



APPLICATION NOTE | NOVEMBER 2022

Sichere 24 Volt auch bei Ausfällen in der Versorgungskette - Konfigurationen für redundanten Aufbau, Leistungs- und Spannungserhöhung der Stromversorgung

Maschinen und Anlagen, in denen es bei ausbleibender 24-V-Gleichstromversorgung zu kritischen Zuständen kommen kann, sollten von redundant geschalteten Netzgeräten versorgt werden. Ein 24-V-Ausfall kann verschiedene Ursachen haben: Fehler im Versorgungsnetz, bei Leitungen und Anschlüssen oder beim Netzgerät. Auch wenn Netzgeräte grundsätzlich sehr zuverlässig sind, können Ausfälle nicht ausgeschlossen werden, z. B. aufgrund netzseitiger Überspannungen. Daher sollte man bei kritischen Steuerungsteilen eine redundante Versorgung aufbauen. Aber warum schaltet man die Stromversorgungen nicht einfach parallel und wie sieht die Lösung mit Redundanzmodulen aus?

Inhalt

| | |
|--|-----------|
| WELCHE FEHLER KÖNNEN ZU EINEM AUSFALL DER 24-V-VERSORGUNG FÜHREN? | 3 |
| <i>Die Abhilfe</i> | 3 |
| Redundanz - Parallelschalten genügt nicht | 4 |
| <i>Warum werden Netzgeräte für Redundanz entkoppelt?</i> | 4 |
| 1 + 1 Redundanz | 5 |
| Höchste Sicherheit: Für jedes Netzgerät ein Redundanzmodul | 5 |
| N + 1 Redundanz durch Leistungserhöhung | 6 |
| Wichtige Hinweise zum redundanten Betrieb | 6 |
| <i>Lastaufteilung bei Einstellung Einzel- und Parallelbetrieb</i> | 7 |
| Zwei typgleiche SITOP Stromversorgungen mit Einstellung auf Einzelbetrieb | 7 |
| Zwei typgleiche SITOP Stromversorgungen mit Einstellung auf Parallelbetrieb: | 8 |
| Warum ist es zu empfehlen die Last auf die Netzteile gleichmäßig aufzuteilen? | 9 |
| Redundanter Betrieb ohne Lastaufteilung | 9 |
| Redundanter Betrieb mit Leistungsbegrenzung nach NEC Class 2 | 10 |
| <i>Aufbau ohne Redundanzmodul</i> | 11 |
| <i>Signalisierung sichert Redundanz</i> | 12 |
| Weitere Anwendungen für Redundanzmodule | 13 |
| Parallelschaltung von Netzgeräten zur Leistungserhöhung | 13 |
| Hinweise für das problemlose Starten | 14 |
| <i>Serienschaltung von Stromversorgungen</i> | 15 |
| Sicherheit gegen elektrischen Schlag! | 15 |
| Schutz von hocheffizienten Schaltnetzgeräten | 15 |
| Schutz vor Spannungs-Rückspeisung | 15 |
| Hinweis zur optimalen Verwendung der Redundanzmodule RED1200 | 16 |
| Schutz von Netzgeräten vor kritischen Spannungen | 16 |
| Serienschaltung von unterbrechungsfreien Stromversorgungen | 17 |
| Günstige Lösung zur 24-V-Pufferung einzelner Verbraucher | 18 |
| Warum arbeiten SITOP-Redundanzmodule mit Dioden? | 19 |
| Technische Daten der SITOP Redundanzmodule | 20 |

WELCHE FEHLER KÖNNEN ZU EINEM AUSFALL DER 24-V-VERSORGUNG FÜHREN?

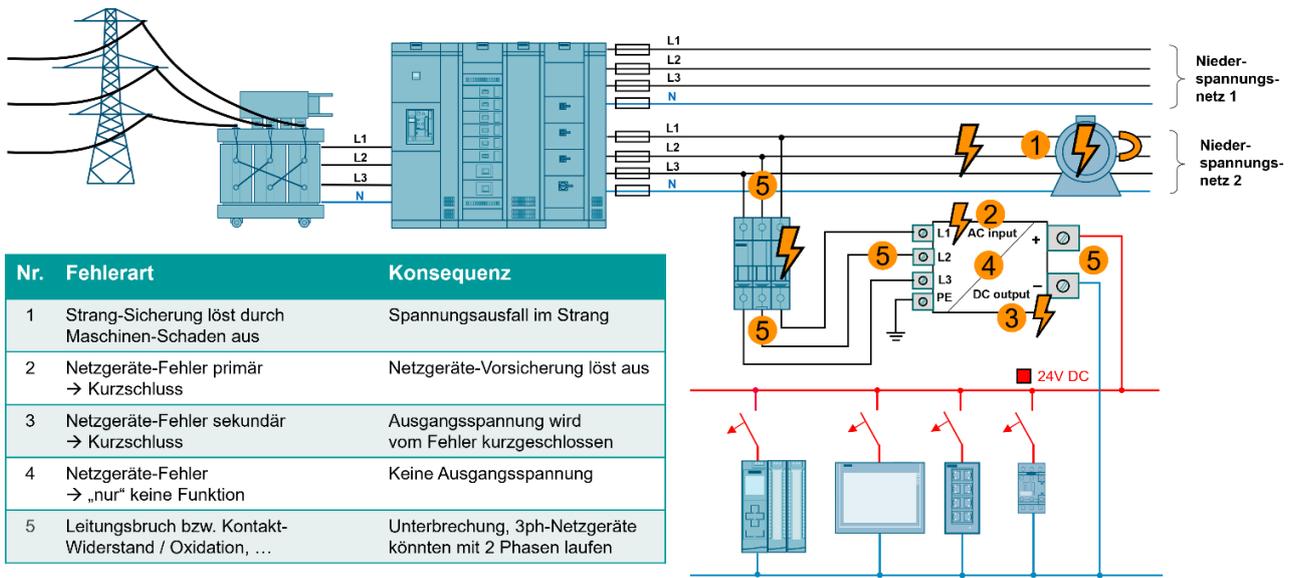


Abbildung 1: Mögliche Fehlerquellen in der 24-V-Versorgungskette

Die Abhilfe

Eine Anlage lässt sich vielfältig aufbauen, um einen höheren Schutz vor Ausfall zu erlangen – abhängig davon, welche Risiken man ausschalten möchte. Mit der redundanten Einspeisung und Absicherung erreicht man eine hohe Sicherheit auf der Primärseite der 24-V-Netzgeräte. Zusammen mit redundant geschalteten Netzgeräten und der Entkopplung ihrer Sekundärseite über Halbleiter führen Fehler nicht zum Ausfall der kompletten 24-V-Versorgung.

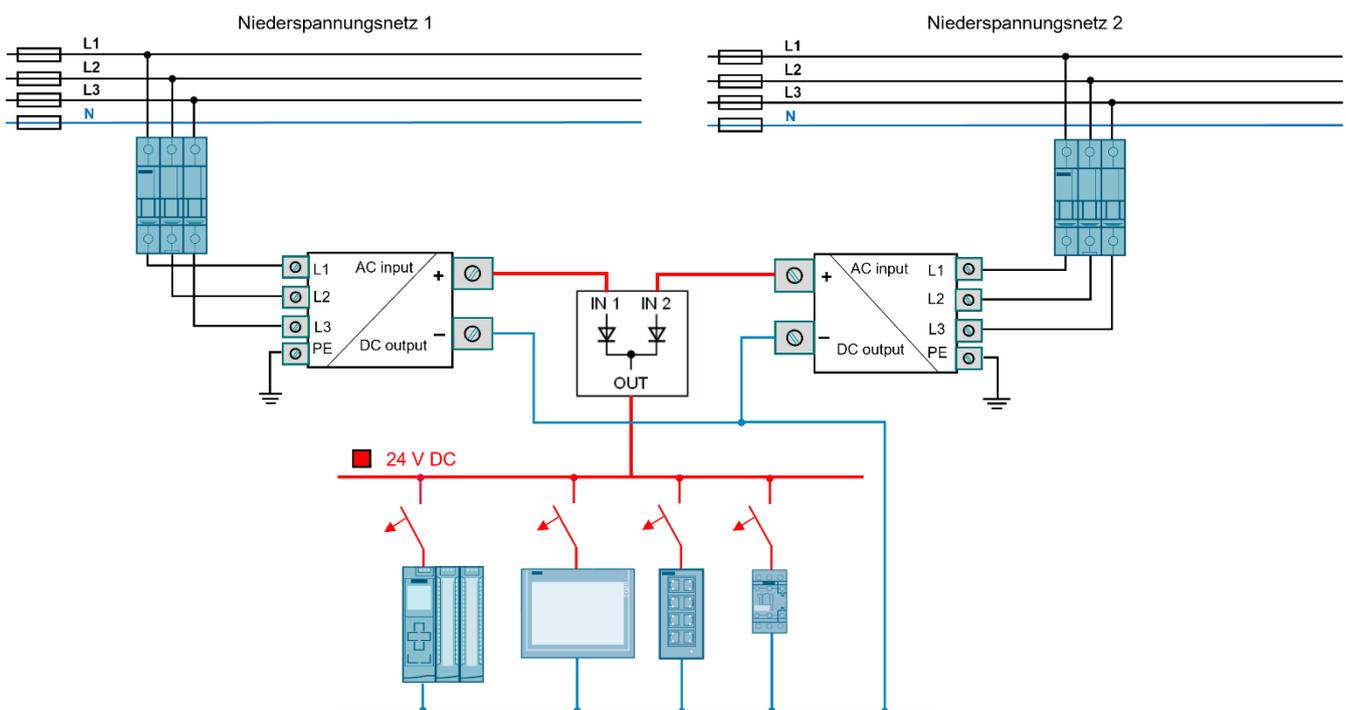


Abbildung 2: Aufbau zur Verhinderung eines kompletten Ausfalls der 24-V-Versorgungskette

1 + 1 Redundanz

Um 100%-ige Redundanz zu erreichen, die so genannte 1 + 1 Redundanz, darf der Laststrom nicht höher sein als eine Stromversorgung allein liefern kann (Abbildung 5). Bei Ausfall einer Stromversorgung wird die komplette Last von der verbleibenden zweiten Stromversorgung versorgt.

