



SIEMENS

Totally Integrated Power

# Technische Schriftenreihe 3

Modellierung von Anlagen zur unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV) in SIMARIS® design für die Anwendung in Rechenzentren

[siemens.de/tip-cs](https://www.siemens.de/tip-cs)



# Technische Schriftenreihe 3

## Modellierung von Anlagen zur unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV) in SIMARIS® design für die Anwendung in Rechenzentren

### 1. Grundlage

Die unterbrechungsfreie Stromversorgung der Server ist für Rechenzentren von elementarer Bedeutung, damit diese zuverlässig 24 Stunden täglich und auch 365 Tage im Jahr zur Verfügung stehen. Um dieses Ziel zu erreichen, ist eine sorgfältige Planung der Stromversorgung unerlässlich. Dazu gehört auch die Abstimmung der einzusetzenden Komponenten untereinander, wobei in diesem Prozess der Auswahl und Einbindung von USV-Anlagen in das Stromversorgungskonzept besondere Bedeutung zukommt.

In Anlehnung an die Norm IEC 62040-3 (DIN EN 62040-3; VDE 0558 Teil 530) können USV-Hersteller ihre Geräte gemäß der darin beschriebenen Klassifizierung kennzeichnen. Im Folgenden werden auszugsweise die Beurteilungskriterien dargestellt:



Bezeichnungsschema: AAA BB CCC

z. B.: VFI SS 111 (höchste Klassifizierung)

#### Bedeutung der Bezeichnungselemente:

##### AAA

Der Kennwert beschreibt die Abhängigkeit der USV-Ausgangsversorgung im Normalbetrieb bei Spannungs- und Frequenzänderung der Eingangswchselstromversorgung.

##### „VFD“ (Voltage and Frequency Dependent):

USV-Anlagen mit der Klassifikation VFD müssen die Last gegen Netzausfall schützen.

Der USV-Ausgang wird in diesem Fall von Änderungen der Eingangswchselspannung und der Frequenz beeinflusst und ist nicht geeignet zusätzliche Korrekturfunktionen zu übernehmen, die sich bspw. aus der Anwendung eines Stufentransformators ergeben.

##### „VI“ (Voltage Independent):

USV-Anlagen mit der Klassifikation VI müssen – ebenso wie USV-Anlagen mit VFD die Last gegen Netzausfall schützen, aber die Versorgung zusätzlich auch bei

- dauerhaft anliegender Unterspannung am Eingang
- dauerhaft anliegender Überspannung am Eingang

gewährleisten.

Der Ausgang einer USV mit Klassifikation VI ist von der Frequenz des Wechselspannungseingangs abhängig, und die Ausgangsspannung muss innerhalb der vorgeschriebenen Spannungsgrenzwerte bleiben.

##### „VFI“ (Voltage and Frequency Independent):

USV-Anlagen mit der Klassifikation VFI sind unabhängig von Schwankungen der (Netz-) Versorgungsspannung und -frequenz und müssen die Last gegen nachteilige Auswirkungen derartiger Schwankungen schützen, ohne dabei die Energiespeichereinrichtung zu entladen.

##### BB

Vom Kurvenverlauf der Spannung abhängige Kennwerte, wobei zwischen den folgenden Betriebsarten unterschieden wird:

- Normal- oder Umgebungsbetrieb (1. Zeichen)
- Energiespeicherbetrieb (2. Zeichen)

„S“: Der Kurvenverlauf der Spannung ist sinusförmig.

Bei linearer und bei nichtlinearer Referenzlast (die genaue Spezifikation ist in IEC 62040-3 zu finden) ist die Gesamt-Oberschwingungsverzerrung kleiner 8 %. Die Kurvenform wird als sinusförmig bezeichnet.

„X“: Nur bei linearer Last ist die Kurvenform sinusförmig. Bei nichtlinearer Referenzlast ist die Kurvenform nicht mehr sinusförmig, da die Gesamt-Oberschwingungsverzerrung den Grenzwert von 8 % übersteigt.

„Y“: Der Kurvenverlauf der Spannung ist weder bei linearer noch bei nichtlinearer Referenzlast sinusförmig. In beiden Fällen wird der Grenzwert von 8 % überschritten.

##### CCC

Kennwerte für das dynamische Verhalten der USV-Ausgangsspannung:

- 1. Ziffer: bei Änderung der Betriebsart
- 2. Ziffer: bei linearem Lastsprung im Normal- oder Batteriebetrieb (Angabe für den ungünstigsten Fall)
- 3. Ziffer: bei nichtlinearem Lastsprung im Normal- oder Batteriebetrieb (Angabe für den ungünstigsten Fall)

„1“: erforderliches Betriebsverhalten für empfindliche, kritische Lasten.

Die USV-Ausgangsspannung bleibt innerhalb der Grenzwerte von Kurve 1 (siehe IEC 62040-3) in diesem Abschnitt.

