



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Schlussbericht 29. Januar 2010

---

# **Rotierende USV-Anlagen und dynamische Energiespeicherung**

Vergleich der statischen mit rotierenden USV-  
Anlagen und Vergleich der dynamischen  
Energiespeicherung mit Batterieanlagen

---

**Auftraggeber:**

Bundesamt für Energie BFE  
Forschungsprogramm Elektrizitätstechnologien & -anwendungen  
CH-3003 Bern  
[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

**Kofinanzierung:**

keine

**Auftragnehmer:**

Schnyder Ingenieure AG  
Bösch 23  
CH-6331 Hünenberg  
[www.schnyderingenieure.ch](http://www.schnyderingenieure.ch)

**Autoren:**

Peter Mauchle, Schnyder Ingenieure AG, peter.mauchle@sing.ch  
Gilbert Schnyder, Schnyder Ingenieure AG, gilbert.schnyder@sing.ch

**BFE-Bereichsleiter:** Dr. Michael Moser

**BFE-Programmleiter:** Roland Brüniger

**BFE-Vertrags- und Projektnummer:** 153634 / 102828

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

## INHALTSVERZEICHNIS

Zusammenfassung .....	5
Resumé.....	5
Abstract.....	6
1 Ausgangslage .....	7
2 Rotierende USV-Anlagen .....	7
2.1 Dieseldynamische USV-Systeme .....	7
2.1.1 Aktueller Entwicklungsstand der dieseldynamischen USV-Anlagen .....	7
2.1.2 Anwendungsbereiche der dieseldynamischen USV-Systeme .....	10
2.1.3 Technische Daten von dieseldynamischen USV-Anlagen.....	13
2.2 USV-Anlagen mit dynamischen Speichern .....	15
2.2.1 Aktueller Entwicklungsstand der USV-Anlagen mit dynamischen Speichern .....	15
2.2.2 Anwendungsbereiche der USV-Anlagen mit dynamischen Speichern.....	16
2.2.3 Technische Daten von dynamischen Energiespeichern.....	19
2.2.4 Vergleich der dynamischen Energiespeicher mit den Batterieanlagen.....	19
2.2.5 Vergleich der USV-Anlagen mit dynamischen Energiespeichern mit USV-Anlagen mit Batterien bezüglich der Qualität und dem Energieverbrauch mittels Q/E- Matrix .....	20
2.2.6 Ergänzungsblatt Speicher zur Q/E-Matrix.....	20
2.2.7 Lebenszykluskosten von USV-Anlagen mit dynamischen Energiespeichern und von USV-Anlagen mit den Batterien .....	21
2.2.8 Sicherheitsaspekte für rotierende und statische USV-Anlagen.....	22
3 Kriterien für die Anwendung von rotierenden oder statischen USV-Anlagen.....	24
3.1 Entscheidungskriterien Übersicht .....	24
3.2 Start Bestimmung der Art der USV-Anlage .....	26
3.3 Kriterien zur Anwendungen der dieseldynamischen USV-Anlagen.....	26
3.4 Kriterien zur Anwendung von USV-Anlagen mit dynamischen Energiespeichern oder Batterien.....	28
3.5 Kriterien für die Betriebsart.....	29
4 Referenzen.....	30

5	Beilagen.....	31
5.1	Beilage 1: Q/E-Matrix von USV-Anlagen mit dynamischen Speichern und Batterieanlagen	31
5.2	Beilage 2: Ergänzungsblatt Speicher zur Q/E-Matrix.....	35
5.3	Beilage 3: Lebenszykluskosten von USV-Anlagen mit dynamischen Speichern und Batterieanlagen.....	36

## ZUSAMMENFASSUNG

Als Alternative zu den statischen USV-Anlagen können rotierende USV-Anlagen eingesetzt werden. Die Einsatzbereiche und der Aufbau der rotierenden USV-Anlagen weichen von denjenigen für statische USV-Anlagen ab. Bei den rotierenden USV-Anlagen ist zudem zu unterscheiden, ob die USV-Anlage gesamthaft als dieseldynamische USV-Anlage, ab Leistungen von 400 kVA, realisiert ist oder ob sich der dynamische Anlagenteil auf die Energiespeicherung beschränkt, ab Leistungen von 60 kVA.

Die dieseldynamischen USV-Anlagen setzen sich zusammen aus einer Synchronmaschine, einer Asynchronmaschine mit Schwungrad, respektive einem kinetischen Modul und dem Dieselmotor. Der Anschluss an das Niederspannungsnetz der kritischen Verbraucher erfolgt mittels Drossel und der entsprechenden Schaltanlage. Der Einsatz einer dieseldynamischen USV-Anlage ist optimal, wenn er mit dem Betrieb eines Notstromnetzes gekoppelt werden kann.

Mit dem Einsatz von dynamischen Energiespeichern können Batterieanlagen vermieden, reduziert oder deren Lebensdauer verlängert werden. Ein Verzicht auf eine Batterieanlage ist nur möglich, wenn die geforderte Autonomiezeit der USV-Anlage weniger als zwei Minuten beträgt. Wird eine Autonomiezeit länger als 2 Minuten gefordert, so müssen für die Energiespeicherung Batterien eingesetzt werden. Dabei ist eine Parallelschaltung eines dynamischen Energiespeichers zu den Batterien sinnvoll, denn dadurch werden kurzzeitige Spannungseinbrüche oder Netzausfälle vom dynamischen Energiespeicher übernommen. Dies hat zur Folge, dass die Anzahl der Lade- und Entladezyklen der Batterien reduziert und somit die Lebensdauer der Batterien verlängert werden kann.

Der Einsatz für eine dynamische oder statische USV-Anlage ist abhängig von den Anforderungen der versorgten Verbraucher. Unter Berücksichtigung verschiedener Kriterien kann für die jeweilige Anwendung der optimale Typ einer USV-Anlage gefunden werden.

## RESUMÉ

Pour l'alternative d'un système statique ASI on peut utiliser un système rotatif ASI. L'utilisation et la structure d'un système rotatif ASI sont différents de ceux des systèmes statiques ASI. En outre on doit vérifier les systèmes rotatifs ASI, si le système ASI complètement est réalisé avec un moteur diesel, pour système ASI plus de 400 kVA, ou si le système ASI partiellement est réalisé avec un stockage d'énergie dynamique, pour système ASI plus de 60 kVA.

Les systèmes ASI diesel dynamique sont assemblés d'une machine synchrone, d'une machine asynchrone avec un volant, respectivement d'un module cinétique et d'un moteur diesel. Le raccordement au réseau de basse tension des consommateurs critique est réalisé avec une

inductance et les disjoncteurs. L'application d'un système diesel dynamique ASI est optimale, si le système est couplé avec un réseau d'énergie électrique de secours.

Avec l'application d'un stockage d'énergie dynamique on peut éviter des installations de la batterie d'accumulateurs ou on peut prolonger la durée des batteries. Il est seulement possible à éviter la batterie, si la durée d'autonomie nécessaire du système ASI est moins que deux minutes. Si l'autonomie doit durer plus de 2 minutes, des batteries d'accumulateurs sont nécessaires. Un montage de stockage d'énergie dynamique en parallèle avec les batteries d'accumulateurs est judicieux, parce qu'en cas des brèves chutes de tension ou des pannes d'alimentation sont réglées par le stockage d'énergie dynamique. Le résultat est, que le nombre de cycle de charger et de décharger des batteries d'accumulateurs sont diminués et par conséquent sa durée de vie sera être prolongé.

L'utilisation d'un système ASI rotatif ou statique est dépendante de la demande des consommateurs alimentés. En tenant compte de divers critères il peut être trouvé pour chaque application spécifique le type optimal d'ASI.

## ABSTRACT

As an alternative to the static UPS-Systems rotating UPS-Systems can be applied. The application and the realisation of rotating UPS-Systems are different to the one of static UPS-Systems. Furthermore at the rotating UPS-Systems is to distinguish, if the UPS-System is realised as a diesel dynamic UPS-System, with an activity up from 400 kVA, or if the dynamic part is limited to the energy storage, with an activity up from 60 kVA.

The diesel dynamic UPS-Systems are composed of a synchronous machine, an asynchronous machine with a flywheel, respectively a kinetic module and the diesel engine. The connection to the critical user at the low voltage network occurs using an inductor and the accordant switchgears. The application of a diesel dynamic UPS-System is optimal, when it can be connected with an emergency power supply.

With the realisation of dynamic energy storages battery systems can be avoided respectively can be reduced or the lifetime of batteries can be extended. It is only possible to avoid the batteries, if the requested autonomous time of the UPS-System is shorter than two minutes. Is an autonomous time more than 2 minutes necessary, battery systems have to be realised for the energy storage. Thereby dynamic energy storage in parallel to the battery system is useful, because the dynamic energy storage will compensate temporary voltage drops or short power failures. In this way the number of charge and discharge cycles of the battery system will be reduced and therefore the lifetime of the battery will be extended.

The use of a dynamic or static UPS system is dependent on the requirements of the powered load. Taking into account various criteria it can be found for each specific application the optimal type of UPS system.

# 1 AUSGANGSLAGE

Als Alternative zu den statischen USV-Anlagen können rotierende USV-Anlagen eingesetzt werden. Die Einsatzbereiche und der Aufbau der rotierenden USV-Anlagen weichen von denjenigen für statische USV-Anlagen ab. Bei den rotierenden USV-Anlagen ist zudem zu unterscheiden, ob die USV-Anlage gesamthaft als dynamische Anlage realisiert ist oder ob sich der dynamische Anlagenteil auf die Energiespeicherung beschränkt. In einem Vergleich der rotierenden mit den statischen USV-Anlagen und einem Vergleich der dynamischen Energiespeicherung mit Batterieanlagen sollen die Einsatzbereiche sowie die Vor- und Nachteile dieser unterschiedlichen Technologien aufgezeigt und beurteilt werden.

## 2 ROTIERENDE USV-ANLAGEN

### 2.1 Dieseldynamische USV-Systeme

#### 2.1.1 Aktueller Entwicklungsstand der dieseldynamischen USV-Anlagen

Die dieseldynamischen USV-Systeme bestehen gemäss Abbildung 1 aus den Hauptkomponenten Dieselmotor, elektromagnetische Kupplung, kombinierte Elektromaschine bestehend aus einer Synchronmaschine und einem kinetischen Modul für die Energiespeicherung. Das kinetische Modul besteht aus einer Asynchronmaschine mit einem inneren und einem äusseren Rotor. Weitere Bestandteile einer dieseldynamischen USV-Anlage sind der Leistungsschrank mit den Leistungsschaltern sowie der Steuerschrank.

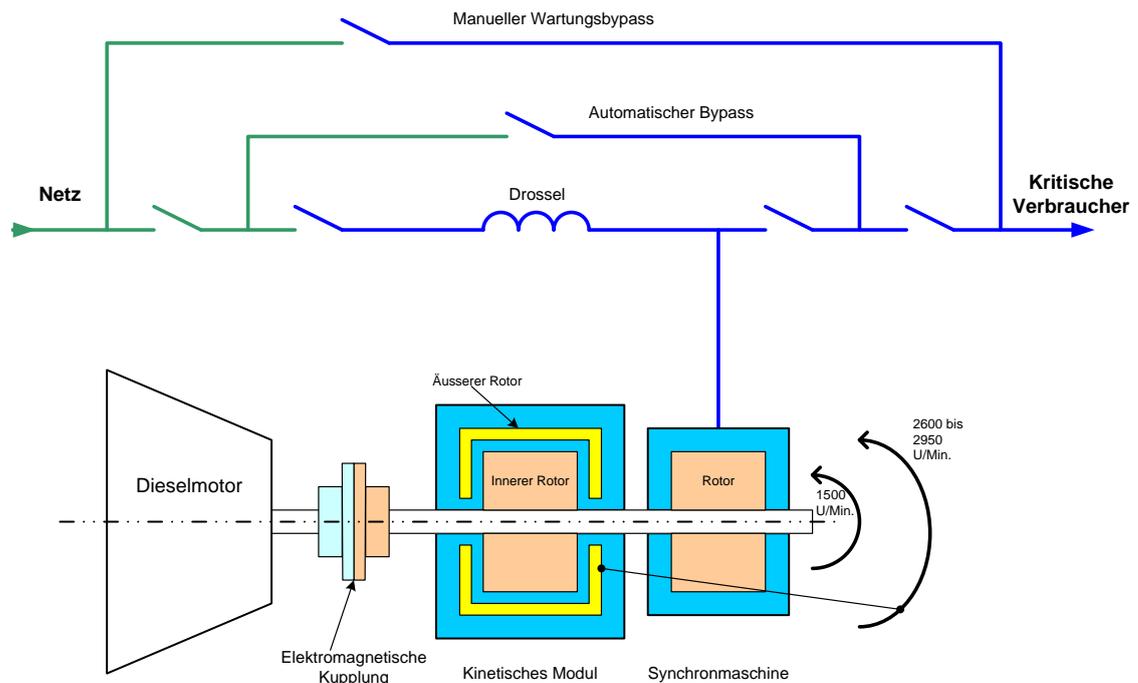


Abbildung 1: Prinzipielle Darstellung eines dieseldynamischen USV-Systems

Einfachere Ausführungen von dieseldynamischen USV-Anlagen sind anstelle des kinetischen Moduls lediglich mit einem Schwungrad ausgestattet. Dadurch verringert sich bei gleichen Abmessungen der Anlage die Kapazität zur Speicherung der Rotationsenergie.

