
DIPLOMARBEIT

Herr
Christopher Ernst

**Unterbrechungsfreie
Stromversorgungen**

Mittweida, 2023

Fakultät Ingenieurwissenschaften

DIPLOMARBEIT

Unterbrechungsfreie Stromversorgungen

Autor:

Herr Christopher Ernst

Studiengang:

Gebäudetechnik

Seminargruppe:

KM20sGHA

Erstprüfer:

Prof. Dr. - Ing. Ralf Hartig

Zweitprüfer:

M.Sc. Toni Geiger

Einreichung:

Untermarkersdorf, 08.11.2023

Verteidigung/Bewertung:

Mittweida, 2023

Faculty of engineering

DIPLOMA THESIS

Uninterruptible power supplies

author:

Mr. Christopher Ernst

course of studies:

building technology

seminar group:

KM20sGHA

first examiner:

Prof. Dr. - Ing. Ralf Hartig

second examiner:

M.Sc. Toni Geiger

submission:

Untermarkersdorf, 08.11.2023

defence/ evaluation:

Mittweida, 2023

Bibliografische Beschreibung

Ernst, Christopher:

Unterbrechungsfreie Stromversorgungen

2023 – 69 Seiten

Mittweida, Hochschule Mittweida (FH), University of Applied Sciences

Fakultät Ingenieurwissenschaften, DIPLOMARBEIT, 2023

Abstract

Gegenüberstellung verschiedener Techniken für die Überbrückung eines Netzausfalles im Versorgungsnetz.

Einteilung und Erläuterung der wichtigsten Kenngrößen der einzelnen Systemkomponenten.

Inhaltsverzeichnis

Bibliografische Beschreibung	I
Inhaltsverzeichnis	II
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VI
1 Einleitung	1
2 Das Versorgungsnetz	3
2.1 Hochverfügbarkeit.....	3
2.2 Netzausfälle.....	5
2.3 Instrumente der sicheren Stromversorgung.....	7
2.3.1 Europäisches Stromsystem.....	7
2.3.2 Gesamthafte Systemplanung.....	7
2.3.3 Netzaus- und -umbau.....	7
2.3.4 Rasche Umsetzung von Schlüsselprojekten.....	8
2.3.5 Netzreserve.....	8
2.3.6 Common Grid Model (CGM).....	8
2.3.7 Stromspeicherung.....	8
3 Unterbrechungsfreie Stromversorgungen	9
3.1 Dynamische USV-Anlagen.....	9
3.2 Statische USV-Anlagen.....	12
3.2.1 Gleichrichter.....	12
3.2.2 Energiespeichereinrichtung.....	14
3.2.3 Wechselrichter.....	14
3.2.4 Elektrische Umschaltteinrichtung.....	14
3.2.5 Handumgehung.....	15
3.3 Betriebsarten.....	16
3.3.1 Normalbetrieb.....	16
3.3.2 Energiespeicherbetrieb.....	17
3.3.3 Umgehungsbetrieb.....	18
3.3.4 Handumgehung.....	19
3.4 Klassifizierung.....	20
3.4.1 Stufe 1.....	21
3.4.1.1 Klasse 1 "VFI".....	22

3.4.1.2	Klasse 2 "VI"	24
3.4.1.3	Klasse 3 "VFD"	25
3.4.2	Stufe 2	27
3.4.2.1	Klasse 1 "S"	27
3.4.2.2	Klasse 2 "X"	27
3.4.2.3	Klasse 2 "Y"	27
3.4.3	Stufe 3	28
3.4.4	Abhängigkeit der einzelnen Stufen	28
3.5	Bewertungsgrößen	29
3.5.1	Normalbedingungen	29
3.5.2	Außergewöhnliche Bedingungen	31
3.5.3	Kenndaten USV-Eingang	32
3.5.3.1	Voraussetzungen für Normalbetrieb	32
3.5.3.2	Herstellerangaben	33
3.5.3.3	Kundenangaben	34
3.5.4	Kenndaten USV-Ausgang	35
3.5.4.1	Voraussetzungen für das Versorgen einer Last	35
3.5.4.2	Herstellerangaben	35
3.5.4.3	Kundenangaben	37
3.5.5	Zusätzliche mögliche Kenndaten	37
4	Energiespeichereinrichtung	41
4.1	Herstellerangaben	42
4.2	Kundenangaben	48
4.3	Anforderungen an den Standort	48
5	Sonderanwendungen für unterbrechungsfreie Stromversorgungen	51
5.1	Medizinisch genutzte Bereiche	51
5.2	Bahnstromversorgung	53
	Literaturverzeichnis	VII
	Eigenständigkeitserklärung	IX

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ungeplante Versorgungsunterbrechungen 2021 in Österreich	6
Abbildung 2: Dynamische USV-Anlage	10
Abbildung 3: Statische USV-Anlage	12
Abbildung 4: Einlinienübersichtsschaltbild statische USV-Anlage.....	15
Abbildung 5: Betriebsart Normalbetrieb Stufe 1 Klasse 1	16
Abbildung 6: Betriebsart Energiespeicherbetrieb.....	17
Abbildung 7: Betriebsart Umgehungsbetrieb	18
Abbildung 8: Betriebsart Handumgehung.....	19
Abbildung 9: Schaubild einer VFI USV-Anlage.....	22
Abbildung 10: Schaubild einer VI USV-Anlage	24
Abbildung 11: Schaubild einer VFD USV-Anlage	25
Abbildung 12: Wartungsarme, geschlossene Bleibatterie.....	43
Abbildung 13: Wartungsfreie, verschlossene Bleibatterie	44
Abbildung 14: Batterie Lebensdauer in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur	45
Abbildung 15: I-U-Ladekennlinie für geschlossene Blei-Säure-Batterie.....	47
Abbildung 16: Betriebsart Bahnnetzbetrieb	53

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Hochverfügbarkeit	3
Tabelle 2: Hochverfügbarkeitsklassen.....	4
Tabelle 3: Gegenüberstellung Gleichrichtertechnologie	13
Tabelle 4: Netzstörungen nach DIN EN IEC 62040-3.....	21
Tabelle 5: Lastminderungsfaktoren bei unterschiedlichen Aufstellungshöhen	30
Tabelle 6: Schutzart	39
Tabelle 7: Ladespannungen Bleibatterien	48

Abkürzungsverzeichnis

AC.....	alternating current
AEC	Availability Environment Classification
CC-Ladeverfahren.....	constant current Ladeverfahren
CGM	Common Grid Model
CV-Ladeverfahren.....	constant voltage Ladeverfahren
DC	direct current
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
ENTSO-E	European Network of Transmission System Operators for Electricity
EUE	elektische Umschaltseinrichtung
EVU	Energieversorgungsunternehmen
HRG.....	Harvard Research Group
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor, Insulated Gate Bipolar Transistor
IP	International Protection, International Protection
IT	Information Technology
MDT	Mean down time
MTBF	Mean time between failure
MTTR.....	Mean time to repair
NUE	Netzumschaltseinrichtung
RAL.....	Reichsausschuss für Lieferbedingungen
THD	Total Harmonic Distortion, Total Harmonic Distortion
TYNDP.....	Ten Years Network Development Plan
USV-Anlagen	Unterbrechungsfreie Stromversorgungsanlagen
VFD	Voltage and Frequency Dependent from main supply
VFI	Voltage and Frequency Independent from mains supply
VI	Voltage Independent from main supply
ZSV-Anlagen.....	Zusätzliche Stromverorgungsanlage

1 Einleitung

Für viele Bereiche sind unterbrechungsfreie Stromversorgungsanlagen (USV-Anlagen) unverzichtbar.

Die Sicherheit von elektronischen Geräten und Daten, sowie die Kontinuität von Betriebsabläufen muss gewährleistet werden.

Unausweichlich werden USV-Anlagen in den folgenden Hauptanwendungsgebieten:

- **Rechenzentren und Serverräume:**
USV-Anlagen schützen Server, Datenspeicher und Netzwerkausrüstung. Das Augenmerk liegt hierbei auf ein ordnungsgemäße herunterfahren.
- **Medizinisch genutzte Einrichtungen:**
Im Falle eines Stromausfalles müssen lebenswichtige medizinisch genutzte Geräte und Patientenakten im Falle eines Netzausfalles genutzt werden können.
- **Industrie:**
Produktionsprozesse müssen aufrechterhalten, sowie Maschinen von Netzschwankungen geschützt werden und Notabschaltungen gefährlicher Umgebungen müssen auch bei Netzausfall funktionieren.
- **Büroumgebung:**
Um Datenverluste zu vermeiden werden USV-Anlagen mit geringer Leistung für Computer, Telefone oder ähnliche Geräte in Büros berücksichtigt.
- **Telekommunikation:**
Eine kontinuierliche Erreichbarkeit von Schaltzentralen, Mobilfunkmasten und weiteren Telekommunikationsausrüstung muss sichergestellt werden.
- **Handel:**
Um eine Transaktion auch während eines Netzausfalles nicht zu beeinflussen, werden USV-Anlagen bei Kassensystemen und Zahlungsterminals eingesetzt.

Die Integrität von USV-Anlagen in die angeführten Anwendungsbereiche verdeutlicht, wie vielseitig diese einsetzbar sind.

Für den einzelnen Konsumenten im Haushalt finden diese eher weniger Anwendung, da sich die Anschaffungskosten meist nicht mit der Notwendigkeit decken. Beispielsweise ist der Betrieb eines Telefonsendemasten wichtiger, als die Funktionalität des hauseigenen Kühlschranks im Falle eines Ausfalles des Versorgungsnetzes.

Berücksichtigung für die beispielhaft angeführten Anwendungsbereiche finden USV-Anlagen unter anderem aus folgenden Gründen:

- **Schutz vor Stromausfällen:**
Unter Berücksichtigung einer USV-Anlage werden Betriebsunterbrechungen und Datenverluste aufgrund einer zuverlässigen Stromversorgung im Falle eines Netzausfalles gewährleistet.
- **Datenintegrität:**
Wie bereits oben angeführt ist es beispielsweise in medizinischen Bereichen oder in Rechenzentren ein Datenverlust besonders inakzeptabel. Unerwartete Unterbrechungen werden mit Hilfe von USV-Anlagen verhindert und ermöglichen ein gesichertes Abschalten der Systeme.
- **Schutz vor Spannungsschwankungen:**
Angeschlossene Geräte werden durch Schäden, bedingt durch Spannungsspitzen und Spannungsschwankungen, geschützt.
- **Schutz vor Stromqualitätsproblemen:**
Der Stromfluss wird geglättet, Störungen werden gefiltert und eine stabile Stromversorgung gewährleistet.
- **Arbeitssicherheit:**
Besonders in der Industrie müssen Sicherheitsvorrichtungen und weitere wichtige Systeme auch im Falle eines Netzausfalles weiterhin versorgt werden.

Aus einer Statistik der E-Control geht hervor, dass es im Jahre 2021 in Österreich 15.367 Versorgungsunterbrechungen gab, welche länger als 1 Sekunde andauerten. Hierbei muss jedoch zwischen einvernehmlich geplanten und ungeplanten Versorgungsunterbrechungen unterschieden werden. Die Aufteilung zwischen geplanten und ungeplanten Versorgungsunterbrechungen liegt bei etwa 50:50.¹

¹ Wiedergegeben nach Ausfall- und Störungsstatistik Strom für Österreich 2022, Ergebnisse für das Jahr 2021

Um Systemausfälle, welche zu längeren Stillstandzeiten und Datenverlusten führen können, zu verhindern, muss die USV-Anlage, gemäß DIN EN IEC 62040-3:2022-10 im Millisekunden-Bereich von Netz- auf die Energie aus der Energiespeichereinrichtung umschalten.

2 Das Versorgungsnetz

2.1 Hochverfügbarkeit

Die österreichische Stromversorgung liegt mit einer Verfügbarkeit von über 99,99 % im weltweiten Spitzenfeld.² Diese Hochverfügbarkeit wurde von der Harvard Research Group (HRG) definiert. Gemäß der nachstehenden Tabelle fällt die österreichische Stromverfügbarkeit in die HRG-Klasse AEC-3:

Klasse	Bezeichnung	Erklärung
AEC-0	Conventional	Funktion kann unterbrochen werden, Datenintegrität ist nicht essenziell
AEC-1	Highly Reliable	Funktion kann unterbrochen werden, Datenintegrität muss jedoch gewährleistet sein
AEC-2	High Availability	Funktion darf nur innerhalb festgelegter Zeiten, oder zur Hauptbetriebszeit minimal unterbrochen werden
AEC-3	Fault Resilient	Funktion muss innerhalb festgelegter Zeiten, oder während der Hauptbetriebszeiten ununterbrochen aufrechterhalten werden
AEC-4	Fault Toleranz	Funktion muss ununterbrochen aufrechterhalten werden; 24/7-Betrieb (24 Stunden, 7 Tage die Woche) muss gewährleistet sein
AEC-5	Disaster Tolerant	Funktion muss unter allen Umständen verfügbar sein

Tabelle 1: Hochverfügbarkeit

² APG-Sichere Stromversorgung und Blackout-Prävention

Die oben genannten Availability Environment Classification (AEC)- Klassen werden wie folgt definiert:

Verfügbarkeitsklasse	Verfügbarkeit	Maximale Ausfallzeit pro Jahr
AEC-1	99 %	3 d, 15 h, 39 min, 36 s
AEC-2	99,9 %	8 h, 45 min, 58 s
AEC-3	99,99 %	52 min, 36 s
AEC-4	99,999 %	5 min, 16 s
AEC-5	99,9999 %	31,6 s

Tabelle 2: Hochverfügbarkeitsklassen

Als Leitfaden für das Erreichen einer Hochverfügbarkeit sollten folgende Punkte eingehalten werden:

- Berücksichtigung einer Redundanz für wesentliche Bauteile. Tritt ein Fehler einer einzelnen Komponente auf, folgt kein Zusammenbruch des Gesamtsystems.
- Eine frühzeitige Fehlererkennung ist essenziell. Das System muss überwacht und gewartet werden. Das System kann von außen überwacht werden oder sich selbst überwachen. Im Fehlerfall wird auf das redundante System umgeschaltet.

Die wesentlichen Bestandteile dieser Sicherheit in Österreich sind die guten Abstimmungsprozesse innerhalb der Netzbetreiber sowohl auf nationaler, als auch auf internationaler Ebene. Ein weiterer Bestandteil ist der gute Kraftwerksmix innerhalb des Landes. Diese Hochverfügbarkeit ist die Basis einer digitalen, modernen und nachhaltigen Gesellschaft. Um dieses hohe Niveau an Versorgungssicherheit halten und verbessern zu können, ist ein weiterer Ausbau von Speichern, Kraftwerken, nachhaltigen Produkten, Ausbau der Kapazitäten und die Integration neuer Akteure von Energiesystemen mit Hilfe von digitalen Plattformtechnologien notwendig. Grundsätzlich sollte ein System lediglich so viele Komponenten aufweisen, wie es zum Funktionieren benötigt wird. Zusätzliche Komponenten sind als zusätzliche Fehlerquellen zu betrachten. Fehlerquellen werden meist durch menschliches Handeln verursacht. Aus diesem Grund sollten die menschlichen Eingriffe auf ein Minimum reduziert werden.

