

PROFINET
Planungsrichtlinie Redundanz

Guideline
for PROFINET

Version 1.00 – *Date 07. 05. 2023*
Order No.: 8.131

Prepared by the PROFIBUS Working Group Installation Guides "PG3" in the Technical Committee CB.

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

NOTICE:

The information contained in this document is subject to change without notice. The material in this document details a PI 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 this specification in any company's products.

WHILE THE INFORMATION IN THIS PUBLICATION IS BELIEVED TO BE ACCURATE, PI MAKES NO WARRANTY OF ANY KIND, EXPRESS OR IMPLIED, WITH REGARD TO THIS MATERIAL 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 PI 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 this specification does not absolve manufacturers of PROFIBUS or PROFINET equipment, from the requirements of safety and regulatory agencies (TÜV, BIA, UL, CSA, etc.).

PROFIBUS® and PROFINET® logos are registered trade marks. The use is restricted for members of PROFIBUS&PROFINET International. More detailed terms for the use can be found on the web page www.profibus.com/Downloads. Please select button "Presentations & logos".

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.

Publisher:
PROFIBUS Nutzerorganisation e.V.
Haid-und-Neu-Str. 7
76131 Karlsruhe
Germany
Phone : +49 721 986 197 0
Fax : +49 721 96 61 97 11
E-mail: info@profibus.com
Web site: www.profibus.com

© No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

Dieses Dokument wurde von der Arbeitsgruppe „Installation-Guide“ (CB/PG3) der PROFIBUS Nutzerorganisation erstellt.

Revision Log

Version	Datum	Editor	Änderungen/History
1.00	07.05.2023	Niemann	Release candiate

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	9
1.1	VORWORT	10
1.2	AUSSCHLUSS DER HAFTUNG	11
1.3	REFERENZIERTE PNO DOKUMENTE UND NORMEN	12
1.4	SYMBOLERKLÄRUNGEN	14
1.4.1	<i>Symbole zur Textstrukturierung</i>	14
1.4.2	<i>Symbole für Komponenten</i>	15
1.4.3	<i>Symbole für PROFINET Kabel und Applikationsbeziehungen</i>	17
1.4.4	<i>Symbole für Bereiche</i>	18
1.5	ZIEL DER RICHTLINIE	19
2	GRUNDLAGEN DER VERFÜGBARKEIT	20
2.1	MEAN TIME TO FAILURE (<i>MTTF</i>)	21
2.2	MEAN TIME TO RECOVER (<i>MTTR</i>)	21
2.3	MEAN TIME BETWEEN FAILURES (<i>MTBF</i>)	22
2.4	VERFÜGBARKEIT (<i>V</i>)	22
2.5	EMPFEHLUNGEN ZUM ERREICHEN HOHER VERFÜGBARKEITEN	23
3	PROFINET REDUNDANZFUNKTIONEN	24
3.1	EINFÜHRUNG IN DIE PROFINET-REDUNDANZ	25
3.2	PROFINET MEDIENREDUNDANZ	28
3.2.1	<i>Medienredundanz mit MRP</i>	30
3.2.2	<i>Medienredundanz mit MRPD</i>	33
3.3	PROFINET SYSTEMREDUNDANZ	37
3.3.1	<i>PROFINET Systemanbindung S1</i>	37
3.3.2	<i>PROFINET Systemredundanz S2</i>	38
3.3.3	<i>PROFINET Systemredundanz R1</i>	40

3.3.4	<i>PROFINET Systemredundanz R2</i>	41
3.4	VERGLEICH DER PROFINET REDUNDANZEN.....	44
4	BEISPIELAPPLIKATIONEN FÜR HOCHVERFÜGBARE NETZWERKE UND SYSTEME.....	45
4.1	TECHNISCHER AUFBAU DER VERWENDETEN PROFINET-GERÄTE	46
4.1.1	<i>PROFINET Devices</i>	46
4.1.2	<i>PROFINET Controller</i>	49
4.2	BEISPIELAPPLIKATIONEN FÜR PROFINET	53
4.2.1	<i>Beispielapplikation 1: Tunnelanlage</i>	53
4.2.2	<i>Beispielapplikation 2: Anlage Fertigungsindustrie</i>	56
4.2.3	<i>Beispielapplikation 3: Anlage Prozessindustrie ohne erhöhte Verfügbarkeitsanforderungen</i>	57
4.2.4	<i>Beispielapplikation 4: Anlage Prozessindustrie mit erhöhten Verfügbarkeitsanforderungen</i>	60
4.2.5	<i>Beispielapplikation 5: Anlage Prozessindustrie mit Advanced Physical Layer (APL)</i> ... 62	
5	ZUSAMMENFASSUNG	65
6	STICHWORTVERZEICHNIS	67

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Zusammenhang von MTTF, MTTR und MTBF	22
Abbildung 3-1: Nicht-redundante PROFINET-Topologien.....	25
Abbildung 3-2: PROFINET-Ringtopologie	28
Abbildung 3-3: PROFINET Medienredundanz mit verteilten Teilnehmerrollen für MRP.....	31
Abbildung 3-4: Geschlossener PROFINET-Ring mit MRP-Funktion.....	32
Abbildung 3-5: Geöffneter PROFINET-Ring mit MRP-Funktion.....	33
Abbildung 3-6: Medienredundanz mit MRPD	35
Abbildung 3-7:PROFINET Systemanbindung S1	38
Abbildung 3-8: PROFINET Systemredundanz S2	39
Abbildung 3-9: PROFINET Systemredundanz R1	40
Abbildung 3-10: Kommunikationsverbindungen für PROFINET Systemredundanz R2.....	42
Abbildung 3-11: Applikationsbeziehungen für PROFINET Systemredundanz R2.....	43
Abbildung 4-1: PROFINET Device mit einfacher Interfacemodul-Ausführung	46
Abbildung 4-2: PROFINET Device mit redundanter Interfacemodul-Ausführung	47
Abbildung 4-3: Interne Verschaltung eines PROFINET Devices mit redundantem Interfacemodul	48
Abbildung 4-4: PROFINET Controller	49
Abbildung 4-5: Redundanzkopplung der CPUs über LWL-Kabel für PROFINET Systemredundanz	51
Abbildung 4-6: Redundanzkopplung der CPUs über PROFINET-Kabel für PROFINET Systemredundanz S2.....	52
Abbildung 4-7: Tunnelanlage	53
Abbildung 4-8: Anlage Fertigungsindustrie	56
Abbildung 4-9: Anlage Prozessindustrie ohne erhöhte Verfügbarkeitsanforderungen.....	58
Abbildung 4-10: Anlage Prozessindustrie mit erhöhten Verfügbarkeitsanforderungen.....	60
Abbildung 4-11: Anlage Prozessindustrie mit Advanced Physical Layer	62

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1: Symbole für Textstrukturierungen	14
Tabelle 1-2: Symbole für Komponenten	15
Tabelle 1-3: Symbole für PROFINET-Kabel und Applikationsbeziehungen	17
Tabelle 1-4: Symbole für Bereiche	18
Tabelle 3-1: PROFINET-Redundanzen	44

1 Einleitung

1.1 Vorwort

Die Verfügbarkeit von Produktionsanlagen gewinnt immer mehr an Bedeutung. Während in der Vergangenheit Produktionsanlagen der Prozessindustrie den Einsatz hochverfügbarer Systeme erforderten, sind heute auch immer mehr Anlagen der Fertigungsindustrie sowie Infrastrukturprojekte, wie z. B. Tunnel und Flughäfen, hochverfügbar ausgerüstet, um Stillstandzeiten und die damit einhergehenden Kosten zu reduzieren.

PROFINET bietet verschiedene Redundanzkonzepte, um den unterschiedlichen Anforderungen unterschiedlicher Anwendungen Rechnung zu tragen. Dies reicht von einer Ringredundanz, bei der im Wesentlichen eine Linie zu einem Ring geschlossen wird, bis hin zur R2-Redundanz, bei der nahezu alle Komponenten des Automatisierungssystem doppelt ausgeführt sind.

Diese Richtlinie richtet sich an Anlagenplanerinnen und Anlagenplaner, die einen einfachen Zugang zur Redundanz aus Planungssicht erhalten möchten. Nach einer Erläuterung der grundlegenden Konzepte der Hochverfügbarkeit beschreibt das Dokument die verschiedenen PROFINET Redundanzkonzepte. Danach folgt eine Beschreibung typischer Anwendungsfälle und die Erläuterung der zu beachtenden Rahmenbedingungen.

Dieses Dokument ist als Ergänzung zu den bereits bestehenden Redundanz-Dokumenten der PNO zu sehen und ersetzt diese nicht.

1.2 Ausschluss der Haftung

Die PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. (nachfolgend „PNO“) hat in diesem Dokument Informationen mit größtmöglicher Sorgfalt eingebracht und diese zusammengestellt. Dennoch ist dieses Dokument, basierend auf dem jetzigen Kenntnisstand, nur informierend und wird auf Basis eines Haftungsausschlusses zur Verfügung gestellt. Das Dokument kann in der Zukunft Änderungen, Erweiterungen oder Korrekturen unterliegen, ohne dass ausdrücklich darauf hingewiesen wird.

Dieses Dokument hat keinen normativen Charakter. Es kann in bestimmten Einsatzumgebungen, in bestimmten technischen Konstellationen oder beim Einsatz in bestimmten Ländern sinnvoll sein, von den gegebenen Handlungsempfehlungen abzuweichen. Errichter und Betreiber der Anlage sollten in diesem Fall die Vor- und Nachteile der gemachten Empfehlungen in der konkreten Anwendung abwägen und, sofern als sinnvoll erachtet, gegebenenfalls die Umsetzung einer abweichenden Lösung beschließen.

Der Nutzer darf die Informationen zu keiner Zeit an Dritte vertreiben, vermieten oder in sonstiger Weise überlassen.

Eine Haftung der PNO für Sach- und Rechtsmängel der bereitgestellten Informationen, insbesondere für deren Richtigkeit, Fehlerfreiheit, Freiheit von Schutz- und Urheberrechten Dritter, Vollständigkeit und/oder Verwendbarkeit – außer bei Vorsatz, grober Fahrlässigkeit oder Arglist – ausgeschlossen. Im Übrigen ist jegliche Haftung der PNO ausgeschlossen, soweit nicht z.B. wegen Verletzung des Lebens, des Körpers oder Gesundheit, wegen Vorsatzes oder grober Fahrlässigkeit oder wegen der Verletzung wesentlicher Vertragspflichten zwingend gehaftet wird.

1.3 Referenzierte PNO Dokumente und Normen

[APL2022] Ethernet-APL Engineering Richtlinie. Order No.: 8.121, Version 1.14, September 2022

[IEC_62439-2] Industrielle Kommunikationsnetze - Hochverfügbare Automatisierungsnetze - Teil 2: Medienredundanz-Protokoll (MRP) (IEC 62439-2:2020)

[PNA2022] PROFIBUS Nutzerorganisation e.V.: PROFINET Application layer protocol for decentralized periphery. Version 2.4MU3. June 2022. Order Nr: 2.722.

[MIL217F] US Department of Defense MIL-HDBK-217 F: Military Handbook Reliability Prediction of Electronic Equipment, Washington DC, 1991.

[PNP2022] PROFIBUS Nutzerorganisation e. V.: PROFINET Planungsrichtlinie. Version 1.53, September 2022. Order Nr. 8.061.

[PNM2018] PROFIBUS Nutzerorganisation e.V: Media Redundancy Guideline for PROFINET. Version 1.03. April 2018. Order Nr. 7.212.

[PNH2020] PROFIBUS Nutzerorganisation e.V.: High Availability Guideline for PROFINET. Version 1.2. April 2020. Order Nr. 7.242.

[TEL2011] Telcordia Technologies, Inc: TEL Telcordia - Reliability Prediction Procedure for Electronic Equipment - SR-332. <http://telecom-info.telcordia.com/site-cgi/ido/docs.cgi?ID=SEARCH&DOCUMENT=SR-332&#ORD>, 01.08.2012.

[VDI_2183] VDI/VDE Gesellschaft für Mess- und Automatisierungstechnik. VDI/VDE 2183. Zuverlässiger Betrieb Ethernet-basierter Bussysteme in der industriellen Automatisierung. Januar 2018.

1.4 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.

1.4.1 Symbole zur Textstrukturierung

Die folgende Tabelle 1-1 stellt die Symbole zur Textstrukturierung dar.

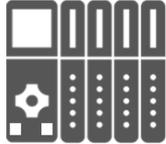
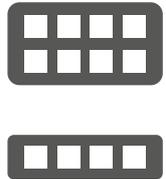
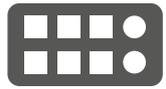
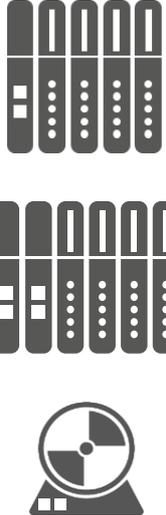
Tabelle 1-1: Symbole für Textstrukturierungen

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.
	Handlungsanweisung	Wird für direkte Handlungsanweisung verwendet.
	Gefahr	Wird verwendet bei Gefahren für Leben und Sicherheit. Die Beachtung der Anweisung ist äußerst wichtig!

1.4.2 Symbole für Komponenten

Die folgende Tabelle 1-2 stellt die verwendeten Symbole für die Komponenten dar.

Tabelle 1-2: Symbole für Komponenten

Symbol	Name	Bedeutung
	Controller	Gerät, dass den Datenverkehr initiiert.
	Switch	Gerät zur Verbindung mehrerer PROFINET-Geräte untereinander. Acht bzw. vier Anschlüsse für Kupferkabel.
	Switch	Gerät zur Zusammenschaltung mehrerer PROFINET-Geräte. Sechs Ports für Kupferkabel plus zwei Ports für Lichtwellenleiter-Kabel.
	Device	<p>Dezentral zugeordnetes Feldgerät, dass einem Controller zugeordnet ist.</p> <p>In dieser Richtlinie wird zwischen zwei verschiedenen Remote IOs unterschieden. Der Fokus liegt in diesem Dokument bei der Anzahl der zur Verfügung stehenden Ports, die als Busanschluss für ein PROFINET-Kabel mit geeigneter Steckerkonfektionierung dienen. Die Feldgeräte weisen im weiteren Verlauf zwei oder vier Ports auf. Remote IOs mit zwei PROFINET-Anschlüssen erfüllen die Voraussetzungen für einfache (singuläre) PROFINET-Netzwerkstrukturen, während Remote IOs mit vier installierten Ports den Anforderungen von redundanten Netzwerken entsprechen.</p>

		<p>Als weiteres Feldgerät ist der Antrieb definiert. Verfügt über 2 Ports für Kupferkabel.</p>
	<p>Ethernet-APL-Field-Switch</p>	<p>Gerät stellt eine Verbindung zwischen PROFINET und den angeschlossenen APL-Feldgeräten über die Spur-Ports her. Durch eine direkte Anbindung an eine Hilfsenergiequelle ist der APL-Field-Switch in der Lage die angeschlossenen APL-Feldgeräte mit Energie zu versorgen.</p>
	<p>APL-Feldgerät</p>	<p>APL-Feldgerät mit integrierter Ethernet-APL-Schnittstelle. Typische APL-Feldgeräte sind bspw. Temperaturtransmitter, Drucktransmitter, Durchflusstransmitter und Stellungsregler.</p>

1.4.3 Symbole für PROFINET Kabel und Applikationsbeziehungen

Die folgende Tabelle 1-3 stellt die verwendeten Symbole für Kabel und Applikationsbeziehungen dar.

Tabelle 1-3: Symbole für PROFINET-Kabel und Applikationsbeziehungen

Symbol	Name	Bedeutung
	PROFINET-Kupferkabel	<p>PROFINET-Industrial-Ethernet Kabel mit Kupferadern</p> <p>Mantelfarbe: grün</p> <p>In dieser Richtlinie werden zwei verschiedene Grüntöne verwendet, um die Leitungen in den Grafiken besser zuordnen zu können. Die Farbe Hellgrün dient zur Kennzeichnung des primär verwendeten PROFINET-Netzwerks, während die Farbe Dunkelgrün die sekundäre Netzwerkverbindung darstellt.</p>
	PROFINET-Lichtwellenleiter (LWL)	<p>Lichtwellenleiterkabel</p> <p>Mantelfarbe: grün, orange</p> <p>Hinweis: zur besseren Unterscheidung von Kupfer und LWL werden die LWL in dieser Richtlinie orange dargestellt, auch wenn der Mantel des Kabels i.d.R. grün ist. Eine Ausnahme bildet der Redundanzlink als LWL, der allgemein einen orangenen Mantel aufweist.</p>
	PROFINET-Applikationsbeziehungen (Application Relations)	<p>Die gestrichelten Linien mit den Farben schwarz und gelb repräsentieren die Zuweisung der Applikationsbeziehungen zwischen einem Controller und einem Device.</p>

	Ethernet-APL Kupferkabel	Ethernet-APL Kabel mit Kupferadern. Mantelfarbe: nicht definiert
---	--------------------------	---

1.4.4 Symbole für Bereiche

Tabelle 1-4: Symbole für Bereiche

Symbol	Name	Bedeutung
	Ex-Bereich	Explosionsgefährdeter Bereich

1.5 Ziel der Richtlinie

Diese Richtlinie richtet sich an Planer von Automatisierungssystemen, die den Aspekt der Hochverfügbarkeit besonders beachten müssen. Mit diesem Dokument wird die PROFINET-Planungsrichtlinie [PNP2022] um den Aspekt der Hochverfügbarkeit ergänzt, um so die relevanten Planungsaspekte zu beschreiben.

Weitere, detaillierte Informationen zu diesem Thema finden sich in den Dokumenten [PNH2020] und [PNM2018].

2 Grundlagen der Verfügbarkeit

Das folgende Kapitel gibt zunächst einen Überblick über die Grundlagen der Verfügbarkeitsberechnung. Die Ausführungen orientieren sich im Wesentlichen an der [VDI2183].