### **Normalbetrieb bei vorhandener Netzspannung**

Im Normalbetrieb bei vorhandener Netzspannung speist das Netz die kritischen Verbraucher über die Netzdrosseln. Die Synchronmaschine des USV-Systems läuft im Motorbetrieb im Leerlauf mit. Die gemeinsame Welle der Synchron- und Asynchron-Maschine dreht mit der Nenndrehzahl 1500 U/min, während das kinetische Modul durch entsprechende Erregung auf eine höhere Drehzahl zwischen 2600 und 2950 U/min beschleunigt und gehalten wird. Da die Welle und das kinetische Modul gleichsinnig drehen, beträgt die relative Drehzahl des äusseren Rotors des kinetischen Moduls zur Welle max. 1450 U/min.

Während dieses Normalbetriebs, der im Allgemeinen 99,9 % der Betriebszeit ausmacht, trägt das dieseldynamische USV-System wesentlich zur Verbesserung der Spannungsversorgung der kritischen Verbraucher bei. Die Verbesserung der Netzqualität für die kritischen Verbraucher betrifft folgende Punkte:

- 1) Überbrückung kurzzeitiger Spannungsunterbrechungen  
Alle kurzzeitigen Spannungsunterbrechungen < 50 ms Dauer werden ohne Starten des Dieselmotors durch das System überbrückt, selbst bei 100% Last.
- 2) Regelung der Ausgangsspannung  
Wenn die Netzspannung schwankt, regelt der elektronische Spannungsregler den Erregerstrom der Synchronmaschine derart, dass die Ausgangsspannung innerhalb einer Toleranz von  $\pm 1\%$  des Sollwertes gehalten wird. Bei einer Abweichung der Netzspannung um mehr als  $\pm 10\%$  vom Sollwert wird der netzseitige Schalter geöffnet und der Dieselmotor gestartet, d.h. der Netzersatzbetrieb beginnt.
- 3) Blindleistungsregelung  
Durch Übererregung des Synchronmotors kann die reaktive Leistung der kritischen Verbraucher kompensiert werden, so dass der am Netz gemessene Leistungsfaktor nahe 1.0 liegt. Dadurch entfallen allfällig notwendige aufwändige kapazitive Blindleistungskompensationsanlagen bei den kritischen Verbrauchern.
- 4) Ausfilterung von transienten Vorgängen  
Die Kombination der Drossel und der Synchronmaschine wirkt für transiente Vorgänge und für Oberwellen als Filter zwischen dem Netz und den kritischen Verbrauchern. Einerseits wird die kritische Last vor Störungen aus dem Netz geschützt, wie z.B. Überspannungen aufgrund von Blitzschlag oder Schaltvorgängen und Spannungsoberwellen. Dank der Filtereigenschaft von Drossel und Synchrongenerator werden auch in einem stark gestörten Netz die kritischen Verbraucher mit einer hohen Spannungsqualität versorgt.  
Andererseits werden transiente Lastschwankungen, verursacht durch Motorenanlauf oder Kurzschlüsse sowie die durch nichtlineare Verbraucher erzeugten harmonischen Stromoberwellen durch das USV-System ausgefiltert. Die Netzurückwirkungen der kritischen Verbraucher werden dadurch stark verringert.

Die aufgeführten Verbesserungen der Netzqualität für die kritischen Punkte werden auch mit den statischen USV-Anlagen mit Batteriespeicher erreicht.

Da beim Normalbetrieb mit vorhandener Netzspannung die von den Verbrauchern aufgenommene Energie im Vergleich zu den statischen USV-Anlagen lediglich durch die Netzdrössel fließt, beträgt der Wirkungsgrad der dieseldynamischen USV-Systeme abhängig von der Art der Maschine zwischen 93 % und 96.4 %. Dieser Wirkungsgrad ist tendenziell höher als derjenige von Doppelwandler USV-Anlagen.

### **Netzersatzbetrieb bei Netzstörungen (> 50 ms)**

Im Normalbetrieb bei vorhandener Netzspannung steht der Dieselmotor still, da die Kupplung zur Hauptwelle mit der Synchronmaschine und dem kinetischen Modul geöffnet ist.

Sobald das dieseldynamische USV-System eine Netzstörung > 50 ms erkennt, wird der netzseitige Schalter geöffnet. Gleichzeitig wechselt die bisher im Motorbetrieb laufende Synchronmaschine in den Generatorbetrieb, während die Steuerung im kinetischen Modul die induktive Kopplung zwischen der Hauptwelle mit innerem Rotor und dem äusseren Rotor regelt. Die Versorgung der kritischen Verbraucher ist damit ohne kritische Spannungsschwankungen sichergestellt, d.h. die Spannungsschwankungen betragen weniger als 5 % und Frequenzschwankungen weniger als 1 %.

Beim Öffnen des netzseitigen Schalters wird ebenfalls gleichzeitig der Dieselmotor gestartet. Ungefähr eine Sekunde später schliesst die elektromagnetische Kupplung sukzessiv und stellt die mechanische Verbindung zwischen der Antriebswelle des Dieselmotors und der Hauptwelle der Synchronmaschine her. Nach Erreichen der Nenndrehzahl wird die Drehzahl des Dieselmotors durch die elektronische Drehzahlregelung konstant gehalten. Der Dieselmotor liefert nun die mechanische Leistung, die der Wirkleistung der zu versorgenden Verbraucher entspricht.

Während der Startphase wurde die für die Verbraucher benötigte Energie aus dem kinetischen Modul entnommen und dadurch die Drehzahl des äusseren Rotors reduziert. Nach der Startphase, d.h. sobald der Dieselmotor die geforderte mechanische Leistung erzeugt, wird der äussere Rotor des kinetischen Moduls allmählich wieder auf die Solldrehzahl von 2950 U/min beschleunigt.

Sobald die Netzspannung wieder im Toleranzband liegt, und unter der Voraussetzung, dass das kinetische Modul wieder seine Solldrehzahl erreicht hat, wird das Aggregat, inkl. der kritischen Last mit dem Netz synchronisiert. Ist die Netzsynchronität hergestellt, wird der netzseitige Schalter geschlossen und die elektromagnetische Kupplung geöffnet. Das dieseldynamische USV-System kehrt in den Normalbetrieb zurück. Anschliessend läuft der Dieselmotor noch einige Zeit im Leerlauf weiter, um vor dem endgültigen Stillstand abzukühlen.

Die Erfahrung bei normalen Diesel-Generator-Sätzen hat gezeigt, dass der Startkreis ein Schwachpunkt einer Netzersatzanlage sein kann. Bei einem Ausfall der Starterbatterie oder des Anlassers ist ein Dieselmotorbetrieb nicht mehr möglich. Die dieseldynamischen USV-Systeme können diesen Schwachpunkt mit einer redundanten Startsequenz ausschalten. Auch im Falle, wenn der Dieselmotor nach dem Öffnen des netzseitigen Schalters nicht an-

läuft, schliesst die Kupplung zwischen dem Dieselmotor und der Hauptwelle. Das kinetische Modul reisst dadurch den Dieselmotor hoch und erzwingt damit das Starten. Diese forcierte Startsequenz kann gelegentlich vorkommen und schadet weder der Kupplung noch dem Dieselmotor.

## 2.1.2 Anwendungsbereiche der dieseldynamischen USV-Systeme

Die dieseldynamischen USV-Systeme können als redundante Anlagen, im Parallelbetrieb für hohe Gesamtleistungen und auch zur Versorgung von nicht kritischen Notstromverbrauchern eingesetzt werden.

### Redundante Anlagen

Die dieseldynamischen USV-Systeme lassen sich so kombinieren, dass sie eine redundante Anlage bilden, so wie in Abbildung 2 dargestellt. Bei dieser Art von Anlage kann das redundante System zu jedem Zeitpunkt eines der anderen Systeme ersetzen.

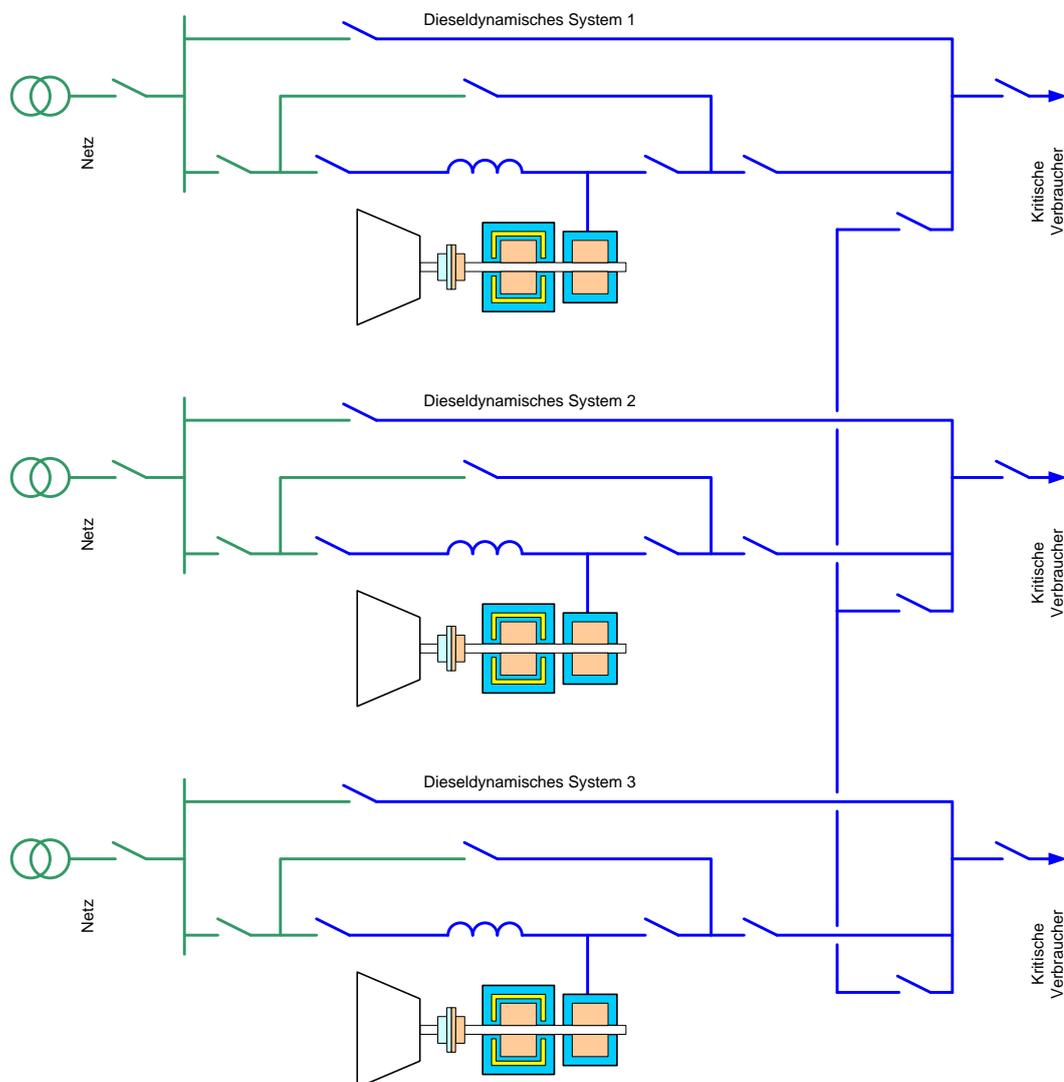


Abbildung 2: Redundante dieseldynamische USV-Systeme

## Parallelbetrieb für hohe Gesamtleistungen

Die dieseldynamischen USV-Systeme können für hohe Gesamtleistungen auch parallel betrieben werden gemäss Abbildung 3. Durch diese Anordnung kann die installierte Gesamtleistung für die kritischen Verbraucher auch das Mehrfache der Einzelleistung eines Systems betragen. Zudem kann durch ein zusätzliches USV-System auf insgesamt  $n+1$  eine Redundanz hergestellt werden, wodurch jeweils eins der effektiv erforderlichen  $n$  Systeme durch das System  $n+1$  aufgefangen werden kann.