„2“: für die meisten kritischen Lasten zulässiges Betriebsverhalten.

Die USV-Ausgangsspannung bleibt innerhalb der Grenzwerte von Kurve 2 (siehe IEC 62040-3) in diesem Abschnitt.

„3“: für die meisten allgemeinen IT-Lasten zulässiges Betriebsverhalten, z. B. Schaltnetzteile.

Die USV-Ausgangsspannung bleibt innerhalb der Grenzwerte von Kurve 3 (siehe IEC 62040-3) in diesem Abschnitt.



Mit SIMARIS design lassen sich elektrische Netze auf Basis realer Produkte mit minimalem Eingabeaufwand dimensionieren – und zwar von der Mittelspannung bis zum Verbraucher (im Falle eines Rechenzentrums also bis zum Rack, in dem das IKT-Equipment (IKT: Informations- und Kommunikationstechnik) mit Strom versorgt wird). Sie reduzieren dadurch Ihren Aufwand für die Gesamtplanung der Energieverteilung und damit die Zeit für die Auswahl und Dimensionierung der Betriebsmittel enorm – bei hoher Planungssicherheit.

Bei der Einbindung von USV-Anlagen für die Planung der Energieverteilung erfolgt in SIMARIS design eine Aufteilung der Funktionalität sowohl

- als **Last** für die Auswahl der Komponenten der Einspeisung (Transformatoren, Generatoren, Kabel, Schienen, Schaltgeräte)
- wie auch als **Quelle**, um die Auswirkungen auf das nachfolgende Netz bezüglich der maximalen Kurzschlussströme im Fall der Speisung durch den Transformator sowie die minimalen Kurzschlussströme bei Wechselrichterbetrieb darzustellen.

Die funktionalen Elemente eines Stromverteilungssystems müssen, der Norm EN 50600-2-2 Abschnitt 6.3.2 entsprechend, gemäß den Forderungen nach Selektivität und Kurzschlussfestigkeit in allen entsprechenden Betriebsarten und während unterschiedlicher Betriebsphasen gewählt werden.

Für die Versorgung der angeschlossenen Lasten müssen die

- Versorgung über die USV
- Versorgung über eine Umgehung der USV (Bypass), betrachtet werden. Die Einspeisung erfolgt entweder über ein Versorgungsnetz (z. B. Primäreinspeisung bei VFI-Betrieb und Sekundärversorgung bei internem Bypassbetrieb der USV) oder über eine zusätzliche Versorgung (z. B. Generator).

Mit SIMARIS design können für das nachfolgende Netz außerdem die Einhaltung der elektrotechnischen Bedingungen gemäß Norm, wie zum Beispiel die Abschaltbedingung nach IEC 60364-4-41 (DIN VDE 0100 Teil 410) sowie die Selektivität, überprüft werden.

## 2. Einbindung von USV-Anlagen in Stromverteilungsnetze

In Stromverteilungsnetzen werden USV-Anlagen eingesetzt, um kritische Verbraucher, bei denen eine Versorgungsunterbrechung oder Störungen der Versorgungsqualität zu schwerwiegenden Folgen wie Datenverlust, Produktionsausfall oder Sicherheitsproblem führen können, abzusichern. Der Einsatzzweck bestimmt üblicherweise die Funktionsweise einer USV und die damit verbundene USV-Klassifizierung. Bei der Einbindung in das Stromverteilungsnetz ist die USV-Funktionsweise zu beachten, damit Fehlfunktionen und unerwünschte Effekte im Fehlerfall oder bei Betriebsänderungen vermieden werden.

Doppelwandler-USV-Anlagen (meistens USV-Klassifizierung VFI) bieten durch die Entkopplung der Lastversorgung vom USV-Eingang (siehe Abb. 1) die größte Sicherheit und werden für die folgenden Betrachtungen zugrunde gelegt.

Anhand eines konkreten Planungsbeispiels soll nachfolgend die Einbindung einer statischen USV-Anlage in ein Konzept für ein Stromversorgungsnetz gezeigt werden, einschließlich der Simulation der USV in SIMARIS design.