2.1 Mean Time to Failure (*MTTF*)

Die *MTTF*, dass im Englischen für „Mean Time to Failure“ steht, ist eine statistische Zahl, die den störungsfreien Betrieb eines Geräts bis zum ersten Ausfall beschreibt (auch als „mittlere Betriebsdauer bis zum Ausfall“ definiert). Unter der Annahme, dass die Ausfallrate λ konstant ist, lässt sich die *MTTF* somit durch Gleichung (2-1) bestimmen:

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (2-1)$$

Durch standardisierte Berechnungsverfahren, wie z.B. Telcordia SR332 [TEL2011] oder MIL-HDBK-217F [MIL217F], existieren Standards, mit denen Zuverlässigkeitskennwerte ermitteln lassen. Belastungsfaktoren, wie z.B. Schock, Vibration oder eine korrosive Atmosphäre, können bei der Berechnung der *MTTF* berücksichtigt werden. Die ermittelten Werte geben lediglich eine Schätzung der Lebensdauer an. Daher ist in Betracht zu ziehen, dass die Funktionsfähigkeit eines Geräts nicht zwangsläufig mit der zuvor ermittelten *MTTF* übereinstimmen muss. Die Höhe der *MTTF* hängt im Wesentlichen von folgenden Einflussfaktoren ab:

- Anzahl und Typ der Bauelemente
- Einsatz-/Umgebungstemperatur
- Weitere Umgebungsbedingungen

Herstellerbezogene Angaben für die *MTTF* liegen typischerweise im Bereich von mehreren Jahren.

2.2 Mean Time to Recover (*MTTR*)

Eine weitere Kenngröße zur Ermittlung der Verfügbarkeit ist die *MTTR*. Die Abkürzung *MTTR* steht für „Mean Time to Recover“ und beschreibt den durchschnittlichen Zeitbedarf für die Reparatur oder Austausch eines defekten Geräts (auch als „mittlere Reparaturzeit“ definiert). Die Wiederherstellung des Systems sollte so schnell wie möglich geschehen, um im besten Fall eine kurze *MTTR* zu erreichen. Diese hängt im Wesentlichen von der Serviceorganisation des Anlagenbetreibers und des Geräteherstellers ab. Des Weiteren sind folgende Einflussfaktoren für die *MTTR* zu berücksichtigen:

- Benötigte Zeit zum Auffinden des Fehlers

- Benötigte Zeit zur Reparatur des Fehlers/Geräts
- Unter Umständen: Zeit zur Beschaffung von Ersatzteilen

Die Höhe der *MTTR* kann aufgrund der zuvor geschilderten Einflussfaktoren unterschiedlich ausfallen. Diese kann typisch zwischen mehreren Stunden und wenigen Tage liegen.

2.3 Mean Time Between Failures (*MTBF*)

Die dritte wichtige Kenngröße für die Berechnung der Verfügbarkeit ist die *MTBF*, die als Abkürzung für „Mean Time Between Failures“ steht. Unter diesem Begriff ist die mittlere Betriebsdauer zwischen zwei Ausfällen zu verstehen, die sich aus dem ungestörten Betriebsablauf (*MTTF*) und der Reparaturzeit (*MTTR*) zusammensetzt. Mithilfe von Gleichung (2-2) lässt sich die *MTBF* durch die zuvor definierten Kenngrößen folgendermaßen beschreiben:

$$MTBF = MTTF + MTTR \quad (2-2)$$

Häufig erfolgt in der Literatur eine Gleichsetzung der Begriffe *MTBF* und *MTTF*. Dies lässt sich dadurch erklären, dass viele Hersteller die Lebensdauer ihrer Geräte mit der Kenngröße *MTBF* deklarieren. Das würde wiederum bedeuten, dass der Produzent den vollständigen Einfluss auf die *MTTR* hätte. In der Regel ist die *MTBF*-Angabe daher als *MTTF* zu interpretieren. Abbildung 2-1 zeigt den Zusammenhang von *MTTF*, *MTTR* und *MTBF*.

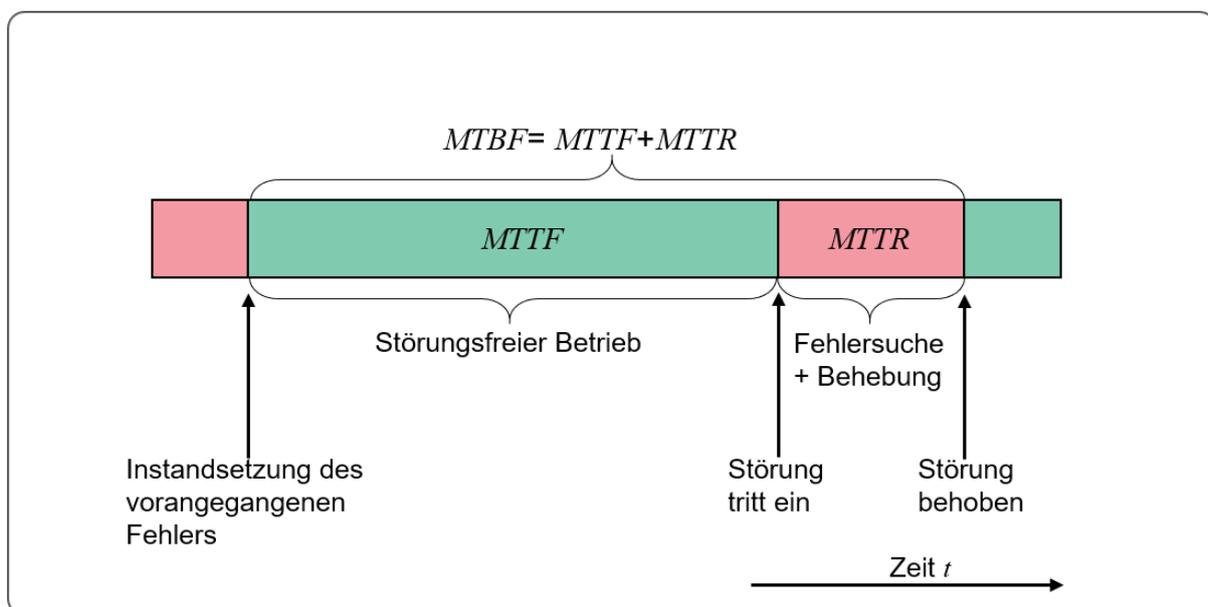


Abbildung 2-1: Zusammenhang von *MTTF*, *MTTR* und *MTBF*

2.4 Verfügbarkeit (*V*)

Die Verfügbarkeit *V* gibt die Wahrscheinlichkeit an, dass ein Gerät oder System funktionsfähig ist und kann Zahlenwerte zwischen 0 und 1 annehmen. Demzufolge lässt sich die

Verfügbarkeit aus den bereits bekannten Kenngrößen *MTTF*, *MTTR* und *MTBF* gemäß Gleichung (2-3) herleiten.

$$V = \frac{MTTF}{MTBF} = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} = \frac{\text{Zeit ungestörter Betrieb}}{\text{Gesamtzeit}} \quad (2-3)$$

Anhand von Gleichung (2-3) lässt sich feststellen, dass eine hohe Verfügbarkeit nur dann erzielt werden kann, sofern der Wert der *MTTF* signifikant größer gegenüber der *MTTR* ist. Geringe Ausfallraten und kurze Instandsetzungszeiten sind Faktoren, die zu einer hohen Verfügbarkeit führen.

2.5 Empfehlungen zum Erreichen hoher Verfügbarkeiten

Aus den vorangehenden Kapiteln lässt sich entnehmen, dass eine hohe Verfügbarkeit durch eine hohe *MTTF* und eine geringe *MTTR* erreichbar ist. Hieraus lassen sich die folgenden generellen Empfehlungen ableiten.

- Komponenten mit einer hohen *MTTF* einsetzen. Dies lässt sich z. B. dadurch erreichen, dass auf Komponenten mit bewegten Teilen (Lüfter) verzichtet wird.
- Lagerhaltung für Ersatzteile so aufbauen, dass häufig eingesetzte Teile schnell ersetzbar sind.
- Netzwerküberwachungssysteme einsetzen, um eine schnelle Fehlersuche zu ermöglichen und um eine kurze *MTTR* zu erreichen.
- Ausfallgefährdete Komponenten mit geringer *MTTF* (z. B. Netzteile) redundant ausführen.
- Redundante Systemstrukturen, wie in diesem Dokument beschrieben, verwenden.

In [VDI_2183] finden sich weitere Hinweise zum Erreichen einer hohen Verfügbarkeit.

3 PROFINET Redundanzfunktionen

3.1 Einführung in die PROFINET-Redundanz

Hochverfügbare Automatisierungsanlagen gewinnen in der Prozess- und Fertigungsindustrie immer mehr an Bedeutung. Der Ausfall von Netzwerkkomponenten oder ein Kabelbruch führen in der Regel bei einfachen Linien-, Stern- und Baumtopologien zum Stillstand einer Industrieanlage. Ein Beispiel liefert hierzu Abbildung 3-1. Es ist zu erkennen, dass bei Ausfall einer einzelnen Komponente, die Gesamtfunktion nicht mehr gegeben ist.

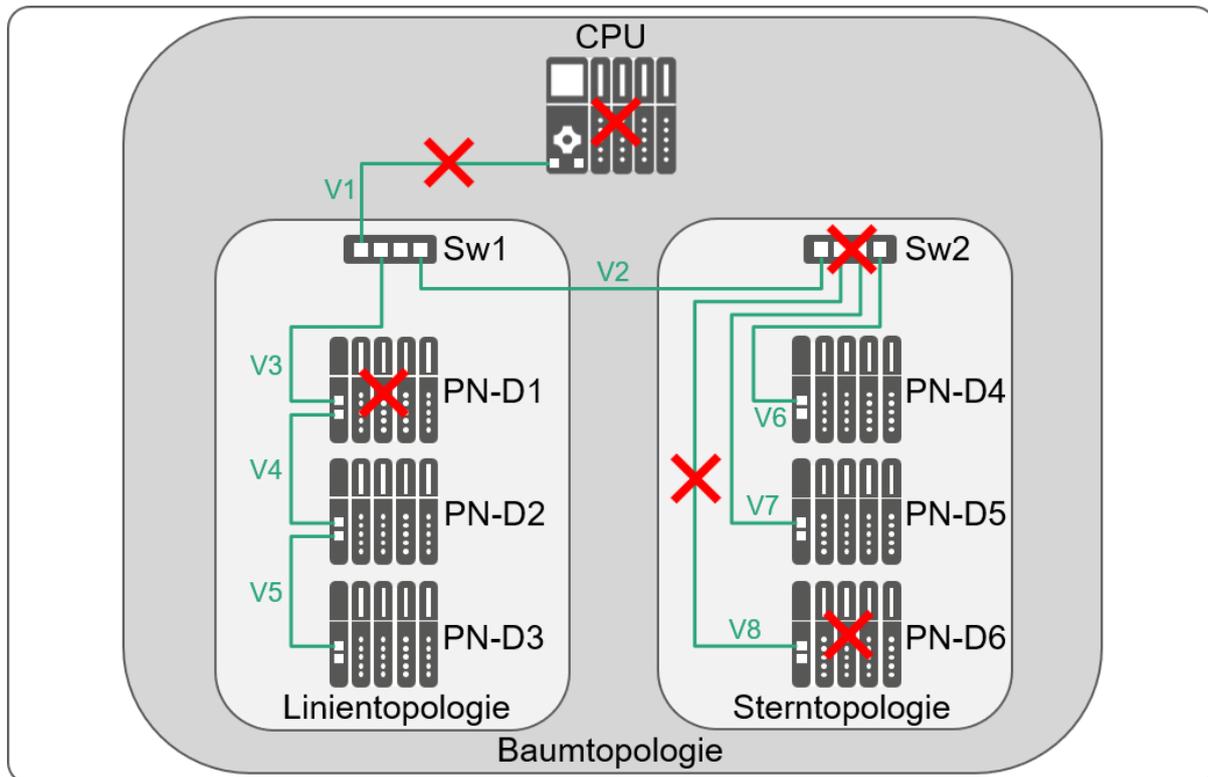


Abbildung 3-1: Nicht-redundante PROFINET-Topologien

PROFINET Linientopologie:

Abbildung 3-1 zeigt im linken Teil eine Linientopologie. Diese wird durch Nutzung der in den Devices vorhandenen Switches realisiert. Ein wesentlicher Vorteil dieser Verbindungsmethode ist die einfache und kostengünstige Vernetzung von PROFINET-Geräten. Jedoch ergeben sich Beeinträchtigungen durch den Ausfall einer Netzwerkkomponente innerhalb der Linienstruktur. Anhand von Abbildung 3-1 lässt sich verdeutlichen, dass ein Defekt des Devices „PN-D1“ zur Unterbrechung der Kommunikation der dahinter liegenden Netzwerkteilnehmer führt.



PROFINET Linientopologien sind nicht dafür geeignet, eine hohe Verfügbarkeit zu gewährleisten. Der Ausfall von Komponenten oder Verbindungen führt daher zu einer Störung der Kommunikation.

PROFINET Sterntopologie:

Das Verbinden von mehreren PROFINET-Endgeräten an einem zentral angeordneten Switch realisiert eine Sterntopologie. Sterntopologien besitzen gegenüber einer Linientopologie eine geringere Ausfallwahrscheinlichkeit. Abbildung 3-1 beschreibt beispielhaft, dass eine beschädigte PROFINET-Verbindung „V8“ oder ein defektes Endgerät keine negativen Auswirkungen auf die Kommunikation der verbleibenden Teilnehmer zur Folge hat und somit zur Steigerung der Verfügbarkeit beiträgt. Dennoch besitzen einfache Sternstrukturen in Bezug auf die Verfügbarkeit einen entscheidenden Nachteil. Sobald der zentrale Switch „Sw2“ als Single Point of Failure die Kommunikation nicht mehr aufrechterhalten kann, führt dieses Szenario zu einer vollständigen Störung des Datenaustauschs.



Ein technischer Defekt des zentralen Switches führt zur Kommunikationsunterbrechung der angeschlossenen PROFINET-Endgeräte innerhalb der Sterntopologie.

Sternstrukturen benötigen im Vergleich zur Ring- und Linientopologie einen höheren Verkabelungsaufwand. Das Verlegen von langen Kabeltrassen kann sich negativ auf die *MTTR* auswirken, weil eine Lokalisierung der Fehlerquelle unter Umständen länger ausfallen kann, siehe Kapitel 2.2.

PROFINET Baumtopologie:

Durch eine mehrfache Kaskadierung von Switches lassen sich Baumtopologien realisieren. Es gelten sinngemäß die Aussagen für Sterntopologien.

Die bisher vorgestellten Methoden zielen nicht auf eine erhöhte Ausfallsicherheit. Durch den Einsatz von PROFINET-Redundanzen kann die Verfügbarkeit einer Anlage durch den redundanten Einsatz kritischer Komponenten erhöht werden. Dabei sind vorab folgende Anforderungen bei der Planung zu berücksichtigen:

- Die Geräte/Komponenten müssen die jeweils genutzte Redundanzfunktion unterstützen.
- Die maximal erlaubte Geräteanzahl in Abhängigkeit vom Redundanztyp wird nicht überschritten.
- Die Rekonfigurationszeiten/Umschaltzeiten sind für den jeweilige Produktionsprozess akzeptabel.

Umschaltzeiten:

Redundante Systeme benötigen zur Erkennung einer Unterbrechung und zur Umschaltung auf die redundanten Strukturen eine Umschaltzeit. Bei der Umschaltzeit auf redundante Strukturen oder Netzwerkteilnehmer unterscheidet man grundsätzlich zwischen zwei Typen:

- **„Stoßfreie Umschaltung“**: Während einer Unterbrechung oder eines Gerätetauschs tritt kein Datenverlust auf.
- **„Nicht stoßfreie Umschaltung“**: Während einer Unterbrechung oder eines Gerätetauschs kann ein Datenverlust auftreten.

Redundanzprotokolle:

Um bei Ausfall einer Komponente auf eine Ersatzkomponente umschalten zu können, werden sogenannte PROFINET-Redundanzprotokolle eingesetzt. Diese werden ab Kapitel 3.2 näher beschrieben.

3.2 PROFINET Medienredundanz

Dieser Abschnitt befasst sich mit dem Thema der PROFINET-Medienredundanz. Diese Form der Redundanz ist speziell für PROFINET-Ringtopologien ausgelegt und basiert auf einer ringförmigen Verkabelung, wie in Abbildung 3-2 dargestellt.

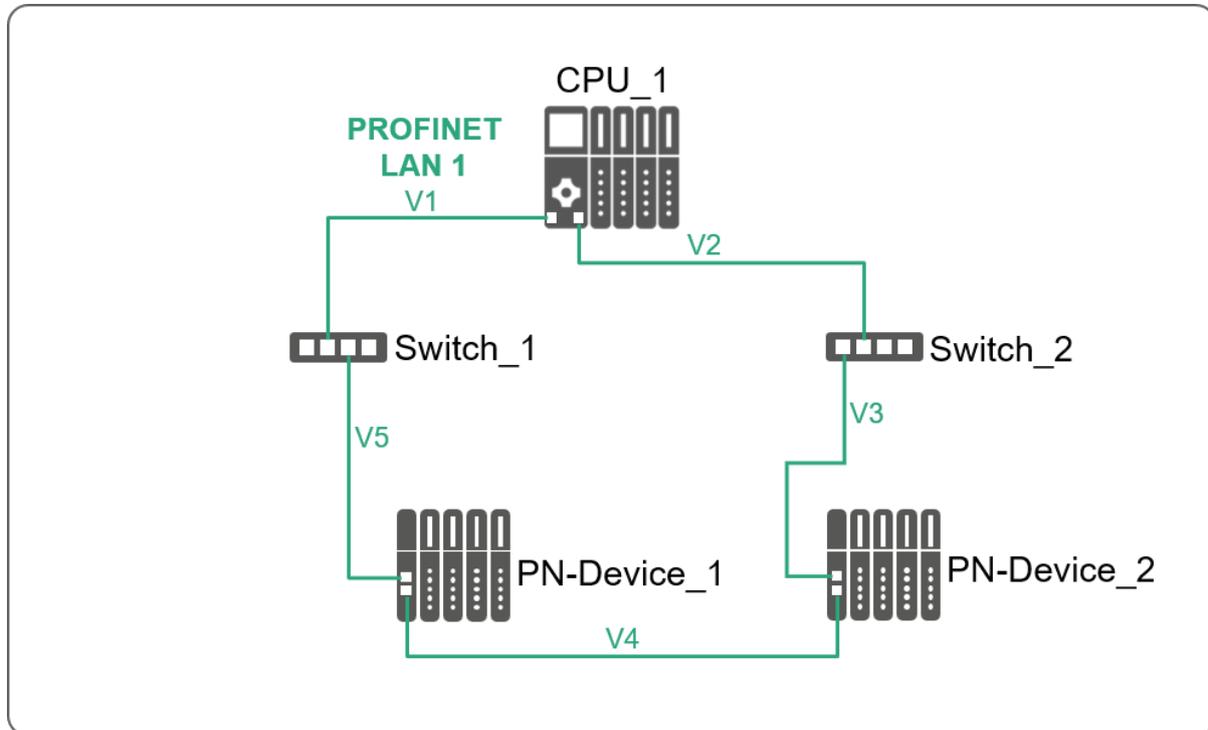


Abbildung 3-2: PROFINET-Ringtopologie

Das Zusammenschließen von mehreren Linienpfaden zu einem Ring ist in der Standard-Ethernet-Kommunikation nicht erlaubt, weil es zur Zirkulation von Datenpaketen in Schleifenarchitekturen führt. Um das Kreisen von Datenpaketen zu verhindern, verwendet PROFINET sogenannte Ringredundanzprotokolle. Diese bewirken aus technischer Sicht eine Trennung der Ringstruktur im fehlerfreien Betrieb, womit Datenpakete gezielt über linienförmige Kommunikationswege zwischen Sender und Empfänger versandt werden. Besonders unter dem Aspekt der Ausfallsicherheit zeigen sich die Vorzüge der PROFINET Medienredundanz. Sofern Störeinflüsse die funktionale Gegebenheit einer PROFINET-Ringstruktur nicht mehr gewährleisten, garantiert der Einsatz von Ringredundanzprotokollen die Aufrechterhaltung des Datenverkehrs. Eine Zwei-Wege-Kommunikation sorgt nämlich dafür, dass eine Weiterleitung von Datenframes über redundante Pfade weiterhin gesichert ist.

