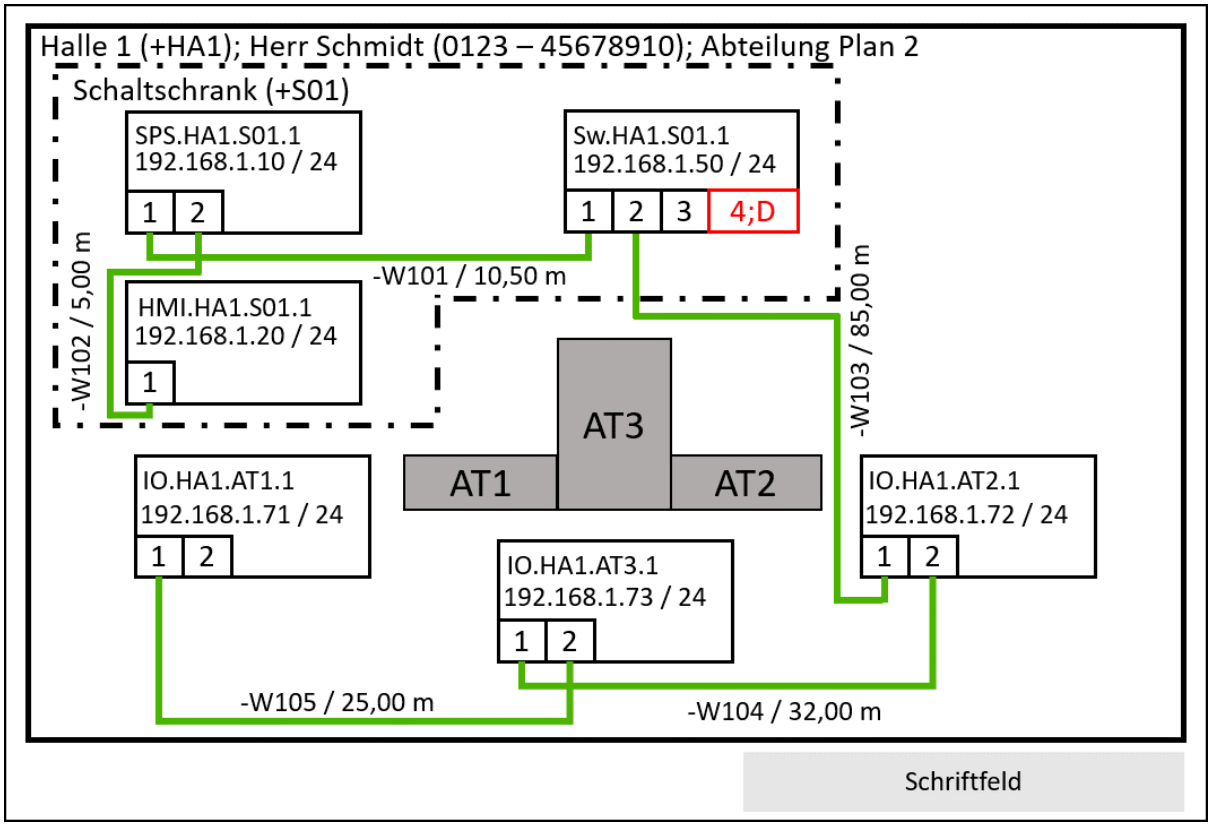


Abbildung 10-27: Beispiel Vorwärtsdokumentation PROFINET Topologie-Plan (physikalisch)

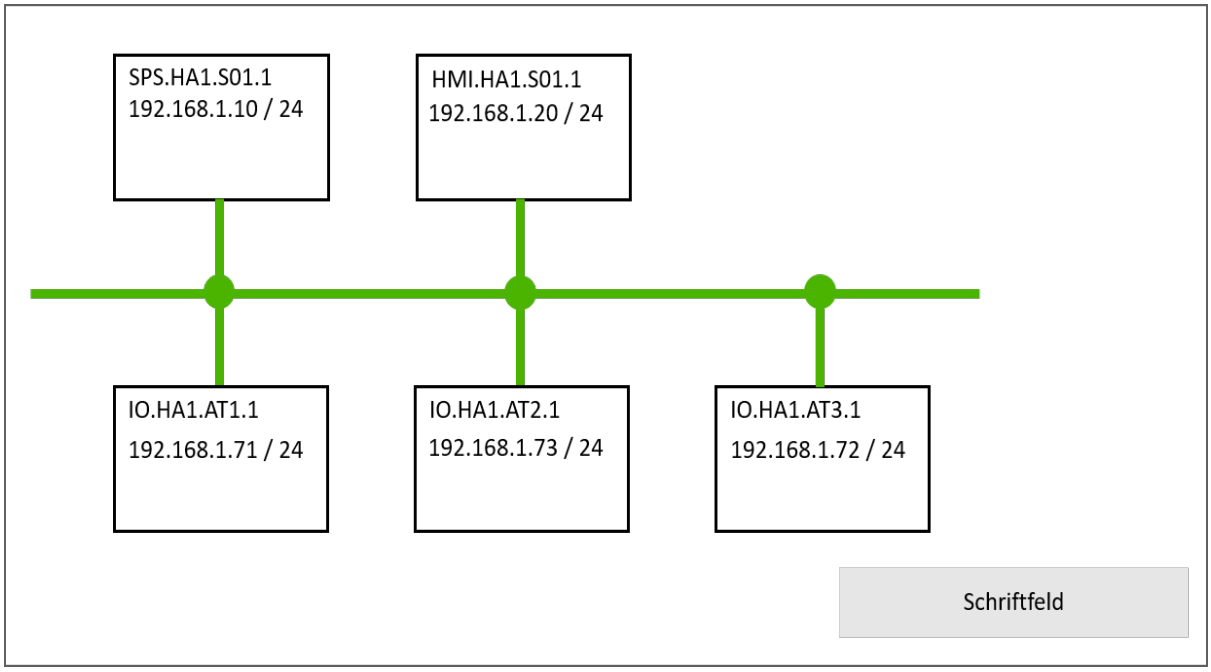


Abbildung 10-28: Beispiel Vorwärtsdokumentation PROFINET Topologie-Plan (logisch)

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Abbildung 10-29 zeigt den Topologie-Plan einer Ringtopologie. Der Switch (Sw.HA1.S01.1) organisiert den Ring. Dazu ist dieser mit einem „Ring“ mit einer Ziffer (1) gekennzeichnet. Der Ring ist exakt zwischen den beiden Ports, die den Ring aufspannen, eingetragen.