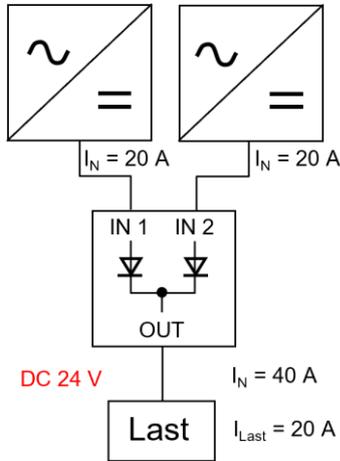


Abbildung 5:
Konfiguration für 1 + 1 Redundanz mit zwei typgleichen Stromversorgungen 24 V/20 A zur sicheren Versorgung einer 20 A – Last

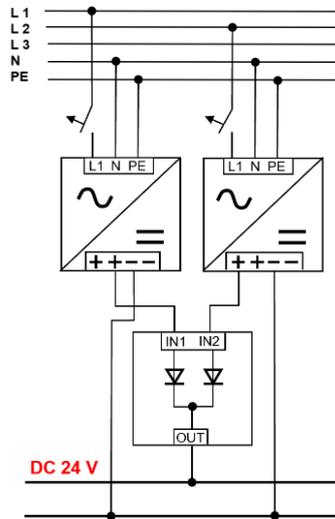


Abbildung 6:
Wenn ein mehrphasiges Netz vorhanden ist, sollten einphasige Stromversorgungen über verschiedene Phasen versorgt werden

Höchste Sicherheit: Für jedes Netzgerät ein Redundanzmodul

SITOP Redundanzmodule besitzen jeweils zwei Dioden zur Entkopplung von zwei Stromversorgungen. Die Verbindung zu den Verbrauchern erfolgt über eine Leitung am Ausgang des Redundanzmoduls (Abb. 7).

Um auch die Möglichkeit eines Ausfalls des Redundanzmoduls oder der abgehenden Leitung entgegenzuwirken, kann auch ein Redundanzmodul je Stromversorgung eingesetzt werden (Abb. 8) und ein Ausfall durch nur einen Fehler (Single Point of Failure) kann ausgeschlossen werden. Es gibt auch Redundanzmodule mit nur einer Diodenstrecke oder eine mit Transistoren nachgebildete Strecke und gleichwertiger Funktionalität. Redundanzmodule mit zwei Diodenstrecken können als unabhängige Elemente betrachtet werden. Weil der Ausgang von Doppel-Modulen oftmals nur aus einer einzigen Klemme besteht, sind sie nicht als unabhängige Elemente zu betrachten, weil es zu Kontaktproblemen an dieser Ausgangsklemme kommen kann.

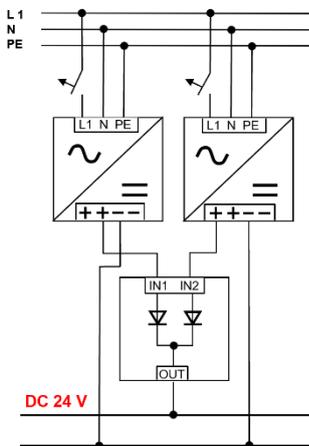


Abbildung 7:
Konfiguration mit einem Redundanzmodul für zwei Stromversorgungen

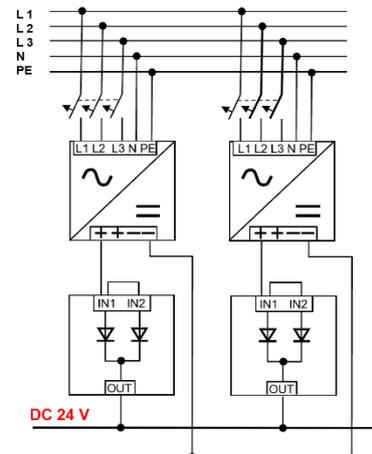


Abbildung 8:
Konfiguration mit jeweils einem Redundanzmodul für eine Stromversorgung. Die zwei 24V-Eingänge an den Redundanzmodulen werden jeweils gebrückt

N + 1 Redundanz durch Leistungserhöhung

Über die Redundanzmodule können Stromversorgungen auch zur Leistungserhöhung parallelgeschaltet werden und man erhält zugleich Redundanz, die sogenannte N + 1 Redundanz. Wenn beispielsweise 60 A benötigt werden, können vier Stromversorgungen mit 20 A Ausgangs-Nennstrom über Redundanzmodule parallelgeschaltet werden. Damit wären bei Ausfall einer Stromversorgung noch drei aktiv und der erforderliche Laststrom von 60 A sichergestellt. In diesem konkreten Fall hätte man 3 + 1 Redundanz (drei Stromversorgungen erforderlich, eine Stromversorgung in Reserve). Die Netzgeräte sollten jeweils über Dioden entkoppelt werden. Näheres hierzu finden Sie im Kapitel „Weitere Anwendungen für Redundanzmodule“.

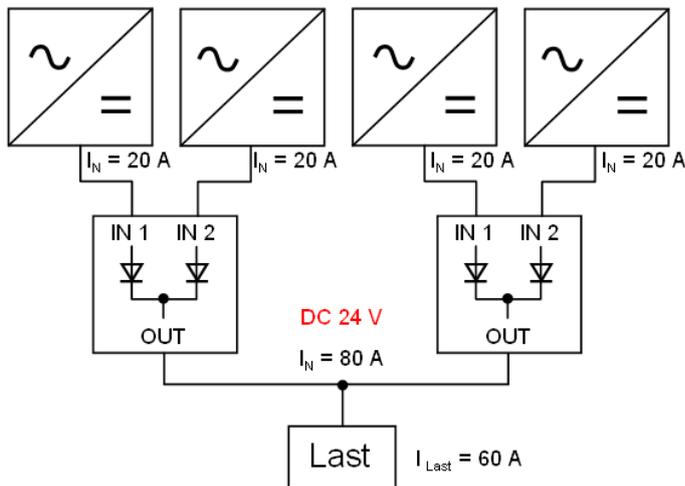


Abbildung 9:
Mögliche Konfiguration für N + 1 Redundanz mit vier typgleichen Stromversorgungen 24 V/20 A zur sicheren Versorgung einer 60 A Last

Wichtige Hinweise zum redundanten Betrieb

Die Einspeisung über die Primärseite muss ebenfalls redundant ausgeführt werden. D.h. jede Stromversorgung wird über eine separate Sicherung/Leitungsschutzschalter versorgt (Abb. 7). Eine gemeinsame Sicherung würde bei einem primärseitigen Kurzschluss eines Netzgeräts gleich beide Stromversorgungen vom Netz trennen. Beim Einsatz von 1-phasigen Netzgeräten sollte die Einspeisung über verschiedene Phasen erfolgen, wenn z.B. ein 3-Phasennetz vorhanden ist (Abb. 6). Dreiphasige SITOP Stromversorgungen liefern an zwei Phasen noch 50% Ausgangsleistung oder einige - wie die SITOP PSU6200 - sogar noch die volle Leistung.

Zur Schonung der Netzgeräte sollte eine gleichmäßige Lastaufteilung angestrebt werden: Wenn eine Stromversorgung kaum belastet und die andere hingegen stetig an ihrer Leistungsgrenze betrieben wird, wirkt sich bei letzterer die thermische Belastung negativ auf ihre Lebensdauer aus. Das ist durch folgende Maßnahmen vermeidbar:

- Verwendung typgleicher Stromversorgungen
- gleiche Leitungslängen und -Querschnitte zwischen Stromversorgungen und Redundanzmodul (Abbildung 10)
- gleiche Einstellungen der Stromversorgungs-Ausgangsspannungen (+/- 50 mV) im Leerlauf bevor sie angeschlossen sind
- bei Einsatz der Produktlinie SITOP PSU8200 oder PSU6200 kann zudem die Ausgangskennlinie auf Parallelbetrieb eingestellt werden. Die „weiche“ Kennlinie sorgt für eine optimale Lastaufteilung (Abbildung 12)

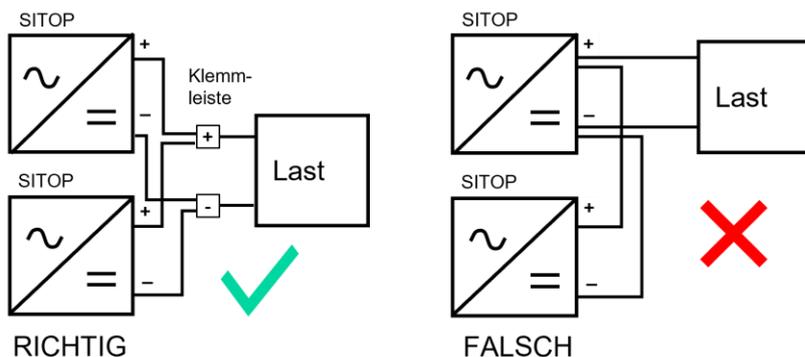


Abbildung 10: Gleiche Leitungslängen und -Querschnitte sorgen für identische Impedanzen hinter beiden Stromversorgungen. Das ist eine der Voraussetzungen für eine gleichmäßige Lastaufteilung

Lastaufteilung bei Einstellung Einzel- und Parallelbetrieb

Zwei typische SITOP Stromversorgungen mit Einstellung auf Einzelbetrieb

- Wenn die Stromversorgungen nicht auf Parallelschaltung eingestellt sind, bleibt die Ausgangsspannung über den gesamten Strombereich nahezu konstant, d.h. sie sinkt nur unwesentlich (ca. 10 - 20 mV) bei höherem Ausgangsstrom (rote Linie). Dadurch gibt es keinen definierten Arbeitspunkt (Spannung) der Stromaufteilung. D.h. bei Parallelschaltung zweier Netzgeräte reichen kleine Spannungsunterschiede für sehr unterschiedliche Ausgangsströme (Bereich als gestrichelte blaue Linie in Abbildung 11). Die Spannungsunterschiede entstehen, weil die Einstellung über die Potentiometer nicht exakt möglich ist (50 mV Unterschied sind kaum vermeidbar) und durch leicht unterschiedliche Leitungswiderstände von den Stromversorgungen bis zur Last. Durch thermische Einflüsse und Alterung ist davon auszugehen, dass sich selbst gut abgeglichenen Geräte leicht verschieben und sich eine penibel eingestellte Stromaufteilung wieder deutlich verschiebt.
- Im schlechtesten Fall liefert eine Stromversorgung den gesamten Strom und die andere ist im Leerlauf. Dadurch wird die Lebensdauer des ausgelasteten Netzgeräts (höhere Wärmeentwicklung) unnötig verkürzt.