2.2 Netzausfälle

Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass die Wahrscheinlichkeit eines Netzausfalles in Europa steigt. Eine steigende Auslastung, sowie die fortschreitende Digitalisierung haben zur Folge, dass die Netzstruktur immer komplexer wird und die Störanfälligkeit steigt. Diesem Risiko kann entgegengewirkt werden, indem unvorhersehbare Krisensituationen sowohl theoretisch, als auch praktisch behandelt werden, damit ein singuläres Ereignis keine Blackout-Gefahr verursacht.

Wesentliche Betriebsmittel werden von der Betriebsführung immer so gewählt, dass eine gewisse Redundanz ($n+1$) vorhanden ist. Ein großflächiges Blackout ist daher nur möglich, wenn sich unverwertbare oder unvorhersehbare Ereignisse in einem engen zeitlichen und technischen Zusammenhang einstellen.

Zur Berechnung eines flächendeckenden Stromausfalles hat das Eigeninstitut der Johannes Kepler Universität Linz einen Blackout-Simulator entwickelt, um die möglichen Kosten zu eruieren. Pro Tag würden im Falle eines Blackouts für die Volkswirtschaft Österreich Kosten in Höhe von 1,2 Milliarden Euro entstehen.³

Grundsätzlich können Ursachen für Schwankungen im Energiversorgungsunternehmernetz (E-VU-Netz) der atmosphärischen Umwelt und den industriellen Umgebungsbedingungen zugeteilt werden. Als atmosphärische Einwirkungen gelten Gewitter, Stürme, Schnee, Eis, gefrierender Regen, Feuchtigkeit, Kälte, Hitze, Lawinen, Erdbeben, Felssturz und weitere naturbedingte Ursachen. Der Zusammenhang aller Störungen ist auf die Verteilung und den Transport der elektrischen Energie zurückzuführen.

Zu den industriellen Umgebungsbedingungen zählen Fremdeinwirkungen, durch den Netzbetreiber verursachte Störungen, Versorgungsausfälle und Rückwirkungsstörungen und regional außergewöhnliche Ereignisse. Versorgungsunterbrechungen, welche durch Fremdeinwirkung stattfinden, werden beispielsweise durch Dritte verursacht und sind nicht dem Netzbetreiber zuzurechnen. Hierzu zählen Tiere, Baumfällungen, Erd- oder Baggerarbeiten, Kräne, Fahrzeuge, Flugobjekte, Brand oder Vandalismus. Störungen, welche durch den Netzbetreiber verursacht werden, sind beispielsweise definiert durch Fehlschaltungen, Fehlfunktionen und Ausfall von Betriebsmitteln und Alterung oder Überlastung. Diese Unterbrechungen stehen im Zusammenhang mit dem Betrieb des Netzes. Ein Ausfall der Versorgung gilt als Versorgungsausfall. Eine Störung aus einem anderen Netz, welche auf das betrachtete Netz rückwirkt, ist als Rückwirkungsstörung definiert.

³ Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz

Für das jeweilige EVU sind diese Schwankungen meist verkraftbar und beeinflussen das Netz nicht. Bei der Last können hingegen Störungen hinsichtlich Transienten (schnelle/impulshafte Einschwingvorgänge), Spannungs-, Frequenzschwankungen oder Spannungsausfälle auftreten.

Im folgenden Diagramm der E-Control werden die ungeplanten Versorgungsunterbrechungen 2021 in Österreich auf die Ursachen prozentual aufgeteilt.

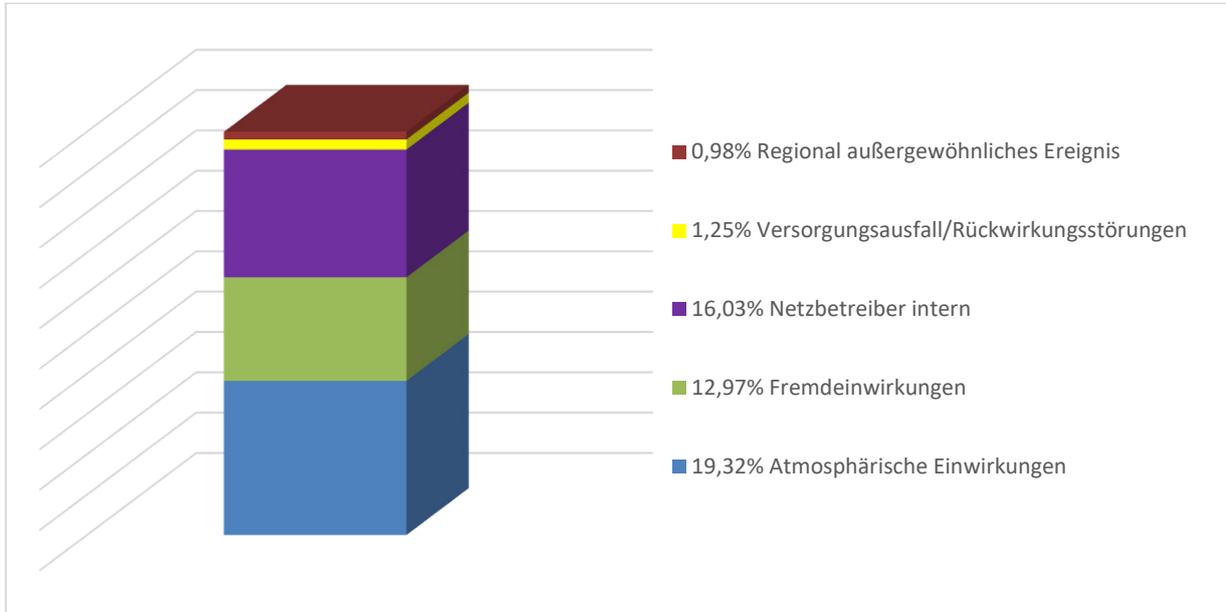


Abbildung 1: Ungeplante Versorgungsunterbrechungen 2021 in Österreich⁴

In Summe werden in Abbildung 1 keine 100 % erreicht, da sich die Anteile auf die Summe aller Ausfälle bezieht. Hierbei müssen sowohl ungeplante als auch geplante Ausfälle berücksichtigt werden. Klar ersichtlich ist, dass rund ein Fünftel aller Ausfälle auf atmosphärische Einwirkungen zurückzuführen ist.

⁴ Wiedergegeben nach Ausfall- und Störungsstatistik Österreich 2022, Ergebnisse für das Jahr 2021

2.3 Instrumente der sicheren Stromversorgung

2.3.1 Europäisches Stromsystem

Das europäische Stromsystem koordiniert europaweit eine sichere Netzbetriebsführung. Zu den Aufgaben zählen unter anderem das Abstimmen von Reserven der Kraftwerkskapazitäten. Im Falle eines Netzausfalles wird das europäische Stromnetz hinsichtlich eines Landes beziehungsweise einer Regelzone und Regelreserven aufeinander abgestimmt und schreitet automatisiert auf den Bedarfsfall ein. Somit kann den Frequenz- und Spannungsschwankungen mittels den in Europa verteilten Regelreserven entgegengewirkt werden. In Europa stehen insgesamt 3.000 MW Primärregelreserven zur Verfügung. Davon sind derzeit circa 71 MW in Österreich verfügbar.⁵

2.3.2 Gesamthafte Systemplanung

Um das europäische Stromnetz zukunftsorientiert zu modellieren, wurde im Jahre 2022 seitens dem Verband Europäischer Übertragungsnetzbetreiber (ENTSO-E), der Ten Years Network Development Plan (TYNDP) ins Leben gerufen. Dieser Plan soll den möglichen Bedarf an einem internationalen Netzausbau eruieren. Besonders die Integration von regenerativen Energiesystemen stehen im Vordergrund. Der Netzausbau soll möglichst ökonomisch und nachhaltig gestaltet werden. Hierzu müssen Energiesysteme vor allem hinsichtlich des Netzes, Speicherung, Digitalisierung, Wärmeabfuhr, Verkehr und Industrie betrachtet werden. Aufgrund der Dekarbonisierung macht der Stromsektor immer mehr auf sich aufmerksam.

2.3.3 Netzaus- und -umbau

Um erneuerbare Energien in das bestehende Netz integrieren zu können, müssen die zur Verfügung stehenden Kapazitäten gewährleistet werden. Um eine Vielzahl an erneuerbaren Energien integrieren und kostengünstigen Strom zur Verfügung stellen zu können, muss das Stromnetz dementsprechend leistungsfähig ausgelegt sein. Hierzu muss das Stromnetz nicht nur ausgebaut, sondern die Vielzahl der bereits über Jahrzehnte bestehenden Leitungen erneuert werden. Dadurch sollen nicht nur Klimaziele erreicht werden, sondern auch innovative Technologien im Bereich der Speicherung, Sektor-Kopplung und Flexibilisierung eine Schlüsselrolle spielen.

⁵ APG-Sichere Stromversorgungen und Blackout-Präventionen

2.3.4 Rasche Umsetzung von Schlüsselprojekten

Aktuelle Netzprojekte aus den Netzentwicklungsplänen sind möglichst zeitnah umzusetzen. Sowohl der Netzausbau der 380 kV und 220 kV Ebenen, als auch die Integration von erneuerbaren Energien, insbesondere Wasserkraft, Windkraft und Photovoltaik. Ebenso sollen Pilotanlagen zur Stromspeicherung berücksichtigt werden. Als beispielhaftes Projekt ist hier das „Power 2X Kufstein - innovative Sektorkopplungsanlage mit Wasserstoffzentrum“ der Tiroler Wasserkraft AG zu nennen. Dieses soll Sektoren wie Strom, Gas, Wasser, Wärme und Mobilität miteinander verbinden.

2.3.5 Netzreserve

Um den sicheren Betrieb des Stromnetzes während des Netzaus- und -umbaus nicht zu gefährden, muss in die Fahrpläne der bestehenden Kraftwerke und Verbrauchern eingegriffen und gegebenenfalls korrigiert werden. Um das Stromnetz zu entlasten werden Reservekraftwerke, welche grundsätzlich als Netzreserve geplant sind, hochgefahren.

2.3.6 Common Grid Model (CGM)

Mit der Integration von erneuerbaren Energien steigt auch die Verteilung von kleinteiligen Erzeugern, welche abhängig von zum Beispiel Wasser, Sonne oder Wind sind. Die Daten dieser Erzeuger werden gesammelt, ausgetauscht und für die Auslegung einer optimalen Netzsicherheit berücksichtigt. In Österreich ist dieses Konzept in der Energiewirtschaft bereits akkordiert.

2.3.7 Stromspeicherung

Da erneuerbare Energien nicht rund um die Uhr zur Verfügung stehen, wird deren Effizienz durch die Kapazität der Speichermedien begrenzt. Pumpspeicherkraftwerke, Wasserstoff oder auch Batteriespeicher, wie sie beispielsweise bei USV-Anlagen zum Einsatz kommen, werden meist berücksichtigt.

3 Unterbrechungsfreie Stromversorgungen

Um bei einem regionalen Stromausfall die Stromversorgung sensibler informationstechnologischer-Systeme (IT) in einem Unternehmen sicherzustellen, werden sogenannte unterbrechungsfreie Stromversorgungen eingesetzt. Diese müssen gemäß DIN EN IEC 62040-2 kurzzeitige Unter- und Überspannungen kompensieren und gewähren unter Berücksichtigung eines Energiespeichers eine höhere Hochverfügbarkeit als das Stromversorgungsnetz.

Grundsätzlich können USV-Anlagen in die zwei nachfolgenden Technologien unterteilt werden. Dynamische USV-Anlagen sind durch ein Schwungrad charakterisiert. USV-Anlagen mit einer Batterieanlage als Energiespeicher werden statische USV-Anlagen genannt. Diese zwei Anlagentypen sind die einzige Möglichkeit, um eine gesicherte Stromversorgung mit einer Systemleistung von mehreren hundert Watt bereitzustellen.

Wesentliche Kennwerte einer USV-Anlage sind sowohl die Eingangs-, als auch die Ausgangsspannung, die Verbraucherleistung und die gewünschte Überbrückungszeit.

Aufgrund der Größen- und Gewichtsanforderungen finden heutzutage hauptsächlich statische USV-Anlagen Anwendung.

Eine USV-Anlage besteht mindestens aus einem USV-Gleichrichter und/oder einem Ladegerät, oder einem USV-Wechselrichter oder einem Energiespeicher.

3.1 Dynamische USV-Anlagen

Dynamische USV-Anlagen können in verschiedenen Varianten ausgeführt werden. Grundsätzlich ist zu unterscheiden, ob die Anlage als dieseldynamische Anlage charakterisiert ist (für Leistungen ab circa 400 kVA), oder sich der dynamische Anlagenteil lediglich auf die Energiespeicherung beschränkt (für Leistungen ab circa 60 kVA).⁶

Grundsätzlich setzt sich die Anlage aus einer Motor- und einer Generatorgruppe zusammen. Die Verbraucherlast wird über den Generatorausgang versorgt.

Die dieseldynamische Anlage besteht aus einer Synchronmaschine, einer Induktionskopplung und einem Dieselmotor kombiniert mit einer freilaufenden Kupplung. Diese finden Ihre Anwendung, wenn ein Notstromnetz zur Verfügung steht. Das Notstromnetz ersetzt den Energiespeicher, oder unterstützt den Energiespeicher für längere Überbrückungszeiten.

Eine beispielhafte Anwendung findet sich in medizinisch genutzten Bereichen.

Eine weitere Variante setzt sich aus einem Wechselrichter, welcher der Motor-Generator-Baugruppe vorgeschaltet wird, zusammen. Der Wechselrichter dient zur Filterung von Netzschwankungen und versorgt die Motor-Generator-Baugruppe mit einer geregelten Ausgangs-

⁶ Wiedergegeben nach Schweizerische Eidgenossenschaft

spannung und Ausgangsfrequenz. Die Frequenz des Wechselrichterausganges dient als Referenz für die Anlagenausgangsspannung.



Abbildung 2: Dynamische USV-Anlage⁷

Aus finanzieller Sicht bietet eine dynamische USV-Anlage folgende Vorteile:

- Niedrige Gesamtbetriebskosten
- Kompakteste Lösung in der Branche
- Niedrige Wartungskosten
- Modulare und skalierbare Lösungen

⁷ avaseco.ch USV Systeme

In Bezug auf die technische Realisierung und betriebliche Verwendung sind folgende Vorteile erwähnenswert:

- Keine Batterien
- Natürliche Lüftung
- Betriebstemperaturbereich bis 50 °C
- Keine Leistungsminderung mit zunehmender Lebensdauer
- Geeignet für Nieder- und Mittelspannungen
- Hohe Kurzschlussströme
- Niedriger Innenwiderstand
- Gute Verträglichkeit bei nichtlinearen Belastungen

Intervalle für Service und Wartungen werden in Abständen von circa 10 Jahren berücksichtigt. Die Nutzungsdauer beträgt etwa 20 Jahre. Konkrete Nachteile einer dynamischen Anlage sind der hohe Lärmpegel, große Abmessungen, hohes Gewicht, sowie der lange Betriebsausfall, welcher im Zuge einer Wartung zu berücksichtigen ist.

3.2 Statische USV-Anlagen

Statische USV-Anlagen bilden die Mehrheit der Netzsicherungssysteme im elektrischen Einsatzfeld.