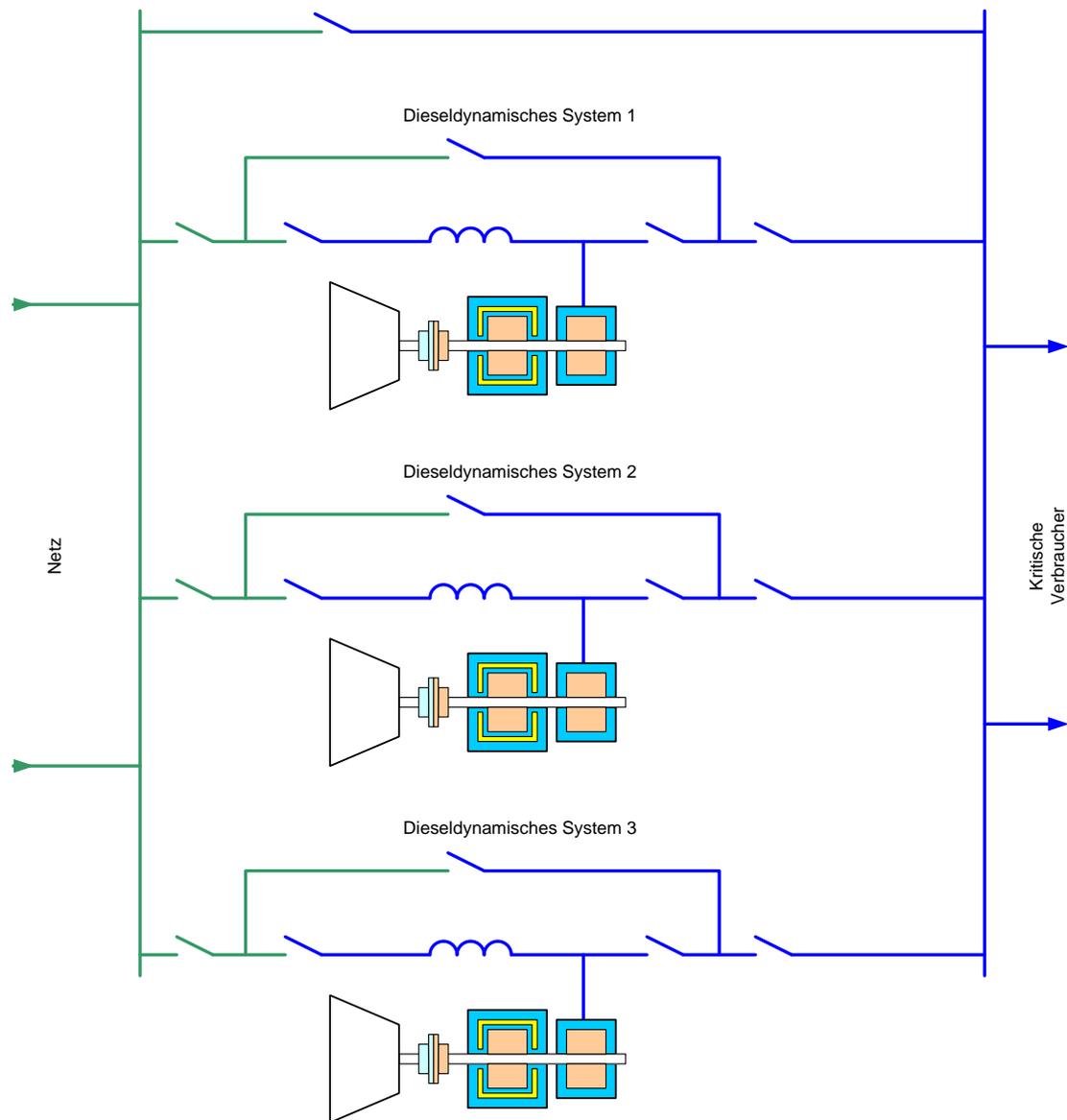


Abbildung 3: Dieseldynamische USV-Systeme im Parallelbetrieb für hohe Gesamtleistungen

## Versorgung von kritischen Verbrauchern und Notstromverbrauchern

Werden die Synchronmaschine und das Dieselaggregat grösser ausgelegt, als dies lediglich zur Versorgung der kritischen Verbraucher erforderlich wäre, so können neben den kritischen Verbrauchern auch Notstromverbraucher gemäss Abbildung 4 versorgt werden. Die kritischen Verbraucher werden dabei bei einem Ausfall des Netzes nach wie vor unterbrechungsfrei versorgt. Die Notstromverbraucher, die keine kritischen Verbraucher enthalten, werden hingegen nach einer kurzzeitigen Unterbrechung wieder versorgt. Dies erspart allenfalls ein zusätzliches Notstromaggregat für die Aufrechterhaltung der Versorgung bei einem lang andauernden Netzausfall. Damit das dieseldynamische System im Vergleich zu den kritischen Verbrauchern nicht zu gross ausgelegt und somit unwirtschaftlich wird, sollte die maximale zusätzliche Notstromleistung nicht grösser als diejenige der kritischen Last sein.

Mit dieser Anwendung der dieseldynamischen USV-Systeme ist es möglich, mit einer einzigen Maschine ein vollständiges Rechenzentrum zu versorgen, d.h. die Rechner als kritische Verbraucher sowie die Infrastruktur wie die Klimaanlage und die Beleuchtung als Notstrom berechnete Anlagen.

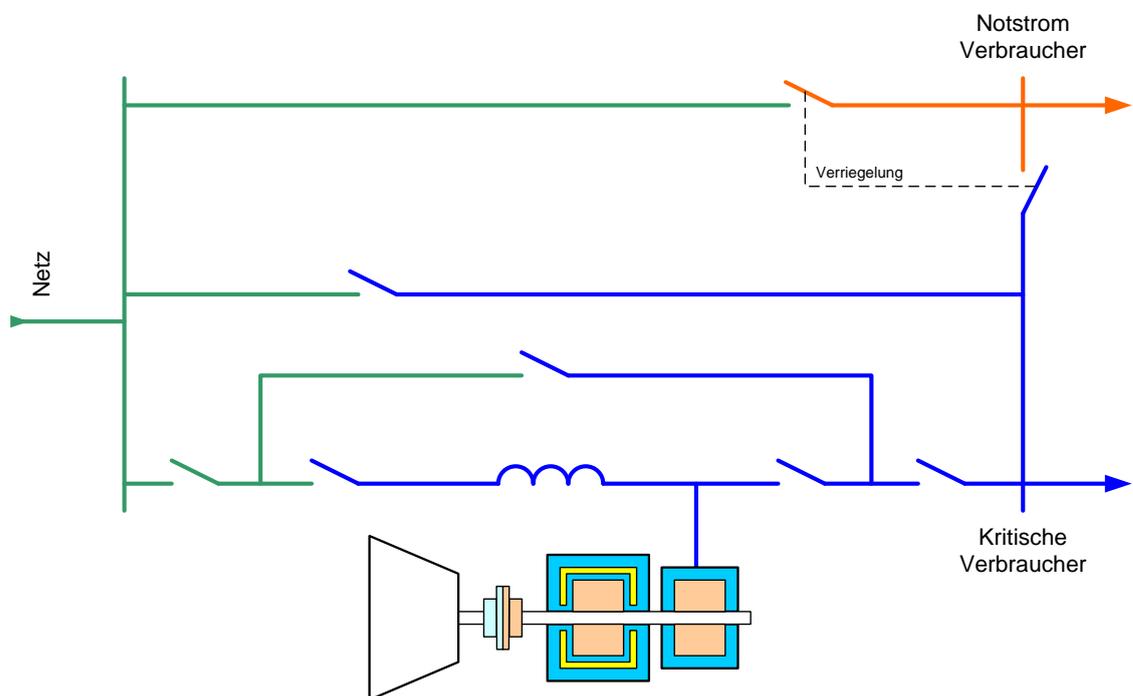


Abbildung 4: Dieseldynamische USV-Systeme mit kritischen Verbrauchern und Notstromverbrauchern

### 2.1.3 Technische Daten von dieseldynamischen USV-Anlagen

#### Leistungsbereich

Der Leistungsbereich der dieseldynamischen USV-Anlagen reicht von 400 kVA bis 1'250 kVA. Durch Parallelschaltung von USV-Anlagen kann die Leistung nach Bedarf erhöht werden. Die Dauer zur Überbrückung eines Netzausfalls, d.h. die mögliche Dauer des Notstrombetriebes ist lediglich abhängig vom Vorrat an Treibstoff für den Dieselmotor.

Im Folgenden sind typische technische Daten von dieseldynamischen USV-Anlagen aufgeführt:

#### Spannung

• Spannungsschwankungen im Normalbetrieb		+/- 1%
• Maximale dynamische Spannungsschwankungen bei		
- 10 % Laständerung		+/- 1%
- 50 % Laständerung		+/- 3%
- 100 % Laständerung		+/- 5%
• Maximale transiente Spannungsänderung bei		
- Netzausfall		+/- 5%
- Netzurückschaltung		+/- 1%
• Spannungsabweichung bei 25 % Schiefllast	max.	+/- 2%

Tabelle 1: Typische Daten von dieseldynamischen USV-Anlagen – Spannung

#### Phasenwinkel

• Phasenwinkel zwischen den 3 Phasen bei symmetrischer Last		120° +/- 0°
• Phasenwinkel zwischen den 3 Phasen bei 25 % Schiefllast		120° +/- 1°

Tabelle 2: Typische Daten von dieseldynamischen USV-Anlagen – Phasenwinkel

#### Frequenz

• Statische Frequenzabweichung bei Dieselbetrieb	max.	+/- 0.2%
• Maximale dynamische Frequenzschwankungen bei		
- 10 % Laständerung		+/- 0.5%
- 50 % Laständerung		+/- 1%
• Maximale dynamische Frequenzänderung bei		
- Netzausfall und 100% der Verbraucherlast		+/- 1%
- Netzurückschaltung		+/- 0.2%

Tabelle 3: Typische Daten von dieseldynamischen USV-Anlagen – Frequenz

### Wirkungsgrad, Überlast, Oberwellen, Kurzschluss

• Wirkungsgrad im Normalbetrieb	abhängig von der Baugrösse	93% bis 96.4%
• Zulässige Überlastungen während		
- 1 Stunde bei Netzbetrieb		10%
- 10 Minuten bei Netzbetrieb		25%
- 2 Minuten bei Netzbetrieb		50%
- 1 Stunde bei Dieselbetrieb		10%
• Oberwellengehalt der Generatorspannung bei linearer Last	max.	2%
• Kurzschlussströme bei		
- netzseitigem Kurzschluss		3 In
- lastseitigem Kurzschluss		12 bis 20 In

Tabelle 4: Typische Daten von dieseldynamischen USV-Anlagen – Weitere elektrische Grössen

## 2.2 USV-Anlagen mit dynamischen Speichern

### 2.2.1 Aktueller Entwicklungsstand der USV-Anlagen mit dynamischen Speichern

Die USV-Anlagen mit dynamischen Speichern unterscheiden sich gegenüber den konventionellen USV-Anlagen mit Batteriespeicherung im Wesentlichen darin, dass bei den dynamischen Anlagen die Energie in mechanischer Form als Rotationsenergie und bei den konventionellen Anlagen die Energie in chemischer Form in den Batterien gespeichert ist. Der Aufbau der dynamischen USV-Anlagen, wie in Abbildung 5 dargestellt, ist ähnlich demjenigen der konventionellen Anlagen. Anstelle der Batterieanlage wird ein dynamischer Energiespeicher eingesetzt. Der dynamische Energiespeicher ist dabei an den Gleichstromkreis zwischen dem netzseitigen Gleichrichter und dem verbraucherseitigen Wechselrichter angeschlossen.

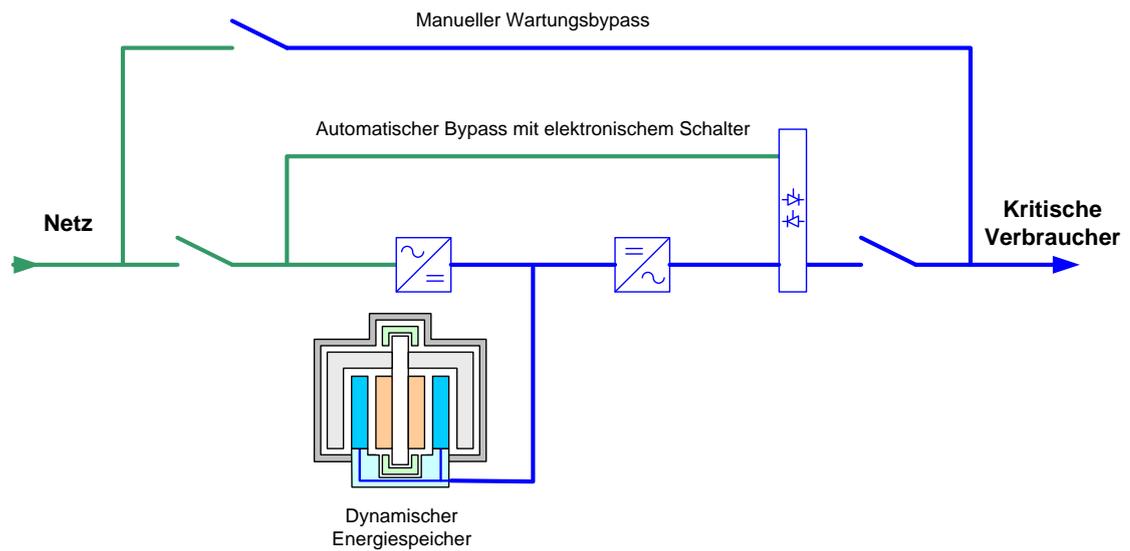


Abbildung 5: Prinzipieller Aufbau der dynamischen USV-Anlagen

## Funktionsweise des dynamischen Energiespeichers

Der dynamische Energiespeicher ist im Wesentlichen ein extrem schnell rotierendes Schwungrad. Bei den üblichen Realisierungen eines dynamischen Energiespeichers bilden das Schwungrad, die Welle und der Rotor eine rotierende Einheit, die ohne in Kontakt mit anderen Teilen zu geraten, von Magnetfeldern in der Schwebe gehalten wird (Abbildung 6).

Ein wartungsfreies, internes Systemvakuum im dynamischen Energiespeicher verhindert das Auftreten von Reibung. Bleibt eine Versorgung ab dem Netz aus, liefert der Generator des dynamischen Energiespeichers, bestehend aus dem Stator und dem Rotor der rotierenden Einheit, Energie an den Wechselrichter der USV-Anlage, um so eine kontinuierliche Spannungsversorgung auch während der Autonomiephase sicher zu stellen. Während der Autonomiephase wird die Energie aus dem dynamischen Energiespeicher bezogen, wodurch die rotierende Einheit abgebremst wird. Bei Netzwiederkehr, nimmt das Schwungrad üblicherweise in weniger als 20 Sekunden seine ursprüngliche Drehzahl wieder auf und die Autonomiefunktion ist wieder verfügbar.