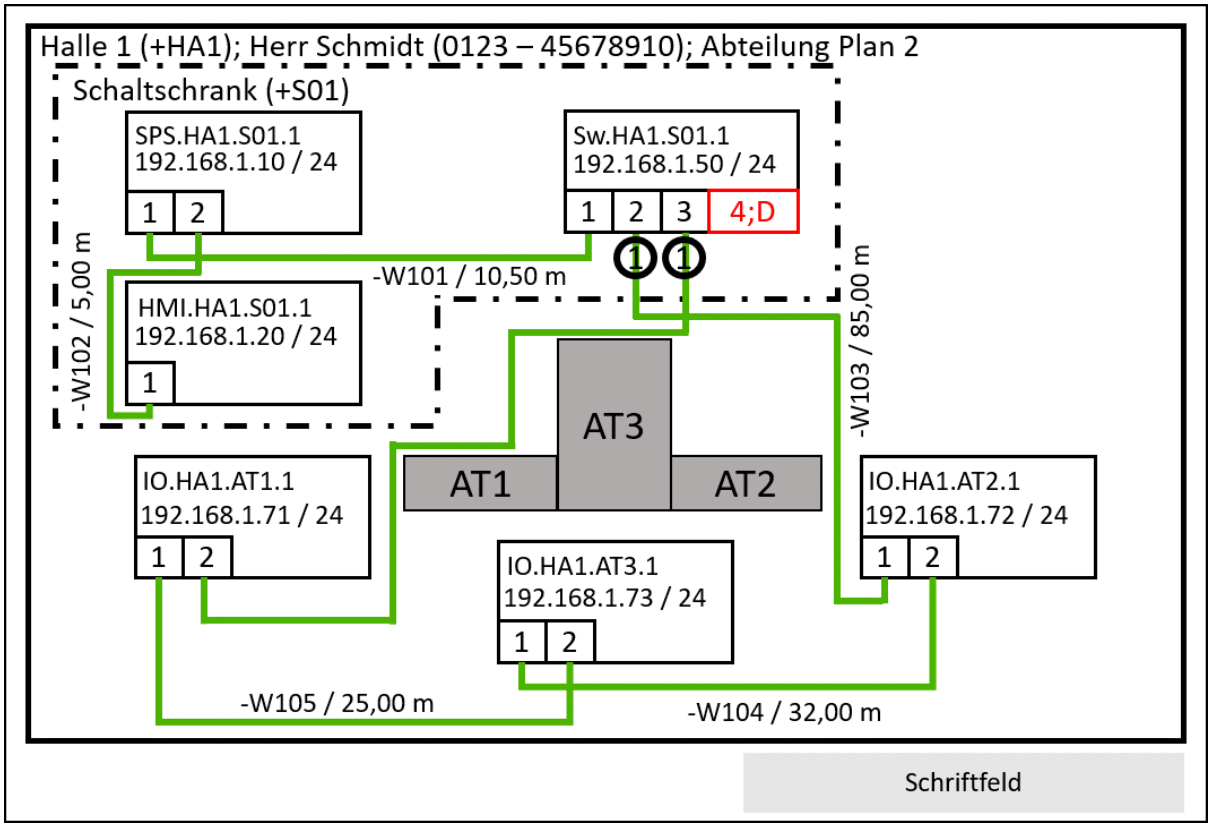


Abbildung 10-29: Beispiel Vorwärtsdokumentation PROFINET Ringtopologie

Tabelle 10-21 ergänzt den Topologie-Plan (siehe Abbildung 10-29) um zusätzliche Informationen. Das Gerät an erster Stelle verwaltet den Ring und ist daher farblich hervorgehoben.

Tabelle 10-21: Beispiel Vorwärtsdokumentation PROFINET Informationen zur Ringtopologie

Nr.	Devicename	Port	nächstes Gerät		Port	nächstes Gerät		Manager
			Nr.	Devicename		Nr.	Devicename	
1	Sw.HA1.S01.1	2	2	IO.HA1.AT2.1	3	4	IO.HA1.AT1.1	x
2	IO.HA1.AT2.1	1	1	Sw.HA1.S01.1	2	3	IO.HA1.AT3.1	
3	IO.HA1.AT3.1	1	2	IO.HA1.AT2.1	2	4	IO.HA1.AT1.1	
4	IO.HA1.AT1.1	1	3	IO.HA1.AT3.1	2	1	Sw.HA1.S01.1	

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Tabelle 10-22 fasst die weiterführenden Informationen zu den Automatisierungsgeräten und weiteren Netzwerkteilnehmern auf. Tabelle 10-23 ist eine Erweiterung um Informationen für die Wiederbeschaffung.