PROFINET bietet zur Verwaltung von Ringstrukturen zwei verschiedene Medienredundanzlösungen an. Gemeint sind die Protokolle:

- „Media Redundancy Protocol“ (MRP), ein standardisiertes Ringredundanzprotokoll auf Basis der Norm [IEC_62439-2]

- „Media Redundancy for Planned Duplication“-Protocol (MRPD)

Die funktionalen Eigenschaften von MRPD und MRP basieren jedoch auf zwei unterschiedliche Ansätze zur Verwaltung von Ringstrukturen. Vorweggenommen sei jedoch, dass MRPD allein nicht in der Lage ist eine Zirkulation von Datenpaketen zu unterbinden. Ein weiterer Bestandteil von MRPD ist das MRP-Protokoll, das zur Überprüfung der Ringfunktion benötigt wird und somit zusätzlich im MRPD-Mechanismus integriert ist. Weitere Informationen und Details zu den Themen MRP und MRPD erfahren Sie in den folgenden Kapiteln.



Grundsätzlich ist MRPD ein Mechanismus, der als funktionale Erweiterung der MRP-Funktion zu verstehen ist. MRP dient somit als Grundlage zur Nutzung von MRPD.

Für den Aufbau von Ringtopologien sind Switches von elementarer Bedeutung. Sie besitzen die Fähigkeit Kommunikationswege zu erkennen und die empfangenen Daten gezielt in den richtigen Pfad weiterzuleiten. In Abbildung 3-2 verfügt die Ringstruktur über zwei verschiedene Arten von Switches. Während „Switch_1“ und „Switch_2“ als externe Switches dargestellt sind, besitzen die Feldgeräte „PN-Device_1“ und „PN-Device_2“ sowie der Controller „CPU_1“ einen integrierten Switch. Um PROFINET-Geräte in Ringtopologien einsetzen zu können, ist die Anzahl der erforderlichen Ethernet-Ports zu beachten. Für die Medienredundanz wird vorausgesetzt, dass pro PROFINET-Gerät zwei Ports mit einem integrierten Switch zur Verfügung stehen.



Eine Ringstruktur minimiert Ausfallzeiten bei einfachen Netzwerkunterbrechungen, z.B. beim Austausch eines PROFINET-Teilnehmers innerhalb der Ringstruktur.



Die Verlegung des Rückpfades zum Schließen des Ringes sollte auf einer getrennten Trasse erfolgen, um eine gleichzeitige Beschädigung beider Leitungen zu vermeiden. Passen Sie die Dokumentation der Verkabelung dementsprechend in Ihren Unterlagen an.

3.2.1 Medienredundanz mit MRP

Das „Media Redundancy Protocol“ (MRP) ist ein Redundanzprotokoll, das speziell für PROFINET-Ringtopologien zur Sicherstellung von Netz- und Anlagenverfügbarkeit entwickelt wurde. Vorteilhaft sind die geringen Konfigurationsanforderungen für MRP. Ein Nachteil der MRP-Funktion ist hingegen, dass Unterbrechungszeiten im Falle einer Umschaltung in Kauf zu nehmen sind. Damit eine PROFINET-Ringtopologie problemlos funktioniert, sind folgende Voraussetzungen zu beachten:

- Für den Einsatz von MRP muss der Topologie-Aufbau als Ring erfolgen.
- Alle Geräte, die sich im Ringnetzwerk befinden, müssen MRP nach [IEC_62439-2] unterstützen.
- Bei der Projektierung ist MRP bei allen PROFINET-Teilnehmern im Ring zu aktivieren.
- Die Ringteilnehmer sind über die konfigurierten Ring-Ports miteinander zu verbinden.
- Die maximale Anzahl von PROFINET-Geräten in einem Ring ist zu berücksichtigen. Diese kann herstellerspezifisch unterschiedlich ausfallen.
- Bei den Verbindungseinstellungen ist darauf zu achten, dass die Ring-Ports eine Vollduplex-Übertragung sowie eine Übertragungsgeschwindigkeit von mindestens 100 Mbit/s unterstützen.

Wie bereits angedeutet, müssen alle PROFINET-Teilnehmer innerhalb der Ringstruktur das Media Redundancy Protocol (MRP) unterstützen. Der Einsatz dieses Protokolls erfordert für die Überwachung und Steuerung der Ringtopologie das Zuweisen von Teilnehmerrollen für die PROFINET-Geräte. Diese unterscheiden sich in Medienredundanz-Manager (MRM) und Medienredundanz-Client (MRC), wie in Abbildung 3-3 dargestellt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass lediglich **ein** PROFINET-Teilnehmer als Medienredundanz-Manager in einem Ring festzulegen ist. Die restlichen Teilnehmer sind als Medienredundanz-Clients zu definieren. Ein Verfahren zur Konfiguration der Teilnehmerrollen im Ring ermöglicht die Funktion „Media Redundancy Automanager“ (MRA). Diese Methode zeichnet sich durch eine automatische Bestimmung des Medienredundanz-Managers aus, wodurch manuelle Einstellungen zur Rollenverteilung der PROFINET-Ringteilnehmer entfallen. Entsprechend der Paketlaufzeit wird die Vergabe des MRM dynamisch festgelegt. Ein weiterer Vorteil ist die automatische Weitergabe der MRM-Funktion, sofern ein Ausfall des aktiven Medienredundanz-Managers detektiert wird.

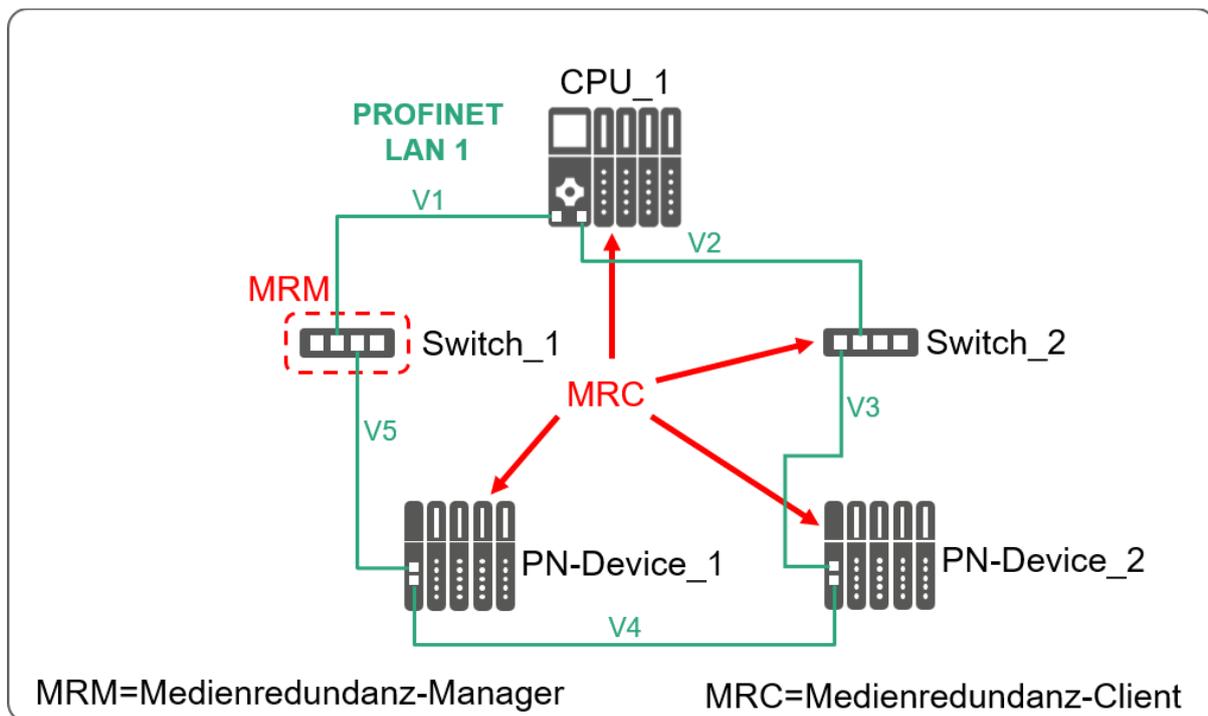


Abbildung 3-3: PROFINET Medienredundanz mit verteilten Teilnehmerrollen für MRP

Die Überwachung und Steuerung der Ringtopologie ist die Aufgabe des Medienredundanz-Managers. Zur Überprüfung der Funktionsfähigkeit sendet der MRM zyklische Test-Frames, die von beiden Ring-Ports gleichzeitig verschickt werden. Sobald die Test-Frames am gegenüberliegenden Ring-Port intern wieder empfangen werden, ist eine intakte Ringstruktur sichergestellt. Anschließend blockiert der Medienredundanz-Manager einen der beiden Ring-Ports und öffnet somit die Ringstruktur. Diese Funktion stellt im fehlerfreien Fall sicher, dass eine Weiterleitung der Daten nur über einen linienförmigen Weg erfolgt, um eine unerwünschte Zirkulation von Datenpaketen zu vermeiden. In Abbildung 3-4 ist dieses Funktionsprinzip dargestellt. Der blockierte Ring-Port von Switch_1, als rot markiertes Quadrat abgebildet, lässt eine Weiterleitung und Empfangen der Datenframes in Richtung des Controllers „CPU_1“ nicht zu. Der MRM überführt somit die Ringstruktur in eine Linientopologie, womit ein Zirkulieren der Datenpakete verhindert wird.

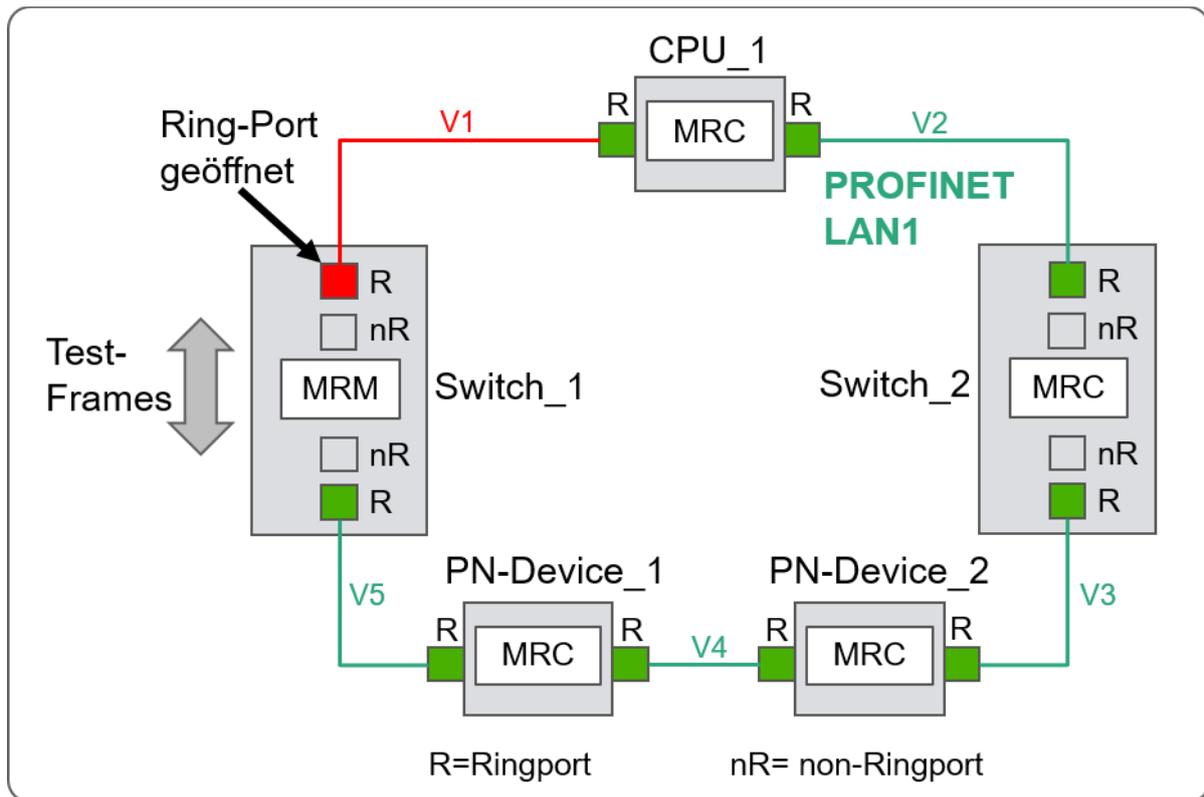


Abbildung 3-4: Geschlossener PROFINET-Ring mit MRP-Funktion

Ein Fehler im Ring (Ausfall Switch oder Verbindung) führt zur Aufhebung der Blockierung des redundanten Ring-Ports. Abbildung 3-5 zeigt beispielhaft, wie so ein alternativer Pfad durch den Einsatz des MRP-Protokolls bereitgestellt wird. Durch das Schließen des redundanten Ring-Ports zeigt Abbildung 3-5, dass trotz einer Unterbrechung im Ring die Teilnehmer „CPU_1“ und „Switch_2“ weiterhin über eine linienförmige Topologie weiterhin erreichbar sind.

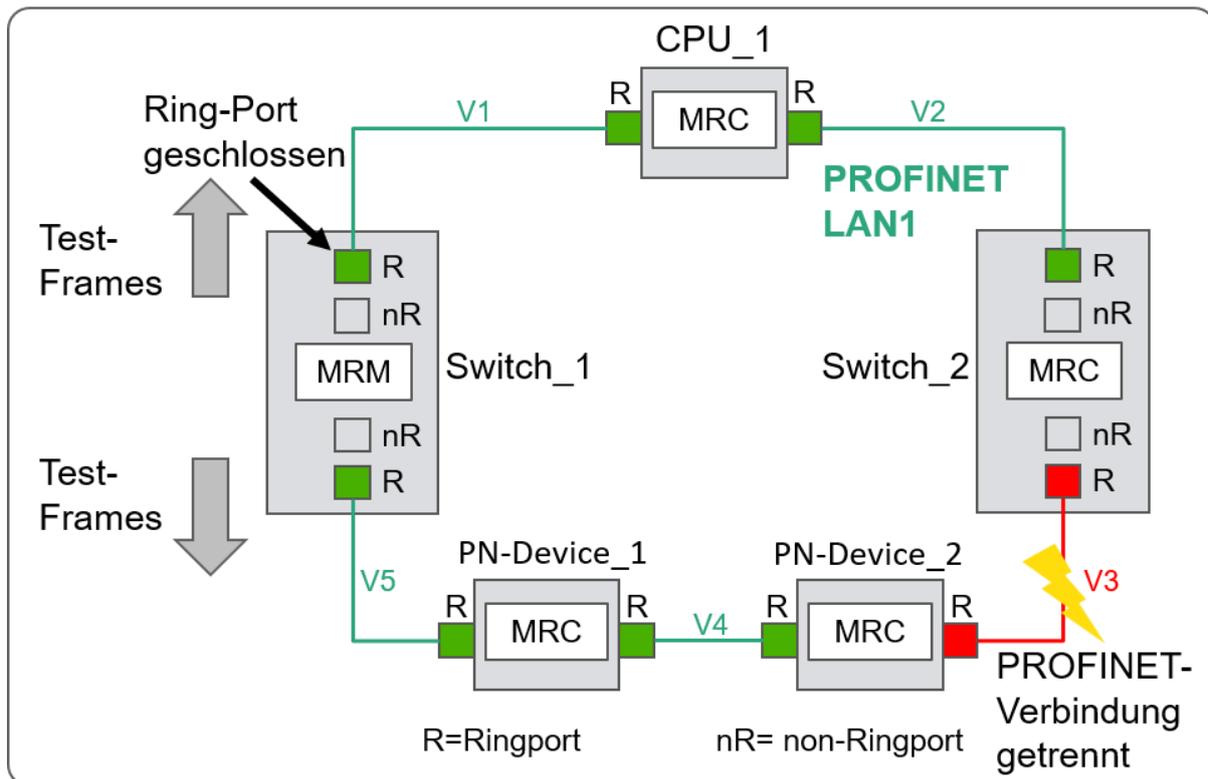


Abbildung 3-5: Geöffneter PROFINET-Ring mit MRP-Funktion

Ist die Unterbrechung wieder behoben und der ursprüngliche Kommunikationsweg in einen funktionsfähigen Zustand gebracht, führt dieses Szenario wieder zu einer inneren Auftrennung der Ringstruktur. Die Unterbrechungszeit für MRP, auch Rekonfigurationszeit genannt, darf **maximal** 200 ms betragen.



Weitere Informationen zum Thema „Media Redundancy Protocol“ (MRP) finden Sie in der Richtlinie zur PROFINET Media Redundancy Guideline (Order No.:7.212)

3.2.2 Medienredundanz mit MRPD

Für PROFINET-Ringtopologien mit höheren Verfügbarkeitsanforderungen eignet sich der Einsatz des „**M**edia **R**edundanz for **P**lanned **D**uplication-Protocols“ (MRPD). Mit MRPD, das auf MRP und dem Echtzeitprotokoll PROFINET IRT (PROFINET Conformance Class C) basiert, können Störungen noch schneller kompensiert werden. Der Einsatz dieses Redundanzprotokolls ermöglicht eine stoßfreie Umschaltung für PROFINET-Anlagen, womit sich Rekonfigurationszeiten im Fehlerfall vermeiden lassen. Auf Basis einer IRT-Kommunikation zwischen den PROFINET-Ringteilnehmern ist die Netzwerkinfrastruktur entsprechend anzupassen. Der Austausch von IRT-Daten kann nur mit geeigneten PROFINET-Geräten und entsprechendem Netzwerk nach den Vorgaben der „Conformance

Class C“ erfolgen, um die Anforderungen für harte Echtzeit zu erfüllen. Damit eine PROFINET-Ringtopologie mit MRPD einwandfrei funktioniert, sind folgende Voraussetzungen zu beachten:

- Die Funktion MRPD kann nur in PROFINET-Ringstrukturen eingesetzt werden.
- Die Netzwerkinfrastruktur ist nach den Anforderungen der Conformance Class C zu errichten, um eine zyklische und taktsynchrone Datenübertragung zu ermöglichen.
- Alle PROFINET-Geräte im Ring müssen für den zyklischen Datenaustausch von IRT-Daten die Funktion MRPD nach [PNA2022] unterstützen.
- Die Aktivierung der Funktion MRPD ist bei der Projektierung zu berücksichtigen.
- Beachten Sie die limitierte Anzahl von PROFINET-Geräten in einem Ring. Diese kann herstellerspezifisch unterschiedlich ausfallen.
- Die Ringteilnehmer sind über die konfigurierten Ring-Ports miteinander zu verbinden.
- Bei den Verbindungseinstellungen ist darauf zu achten, dass die Ring-Ports eine Vollduplex-Übertragung sowie eine Übertragungsgeschwindigkeit von 100 Mbit/s unterstützen.