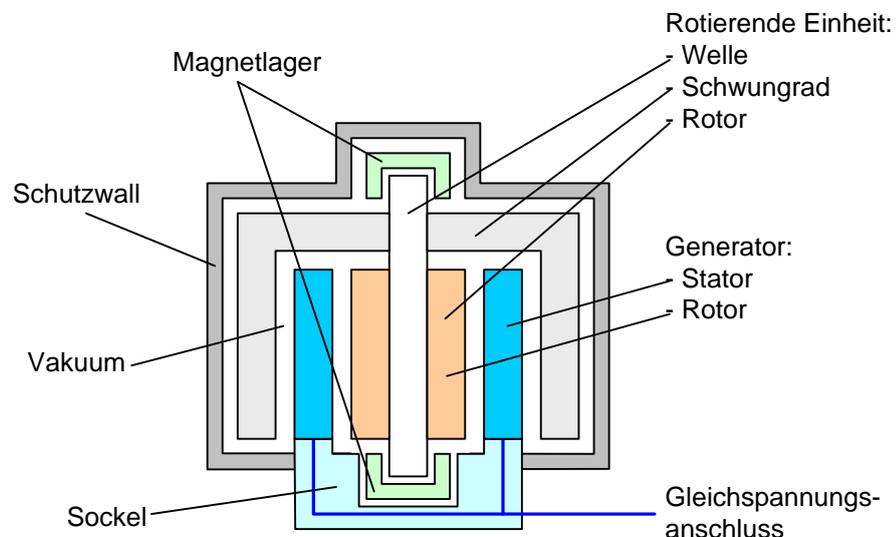


Abbildung 6: Prinzipieller Aufbau eines dynamischen Energiespeichers

### 2.2.2 Anwendungsbereiche der USV-Anlagen mit dynamischen Speichern

USV-Anlagen mit dynamischen Speichern sind prinzipiell überall einsetzbar, wo auch USV-Anlagen mit Batterieanlagen eingesetzt werden können. Dynamischen Speicher werden allerdings optimal dort eingesetzt, wo kurzzeitig grosse Leistungen erforderlich sind. Im Gegensatz dazu liegt der optimale Einsatzbereich für Batterieanlagen dort, wo die Versorgung über eine längere Zeit, d.h. im Bereich von mehreren Minuten bis Stunden erforderlich ist. Basierend auf den jeweiligen Anforderungen an die USV-Anlage sind folgende Anwendungen möglich.

## Autonomie bei Netzstörungen

Der dynamische Energiespeicher ist an den Gleichstromkreis der USV-Anlage angeschlossen (Abbildung 5). Netzstörungen werden durch den dynamischen Energiespeicher absorbiert oder kompensiert. Bei einem Ausfall des versorgenden Netzes werden die Verbraucher ab dem dynamischen Energiespeicher mit Energie versorgt. Abhängig von der geforderten Autonomiezeit können auch mehrere dynamische Energiespeicher parallel an den Gleichstromkreis angeschlossen werden (Abbildung 7).

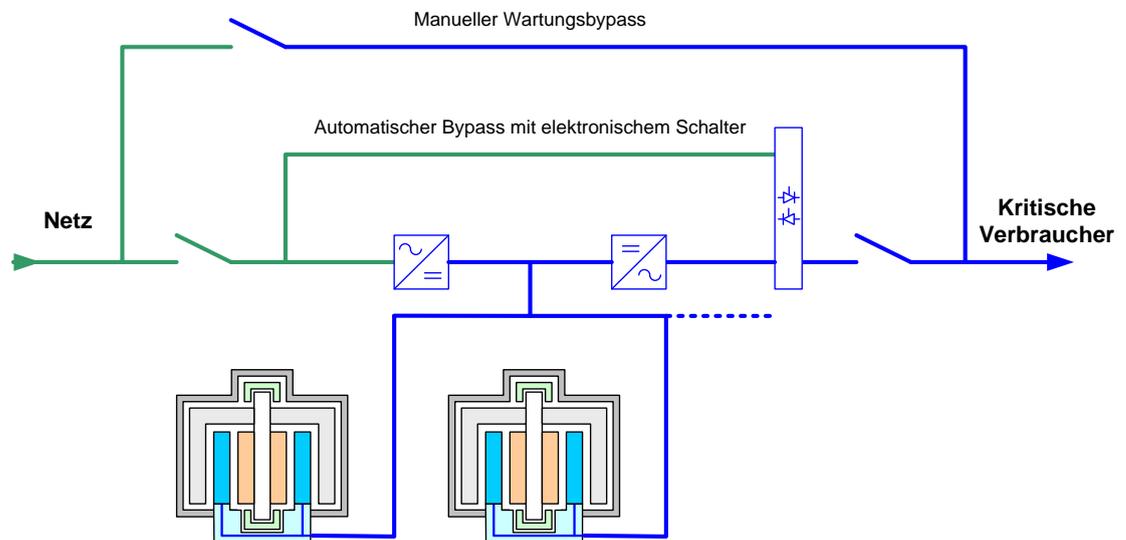


Abbildung 7: Parallelanschluss von dynamischen Speichern

## USV-Anlage und Notstromaggregat

Ist eine Autonomiezeit von mehreren Minuten bis mehreren Stunden gefordert, so kann für die Energielieferung an die Verbraucher auch ein Notstromaggregat verwendet werden. Bei einem Netzausfall wird die USV-Anlage automatisch auf das Notstromnetz umgeschaltet, sobald dieses verfügbar ist. Dabei gewährleistet die USV-Anlage mit dynamischem Speicher die Versorgung bis das Notstromaggregat gestartet und in Betrieb ist. Während der Versorgung ab dem Notstromaggregat trägt die USV-Anlage zur Verbesserung der Netzqualität bei.

## Parallelbetrieb von dynamischen Speichern mit Batteriespeicherung

Dynamische Energiespeicher und Batterieanlagen können auch parallel an den Gleichstromkreis einer USV-Anlage angeschlossen werden. Dabei behebt der dynamische Energiespeicher Netzstörungen und übernimmt die Energieversorgung bei kurzen Spannungsausfällen. Die Batterieanlagen müssen somit nur für längere Spannungsausfälle in Anspruch genommen werden. Die Parallelschaltung eines dynamischen Energiespeichers zur Batterieanlage hilft, die Lebensdauer der Batterien zu verlängern, indem die ständige Beanspruchung der Batterien vermieden und die Anzahl der Lade- und Entladezyklen verringert wird.

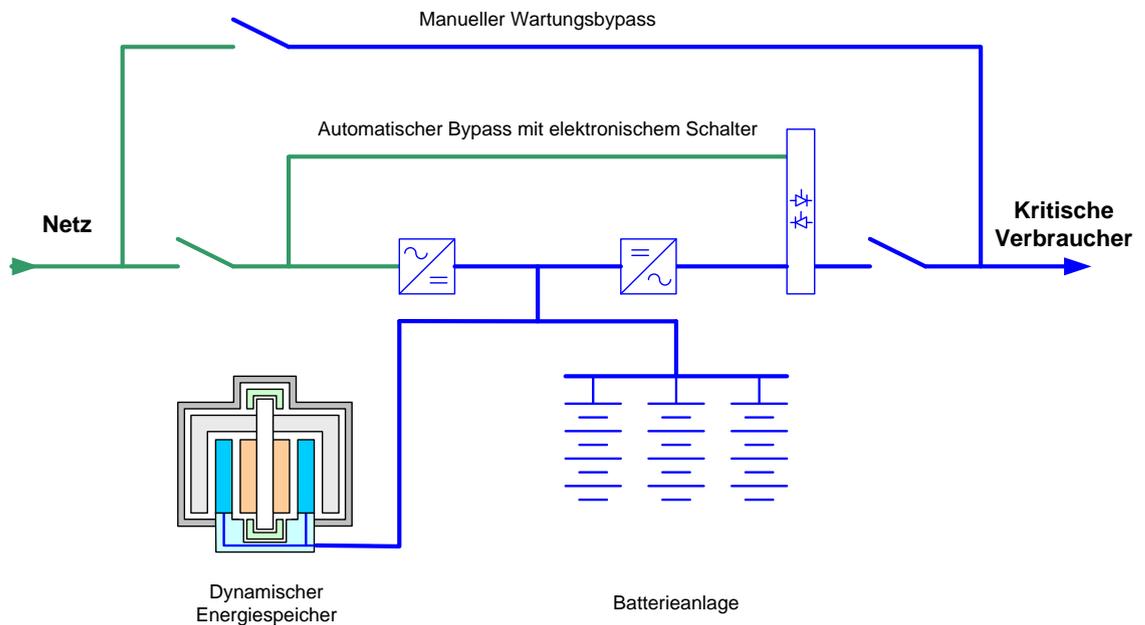


Abbildung 8: Parallelbetrieb dynamischer Energiespeicher mit Batterieanlage

## 2.2.3 Technische Daten von dynamischen Energiespeichern

### Leistungsbereich

Der Leistungsbereich der dynamischen Energiespeicher für den Einsatz in USV-Anlagen reicht von 60 kVA bis 500 kVA mit Überbrückungszeiten zwischen 15 Sekunden und 2 Minuten. Dabei kann die gespeicherte Energie abhängig von der Grösse und der Anzahl eingesetzter rotierender Energiespeicher mehr als 10 MWs betragen.

Im Folgenden sind typische technische Daten von dynamischen Energiespeichern aufgeführt:

### Elektrische Daten

• Spannung	600 V DC
• Spannungsschwankungen im statischen Betrieb	+/- 1%
• Welligkeit der Spannung	< 2%

Tabelle 5: Typische Daten von dynamischen Energiespeichern – Elektrische Daten

### Umgebung

• Lärmpegel	< 45 dB
• Betriebstemperatur	-20° C bis +50° C

Tabelle 6: Typische Daten von dynamischen Energiespeichern – Umgebung

## 2.2.4 Vergleich der dynamischen Energiespeicher mit den Batterieanlagen

Da sich die USV-Anlagen mit dynamischen Energiespeicher und die USV-Anlagen mit Batteriespeicher im Wesentlichen durch die Art der Speicherung unterscheiden, werden in der Tabelle 7 die beiden Speicherarten miteinander verglichen.

	Dynamische Energiespeicher	Batterieanlagen
<b>Betriebskosten</b> Energieverbrauch	sehr hoher Wirkungsgrad > 99% <sup>1)</sup>	Energieverbrauch für die Aufrechterhaltung der Batterieladung, der Wirkungsgrad ist zudem abhängig vom Strombezug, Wirkungsgrad ca. 97.5% bei üblicher Entladedauer für USV-Anlagen von 2 Stunden
Wartung	gering, die Überwachung und Alarmierung erfolgt durch die Steuerung	mittel, regelmässige Kontrollen im Batterieraum zur Überwachung sind erforderlich
Belüftung -Klimaanlage	keine speziellen Anforderungen	verursacht Energiekosten für die Aufrechterhaltung der Umgebungstemperatur und der Belüftung des Batterieraumes
Platzbedarf	ca. 50 % der Batterieanlagen	gross mit Einschränkungen wegen der Bodenbelastung
Lebensdauer	länger als 20 Jahre	Ersatz nach spätestens 10 bis 15 Jahren sofern die durchschnittliche Raumtemperatur 20°C nicht überschreitet
<b>Verfügbarkeit der Autonomiezeit</b> Auswirkung der Lade- und Entladezyklen	ohne Beeinträchtigung der Lebensdauer	Abhängig von der Anzahl der Lade- und Entladezyklen wird die Lebensdauer reduziert .
Umgebungstemperatur	ohne Beeinträchtigung Umgebungstemperatur -20°C bis +50°C	reduzierter Temperaturbereich Raumtemperatur 15°C bis 25°C
Zeitraum der Wiederherstellung der Autonomie	sehr niedrig, 100 % in ungefähr 20 Sekunden <sup>2)</sup>	gross, 80 % nach ungefähr 8 Stunden

Tabelle 7: Vergleich der dynamischen Energiespeicher mit Batterieanlagen

- 1) Im Vergleich zu den leistungselektronischen Komponenten der USV-Anlagen sind die Wirkungsgrade der rotierenden Speicher, resp. der Batterieanlagen von untergeordneter Bedeutung, da die Energieverluste der leistungselektronischen Komponenten dauernd anfallen, diejenigen der Speicher jedoch vollumfänglich nur bei der selten auftretenden Entladung und Wiederaufladung.
- 2) Bei der Anwendung der rotierenden Speicher in einer USV-Anlage wird der Ladestrom durch die USV-Anlage begrenzt, so dass die Wiederaufladezeit mehrere Minuten bis eine Viertelstunde betragen kann.

### **2.2.5 Vergleich der USV-Anlagen mit dynamischen Energiespeichern mit USV-Anlagen mit Batterien bezüglich der Qualität und dem Energieverbrauch mittels Q/E-Matrix**

Angaben zum Vergleich der USV-Anlagen mit dynamischen Energiespeichern und der USV-Anlagen mit Batterien sind in den Q/E-Matrizen in der Beilage 1 enthalten. Die Werte in den Q/E-Matrizen sind typische Werte für Doppelwandleranlagen, die sich lediglich in der Art des Speichers unterscheiden. Die Werte wurden soweit möglich aus Datenblättern und weiteren Informationen der Anlagenhersteller ermittelt. Vollständig ausgefüllte Q/E-Matrizen von USV-Anlagen mit Batterien oder mit dynamischen Energiespeichern sind keine verfügbar, da dazu für jeden Anlagentyp aufwändige Messungen erforderlich wären, die im Rahmen dieses Vergleichs nicht durchgeführt werden konnten. Die Werte in den Q/E-Matrizen für USV-Anlagen mit dynamischen Energiespeichern und für USV-Anlagen mit Batterien sind annähernd identisch, da die erfassten Qualitäts- und Energiemerkmale stark von den leistungselektronischen Komponenten und der Steuerung bestimmt werden, die bei beiden Anwendungen gleichartig sind. Zudem wird die Energieeffizienz der Speicher in der Q/E-Matrix nicht berücksichtigt.