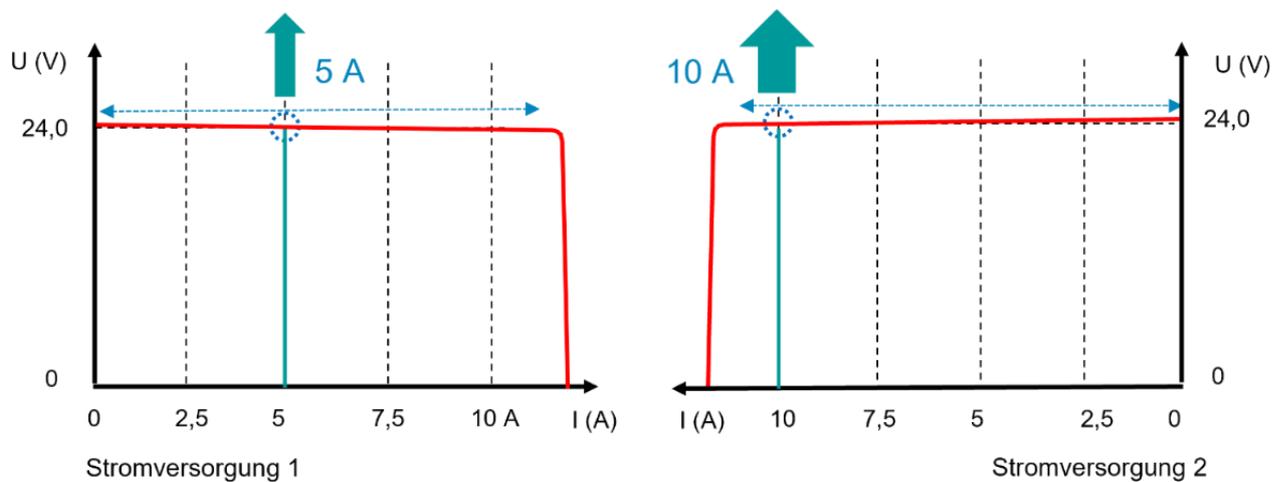


Abbildung 11: Wenn beide Stromversorgungen auf Einzelbetrieb, also auf Konstantspannung eingestellt sind, ist die Aufteilung zwischen den Stromversorgungen höchstwahrscheinlich sehr unterschiedlich. Bei diesem Beispiel sind zwei Stromversorgungen zur Leistungserhöhung parallelgeschaltet. Der Gesamtstrom von 15 A teilt sich mit 5 A und 10 A sehr ungleich auf.

Zwei typgleiche SITOP Stromversorgungen mit Einstellung auf Parallelbetrieb:

- Bei der geneigten U/I Kennlinie stellt sich die Ausgangsspannung abhängig vom Strom ein (rote Linie). Typgleiche SITOP-Stromversorgungen besitzen nahezu die gleichen Arbeitspunkte. Die Ausgangsströme sind also ähnlich hoch, wenn die Ausgangsspannungen nahezu identisch sind!
Hinweis: Weil sich die Ausgangsspannungen über die Potentiometer nicht absolut identisch einstellen lassen (50 mV Differenz ist kaum vermeidbar), liegen die gleich geneigten U/I Kennlinien nicht exakt übereinander und die Stromaufteilung ist nicht exakt 50:50
- Die Einstellung Parallelbetrieb empfiehlt sich bei Redundanz und Leistungserhöhung. In beiden Fällen schont die gleichmäßige Lastaufteilung die Stromversorgungen und erhöht deren Lebensdauer. In diesem Fall wird eine Reduktion der Netzgeräteausgangsspannung um z.B. 1,2 V bei Volllast gegenüber Leerlauf in Kauf genommen. Ggfs. muss in speziellen Applikationen die Leerlaufspannung entsprechend angehoben werden.

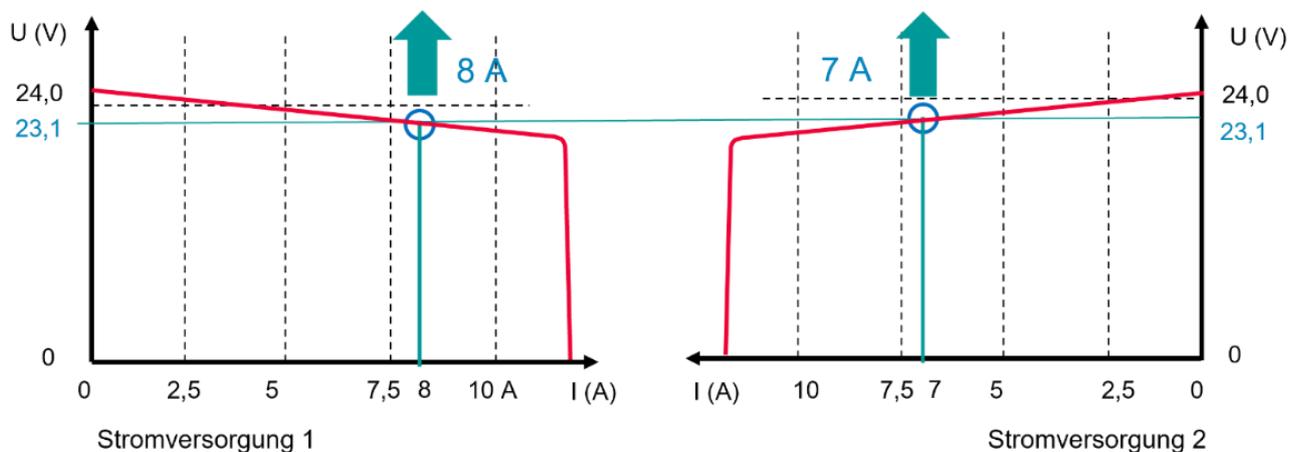


Abbildung 12: Wenn beide Stromversorgungen auf Parallelbetrieb, also auf geneigte Kennlinie, eingestellt sind, ist die Aufteilung zwischen den Stromversorgungen sehr gleichmäßig. Bei diesem Beispiel sind 2 Stromversorgungen zur Leistungserhöhung parallelgeschaltet. Der Gesamtstrom von 15 A teilt sich mit 8 A und 7 A annähernd symmetrisch auf.

Warum ist es zu empfehlen die Last auf die Netzteile gleichmäßig aufzuteilen?

Aus den Arbeiten des schwedischen Physikers Svante Arrhenius aus den ersten Jahren des 20. Jahrhunderts ist eine Gesetzmäßigkeit ableitbar, die sich auf die Alterung von Kondensatoren und stark eingeschränkt auch noch auf weitere Elektronik-Komponenten anwenden lässt. Demnach führt eine Temperaturerhöhung um 10 Grad Celsius (korrekt bezeichnet um 10 K [Kelvin]) zu einer Halbierung der Lebensdauer. Diese Gesetzmäßigkeit geht auch in die andere Richtung, wonach eine Temperaturreduktion um 10 K zu einer Verdopplung der Lebensdauer führt. Da die Kondensatoren die Lebensdauer eines Netzteils hauptsächlich definieren, kann man sich darauf fokussieren.

Bei Netzteilen gibt es die Daumenregel, nach der die Kondensatoren im Geräteinneren durch die Elektronik-Verluste bei Nennlast um etwa 30 K wärmer werden als die Umgebungstemperatur. Des Weiteren kann man annehmen, dass der Wirkungsgrad über den Lastbereich in einer ähnlichen Größenordnung bleibt – einige Prozent Veränderung sind dabei nicht wesentlich.

Legt man die Arrhenius-Formel und die Daumenregel der inneren Erwärmung übereinander, so kommt man zu einer groben Abschätzung:

Hat ein Netzteil bei einer bestimmten Umgebungstemperatur und Nennausgangsstrom eine angegebene Lebensdauer (Lifetime rated), so kann man abschätzen, dass bei nur 2/3 des Nennausgangsstroms die innere Temperatur um 10 K geringer ist und damit die Lebensdauer 2 x dem Wert „Lifetime rated“ entspricht. Reduziert man die Belastung auf nur 1/3 des Nennausgangsstroms, so darf man von einer Lebensdauer von $2 \times 2 \times$ „Lifetime rated“ = 4 x „Lifetime rated“ ausgehen. → D.h. jede Reduktion der Belastung geht sehr stark in die Lebensdauer ein. Demzufolge ist eine Lastaufteilung eine Maßnahme zur Lebensdauererhöhung der Gesamtanlage.

Redundanter Betrieb ohne Lastaufteilung

Wenn ein Netzgerät die gesamte Last übernehmen soll und das andere im Leerlauf zur Absicherung dient, wird dies durch zwei Maßnahmen erreicht. Dies wird jedoch nicht empfohlen (siehe Erklärung oben).

1. Einstellung der Netzgeräte jeweils auf „Einzelbetrieb“, also auf „Konstantspannung“
2. Unterschiedliche Einstellung der Ausgangsspannungen mit einer Differenz von mind. 1 V: z.B. Netzgerät A eingestellt auf 25 V und Netzgerät B auf 24 V.

Das Netzgerät A mit 25 V Ausgangsspannung übernimmt automatisch die gesamte Last und Netzgerät B bleibt im Stand-by-Betrieb. Dies kann gewollt sein, wenn z.B. eine Netzversorgung einer Stromversorgung über eine Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) oder eine Motor-Generator-Schwungrad Pufferung versorgt wird und diese im Normalbetrieb nicht unnötig belastet werden soll.