Zusätzlich zu den aufgeführten Voraussetzungen ist eine Konfiguration der Medienredundanz-Rollen für die eingesetzten PROFINET-Geräte vorgesehen, die zum Steuern und Kontrollieren einer PROFINET-Ringtopologie benötigt wird. Für die PROFINET-Ringteilnehmer ist zu berücksichtigen, dass ausschließlich nur **ein** Gerät die Rolle des Medienredundanz-Managers (MRM) ausführen darf. Allen weiteren PROFINET-Teilnehmern im Ring ist die Rolle eines Medienredundanz-Clients (MRC) zuzuweisen.

Das Versenden von Daten erfolgt bei MRPD über den folgenden Mechanismus: Der Sender sendet über die beiden Ring-Ports die Datentelegramme mit den gleichen Informationen über beide Ports in den Ring. Somit erhält der Empfänger im ungestörten Betrieb zwei identische IRT-Datentelegramme, die ggf. etwas zeitlich versetzt eintreffen. Das IRT-Datentelegramm, das als erstes beim adressierten Gerät ankommt, wird für den weiteren Prozess genutzt und anschließend ausgewertet. Das zweite IRT-Datentelegramm wird ungenutzt verworfen. Um einen redundanten Übertragungsmechanismus zu gewährleisten, zeigt Abbildung 3-6, dass der Medienredundanz-Manager (MRM) beide Ring-Ports schließen muss. Für die Kommunikation ergibt sich folglich ein geschlossener Ring, mit der Eigenschaft, eine redundante Datenübertragung zu ermöglichen. Ein Kreislauf von IRT-Datenpaketen tritt durch den Einsatz von MRPD nicht auf.

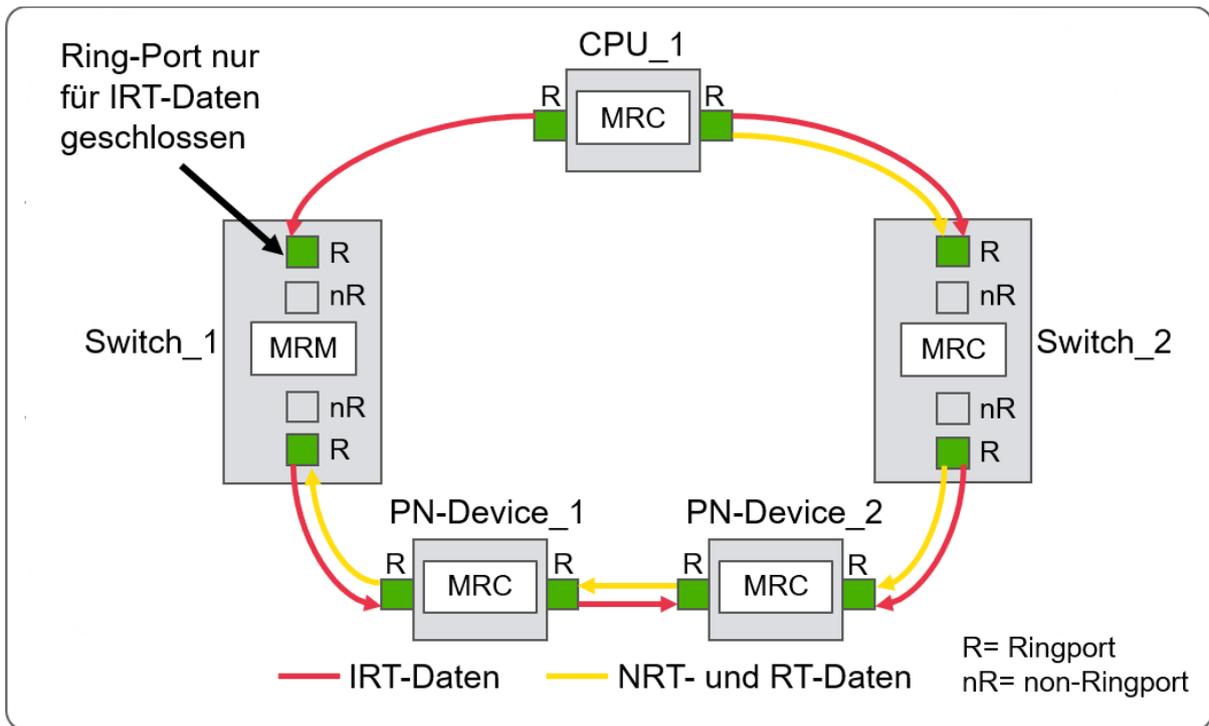


Abbildung 3-6: Medienredundanz mit MRPD

Neben MRPD müssen die PROFINET-Geräte zusätzlich das MRP-Protokoll unterstützen, da ggf. zusätzliche Datenpakete im Umlauf sind, die keine Kompatibilität für MRPD aufweisen. Dies betrifft NRT (Non-Real-Time) und RT (Real-Time) Datenpakete.

Eine weitere Aufgabe des Medienredundanz-Managers (MRM) ist die Überwachung der PROFINET-Ringtopologie. Durch das beidseitige Senden von Test-Frames über die konfigurierten Ring-Ports kann festgestellt werden, ob sich die Ringstruktur in einem einwandfreien Zustand befindet. Die Funktionsfähigkeit der Ringtopologie lässt sich durch das Empfangen der Test-Frames an den gegenüberliegenden Ring-Ports des MRM ermitteln.



Überprüfen Sie, ob alle PROFINET-Geräte in einem Ring die MRPD-Funktionalität unterstützen. PROFINET-Geräte, die lediglich die MRP-Funktion erfüllen, sind in einem MRPD-Ring nicht zulässig.

Bei der Planung von PROFINET-Ringnetzwerken sind redundante Ringkopplungen von MRPD-Ringen zu vermeiden und daher nicht möglich.



Weitere Informationen zum Thema „Media Redundancy for Planned Duplication“ (MRPD) finden Sie in der Richtlinie zur PROFINET Media Redundancy Guideline (Order No.:7.212)

3.3 PROFINET Systemredundanz

Die PROFINET Systemredundanz ist Standard für die redundante Kommunikation zwischen Controllern und Devices über das Bussystem PROFINET. Hierfür existieren folgende Konfigurationsmöglichkeiten:

- Systemanbindung S1
- Systemredundanz S2
- Systemredundanz R1
- Systemredundanz R2

Die Kürzel S oder R in der vorangehenden Auflistung definieren die Anzahl der benötigten PROFINET-Schnittstellen. Für eine S-Kommunikation wird dementsprechend ein einfaches Netzwerk benötigt, während eine R-Kommunikation zwei getrennte Netzwerke voraussetzt.

Außerdem lässt sich aus diesen Angaben ableiten, wie viele Interfacemodule für ein Device benötigt werden. Ein Interfacemodul ist die Anschaltung, welche das PROFINET mit dem internen Bus des Devices verbindet (siehe Kapitel 4.1.1). Eine Systemredundanz S2 beispielweise verwendet nur ein Interfacemodul, während eine Systemredundanz R1 oder R2 zwei Interfacemodule vorsieht.

Die Zahlen 1 und 2 beschreiben zusätzlich, wie viele Applikationsbeziehungen (ARs) zwischen den PROFINET-Teilnehmern maximal gegeben sind.



Beachten Sie, dass die Systemredundanz unabhängig von der gewählten Topologie-Form (Ring, Stern, Linie oder Baum) eines PROFINET-Netzwerks ist. Von wesentlich entscheidender Bedeutung ist die Auswahl der PROFINET-Geräte, die eine Kompatibilität zur Systemredundanz aufweisen müssen.

Eine weitere Voraussetzung für die PROFINET Systemredundanz besteht in der Netzwerkinfrastruktur von PROFINET-Anlagen. Diese müssen den Vorgaben der „Conformance Class B“ entsprechen, um eine Übertragung von Prozessdaten über PROFINET Real-Time (RT) gemäß Conformance Class B zu ermöglichen.

3.3.1 PROFINET Systemanbindung S1

Die PROFINET Systemanbindung S1 beschreibt eine einfache Verbindung des im Device enthaltenen Interfacemoduls mit einem Controller. Um die Eigenschaften einer S1-Kommunikation genauer zu verstehen, zeigt Abbildung 3-7, dass das Device mit dem Port

P1a nur eine Applikationsbeziehung (AR) zum Controller über dessen PROFINET-Schnittstelle „IOC“ aufbauen kann. Des Weiteren kann der Datenaustausch der PROFINET-Teilnehmer nur über eine Kommunikationsverbindung erfolgen.

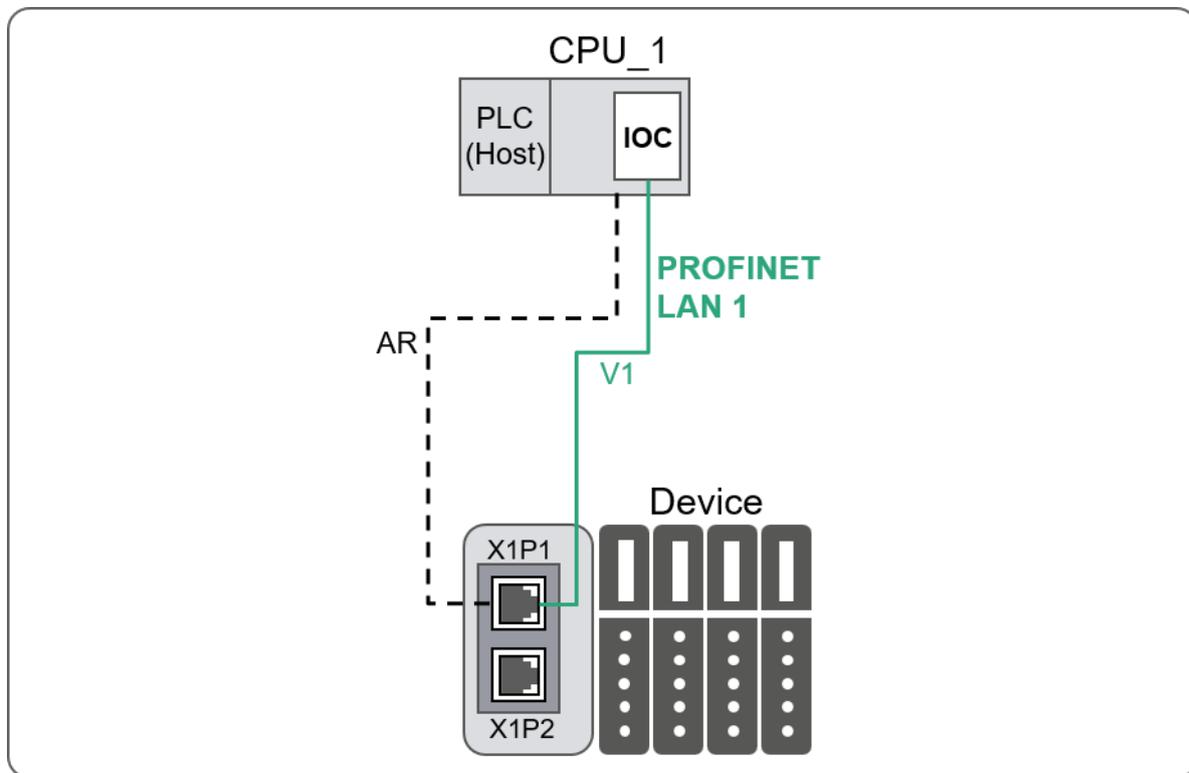


Abbildung 3-7:PROFINET Systemanbindung S1

Eine Unterbrechung der PROFINET-Verbindung V1 würde für die S1-Kommunikation den Verlust der Applikationsbeziehung „AR“ bedeuten. Der Ausfall des Automatisierungssystems ließe sich somit nicht mehr vermeiden. Das Umschalten auf eine andere Kommunikationsverbindung ist aufgrund der nicht-redundanten Auslegung des Devices nicht möglich. Dadurch lässt sich feststellen, dass die Systemanbindung S1 nicht zur Erhöhung der Verfügbarkeit von PROFINET-Anlagen beiträgt und daher als eine einfache Systemanbindung zu betrachten ist.

3.3.2 PROFINET Systemredundanz S2

Bei der PROFINET Systemredundanz S2 handelt es sich um die Anbindung eines Devices über **ein** Interfacemodul, das jeweils **eine** Applikationsbeziehung (AR) zu einem der beiden Controller eines redundanten Controllerpaars aufbaut. Abbildung 3-8 zeigt, dass über die PROFINET-Verbindung V1 die aktive Applikationsbeziehung AR1a zwischen dem Device über Port X1P1 und dem Controller „CPU_1a“ besteht, die zum aktiven Datenaustausch verwendet wird. Die Backup-Applikationsbeziehung AR1b befindet sich in einem Standby-Modus, der erst verlassen wird, wenn ein Ausfall der Applikationsbeziehung AR1a erkannt wird.

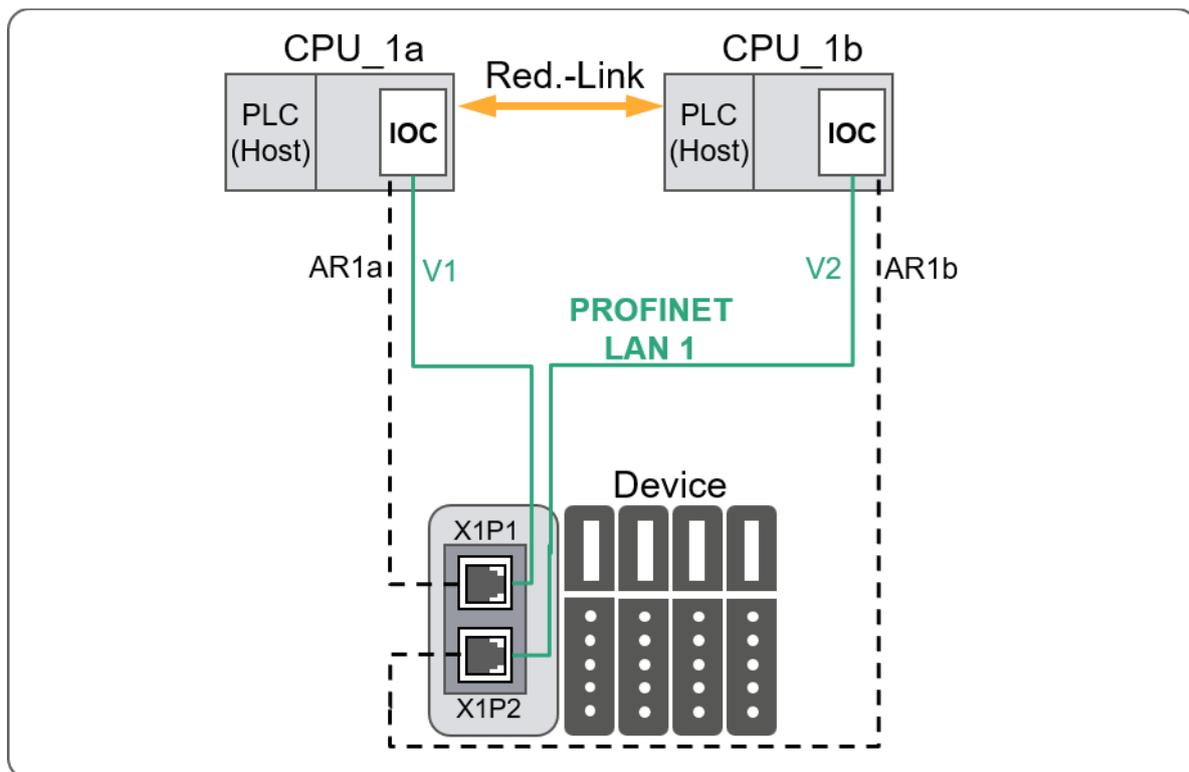


Abbildung 3-8: PROFINET Systemredundanz S2

Dieses Szenario würde sich ergeben, sofern ein Ausfall der „CPU_1a“ oder ein Defekt der PROFINET-Verbindung V1 vorliegt. Daraufhin erfolgt eine stoßfreie Umschaltung, die die Aktivierung des Backup-Controllers „CPU_1b“ zur Folge hat. Mithilfe der PROFINET-Verbindung V2 in Kombination mit der Systemredundanz S2 ist eine Aufrechterhaltung des Datenverkehrs geschaffen worden, indem der Backup-Controller nun über die Schnittstelle „IOC“ mit dem Device über den Port X1P2 kommunizieren kann.



Die Kommunikation zwischen Controller und Device muss nicht zwangsläufig über einen bestimmten bzw. festgelegten Port für die Funktion der PROFINET-Systemredundanz erfolgen, wie in Abbildung 3-8 dargestellt. Als Beispiel dient der Einsatz der Systemredundanz S2 in einer PROFINET-Ringstruktur, siehe Abbildung 4-6 in Kapitel 4.1.2. Diese Schleifenarchitektur ermöglicht für die Systemredundanz S2 eine Kommunikation zwischen Controller und Device über zwei verschiedene Pfade. Das bedeutet, dass am Beispiel des primären Controllers „CPU_1a“ eine Kommunikationsverbindung sowohl über den Port X1P1 als auch über den Port X1P2 unterstützt wird.

Durch die parallele Anbindung des Devices bleiben im Falle eines Ausfalls der Kommunikationsverbindungen alle Daten- und Diagnosefunktionen im System erhalten. Die redundante Controller-Auslegung bewirkt, dass die Verfügbarkeit einer PROFINET-Anlage

verbessert wird. Ein Nachteil der Systemredundanz S2 ist, dass der Ausfall des Netzwerks nicht kompensiert werden kann. Außerdem ist ein Defekt des Interfacemoduls im Device zu berücksichtigen, dass ebenfalls zu einem Totalausfall des Devices führt.