Tabelle 10-24 fasst die wichtigsten Informationen über die Kabel ergänzend zum Topologie-Plan zusammen.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Tabelle 10-22: Beispiel Vorwärtsdokumentation PROFINET zusätzliche Geräteinformationen

Nr.	Devicename	IP-Adresse	Subnetzmaske	Protokolle	Port: Dienst	PW geän-dert		MAC-Adresse	Firm-ware	GSD gesichert? (Version und Abla-geort)
						ja	nein			
1	SPS.HA1.S01.1	192.168.1.10	255.255.255.0	PNIO + TCP/IP	80: HTTP	x		13-24-56-11-90-01	2.2	10.5 Server am 31.08.2016
2	HMI.HA1.S01.1	192.168.1.20	255.255.255.0	PNIO + TCP/IP	80: HTTP		x	13-24-56-12-55-21	2.1	8.4 Server am 02.09.2016
3	Sw.HA1.S01.1	192.168.1.50	255.255.255.0	PNIO				12-34-56-78-9A-BC	1.3.1	1.1 Server am 02.09.2016

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

4	IO.HA1.AT1.1	192.168.1.71	255.255.255.0	PNIO				00-0E-8C-24-C5-51	2.5	1.3 Server am 02.09.2016
5	IO.HA1.AT2.1	192.168.1.72	255.255.255.0	PNIO				00-0E-8C-24-C5-4E	2.5	1.3 Server am 02.09.2016
6	IO.HA1.AT3.1	192.168.1.73	255.255.255.0	PNIO				00-0E-8C-24-C6-12	2.5	1.3 Server am 02.09.2016

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Tabelle 10-23: Beispiel Vorwärtsdokumentation PROFINET erweiterte Geräteinformationen

Nr.	Devicename	Port	Kabel	Gerät	Hersteller	Modell	HW- / FW-Version	Seriennummer	(alternative) Bezugsquelle Bestellnum-mer
1	SPS.HA1.S01.1	1	-W101	Sw.HA1.S01.1	Hersteller 1	SPS 5	2.0 / 2.1.1	1920-1812-8212-0	Anbieter x 7815182
		2	-W102	HMI.HA1.S01.1					
2	HMI.HA1.S01.1	1	-W102	SPS.HA1.S01.1	Hersteller 1	HMI 17	2.5 / 2.6	1231-3017-0111-5	Anbieter x 4825561
		-	-	-					
3	Sw.HA1.S01.1	1	-W101	SPS.HA1.S01.1	Hersteller 2	Switch 12	1.3 / 1.3.2	ABC-12345	Anbieter x 1541527
		2	-W103	IO.HA1.AT2.1					
		3	-	-					
		4	-	-					
4	IO.HA1.AT1.1	1	-W105	IO.HA1.AT3.1	Hersteller 3	IO S2	2.0 / 2.2	14-93-15	Anbieter x 4510965
		2	-	-					
5	IO.HA1.AT2.1	1	-W103	Sw.HA1.S01.1	Hersteller 3	IO S2	2.0 / 2.2	14-93-15	Anbieter x

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

		2	-W104	IO.HA1.AT3.1					4510965
6	IO.HA1.AT3.1	1	-W104	IO.HA1.AT2.1	Hersteller 3	IO S2	2.0 / 2.2	14-93-15	Anbieter x
		2	-W105	IO.HA1.AT1.1					4510965

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Tabelle 10-24: Beispiel Vorwärtsdokumentation PROFINET Kabelliste

Name	Anschluss 1			Anschluss 2			Ist-Länge	Medium	Typ /
	Gerät	Port	Verbindung	Gerät	Port	Verbindung	in Meter (m)		Art
-W101	SPS.HA1.S01.1	1	RJ45	Sw.HA1.S01.1	1	RJ45	10,50	Cu	A
-W102	SPS.HA1.S01.1	2	RJ45	HMI.HA1.S01.1	1	RJ45	5,00	Cu	A
-W103	Sw.HA1.S01.1	2	RJ45	IO.HA1.AT2.1	1	M12	85,00	Cu	A
-W104	IO.HA1.AT2.1	2	M12	IO.HA1.AT3.1	1	M12	32,00	Cu	A
-W105	IO.HA1.AT3.1	2	M12	IO.HA1.AT1.1	1	M12	25,00	Cu	A

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Notieren Sie übersichtlich den Normalbetrieb der Anlage (vergleiche Abbildung 10-30). Weitere Checklisten zur Sichtprüfung, Abnahmemessung der Leitungen und das zweiteilige Abnahmeprotokoll sind im Anhang der Inbetriebnahmerichtlinie für PROFINET [PNC2022] aufgeführt.

Abbildung 10-31 zeigt eine mögliche Markierung des Diagnosezugangs.