Grundsätzlich besteht eine statische USV-Anlage aus den nachfolgend beschriebenen Komponenten.



Abbildung 3: Statische USV-Anlage⁸

3.2.1 Gleichrichter

Der Gleichrichter wandelt die wechselförmige Netzspannung in eine Gleichspannung um. Diese wird benötigt, um den Energiespeicher zu laden und den parallelgeschalteten Wechselrichter, beziehungsweise die nachgeschaltete Last zu versorgen.

Der Gleichrichter wird beispielsweise in Thyristor- oder Transistortechnik ausgeführt. Ein wesentlicher Vorteil eines Transistorwechselrichters ist die Vermeidung von Oberwellenströmen, sowie Kommutierungs-Netzurückwirkungen. Das bedeutet, dass der Leistungsfaktor der Anlage am Eingang annähernd 1 ist und dem Netz fast keine Blindleistung entnommen wird. Blindleistung sollte möglichst vermieden werden, da die Energie in Form von Blindleistung ohne Nutzen zwischen Erzeuger und Last hin- und herpendelt. Handelsübliche Stromzähler erfassen lediglich den tatsächlichen Stromverbrauch, welcher in Form von Wirkleistung angegeben wird.

⁸ Gustav Klein GmbH & Co KG Industrie USV-Anlagen

Transistorgleichrichter werden oft als Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT) Gleichrichter bezeichnet. Dies bedeutet, dass der Bipolartransistor mit einer isolierter Gate Elektrode ausgeführt ist.

	6 Puls-Thyristor-Gleichrichter	12 Puls-Thyristor-Gleichrichter	Transistor-Gleichrichter
Vorteil	<ul style="list-style-type: none"> • geringer Platzbedarf • einfach aufgebaut • relativ günstig 	<ul style="list-style-type: none"> • weniger Netzurückwirkungen als 6 Puls-Thyristor-Gleichrichter 	<ul style="list-style-type: none"> • sinusförmige Stromaufnahme • Leistungsfaktor annähernd 1 (= Wirkleistung /Scheinleistung) • rückspeisefähig • weniger aufwändige Diesel-Notstromaggregate einsetzbar
Nachteil	<ul style="list-style-type: none"> • große Netzurückwirkungen • aufwendige Diesel-Notstromaggregate einsetzbar 	<ul style="list-style-type: none"> • Netzurückwirkungen • aufwendige Diesel-Notstromaggregate einsetzbar (dennoch weniger als 6 Puls-Thyristor Gleichrichter) 	<ul style="list-style-type: none"> • teurer als 6 Puls-/12-Puls-Thyristor-Gleichrichter

Tabelle 3: Gegenüberstellung Gleichrichtertechnologie

Als Sonderform des Gleichrichters gibt es den sogenannten bidirektionalen Stromrichter. Dieser hat in eine Richtung die Funktion eines Gleichrichters und wandelt die AC-Eingangsspannung in eine DC-Ausgangsspannung um. In die andere Richtung hat er die Funktion eines Wechselrichters und richtet die DC-Eingangsspannung in eine AC-Ausgangsspannung um und stellt diese dem Versorgungsnetz zur Verfügung. Es gilt allerdings zu beachten, dass die meisten USV-Anlagen nur die Energie ins Netz zurück speisen dürfen, welche zuvor aus dem Versorgungsnetz bezogen wurde. Ein Anwendungsbeispiel wäre, dass bei einer nicht ausreichend großen Last auch das Versorgungsnetz als Last herangezogen wird und so ein Batterietest möglich ist.

3.2.2 Energiespeichereinrichtung

Der Energiespeicher besteht aus einer Batterie, welche mit Gleichspannung vom Gleichrichter geladen wird. Im Normalbetrieb wird die Batterie auf Lade-/Dauerladespannung gehalten und ist für einen möglichen Netzausfall einsatzbereit. Als Batterietypen werden grundsätzlich Bleibatterien oder Nickel-Cadmium-Batterien verwendet. Diese sind in den Technologien als wartungsarme geschlossene, oder wartungsfreie verschlossene Batterien erhältlich. Die Dimensionierung des Energiespeichers ist je nach der gewünschten Anwendung spezifisch. Überbrückungszeit, Leistung, Ladespannung, Batterietype, Entladeschlussspannung, Betriebsspannung und konstruktive Lebensdauer sind die wesentlichen Auslegungsparameter.

3.2.3 Wechselrichter

Der Wechselrichter wandelt die Gleichspannung in eine geregelte, sinusförmige ein- oder dreiphasige Wechselspannung um und wird grundsätzlich galvanisch getrennt in Transistortechnik ausgeführt. Im Falle eines Netzausfalles wird der Wechselrichter vom Energiespeicher versorgt. Der Wechsel vom Gleichrichterausgang auf den Energiespeicher muss schnellstmöglich erfolgen, sodass die nachgeschaltete Last trotz Netzausfall unterbrechungsfrei versorgt werden kann.

3.2.4 Elektrische Umschalteinrichtung

Die elektrische Umschalteinrichtung besteht aus einem elektronisch gesteuerten statischen Thyristorschalter. Diese wird sowohl über den Wechselrichterausgang, als auch über ein Bypassnetz versorgt. Weist die Wechselrichterausgangsspannung einen unzulässigen Wert auf, schaltet die elektrische Umschalteinrichtung unterbrechungsfrei auf das Bypassnetz um (Voraussetzung ist die gewählte Betriebsart „Dauerbetrieb“). Die verschiedenen Betriebsarten werden im nachfolgenden Text genauer erläutert. Die elektronische Umschalteinrichtung (EUE) wird auch als Bypass, oder Netzumschalteinrichtung (NUE) bezeichnet.

3.2.5 Handumgehung

Der Revisionsschalter dient zur Freischaltung der Anlage für Servicearbeiten. Nach Freischaltung von Gleich-, Wechselrichter und Bypass ist grundsätzlich ein spannungsfreies Arbeiten möglich. Oft wird die Handumgehung in einem separaten Gehäuse ausgeführt, um auch einen möglichen Austausch der USV-Anlage ohne Abschaltung der Last durchführen zu können.

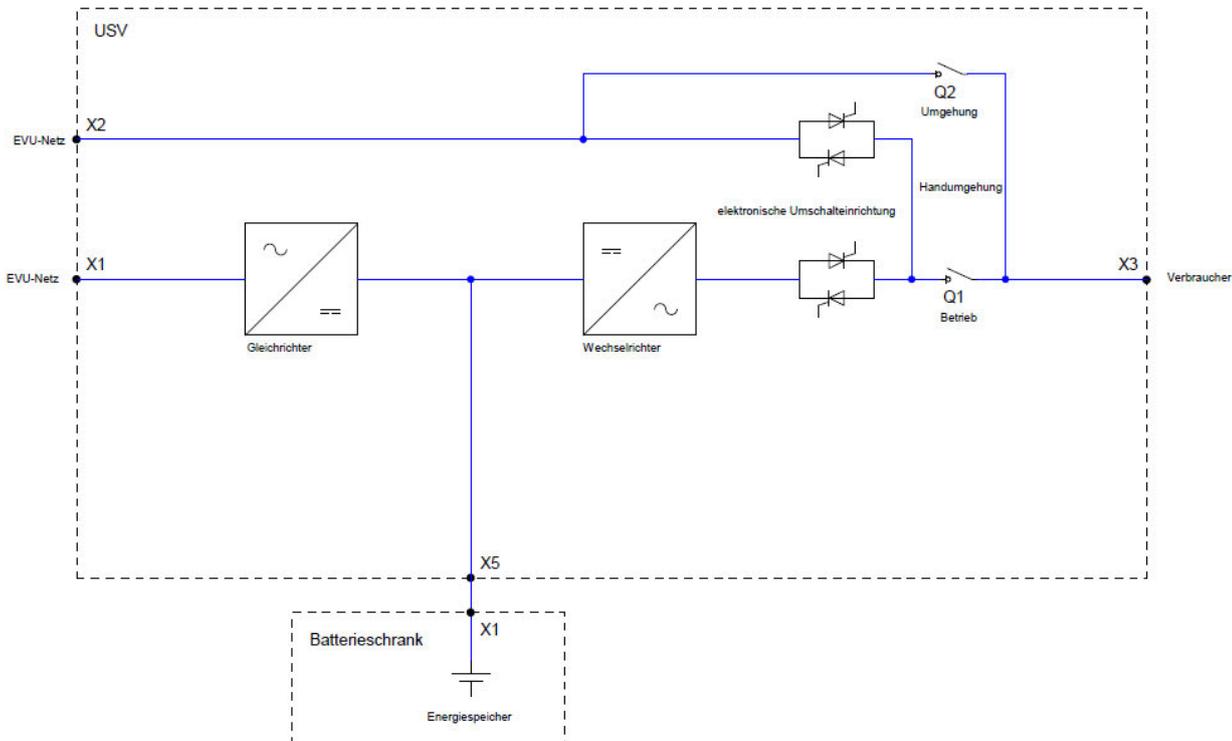


Abbildung 4: Einlinienübersichtsschaltbild statische USV-Anlage

An die Klemme X1 in der Abbildung 4 wird das EVU-Netz für die Versorgung des Gleichrichters angeschlossen.

An die Klemme X2 in der Abbildung 4 wird das EVU-Netz für die Versorgung der elektronischen Umschalteneinrichtung und der Handumgehung angeschlossen.

An die Klemme X5 in der Abbildung 4 wird der Energiespeicher angeschlossen.

An die Klemme X3 in der Abbildung 4 wird die Last, oder ein nachgeschaltetes Verbraucher-Verteilfeld angeschlossen.

3.3 Betriebsarten

USV-Anlagen können je nach Anwendungsfall in verschiedenen Betriebsarten betrieben werden.

3.3.1 Normalbetrieb

Als Normalbetrieb bezeichnet man die Betriebsart in der die USV-Anlage im Normalfall betrieben wird. Die Last wird je nach Klassifizierung der Stufe 1 (siehe nächstes Kapitel) versorgt. Der Wechselrichter kann sich entweder im bereits eingeschalteten Zustand oder im Leerlauf befinden, oder aber auch komplett ausgeschaltet sein.

Der Energiespeicher wird parallel dazu über den Gleichrichter geladen.

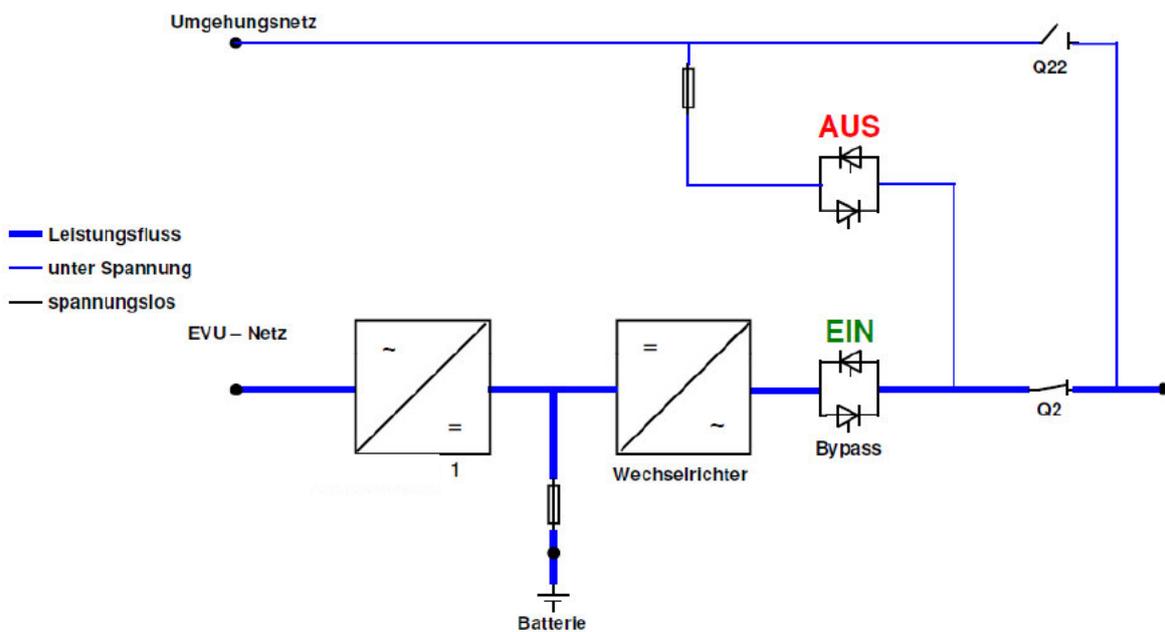


Abbildung 5: Betriebsart Normalbetrieb Stufe 1 Klasse 1⁹

⁹ Schulungsunterlagen Gustav Klein GmbH & Co KG

3.3.2 Energiespeicherbetrieb

Fällt der Strom aus dem öffentlichen Netz aus oder ist außerhalb der geforderten Toleranzwerte, so schaltet die USV-Anlage selbstständig auf den Energiespeicherbetrieb um. Der Wechselrichter wird von der Energie aus dem Energiespeicher versorgt. Der Ausgang kann nur so lange versorgt werden, bis die Energie aus dem Energiespeicher erschöpft ist. Sollte der Strom aus dem öffentlichen Netz wieder zurück sein, oder wird zusätzlich ein Diesel-Notstrom Aggregat berücksichtigt, kann der Energiespeicher wieder geladen werden. Sollte ein Dieselaggregat verwendet werden, kann möglicherweise die Batterieladung auch ausgesetzt werden.

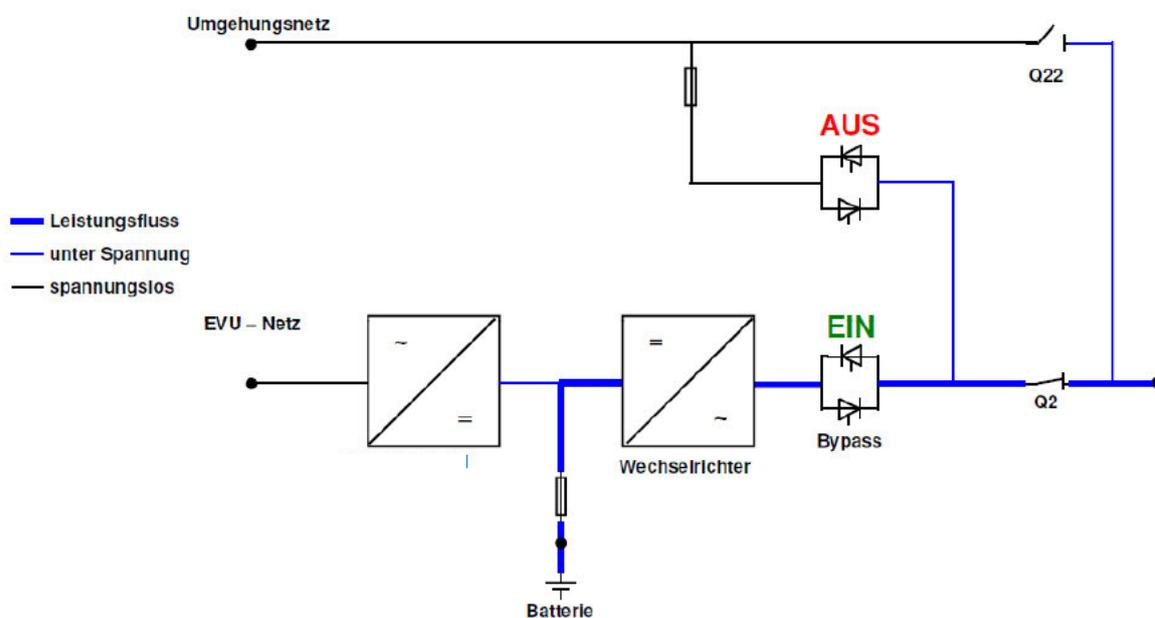


Abbildung 6: Betriebsart Energiespeicherbetrieb¹⁰

¹⁰ Schulungsunterlagen Gustav Klein GmbH & Co KG

3.3.3 Umgehungsbetrieb

Im Umgehungsbetrieb wird die Last direkt aus dem öffentlichen Netz versorgt. Die USV-Anlage schaltet beispielsweise selbstständig und vollautomatisch in den Umgehungsbetrieb, sollte der Gleich- oder Wechselrichter defekt sein. Auch bei möglichen Überlasten am Verbraucherausgang kann kurzzeitig in den Umgehungsbetrieb umgeschaltet werden.