3.3.3 PROFINET Systemredundanz R1

Die PROFINET Systemredundanz R1 beschreibt die Anbindung eines Devices über **zwei** Interfacemodule, das jeweils **eine** Applikationsbeziehung zu einem Controller aufbaut. In Abbildung 3-9 ist zu erkennen, dass zum aktiven Datenaustausch die Applikationsbeziehung AR1a verwendet wird, die eine Kommunikation zwischen dem primären Controller „CPU_1a“ und dem Device über die PROFINET-Verbindung V1 beschreibt. Als Reserve-Kommunikationsverbindung dient dabei die Applikationsbeziehung AR2a, die erst dann genutzt werden kann, sobald die primäre Applikationsbeziehung AR1a ausfällt. Der Unterschied zur Systemredundanz S2 ist, dass die Backup-AR ein zweites, getrenntes PROFINET-Netzwerk benötigt.

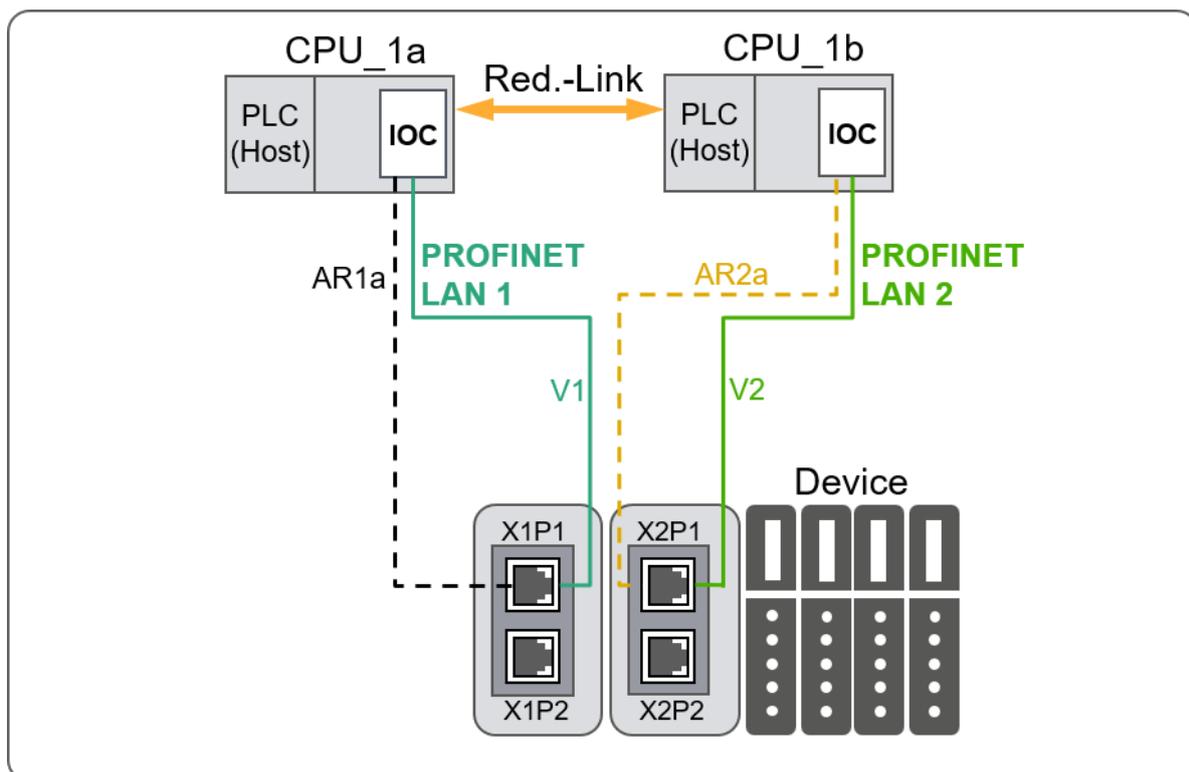


Abbildung 3-9: PROFINET Systemredundanz R1

Ein Kommunikationsausfall zwischen „CPU_1a“ und dem Device führt zu einer unterbrechungsfreien Umschaltung auf den Backup-Controller „CPU_1b“. Die Aktivierung von „CPU_1b“ stellt sicher, dass weiterhin eine Kommunikationsverbindung zum Device besteht. Der Datenaustausch beider Geräte erfolgt über die „IOC“-Schnittstelle des Backup-Controllers und dem Port X2P1 des Devices durch die PROFINET-Verbindung V2.

Der Ausfall eines Interfacemoduls, eines der beiden Netzwerke oder einer Kommunikationsverbindung hätten keine negativen Folgen auf die Funktionsfähigkeit des Systems. Somit stehen alle Daten- und Diagnosefunktionen weiterhin zur Verfügung. Ein wesentlicher Vorteil der R1-Konfiguration ist, dass die Kommunikation mit den Controllern über zwei getrennte Netzwerke stattfindet, was wiederum einen höheren Verkabelungsaufwand mit sich bringt. Dies führt zur Verdoppelung der PROFINET-Schnittstellen und kann beim Ausfall des primären Netzwerks die Funktionsfähigkeit der PROFINET-Anlage weiterhin garantieren.

3.3.4 PROFINET Systemredundanz R2

Die PROFINET Systemredundanz R2 bezieht sich auf die Anbindung der Devices über **zwei** Interfacemodule, das jeweils **zwei** Applikationsbeziehungen (AR) zu beiden Controllern aufbaut. Abbildung 3-10 zeigt den Aufbau der PROFINET-Verbindungen zwischen der redundanten Controller-Einheit und dem Device. Auffallend ist, dass im Vergleich zu den bisher kennengelernten Systemredundanzen die Controller jeweils über zwei Controller-Schnittstellen (IOC) verfügen. Die Kommunikation zwischen der Controller-Einheit und dem Device erfolgt über zwei getrennte PROFINET-Netzwerke. Weiterhin verfügt das Device über zwei Interfacemodule und somit über zwei getrennte PROFINET-Schnittstellen. Die Kommunikation läuft im fehlerfreien Betrieb zwischen dem primären Controller CPU_1a und dem Device über die PROFINET-Verbindungen V1 und V3 geführt.

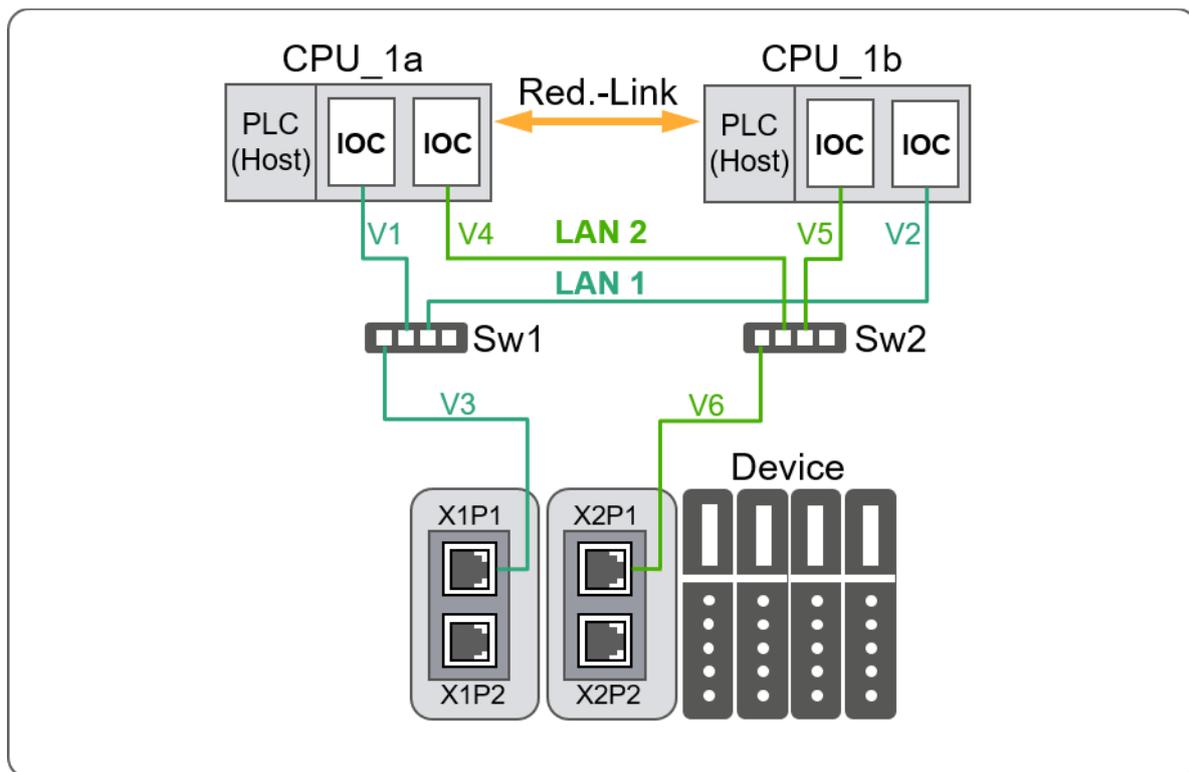


Abbildung 3-10: Kommunikationsverbindungen für PROFINET Systemredundanz R2

In Abbildung 3-11 ist die Zusammensetzung der Applikationsbeziehungen dargestellt. Im störungsfreien Betrieb erfolgt die Kommunikation über die Applikationsbeziehung AR1a. Ein Ausfall der Kommunikationsbeziehung AR1a hätte eine Umschaltung auf eine der drei funktionsfähigen Applikationsbeziehungen zur Folge (AR1b, AR2a oder AR2b). Welche Reserve-AR zum Einsatz kommt, hängt am Ende vom Fehlerfall und von der schnellsten Kommunikationswiederherstellung ab. Der Totalausfall kann ausschließlich durch den vollständigen Ausfall der Controller-Einheit oder durch einen gleichzeitigen Defekt der Interfacemodule am Device hervorgerufen werden.

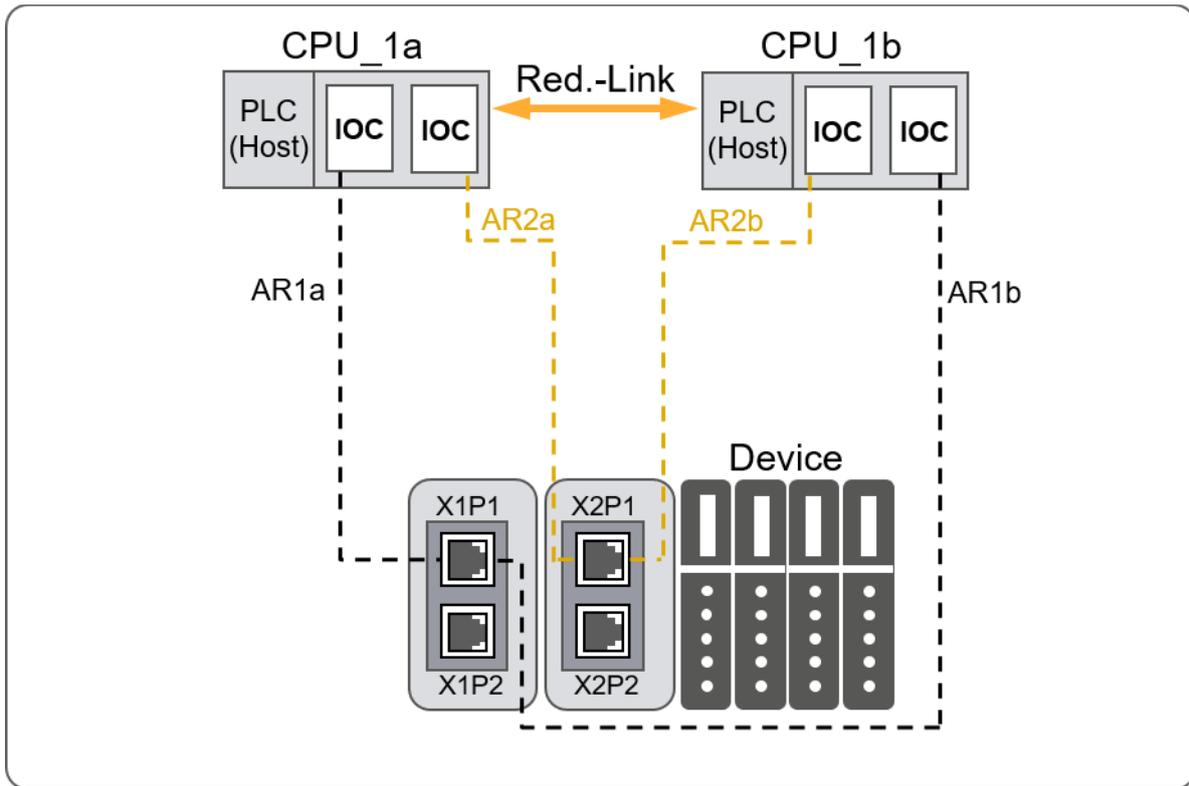


Abbildung 3-11: Applikationsbeziehungen für PROFINET Systemredundanz R2



Weitere Informationen zum Thema PROFINET Systemredundanz finden Sie in der Richtlinie zur PROFINET High Availability Guideline (Order No.:7.122)

3.4 Vergleich der PROFINET Redundanzen

Eine Übersicht zum Vergleich der beschriebenen PROFINET Redundanzfunktionen zeigt Tabelle 3-1.

Tabelle 3-1: PROFINET-Redundanzen

PROFINET-Redundanz		Maximale Umschaltzeit	Maximal zulässige Systemgröße
Medienredundanz	MRP	ca. 200 ms	Hierzu existieren keine genauen Zahlenwerte. Die max. Anzahl von PROFINET-Geräten in einem Ring kann seitens der Hersteller variieren. Beachten Sie, dass ein Überschreiten der Teilnehmerzahl von 50 Geräten zeitabhängige Verzögerungen verursacht.
	MRPD	nahezu unterbrechungsfrei	
Systemredundanz	S2	nahezu unterbrechungsfrei	Es konnten keine genauen Angaben entnommen werden.
	R1		
	R2		

4 Beispielapplikationen für hochverfügbare Netzwerke und Systeme

4.1 Technischer Aufbau der verwendeten PROFINET-Geräte

Dieses Kapitel beschreibt den Aufbau der im Weiteren betrachteten PROFINET Komponenten.

4.1.1 PROFINET Devices

Abbildung 4-1 zeigt den grundsätzlichen Aufbau eines Devices, das über ein integriertes Interfacemodul verfügt. Das Interfacemodul, auch Network Access Point (NAP) genannt, ist mit zwei Netzwerkanschlüssen „X1P1“ und „X1P2“ ausgestattet.

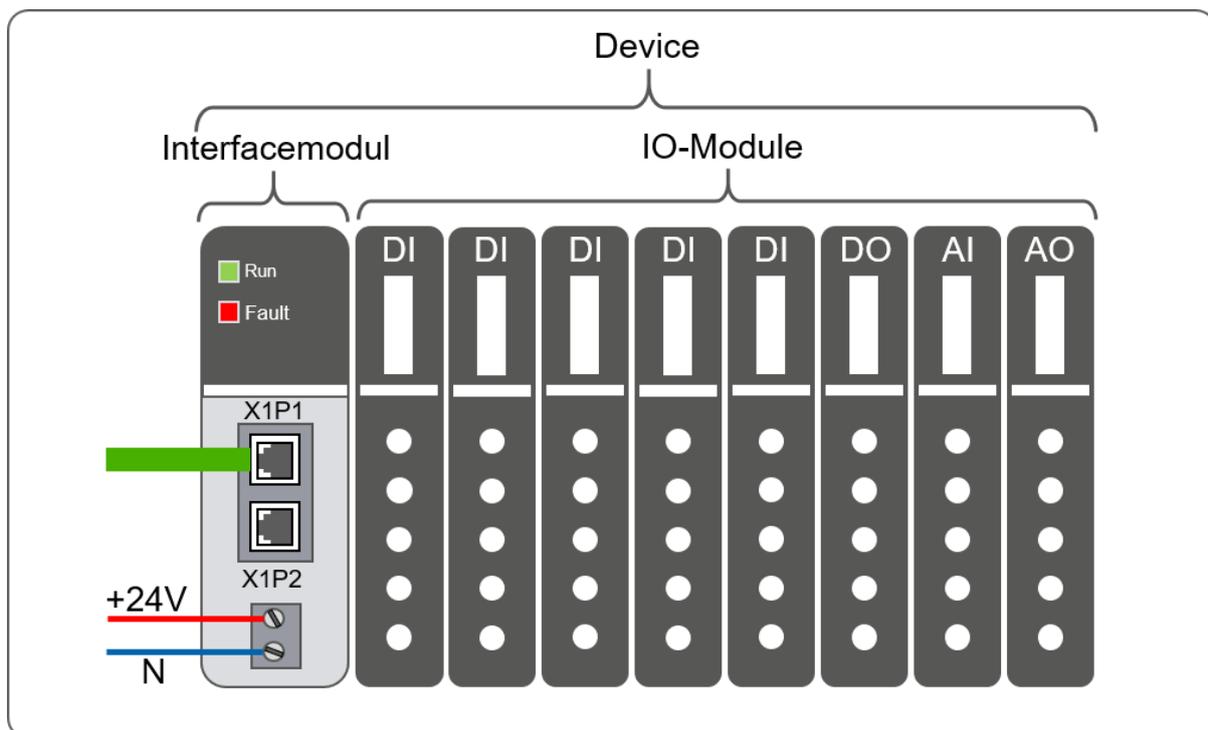


Abbildung 4-1: PROFINET Device mit einfacher Interfacemodul-Ausführung

Die Verwendung des Devices aus Abbildung 4-1 ist ausschließlich in singularär ausgestatteten PROFINET-Netzwerken zu integrieren. Für die weitere Betrachtung in diesem Dokument unterstützt das Device die Systemanbindung S1 sowie die Redundanzmechanismen der Systemredundanz S2 und die PROFINET Medienredundanz mit MRP. Eine Kombination aus Systemredundanz S2 und MRP existiert bereits für bestimmte Devices, die anhand des Beispiels in Kapitel 4.2.1 in hochverfügbaren PROFINET-Anlagen eingesetzt werden.



Beachten Sie, dass die Redundanzfunktionen der Medien- und Systemredundanz nur bestimmte Devices unterstützen. Für PROFINET-Ringtopologien mit Conformance Class C-Anforderungen ist die Implementierung der MRPD-Funktion im Device zu berücksichtigen.

Abbildung 4-2 zeigt den Aufbau eines Devices mit zwei integrierten Interfacemodulen.