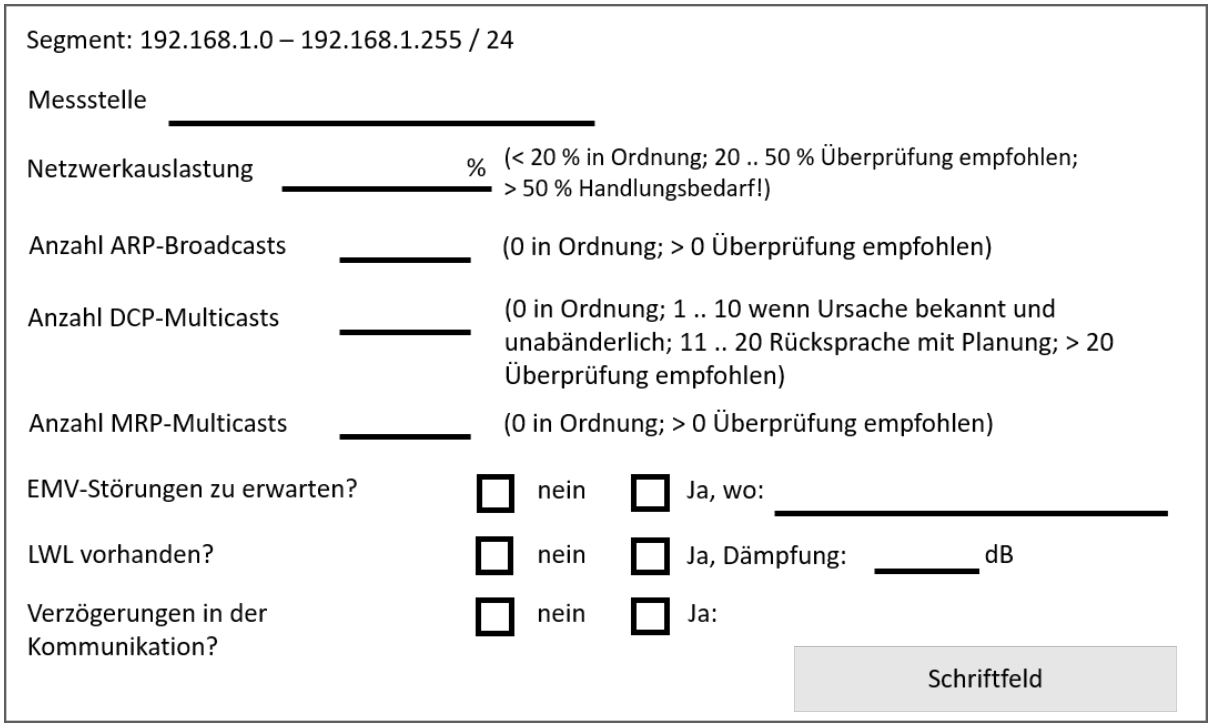


Abbildung 10-30: Beispiel Vorwärtsdokumentation PROFINET Informationen im Fehlerfall

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

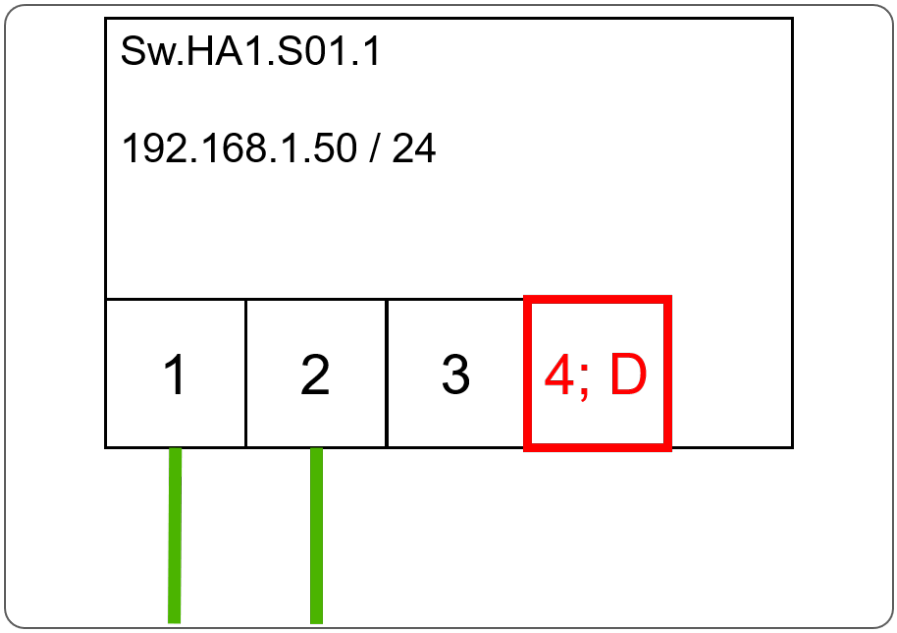


Abbildung 10-31: Beispiel Vorwärtsdokumentation PROFINET Beispiel Diagnosezugang

Die Verwendung von Firewalls sollte in der Topologie ersichtlich sein. Die weiterführenden Informationen für den Zugriff sowie die Regeleinstellungen müssen in einer separaten Liste aufgeführt sein. Abbildung 10-32 zeigt eine Bewertung der IT-Security.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Bewertung IT-Security für Anlage: Anlagenteile in Halle 1 (ID-Nr. 2508)
Security-Beauftragter: Herr Michael Müller

Mitarbeiterschulung IT-Security
Erste Durchführung: 16.09.2016 Intervall der Durchführung: Jährlich (12 Monate)

Nächste Überprüfung IT-Security: 16.03.2017
Anbindung an weitere Netze?: ☒ nein ☐ Ja, wo:

Virenscanner im Einsatz?: ☒ nein ☐ Ja, wo:
Intervall Scan: _____ Intervall Aktualisierung: _____

Notfallhandbuch vorhanden?: ☒ nein ☐ Ja, wo:

Zugangskontrolle zu sensiblen Daten?: ☐ nein ☒ Ja, wie: Zugang durch persönlichen Transponder

Freie Geräteports:

Devicename	Port	Frei?
Sw.HA1.S01.1	1	Nein
	2	Nein
	3	Ja
	4	Ja, Diagnose

Gibt es WLAN-Access-Points?: ☒ nein ☐ Ja, wo:

Schriftfeld

Abbildung 10-32: Beispiel Vorwärtsdokumentation PROFINET Bewertung der IT-Security

Bewahren Sie alle Datenblätter und Handbücher der verwendeten Geräte auf. Ergänzen Sie Ihre Dokumentation um eine eigene Funktionsbeschreibung der Anlage.

10.11.4 Schwierigkeiten der Vorwärtsdokumentation im Produktlebenszyklus

Bereits bei der Montage oder Inbetriebnahme treten häufig Abweichungen auf. Diese sollten in einer Revision beseitigt werden. Durch die vielen manuellen Eingriffe durch verschiedene Mitarbeiter entsteht jedoch ein hohes Fehlerrisiko. Nach der Übergabe an den Betreiber verschwinden meist die Verantwortung und das Wissen einer guten Netzwerkdokumentation. Mitarbeiter versuchen im Fehlerfall die Fehler selbst zu beheben. Dabei gehen kleinste Änderungen der Anlage jedoch verloren, da sie häufig im Affekt geschehen.