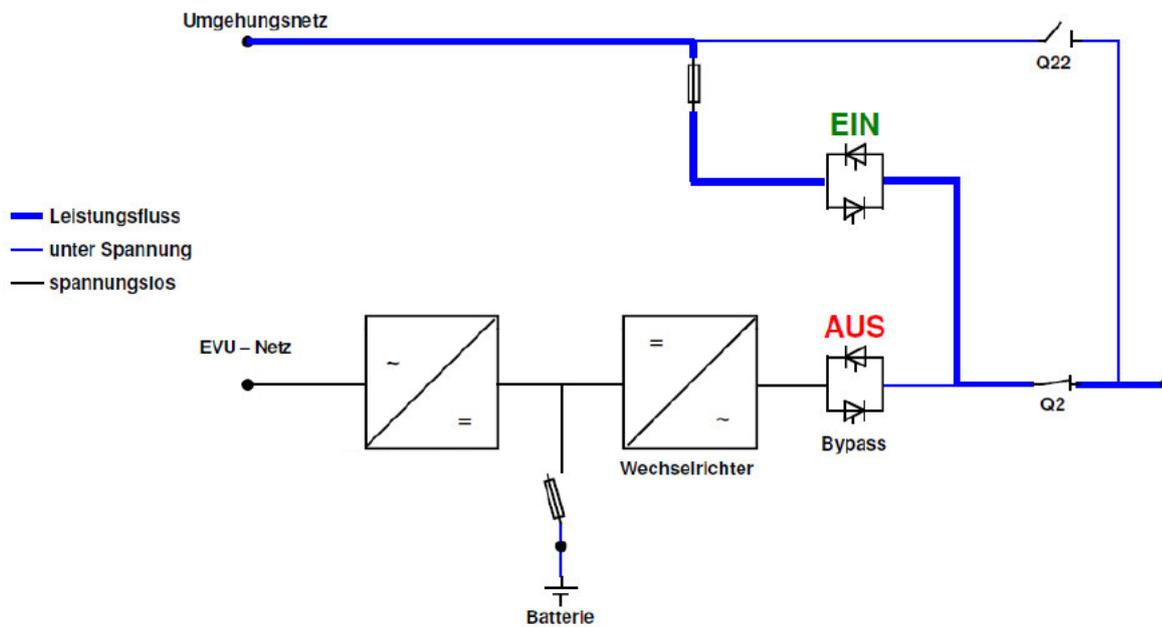


Abbildung 7: Betriebsart Umgehungsbetrieb¹¹

¹¹ Schulungsunterlagen Gustav Klein GmbH & Co KG

3.3.4 Handumgehung

Die Handumgehung wird meist für Wartungszwecke, Umrüstungen oder Nachrüstungen verwendet. Im Normalfall ist die Trennstelle Q2 geschlossen und versorgt die Last. Um nun Gleichrichter, Wechselrichter und den Bypass in einen spannungslosen Zustand zu versetzen, wird zuerst die Trennstelle Q22 geschlossen und danach die Trennstelle Q2 geöffnet. Diese Vorgehensweise muss exakt eingehalten werden, um die Last nicht vom Netz zu trennen. Grundvoraussetzung für diese Umschaltung ist, dass die Spannung vom Umgehungsnetz und die Spannung vor Q2 synchron sein müssen. Sowohl Phase und Frequenz, als auch die Toleranzen der Spannungen müssen eingehalten werden.

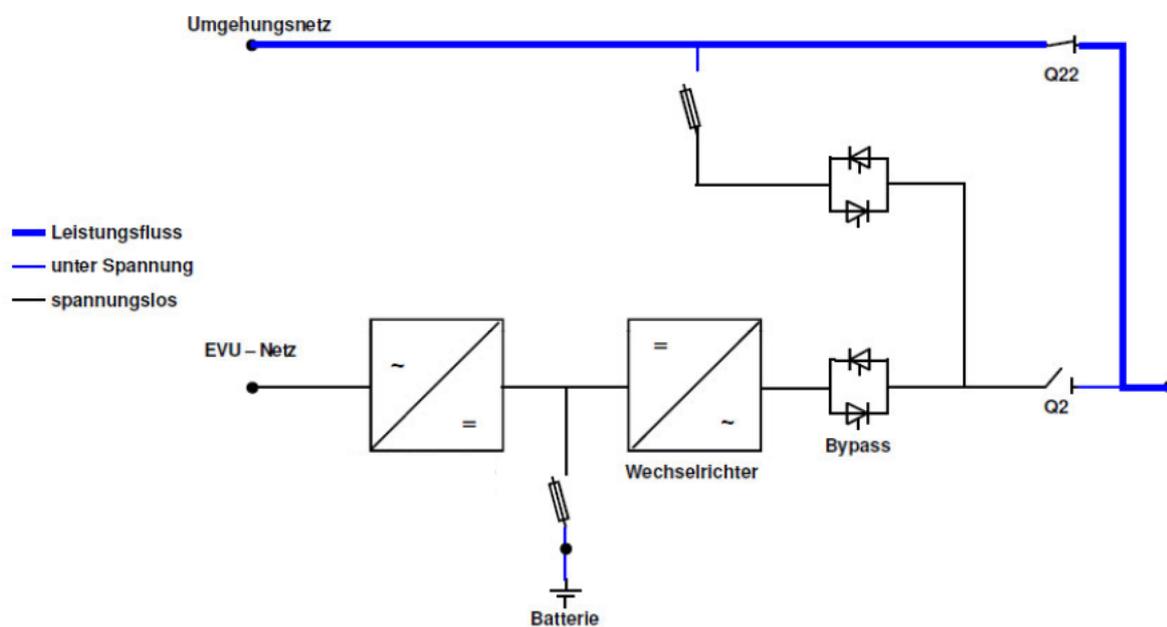


Abbildung 8: Betriebsart Handumgehung¹²

¹² Schulungsunterlagen Gustav Klein GmbH & Co KG

3.4 Klassifizierung

Um das breite Produktangebot an USV-Anlagen präzise auf die unterschiedlichsten Anwendungsbereiche abstimmen zu können, wurde eine Klassifizierung nach DIN EN IEC 62040-3 entworfen.

Diese Klassifizierung ist grundsätzlich in drei Stufen aufgebaut.

Die Einstufungskriterien der IEC-Norm behandeln ausschließlich die Ausgangsspannungsqualität der USV-Anlage in Abhängigkeit der USV-Eingangsspannungen. Der technologische Aufbau der USV-Anlage wird nicht berücksichtigt, da es grundsätzlich zehn unterschiedliche Netzstörungen gibt, welche auf den Eingang einwirken können, welche sich auch nach Berücksichtigung einer neuen technischen Errungenschaft nicht ändern.

Diese zehn eingangsseitigen Netzstörungen lassen sich eindeutig in die nachfolgend beschriebenen Stufen einteilen.

Eine Stromversorgungsanlage soll die Last gegen folgende Netzstörungen schützen:

Störungstyp	Dauer der Störung	Definition
Netzausfälle Power Failure	> 10 ms	Nullspannungsbedingung, kann durch Netzspannungsfehler verursacht werden
Spannungsschwankungen Power Sag	< 16 ms	Einbrüche, welche kurzzeitig unter dem Normwert liegen
Spannungsspitzen Switch Transient	4 – 16 ms	Können durch statische Entladungen verursacht werden; werden auch als Schaltspitzen bezeichnet
Spannungsstöße Power Surge	< 4 ms	Treten bei kurzzeitigen und plötzlichen Spannungsspitzen auf
Unterspannungen Under Voltage	kontinuierlich	Spannung fällt unter den zulässigen Grenzwert (wenige Sekunden oder dauerhaft)
Blitzeinwirkungen Lightning Strike	sporadisch	Wird durch einen Blitzschlag in der Umgebung verursacht werden

Überspannungen Over Voltage	kontinuierlich	Können beim Einschalten großer Maschinen auftreten; Spannung über 100 % Normalbetrieb
Frequenzschwankungen Frequency Variation	sporadisch	Abweichung der konstanten Netzfrequenz
Spannungsverzerrungen Power Burst	periodisch	Werden auch als elektrische Störspannungen bezeichnet; negativer Einfluss auf Schaltungen
Spannungsüberschwingungen Harmonic Distortion	kontinuierlich	Verzerrung der Wellenform der Spannung

Tabelle 4: Netzstörungen nach DIN EN IEC 62040-3

Aufgrund Ihrer Ähnlichkeit werden Blitzeinwirkungen und Schaltspitzen in Auflistungen von möglichen Netzstörungen des Öfteren zusammengefasst.

3.4.1 Stufe 1

Die erste Stufe behandelt die Abhängigkeit des USV-Ausganges vom Netzstrom.

Diese Stufe wiederum kann in die drei nachfolgend beschriebenen Klassen unterteilt werden.

3.4.1.1 Klasse 1 “VFI”

Die erste Klasse ist VFI und ist die Abkürzung für Voltage and Frequency Independent from main supply.

Diese Klasse entspricht den älteren Bezeichnungen Online, Double-Conversion, Dauerwandler oder Dauerbetrieb. VFI schützt gegen alle zehn oben angeführten Netzstörungen.

Kritische Bereiche setzen diese Klasse 1 als umfassenden Schutz voraus.

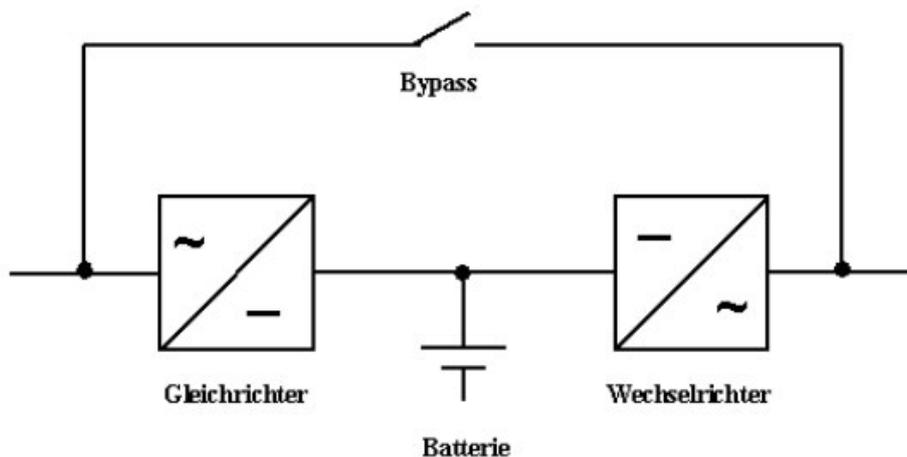


Abbildung 9: Schaubild einer VFI USV-Anlage¹³

Bei einer Anlage welche der VFI-Klasse entspricht, wird der Gleichrichter permanent vom Netz versorgt und ein nachgeschalteter Wechselrichter invertiert diese wieder. Die Last wird nur dann direkt vom Netz versorgt, sollte der Energiespeicher oder der Wechselrichter ausfallen, oder aber auch zur Freischaltung bei Wartungsarbeiten.

Da das Netz den Pfad der USV-Anlage durchwandert, wird diese permanent gefiltert. Schwankungen oder auch Einbrüche der Spannung im Falle einer Umschaltung vom Netz- auf Energiespeicherbetrieb gibt es an der Last nicht.

Aufgrund der sehr stabil geregelten, meist sinusförmigen Ausgangsspannung sind sehr aufwendige und präzise Wandler notwendig, welche ausschlaggebend für den Gerätepreis sind. Ein wesentlicher Vorteil dieser Anlagen ist, dass mögliche Überlasten am Ausgang kurzzeitig über den Bypass direkt an das Netz geschaltet werden können.

Grundsätzlich kann der Energiespeicher im Zwischenkreis kurzzeitig hohe Ströme abgeben, allerdings werden diese durch den Wechselrichter begrenzt.

¹³ Energieabsicherung im Rechenzentrum durch modulare USV-Anlagen Rittal GmbH und Co KG

Der wesentliche Nachteil VFI-klassifizierter USV-Anlagen ist, dass die benötigte Verbraucherleistung permanent von der USV-Anlage bereitgestellt werden muss.

Daraus resultierend sind permanente Verluste, welche abhängig von der Gesamtleistung der Anlage sind und für die damit verbundene Wärmeabgabe der Anlage verantwortlich sind.

Des Weiteren müssen die in der Anlage verbauten Komponenten der Leistungselektronik entsprechend qualitativ hochwertig ausgeführt werden, um die Zuverlässigkeit der Gesamtanlage nicht deutlich einzuschränken.

Vorteil:

- Unterbrechungsfreie Stromversorgung
- Keine Schaltzeit
- Saubere Ausgangskurve
- Spannung und Frequenz sind absolut stabil

Nachteil:

- Relativ hoher Anschaffungspreis
- Meist Lüftung notwendig

Anwendungsbereiche:

- Große Netzwerke
- Rechenserver
- Große Telefonanlagen
- Sicherheitselektrik

3.4.1.2 Klasse 2 “VI”

Die zweite Klasse ist VI und ist die Abkürzung für Voltage Independent from main supply.

Diese Klasse entspricht den älteren Bezeichnungen Single-Conversion, Delta-Conversion, Line-Interactive oder auch aktiver Mitlaufbetrieb. Die Klasse VI schützt gegen fünf der zehn oben angeführten Netzstörungen. Hierzu zählen Netzausfälle, Spannungsschwankungen, Spannungsschöße, Unter- und Überspannungen.