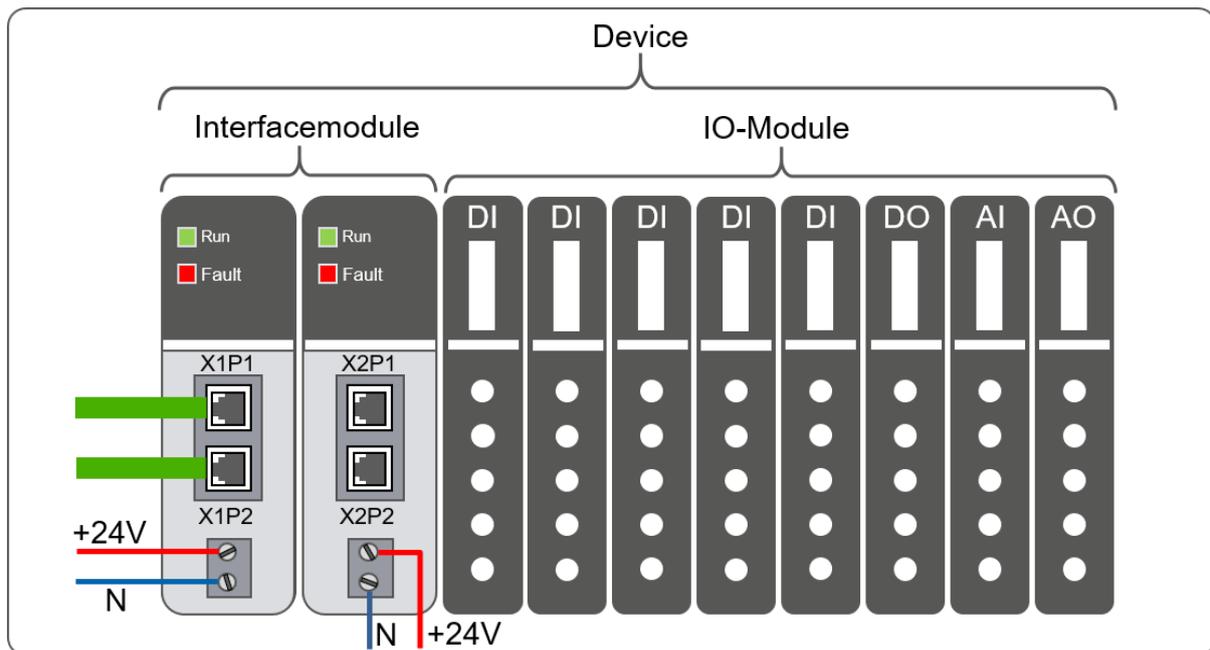


Abbildung 4-2: PROFINET Device mit redundanter Interfacemodul-Ausführung

Dieses Device unterstützt die Anbindung an zwei PROFINET-Netzwerke. Die Ports X1P1 und X1P2 verbinden das Device mit dem primären Netzwerk, die Ports X2P1 und X2P2 mit dem sekundären Netzwerk. Daraus ergibt sich, dass NAP1 und NAP2 als zwei getrennte PROFINET-Schnittstellen zu betrachten sind. Dieses Gerät unterstützt somit die R1- und R2-Systemredundanz.

Abbildung 4-3 zeigt den inneren Aufbau des Devices. Beide Interfacemodule verfügen über einen internen Switch.

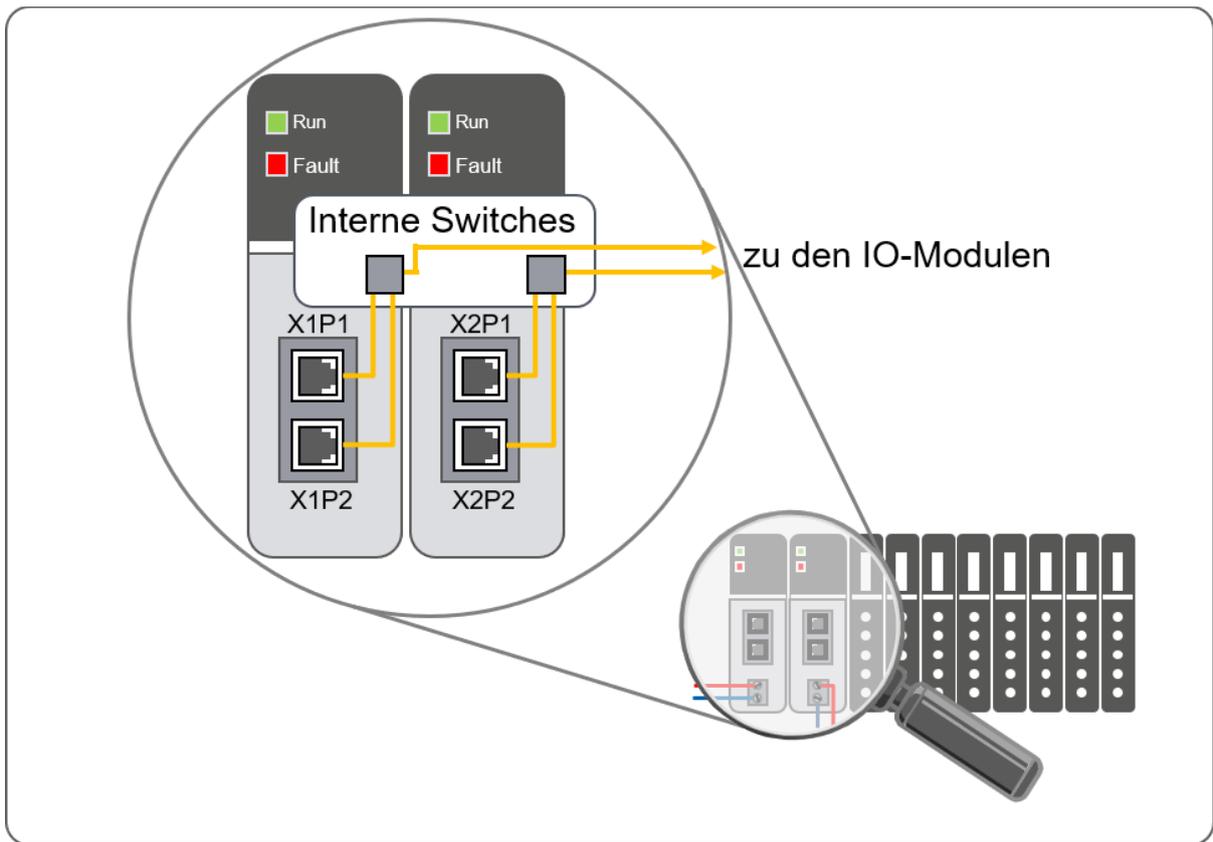


Abbildung 4-3: Interne Verschaltung eines PROFINET Devices mit redundantem Interfacemodul

4.1.2 PROFINET Controller

Grundsätzlich sind einfache Controller nicht für die Kommunikation in hochverfügbaren PROFINET-Netzwerken geeignet. Aufgrund fehlender Funktionen genügen einfache PROFINET Controller nicht den Anforderungen von hochverfügbaren Systemen. Einige Hersteller der PROFIBUS Nutzerorganisation bieten deshalb spezielle Controller-Modelle an, die den Einsatz dieser Geräte in hochverfügbaren PROFINET-Netzwerken ermöglichen. Unter Betrachtung der technischen Zusammensetzung zeigt Abbildung 4-4 beispielhaft einen hochverfügbaren PROFINET Controller, bestehend aus zwei Netzteilen und einer CPU.

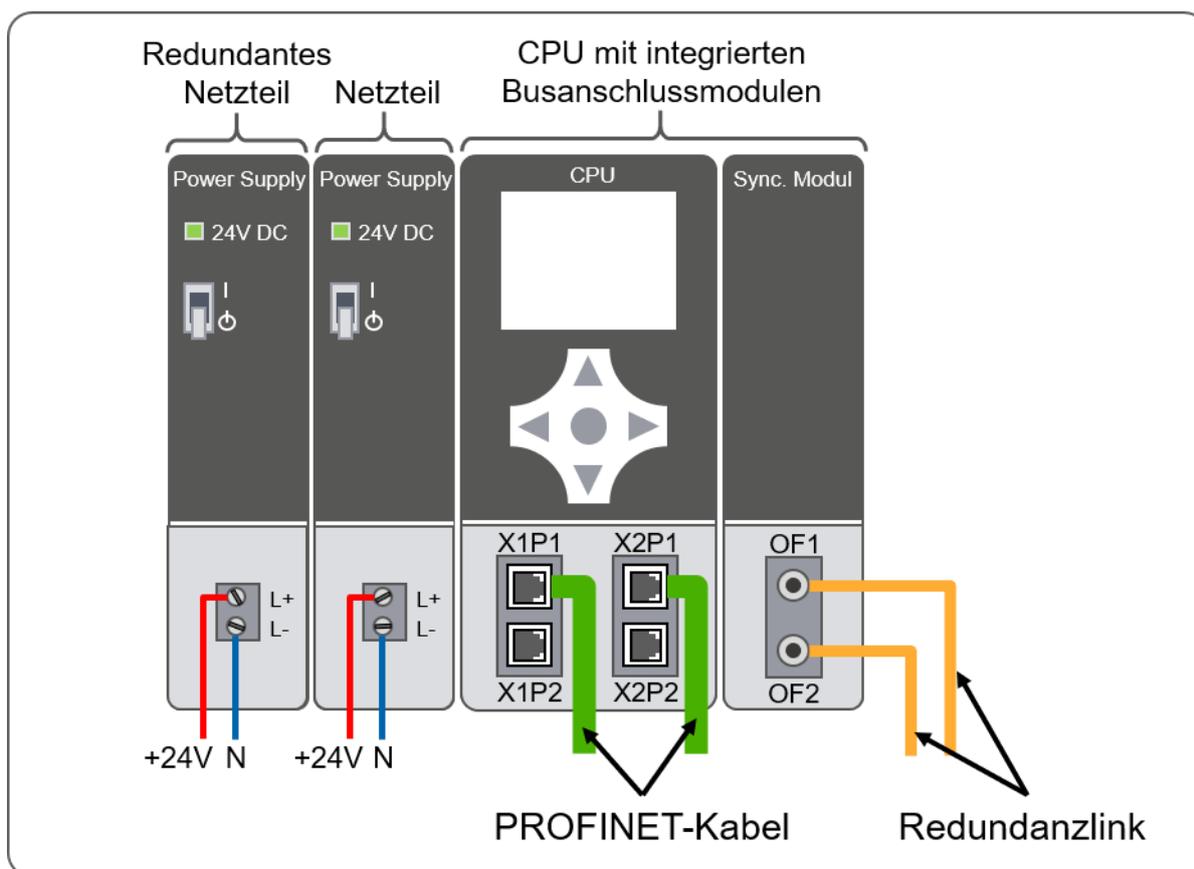


Abbildung 4-4: PROFINET Controller

Netzteilredundanz:

Um die Ausfallsicherheit von PROFINET Controllern zu optimieren, zeigt Abbildung 4-4 eine redundante Netzteilausführung. Ein defektes Netzteil hat auf Basis dieser Redundanzform keinen Störeinfluss auf eine PROFINET-Anlage. Die Aufrechterhaltung der Spannungsversorgung gewährleistet das redundant betriebene Netzteil, welches im fehlerfreien Betrieb im Standby-Modus verharrt. Sobald das primär konfigurierte Netzteil einen Ausfall signalisiert, erfolgt ein automatischer Umschaltvorgang auf das redundante Netzteil. Es existieren auch Konzepte, bei denen die Steuerung zu je 50% aus den beiden Netzteilen versorgt wird. Im Störfall übernimmt dann eines der beiden Netzteile die

Gesamtversorgung. Dieses Vorgehen führt zu einer höheren *MTTF* der Netzteile, da diese im Normalbetrieb nur zu 50% ausgelastet sind.

Hochverfügbare CPU

Controller-Modelle mit der ausgestatteten Funktionalität der Hochverfügbarkeit zeichnen sich durch eine funktional erweiterte CPU aus. Ein schnelles Umschaltverhalten und eine frühzeitige Fehlererkennung sind wichtige Merkmale für die Aufrechterhaltung des PROFINET-Datenverkehrs. Verglichen mit einfachen CPU-Baugruppen weisen hochverfügbare CPUs folgende Eigenschaften auf:

- Redundante Anzahl an Port-Anschlüssen für die Kommunikation über PROFINET
- Integrierte Redundanzfunktion/-en
- Zur Nutzung der PROFINET Systemredundanz: Zwei installierte Synchronisationsmodule (modellabhängig)

Ein genauerer Blick auf die PROFINET-Anschlüsse zeigt die doppelte Ausführung des Network Access Points (NAP). Aufgeteilt in NAP1 für X1P1 und X1P2 ergeben sich mit dem zusätzlichen NAP2 (X2P1 und X2P2) insgesamt vier Zugangspunkte zur PROFINET-Kommunikation.

Das Busanschlussmodul der CPU zeichnet sich durch redundant Synchronisationsmodule aus. Gekennzeichnet durch die Anschlussbezeichnungen OF1 und OF2 dienen die Synchronisationsmodule zur Kopplung mit einem zweiten CPU-System für die PROFINET Systemredundanz. Diese Anschlussform basiert im vorliegenden Beispiel auf einer Lichtwellenleiterverbindung, die im Zusammenhang mit der PROFINET Systemredundanz als Redundanzlink bezeichnet wird. Die Nutzung der LWL-Anschlüsse ist ausschließlich für die Synchronisation zwischen aktiver (Primary) CPU und Reserve (Backup) CPU reserviert und dient daher **nicht** als Kommunikationsmedium für den Datenaustausch über PROFINET. Einen Überblick zu dieser Installationsvorschrift zeigt Abbildung 4-5.

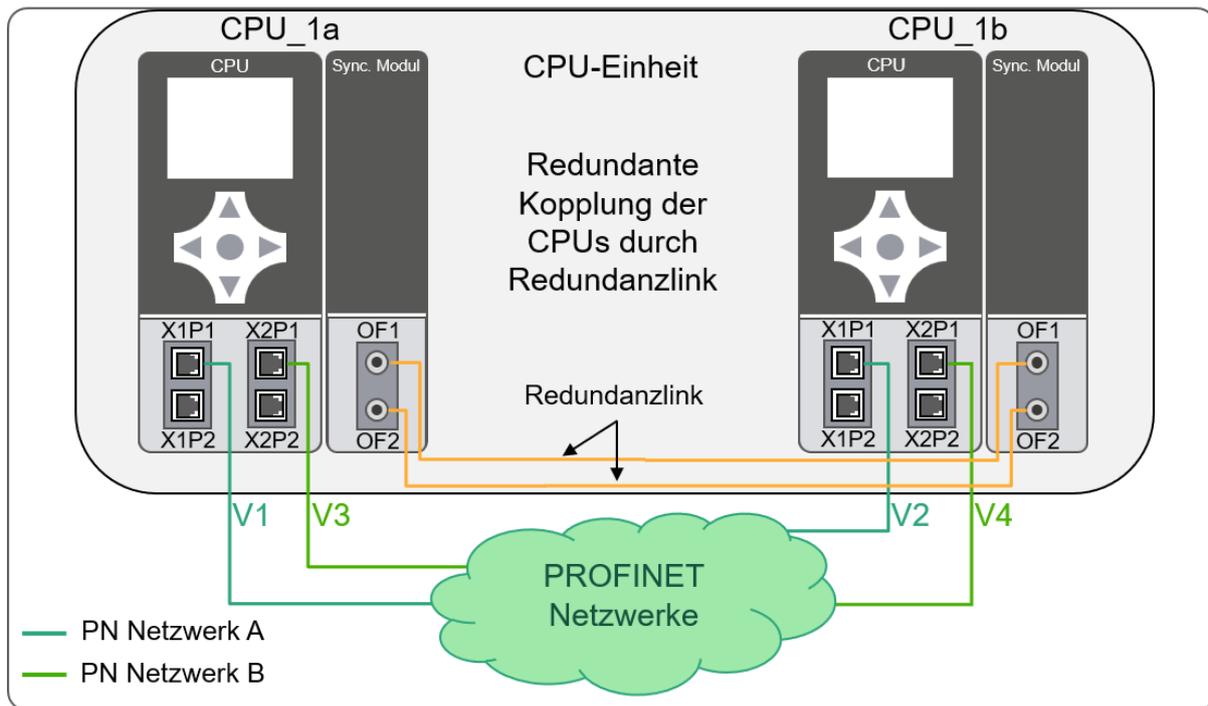


Abbildung 4-5: Redundanzkopplung der CPUs über LWL-Kabel für PROFINET Systemredundanz



Beachten Sie, dass beide PROFINET Controller im Fehlerfall eine automatische Synchronisation selbstständig durchführen.

Für die Verlegung des Redundanzlinks sind konfektionierte Kabellängen mit einer Größenordnung zwischen 1 m und 10 km möglich. Die Auswahl der angebotenen Kabellängen variiert zwischen den Herstellern.

Eine weitere Variante von redundanten PROFINET Controllern zeigt Abbildung 4-6. In Bezug auf die Controller-Synchronisation für die PROFINET Systemredundanz sind keine LWL-Anschlüsse für die Redundanzkopplung vorgesehen. Stattdessen erfolgt die Synchronisation für das Controller-System über die PROFINET-Verbindung V3, dass zusätzlich den Datenaustausch über PROFINET unterstützt. Beachten Sie, dass nicht alle Firmen diese Form der Controller-Verbindung zur Synchronisierung anbieten. CPU-Systeme mit der erweiterten Funktionalität der Systemredundanz S2 unterstützen bisher diese Synchronisationsvariante.

Die Installation von redundanten Controllern in PROFINET-Ringstrukturen setzt die Funktion der Medienredundanz voraus. Beide Controller müssen dabei eine Kompatibilität zum Ringredundanzprotokoll MRP aufweisen. Zusätzlich ist Mindestanzahl von zwei Ports zu berücksichtigen. Einen Überblick liefert hierzu Abbildung 4-6.