Redundanter Betrieb mit Leistungsbegrenzung nach NEC Class 2

Mit den Redundanzmodulen SITOP PSE200U NEC Class 2 lassen sich zwei Anforderungen gleichzeitig erfüllen. Zum einen den Aufbau einer redundanten 24 V-Versorgung und zum anderen die Begrenzung der Ausgangsleistung auf 100 VA. Die 100-VA-Begrenzung fordert der Standard NEC Class 2 (National Electrical Code) für Elektroausrüstungen in den USA, herausgegeben von der „National Fire Protection Association“ (NFPA). Durch die Leistungsbegrenzung wird davon ausgegangen, dass im Ausgankreis keine Gefahr durch elektrischen Schlag oder Brand entsteht. Dadurch kann auf die aufwändige Leitungsverlegung in Metallrohren verzichtet werden. Diese Verlegungstechnik stammt ursprünglich aus US-amerikanischen Normen, die aus der historischen Brand-Erfahrung basiert und dem häufig verwendeten Holz in Bauwerken Rechnung trägt. Netzteile und Zusatzkomponenten für die Versorgung des Steuerstromkreis mit der Zulassung NEC Class 2 zeichnen sich dadurch aus, dass auch im Fehlerfall die Ausgangsleistung auf 100 VA begrenzt ist. Durch den Einsatz dieser zertifizierten Komponenten kann der Verdrahtungsaufwand und die Überprüfung für die Zulassung der gesamten Schaltanlage deutlich vereinfacht werden.

Die Leistungsbegrenzung auf 100 VA ist nicht nur in Nordamerika relevant, sondern wird auch bei einigen Automatisierungskomponenten gefordert, um dadurch die erforderliche Brandschutz-Sicherheit zu erreichen. Hierzu gehören beispielsweise SCALANCE Produkte für die industrielle Kommunikation und SIMATIC Industrie-PCs. Weitere Infos hierzu finden Sie in den Broschüren: [SCALANCE powered by SITOP](#) und [SIMATIC IPC powered by SITOP](#).

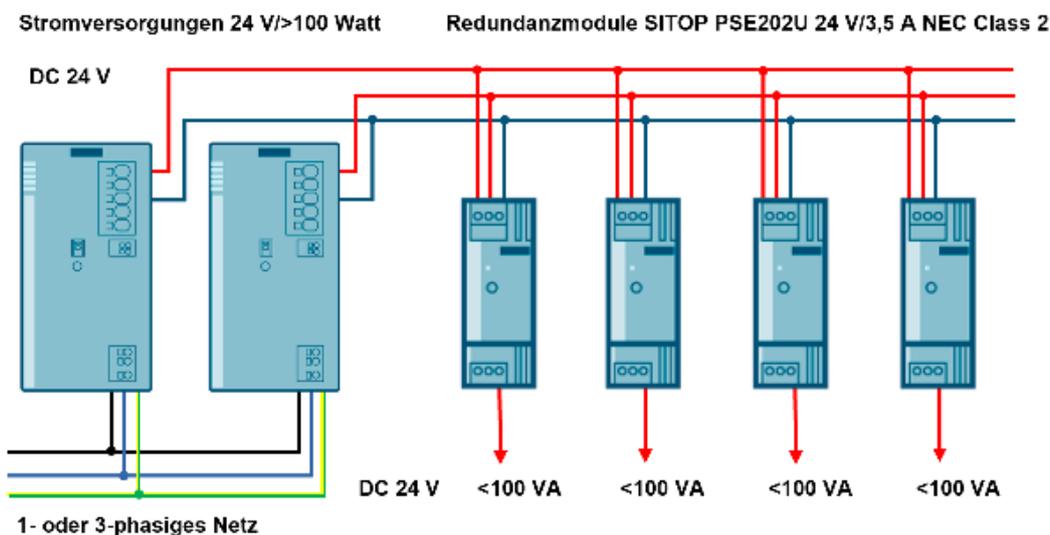


Abbildung 13:

Redundanter Aufbau bei gleichzeitiger Leistungsbegrenzung einzelner 24V-Abzweige über kompakte Redundanzmodule SITOP PSE202U NEC Class 2 und – in diesem Beispiel – zwei 1-phasige Stromversorgungen SITOP PSU6200 24 V/20 A

Aufbau ohne Redundanzmodul

Zum Aufbau einer redundanten Stromversorgung wird üblicherweise ein Redundanzmodul zur Entkopplung der Stromversorgungen eingesetzt. Bei einigen Automatisierungskomponenten kann ein Redundanzmodul entfallen, weil sie über zwei 24-V-Eingänge redundant versorgt werden können. Die Eingänge sind voneinander entkoppelt und bieten den erforderlichen Schutz bei Ausfall eines Netzgeräts. Über eine redundante 24-V-Einspeisung verfügen zum Beispiel einige SCALANCE-Geräte. In diesem Fall ist die Redundanzfunktion bereits in der Automatisierungskomponente integriert.

Redundante Stromversorgung mit Redundanzmodul

Vorteile

- Wenn ein Verbraucher eine NEC Class 2-Einspeisung erfordert, kann das Redundanzmodul PSE202U gleichzeitig für Redundanz und Leistungsbegrenzung nach NEC Class 2 eingesetzt werden. Dadurch können zwei leistungsstärkere Stromversorgungen verwendet werden, die alle weiteren 24-V-Verbraucher auch versorgen

Nachteile

- Die Leitung zwischen Redundanzmodul und Verbraucher sind nicht redundant (single point of failure)
- Ein zusätzliches Redundanzmodul bedeutet mehr Kosten, Platzbedarf und Verdrahtungsaufwand

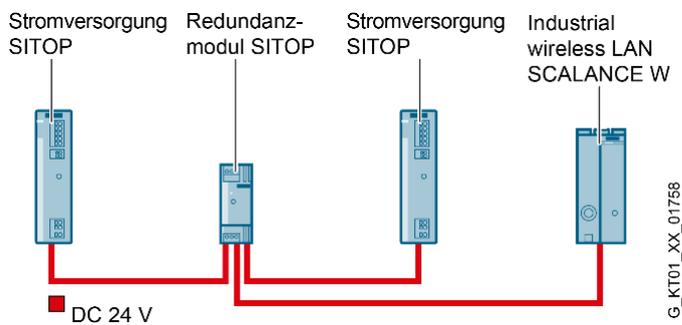


Abbildung 14: Redundante Einspeisung über Redundanzmodul

Redundante Stromversorgung ohne Redundanzmodul

Vorteile

- Weniger Kosten, Platzbedarf und Verdrahtungsaufwand ohne zusätzliches Redundanzmodul
- Kein „single point of failure“ bei der 24-V-Versorgung

Nachteil

- Wenn der Verbraucher eine NEC Class 2-Einspeisung erfordert, müssen dies beide Stromversorgungen erfüllen.

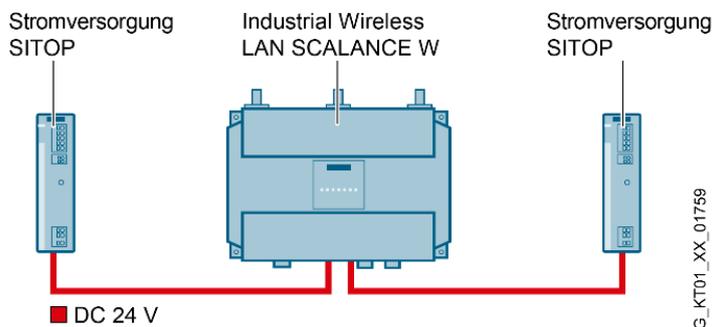


Abbildung 15: Redundante Einspeisung von Verbrauchern mit integrierter Entkopplung

Signalisierung sichert Redundanz

Die Signalisierung eines Geräteausfalls gehört zum Sicherheitskonzept bei Redundanz. Denn ein defektes Gerät kann zeitnah gegen ein intaktes Gerät ausgetauscht und der redundante Aufbau schnell wieder hergestellt werden.

Die Auswertung über den Ausfall eines SITOP Netzgeräts ist abhängig vom SITOP Redundanzmodul. Die Redundanzmodul SITOP PSE202U verfügen über einen potentialfreien Meldekontakt, der anspricht, wenn einer der beiden 24-V-Eingangsspannungen den eingestellten Schwellwert unterschreitet. Dabei ist die Auslöseschwelle von 20 bis 25 V +/- 0,5 V einstellbar.

Die Redundanzmodule SITOP RED1200 verfügen über keinen Meldekontakt, da sie einen sehr viel höheren Spannungsbereich abdecken (12 V/24 V/48 V). Deshalb wird die Signalisierung „Ausgangsspannung ok“ des jeweiligen Netzgeräts ausgewertet, die bei den Industrie-Stromversorgungen in der Regel vorhanden ist.

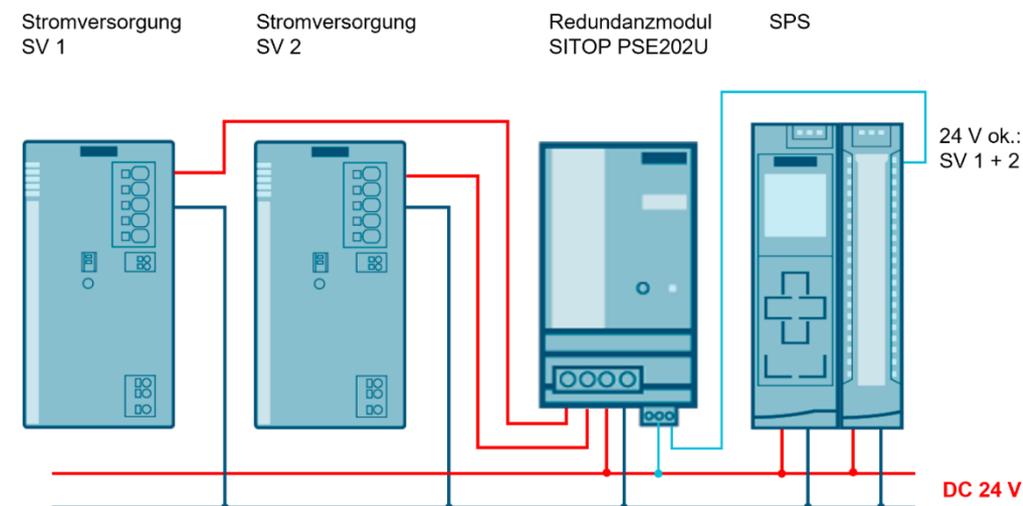


Abbildung 16: Überwachung der redundanten 24-V-Einspeisung mit dem Redundanzmodul SITOP PSE202U