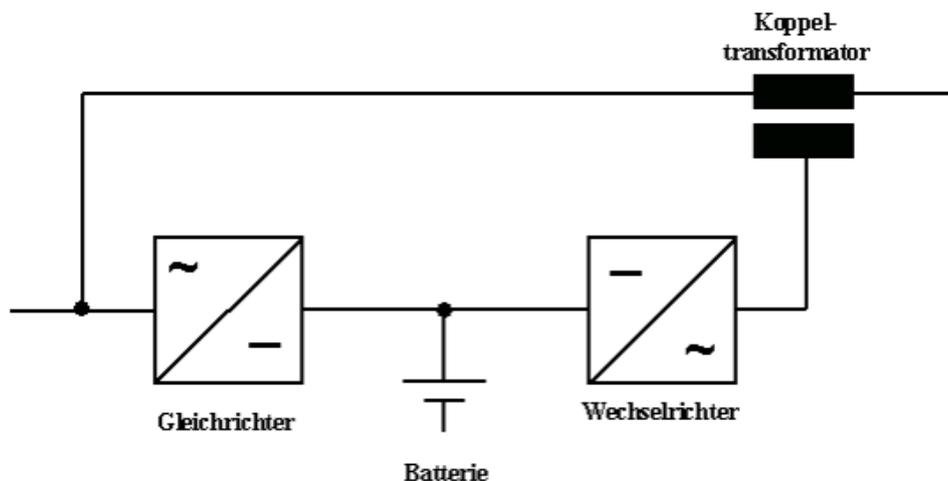


Abbildung 10: Schaubild einer VI USV-Anlage¹⁴

Einsatzgebiet von USV-Anlagen der Klasse VI sind kleine Netzwerksysteme im Büro, einzelne Server und Workstations, Laborsysteme oder kleine bis mittlere Telefonanlagen.

Die Geräte sind deutlich preisgünstiger als VFI USV-Anlagen.

Im Normalbetrieb ist der Wechselrichter mit dem Ausgang verbunden. Durch diese Verbindung ist die USV-Anlage der Klasse VI in der Lage Netzstörungen zu kompensieren.

Bei einem Ausfall des Versorgungsnetzes wird die Last von dem Energiespeicher versorgt.

Unter Berücksichtigung eines zusätzlichen Transformators zwischen Eingang und Spannungsregulierer lassen sich große Spannungsschwankungen am Eingang größtenteils ausgleichen.

Durch den Bereitschaftsparallelbetrieb des Wechselrichters wird eine sauberere Kurvenform als in Klasse 3 erzielt.

¹⁴ Energieabsicherung im Rechenzentrum durch modulare USV-Anlagen Rittal GmbH und Co KG

Vorteil:

- Kurze Schaltzeiten (2 – 4 ms)
- Preis-Leistungs-Verhältnis

Nachteil:

- Zusätzlicher Transformator für Spitzenausgleich

Anwendungsbereiche:

- Kleine Netzwerksysteme
- Kleine bis mittlere Telefonanlagen
- Workstations

3.4.1.3 Klasse 3 “VFD”

Die dritte Klasse ist VFD und ist die Abkürzung für Voltage and Frequency Dependent from main supply.

Diese Klasse entspricht den älteren Bezeichnungen Offline, Stand-by, Bereitschaftsbetrieb oder auch passiver Mitlaufbetrieb. VFD schützt lediglich gegen drei der zehn oben angeführten Netzstörungen. Hierzu zählen Netzausfälle, Spannungsschwankungen und Spannungstöße.

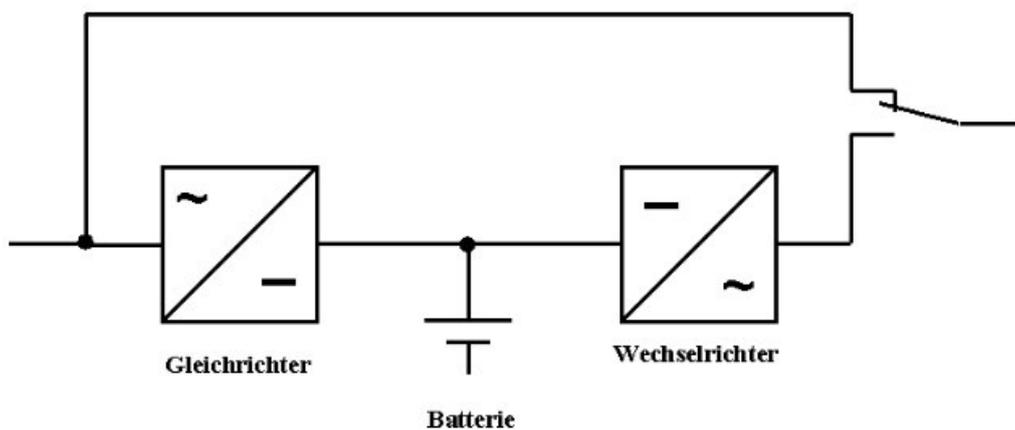


Abbildung 11: Schaubild einer VFD USV-Anlage¹⁵

USV-Anlagen der Klasse VFD bilden die kostengünstigsten Geräte.

Zu den Einsatzbereichen zählen Einzelarbeitsplätze, kleine Telefonanlagen oder aber auch Heimarbeitsplätze.

¹⁵ Energieabsicherung im Rechenzentrum durch modulare USV-Anlagen Rittal GmbH und Co KG

Die USV-Anlage versorgen über einen Umschalter die Last. Parallel dazu wird der Energiespeicher vom Gleichrichter geladen.

Sollte die Spannung am Eingang ab- oder ausfallen, so schaltet der Umschalter die Last auf den Wechselrichter um. Der Wechselrichter wiederum wird in diesem Fall vom Energiespeicher versorgt.

Aufgrund der geringen Preisgestaltung werden diese USV-Anlagen meist für rechteckige oder trapezförmige Ausgangsspannungen verwendet. Es gilt allerdings zu beachten, dass die angeschlossene Last für eine solche Spannungsform geeignet ist. Hierbei gilt es allerdings anzumerken, dass die bei Computer verwendeten Schaltnetzteile auch für diese Art von Spannungskurven geeignet sind und die Last wiederum eine gleichgerichtete Spannung zur Verfügung stellen.

Vorteil:

- Oft keine Belüftung notwendig
- Preis-Leistungs-Verhältnis

Nachteil:

- Verzerrtes Signal
- Schwankungen bei Lastwechsel
- Lange Schaltzeiten (4 – 10 ms)

Anwendungsbereiche:

- Einzelne Computer
- Notlampen
- Kleine Telefonanlagen

3.4.2 Stufe 2

Die zweite Stufe der IEC-Norm definiert die Spannungskurvenform des USV-Ausganges. Auch diese Stufe kann wieder in drei Klassen unterteilt werden.

Die Bezeichnung besteht aus insgesamt zwei Großbuchstaben. Der Erste beschreibt das Verhalten der USV-Anlage im Normalbetrieb, der zweite Großbuchstabe das Verhalten im Energiespeicherbetrieb. Als Ziel wird hier eine reine Sinuskurve am Ausgang angestrebt.

3.4.2.1 Klasse 1 "S"

Bei allen linearen und nicht linearen Referenzlasten muss der Verzerrungsfaktor kleiner als 0,08 gehalten werden. Der Gesamtverzerrungsfaktor THD (= Total Harmonic Distortion) ist definiert durch das Verhältnis des Effektivwertes der Summe aller Oberschwingungsanteile bis zu einer festgelegten Ordnung zum Effektivwert des Grundschwingungsanteils. Allgemein wird der THD in Datenblättern in Prozent angegeben.

Erfüllt die USV-Anlage dieses Kriterium, so trifft die Klasse 1 zu.

Eine ideale USV-Anlage trägt somit die Stufe 2 Kennung „SS“.

Diese ideale Klassifizierung ist für ein Sinussignal deutlich kostenintensiver als beispielsweise bei einer rechteckigen Ausgangskurvenform.

3.4.2.2 Klasse 2 "X"

Wird der Grenzwert von 0,08 nur bei linearer Referenzlast eingehalten, so ist die Anlage mit der Stufe 2 Kennung „X“ zu kennzeichnen.

3.4.2.3 Klasse 2 "Y"

Wird bei einer USV-Anlage bei der Stufe 2 Kennzeichnung der Buchstabe „Y“ vermerkt, so gibt es keinerlei Informationen über die Form der Ausgangskurve.

3.4.3 Stufe 3

Die dritte Stufe definiert die dynamische Toleranzkurven des USV-Ausganges.

Diese Stufe wird durch einen dreistelligen Code charakterisiert. Die drei Stellen dieses Codes können jeweils mit Zahlen zwischen 1 bis 3 angegeben werden.

Die Toleranzangabe 1 stellt die strengste Anforderung und bedeutet so viel wie keine Unterbrechung. Die schwächste Toleranzangabe ist die Kennzahl 3 und bedeutet eine Unterbrechung bis zu 10 ms.

Die erste Kennzahl im dreistelligen Code beschreibt die Änderung der Betriebsart. Beispielsweise der Wechsel von Netz- auf Energiespeicherbetrieb.

Die zweite Kennzahl beschreibt einen Lastsprung im Netz- und Energiespeicherbetrieb mit einer linearen Last.

Die dritte Kennzahl beschreibt einen Lastsprung im Netz- und Energiespeicherbetrieb mit einer nichtlinearen Last.

In der Stufe 3 kann als bestmöglicher Wert „111“ angegeben werden.

3.4.4 Abhängigkeit der einzelnen Stufen

Grundsätzlich sind die einzelnen Stufen voneinander getrennt zu beachten. Dennoch gibt es Verbindungen zueinander. Beispielsweise wird eine USV-Anlage, welche in Stufe 1 als VFD bewertet ist, in Stufe 3 nicht den Wert „111“ erreichen, da eine gewisse Schaltzeit beim Umschalten von Netz- auf Energiespeicherbetrieb zu berücksichtigen ist.

USV-Anlagen welche in Stufe 1 als VFD bewertet werden, sind aufgrund des Kostenfaktors meist in der Stufe 3 mit dem Wert „333“ zu finden.

Auch in der Stufe 1 VI bewertete USV-Anlagen erreichen oft nur einen Wert von „122“ in der Stufe 3.

Geräte der Stufe 1 Klasse VFI werden meist eine strenge Einhaltung von Toleranzen vorgeschrieben. Dennoch erreichen auch diese klassifizierten USV-Anlagen oft einen Wert von „111“ in Stufe 3 nicht.

Für den Endkunden stellen diese Stufenklassifizierungen einen eindeutigen Vergleich von auf dem Markt verfügbaren USV-Anlagen dar. Erfahrungsgemäß wird meist die Stufe 1 angegeben. Stufe 2 und Stufe 3 werden großteils von den Herstellern vernachlässigt.

3.5 Bewertungsgrößen

Um die Zahlreichen am Markt verfügbaren USV-Anlagen noch detaillierter miteinander vergleichen zu können, sind unter anderem die nachfolgend beschriebenen Kennzahlen entscheidend für die Auswahl einer ideal auf das Anwendungsgebiet abgestimmte USV-Anlage.

3.5.1 Normalbedingungen

Die von den Herstellern angegebenen Werte müssen unter Berücksichtigung von Standard-Umgebungsbedingungen eingehalten werden. Diese sind gemäß DIN EN IEC 62040-3 festgehalten.

- Temperaturbereiche von + 15 °C bis + 30 °C;
Die zirkulierende Luft muss die benötigte Kühlung bereitstellen. Hierzu ist die geforderte Umgebungstemperatur einzuhalten. Meist werden die Räume, in denen die USV-Anlagen aufgestellt sind zusätzlich gekühlt oder beheizt.
- Nicht kondensierende, relative Luftfeuchtigkeit von 10 % bis 75 %;
die Grenzwerte der relativen Luftfeuchtigkeit sind aufgrund von Oxidation und Korrosion einzuhalten.

- Maximale Aufstellhöhe von 1.000 m über dem Meeresspiegel; der Luftdruck sinkt mit zunehmender Höhe. Das bewirkt, dass die Dichte der Luft abnimmt und sich die Kühlwirkung des Luftstromes reduziert.

Aufstellhöhe [m]	Lastminderungsfaktor	
	Konvektionskühlung	Zwangskühlung
1.000	1,000	1,000
1.200	0,994	0,990
1.500	0,985	0,975
2.000	0,970	0,950
2.500	0,955	0,925
3.000	0,940	0,900
3.500	0,925	0,875
3.600	0,922	0,870
4.000	0,910	0,850
4.200	0,904	0,840
4.500	0,895	0,825
5.000	0,880	0,800

Tabelle 5: Lastminderungsfaktoren bei unterschiedlichen Aufstellungshöhen¹⁶

Gemäß der oben angeführten Tabelle wird zwischen Konvektionskühlung und Zwangsbelüftung unterschieden. Bei Zwangsbelüftung wird zusätzlich ein mechanischer Lüfter in der Anlage berücksichtigt.

Wird eine idente USV-Anlage mit Zwangsbelüftung in 1.000 m beziehungsweise 3.000 m über dem Meeresspiegel aufgestellt, so muss die Ausgangsleistung bei der höher gelegenen Anlage um 10 % reduziert, oder die Kühlleistung um 10 % erhöht werden.

¹⁶ DIN EN IEC 62040-3

3.5.2 Außergewöhnliche Bedingungen

Nicht immer werden die USV-Anlagen an Standorten, welche den Normalbedingungen entsprechen, aufgestellt. Zusätzlich sind gemäß DIN EN IEC 62040-3 sogenannte außergewöhnliche Bedingungen festgehalten.

- Verschmutzungen, welche über dem Verschmutzungsgrad 2 sind;
Zu Verschmutzungen im Verschmutzungsgrad 2 zählen nichtleitende Verschmutzungen, welche durch gelegentliches Kondenswasser, oder auch Handschweiß, leitfähig werden können. Die Verschmutzungsgrade werden in den Normen DIN EN IEC 60664-1 und DIN EN IEC 61010-1 definiert.
- Temperaturen außerhalb des Umgebungstemperaturbereiches von + 15 °C bis + 30 °C;
- Nicht kondensierende, relative Luftfeuchtigkeit außerhalb der Umgebungsluftfeuchtigkeit von 10 % bis 75 %;
- Einer Aufstellhöhe über 1.000 m über dem Meeresspiegel;
- Einwirkungen von Stößen, Schwingungen oder Kippbeanspruchungen;
Dies kann vor allem USV-Anlagen in der Industrie oder aber auch im Zuge des Transportes in Fahrzeuge betreffen.
- Einwirkungen von Erdbeben;
Diese sind in der DIN EN IEC 60068-2-3 geregelt;
- Elektromagnetische Störfestigkeiten, welche die in der DIN EN IEC 62040-2 geforderten Grenzwerte überschreiten;
- Radioaktive Strahlungswerte über den natürlichen Werten;
- Einfluss von weiteren Quellen hinsichtlich Dampf, Feuchte, Pilzbefall, Termiten, Insekten, Staub, korrosive Gase, schädlicher Rauch, und viele weitere.

3.5.3 Kenndaten USV-Eingang

3.5.3.1 Voraussetzungen für Normalbetrieb

- **Bemessungsspannung**

Als Bemessungsspannung wird die Eingangsspannung für eine festgelegte Betriebsbedingung angegeben.

Der Eingangsspannungstoleranzbereich liegt bei mindestens +/- 10 %.

- **Bemessungsfrequenz**

Als Bemessungsfrequenz wird die Frequenz für eine festgelegte Betriebsbedingung angegeben.

Als Bemessungsfrequenz am Gleichrichter werden grundsätzlich 50 Hz in Europa gefordert.

Eine Ausnahmegruppe sind beispielsweise Bahnunternehmen. Anlagen für die Österreichische Bundesbahnen werden des Öfteren mit einer Frequenz am Eingang von $16 \frac{2}{3}$ Hz gebaut. Auch hier gilt es wieder auf regionale Bedingungen zu achten.