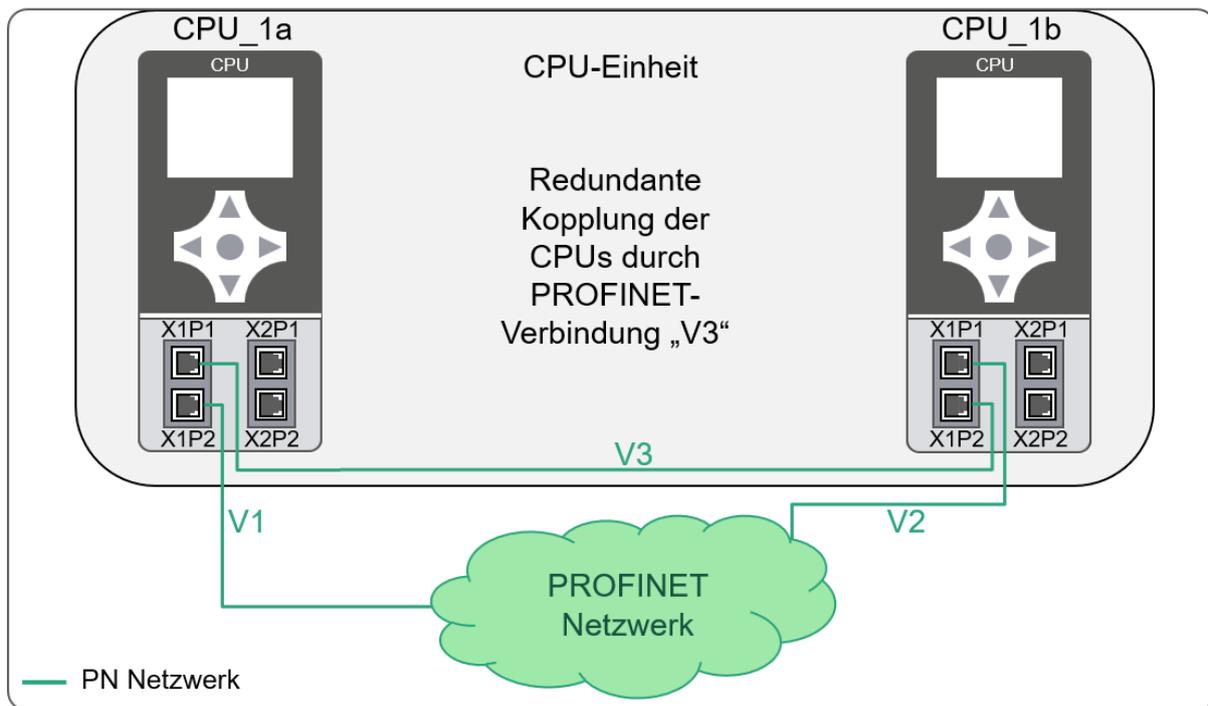


Abbildung 4-6: Redundanzkopplung der CPUs über PROFINET-Kabel für PROFINET Systemredundanz S2

Bestimmte Hersteller stellen zusätzlich eine kombinierte Variante der Redundanzprotokolle zur Verfügung. Das bedeutet, dass die Medienredundanz und Systemredundanz S2 zusammen in beiden Controllern enthalten sind und somit eine höhere Fehlersicherheit mit dieser Variante gewährleisten.



Die Länge der PROFINET-Verbindung „V3“ ist auf max. 100m beschränkt, um die Voraussetzungen für die Redundanzkopplung zu erfüllen. Diese Vorgabe entspricht der max. erlaubten Übertragungslänge für die Nutzung von PROFINET-Kupferkabel.

Die Systemredundanz S2 verwendet ein stoßfreies Umschalten, während die Medienredundanz mit MRP eine Umschaltzeit (Rekonfigurationszeit) von 200 ms besitzt.

4.2 Beispielapplikationen für PROFINET

Für PROFINET werden im Folgenden Abschnitt fünf verschiedene Topologien präsentiert, die anhand der Anwendungsbeispiele eine Hilfestellung für den Planungsprozess von PROFINET-Anlagen mit erhöhten Verfügbarkeitsanforderungen bereitstellt.

4.2.1 Beispielapplikation 1: Tunnelanlage

Abbildung 4-7 beschreibt den Anwendungsfall einer Tunnelanlage für den Autoverkehr. Aufgrund der hohen Sicherheits- und Verfügbarkeitsanforderungen bei Tunnelsystemen bewährt sich der Einsatz der PROFINET-Ringtopologie. Der Aufbau in dieser Grafik verfügt über einen Controller (CPU), drei Devices und zwei externe Switches. Die Verteilung der Peripheriegeräte erfolgt in drei separaten Abschnitten, die jeweils mit einem eigenen Schaltschrank ausgestattet sind.

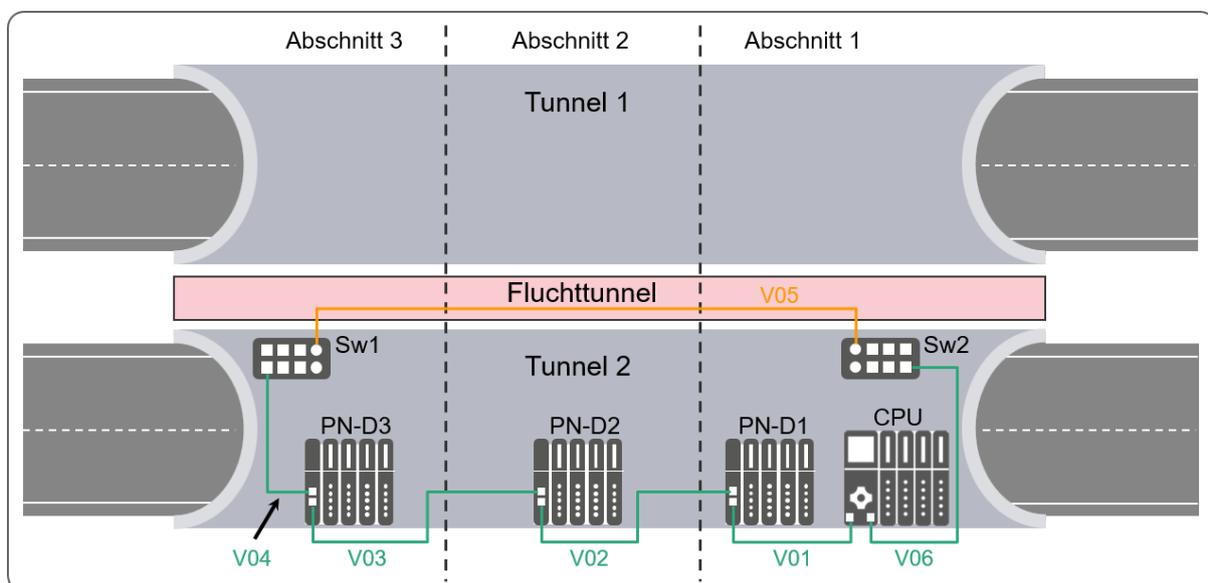


Abbildung 4-7: Tunnelanlage

Vorteile:

- Die redundante Ringstruktur der PROFINET-Anlage gewährleistet die Funktion der Medienredundanz mit den entsprechend benötigten Komponenten.
- Die Verwendung einer Ringtopologie ist eine kostengünstige Option zur Steigerung der Verfügbarkeit einer PROFINET-Anlage.
- Der zusätzliche Verkabelungsaufwand hält sich im Vergleich zu einfachen Linientopologien in Grenzen.
- Durch den Einsatz des Media Redundancy Protocol (MRP) erfolgt im Fehlerfall eine automatische Umschaltung auf einen alternativen Kommunikationspfad. Alle PROFINET-Teilnehmer sind anschließend weiterhin erreichbar.

- Der Ausfall eines Devices zieht keinen totalen Ausfall der PROFINET-Anlage nach sich.

Voraussetzungen und Einschränkungen:

- Diese PROFINET-Anlage erfüllt anhand der einfachen Ausführung des Controllers die Kriterien der Systemanbindung S1.
- Durch die Verwendung der Ringtopologie kommt es zu einem höheren Konfigurations- und Verwaltungsaufwand. PROFINET stellt durch den Einsatz des Redundanzprotokolls MRP weitere Funktionen bereit, die eine Unterbrechung der Ringverbindung verhindern sollen, wie z.B. die Fehlererkennung und Ringwiederherstellung.
- Für PROFINET-Ringnetzwerke ist die Auswahl des Media Redundancy Managers (MRM) erforderlich. Zwei externe Switches (Sw1 und Sw2) stehen in dieser PROFINET-Anlage zur Verfügung, die eine Relevanz für die Vergabe der MRM-Funktion darstellen. Alternativ besteht die Möglichkeit die Wahl des Ringmanagers auf den Controller festzulegen. Einige Mitgliedsunternehmen der PNO bieten für diesen Fall MRM-fähige Controller an.
- Alle Devices müssen die Funktion des Media Redundancy Clients (MRC) unterstützen. Sobald ein Feldgerät diese Eigenschaft nicht beinhaltet, gewährleistet PROFINET keine Funktionsfähigkeit der Medienredundanz.
- Die Verlegung der PROFINET-Verbindung „V04“ erfolgt über eine getrennte Trasse (getrennter Brandabschnitt). Beachten Sie, dass die Trassenführung des Rückpfades außerhalb des Tunnels z. B. im Fluchttunnel oder in der gegenüberliegenden Röhre zu erfolgen hat.
- Das Zusammenschalten von mehreren Netzwerkteilnehmern zu einer Ringtopologie ist auf 50 Geräte begrenzt, um eine Rekonfigurationszeit von 200 ms einhalten zu können. Die Anzahl der Geräte kann gegebenenfalls geringer ausfallen. Achten Sie diesbezüglich auf die Angaben des Herstellers.

Nachteile:

- Die Erweiterung der PROFINET-Anlage kann nur dann erfolgen, wenn mindestens zwei Ethernet-Ports für ein PROFINET-Gerät zur Verfügung stehen. Für den Anschluss von weiteren Komponenten, wie z.B. ein HMI-Panel, sind die Ports der Switches Sw1 und Sw2 zu benutzen.

- Ein kritischer Punkt dieser Anlage ist die Verwendung eines einzelnen PROFINET Controllers. Ein Ausfall der Steuereinheit hätte einen Anlagenstillstand zur Folge. Ein Netzwerkausfall ist gleichermaßen zu berücksichtigen.

4.2.2 Beispielapplikation 2: Anlage Fertigungsindustrie

In Abbildung 4-8 ist der Aufbau einer PROFINET-Ringtopologie in Kombination mit der Systemredundanz S2 dargestellt. In Abhängigkeit von der gewählten Synchronisationsmethode ergeben sich zwei Lösungsansätze für eine nahtlose Controller-zu-Controller-Kommunikation, die unter PROFINET sowohl über die Verbindung „V06“ als auch über den Redundanz-Link betrieben werden kann (siehe Kapitel 4.1.2). Des Weiteren bietet diese Anlage zusätzliche Erweiterungsoptionen zum Anschließen weiterer Feldgeräte durch den Einsatz von Switch „Sw1“, die auf Basis einer einfachen Linientopologie beschränkt sind.

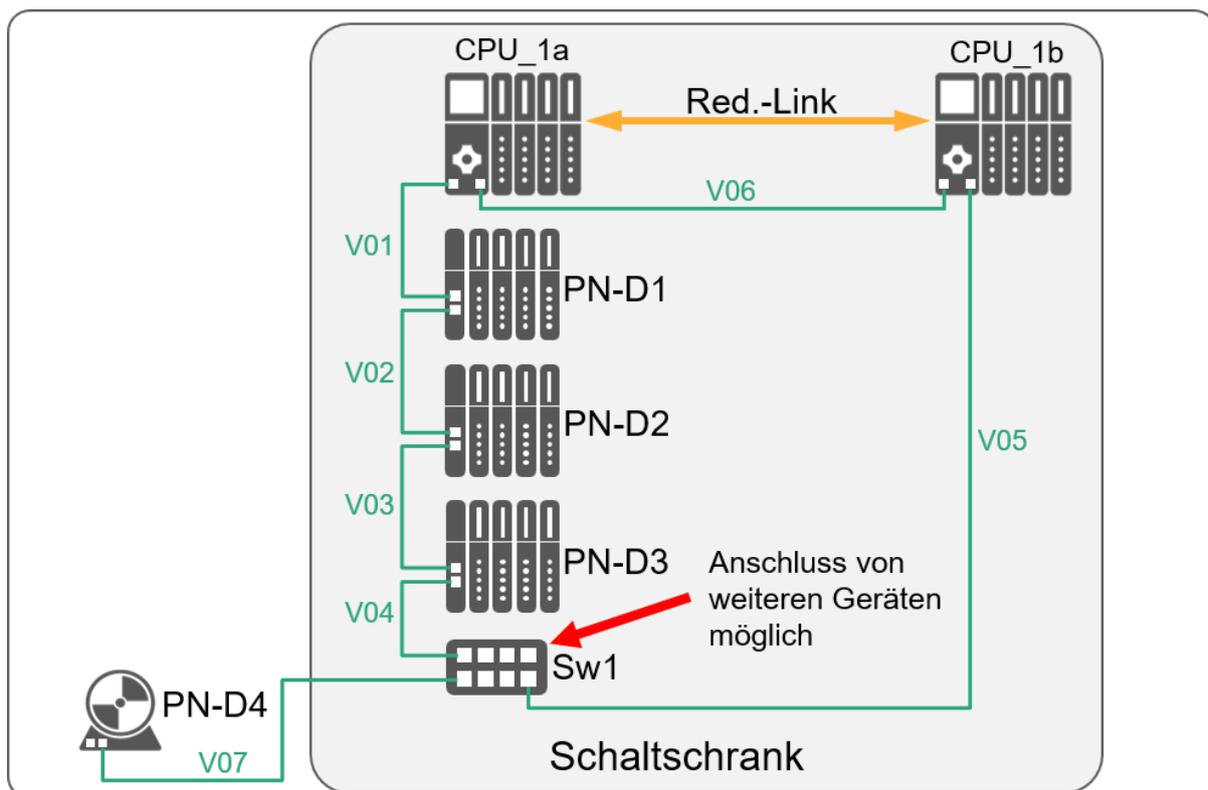


Abbildung 4-8: Anlage Fertigungsindustrie

Vorteile:

- Der redundante Ringstruktur der PROFINET-Anlage gewährleistet die Funktion der Medienredundanz mit den entsprechend benötigten Komponenten.
- Die Medienredundanzverwaltung kann durch den Switch Sw1 erfolgen. Für optimierte Zwecke sollte der Switch in der Lage sein, die Aufgaben des MRM zu unterstützen.
- Der Ausfall eines PROFINET-Teilnehmers oder Netzwerkpfades kann durch den Einsatz des Media Redundancy Protocol (MRP) kompensiert werden. Die Umschaltung auf einen alternativen Netzwerkpfad wird automatisch ausgeführt. Die Umsetzung der Umschaltung findet durch den konfigurierten MRM statt. Alle PROFINET-Geräte sind anschließend weiterhin erreichbar.

- Die Controller-Redundanz erfüllt die Voraussetzungen für die Funktion der Systemredundanz S2. Ein Ausfall des Controllers „CPU_1a“ führt zu einer nahezu unterbrechungsfreien Umschaltung auf „CPU_1b“.
- Die Integration von weiteren Netzwerkkomponenten sind unter Beachtung der Voraussetzungen realisierbar.

Voraussetzungen und Einschränkungen:

- Die Rollenverteilung der PROFINET-Teilnehmer erfordern bei der Integration der PROFINET-Medienredundanz einen höheren Konfigurations- und Verwaltungsaufwand. Sofern der Managed Ethernet Switch „SW1“ aus technischen Gründen die Aufgabe des MRM nicht erfüllt, ist die Wahl des Ringmanagers auf einen der redundanten PROFINET-Controller festzulegen. Stellen Sie sicher, dass der Controller die Funktion des MRP-Managers unterstützt. Weitere Teilnehmer des PROFINET-Rings sind als MRC zu definieren.
- Achten Sie bei der Ringporteinstellung auf die korrekte Portvergabe bei der Projektierung. Eine falsche Portauswahl führt zu einem nicht-funktionsfähigen PROFINET-Netzwerk.
- Die Verlegung des Rückpfades zum Schließen der Ringstruktur durch die Kabelverbindung „V05“ erfolgt auf einer getrennten Trasse.
- Der Ausfall eines Devices hätte keine negativen Folgen in Bezug auf die Erreichbarkeit weiterer Netzwerkteilnehmer. Alle funktionsfähigen Geräte sind am Datenaustausch nicht gehindert.

Nachteile:

- Ein Tausch oder Ausfall des Switches Sw1 führt im ungünstigsten Fall zur Kommunikationsunterbrechung von PN-D4.
- Diese PROFINET-Anlage verfügt über ein singuläres Netzwerk. Daher ist bei einem Ausfall des Netzwerks eine Kommunikationsunterbrechung der PROFINET Teilnehmer zu berücksichtigen.

4.2.3 Beispielapplikation 3: Anlage Prozessindustrie ohne erhöhte Verfügbarkeitsanforderungen

Der Topologie-Aufbau aus Abbildung 4-9 beschreibt die Zusammensetzung eines nicht-redundanten PROFINET-Netzwerks, bestehend aus einem Controller, zwei Switches und sechs Devices. Eine Kombination aus Stern- und Linientopologie definiert die häufig in der

Literatur benannte Baumarchitektur. Die Anordnung der Switches und Devices erfolgt in den Schaltschränken, die über eine Sternschaltung miteinander verbunden sind. Die Verbindungen „V01“ und „V02“ ermöglichen in Form einer Linientopologie die Anbindung der Switches „Sw1“ und „Sw2“ zum Controller.