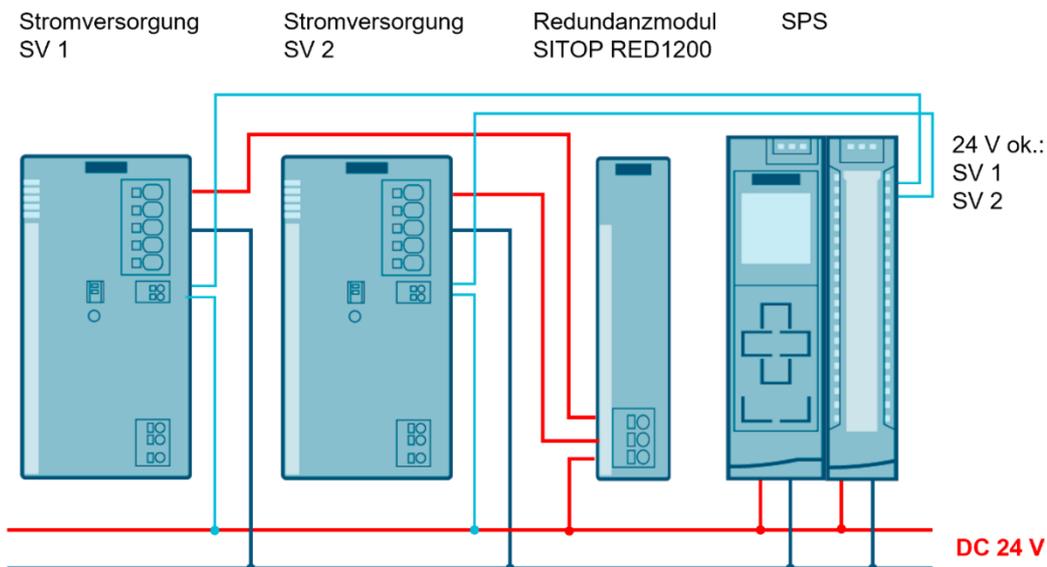


Abbildung 17: Überwachung der redundanten 24-V-Einspeisung über die Stromversorgungen. Für eine Summenfehlermeldung können die Meldekontakte der Netzgeräte auch in Reihe geschaltet werden.

Weitere Anwendungen für Redundanzmodule

Parallelschaltung von Netzgeräten zur Leistungserhöhung

Erfordert die Applikation eine Versorgungsleistung, welche die Leistungsfähigkeit eines einzigen Netzteils übersteigt, ist eine Parallelschaltung erforderlich.

Werden 2 baugleiche Netzteile parallelgeschaltet, so kann dies aus der Sicherheitsbetrachtung ohne weitere Maßnahmen erfolgen. Ab einer Anzahl von 3 parallel geschalteten Geräten ist es zur Absicherung gegen eine theoretisch mögliche Brandgefahr eine Entkopplung der Netzteil-Ausgänge nötig, da im schlimmsten anzunehmenden Fall ein Bauteil im Ausgangsbereich eines Netzteils einen Defekt aufweist, der zu einem Kurzschluss führt. In diesem Fall würden die weiteren Geräte ihre gesamte Leistungsfähigkeit in das kurzgeschlossene Bauteil einspeisen und eventuell einen Brand verursachen (Abb. 18). Eine Möglichkeit zur Entkopplung stellt ein Leitungsschutzschalter oder eine Sicherung dar, welche auf einen Wert zu dimensionieren ist, welcher über dem dauerhaften Nennstrom des Netzteils liegt (Abb. 19). Als Faustformel sollte dieser Wert etwa 120% des Netzteil-Nennstromes betragen. Damit kann im Normalbetrieb ein unbeabsichtigtes Auslösen auch beim Nutzen kurzzeitiger Überlastfähigkeiten der Netzteile verhindert werden. Es besteht jedoch durch die Möglichkeit des Fehlerstromes von den funktionsfähigen Netzteilen in das defekte Netzteil eine Bauteilerhitzung bis der Schutzschalter auslöst und diesen unterbricht. Dies erzeugt somit ein theoretisches Rest-Brandrisiko. Wenn der Leitungsschutzschalter oder die Sicherung nicht sofort auslöst, kann es auch zu einem kurzzeitigen Spannungseinbruch kommen. Das kann aber auch passieren, wenn der Maximalstrom benötigt wird ($3 \times I_{\text{Nenn}}$), den die 2 noch intakten Netzgeräten nicht aufbringen können.

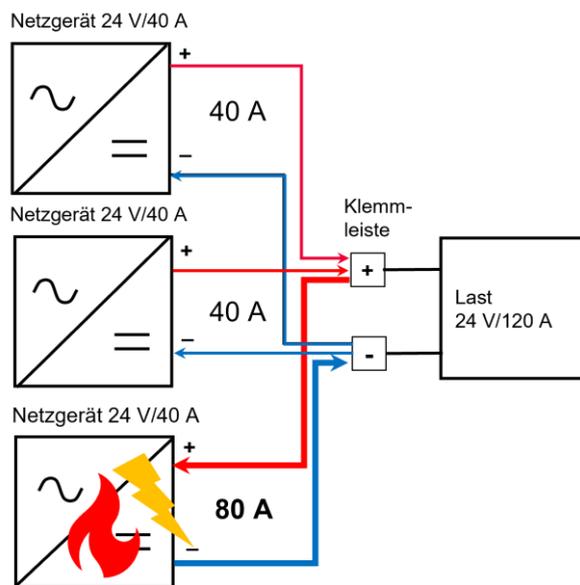


Abbildung 18: Bei der Leistungserhöhung durch mehr als 2 Stromversorgungen kann es bei einem internen Kurzschluss im Ausgang zum Brand des defekten Geräts führen, weil die Bauteile nicht für den doppelten Strom

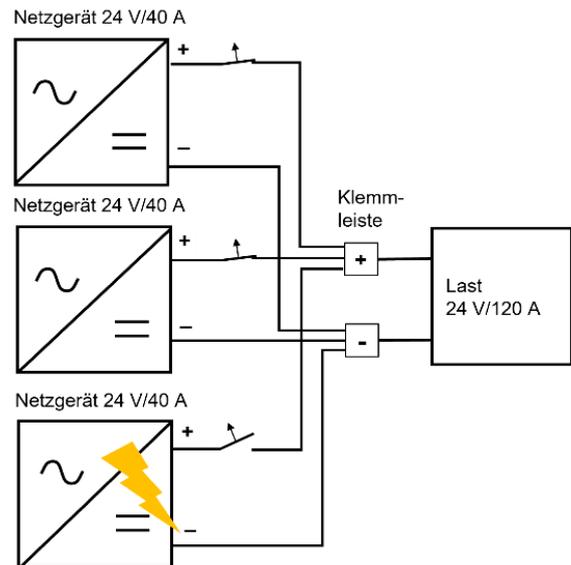


Abbildung 19: Zum Schutz vor einem Brand (siehe Abb. 18) können die Stromversorgungen jeweils über eine Sicherung oder einen Leitungsschutzschalter abgesichert werden.

Eine vorteilhafte Methode zur Entkopplung sind Dioden bzw. das Redundanzmodul (Abb. 20 + 21). Damit wird erreicht, dass eine defekte Stromversorgung bei Kurzschlusswirkung im Ausgang mit keinem zusätzlichen Strom durch die anderen Netzgeräte belastet wird. So kann ein theoretisches Rest-Brandrisiko ausgeschlossen werden. Zudem schützen die Dioden vor eventuellen Überspannungen durch rückspeisende Motoren oder Induktivitäten.

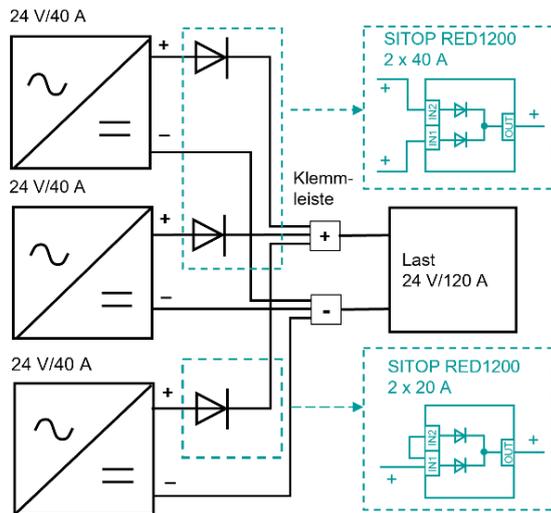


Abbildung 20: Absicherung parallel geschalteter Netzgeräte über Dioden. Die Entkopplung ist der zuverlässigste Überlastschutz und kann z.B. über die Redundanzmodule SITOP RED1200 realisiert werden.

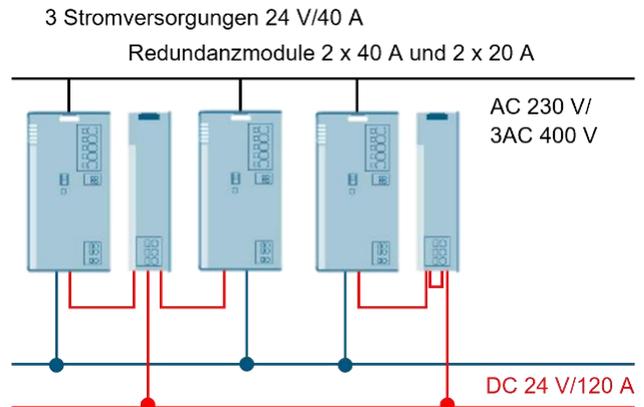


Abbildung 21: Konfiguration zur Leistungserhöhung auf 120 A durch drei Stromversorgungen 24 V/40 A. Sie werden zum Schutz vor Brand und Überspannung über zwei Redundanzmodule SITOP RED1200 entkoppelt.