Als Toleranzwerte der Bemessungsfrequenz im stationären Zustand werden mindestens +/- 2 % angegeben.

- **Mehrphasiger Eingang**

Bei Anspeisung mittels mehrphasigen Eingangs muss ein Unsymmetrieverhältnis von +/- 5 % vorhanden sein. Das Unsymmetrieverhältnis ist die Differenz zwischen den niedrigsten und den höchsten Effektivwerten der Grundschwingung bezogen auf deren Mittelwert der Effektivwerte. Dies gilt für alle Ströme und Spannungen aller Phasen in einer Mehrphasenschaltung.

- **Gesamt-Oberschwingungsgrenze**

Der Gesamtverzerrungsfaktor THD ist definiert durch das Verhältnis des Effektivwertes der Summe aller Oberschwingungsanteile bis zu einer festgelegten Ordnung zum Effektivwert des Grundschwingungsanteils. Allgemein wird der THD in Datenblättern in Prozent angegeben.

3.5.3.2 Herstellerangaben

- **Anzahl der Phasen**

Je nach Verfügbarkeit, Anlagenleistung oder Anlagenausführung wird grundsätzlich entweder eine Anspeisung 3/N/PE AC 400/230 V oder 1/N/PE AC 230 V verwendet. Grundsätzlich ist es empfehlenswert eine 3-phasige Versorgungsspannung vorzusehen, um die benötigte Leistung gleichmäßig auf die Phasen aufzuteilen.

- **Anforderungen an den Neutralleiter**

Alternativ gibt es vor allem in der Industrie auch Sondereingangsspannungen wie beispielsweise 3/PE AC 500 V. Auch regionale Sonderspannungen sind hier zu beachten. Da diese Sonderspannungen für den Gleichrichter oft nicht brauchbar sind, können spezielle Spartransformatoren oder gegebenenfalls auch Trenntransformatoren am Eingang berücksichtigt werden. Spartransformatoren unterscheiden sich von Trenntransformatoren insofern, dass diese keine galvanische Trennung zwischen der primären und sekundären Seite haben. Das Preisniveau für einen Spartransformator ist wesentlich geringer.

- **Bemessungseingangsstrom**

Der Effektivwert des Stromes im Normalbetrieb, welcher sich bei Bemessungsspannung einstellt, wird Bemessungseingangsstrom genannt. Eine Bemessungslast und ein vollständig entladener Energiespeicher werden vorausgesetzt.

- **Eingangsleistungsfaktor**

Der Leistungsfaktor ist das Verhältnis aus Betrag der Wirkleistung zur Scheinleistung und wird mit dem Buchstaben „ λ “ angegeben. Ein Leistungsfaktor am Eingang von 1 bedeutet, dass dem Netz keine Blindleistung entnommen wird. Blindleistung sollte möglichst vermieden werden, da die Energie in Form von Blindleistung ohne Nutzen zwischen Erzeuger und Last hin- und herpendelt.

- **Einschaltstromstoß**

Der Einschaltstromstoß ist der höchste Spitzenwert und die höchste Zeitspanne des Eingangstromes. Dieser wird gemessen, wenn die USV-Anlage vom Energiespeicherbetrieb in den Normalbetrieb umgeschaltet wird. Vorausgesetzt wird, dass keine Last angeschlossen ist.

- **Höchstwert des Eingangstromes**

Der Effektivwert des Stromes im Normalbetrieb unter Berücksichtigung der ungünstigsten Eingangsspannung. Eine angeschlossene Bemessungslast und ein vollständig entladener Energiespeicher werden vorausgesetzt.

Der maximale Eingangsstrom muss für die Dimensionierung des Querschnittes der Versorgungsleitung und der dazugehörigen Absicherung bekannt sein.

- **Eingangsstrom bei Überlast**

Der Eingangsstrom bei Überlast kann nur berücksichtigt werden, wenn auch die USV-Anlage überlastfähig ist.

Die höchste Last, welche während einer kurzen Zeitspanne von der USV-Anlage unter Einhaltung der Ausgangsspannung innerhalb der Toleranzen versorgt werden kann, wird als Überlast definiert.

- **Gesamt-Oberschwingungsverzerrung des Stromes**

- **Kleinste Kurzschlussleistung**

Angabe gemäß DIN EN IEC 61000-3-2 oder IEC 61000-3-12, ob der höchste zulässige Verzerrungspegel des Oberschwingungsstroms eingehalten werden kann

- **Kennwerte des Erdableitstroms**

- **Kompatibilität mit dem bestehenden Energieverteilungssystem**

Als Energieverteilungssystem werden entweder ein TT-System, TN-System oder eine IT-System verwendet. Die einzelnen Systemnetze unterscheiden sich hinsichtlich Erdung.

3.5.3.3 Kundenangaben

- **Verzerrung durch Oberschwingungsspannung**

Verzerrungen durch Oberschwingungsspannungen müssen nur angegeben werden, wenn die angegebenen Werte gemäß DIN EN IEC 62040-3 überschritten werden

- **Anforderungen an die Kompatibilität von bestehenden Schutzeinrichtungen**

- **Anforderung an eine allpolige Abschaltung der USV-Anlage**

- **Kennwerte des Notstromgenerators**

Nur relevant, wenn bauseits ein Notstromgenerator zur Verfügung steht.

3.5.4 Kenndaten USV-Ausgang

3.5.4.1 Voraussetzungen für das Versorgen einer Last

Als Voraussetzung für die Versorgung einer Last muss nur einer der folgenden Punkte erfüllt werden:

- **Voraussetzungen für den Normalbetrieb**
- **Verfügbarkeit einer Energiespeichereinrichtung**

3.5.4.2 Herstellerangaben

- **Klassifizierung**
- **Bemessungsausgangsspannung und Effektivwert des Toleranzbereiches**
- **Bemessungsfrequenz**
Inklusive Toleranzbereich;
- **Frequenzänderungsgeschwindigkeit**
Die Frequenzänderungsgeschwindigkeit entspricht der Flankensteilheit beim Synchronisieren.
- **Anzahl der Phasen**
- **Verfügbarkeit des Neutralleiters**
- **Kompatibilität mit dem bestehenden Energieverteilungssystem**
- **Gesamt-Oberschwingungsverzerrung**
Sowohl für den Normalbetrieb, als auch für den Energiespeicherbetrieb;
- **Bemessungswert der Ausgangswirk- und Ausgangsscheinleistung sowie der Ausgangsstromstärke**
- **Überlastfähigkeit**

Dieser Wert ist nur anzugeben, wenn die USV-Anlage auch überlastfähig ist.

Es ist die Auswirkung auf den Effektivwert des Ausgangsspannungstoleranzbereichs für die Betriebsarten Normalbetrieb, Energiespeicherbetrieb und Umgebungsbetrieb anzugeben.

- **Minimale Wechselstrombegrenzung**

Die Wechselstrombegrenzung gibt das Verhältnis des Ausgangsstromes zum Bemessungsausgangsstrom an, welches am USV-Ausgang im Falle eines Kurzschlusses anliegt.

- **Fehlerauslösevermögen**

Das Fehlerauslösevermögen für den höchsten Bemessungswert der Schutzeinrichtung der Last unter Fehlerbedingungen.

- **Leistungsfaktor der Last**

- **Zulässiger Toleranzbereich des Grundschiebungsfaktors**

Der Grundschiebungsfaktor ist der Quotient der Grundschiebungswirkleistung zur Grundschiebungsscheinleistung.

- **Spannungssymmetrie**

Gilt es nur bei mehrphasigen USV-Anlagen zu beachten.

- **Gesamtwirkungsgrad**

- **Leerlaufverluste**

3.5.4.3 Kundenangaben

Werden vom Kunden genauere Werte als vom Hersteller angegeben gefordert, so sind diese anzugeben. Dies kann durch örtliche Bedingungen und Vorschriften bedingt sein. Sind besondere Lastbedingungen und ungünstige Kennwerte zu erwarten, so sollten diese ebenfalls bekannt gegeben werden.

- Lasten mit speziellen Oberschwingungen
- Unsymmetrische Lasten
- Unabhängige Erdung des Ausgangsneutralleiters
- Schutzeinrichtungen nachgeschalteter Verteilungen
- Anforderung an eine allpolige Abschaltung
- Berücksichtigung möglicher zukünftiger Erweiterungen
- Mögliche zusätzliche Verfügbarkeiten oder Redundanzgrade
- Ausgangsspannungsschutz

3.5.5 Zusätzliche mögliche Kenndaten

- **Crestfaktor**
Der Crestfaktor ist definiert durch das Verhältnis des Scheitelwertes des Stromes zum Effektivwert des Stromes. Sind mehrere Verbraucher an eine USV-Anlage angeschlossen, so werden jeweils die Summen beider Werte ins Verhältnis gesetzt. Moderne Schaltnetzgeräte und Schaltregler sind durch hohe Spitzenströme charakterisiert. Als beispielhafter Crestfaktor einer USV-Anlage wird ein Verhältnis von 3 : 1 angegeben. Ist der berechnete Crestfaktor größer als der von der USV-Anlage angegebene Wert, so muss eine leistungsmäßig größere USV-Anlage gewählt werden.

- **EMV**

Die USV-Anlage muss entsprechende gesetzliche Regelungen einhalten, um andere Geräte nicht zu beeinflussen. Werden elektromagnetische, leistungsgebundene oder abgestrahlte elektrische Störungen auf ein unkritisches Niveau abgesenkt, so gilt für die Anlage eine elektromagnetische Verträglichkeit gemäß der angeführten Regelung. Um diese Grenzwerte zu erreichen können in der Anlage diverse Filter, aber auch modifizierte Schaltungstopologien berücksichtigt werden. EMV-Normen sind beispielsweise EN 50121-4, EN 61439-1, EN 61439-2 oder EN IEC 62040-2. Als EMV Richtlinie gilt 2014/30/EU.

- **MDT**

Die „Mean down time“ oder auch mittlere Ausfallzeit genannt, gibt die Lebensdauer der USV-Anlage an, wenn diese andauernd in Betrieb ist. Ist die MDT erreicht und die USV-Anlage fällt aus, muss diese getauscht werden.

- **MTBF**

Die „Mean time between failure“ ist der mittlere Zeitabstand zwischen zwei Fehlern. Der MTBF gibt die gemittelte Betriebsdauer zwischen den Ausfällen einer reparierbaren Baugruppe an. Die Betriebsdauer bezieht sich hierbei auf die der tauschbaren oder reparierbaren Komponente.

- **MTTR**

Die „Mean time to repair“ gibt die mittlere Reparaturzeit an, welche für die Behebung des entstandenen Fehlers benötigt wird.

- **Schalldruckpegel**

Der Schalldruckpegel gibt die Lautstärke der USV-Anlage an. Die Messung des Schalldruckpegels auf Grundlage der DIN EN 45635 in einem Abstand von 1 m vorgenommen.

- **Schutzklassen**

Je nach Anwendung sind unterschiedliche Schutzarten möglich. Die Schutzklasse wird als IP-Bezeichnung angegeben. IP ist die Abkürzung für International Protection, welche in der Norm DIN EN 60529 festgehalten werden. Die Abkürzung wird ergänzt durch zwei Ziffern. Die erste Ziffer gibt den Schutz gegen mechanische Belastbarkeit an. Die zweite Ziffer gibt den Schutz vor Wasser an.

Schutz gegen Fremdkörper		Schutz gegen Wasser	
0	Kein Schutz	0	Kein Schutz
1	Schutz gegen feste Fremdkörper (Ø ab 50,0 mm)	1	Schutz gegen senkrecht fallendes Tropfwasser
2	Schutz gegen feste Fremdkörper (Ø ab 12,5 mm)	2	Schutz gegen fallendes Tropfwasser bei Gehäuseneigung bis 15°
3	Schutz gegen feste Fremdkörper (Ø ab 2,5 mm)	3	Schutz gegen fallendes Sprühwasser bis 60° gegen die Senkrechte
4	Schutz gegen feste Fremdkörper (Ø ab 1,0 mm)	4	Schutz gegen allseitiges Spritzwasser
5	Schutz gegen Staub in schädlicher Menge	5	Schutz gegen Strahlwasser (Düse) aus beliebigem Winkel
6	Staubdicht	6	Schutz gegen starkes Strahlwasser
		7	Schutz gegen zeitweiliges Untertauchen (30 min bis 1 m Tiefe)
		8	Schutz gegen dauerndes Untertauchen (Tiefe laut Hersteller)
		9	Schutz gegen Wasser bei Hochdruck-/Dampfstrahlreiniger

Tabelle 6: Schutzart¹⁷

Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass sich die USV-Anlage in einem elektrischen Schaltraum befindet und eine Schutzart von IP20 ausreichend ist.

IP20 beschreibt gemäß der oben angeführten Tabelle eine Anlage mit einem Schutz gegen feste Fremdkörper mit einem von mindestens 12,5 mm und keinem Schutz gegen Wasser.

¹⁷ Gemäß DIN EN 60529

- **Lackierung**

Die Gehäusefarbe der USV-Anlage setzt sich aus dem Wort Reichtsausschuss für Lieferbedingungen (RAL) und einer zugehörigen Nummer zusammen. Im RAL-Farbsystem ist weltweit jeder Farbe eine Nummer zugeordnet. So werden Schaltschränke beispielsweise in RAL 7035 lackiert. Die Zahlenkombination 7035 bedeutet beispielsweise eine Lackierung in der Farbe lichtgrau.

- **Art der Kühlung**

Die Kühlung einer USV-Anlage kann beispielsweise lüfterlos, als forcierte Luftkühlung oder mittels Wasserkühlung aufgebaut sein.

Eine lüfterlose Kühlung bietet gegenüber einer forcierten Lüftung die Vorteile, dass es keine beweglichen Teile gibt, welche defekt werden können. Durch den erheblich reduzierten Luftdurchsatz gelangen weniger Staub und Verunreinigungen in das Gehäuseinnere.

Bei größeren Leistungen werden die USV-Anlagen in Schaltschränke untergebracht. Zusätzlich zu den größeren Wärmebelastungen bei größeren Leistungen, erhöht sich auch der Lärmpegel aufgrund der benötigten mechanischen Kühlung. Aus diesem Grund werden oft Wärmetauscher eingesetzt. Unter Berücksichtigung von Leitungen für das Kältemittel wird die Leistungselektronik gekühlt.

Wärmetauscher können beispielsweise vom Typ Rittal als Rucksacklösung an oder auf den Schaltschrank der USV-Anlage berücksichtigt werden.

4 Energiespeichereinrichtung

Die Energiespeichereinrichtung ist dadurch charakterisiert, dass sie den Wechselrichter der USV-Anlage für eine geforderte Überbrückungszeit versorgt. Die Überbrückungszeit ist die Mindestdauer, welche bei einem Fehler der Eingangswechselstromversorgung eine beständige Versorgung der Last sicherstellt.

Als Energiespeichereinrichtung werden beispielsweise Batterien, Doppelschichtkondensatoren oder ein Schwungrad verwendet.

Das Schwungrad als Energiespeichersystem ist eine mechanische Energiespeichereinrichtung. Die kinetische Energie wird in eine elektrische Energie umgewandelt. Üblicherweise wird dies bei dynamischen USV-Anlagen verwendet.