Eine Vorwärtsdokumentation weist im Lebenszyklus einer Anlage viele Eintragungen auf. Diese verringern die Qualität der Netzwerkdokumentation. Die Netzwerkdokumentation wird unübersichtlich, schwer verständlich oder fehlerhaft. Oftmals fehlt es an aktuellen Netzwerkdokumentationen, der Zugang ist verwehrt oder die Dokumentationen fehlen.

Aufgrund dieser Nachteile ist im Betrieb von einer Vorwärtsdokumentation abzusehen. Es ist für den Einsatz der Fehlersuche sinnvoller eine aktuelle Netzwerkdokumentation vor Ort zu

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

erstellen. Die zeitlichen Kapazitäten können dadurch durch eine standardisierte Rückwärtsdokumentation minimiert werden.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

10.11.5 Vorschlag einer Rückwärtsdokumentation bei PROFINET

Die Anforderungen an eine Rückwärtsdokumentation sind auf ein Minimum zu beschränken, da es sich um eine automatisiert generierte Dokumentation handelt. Die Rückwärtsdokumentation soll jedoch ebenfalls von der Übersicht ins Detail gestaltet sein. Das Deckblatt beinhaltet alle identifizierenden Informationen:

- Identifikation der Dokumentation
  - Art des Dokumentes (hier: Netzwerkdokumentation)
  - Identifikationsnummer / -name
  - Ausgabedatum
  - Revisionsindex oder Versionsstand
  - Revisionsdatum
  - Status des Dokumentes (Ist das Dokument ein Entwurf oder eine finale Version?)
  - Spezifische Daten (Kundenname, Anlagenname)
- Informationen zum Ersteller
  - Name der Firma
  - Adresse der Firma
  - Verantwortlicher Autor

Die Topologie muss übersichtlich gestaltet sein und alle zusätzlichen Informationen (Devicename, IP-Adresse, Subnetzmaske, Portbelegung, Kabellänge) beinhalten. Weitere Informationen (Kabeltyp, Kabelmedium) können tabellarisch angefügt sein. Über die Portbelegung sind freie Zugänge zur Anlage ersichtlich. Ergänzend sollen Firewalls dargestellt sein. Die Informationen über einen vorhandenen Passwortschutz können in der Topologie an der Firewall notiert oder farblich markiert sein (grün = Passwortgeschützt, rot = fehlender Passwortschutz).

Das Auslesen der verwendeten Netzwerkteilnehmer soll Informationen für mögliche Ersatzteile bereitstellen. Dazu gehören:

- Hersteller
- Modell- / Typbezeichnung
- MAC-Adresse
- Verwendete Protokolle
  - Genutzte Ports und Dienste
- Seriennummer
- Versionsnummer
- Referenzbild
- Genutzte Software- bzw. Firmware-Stände dokumentieren
- Kontaktdaten zur Hotline oder Technical Support
- Passwortsicherheit: Sind standardisierte Passwörter im Einsatz?

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Alle Informationen, die nicht durch die Rückwärtsdokumentation zu ermitteln sind, sind durch Mitarbeiter bereitzustellen.

Bereits heute existieren Tools zur Netzwerkanalyse von PROFINET-Netzwerken. Es gibt verschiedene Anbieter, die Werkzeuge zur Rückwärtsdokumentation anbieten. Dabei können fast alle Kriterien eingehalten werden.

Die ermittelten Informationen durch die marktüblichen Tools genügen nicht den Anforderungen eines IT-Security Audits.

10.11.6 Schwierigkeiten der Rückwärtsdokumentation

Eine Topologie kann durch die Werkzeuge nur dann ausgelesen und visualisiert werden, wenn alle Teilnehmer LLDP (Link Layer Discovery Protocol) beherrschen. Dies stellt eine Hürde zur Rückwärtsdokumentation dar, da oftmals günstige Alternativen im Netzwerk eingesetzt werden, die LLDP nicht unterstützen.

Darüber hinaus fordern passive Netzwerkteilnehmer verschiedene Messmechanismen und führen oftmals zu unvollständigen Netzwerkdokumentationen, da die passiven Netzwerkteilnehmer nicht korrekt erkannt werden können.

10.11.7 Anforderungen künftiger Rückwärtsdokumentationen

Eine Rückwärtsdokumentation soll mit einem Topologie-Plan beginnen. Hierbei sind zusätzliche Informationen am Gerät darzustellen. Dazu gehören Devicename, IP-Adresse, Subnetzmaske, die Portbelegung, die Gerätefunktion (wenn nicht im Devicename klar zu erkennen) sowie ein Referenzbild des Gerätes. Alle weiterführenden Informationen sollen tabellarisch aufgeführt werden. Eine Übersicht aller Informationen ist in Kapitel 10.11.1 zu finden.

Informationen zur IT-Sicherheit können auf die grundsätzliche Netzwerkdokumentation aufbauen. Dazu sind sämtliche Dienste offenzulegen. Dazu sollten Hersteller von Geräten die standardmäßigen Ports / Dienste ihrer Geräte bekanntgeben.

Um eine erfolgreiche Rückwärtsdokumentation zu ermöglichen müssen Anlagenhersteller und Betreiber geeignete Komponenten auswählen. Des Weiteren müssen Produkthersteller weitere Daten zu den Produkten bekanntgeben. Der Umsetzungsprozess dauert noch an.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

10.12 Netzlast Berechnungswerkzeug

Abbildung 10-33 zeigt die Bedienoberfläche des Netzlast-Berechnungswerkzeugs in Microsoft Excel. Die Aufgabe des Netzlast-Berechnungswerkzeugs liegt darin, die Berechnung der Netzlast für den Nutzer zu vereinfachen.