Hinweise für das problemlose Starten

Es ist zu empfehlen, die Geräte gleichzeitig ans Netz zu schalten, um den problemlosen Hochlauf der Stromversorgungen zu gewährleisten. Die Gefahr ist abhängig vom Ausgangsverhalten und tritt z.B. bei Netzgeräten mit Hiccup-Mode auf. Bei nicht gleichzeitigem Einschalten müsste das zuerst startende Netzgerät anfangs die gesamte Last bereitstellen, die weit über seinem Nennstrom liegt. Deshalb würde das 1. Netzgerät wieder abschalten, bevor das 2. zugeschaltet wird und mit seinem Ausgangsstrom unterstützt. Die 2. Stromversorgung schaltet anschließend auch auf die zu große Last und schaltet ebenfalls wieder ab, bevor die erste wieder startet. Im ungünstigsten Fall versucht eine Stromversorgung zu starten, während die andere gerade pausiert.

Das Problem lässt sich umgehen, indem Netzgeräte mit einer dauerhaften UI-Kennlinie bzw. Konstantstromkennlinie verwendet werden (Abb. 11). Diese Geräte schalten auch bei sehr starker Überlastung nicht vollständig ab, sondern liefern ihren Maximalstrom. Die Ausgangsspannung kann dabei zwar auf bis zu 0 V absinken, aber das Netzgerät bleibt aktiv. Trotz Verspätungen beim Hochlauf parallelgeschalteter Netzteile lässt sich die Anlage immer sicher starten.

Serienschaltung von Stromversorgungen

Wenn Ausgangsspannungen gefordert sind, die von einer einzigen Stromversorgung nicht mehr aufgebracht werden können, ist die Serienschaltung eine Möglichkeit höhere Spannungen zu erreichen. Dabei sind jedoch einige Aspekte zu beachten:

Sicherheit gegen elektrischen Schlag!

Nicht jedes Netzgerät ist für die Schaltung in Reihe geeignet!

Übliche Netzteile in der Automatisierungstechnik liefern eine Schutzkleinspannung im Bereich 24 V oder auch gelegentlich 48 V. Werden Netzteile in Serie geschaltet, so wird die Schwelle von 60 V evtl. überschritten – die Berührungsgrenze für ungefährliche Körperströme. D.h. ab dieser Spannung muss die Verdrahtung so behandelt werden als wäre sie eine gefährliche Netzspannung führende Leitung. Ab 60 V sollte auch mit dem Hersteller der Netzteile abgeklärt werden, ob die internen Sicherheitsabstände, Filterkondensatoren und andere Bauteile die Serienschaltung zu der gewünschten Gesamtspannung erlauben. Auch wenn die Sicherheitsabstände erfüllt werden, sind noch Signalrelais-Ausgänge und Bedienelemente wie z.B. Einstellpotentiometer zu beachten. Sollten hier die Sicherheitsabstände nicht ausreichen, so sollte von einer Auswertung des Power-Good-Signals abgesehen werden. Die Einstellung der Ausgangsspannung oder anderer Bedienelemente sollte grundsätzlich nur mit einem isolierten Schraubendreher erfolgen, um eventuelle Sicherheitsabstands-Unterschreitungen nicht zur theoretischen Personengefahr werden zu lassen.

Schutz von hocheffizienten Schaltnetzgeräten

Eine weitere Betrachtung verdient die Strombelastung der internen Komponenten in den Netzteilen.

Mit der Einführung von hocheffizienten neuen Schaltungstopologien, wie Resonanzschaltungen, wurden die passiven Gleichrichterdiode in den Ausgangskreisen durch effizientere, aktiv gesteuerte, Transistoren ersetzt - sogenannte Synchron-Gleichrichter.

Dies bietet neben der Wirkungsgraderhöhung auch eine Reduktion der Baugröße, weshalb sich diese Technik zunehmend bei Geräten ab ca. 500 W Ausgangsleistung durchsetzt. Werden Netzteile mit Synchron-Gleichrichter aber in Serie geschaltet, kann es zu einem ungewollten Effekt kommen: Wenn die Netzteile nicht gleichzeitig starten oder durch hohe Belastung ein Gerät als erstes abschaltet oder dessen Netzzuleitung unterbrochen wird, versorgt das verbleibende Netzteil die Last. Dieser Laststrom fließt nun zwangsläufig auch durch das nicht aktive Netzteil, trifft dort aber nicht auf die in früheren Designs üblichen Diodengleichrichter mit entsprechend voluminös dimensionierten Kühleinrichtungen, sondern auf die Transistoren der effizienteren Synchron-Gleichrichter. Da das Netzteil aber nicht in Betrieb ist, werden die Transistoren auch nicht angesteuert, die Effizienzvorteile nicht nutzbar und die Verlustenergien in diesen Transistoren um bis zum Faktor 10 höher als im aktiven Normalbetrieb. Da die Kühlung der Transistoren nur auf den Normalbetrieb ausgelegt ist, kommt es hier zu einer thermischen Überlastung und höchstwahrscheinlich zum Defekt des nicht aktiven Netzteils. Davor schützen Dioden, die antiparallel zu den Ausgängen geschaltet werden (Abb. 22). Im Fall des Falles übernehmen sie den Strom und schützen somit das abgeschaltete Netzteil vor der Zerstörung.

Schutz vor Spannungs-Rückspeisung

Werden in der Applikation auch Verbraucher von den Netzgeräten versorgt, die Energie zurück speisen können, z.B. elektrisch bremsende Motoren, so muss eine Diode in Serie geschaltet werden (Abb. 23). Andernfalls kommt es beim Rückspeisen zu einer Anhebung der Summen-Ausgangsspannung. Die Aufteilung der eingespeisten Energie auf die einzelnen in Serie geschalteten Netzteile hängt von den Toleranzen der Bauteile in den Netzteilen ab und ist daher nicht genau definiert. Dies kann sehr leicht zu einer Spannungsüberlastung und damit Beschädigung eines Netzteils führen und sollte unbedingt ausgeschlossen werden.

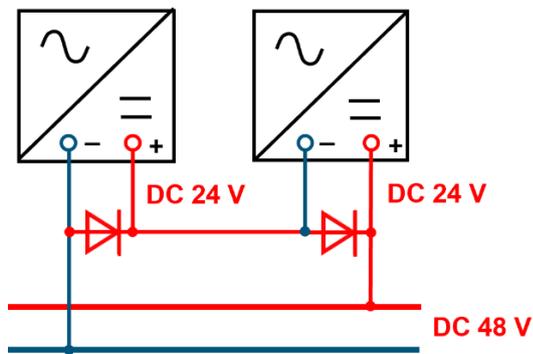


Abbildung 22: Zwei in Reihe geschaltete Stromversorgungen erhöhen die Ausgangsspannung, z.B. von 24 V auf 48 V. Hocheffiziente Schaltnetzteile mit Resonanzschaltungen sind dabei mit antiparallel geschalteten Dioden am Ausgang zu schützen.

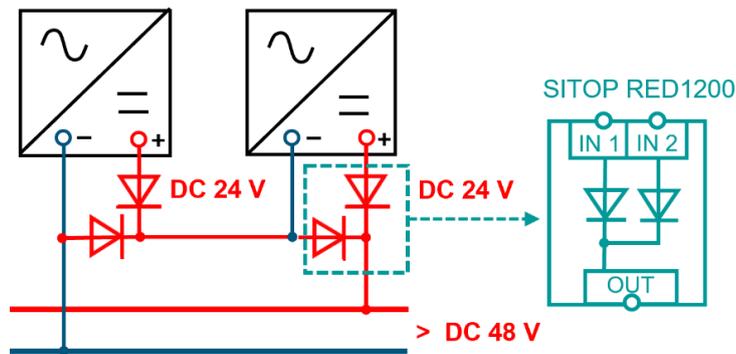


Abbildung 23: Gegen Überspannungen aus der Applikation schützt eine Diode am Plus-Ausgang jedes Netzteils. Die Dioden-Schaltung lässt sich am einfachsten mit einem Redundanzmodul SITOP RED1200 realisieren.

Hinweis zur optimalen Verwendung der Redundanzmodule RED1200

Die Redundanzmodule SITOP RED1200 bestehen aus 2 Dioden. Bei größerem Strombedarf können Eingang 1 und 2 gebrückt und damit die Dioden parallelgeschaltet werden. So ist z.B. ein RED1200 2 x 20 A für 40 A einsetzbar (siehe auch Abb. 20 + 21). Dies funktioniert aber auch ohne Brücke. D.h. es kann auch nur ein Diodenstrang mit 40 A belastet werden, solange der zweite nicht belastet wird. Ausschlaggebend ist die Gesamtlast und die dadurch entstehende gesamte Verlustwärme, die über einen gemeinsamen Kühlkörper abgeführt wird. Durch diese Konstruktion ist es möglich für die Diodenschaltung in Abbildung 20 ein Redundanzmodul RED1200 mit 2 x 20 A zu verwenden, obwohl 40 A pro Diodenstrang fließen. Denn in diesem Einsatzfall fließen die 40 A immer nur durch eine Diode aber nie durch beide gleichzeitig: Die Diode parallel zum Ausgang wird nur beim Einschalten belastet. Die Diode mit der Anode direkt am Plus-Ausgang des Netzgeräts, also in Flussrichtung, wird anschließend im Betrieb belastet.

Schutz von Netzgeräten vor kritischen Spannungen

Die meisten Netzteile in der Automatisierungstechnik sind so ausgelegt, dass die Ausgangsspannung für Menschen berührbar ist (SELV – Safety Extra Low Voltage). Dafür wurden beim Design und der Sicherheitsabnahme der Geräte entsprechende Sicherheitsabstände eingehalten und nur Bauteile wie Transformatoren mit ausreichender Spannungsfestigkeit verwendet. Wird durch Serienschaltungen der Netzteil-Ausgänge eine Gesamtausgangsspannung erreicht, die über dem Grenzwert für ungefährliches Berühren durch Menschen (DC 60 V) liegt, so reichen die Sicherheitsabstände in den Netzteilen für die veränderten Potential-Verhältnisse meist nicht mehr aus. Um trotzdem einen ordnungsgemäßen Aufbau zu ermöglichen, ist es nötig den Fußpunkt der Serienschaltung zu erden (Abb. 24). Die Erdung führt zu einem zusätzlichen Schutz, der die normgemäßen Anforderungen durch die veränderten Potential-Verhältnisse kompensiert.