Herrschen einschränkende Umgebungsbedingungen vor, wie extreme Temperaturen oder wird die USV-Anlage an einem Ort benötigt, wo der Einsatz von Bleisäure-Batterien oder anderen chemischen Verbindungen nicht zulässig ist, so kann der Einsatz von USV-Anlagen mit dynamischen Speichern unter Umständen die einzige mögliche Variante für eine unterbrechungsfreie Stromversorgung sein.

### **2.2.6 Ergänzungsblatt Speicher zur Q/E-Matrix**

Damit USV-Anlagen mit unterschiedlichen Speicherarten miteinander verglichen werden können, wurde das Ergänzungsblatt Speicher zur Q/E-Matrix gemäss Tabelle 13 im Anhang 2 erstellt. Die Bewertung von USV-Anlagen mittels der Q/E-Matrix wird damit auf die Speicher erweitert. Abhängig von den eingesetzten Speichern werden für USV-Anlagen die technischen Daten der Batterieanlage oder des Flywheel angegeben. Werden Batterieanlagen und Flywheel parallel an der selben USV-Anlage betrieben, so enthält das Ergänzungsblatt die technischen Angaben zu beiden Speicherarten. Für die Dieseldynamischen USV-Systeme sind auf dem Ergänzungsblatt die entsprechenden technischen Daten für das Kinetische Modul mit Synchronmaschine ersichtlich.

Das Ergänzungsblatt Speicher zur Q/E-Matrix enthält für die jeweils eingesetzten Speicher zusätzlich zu den Nennwerten, wie Energiespeicherkapazität und Anschlussspannung auch Angaben zur Qualität, zum Betrieb und zu den Emissionen sowie Angaben zum Energieverlust, wie Dauernachladestrom und Wirkungsgrad des Speichers.

## 2.2.7 Lebenszykluskosten von USV-Anlagen mit dynamischen Energiespeichern und von USV-Anlagen mit den Batterien

Der Entscheid für den Einsatz der Art der Energiespeicherung bei USV-Anlagen soll auch auf die Berechnung der Lebenszykluskosten von USV-Anlagen mit dynamischen Energiespeichern und von USV-Anlagen mit Batterien abgestützt werden. Als Beispiel dazu werden in der Beilage die Lebenszykluskosten von zwei 180 kW USV-Anlagen berechnet und miteinander verglichen. Die beiden USV-Anlagen unterscheiden sich für den Vergleich lediglich in der Art der Energiespeicherung. Die wesentlichen Unterschiede der beiden Anlagen im Beispiel sind die:

- **Autonomiezeit**  
Die Autonomiezeit der Batterien bei maximaler Last beträgt 10 Minuten. Kürzere Autonomiezeiten bei USV-Anlagen mit Batterien werden nicht realisiert. Die Autonomiezeit des dynamischen Speichers bei maximaler Last beträgt 24 Sekunden. Autonomiezeiten im Bereich von mehreren Minuten würde ein Mehrfaches von Speichermodulen benötigen, was aus Gründen der Wirtschaftlichkeit jedoch nicht realisiert wird.
- **Ersatzinvestitionen**  
Die Batterien müssen zweimal während der Lebensdauer der USV-Anlage ersetzt werden. Der dynamische Energiespeicher weist die selbe Lebensdauer wie die USV-Anlage auf, muss also nicht ersetzt werden.

In Tabelle 8 werden die Lebenszykluskosten für die beiden Anwendungen miteinander verglichen.

Variante:	USV-Anlage mit Batterien	USV-Anlage mit dyn. Energiespeicher	Bemerkungen
<b>Hersteller / Lieferant:</b>	Lieferant A	Lieferant A	Vergleich zweier Anlagen des selben Lieferanten
<b>USV Typ:</b>	Typische UPS	Typische UPS mit Flywheel	
<b>USV Nennleistung exkl. Redundanz [kW]:</b>	180	180	
<b>Konfiguration (Module):</b>	1 von 1	1 von 1	
<b>Lebensdauer der USV-Anlage in Jahren:</b>	20	20	
<b>Energieverbrauch</b>			
<b>Wirkenergieverbrauch der Last [kWh]:</b>	701'220	701'220	
<b>Wirkenergieverluste der USV-Anlage [kWh]:</b>	39'178	40'043	geringer Unterschied, da durch die Leistungselektronik bestimmt
<b>Total Wirkenergiebezug ab Versorgungsnetz [kWh]:</b>	740'398	741'263	
<b>Blindenergiebezug der Last [kvarh]:</b>	404'170	404'170	
<b>Total Blindenergiebezug ab Versorgungsnetz [kvarh]:</b>	105'501	105'624	
<b>Investitionskosten</b>			
<b>Anschaffungskosten USV-Anlage:</b>	SFr. 28'000	SFr. 28'000	Die selbe USV-Anlage ist für beide Arten der Energiespeicherung geeignet.
<b>Anschaffungskosten Energiespeicherung:</b>	SFr. 21'800	SFr. 148'000	Die Investitionskosten für Flywheel sind viel höher als für Batterieanlagen.
<b>Installationskosten:</b>	SFr. 2'300	SFr. 1'500	Mehraufwand für Montage der Batterieanlage
<b>Total Investition:</b>	<b>SFr. 52'100</b>	<b>SFr. 177'500</b>	
<b>Ersatzinvestitionen Batterieanlage</b>			
<b>Total der Ersatzinvestitionen Energiespeicherung:</b>	<b>SFr. 43'600</b>	<b>SFr. 0</b>	Die Batterien müssen während der Lebensdauer der USV-Anlage 2 mal ersetzt werden.
<b>Jährliche Kosten</b>			
<b>Energiekosten USV-Anlage:</b>	SFr. 4'058	SFr. 4'162	Der Unterschied der Energieverluste ist sehr gering.
<b>Betrieb und Überwachung:</b>	SFr. 1'000	SFr. 500	Kontrollgänge im Batterieraum sind erforderlich.
<b>Unterhalt und Reparatur:</b>	SFr. 2'000	SFr. 1'500	Batterien verursachen Mehrkosten für die Wartung und die Kontrollen.
<b>Weitere Kostenanteile:</b>	SFr. 1'500	SFr. 1'000	Der Platzbedarf für die Flywheel ist geringer.
<b>Umwelkosten (Raumklimatisierung):</b>	SFr. 3'000	SFr. 1'000	Mehrkosten für die Klimatisierung des Batterieraumes
<b>Total der jährlichen Kosten:</b>	<b>SFr. 11'558</b>	<b>SFr. 8'162</b>	
<b>Entsorgungskosten</b>			
<b>Kosten (+) / Ertrag (-) bei Entsorgung:</b>	<b>SFr. 3'000</b>	<b>SFr. 1'000</b>	Mehrkosten für die Entsorgung der Batterien
<b>Lebenszykluskosten (LCC)</b>			
<b>LCC bezogen auf Anschaffungszeitpunkt:</b>			
bei einer Lebensdauer von 20 Jahren	SFr. 278'608	SFr. 311'629	Die höheren Investitionskosten für USV-Anlagen mit dynamischen Energiespeicher überwiegen die höheren jährlichen Betriebskosten der USV-Anlagen mit Batterien.
<b>LCC zum Anschaffungszeitpunkt verteilt auf einzelne Jahre der Lebensdauer der USV-Anlage:</b>	<b>SFr. 17'039</b>	<b>SFr. 19'058</b>	Die jährlichen Kosten für USV-Anlagen mit dynamischen Energiespeicher sind ca. 12% höher als diejenigen für USV-Anlagen mit Batterien.

Tabelle 8: Vergleich der Lebenszykluskosten von USV-Anlagen mit dynamischen Energiespeichern und von USV-Anlagen mit Batterien (Details siehe Tabelle 17)

Der Vergleich der Lebenszykluskosten in diesem Beispiel zeigt, dass aus rein wirtschaftlicher Sicht die USV-Anlagen mit Batterien eingesetzt werden sollen. Der Einsatz von dynamischen Speichern kann aber durchaus interessant werden, wenn sich die Rahmenbedingungen ändern, wie z.B. der Platz für Batterieanlagen nicht verfügbar ist oder die Entsorgungskosten für Batterien ansteigen.

### 2.2.8 Sicherheitsaspekte für rotierende und statische USV-Anlagen

Sämtliche Maschinen oder Anlagen, inkl. USV-Anlagen müssen eine funktionale Sicherheit ausweisen, so dass die Schutz- und Steuereinrichtungen korrekt funktionieren und sich im Fehlerfall, d.h. bei einem elektrischen oder mechanischen Fehler, so verhalten, dass die Maschine oder Anlage in einem sicheren Zustand bleibt oder in einen sicheren Zustand gebracht wird. Dazu ist die Verwendung besonders qualifizierter Technik notwendig, die den in den betreffenden Normen beschriebenen Anforderungen genügen muss. Bei der Installation von USV-Anlagen ist daher unabhängig von der gewählten Technologie darauf zu achten, dass nur geprüfte und den einschlägigen Normen genügende Anlagen eingesetzt werden.

Im Folgenden werden mögliche Gefahren und geeignete Schutzmassnahmen für die rotierenden und zum Vergleich auch für die statischen USV-Anlagen aufgeführt.

#### Dieseldynamische USV-Systeme

Die elektrischen Anlagen müssen berührungssicher ausgeführt werden. Die Sicherheit der elektrischen Anschlüsse der USV-Anlage ans Netz und der kritischen Verbraucher an die USV-Anlage wird über Schutzeinrichtungen realisiert.

Bei rotierenden Anlagen besteht prinzipiell die Gefahr von Teilen, die sich im Fehlerfall von der Anlage lösen können und als Geschoss grossen Material- oder Personenschaden anrichten können. Diese Gefahr wird durch Materialprüfungen bei der Herstellung und auch durch die Steuerung minimiert. Bei Störungen wie z.B. einer Unwucht oder Erwärmung durch erhöhte Reibung, werden die Anlagen in einen sicheren Zustand gebracht, d.h. ausgeschaltet. Einen hundertprozentigen Schutz vor den Gefahren einer rotierenden Anlage kann jedoch keine Prüfung oder Überwachung garantieren.

Ein weiterer wesentlicher Sicherheitsaspekt bei rotierenden Anlagen ist, dass sämtliche rotierende Teile vor Berührung geschützt sein müssen, vor allem auch die Kupplungen zwischen Anlagenteilen.

Üblicher Weise werden die dieseldynamischen USV-Systeme in Gebäuden installiert. Der Raum mit dem Dieselaggregat muss gut belüftet sein. Die Abgase des Dieselaggregates werden über ein geschlossenes Abgassystem aus dem Gebäude geführt. Leckagen im Abgassystem, z.B. verursacht durch gealterte Dichtungen, können dazu führen, dass Abgase in den Raum der dieseldynamischen USV-Anlage gelangen können. Die Überwachung des Raumes mit den notwendigen Sensoren, wie Rauchmelder, CO-Melder, CO<sub>2</sub>-Melder usw. ist daher unerlässlich.

Auch die Vorratshaltung des Dieseltreibstoffes für das Aggregat und die Treibstoffzuleitungen sind Gefahrenpotenziale. So können Leckagen im Dieseltank oder in der Zuleitung zu er-

heblichem Schaden am Gebäude oder zu Umweltverschmutzung führen. Daher sind Auffangwannen für den Dieseltank und die Zuleitungen unerlässlich.

### **USV-Anlagen mit dynamischen Speichern**

Bezüglich den elektrischen Anlagen und den rotierenden Anlagenteilen bestehen die selben Gefahren und Gegenmassnahmen wie für die dieseldynamischen USV-Systeme.

Der dynamische Energiespeicher ist mit einem druckdichten Schutzwall umgeben, so dass das Vakuum im Speicher aufrecht erhalten werden kann. Sollte eine Leckage im Schutzwall auftreten, so strömt Luft in den Speicher, wodurch sich der Widerstand für das Schwungrad erhöht, was zur Abschaltung des dynamischen Speichers führt. Das selbe gilt, wenn die von der Steuerung überwachten Magnetlager ihre Funktion nicht mehr gewährleisten.

### **USV-Anlagen mit Batterien**

Bezüglich der elektrischen Anlagen bestehen die selben Gefahren und Gegenmassnahmen wie für die USV-Anlagen mit dynamischen Energiespeichern.

Die Batterieanlagen müssen in separaten, klimatisierten und gut belüfteten Räumen installiert werden. Um einen allfälligen Brand im Batterieraum oder entweichende Gase aus den Batterien zu erkennen sind entsprechende Sensoren zu installieren. Auch besteht die Möglichkeit, dass Leckagen der Batterien entstehen können. Zudem können als Folgefehler von einzelnen Batteriezellen andere überlastet werden, was im Extremfall zu einer Explosion auf Grund der Überhitzung einer Batteriezelle führen kann. Daher sind auch für Batterieanlagen Auffangwannen unerlässlich.

### 3 KRITERIEN FÜR DIE ANWENDUNG VON ROTIERENDEN ODER STATISCHEN USV-ANLAGEN

#### 3.1 Entscheidungskriterien Übersicht

Der Entscheid zur Wahl von rotierenden oder statischen USV-Anlage kann auch auf die technischen Kriterien gemäss Abbildung 9 und Abbildung 10 abgestützt werden.