Doppelschichtkondensatoren haben zwei wesentliche Vorteile gegenüber anderen Akkumulatoren. Es gibt annähernd keine Alterung aufgrund von chemischer Zersetzung und die Lade- und Entladevorgänge sind deutlich schneller. Der Einsatzbereich von Doppelschichtkondensatoren ist vorwiegend in der E-Mobilität in Bezug auf Speicherung der Rückgewinnung von Bremsenergie oder als Energielieferant von Ladespitzen bei Kraftfahrzeugen, Bussen oder auch Bahnen. Aufgrund des deutlich höheren Preisniveaus und der geringeren Energiedichte werden diese allerdings grundsätzlich nicht in USV-Anlagen berücksichtigt.

Auch wenn das Schwungrad oder der Doppelschichtkondensator in einer USV-Anlage aufgrund der kompatiblen Kennwerte verwendet werden können, so ist doch die Batterie das am häufigsten verwendete Energiespeichersystem. Dies ist begründet durch ein ideales Verhältnis aus einer langen Lebensdauer, lange Pufferzeiten oder aber der Einsatz bei extremen Umgebungstemperaturen bei gutem Preis-Leistungs-Verhältnis.

Da diese Art der Energiespeicherung am häufigsten verwendet wird, beziehen sich die nachfolgenden Punkte hauptsächlich auf die Auslegung einer Batterieanlage.

Eine sogenannte Sekundärbatterie ist dadurch charakterisiert, dass sie durch eine reversible chemische Reaktion wiederaufladbar ist.

Die eingesetzten Sekundärbatterien sind vorzugsweise für einen stationären Betrieb vorgesehen. Ist die Batterie voraussichtlich über die ganze Brauchbarkeitsdauer mit derselben Gleichstromquelle verbunden und für einen ortsfesten Betrieb eingeplant, so wird diese als stationäre Batterie bezeichnet.

4.1 Herstellerangaben

- **Brauchbarkeitsdauer**

Die Brauchbarkeitsdauer einer Batterie wird unter definierten Bedingungen angegeben. Die Brauchbarkeitsdauer wird als „Design life gemäß EUROBAT“ in Batterieangeboten angegeben und wird unter Laborbedingungen bei einer konstanten Umgebungstemperatur von 20 °C ermittelt. Negative Einflüsse durch eine abweichende Ladespannung werden nicht berücksichtigt.

- **Anzahl der Zellen, Blöcke und Stränge**

Grundsätzlich werden bei Batterie zwischen Zellen und Blöcken unterschieden. Ein Block besteht aus mindestens zwei elektrisch verbundenen Einzelzellen. Eine Zelle ist die kleinste elektrochemische stromproduzierende Einheit einer Batterie und ist somit die Grundeinheit.

Je nach Batterietechnologie gibt es beispielsweise 6 V oder 12 V Batterieblöcke.

Die Anzahl der in Serie zu schaltenden Batterieblöcke oder -zellen ist von der Strangennennspannung abhängig.

Unter Berücksichtigung mehrerer Stränge können höhere Kapazitäten oder eine Redundanz der Batterieanlage erreicht werden.

- **Strangennennspannung**

Die Strangennennspannung muss innerhalb der Spannungstoleranz des Gleichrichters der USV-Anlage berücksichtigt werden. Die Spannungsnennspannung legt unter Berücksichtigung der Batterietechnologie die zu berücksichtigende Anzahl der Zellen beziehungsweise Blöcke fest.

- **Batterietechnologie**

Grundsätzlich wird zwischen folgenden Sekundärzellentechnologien unterschieden. Des Weiteren muss angegeben werden ob es sich beispielsweise um eine Bleib- (Pb), Nickel-Cadmium- (NiCd) oder Lithium-Eisenphosphat (LiFePO₄) Batterie handelt. Je nach gewählter Technologie können sich der Preis und die Einstellwerte an der Anlage erheblich unterscheiden.



Abbildung 12: Wartungsarme, geschlossene Bleibatterie¹⁸

Bei einer geschlossenen Batterie können gasförmige Produkte durch einen mit Öffnungen versehenen Deckel entweichen.

Das entwichene Elektrolyt kann üblicherweise nachgefüllt werden. Das Gehäuse ist transparent aufgebaut und der Füllstand kann mit Hilfe einer Minimal-/Maximal-Anzeige abgelesen werden.

Durch Messen der Säuredichte kann eine eindeutige Aussage über die Kapazität der Batterie getroffen werden.

Aufgrund der transparenten Bauart können Bleischlammablagerungen frühzeitig erkannt werden. Bleischlammablagerungen treten durch längere Nichtbenützung der Batterie ein und führen zu einer Schädigung hinsichtlich der Leistung und der Lebensdauer.

Die geschlossene Bauweise garantiert eine hohe Betriebssicherheit bei rauen Umgebungsbedingungen.

Des Weiteren können weitaus mehr Ladezyklen aufgenommen werden.

Die reale Gebrauchsdauer ist höher als bei einer verschlossenen Batterie.

¹⁸ Website Hoppecke



Abbildung 13: Wartungsfreie, verschlossene Bleibatterie¹⁹

Übersteigt bei einer verschlossenen Batterie der innere Druck einen vordefinierten Wert, so kann Gas entweichen. Unter normalen Bedingungen ist die Zelle verschlossen. Das entwichene Elektrolyt kann üblicherweise nicht nachgefüllt werden. Das Gehäuse ist undurchsichtig aufgebaut.

Die Anschaffungskosten sind wesentlich geringer als bei einer geschlossenen Batterie. Der Platzbedarf einer verschlossenen Batterie ist rund 25 % geringer und ermöglicht einen kompakteren Einbau.

- **Nennkapazität**

Die Nennkapazität der gesamten Batterieanlage wird im Zusammenhang mit einer Bezugsentladungsrate angegeben. Wird bei einer Batterieanlage beispielsweise 600 Ah C10 angegeben, bedeutet dies, dass aus der Batterie 60 A über 10 h entnommen werden können. Es gilt zu beachten, dass der zu entnehmende Strom über eine bestimmte Zeit nicht linear ist. Für abweichende Entladezeiten empfiehlt es sich, in das Datenblatt der Batterie zu sehen.

¹⁹ Website Hoppecke

- **Überbrückungszeit bei Bezugsprüflast**

Die Überbrückungszeit ist die Mindestdauer, welche bei einem Fehler der Eingangswechselstromversorgung eine beständige Versorgung der Last sicherstellt.

Die Überbrückungszeit wird grundsätzlich bei Aufnahmewirkleistung oder Aufnahmeleistung des Wechselrichters angegeben.

- **Wiederaufladezeit**

Als Wiederaufladezeit ist definiert, wie lange die Energiespeichereinrichtung bei vorhandener Ladeleistung im Normalbetrieb benötigt, um die vorausgesetzte Überbrückungszeit zu erreichen.

- **Umgebungstemperatur**

Die Temperatur in den die USV-Anlage verwendet wird, wird als Umgebungstemperatur deklariert. Die Temperatur ist ein wesentlicher Einflussfaktor hinsichtlich der Brauchbarkeitsdauer.

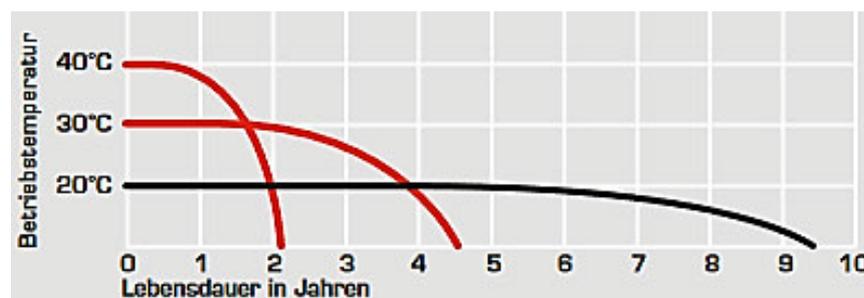


Abbildung 14: Batterie Lebensdauer in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur²⁰

In der oben angeführten Abbildung wurde eine Batterie mit einer Design life gemäß EUROBAT von > 9 Jahren definiert. Wird die Temperatur um 10 °C erhöht, so wird die Brauchbarkeitsdauer der Batterie circa halbiert.

Es empfiehlt sich, den Aufstellort der Batterieanlage entsprechend zu kühlen beziehungsweise zu beheizen.

- **Überlagerter Wechselstrom**

Werden 5 % der numerischen Kapazität von C10 überschritten, so muss der überlagerte Wechselstrom der Batterie im Normalbetrieb angegeben werden.

²⁰ Broschüre Design life gemäß EUROBAT

Ist die Installation ein Teil der USV-Anlagen-Installation, aber die Verkabelung oder der Schutz der Batterie werden nicht vom Hersteller oder Lieferanten durchgeführt, so müssen zusätzlich folgende Kennwerte bekannt gegeben werden:

- **Entladestrom**

Der Entladestrom muss sowohl bei Nennspannung und bei Versorgung der Bemessungslast angegeben werden. Er ist definiert als Strom, welcher die Batterie für einen bestimmten Zeitraum bereitstellen kann.

- **Bemessungswert Fehlergleichstrom**

Als Schutz gegen den elektrischen Schlag.

- **Empfehlung über den Spannungsabfall am Kabel**

- **Schutzanforderungen**

Für ortsfeste Batterieanlagen müssen Maßnahmen gegen das direkte und/oder indirekte Berühren von aktiven Bauteilen getroffen werden.

Schutzmaßnahmen gegen Berührungen sind in DIN EN IEC 60364-4-41 und IEC 61140 festgeschrieben.

Weiters kann vom Kunden noch zusätzlich die Information über die Art des Batterieladeverfahrens gefordert werden.

- **Batterieladeverfahren**

Hierzu zählen beispielsweise die Konstantspannungsladung, Konstantstromladung, Starkladefähigkeit, Ausgleichladefähigkeit oder die Zweistufenladung.

Grundsätzlich wird eine Batterie zuerst mit einem kleinem Ladestrom geladen. Die Batteriekapazität und die Spannung sind anfangs noch niedrig. Aufgrund des großen Innenwiderstandes wird ein hoher Ladestrom verhindert. Dieser Vorgang wird als Vorladen bezeichnet.

Im nächsten Schritt wird das sogenannte CC-Ladeverfahren gewählt. Ein fester Stromwert wird dadurch eingestellt. Da der Widerstandswert proportional zur Spannung zunimmt, kann mit einem höheren Strom geladen werden. Durch dieses Ladeverfahren werden Überstrom-Ladezustände verhindert.

Nun wird auf ein Ladeverfahren mit konstanter Spannung umgeschaltet. Das CV-Ladeverfahren wird verwendet, um ein Überladen der Batterie zu verhindern. Der Ladestrom ist anfangs hoch und nimmt allmählich ab.

Dieses Ladeverfahren wird als CC-CV-Ladeprofil oder I-U-Ladekennlinie bezeichnet und ist das häufig verwendete Ladeprofil.

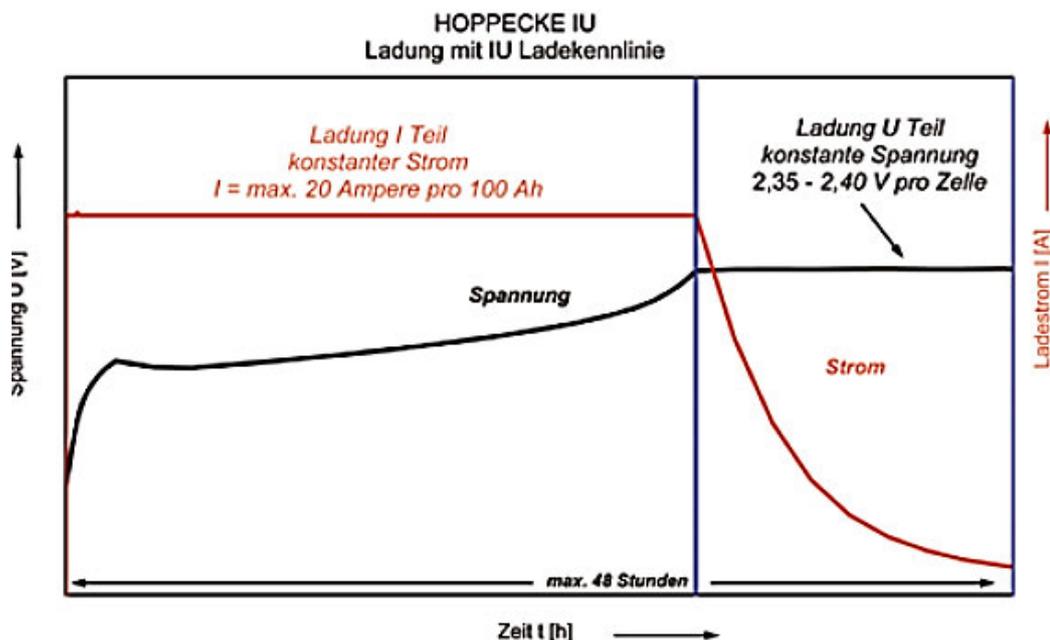


Abbildung 15: I-U-Ladekennlinie für geschlossene Blei-Säure-Batterie²¹

Die Ladung mit konstanter Spannung könnte nochmals auf zwei Spannungswerte aufgeteilt werden. Spannungswert eins wird auf den höheren Spannungswert der Starkladung ausgelegt. Es gilt zu beachten, dass nicht jede Batterie für eine Starkladung geeignet ist. Eine alternative Ladung zur I-U-Ladekennlinie ist die sogenannte W-Ladekennlinie. Nachteil dieser Ladekennlinie ist jedoch, dass die Ladespannungen je Zelle höher sind, der Wechselrichter möglicherweise aber nicht für ein solches Spannungsniveau ausgelegt ist.

Ist die Batterie bereits geladen, so wird diese grundsätzlich mit Erhaltungsladespannung geladen. Die Batterie wird mit konstanter Spannung geladen und es fließt ein geringer Strom. Vorteil der Erhaltungsladespannung ist, dass die Batterie nicht beeinträchtigt wird und eine mögliche Selbstentladung der Batterie verhindert wird.

Grundsätzlich gilt, dass das Laden mit einer höheren Spannung die Ladezeit der Batterie verkürzt. Allerdings gast die Batterie dadurch wesentlich mehr und die Lebensdauer wird eingeschränkt.

Weiters ist empfehlenswert, einen Temperatenausgleich der Ladespannungen zu berücksichtigen, sollte die Umgebungstemperatur außerhalb des empfohlenen Temperaturbereiches (empfehlenswert $10 \text{ }^\circ\text{C}$ bis $30 \text{ }^\circ\text{C}$) liegen. Die Ladezyklen und die damit verbundene Lebensdauer einer Batterieanlage kann sich ansonsten deutlich verringern.

²¹ Broschüre Hoppecke Montage, Inbetriebsetzungs- und Gebrauchsanleitung für geschlossene ortsfeste Blei-Säure-Batterien

- **Ladespannungen und Toleranzbereiche**

Die Ladespannungen und Toleranzbereiche sind abhängig von der gewählten Batterietechnologie.

Für Bleibatterien kann grundsätzlich folgende Spannungsniveau pro Zelle verwendet werden. Ein exakter Wert ist allerdings dem Batteriedatenblatt der gewählten Batterie zu entnehmen.