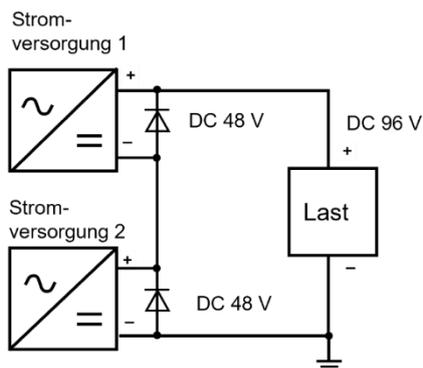


Abbildung 24: Bei Reihenschaltungen von Stromversorgungen zur Erzeugung von Spannungen höher DC 60 V sorgt die Erdung für den Schutz der Bauteile in den Netzgeräten. In diesem Beispiel zum Schutz von zwei 48-V-Geräten.

Serienschaltung von unterbrechungsfreien Stromversorgungen

Auch die unterbrechungsfreie 24-V-Stromversorgung SITOP UPS1600 mit Batteriemodulen UPS1100 oder BAT1600 kann durch Reihenschaltung von zwei gleichen DC-USV-Konfigurationen auf 48 Volt Ausgangsspannung ausgebaut werden (Abbildung 25). Folgende Maßnahmen sind dabei zu berücksichtigen:

- Damit die beiden unterbrechungsfreien Stromversorgungen möglichst gleichzeitig anlaufen, sollten die Stromversorgungen gemeinsam eingeschaltet werden.
- Weil ein geringer Zeitversatz zwischen den beiden DC-USV-Konfigurationen beim Anlauf trotzdem nicht verhindert werden kann, muss parallel zu den DC-USV-Modul-Ausgängen jeweils eine Diode antiparallel geschaltet werden (siehe Abb. 25: Dioden an „IN1“). Der Grund ist der gleiche wie im Kapitel „Schutz von hocheffizienten Schaltnetzgeräten“ beschrieben. Zudem schützt die Diode die UPS1600, wenn nach längerem Pufferbetrieb eine Batterie leer ist und die andere noch Spannung liefert. In diesem Fall würde das inaktive DC-USV-Modul mit der 24-V-Spannung des noch aktiven DC-USV-Moduls unzulässig belastet.
- Am + 24-V-Ausgang der DC-USV-Module ist eine Diode in Flussrichtung zu schalten (siehe Abb. 25: Dioden an „IN2“). Die Diode schützt vor hohen Spannungen durch rückspeisende Verbraucher wie in Kapitel „Schutz vor Spannungs-Rückspeisung“ beschrieben.
- Nach längerem Pufferbetrieb wird eines der beiden Batteriemodule schneller entladen sein als das andere und es werden keine 48 V mehr am Verbraucher anliegen. Der Verbraucher sollte deshalb auch an 24 V keinen Schaden nehmen. Andernfalls müssten Maßnahmen zum Schutz des 48-V-Verbrauchers getroffen werden.
- Die Dioden-Kombination ist am einfachsten durch den Einsatz eines Redundanzmoduls je UPS1600 zu realisieren

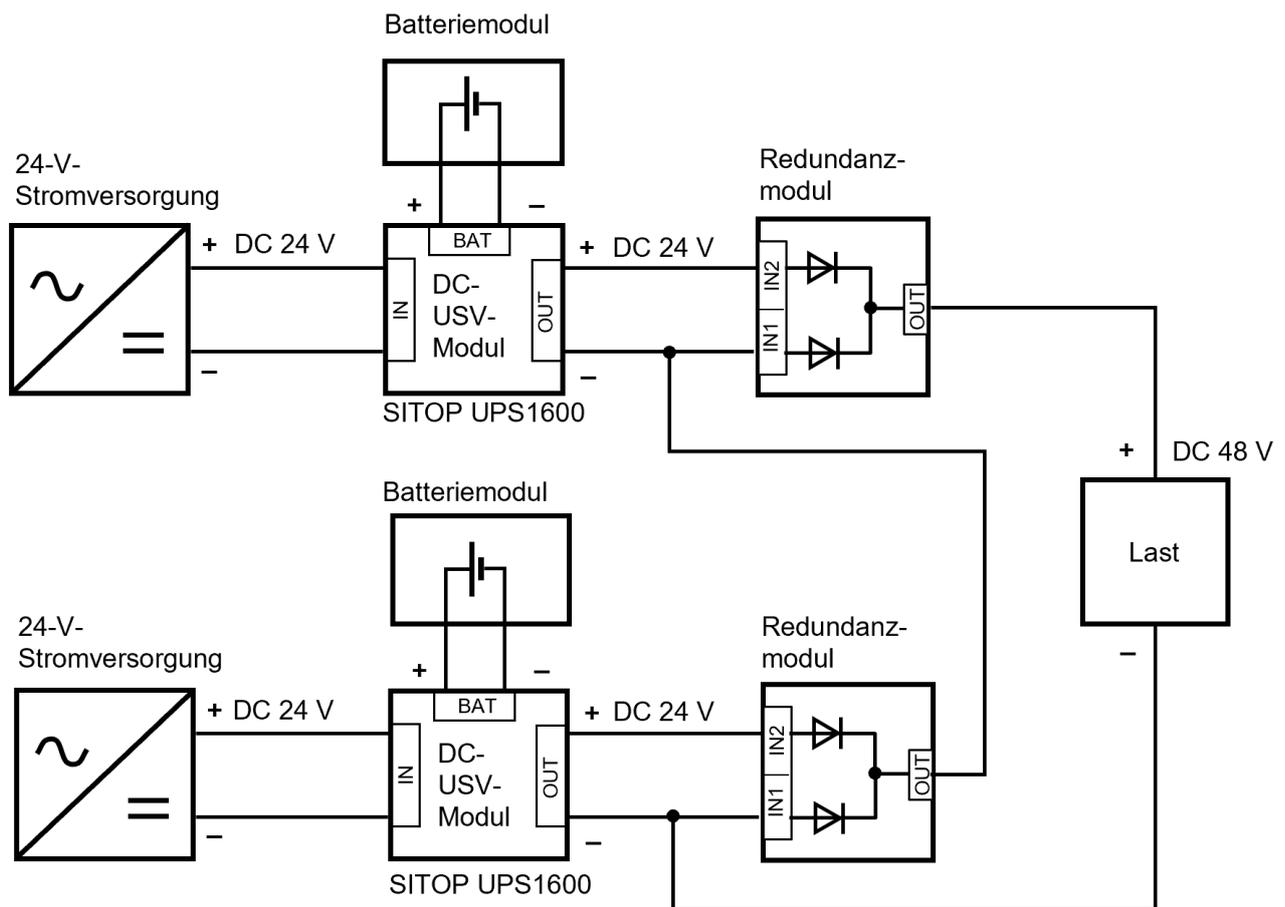


Abbildung 25: Reihenschaltung von zwei identischen 24-V-DC-USV-Konfigurationen für unterbrechungsfreie 48 Volt

Günstige Lösung zur 24-V-Pufferung einzelner Verbraucher

Mit dem Redundanzmodul und einem Puffermodul lässt sich eine günstige Lösung aufbauen, einzelne Verbraucher möglichst lange bei Netzausfall mit 24 V zu puffern, z.B. einen Industrie-PC. In diesem Fall (Abb. 26) wird bei Netzausfall ausschließlich der IPC vom Puffermodul versorgt, weil die Dioden im Redundanzmodul unkritische Verbraucher vom Pufferstrom trennen. Damit steht der gesamte Energiegehalt des Puffermoduls für den kritischen Verbraucher zur Verfügung. Bei kurzen Netzausfällen kann die dadurch erreichte Pufferzeit ausreichend sein, die Maschine ohne längere Unterbrechung weiterzubetreiben.

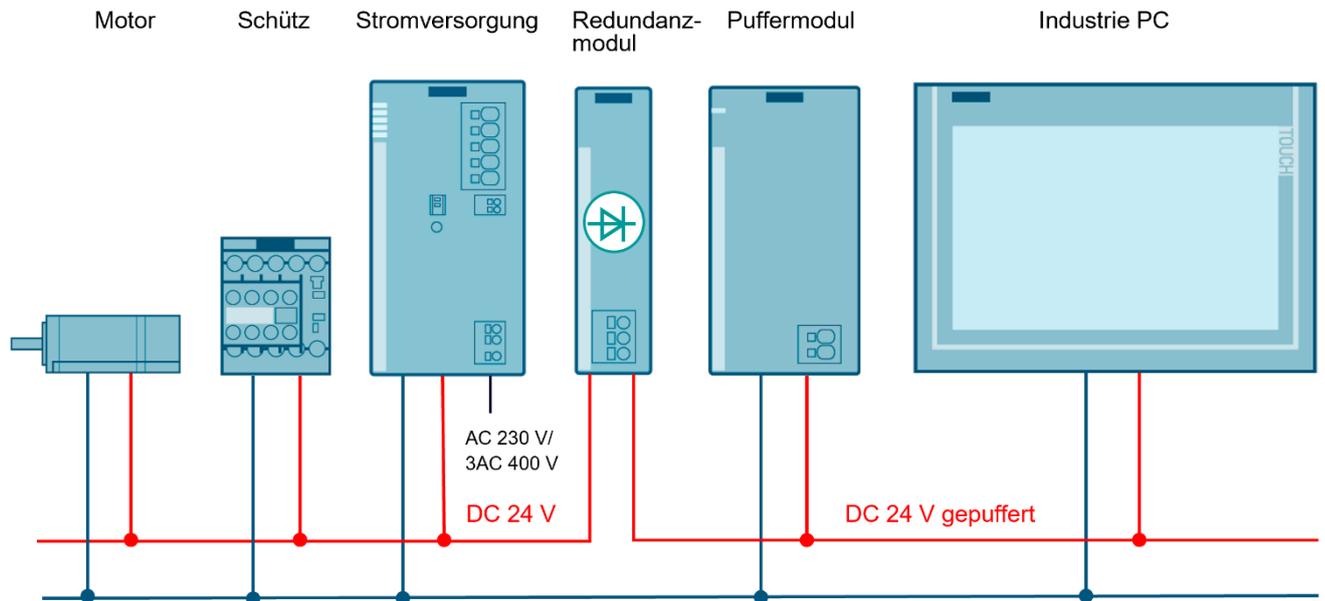


Abbildung 26: Das Redundanzmodul entkoppelt bei Netzausfall unkritische Verbraucher vom Puffermodul, damit die kritischen Verbraucher (hier ein Industrie PC) möglichst lange mit 24 V versorgt werden.