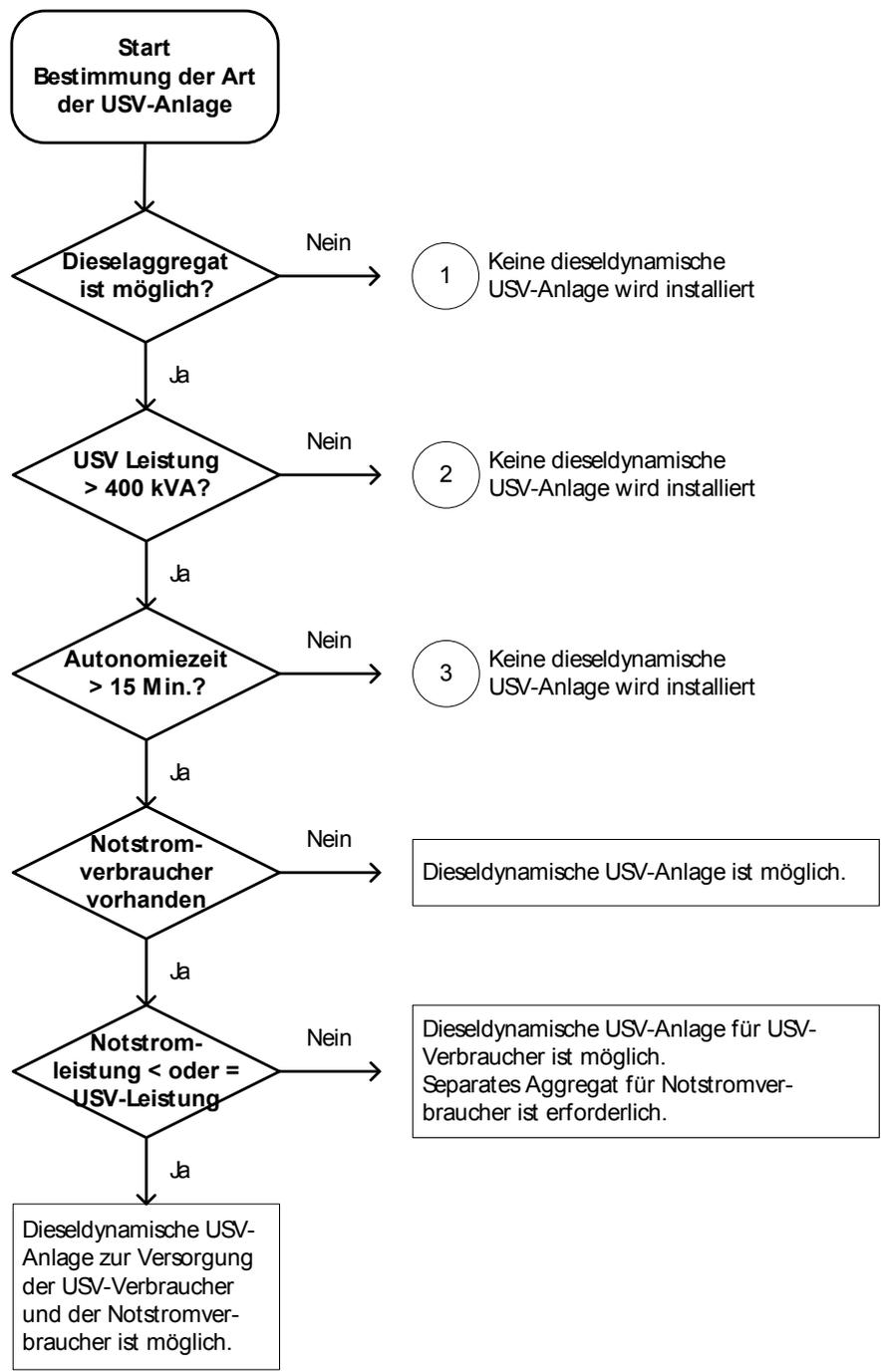


Abbildung 9: Übersicht der technischen Entscheidungskriterien für rotierende oder statische USV-Anlagen (Teil 1)

- Dieselaggregat nicht möglich  
oder
- USV-Leistung < 400 kVA  
oder
- Autonomiezeit < 15 Min.

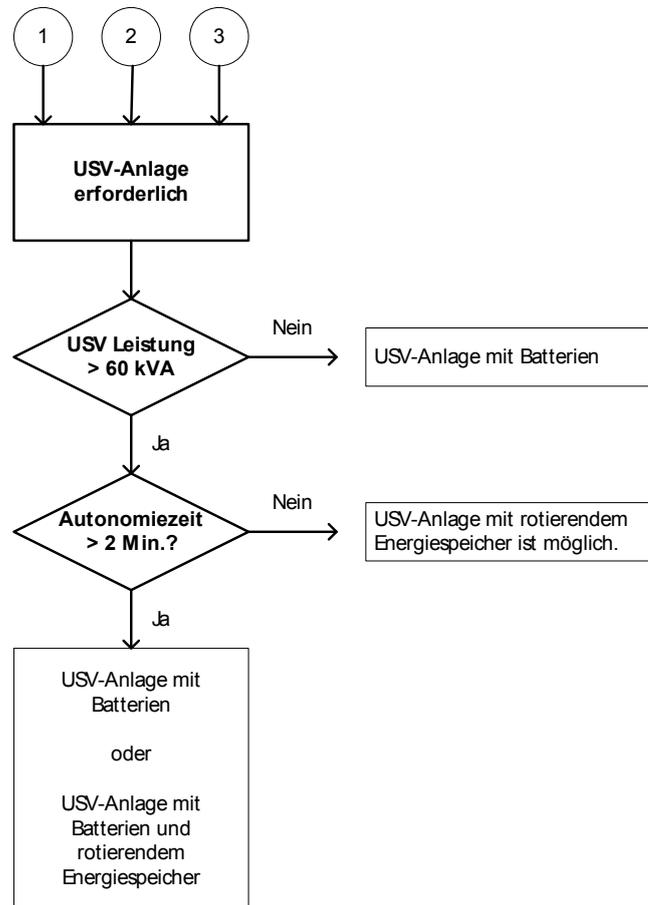


Abbildung 10: Übersicht der technischen Entscheidungskriterien für rotierende oder statische USV-Anlagen (Teil 2)

Mittels der technischen Entscheidungskriterien können mögliche Varianten für die zu realisierende USV-Anlage gefunden werden. Für die zusätzlich notwendige wirtschaftliche Beurteilung der technisch möglichen Varianten kann das Excel-Programm „Berechnung der Lebenszykluskosten von USV-Anlagen“ [8] eingesetzt werden. Ein Beispiel zum Vergleich zwischen USV-Anlagen mit dynamischem Speicher und mit Batterien ist in Beilage 3 ersichtlich.

### 3.2 Start Bestimmung der Art der USV-Anlage

Vor dem Entscheid für eine dynamische oder statische USV-Anlage soll entsprechend [1] abgeklärt werden, ob der Bedarf für eine USV-Anlage vorhanden ist. Ist der Bedarf für eine USV-Anlage vorhanden, so kann die technische Abklärung zur Bestimmung der Art der USV-Anlage in Angriff genommen werden.

### 3.3 Kriterien zur Anwendungen der dieseldynamischen USV-Anlagen

Die grundsätzlichen Voraussetzungen für den Einsatz einer dieseldynamischen USV-Anlage müssen erfüllt sein (Abbildung 11). D.h. es müssen die räumlichen Möglichkeiten für das Diesellaggregat, den Dieseltank sowie die Infrastruktur für die Zuluft und die Wegführung der Abgase vorhanden ist. Zudem dürfen auch keine verhindernden baurechtlichen Einschränkungen bestehen, wie z.B. von Seite des Gewässerschutzes oder der Luftreinhalteverordnung.

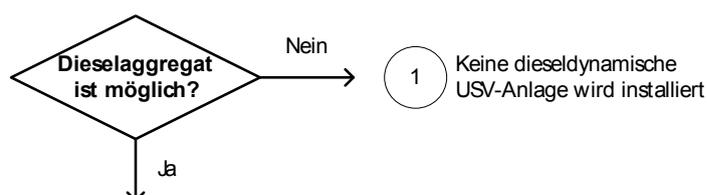


Abbildung 11: Kriterium zur grundsätzlichen Voraussetzung für den Einsatz eines Diesellaggregates

Dieseldynamische USV-Anlagen werden aus Gründen der Wirtschaftlichkeit erst ab einer Leistung von 400 kVA eingesetzt. Zudem ist der Einsatz erst sinnvoll, wenn eine längere Autonomiezeit erforderlich ist (Abbildung 12).

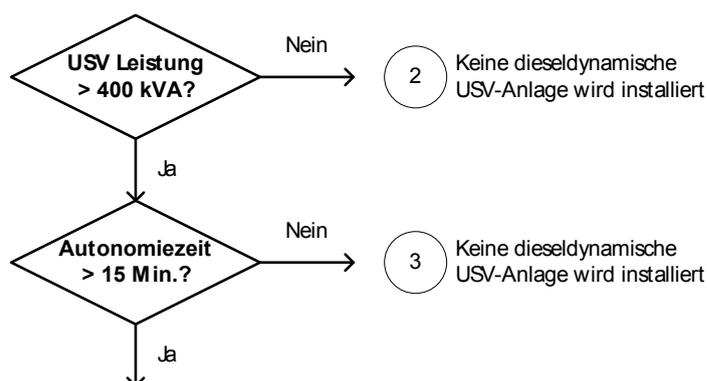


Abbildung 12: Technische Kriterien für den Einsatz einer dieseldynamischen USV-Anlage

Da die Investitionskosten für eine dieseldynamische USV-Anlage um einiges höher sind als für eine konventionelle USV-Anlage mit vergleichbarer Leistung, sollten mit einer dieseldynamischen USV-Anlage noch zusätzliche Anforderungen als die unterbrechungsfreie Stromversorgung erfüllt werden können (Abbildung 13). Die entscheidende zusätzliche Anforderung ist der Betrieb eines Notstromnetzes zur Überbrückung von lang andauernden Netzausfällen. Ist im Versorgungskonzept eines Gebäudes oder eines Industrienetzes eine Notstromversorgung vorgesehen, so soll geprüft werden, ob die Versorgung der notstromberechtigten Verbraucher bei einem Netzausfall auch ab der dieseldynamischen USV-Anlage erfolgen kann.

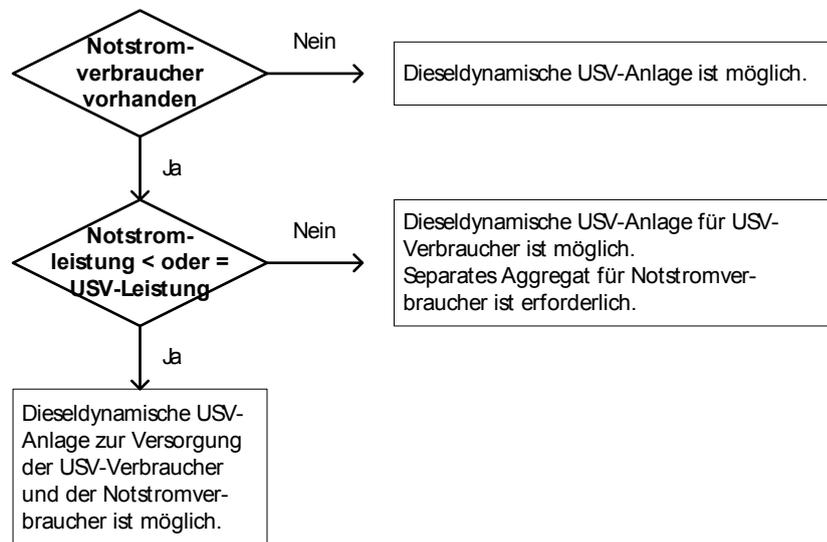


Abbildung 13: Einsatz einer dieseldynamischen USV-Anlage mit oder ohne Notstromverbraucher

### 3.4 Kriterien zur Anwendung von USV-Anlagen mit dynamischen Energiespeichern oder Batterien

Ist der Einsatz einer USV-Anlage erforderlich und ist eine dieseldynamische USV-Anlage nicht möglich, so soll generell die Frage nach der Art der Energiespeicherung gestellt werden. Für USV-Anlagen mit einer Leistung unter 60 kVA müssen zur Energiespeicherung Batterien eingesetzt werden (Abbildung 14), da keine dynamischen Energiespeicher mit kleinerer Leistung erhältlich sind.

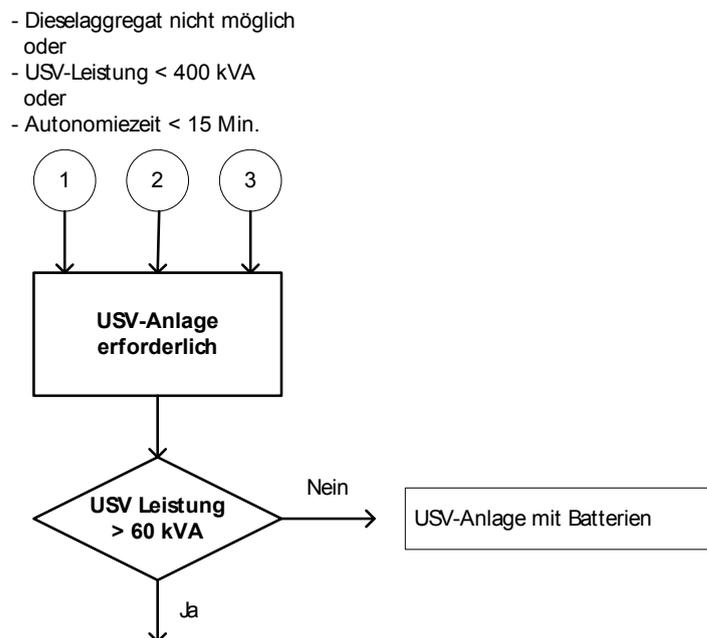


Abbildung 14: Die Leistung als Kriterium für die Art des Energiespeichers

Für USV-Anlagen mit grösserer Leistung können auch rotierende Energiespeicher in Betracht gezogen werden. Der Einsatz eines dynamischen Energiespeichers weist gegenüber einer Batterieanlage betriebliche Vorteile auf. Diese Vorteile sind, dass die Funktionalität des dynamischen Energiespeichers dauernd überwacht wird, der Raum mit dem Energiespeicher nicht klimatisiert oder belüftet werden muss und dass zudem der Raumbedarf geringer ist.