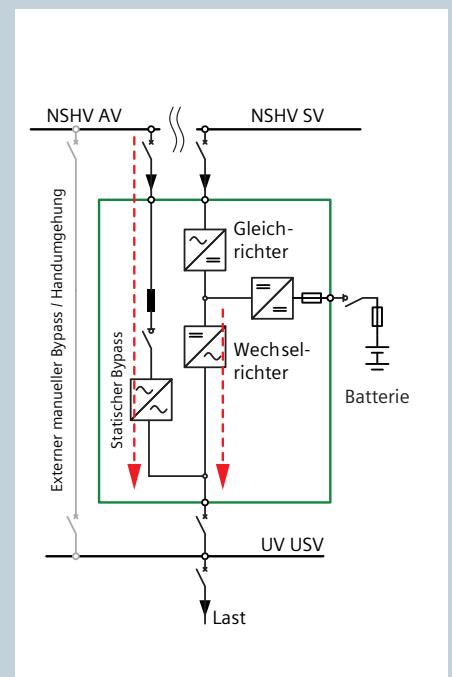
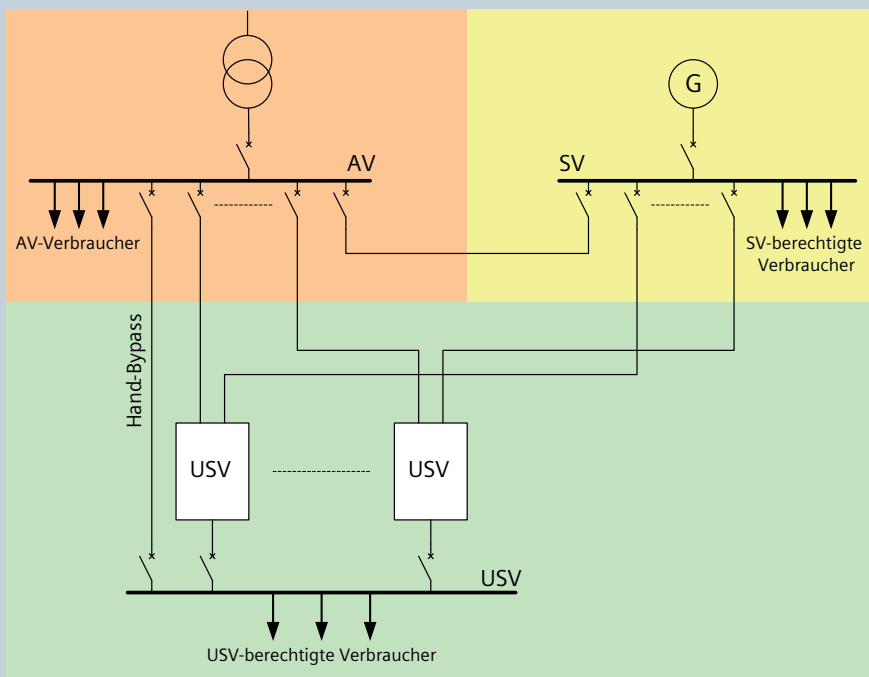
Ausgehend von der Annahme, dass der Eingang für den statischen Bypass von der AV-Schiene (Transformatoreinspeisung, Niederspannungshauptverteilung NSHV der allgemeinen Stromversorgung AV) und der Gleichrichterzugang von der SV-Schiene (Generator, HV der Sicherheitsstromversorgung SV) versorgt wird, ergeben sich aus Sicht der Ausgangsseite der USV (Unterverteilung UV USV) Verhältnisse wie vereinfacht in Abb. 2 dargestellt.

Der statische Bypass wird von der HV AV (Transformator) gespeist. Hierdurch werden die hohen Kurzschlussströme bei der Trafoversorgung berücksichtigt.

Im Doppelwandlerbetrieb ist die USV-Gleichrichterversorgung über die NSHV SV (Generator) entkoppelt vom Wechselrichterzugang, wodurch die Fehlerströme am USV-Ausgang im Wechselrichterbetrieb ausschließlich durch den Wechselrichter bestimmt werden und gemäß Herstellerangaben zu berücksichtigen sind.

Abb. 1: Einbindung von USV-Anlagen mit Gleichstromzwischenkreis (double conversion; en: Doppelwandler)

Abb. 2: Speisung eines ausgangsseitigen Kurzschlusses durch den Transformator über den Bypass oder/und durch den Wechselrichter



### 3. Simulation von USV-Anlagen in SIMARIS design

SIMARIS design bietet verschiedene Möglichkeiten zur Simulation von USV-Anlagen, von denen hier nur die detaillierte Simulation gemäß Abb. 3 dargestellt wird. Dabei ist zu beachten, dass die Simulation der USV-Funktionsmodi durch SIMARIS-design-Elemente und durch die Einstellung verschiedener Betriebsarten gemeinsam erfolgt.

In Abb. 3 werden die für die Funktion der USV wesentlichen Bestandteile durch farbige Kästen gekennzeichnet. Der rote Kasten markiert symbolisch die USV-Anlage:

Gelb: **Interner, statischer USV-Bypass** an einem Abgangsschalter von der NSHV AV zum USV-Ausgang

Grün: **Wechselrichter** als Energiequelle, die an den USV-Ausgang angeschlossen ist

Dunkelrot: **Gleichrichter** als Last zur Wechselrichterversorgung und Batterieladung an der Eingangsverteilung von der Generatorschiene aus