Warum arbeiten SITOP-Redundanzmodule mit Dioden?

Gelegentlich werden wir mit der Frage konfrontiert, warum wir in unseren SITOP Redundanzmodulen Dioden einsetzen und nicht z.B. MOSFETs (Metal Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor).

MOSFETs zeichnen sich durch geringe Verlustleistungen aus, wenn Typen gewählt werden, deren Spannungsfestigkeit relativ gering ist (z.B. 40 – 60 V). Es ist aber das Ziel eines Redundanzmoduls, möglichst robust zu sein und daher auch eine entsprechend hohe Spannungsfestigkeit aufzuweisen. - Andernfalls können eingekoppelte oder durch Schalthandlungen induzierte Störspannungen die Bauteile im Redundanzmodul beschädigen. Des Weiteren besteht die Gefahr, dass bei der fehlerhaften Verschaltung von 2 Stromversorgungen über Redundanzmodule eine der Dioden (oder MOSFETs) mit der doppelten Ausgangsspannung einer Stromversorgung belastet wird. Möchte man zwei 48-V-Geräte parallelschalten, vertauscht aber versehentlich an einer Stromversorgung Plus und Minus, so ist die Spannungsbelastung 96 V (Abbildung 27 rechts). Wenn die Bauteile im Redundanzmodul z.B. nur für 60 V Nennspannung ausgelegt sind, werden sie defekt. Noch gefährlicher wird es, wenn die Bauelemente durch Überlastung nicht sofort ausfallen, aber vorgeschädigt werden. Vorgeschädigte Bauteile fallen erfahrungsgemäß nach kurzer Einsatzzeit von Tagen bis Wochen aus. Im ungünstigsten Fall also erst im Betrieb und nicht während der Inbetriebnahme.

Um mit MOSFETs ein effizientes Redundanzmodul aufzubauen und gleichzeitig die Spannungsfestigkeiten von deutlich über 96 V zu erreichen ist sehr aufwändig, weswegen sich hier Dioden als gute Alternative anbieten.

Die SITOP Redundanzmodule besitzen hingegen eine hohe Spannungsfestigkeit und verkräften auch einen verpolten Anschluss. Die SITOP RED1200 haben z.B. eine Rückspannungsfestigkeit von 110 V.

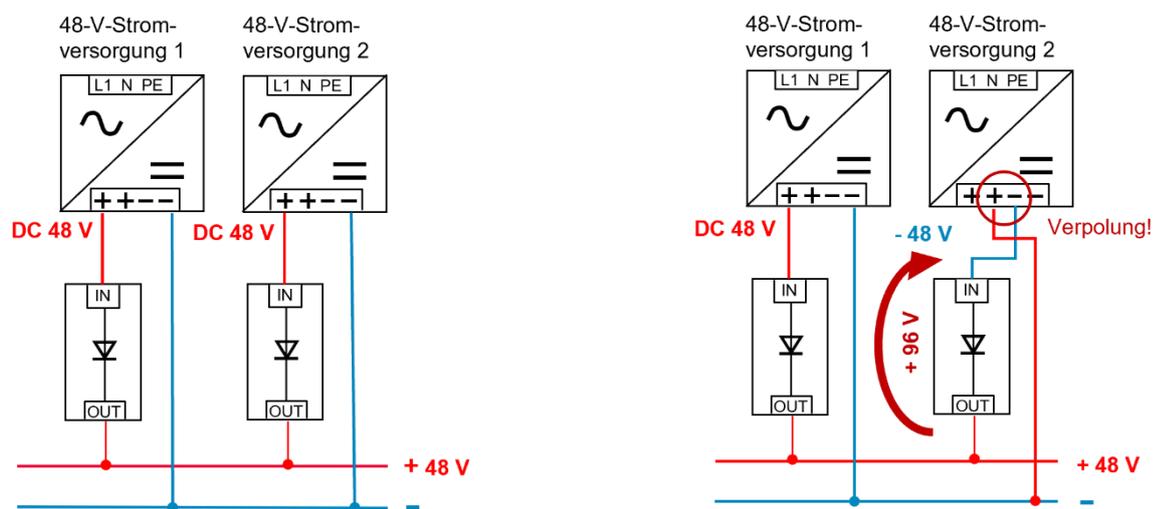


Abbildung 27

Links: Parallelschaltung von zwei 48-V-Stromversorgungen über Redundanzmodule mit korrekter Verdrahtung.

Rechts: Bei Verpolung an einem Stromversorgungsausgang wird aus der Parallelschaltung eine Art Reihenschaltung, die ein Redundanzmodul mit der doppelten Ausgangsspannung belastet. In diesem Fall mit 96 V. Redundanzmodule mit geringerer Spannungsfestigkeit können sofort oder auch erst später im Betrieb ausfallen.

Technische Daten der SITOP Redundanzmodule

| Technische Daten Redundanzmodule SITOP PSE202U |  |  |  |
|--|---|--|--|
| | 24 V/10 A | 24 V/40 A | 24 V/NEC Class2 |
| Bestell-Nr. | 6EP1964-2BA00 | 6EP1961-3BA21 | 6EP1962-2BA00 |
| Funktionskurzbeschreibung | Entkopplung von 2 Stromversorgungen bis 5 A oder einer Stromversorgung bis 10 A | Entkopplung von 2 Stromversorgungen 5 A bis 20 A oder einer Stromversorgung bis 40 A | Entkopplung und Begrenzung des Ausgangs auf class2-Limit (100 VA) von 2 Stromversorgungen 5 bis 40 A |
| Eingangsspannung -Nennwert | DC 24 V | DC 24 V | DC 24 V |
| – Bereich | DC 19...29 V | DC 24...28,8 V | DC 19...29 V |
| Ausgangsspannung | U _E - 0,5 V | U _E - 0,5 V | U _E - 0,5 V |
| Ausgangsstrom-Nennwert | 10 A (maximaler Summenstrom) | 40 A (maximaler Summenstrom) | 3,5 A (max. 8 A Summenstrom im Fehlerfall gemäß NEC Class2) |
| Rückspannungsfestigkeit | DC 52 V | DC 52 V | DC 52 V |
| Betriebsanzeige | LED (grün/ rot) für „Einspeisung 1 und 2 und Ausgang o.k.“ | | |
| Signalisierung | Potentialfreie Relaiskontakte (Wechsler) für "Einspeisung 1 und 2 und Ausgang o.k." | | |
| Kontaktbelastbarkeit | 6 A/ AC 42 V, DC 30 V | 8 A/ AC 240 V, DC 24 V | 6 A/ AC 42 V, DC 30 V |
| Einstellungen | Schaltschwelle für „Einspeisung 1 und 2 o.k.“ von 20 bis 25 V (+/- 0,5 V) einstellbar | | |
| Wirkungsgrad bei Nennwerten ca. | 97% | 97% | 95% |
| Schutzart (EN 60529) | IP20 | IP20 | IP20 |
| Umgebungstemperatur | -20...+70 °C | 0...+60 °C | -20...+70 °C |
| Maße (B x H x T) in mm | 30 x 80 x 100 | 70 x 125 x 125 | 30 x 80 x 100 |
| Gewicht ca. | 0,125 kg | 0,5 kg | 0,125 kg |
| Anschlüsse – +24 V und 0 V | 0,5 bis 2,5 mm ² | 0,33 bis 10 mm ² | 0,5 bis 2,5 mm ² |
| – Relaiskontakt | 0,5 bis 2,5 mm ² | 0,5 bis 2,5 mm ² | 0,5 bis 2,5 mm ² |
| Zertifizierungen | CE, cULus | CE, cULus, DNV GL, ABS | CE, cULus, NEC Class 2 |

| | | | |
|---|---|--|---|
| Technische Daten Redundanzmodule SITOP RED1200 |  |  |  |
| | 12 V, 24 V, 48 V DC/20 A | 12 V, 24 V, 48 V DC/40 A | 12 V, 24 V, 48 V DC/80 A |
| Artikel-Nr. | 6EP4346-7RB00-0AX0 | 6EP4347-7RB00-0AX0 | 6EP4348-7RB00-0AX0 |
| Artikel-Nr. Ex-Variante | | 6EP4347-7RC00-0AX0 | |
| Funktionskurzbeschreibung | Entkopplung von zwei Stromversorgungen 24 V bis 48 V mit Ausgangsströmen bis 20 A oder einer Stromversorgung bis 40 A je Redundanzmodul | | |
| Eingangsspannungs -Nennwert | DC 12 V, 24 V, 48 V | | |
| – Bereich | DC 10...56 V | | |
| Ausgangsspannung | U _E – ca. 0,6 V | | |
| Ausgangsstrom-Nennwert | 20 A (maximaler Summenstrom) | 40 A (maximaler Summenstrom) | 80 A (maximaler Summenstrom) |
| Rückspannungsfestigkeit | DC 110 V | DC 110 V | DC 110 V |
| Betriebsanzeige, Signalisierung | nein | nein | nein |
| Wirkungsgrad bei Nennwerten ca. | 97,5% | 97,5% | 97,5% |
| Schutzart (EN 60529) | IP20 | IP20 | IP20 |
| Umgebungstemperatur | -30...+70 °C | -30...+70 °C | -30...+70 °C |
| Maße (B x H x T) in mm | 35 x 135 x 125 | 45 x 135 x 125 | 45 x 135 x 155 |
| Gewicht ca. | 0,47 kg | 0,51 kg | 1,01 kg |
| Anschlüsse Ein- und Ausgang | Push-in-Klemmen 0,5 ... 6 mm ² | Push-in-Klemmen 0,5 ... 16 mm ² | |
| Zertifizierungen | CE, cULus, in Vorbereitung: DNV GL, ABS. Ex-Variante : ATEX, IECEx, UKEx | | |

Die Angaben in dieser Application Note entsprechen dem Stand vom November 2022.

Herausgeber

Siemens AG
Digital Industries
Gleiwitzer Str. 555
90475 Nürnberg
Deutschland

Support

Bitte richten Sie Fragen in Verbindung mit diesem Whitepaper an Ihre Ansprechperson bei Siemens in der für Sie zuständigen Vertretung/Vertriebsniederlassung.