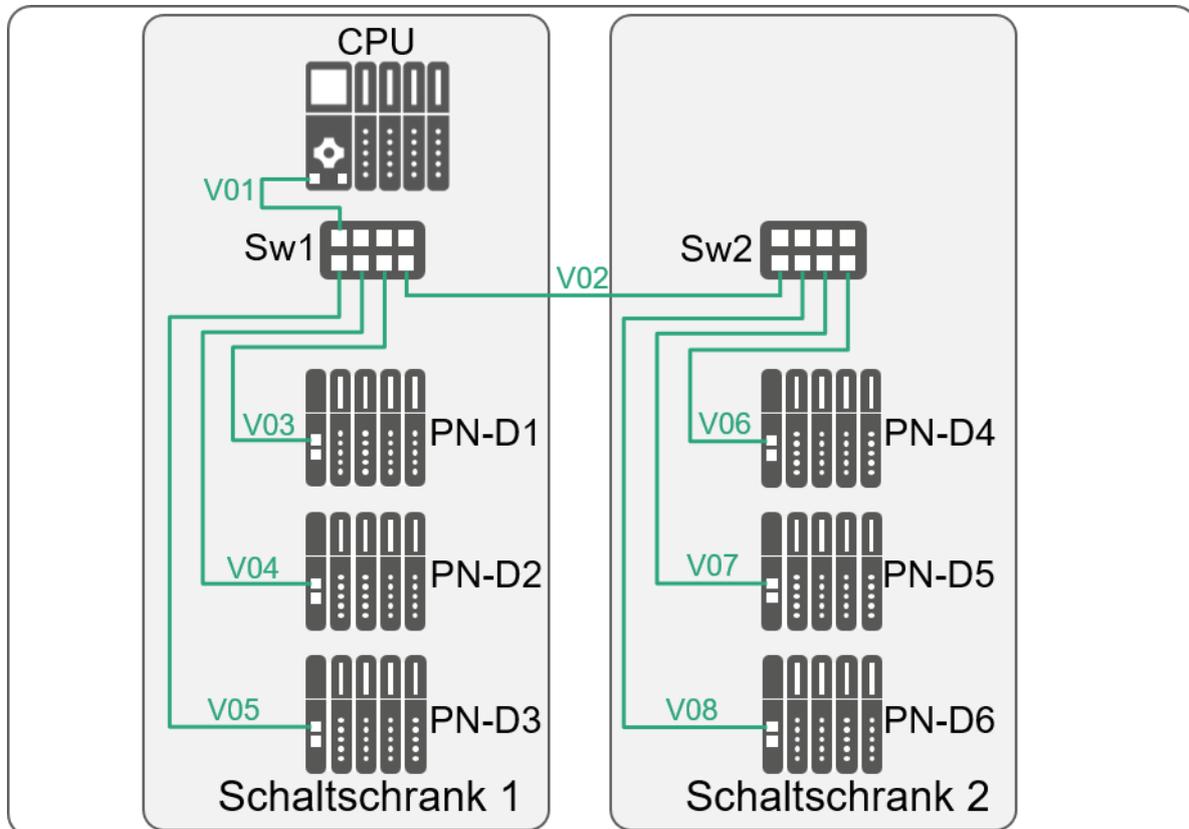


Abbildung 4-9: Anlage Prozessindustrie ohne erhöhte Verfügbarkeitsanforderungen

Vorteile:

- Die Kombination von Stern- und Linientopologien besitzt keine redundante Netzwerkstruktur. Daher ist der Einsatz eines Redundanzprotokolls nicht zu berücksichtigen.
- Baumtopologien ermöglichen speziell im Bereich der Sternstruktur den unkomplizierten Austausch von Feldgeräten, ohne den aktiven Betriebsablauf der weiteren Devices zu beeinträchtigen.
- Durch die nicht-redundante Netzwerkstruktur ergibt sich ein minimaler Konfigurations- und Verwaltungsaufwand.
- Zur Vermeidung von Verzögerungszeiten bei der Datenübertragung eignet sich dieser Aufbau für den Anschluss mehrerer Feldgeräte.

Voraussetzungen und Einschränkungen:

- Diese PROFINET-Anlage erfüllt anhand der einfachen Controller-Ausführung die Kriterien der Systemanbindung S1.
- Im Falle eines Switch-Fehlers ist mit Beeinträchtigungen des Datenverkehrs zwischen Controller und Device zu rechnen.

Nachteile:

- Durch eine nicht-redundante Netzwerkstruktur ist eine Ausfallsicherheit für diese PROFINET-Anlage nicht vorgesehen. Der Einsatz von einzelnen PROFINET-Leitungen sowie eine nicht-redundante Ausstattung von PROFINET-Komponenten können im Fehlerfall zu einem teil- bzw. totalen Ausfall einer Produktionsanlage führen. Der vollständige Ausfall dieser Topologie ist auf folgende Mechanismen zurückzuführen:
 - Defekt von CPU und/oder „Sw1“
 - Netzwerkausfall
 - Durchtrennte PROFINET-Leitung der Verbindung „V01“
- Ein Kabelbruch der Verbindung „V02“ oder ein Defekt des Switches „Sw2“ führen zu einem teilweisen Ausfall der Kommunikation zwischen dem Controller und den angeschlossenen Feldgeräten im Schaltschrank 2.

4.2.4 Beispielapplikation 4: Anlage Prozessindustrie mit erhöhten Verfügbarkeitsanforderungen

Abbildung 4-10 zeigt den Aufbau einer PROFINET-Anlage mit der Spezifikation für die Systemredundanz R1. Ein wesentliches Merkmal dieser Topologie ist die ringfreie Netzwerkarchitektur, wodurch die Verwendung der Medienredundanz entfällt. Alle PROFINET-Teilnehmer sind per Linientopologie über ein redundantes Netzwerk miteinander verbunden.

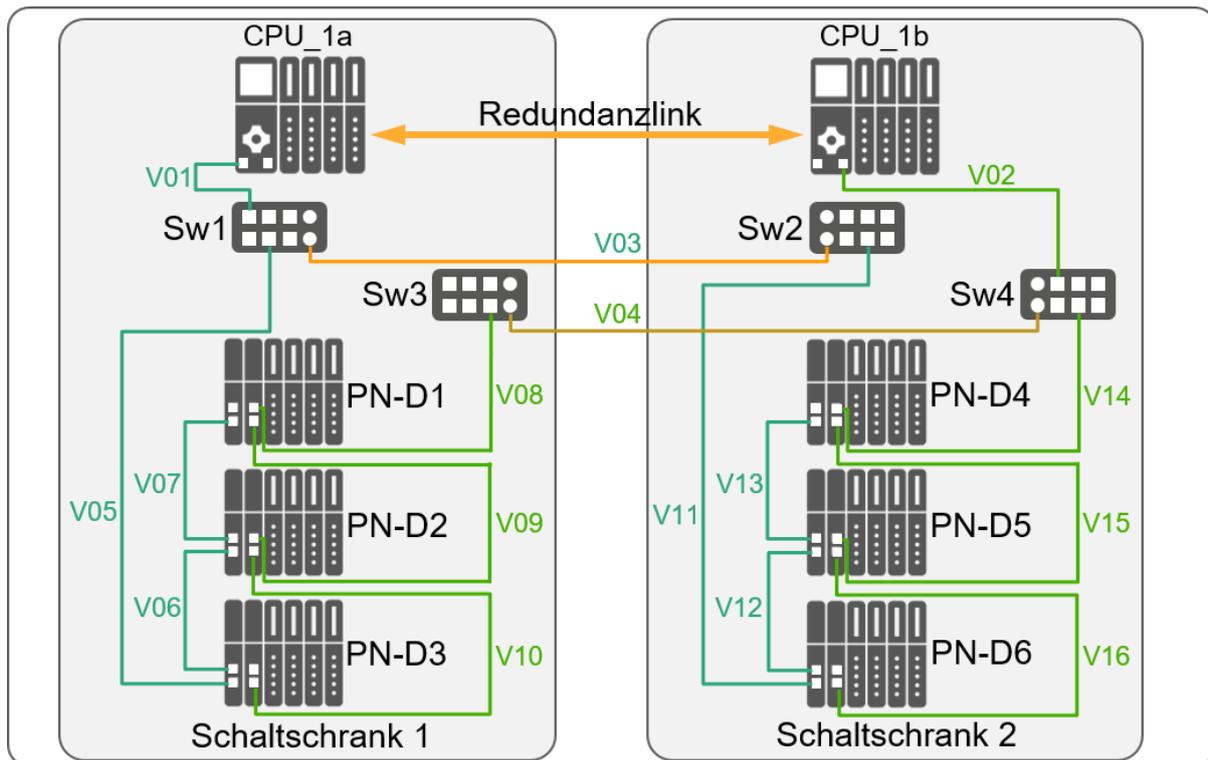


Abbildung 4-10: Anlage Prozessindustrie mit erhöhten Verfügbarkeitsanforderungen

Vorteile:

- Die Controller-Redundanz erfüllt die Voraussetzungen für die Funktion der Systemredundanz R1. Ein Ausfall des Controllers „CPU_1a“ und /oder Switch „Sw1“ führt zu einer Umschaltung auf „CPU_1b“.
- Der Einsatz eines Ringredundanzprotokolls, wie z.B. MRP, entfällt durch die ringfreie Netzwerkstruktur.

Voraussetzungen und Einschränkungen:

- Alle Devices benötigen 4 Ethernet-Ports mit zwei getrennten PROFINET-Schnittstellen.
- Die maximale Linientiefe ist zwischen den PROFINET-Teilnehmern zu berücksichtigen. Jeder Switch führt zu einer Verzögerung der Datenübertragung.
- Alle Netzwerkteilnehmer sind über eine Linientopologie miteinander verbunden. Die Übertragung der Daten-Frames zwischen den PROFINET-Geräten kann bei hohen Netzwerklasten aufgrund des Aufbaus Verzögerungen hervorrufen.
- Keine Ringtopologien berücksichtigt, daher ist der Einsatz der Medienredundanz nicht möglich.

Nachteile:

- Ein Kabelbruch der Verbindung V03 und/oder V04 zwischen Schaltschrank 1 und Schaltschrank 2 führen zu einer reduzierten Verfügbarkeit der Anlage.

4.2.5 Beispielapplikation 5: Anlage Prozessindustrie mit Advanced Physical Layer (APL)

Das folgende Anlagenbeispiel aus Abbildung 4-11 zeigt die Netzwerkstruktur einer PROFINET-Ringtopologie im Zusammenspiel mit der Systemredundanz S2. Eine weitere Eigenschaft dieser Anlage ist die Nutzung von Ethernet-APL, was eine direkte Verbindung von Ethernet-APL-Sensoren mit PROFINET ermöglicht.

Ethernet APL verwendet ein zweiadriges Kabel zum Anschluss von Sensoren und Aktoren an PROFINET, die anhand des Beispiels von Abbildung 4-11 durch blaue Stichleitungen (engl. Spur) (Verbindung V5 bis V16) gekennzeichnet sind. Die Verbindung bietet eine Datenrate von 10 Mbit/s und liefert Daten und Energie an die Feldgeräte. Weitere Informationen finden Sie in der Ethernet-APL Engineering Richtlinie [APL2022]

Als zentrale Schnittstelle zwischen PROFINET und Ethernet-APL dienen in diesem Beispiel die APL-Field-Switches, die im explosionsgefährdeten Bereich der Zone 2 platziert sind. Die Spurs (V5 bis V16) verbinden die APL-Field-Switches mit den in Zone 1 installierten APL-Feldgeräten über eine Sterntopologie.

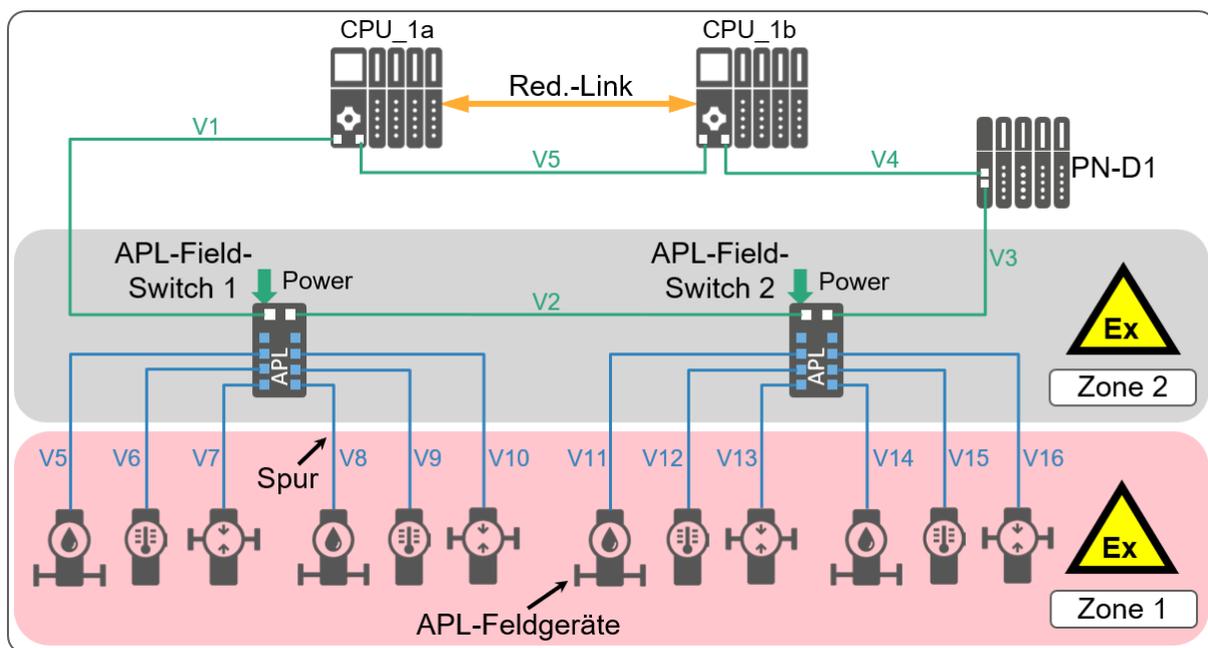


Abbildung 4-11: Anlage Prozessindustrie mit Advanced Physical Layer

Vorteile:

- Die PROFINET-Ringstruktur gewährleistet die Funktion der Medienredundanz mit den entsprechend benötigten Komponenten.
- Die Verwendung einer Ringtopologie ist eine kostengünstige Option zur Steigerung der Verfügbarkeit einer PROFINET-Anlage.

- Der Ausfall eines PROFINET-Teilnehmers oder Netzwerkpfades kann durch den Einsatz des Media Redundancy Protocols (MRP) kompensiert werden. Die Umschaltung auf einen alternativen Netzwerkpfad wird automatisch ausgeführt. Die Umsetzung der Umschaltung findet durch den konfigurierten MRM statt. Alle PROFINET-Geräte sind anschließend weiterhin erreichbar.
- Die Controller-Redundanz erfüllt die Voraussetzungen für die Funktion der Systemredundanz S2. Ein Ausfall des Controllers „CPU_1a“ führt zu einer nahezu unterbrechungsfreien Umschaltung auf „CPU_1b“.

Voraussetzungen und Einschränkungen:

- Die Rollenverteilung der PROFINET-Teilnehmer erfordern bei der Integration der PROFINET-Medienredundanz einen höheren Konfigurations- und Verwaltungsaufwand. Sofern die APL-Field-Switches aus technischen Gründen die Funktion des MRM nicht erfüllen, ist die Wahl des Ringmanagers auf einen der redundanten PROFINET-Controller festzulegen. Stellen Sie sicher, dass der Controller die Aufgabe des MRP-Managers unterstützt. Weitere Teilnehmer des PROFINET-Rings sind als MRC zu definieren.
- Achten Sie bei der Ringporteinstellung auf die korrekte Portvergabe bei der Projektierung. Eine falsche Portauswahl führt zu einem nicht-funktionsfähigen PROFINET-Netzwerk.
- Die Systemredundanz S2 ermöglicht bei technisch bedingten Störungen und Unterbrechungen eine schnellere Umschaltung im Vergleich zur Medienredundanz mit MRP. Daher fällt die Rekonfigurationszeit bei der S2-Redundanz im Fehlerfall wesentlich geringer aus, die aus Sicht der Medienredundanz (MRP) mit 200ms nicht erreicht werden kann.
- APL-Field-Switches erlauben nur eine Punkt-zu-Punkt Verbindung zwischen den APL-Field-Switches und den APL-Feldgeräten.
- In Abhängigkeit von der gewählten Kabelkategorie beträgt die maximale Leitungslänge der Spur-Verbindungen $\leq 200\text{m}$.
- Die Verbindung zwischen APL-Field-Switch und den APL-Feldgeräten darf nur über die vorgesehenen Spur-Ports erfolgen. Die Datenrate für Ethernet-APL beträgt in diesem Bereich 10 Mbit/s.
- Beachten Sie, dass der Einbauort von APL-Feldgeräten und APL-Field-Switches in Abhängigkeit zur Klassifizierung der Ex-Zone sowie weiteren Umgebungsbedingungen steht. Weitere Hinweise finden Sie in der Ethernet-APL Engineering Richtlinie [APL2022].

Nachteile:

- Ein Defekt der APL-Field-Switches führt zum totalen Kommunikationsausfall der angeschlossenen APL-Feldgeräte.
- Ein totaler Netzwerkausfall bewirkt eine vollständige Unterbrechung der PROFINET-Kommunikation.



Eine Ethernet-APL Topologie mit einem gespeisten Trunk [APL2022] wird hier nicht weiter betrachtet, da noch keine Redundanzkonzepte für eine Trunk-Redundanz spezifiziert sind

5 Zusammenfassung

Die vorliegende Richtlinie beschreibt die verschiedenen Möglichkeiten hochverfügbare Netzwerke für die Fertigungs- und Prozessautomatisierung zu planen. Um das Verständnis zu vereinfachen, wurden jedoch nicht alle möglichen Kombinationen vollständig betrachtet. Das Ziel lag vielmehr darauf, einen einfachen Einstieg in das Thema zu ermöglichen und die wichtigsten Redundanzkonzepte kennenzulernen.

Leser, die einen tieferen Einstieg in das Thema suchen, können zur Vertiefung die Dokumente [PNH2020] und [PNM2018] lesen.

6 Stichwortverzeichnis

Advanced Physical Layer.....	62	PROFINET Controller.....	49
APL.....	62	PROFINET Devices.....	46
APL-Feldgerät.....	16	PROFINET Medienredundanz.....	28
Controller.....	15	PROFINET Sterntopologie.....	26
Device.....	15	PROFINET Systemanbindung S1.....	37
Ethernet-APL.....	12	PROFINET Systemredundanz.....	37
Ethernet-APL-Field-Switch.....	16	PROFINET Systemredundanz R1.....	40
Fertigungsindustrie.....	56	PROFINET Systemredundanz R2.....	41
High Availability Guideline for PROFINET.....	12	PROFINET Systemredundanz S2.....	38
Hochverfügbare CPU.....	50	PROFINET-Redundanz, Einführung.....	25
Mean Time Between Failures (<i>MTBF</i>).....	22	Prozessindustrie.....	57, 60
Mean Time to Failure (<i>MTTF</i>).....	21	Referenzierte PNO Dokumente.....	12
Mean Time to Recover (<i>MTTR</i>).....	21	Switch.....	15
Media Redundancy Guideline.....	12	Symbolerklärungen.....	14
Media Redundancy Protocol (MRP).....	30	Systemanbindung S1.....	37
Medienredundanz mit MRPD.....	33	Systemredundanz R1.....	37
MIL-HDBK-217.....	12	Systemredundanz R2.....	37
mittlere Reparaturzeit.....	21	Systemredundanz S2.....	37
<i>MTBF</i>	22	Telcordia SR-332.....	12
<i>MTTF</i>	21	Tunnelanlage.....	53
<i>MTTR</i>	21	VDI/VDE 2183.....	13
Netzteilredundanz.....	49	Verfügbarkeit <i>V</i>	22
Normen.....	12	Vergleich der PROFINET Redundanzen.....	44
PROFINET Baumtopologie.....	26		

© Copyright by:

PROFIBUS Nutzerorganisation e. V. (PNO)
PROFIBUS & PROFINET International (PI)
Haid-und-Neu-Str. 7 • 76131 Karlsruhe • Germany
Phone +49 721 986197 0 • Fax +49 721 986197 11
E-mail info@profibus.com
www.profibus.com • www.profinet.com