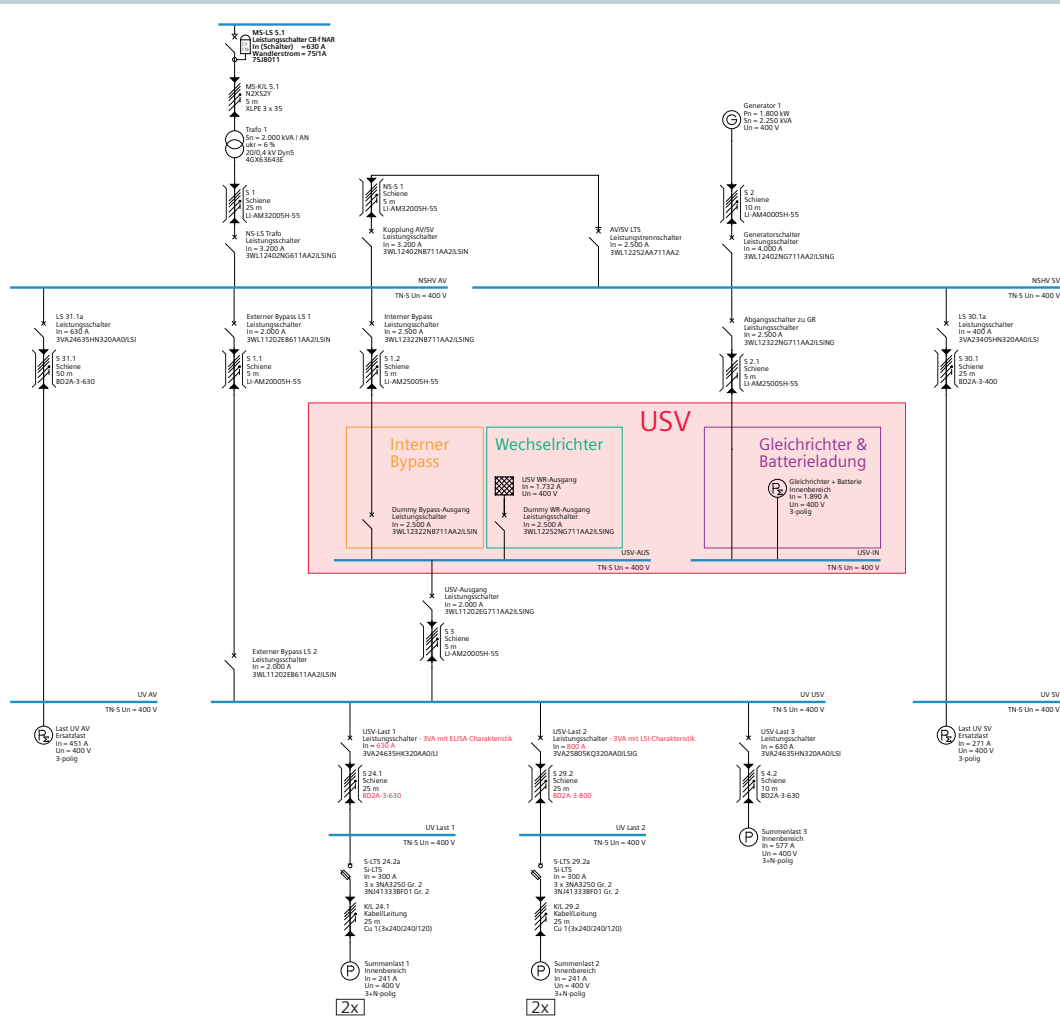
Anmerkung: Bei den Anforderungen für den Gleichrichter müssen neben der Batterieladung auch die USV-Verluste im Betrieb berücksichtigt werden.

In Abb. 3 sind zudem die drei Typen der Energieversorgung über entsprechende Unterverteilungen dargestellt:

- Allgemeine Stromversorgung AV (Unterverteilung UV AV)
- Sicherheitsstromversorgung SV (Unterverteilung UV SV)
- Unterbrechungsfreie Stromversorgung (Unterverteilung UV USV)

Zusätzlich wird in Abb. 3 an der USV-Unterverteilung ein Vergleich zwischen einem Kompaktleistungsschalter 3VA mit der ELISA-Auslöseeinheit und einem 3VA-Schalter mit einer LSI-Auslöseeinheit gezeigt. Die Vorteile durch Anpassung der ELISA-Auslösecharakteristik an die einer Sicherung werden angedeutet. Das Beispiel finden Sie ebenfalls in der angefügten SIMARIS-design-Datei. Näheres dazu können Sie über Ihren TIP-Ansprechpartner bei Siemens erfahren.