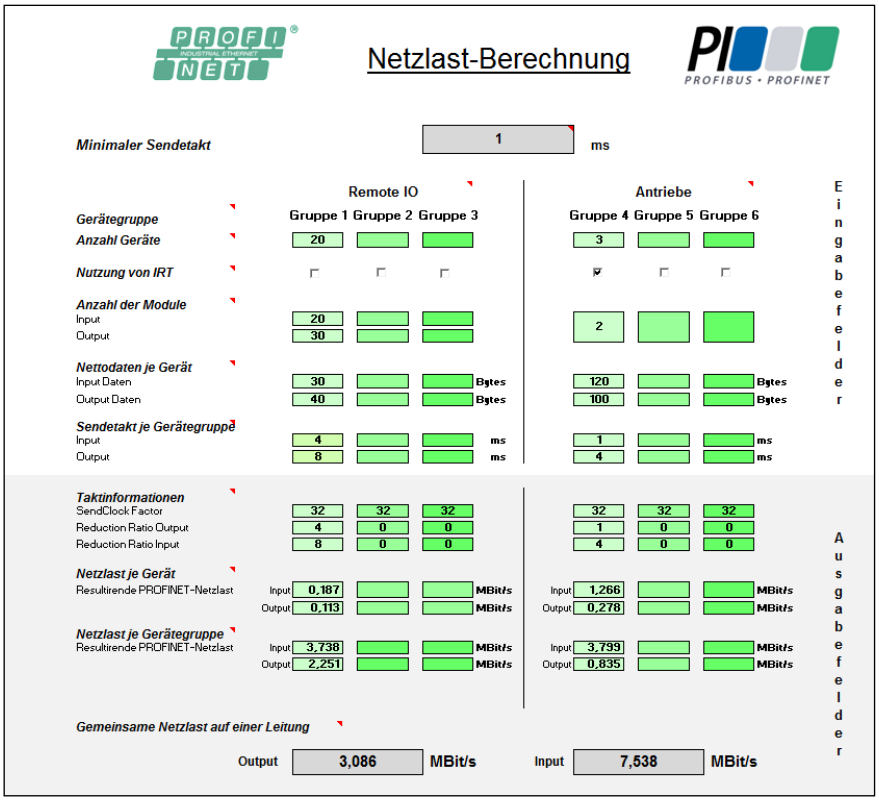


Abbildung 10-33: Bedienoberfläche des Netzlast-Berechnungswerkzeugs

Der obere weiß unterlegte Teil in Abbildung 10-33 ist als Eingabebereich definiert. Hier kann der Nutzer durch die Eingabe von Werten mögliche Gerätekonfigurationen vorgeben. Der untere dunkelgrau unterlegte Ausgabebereich dient der Anzeige der Berechnungsergebnisse.

Die „prozentuale Netzlast“, mit Bezug zu der Verfügung stehenden Bandbreite einer Leitung, muss vom Benutzer selbst errechnet werden (*siehe dazu ein späteres Beispiel*). Dabei ist darauf zu achten, dass die Netzlast getrennt nach Output- und Input-Richtung betrachtet werden muss.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Das Netzlast-Berechnungswerkzeug bedient sich einfachen Excel-Formeln, die bei der Nutzung ausgeblendet sind. Es ist jedoch möglich durch das Aufheben des Blattschutzes und Einblenden der ausgeblendeten Bereiche diese Formeln zu bearbeiten.

Der detaillierte Berechnungsweg der Netzlast ist in den zusätzlichen Arbeitsblättern „Erläuterung“ und „Programmablaufplan" im Netzlast-Berechnungswerkzeug hinterlegt. Die auf den folgenden Seiten aufgeführte Bedienungsanleitung ist ebenfalls im Berechnungswerkzeug im Arbeitsblatt „Bedienungsanleitung“ zu finden.

Alle Eingaben werden auf Konsistenz geprüft. Des Weiteren weisen Fehlermeldungen auf falsche Eingaben hin. Eine Eingabe ist nur in den Eingabefeldern möglich. Die weiteren Felder sind für die Eingabe gesperrt.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Bedienungsanleitung

Abbildung 10-34 zeigt die verschiedenen Abschnitte zur Eingabe der Berechnungsgrundlagen und die nach den Gerätegruppen geteilten Ausgabefeldern.