Wird mit der USV-Anlage eine Autonomiezeit länger als 2 Minuten gefordert, so müssen für die Energiespeicherung Batterien eingesetzt werden (Abbildung 15), ausser wenn eine dieseldynamische USV-Anlage zum Einsatz kommt.

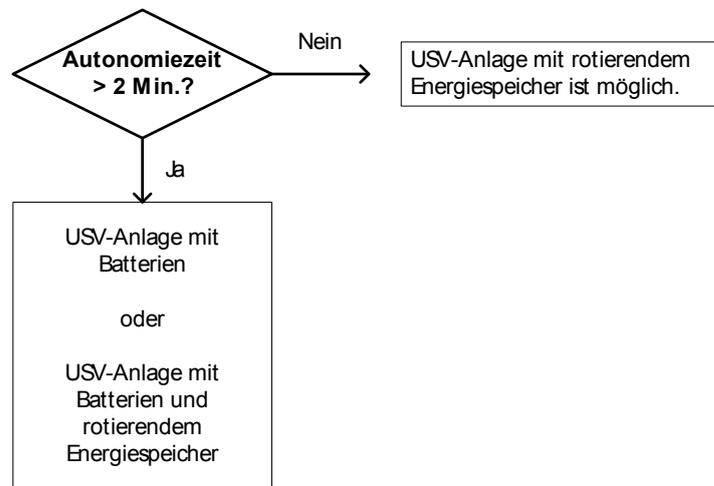


Abbildung 15: Die Autonomiezeit als Kriterium für die Art des Speichers

Auch wenn auf Grund der Autonomiezeit Batterien als Energiespeicher erforderlich sind, macht der Einsatz eines zu den Batterien parallel geschalteten dynamischen Energiespeichers Sinn. Bei der Parallelschaltung des dynamischen Energiespeichers zur Batterieanlage werden kurzzeitige Spannungseinbrüche oder Netzausfälle vom dynamischen Energiespeicher übernommen ohne dabei die Batterien zu belasten. Dadurch kann die Anzahl der Lade- und Entladezyklen der Batterien reduziert und somit die Lebensdauer der Batterien verlängert werden. Welche der beiden möglichen Varianten, gesamter Energiespeicher mit Batterien oder Energiespeicher mit Batterien und parallel geschaltetem dynamischem Speicher, aus wirtschaftlicher Sicht optimaler ist, kann mittels der Berechnung der Lebenszykluskosten bestimmt werden [8].

### 3.5 Kriterien für die Betriebsart

Wie in [1] erläutert soll die Betriebsart einer USV-Anlage abhängig von der Art der Verbraucher gewählt werden. Der Betrieb über den automatischen Bypass ist auch bei den USV-Anlagen mit rotierendem Energiespeicher soweit möglich anzuwenden. Dabei können die Energieverluste im Wechselrichter vermieden werden und der Gleichrichter wird nur soweit belastet, die dies zur Aufrechterhaltung der Energiespeicherung notwendig ist.

Bei den dieseldynamischen USV-Anlagen ist ein Betrieb über den Bypass nicht erforderlich, da im Strompfad vom Netz zu den kritischen Verbrauchern keine leistungselektronischen Komponenten enthalten sind, die den Wirkungsgrad der Anlage reduzieren.

## 4 REFERENZEN

- [1] Dr. Gilbert Schnyder und Peter Mauchle, Schnyder Ingenieure AG: **Energieoptimierte Planung und Betrieb von USV-Anlagen – Ein Leitfaden für Planer und Betreiber**; BFE September 2008
- [2] Dr. Gilbert Schnyder und Peter Mauchle, Schnyder Ingenieure AG: **Merkblatt „Optimierter Einsatz von USV-Anlagen“**; BFE September 2008, [www.electricity-research.ch](http://www.electricity-research.ch)
- [3] Peter Mauchle, Schnyder Ingenieure AG: **Messverfahren “Test and Measurement Procedures to set up the Quality-/Energy-Matrix for UPS” mit Q/E-Matrix**; BFE März 2005
- [4] Peter Mauchle, Schnyder Ingenieure AG: **Label für kleine 1-phasige USV-Anlagen**; BFE März 2005
- [5] Peter Mauchle, Schnyder Ingenieure AG: **Checkliste für die Ausschreibung von USV-Anlagen**; BFE März 2005 [www.electricity-research.ch](http://www.electricity-research.ch)
- [6] Peter Mauchle, Schnyder Ingenieure AG: **Checkliste für die Ausschreibung von kleinen USV-Anlagen**; BFE März 2005, [www.electricity-research.ch](http://www.electricity-research.ch)
- [7] European Commission Directorate-General JRC: **Code of Conduct on energy Efficiency and Quality of AC Uninterruptible Power Systems (UPS)**, Version 1.0a, Ispra, 22 December 2006; Englische Originalversion und Deutsche unverbindliche Übersetzung, [www.electricity-research.ch](http://www.electricity-research.ch)
- [8] Peter Mauchle, Schnyder Ingenieure AG: **Berechnung der Lebenszykluskosten von USV-Anlagen, Software zur Evaluation von Offerten**; BFE Juli 2007, [www.electricity-research.ch](http://www.electricity-research.ch)
- [9] Euro-Diesel: **NO-BREAK Dieseldynamische USV-Systeme – Beschreibung**, Ausg. 00, 30.09.2002
- [10] SOCOMEC SICON UPS: **Dynamisches Energiespeichersysteme**, [www.socomec.com](http://www.socomec.com)
- [11] net powersafe: **Unterbrechungslose rotierende Stromversorgung**, [www.netpowersafe.ch](http://www.netpowersafe.ch); [www.hitzingler.at](http://www.hitzingler.at)
- [12] Hitec Power Protection: **Diesel-USV-Systeme**, [www.hitec-ups.com](http://www.hitec-ups.com)
- [13] Hitec Power Protection: **Ride Through Systemlösung**, [www.hitec-ups.com](http://www.hitec-ups.com)
- [14] Piller: **Technik Dynamische USV**, [www.piller.com](http://www.piller.com)
- [15] Oerlikon Batterien: **Datenblatt Compact-Power Towerline**, [www.accuoerlikon.com](http://www.accuoerlikon.com)
- [16] Siemens: **Safety Integrated**, [www.automation.siemens.com](http://www.automation.siemens.com)

## 5 BEILAGEN

### 5.1 Beilage 1: Q/E-Matrix von USV-Anlagen mit dynamischen Speichern und Batterieanlagen

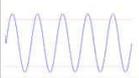
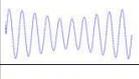
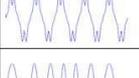
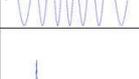
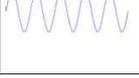
<b>Einsatz von USV-Anlagen</b>		<b>Q/E-Matrix</b>			
<b>USV - Typ:</b>	<b>USV 200 kVA</b>	<b>Nennwirkleistung (<math>P_{Nenn}</math>):</b>	<b>180 kW</b>		
<b>Hersteller:</b>	<b>typische Werte</b>	<b>Nennscheinleistung (<math>S_{Nenn}</math>):</b>	<b>200 kVA</b>		
<b>Aufbau:</b>	<b>Doppelwandler</b>	<b>Maximale Leistung (<math>P_{Max\_Kap}</math>):</b>	<b>180 kW</b>		
<b>Klassifikations-Code:</b>	<b>VFI-SS-111</b>	<b>bei kapazitiver Last</b>			
<b>Netzspannung im Normalfall (<math>U_{NORM}</math> gemäss EN 50160)</b>			<b>Ausgangsspannung der USV-Anlage</b>		
 Spannung 230 V +/- 10 % Frequenz 50 Hz +/- 1.0 %			Die Ausgangsspannung der USV-Anlage muss bei allen Betriebsarten innerhalb $U_{NORM}$ liegen. Die Betriebsarten sind Normalbetrieb, Bypass-Betrieb und Betrieb ab Batterie.		
<b>Netzstörungen (Eingang)</b>		<b>Störungsbehebung (Ausgang)</b>			
<b>Art der Störung</b> (Messverfahren) Bereich		<b>Normalbetrieb</b> (Betrieb über den USV-Pfad)		<b>Bypass-Betrieb</b> (Betrieb vor der Netzstörung über den Bypass)	
		$U_{NORM}$ erfüllt ?	Abweichung von $U_{NORM}$	$U_{NORM}$ erfüllt ?	Abweichung von $U_{NORM}$
	<b>Netzausfall</b> (Kap. 2) $t_{UE} > 1$ s	ja		ja	Umschaltzeit 10 ms
	<b>Netzunterbruch, Netzeinbruch</b> (Kap. 4.1, 4.4 – 4.5) $t_{UE} < 1$ s	ja		ja	Umschaltzeit 10 ms
	<b>Über-, Unterspannung</b> (Kap. 3.1 – 3.3) $\Delta U_E = +/- 10$ % $\Delta U_E = +/- 25$ %	ja		ja	Umschaltzeit 10 ms
	<b>Spannungsschwankungen</b> (Kap. 4.1 – 4.3) $\Delta U_E = - 30$ % $\Delta U_E = - 60$ %	ja		ja	Umschaltzeit 10 ms
	<b>Spannungsverzerrungen</b> (Kap. 5) Störpegel der Klasse 3 Gemäss IEC 61000-4-13	ja		nein	Umschaltzeit 20 ms
	<b>Frequenzschwankungen</b> (Kap. 3.1, 3.4 – 3.5) $\Delta f_{ESprung} = +/- 10$ % $\Delta f_{kont} = +/- 10$ %	ja		nein	Umschaltzeit 20 ms
	<b>Spannungsspitzen</b> (Kap. 6 & 7) schnelle Transiente gemäss IEC 61000-4-4	ja		nein	keine Umschaltung
	energiereiche Transiente gemäss IEC 61000-4-5	ja		nein	keine Umschaltung
<b>Legende:</b>		<b>Aufbau und Klassifikations-Code:</b>			
$U_{NORM}$ Normspannung gemäss EN 50160 (230 V +/- 10 %, 50 Hz +/- 1.0 %)		gemäss IEC 62040-3			
$P_{Nenn}$ Max. Dauerausgangswirkleistung bei linearer, ohmscher Belastung		<b>Last:</b> 100 %, lineare, ohmsche Last oder 100 % lineare Scheinlast			
$S_{Nenn}$ Max. Dauerausgangsscheinleistung bei nichtlinearer Belastung gemäss EN/IEC 62040-3		Die Messung der Spannungsspitzen erfolgt bei 100 %, linearer, Scheinlast oder bei einer Belastung von max. 16 A / Phase			
$P_{Max\_Kap}$ Max. Dauerausgangswirkleistung bei linearer, kapazitiver Belastung mit $\cos \varphi = 0.9$ cap		bei USV-Anlagen mit einer Leistung grösser als 20 kVA			
MpX1001a_QEMatrix11_USV 200 kVA.doc		Seite 1		11. September 2009 / Sing / Mp	

Tabelle 9: Q/E-Matrix mit typischen Werten von USV-Anlagen mit Batterien  
Seite 1 von 2: Nennwerte und Verbesserung von Netzstörungen

## Einsatz von USV-Anlagen Q/E-Matrix



<b>Netzurückwirkungen im Normalbetrieb am Eingang bei 230 V</b> (Messverfahren Kapitel 8)			
<b>Normalbetrieb</b> (Betrieb über den USV-Pfad)			<b>Lasten am Ausgang</b>
<b>Leistungsfaktor</b>	<b>Klirrfaktor des Eingangsstromes</b>	<b>Stromspektrum Referenznummer</b>	
$\lambda > 0.99$	$k < 3\%$		bei 100 % linearer, ohmscher Last ( $P_{Nenn}$ )
$\lambda > 0.99$	$k < 3\%$		bei 100 % nichtlinearer Last gemäss IEC 62040-3 ( $S_{Nenn}$ )
$\lambda > 0.99$	$k < 3\%$		bei maximalem Ausgangsstrom (Leistungsfaktor $\lambda = 0.9$ )
$\lambda = na$	$k = na$		bei 0-10 %, 50 %, 100 %, asymmetrischer, nichtlinearer Last gemäss IEC 62040-3
<b>Bypass-Betrieb</b> (Betrieb über den Bypass)			<b>Lasten am Ausgang</b>
<b>Leistungsfaktor</b>	<b>Klirrfaktor des Eingangsstromes</b>	<b>Stromspektrum Referenznummer</b>	
$\lambda = na$	$k = na$		bei 100 % linearer, ohmscher Last ( $P_{Nenn}$ )
$\lambda = na$	$k = na$		bei 100 % nichtlinearer Last gemäss IEC 62040-3 ( $S_{Nenn}$ )
$\lambda = na$	$k = na$		bei maximalem Ausgangsstrom (Leistungsfaktor $\lambda =$ )
$\lambda = na$	$k = na$		bei 0-10 %, 50 %, 100 %, asymmetrischer, nichtlinearer Last gemäss IEC 62040-3