Abb. 3: Detaillierte Simulation von USV-Anlagen in SIMARIS design

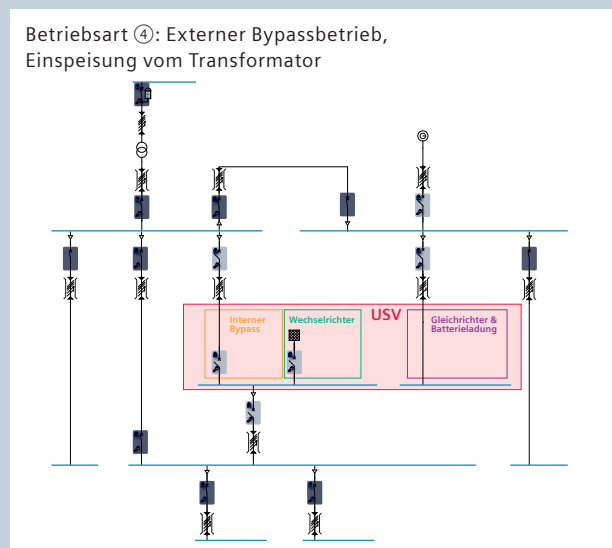
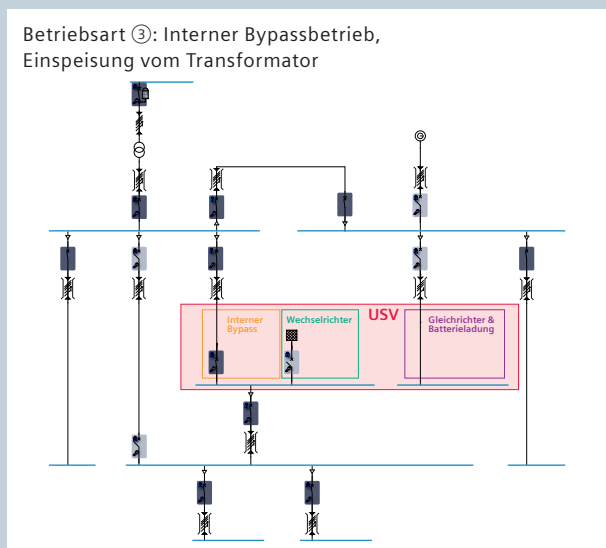
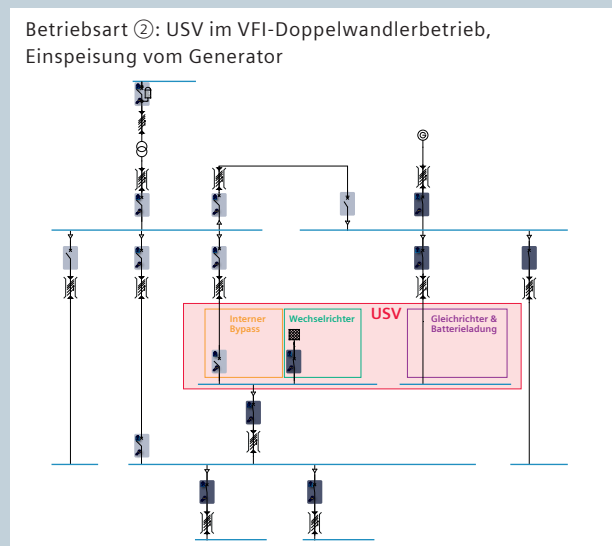
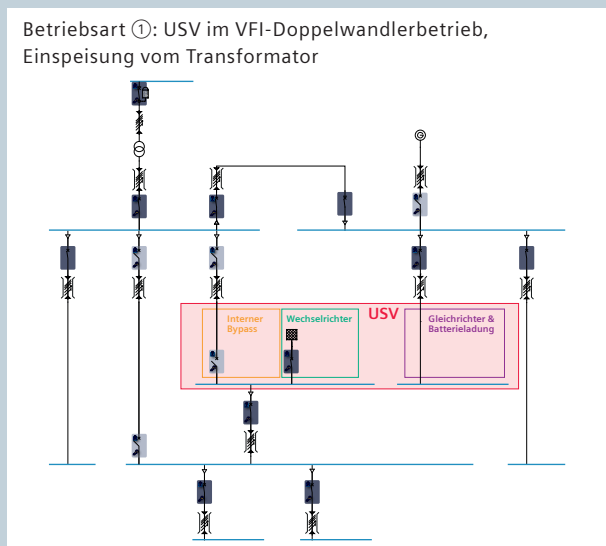


Für die unterschiedlichen Funktionsweisen der USV können in SIMARIS design einzelne Betriebsarten (Abb. 4) definiert und durchgerechnet werden:

- Normaler USV-Betrieb VFI ①:  
Doppelwandlerbetrieb der USV über Gleichrichter und Wechselrichter gespeist vom Transformator
- USV-Betrieb VFI über Generator ②:  
Doppelwandlerbetrieb der USV über Gleichrichter und Wechselrichter gespeist vom Generator

- Interner Bypassbetrieb der USV ③:  
Gleich- und Wechselrichter der USV werden umgangen; die USV-Unterverteilung UV USV wird über den Transformator versorgt
- Externer Bypassbetrieb für USV-Servicezwecke ④:  
Die USV wird freigeschaltet und alle Lasten werden über den Transformator versorgt.