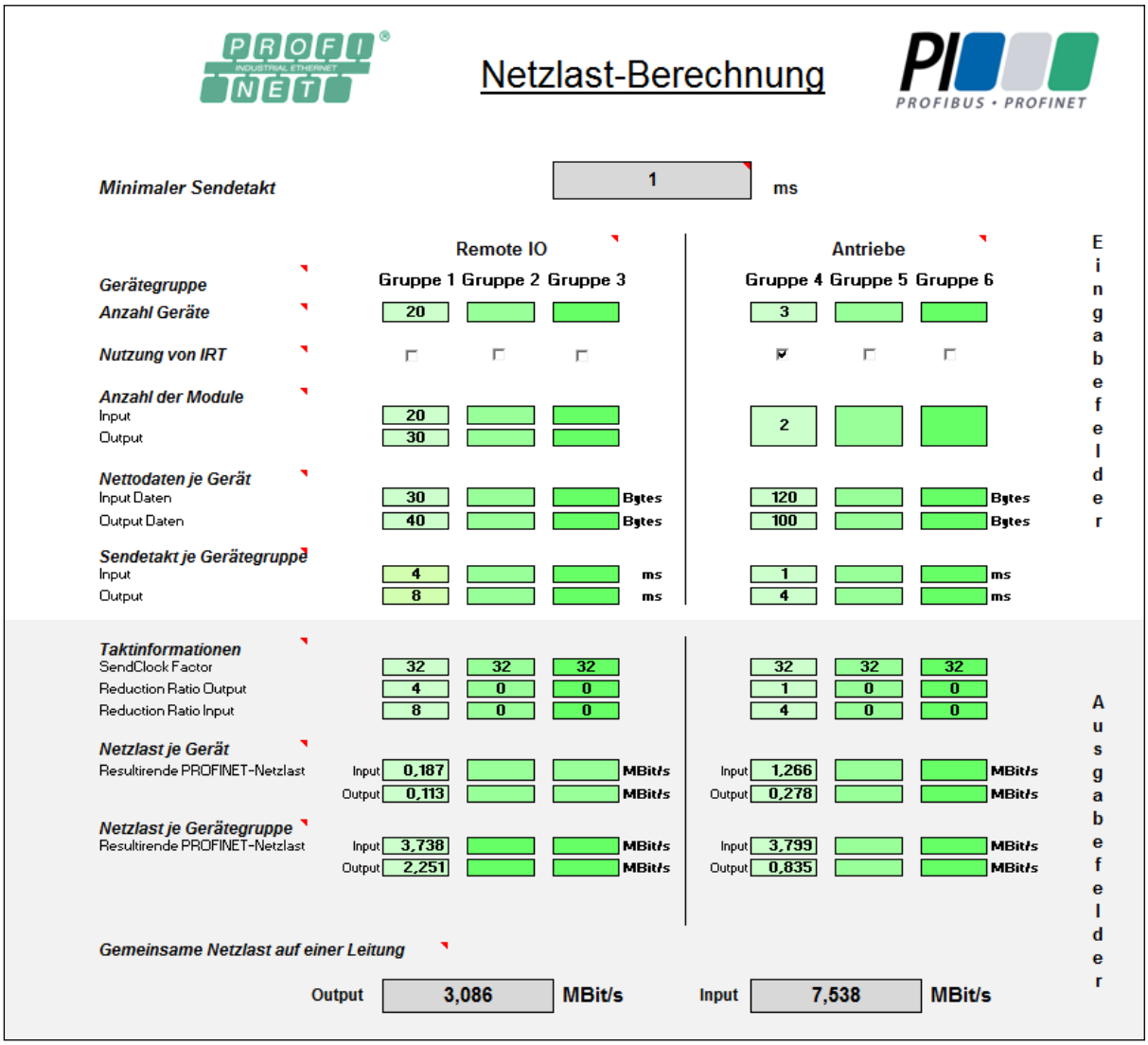


Abbildung 10-34: Netzlast-Berechnung mit Durchschnittswerten

Im oberen roten Rahmen erfolgt die Auswahl des minimalen Sendetakts über ein Dropdown-Menü. Eine manuelle Eingabe ist möglich, jedoch wird der Wert auf die Verwendbarkeit in einem PROFINET-Übertragungssystem überprüft. Der minimale Sendetakt wird in aller Regel durch ein schnelles PROFINET-Gerät vorgegeben. Die Angabe dient in erster Linie der Ermittlung der Taktfaktoren eines PROFINET-Übertragungssystems.

Auf der linken Seite der Eingabemaske erfolgt die Eingabe der Gerätedaten mit getrennter Anzahl an Modulen für Input und Output, wie es beispielsweise bei Remote-I/Os der Fall ist. Auf der rechten Seite erfolgt die Eingabe Geräte mit identischer Anzahl an Modulen für Output- und Input-Richtung (bspw. Antriebe).

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Jede der Seiten erlaubt die Vorgabe von Eingabewerten für drei Gerätegruppen, wobei unterhalb jeder Gerätegruppe die Eingabe vorgenommen wird. Die Eingabe wird auf Konsistenz überprüft. **Es sind lediglich ganzzahlige Angaben möglich.** Zusätzlich bieten einige Eingabefelder die Auswahl über ein Dropdown-Menü.

PROFINET arbeitet nach dem Voll-Duplex-Verfahren. Dementsprechend erfolgt die Eingabe der Daten jeweils getrennt nach Übertragungsrichtung. Die einzelnen Eingabe- und Anzeigebereiche haben folgende Aufgaben:

1. Eingabe der Anzahl an PROFINET-Geräten je Gruppe und Auswahl ob diese Gruppe eine isochrone Anbindung (IRT: Isochronous Realtime) besitzt.
2. Eingabe der Anzahl an Modulen je PROFINET-Gerät. Dies erfolgt getrennt nach Übertragungsrichtung, mit Ausnahme der Gerätegruppen 4 bis 6.
3. Eingabe der Nutzdaten (Nettodaten) des PROFINET-Geräts in Bytes, getrennt nach Übertragungsrichtung.
4. Eingabe des Sendetakts in ms getrennt nach Übertragungsrichtung. Der Sendetakt für beide Richtungen kann dabei unterschiedlich sein.
5. Anzeige der erforderlichen Taktfaktoren für die Konfiguration der Übertragung. In aller Regel erfolgt die Ermittlung der Taktfaktoren im Projektierungswerkzeug und ist hier informativ.
6. Neben der von einer Gerätegruppe erzeugten gesamten Netzlast, ist hier ebenso die Netzlast aufgezeigt die ein einzelnes PROFINET-Gerät verursacht. Der Wert der Gerätegruppe ergibt sich aus Multiplikation eines Einzelgeräts mit der Anzahl der PROFINET-Geräte einer Gruppe.

Als Ergebnis wird die Netzlast aller PROFINET-Gerätegruppen aufsummiert (oranger Rahmen). Diese Summierung erfolgt dabei jeweils für die beiden Übertragungsrichtungen separat. Dieser ermittelte Wert der Netzlast kann jetzt genutzt werden, um die prozentuale Netzlast auf einem PROFINET-Netzwerk zu ermitteln.