	Geschlossene Bleibatterie	Verschlossene Bleibatterie
Ladeerhaltungsspannung	2,23 V/Z	2,27 V/Z
Starkladespannung	2,4 V/Z	2,4 V/Z

Tabelle 7: Ladespannungen Bleibatterien

- **Abschaltspannung**

Die Abschaltspannung oder auch Entladeschlussspannung gibt den unteren Grenzwert der Spannung einer Zelle zur Tiefenentladung an. Wird die Abschaltspannung zu hoch eingestellt, so kann nicht die volle Kapazität aus der Batterie entnommen werden. Wird dieser Wert unterschritten, kann dies einen Schaden an der Zelle verursachen oder die Zelle komplett zerstört werden. Der genaue Wert ist dem Batteriedatenblatt zu entnehmen.

- **Ladestrombegrenzung**

Die Ladestrombegrenzung ist auf den maximalen Ladestrom eingestellt, welcher bei vollständig entladener Batterie fließen darf.

4.2 Kundenangaben

Der Kunde muss nur dann Werte bezüglich Batterieanlagen angeben, sollten diese von den Herstellerangaben abweichen oder strengere Kennwerte gefordert sein. Es gilt nationale und lokale Vorgaben hinsichtlich Verwendungszweck und Aufstellungsort zu berücksichtigen. Grundsätzlich wird meist eine geforderte Technologie in Verbindung der Brauchbarkeitsdauer und die Überbrückungszeit angegeben.

4.3 Anforderungen an den Standort

Sowohl bei verschlossenen, als auch bei geschlossenen Batterien werden beim Laden, unabhängig von der gewählten Ladespannung, Gase freigesetzt. Die Gase entstehen aufgrund der

Elektrolyse im Batterieinneren. Es muss davon ausgegangen werden, dass die Batterie bis zu 1 h nach dem Abschluss des Ladevorganges Gase freisetzt. Das freigesetzte Gas besteht sowohl aus Sauer- als auch Wasserstoff.

Um eine explosive Mischung in der Umgebungsatmosphäre zu verhindern, muss die Wasserstoffkonzentration 4 % Volumenanteil Wasserstoff in der Luft unterschreiten.²²

Die Belüftung des Aufstellstandortes muss diesen Grenzwert unterschreiten, um nicht als explosionsgefährdend eingestuft zu werden.

Vorzugsweise wird hierzu eine natürliche Lüftung, bestehend aus einer Zu- und Abluftvorrichtung, berücksichtigt. Der Mindestquerschnitt wird üblicherweise in cm² angegeben.

Ist eine natürliche Belüftung nicht ausreichend, so kann auch eine mechanische Lüftung berücksichtigt werden.

Die Zwangsbelüftung muss auf den benötigten Luftstrom ausgelegt werden. Dieser wird üblicherweise in m³/h angegeben. Bei einer mechanischen Belüftung ist es zwingend notwendig, dass diese mit dem Batterieladesystem gekoppelt ist, um bei einem Ausfall der mechanischen Belüftungsanlage auch die Batterieladung zu unterbrechen.

Es muss gewährleistet sein, dass die entzogene Luft aus dem Gebäude geblasen wird.

Die Durchflussmenge der Belüftung wird durch mehrere Kennwerte der gewählten Batterie charakterisiert und ist in der DIN EN IEC 62485-2 festgehalten.

Unter Berücksichtigung von sogenannten Rekombinationsstopfen auf der Batterie kann sich der benötigte Belüftungsfaktor im Raum reduzieren.

Da sich die Gaskonzentration auf den gesamten Raum bezieht und diese in unmittelbarer Nähe der Batterie den Wert übersteigen kann, gilt es, zusätzlich einen Sicherheitsabstand zu den Batterien einzuhalten.

Dieses sogenannte Fadenmaß gibt den Mindestabstand zu funkenbildenden oder glühenden Geräten an. Als glühende Geräte gelten Oberflächen mit einer maximalen Oberflächentemperatur von 300 °C.

Das Fadenmaß ist der Abstand, welcher sich über die Luft erstreckt. Türen oder andere Gegenstände verlängern beispielsweise das Fadenmaß, da dieses daran herum gemessen werden muss.²³

Unter der Berücksichtigung von Keramiktrichterstopfen kann das Fadenmaß gegebenenfalls verringert werden. Diese verhindern das Zünden des Gasgemisches in der Batteriezelle.

²² DIN EN IEC 62485-2

²³ DIN EN IEC 62485-2

Gilt die Batterie als Bestandteil des USV-Anlagen-Gehäuses so kann das Fadenmaß deutlich unterschritten werden, wenn die Wasserstoffkonzentration 1 % Volumenanteil Wasserstoff in der Luft nicht überschreitet.

Grundsätzlich müssen Batterien in geschützten Räumlichkeiten für Elektrik aufgestellt werden.

Hierzu zählen etwa:

- Separate Batterieräume
- Speziell abgetrennte Räume für die Elektrik
- Gehäuse innerhalb oder außerhalb von Gebäuden
- Batteriefach in der zugehörigen Anlage

Des Weiteren muss gewährleistet werden, dass bei den oben angeführten Räumlichkeiten folgende Gefährdungen berücksichtigt werden:

- Äußere Gefahren;
Zum Beispiel Wasser, Feuer, Ungeziefer, Schwingungen
- Gefahren ausgehend von der Batterie;
Zum Beispiel Explosionsgefahr, auslaufendes Elektrolyt, Korrosion, Erdschluss, hohe Spannung
- Zutritt von unbefugtem Personal
- Gefahren durch extreme Umwelteinflüsse;
Zum Beispiel Luftverschmutzung, Temperatur, Feuchte

5 Sonderanwendungen für unterbrechungsfreie Stromversorgungen

5.1 Medizinisch genutzte Bereiche

Zusätzliche Stromversorgungsanlagen, kurz ZSV-Anlagen, werden meist in Kombination mit Dieselaggregaten als Sicherheitsversorgung ausgeführt. Krankenhäuser sind grundsätzlich mit mindestens zwei zusätzlichen Stromquellen auszustatten.

Die Eckdaten für die Auslegung von batteriegestützten zentralen Stromversorgungssystemen für Sicherheitszwecke zur Versorgung medizinisch genutzter Bereiche wird in der DIN VDE 0558-507 festgehalten.

Ein medizinisch genutzter Bereich ist gemäß Norm als Bereich, der für Zwecke der Diagnose, Behandlung, Überwachung und Pflege von Patienten vorgesehen ist.²⁴

Hierzu zählen beispielsweise:

- Krankenhäuser und Kliniken
- Sanatorien und Kurkliniken
- Senioren- und Pflegeheime
- Ärztehäuser, Polikliniken und Ambulatorien
- Arztpraxen und Dentalpraxen
- Sonstige ambulanten Einrichtungen, beispielsweise Betriebs-, Sport- und ähnliche Ärzte²⁵

Als grundlegendes Ziel gilt es, lebensnotwendige Geräte, wie beispielsweise in einem Operationssaal, im Falle eines Stromausfalles uneingeschränkt nutzen zu können.

Genauer erklärt zählen hierzu Geräte, welche zur Diagnose, Überwachung, Behandlung oder zur Kompensation oder Linderung einer Krankheit, Behinderung oder Verletzung eines Patienten bestimmt sind.

Sowohl Menschen als auch Tiere, die in medizinischer, zahnmedizinischer oder chirurgischer Behandlung sind, werden als Patient bezeichnet.

²⁴ DIN VDE 0558-507

²⁵ DIN VDE 0558-507

Eine ZSV-Anlage muss für eine der folgenden Betriebsarbeiten ausgelegt sein:

- Dauer- oder Bereitschaftsparallelbetrieb;
Die Umschaltung muss unterbrechungslos erfolgen.
- Umschaltbetrieb mit Unterbrechungszeit;
Die Unterbrechungszeit muss an die Kundenanforderung angepasst werden. Meist werden standardmäßig vom Hersteller Unterbrechungszeiten von maximal 0,5 s angegeben.

Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass eine ZSV-Anlage in Ihrer Funktion einer USV-Anlage entspricht. Es müssen allerdings weitaus detailliertere Anforderungen erfüllt werden.

Unter anderem müssen die Feuerfestigkeit und eine getrennte Verlegung der Kabel bereits vor Inbetriebnahme gewährleistet werden.

Abweichend zu der USV-Anlage muss eine Erdschlussüberwachung zur Erfassung eines Erdschlusses von einem der Batteriepole gegen Erde berücksichtigt werden. Die Erdschlussüberwachung muss halbjährlich geprüft werden.

Die Überbrückungszeit der Batterieanlage ist grundsätzlich für eine Mindestbetriebsdauer von drei Stunden ausgelegt. Der sogenannte 3-6-3 Betrieb ermöglicht nach einer Ladedauer von 6 h eine erneute Mindestbetriebsdauer von 3 h im Batteriebetrieb.

5.2 Bahnstromversorgung

Sowohl bei den deutschen als auch bei den österreichischen Bundesbahnen werden USV-Anlagen eingesetzt, welche zusätzlich zum 50 Hz Gleichrichter, welche aus dem öffentlichen Netz versorgt werden, aus dem 1-phasigen Bahnnetz mit 16 2/3 Hz versorgt werden. Um vorzugsweise die Energie aus dem Bahnnetz zu beziehen, wird die Ausgangsspannung des Gleichrichters 2 etwas höher als die Ausgangsspannung des Gleichrichters 1 eingestellt. Die Toleranzen der Zwischenkreisspannung müssen berücksichtigt werden.

Sollte das Bahnnetz ausfallen, wird die USV-Anlage und die Last über den Gleichrichter 1 versorgt und der Energiespeicher geladen. Da die Last mit einem 50 Hz Netz betrieben wird, wird als Umgehungsnetz das öffentliche Netz verwendet.

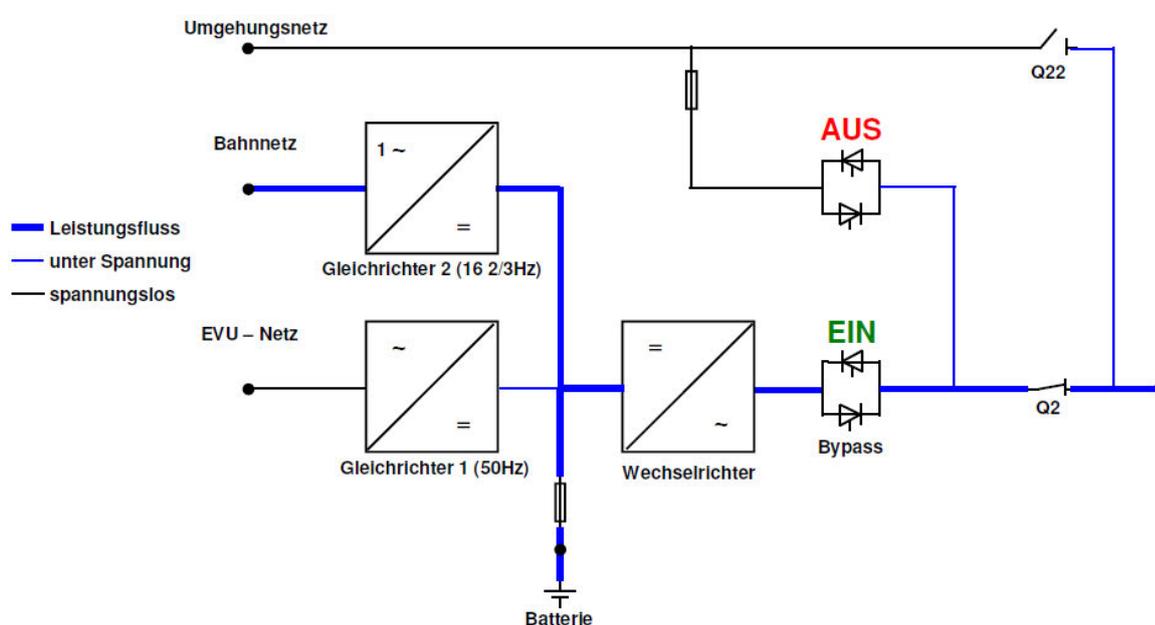


Abbildung 16: Betriebsart Bahnnetzbetrieb²⁶

²⁶ Schulungsunterlagen Gustav Klein GmbH & Co KG

Literaturverzeichnis

Ausfalls- und Störungsstatistik Österreich 2022: URL: <https://www.e-control.at/documents/1785851/1811582/Strom-AuSS-Veroeffentlichung-2022-fuer-Berichtsjahr-2021.pdf/bd965c19-d8f2-926f-b715-3b7c351ac75e?t=1663220603901>

DIN EN IEC 62040-2 VDE 0558-530:2022-10: Unterbrechungsfreie Stromversorgungssysteme (USV), Stand 10.2022

OBERST GOTTFRIED PAUSCH: Blackout und seine Folgen; Fallstudie November 2017

Was tun im Störfall: URL: <https://www.energieag.at/Privat/Services/Stoerungen>

Wechselstromkreis:

URL: <https://www.studysmarter.de/schule/physik/elektrizitaetslehre/wechselstromkreis/>

Dynamische USV-Anlagen:

Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie (ZVEI) e.V.; Broschüre August 2001

Unterbrechungsfreie Stromversorgung:

URL: <https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=26419&Sprache=en-US>

DIN EN IEC 62485-2:2018 VDE 0510-485-2: Sicherheitsanforderungen an Sekundär-Batterien und Batterieanlagen Teil 2: Stationäre Batterien, Stand 04.2019

Elektrizitätstechnologien & -anwendung:

URL: <https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=26419&Sprache=en-US>

Sichere Stromversorgung und Blackout-Präventionen

URL: <https://www.apg.at/stromnetz/sichere-stromversorgung/>

Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz

URL: <https://www.blackout-simulator.com/>

B&W Richtlinien zur Auslegung von US-Anlagen

URL: http://www.b-w.at/upload-bw/auslegung_usv_anlagen.pdf

Procom Fachwissen USV

URL: <https://www.procom-usv.de/Fachwissen>

Broschüre Industrie USV-Anlagen, Stand 2019

URL: <https://www.gustav-klein.com/wp-content/uploads/2023/03/usv-anlagen.pdf>

Broschüre Energieabsicherung im Rechenzentrum durch modulare USV-Anlagen, Stand 2005

VIII

URL: https://www.rittal.de/downloads/rimatrix5/power/White%20Paper%20USV_05.pdf

DIN EN IEC 60529:2000-09 VDE 0470-1: Schutzarten durch Gehäuse: Stand 09.2014

Broschüre Designlife gem. EUROBAT

URL: https://www.ase-kaarst.de/upload/flippingbook/2017_ASE_Batterien/files/assets/common/downloads/page0043.pdf

Broschüre Montage-, Inbetriebsetzungs- und Gebrauchsanleitung für geschlossene ortsfeste Blei-Säure-Batterien

URL: https://www.hoppecke.com/fileadmin/Redakteur/Hoppecke-Main/Products-Import/vl_manual_de.pdf

avaseco USV-Systeme

URL: <https://www.avesco.ch/produkte/liste/152-usv-systeme>

DIN VDE 0558-507: Batteriegestützte zentrale Stromversorgungssysteme (BSV) für Sicherheitszwecke zur Versorgung medizinisch genutzter Bereiche

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Untermarkersdorf, den 08.11.2023

A large black rectangular redaction box covering the signature area. A small blue mark is visible below the box.