Abb. 4: Funktionale USV-Simulation über die Betriebsartenfestlegung in SIMARIS design



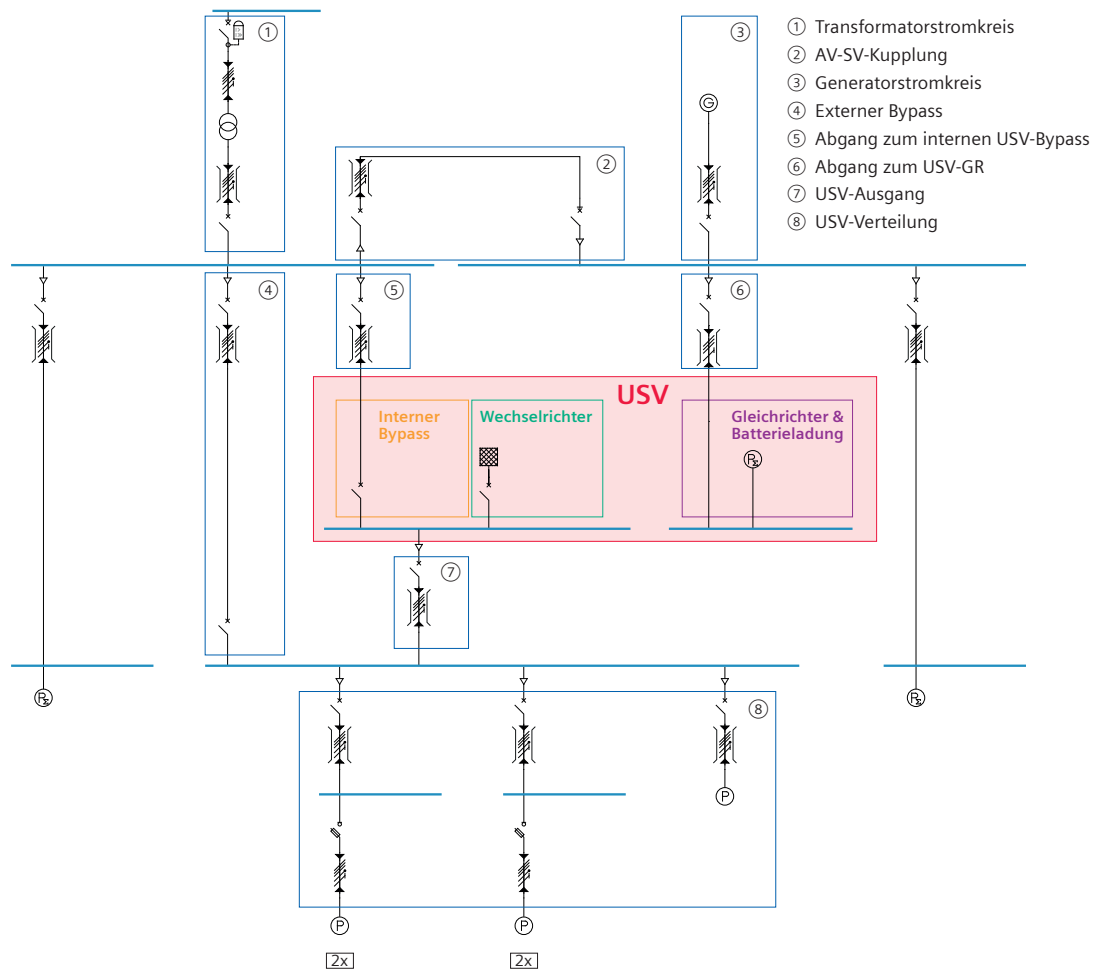
Um die Zusammenhänge zwischen den USV-Betriebsarten und den Rechnungen mit SIMARIS design zu verdeutlichen, werden in den Tabellen Tab. 1 und Tab. 2 die unterschiedlichen Betriebsarten aufgeschlüsselt:

- In Tab. 1 werden die zur Dimensionierung in der jeweiligen Betriebsart relevanten Stromkreise aufgezeigt (Veranschaulichung in Abb. 5)
- In Tab. 2 werden die Strompfade zur Bestimmung der Selektivität und der Abschaltbedingungen aufgezeigt und den jeweiligen Betriebsarten zugeordnet (Veranschaulichung in Abb. 6).

Tab. 1: Beachtung der Betriebsartenfestlegung bei der Dimensionierung mit SIMARIS design

		Stromkreis (siehe Abb. 5)							
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
Betriebsart	USV VFI-Betrieb über Transformator	x	x				x	x	x
	USV VFI-Betrieb über Generator			x			x	x	x
	Interner Bypassbetrieb	x	x			x		x	x
	Externer Bypassbetrieb	x	x		x				x