Das Netzlast-Berechnungswerkzeug ergab nach Eingabe der Gerätekonfiguration und der Aktualisierungszeiten eine summierte Netzlast von:

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

3,086 Mbit/s in Output-Richtung sowie

7,538 Mbit/s in Input-Richtung.

Wird im Netzwerk eine:

100 Mbit/s-Übertragungsstrecke genutzt, bedeutet dies eine prozentuale Netzlast von:

3,086 % in Output-Richtung und

7,538 % in Input-Richtung.

Wie bereits erläutert, tritt die aufsummierte Netzlast lediglich an Kommunikations-Knotenpunkten auf, an denen mehrere Datenströme aufeinandertreffen. Dabei sollte die von PROFINET erzeugte Netzlast an diesen Knoten die 50 %-Grenze nicht überschreiten. Anhand der einzelnen Gerätegruppen in der Eingabemaske kann die Gruppe analysiert werden, die eine hohe Netzlast erzeugt.

Einige der Gerätegruppen sind in diesem Beispiel leer gelassen worden. Diese können, wie in diesem Beispiel gezeigt, ganz individuell je nach Übertragungsrichtung eingestellt werden.

Die Netzlast ist abhängig von mehreren Einflussfaktoren. Das Netzlast-Berechnungswerkzeug erlaubt eine Einschätzung dieses Einflusses.

Anhand der einzelnen Gerätegruppen und deren Gerätetypen in der Eingabemaske, kann die Gruppe analysiert werden, die eine hohe Netzlast erzeugt. Hier kann dann ggf. eine Modifikation stattfinden.

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

11 Stichwortverzeichnis

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Adressauswahl 200

Adressierungsschema 201

Aktualisierungszeit 44, 153, 160

Anlagenbeispiel

Datenanalyse und Sequence of Events 147

Fertigungsautomatisierung 141

Kamera als Sensor 145

Konvergente Netze 149

Maschinenautomatisierung 142

Prozessautomatisierung 143

Prozessautomatisierung mit Ethernet-APL 144

Anschlusstechnik 60

Anwendungsneutrale Verkabelung 127

APL-Feldgerät 31

APL-Field-Switch mit Hilfsenergieversorgung 32

APL-Field-Switch ohne Hilfsenergieversorgung 31

APL-Field-Switches mit I.E.-Anschluss 135

APL-Kabel 222

APL-Power-Switch 31

Applikationsprofile 56

Aufbau Richtlinie 36

Auto-Cross-Over 247

Autonegotiation 247

Autosensing 247

Bedienstation 33

Conformance Classes 49

Controller 30

Controller Sendetakt 153

Crossover-Kabel 126

Cut-Through-Switches 152, 246

Dämpfung 88

Diagnoseport 128

Echtzeit 44

Elektromagnetische Interferenzen (EMI) 35

Ethernet-APL Grundlagen 133

Ethernet-APL Kabel 34, 80

Ethernet-APL, erhöhte Sicherheit 34

Fast Startup 126

Firewall 31, 108

Firmware 130

Freilaufend 45

Funktionale Gruppierung 42

Gateway 31, 101

Gerätename 194

Geräteparameter 193

Gespeister APL-Trunk 135, 137

Gigabit-Ethernet 249

GSD-Datei 209

Hochverfügbar 117

I-Device 118

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Interface 65

IP-Adresse 194, 196

Isochronous Real-Time (IRT) 45

Kabelabstände 81

Kabelführung 77

Kabelparameter Ethernet-APL-Kabel 222

Kommunikationsaufgaben 99

Kommunikationsüberwachung 162

Kupferkabel-Ausführungen 78

Leitungstypen 78

Linientiefe für Netzwerke mit 100 Mbit/s *165*

Linientiefe mit APL-Field-Switches 168

Linientiefe mit APL-Trunk 169

MAC-Adresse 194

Managed Switch 246

Maximale Linientiefe 166

Medienwandler 32

Mindestabstand 81

Mögliche APL-Topologien 135

Netzlast 155, *169*

Netzwerkarchitektur 96

Netzwerkdiagnose 128

Netzwerktopologie 63

Non-Real-Time (NRT) 45

Operator Konsole 30

PN/PN-Koppler 104

PoE 248

Port 65

Port-Mirroring 128, 248

Power over Ethernet 124, 248

PROFINET Device 30

PROFINET Dokumentation 250

PROFINET Security 131

PROFINET-Kupferkabel 33, 76, 211

PROFINET-LWL-Kabel 33, 223

PROFIsafe 57

Räumliche Gruppierung 42

Reaktionszeit 156

Real-Time (RT) 45

ReductionRatio 153

Router 31, 65

Rückwärtsdokumentation 274

Security 131

SendClockFactor 153

Sendezyklus 152

Shared Devices 119

Shared Inputs 120

Steckverbinder 90, 228

- Kupfer 229
- LWL 232

Store-and-Forward-Switches 152, 247

Supervisor 30

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

Switch 30, 65, 245

Taktsynchronität 45

Time Sensitive Networking (TSN) 45

Topologie 69, 93

Topologien

Baum 70

Linie 71

Ring 72

Stern 69

Übertragungsmedium 75

Kupfer 76

Lichtwellenleiter 83

Uhrzeit-Synchronisation 114

Umweltanforderungen 59

Verfügbarkeit, erhöht 117

Vorwärtsdokumentation 253

WLAN Access Point 32

Ziel Richtlinie 38

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved

© Copyright by:

PROFIBUS Nutzerorganisation e. V. (PNO)
PROFIBUS & PROFINET International (PI)
Ohiostraße 8 ● 76149 Karlsruhe ● Germany
Phone +49 721 986197 0 ● Fax +49 721 986197 11
E-mail info@profibus.com
www.profibus.com ● www.profinet.com

KHN

© Copyright by PNO 2025 – all rights reserved