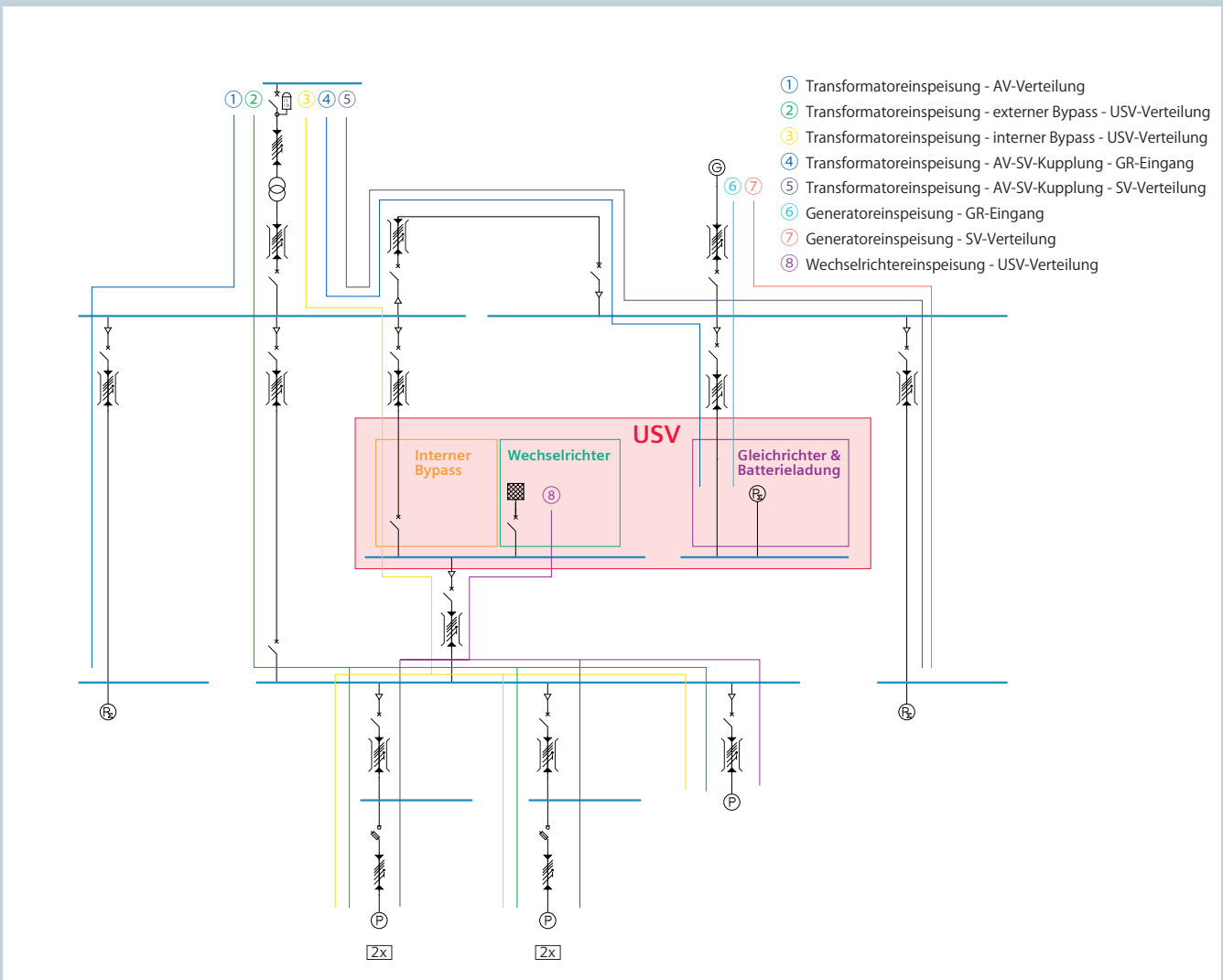
Abb. 5: Veranschaulichung der Stromkreise für die Dimensionierung bei der USV-Simulation



Tab. 2: Beachtung der Betriebsartenfestlegung für Betrachtungen der Selektivität und der Abschaltbedingungen mit SIMARIS design

Selektivität und Abschaltbedingungen (x kennzeichnet Strompfade, die beachtet werden sollen)		USV VFI-Betrieb über Transformator	USV VFI-Betrieb über Generator	Interner Bypassbetrieb	Externer Bypassbetrieb
Strompfade (siehe Abb. 6)	①	x		x	x
	②				x
	③			x	
	④	x			
	⑤	x		x	x
	⑥		x		
	⑦		x		
	⑧	x	x		

Abb. 6: Veranschaulichung der Strompfade für Betrachtungen zu Selektivität und Abschaltbedingungen bei der USV-Simulation





## 4. Technische USV-Daten für die Simulation in SIMARIS design

Für das hier dargestellte Beispiel wurden Herstellerangaben einer konkreten USV mit 1.200 kVA Scheinleistung als Basisdaten herangezogen (siehe Tab. 3).

Tab. 3: Technische Daten für die Beispiel-USV<sup>1)</sup> (verwendet in der angehängten SIMARIS-design-Datei)

Nennwert der Scheinleistung in kVA	1.200
Nennwirkleistung in kW	1.200
Nennspannung in V	400 (380/415 wählbar, 3Ph + N)
Nennfrequenz in Hz	50 (60 wählbar)
Nennausgangsstrom in A	1.731
Maximaler Eingangsstrom in A	1.890
Maximaler Kurzschlussstrom (Kurzschlussfestigkeit der USV) in A	3.877
Minimaler Kurzschlussstrom (Überlastfähigkeit der USV <sup>2)</sup> ) in A	2.597

1) Die USV-Angaben entsprechen einer Liebert® Trinergy™ Cube von Vertiv™ mit 1.200 kVA Scheinleistung  
2) Angabe von Vertiv™: 150 % Überlast bei Nennausgangsspannung für 1 min

## 5. Kritische Punkte bei der Einbindung von USV-Anlagen in Stromversorgungsnetzen

Unabhängig von der Simulation einer USV in SIMARIS design sind bei der Einbindung von USV-Anlagen in Stromversorgungsnetze folgende Punkte besonders zu beachten:

- Fehler auf der UV USV sind kritisch und präventiv zu vermeiden - durch Einsatz hochwertiger Komponenten (Schienensysteme einschließlich geprüfter Anbindung, SIVACON S8 in fußpunktfreier Ausführung, ...)
- Fehler an der UV USV können beim Wechselrichterbetrieb hinsichtlich der Abschaltung gemäß IEC 60364-4-41 (DIN VDE 0100 Teil 410) problematisch werden, falls die Fehlerströme nahezu der Größe der Nennströme entsprechen. Beim 1-poligen Fehler gegen Erde können hochwertige Leistungsschalter mit G-Auslöser (z. B. Siemens 3WL Schalter mit ETU45B, ETU76B und 3VA-Schalter mit ETU550/560, ETU 850/860) Abhilfe schaffen
- Bei Abschaltung gemäß IEC 60364-4-43 (DIN VDE 0100 Teil 430) und um Selektivität zu realisieren wird aufgrund des USV-Kurzschlussverhaltens empfohlen, die Bemessungsströme der Schaltgeräte in den Abgängen der UV USV auf 30 % des USV-Bemessungsausgangsstroms zu begrenzen
- Für USV-Anlagen im unteren Leistungsbereich (< 100 kVA) können beim 1-poligen Fehler gegen Erde RCD-Schalter eingesetzt werden. Bei einer ungünstigen Auslegung der U
- V USV kann eine optimierte Berechnung der minimalen Kurzschlussströme unter Berücksichtigung des USV-Regelverhaltens Vorteile bei der Auslegung bringen
- Im Kurzschlussfall am USV-Ausgang ist die zulässige Belastung des statischen Bypasses mit den Angaben des USV-Herstellers zu vergleichen
- Wird zum Schutz des statischen Bypasses vom USV-Hersteller eine Halbleitersicherung verwendet, muss diese bei Selektivitätsbetrachtungen beachtet werden
- Bei der Einbindung der USV-Anlagen in ein TN-S System ist unter anderem der zentrale Erdungspunkt und die Polzahl der Schaltgeräte (3- oder 4-polig) festzulegen
- Bei parallelgeschalteten USV-Anlagen kann eine Fehlerbetrachtung im nachfolgenden Verteilungsnetz einen möglichen Schutzbedarf, der zusätzlich nötig ist, aufzeigen.

## 6. Beispieldatei für SIMARIS design

Im Dokumentenanhang finden Sie das SIMARIS design-Musternetz (.sdx) mit einer statischen USV-Anlage zur Einbindung in eigene Projekte. Die Datei wurde mit SIMARIS design 10 erstellt.

Weitere Informationen sowie die SIMARIS Suite, über die Sie auf die Planungstools wie SIMARIS design zugreifen können, finden Sie unter [siemens.de/simaris](http://siemens.de/simaris).

# Impressum

Herausgeber: Siemens AG

Smart Infrastructure  
Distribution Systems  
Mozartstr. 31 c  
91052 Erlangen, Deutschland

E-Mail: [consultant-support.tip@siemens.com](mailto:consultant-support.tip@siemens.com)

Änderungen vorbehalten • 10/20

© Siemens 2020 • Alle Rechte vorbehalten

Änderungen und Irrtümer vorbehalten. Die Informationen in diesem Dokument enthalten lediglich allgemeine Beschreibungen bzw. Leistungsmerkmale, welche im konkreten Anwendungsfall nicht immer in der beschriebenen Form zutreffen bzw. welche sich durch Weiterentwicklung der Produkte ändern können. Die gewünschten Leistungsmerkmale sind nur dann verbindlich, wenn sie bei Vertragsschluss ausdrücklich vereinbart werden.

SIMARIS® ist eine eingetragene Marke der Siemens AG. Jede nicht autorisierte Verwendung ist unzulässig. Alle anderen Bezeichnungen in diesem Dokument können Marken sein, deren Verwendung durch Dritte für ihre eigenen Zwecke die Rechte des Eigentümers verletzen kann.