<b>Verluste und Wirkungsgrade im Normalbetrieb</b> (Eingangsspannung $U_E = 230\text{ V} \pm 10\%$ ) (Messverfahren Kapitel 9)								
<b>Normalbetrieb</b> (Betrieb über den USV-Pfad)								
<b>Leistung</b>	<b>Verluste (in W) und Wirkungsgrade (in %) bei Betrieb über USV mit</b>							
	linearer, ohmscher Last		nichtlinearer Last gemäss IEC 62040-3		max. Ausgangsstrom ( $\lambda = 0.9$ )		asymmetrischer, nicht-linearer Last gemäss IEC 62040-3	
25 % Nennleistung	2'340 W	94.8 %	2'800 W	94.8 %	-----	-----	-----	-----
50 % Nennleistung	3'780 W	95.8 %	4'200 W	95.8 %	-----	-----	na W	na %
75 % Nennleistung	5'670 W	95.8 %	6'300 W	95.8 %	-----	-----	-----	-----
100 % Nennleistung	7'920 W	95.6 %	8'800 W	95.6 %	8'800 W	95.8 %	-----	-----
Standby-Verluste: 1'800 W bei $U_A =$ Nennspannung und $I_A = 0\text{ A}$								
<b>Bypass-Betrieb</b> (Betrieb über den Bypass)								
<b>Leistung</b>	<b>Verluste (in W) und Wirkungsgrade (in %) bei Betrieb über Bypass mit</b>							
	linearer, ohmscher Last		nichtlinearer Last gemäss IEC 62040-3		max. Ausgangsstrom ( $\lambda = 0.9$ )		asymmetrischer, nicht-linearer Last gemäss IEC 62040-3	
50 % Nennleistung	na W	na %	na W	na %	-----	-----	na W	na %
100 % Nennleistung	3'600 W	98.0%	5'000W	97.5 %	5'000W	97.5 %	-----	-----
Standby-Verluste: na W bei $U_A =$ Nennspannung und $I_A = 0\text{ A}$								

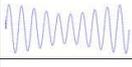
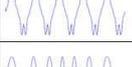
Tabelle 10: Q/E-Matrix mit typischen Werten von USV-Anlagen mit Batterien  
Seite 2 von 2: Netzurückwirkungen, Verluste und Wirkungsgrade;  
Die Verluste und Wirkungsgrade sind identisch mit denjenigen von USV-Anlagen mit dynamischen  
Energiespeichern, da in der Q/E-Matrix die Energieeffizienz der Speicher nicht berücksichtigt wird.

## Einsatz von USV-Anlagen Q/E-Matrix



<b>USV - Typ:</b>	<b>USV 200 kVA dynamisch</b>	<b>Nennwirkleistung (<math>P_{Nenn}</math>):</b>	<b>180 kW</b>
<b>Hersteller:</b>	<b>typische Werte</b>	<b>Nennscheinleistung (<math>S_{Nenn}</math>):</b>	<b>200 kVA</b>
<b>Aufbau:</b>	<b>Doppelwandler</b>	<b>Maximale Leistung (<math>P_{Max\_Kap}</math>):</b>	<b>180 kW bei kapazitiver Last</b>
<b>Klassifikations-Code:</b>	<b>VFI-SS-111</b>		

<b>Netzspannung im Normalfall (<math>U_{NORM}</math> gemäss EN 50160)</b>	<b>Ausgangsspannung der USV-Anlage</b>				
 <table border="1" style="font-size: small;"> <tr> <td>Spannung</td> <td>230 V +/- 10 %</td> </tr> <tr> <td>Frequenz</td> <td>50 Hz +/- 1.0 %</td> </tr> </table>	Spannung	230 V +/- 10 %	Frequenz	50 Hz +/- 1.0 %	Die Ausgangsspannung der USV-Anlage muss bei allen Betriebsarten innerhalb $U_{NORM}$ liegen. Die Betriebsarten sind Normalbetrieb, Bypass-Betrieb und Betrieb ab Batterie.
Spannung	230 V +/- 10 %				
Frequenz	50 Hz +/- 1.0 %				

Netzstörungen (Eingang) Art der Störung (Messverfahren) Bereich	Störungsbehebung (Ausgang)			
	Normalbetrieb (Betrieb über den USV-Pfad)		Bypass-Betrieb (Betrieb vor der Netzstörung über den Bypass)	
	$U_{NORM}$ erfüllt ?	Abweichung von $U_{NORM}$	$U_{NORM}$ erfüllt ?	Abweichung von $U_{NORM}$
 <b>Netzausfall</b> (Kap. 2) $t_{UE} > 1$ s	ja		ja	Umschaltzeit 10 ms
 <b>Netzunterbruch, Netzeinbruch</b> (Kap. 4.1, 4.4 – 4.5) $t_{UE} < 1$ s	ja		ja	Umschaltzeit 10 ms
 <b>Über-, Unterspannung</b> (Kap. 3.1 – 3.3) $\Delta U_E = +/- 10$ % $\Delta U_E = +/- 25$ %	ja		ja	Umschaltzeit 10 ms
 <b>Spannungsschwankungen</b> (Kap. 4.1 – 4.3) $\Delta U_E = - 30$ % $\Delta U_E = - 60$ %	ja		ja	Umschaltzeit 10 ms
 <b>Spannungsverzerrungen</b> (Kap. 5) Störpegel der Klasse 3 Gemäss IEC 61000-4-13	ja		nein	Umschaltzeit 20 ms
 <b>Frequenzschwankungen</b> (Kap. 3.1; 3.4 – 3.5) $\Delta f_{Esprung} = +/- 10$ % $\Delta f_{Erwart} = +/- 10$ %	ja		nein	Umschaltzeit 20 ms
 <b>Spannungsspitzen</b> (Kap. 6 & 7) schnelle Transiente gemäss IEC 61000-4-4	ja		nein	keine Umschaltung
	energieriche Transiente gemäss IEC 61000-4-5	ja	nein	keine Umschaltung

**Legende:**

$U_{NORM}$  Normspannung gemäss EN 50160 (230 V +/- 10 %, 50 Hz +/- 1.0 %)  
 $P_{Nenn}$  Max. Dauerausgangswirkleistung bei linearer, ohmscher Belastung  
 $S_{Nenn}$  Max. Dauerausgangsscheinleistung bei nichtlinearer Belastung gemäss EN/IEC 62040-3  
 $P_{Max\_Kap}$  Max. Dauerausgangswirkleistung bei linearer, kapazitiver Belastung mit  $\cos \phi = 0.9$  cap

**Aufbau und Klassifikations-Code:**

gemäss IEC 62040-3  
**Last:**  
 100 %, lineare, ohmsche Last oder 100 % lineare Scheinlast  
 Die Messung der Spannungsspitzen erfolgt bei 100 %, linearer, Scheinlast oder bei einer Belastung von max. 16 A / Phase bei USV-Anlagen mit einer Leistung grösser als 20 kV A

Tabelle 11: Q/E-Matrix mit typischen Werten von USV-Anlagen mit dynamischen Energiespeichern  
Seite 1 von 2: Nennwerte und Verbesserung von Netzstörungen

## Einsatz von USV-Anlagen Q/E-Matrix



<b>Netzurückwirkungen im Normalbetrieb am Eingang bei 230 V</b> (Messverfahren Kapitel 8)			
<b>Normalbetrieb</b> (Betrieb über den USV-Pfad)			<b>Lasten am Ausgang</b>
<b>Leistungsfaktor</b>	<b>Klirrfaktor des Eingangsstromes</b>	<b>Stromspektrum Referenznummer</b>	
$\lambda > 0.98$	$k < 3\%$		bei 100 % linearer, ohmscher Last ( $P_{Nenn}$ )
$\lambda > 0.98$	$k < 3\%$		bei 100 % nichtlinearer Last gemäss IEC 62040-3 ( $S_{Nenn}$ )
$\lambda > 0.98$	$k < 3\%$		bei maximalem Ausgangsstrom (Leistungsfaktor $\lambda = 0.9$ )
$\lambda = na$	$k = na$		bei 0-10 %, 50 %, 100 %, asymmetrischer, nichtlinearer Last gemäss IEC 62040-3
<b>Bypass-Betrieb</b> (Betrieb über den Bypass)			<b>Lasten am Ausgang</b>
<b>Leistungsfaktor</b>	<b>Klirrfaktor des Eingangsstromes</b>	<b>Stromspektrum Referenznummer</b>	
$\lambda = na$	$k = na$		bei 100 % linearer, ohmscher Last ( $P_{Nenn}$ )
$\lambda = na$	$k = na$		bei 100 % nichtlinearer Last gemäss IEC 62040-3 ( $S_{Nenn}$ )
$\lambda = na$	$k = na$		bei maximalem Ausgangsstrom (Leistungsfaktor $\lambda =$ )
$\lambda = na$	$k = na$		bei 0-10 %, 50 %, 100 %, asymmetrischer, nichtlinearer Last gemäss IEC 62040-3

<b>Verluste und Wirkungsgrade im Normalbetrieb</b> (Eingangsspannung $U_E = 230\text{ V} \pm 10\%$ ) (Messverfahren Kapitel 9)							
<b>Normalbetrieb</b> (Betrieb über den USV-Pfad)							
<b>Leistung</b>	<b>Verluste (in W) und Wirkungsgrade (in %) bei Betrieb über USV mit</b>						
	linearer, ohmscher Last	nichtlinearer Last gemäss IEC 62040-3		max. Ausgangsstrom ( $\lambda = 0.9$ )		asymmetrischer, nicht-linearer Last gemäss IEC 62040-3	
25 % Nennleistung	2'340 W	94.8 %	2'800 W	94.8 %	-----	-----	-----
50 % Nennleistung	3'780 W	95.8 %	4'200 W	95.8 %	-----	-----	na W    na %
75 % Nennleistung	5'670 W	95.8 %	6'300 W	95.8 %	-----	-----	-----
100 % Nennleistung	7'920 W	95.6 %	8'800 W	95.6 %	8'800 W	95.8 %	-----
Standby-Verluste: 1'800 W bei $U_A =$ Nennspannung und $I_A = 0\text{ A}$							
<b>Bypass-Betrieb</b> (Betrieb über den Bypass)							
<b>Leistung</b>	<b>Verluste (in W) und Wirkungsgrade (in %) bei Betrieb über Bypass mit</b>						
	linearer, ohmscher Last	nichtlinearer Last gemäss IEC 62040-3		max. Ausgangsstrom ( $\lambda = 0.9$ )		asymmetrischer, nicht-linearer Last gemäss IEC 62040-3	
50 % Nennleistung	na W	na %	na W	na %	-----	-----	na W    na %
100 % Nennleistung	3'600 W	98.0%	5'000W	97.5 %	5'000W	97.5 %	-----
Standby-Verluste: na W bei $U_A =$ Nennspannung und $I_A = 0\text{ A}$							

Tabelle 12: Q/E-Matrix mit typischen Werten von USV-Anlagen mit dynamischen Energiespeichern  
Seite 2 von 2: Netzurückwirkungen, Verluste und Wirkungsgrade;  
Die Verluste und Wirkungsgrade sind identisch mit denjenigen von USV-Anlagen mit Batteriespeicher, da in der Q/E-Matrix die Energieeffizienz der Speicher nicht berücksichtigt wird.

## 5.2 Beilage 2: Ergänzungsblatt Speicher zur Q/E-Matrix

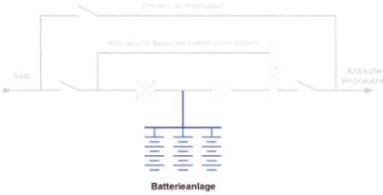
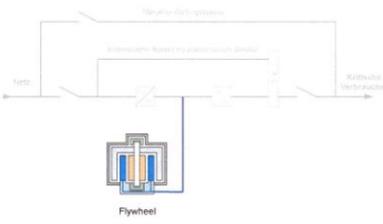
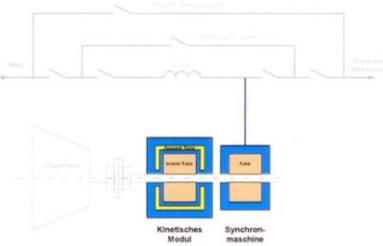
Einsatz von USV-Anlagen Q/E-Matrix Ergänzungsblatt Speicher																										
<b>Batterieanlage</b> (kombinierbar mit Flywheel)																										
<b>Topologie</b>  	<b>Technische Daten</b> <table border="1"> <tr><td>Energiespeicherkapazität</td><td>Ah</td></tr> <tr><td>Anschlussspannung</td><td>V DC</td></tr> <tr><td>Welligkeit der Spannung</td><td>%</td></tr> <tr><td>Maximaler Ladestrom</td><td>A</td></tr> <tr><td>Min. Ladedauer von 0% bis 100 %</td><td>Min.</td></tr> <tr><td>Maximaler Entladestrom</td><td>A</td></tr> <tr><td>Minimale Autonomiedauer</td><td>Min.</td></tr> <tr><td>Dauernachladestrom</td><td>A</td></tr> <tr><td>Wirkungsgrad des Speichers</td><td>%</td></tr> <tr><td>Umgebungstemperatur von bis</td><td>°C</td></tr> <tr><td>Lärmpegel</td><td>&lt; 5 dB</td></tr> <tr><td>Anzahl Lade- und Entladezyklen</td><td></td></tr> </table>		Energiespeicherkapazität	Ah	Anschlussspannung	V DC	Welligkeit der Spannung	%	Maximaler Ladestrom	A	Min. Ladedauer von 0% bis 100 %	Min.	Maximaler Entladestrom	A	Minimale Autonomiedauer	Min.	Dauernachladestrom	A	Wirkungsgrad des Speichers	%	Umgebungstemperatur von bis	°C	Lärmpegel	< 5 dB	Anzahl Lade- und Entladezyklen	
Energiespeicherkapazität	Ah																									
Anschlussspannung	V DC																									
Welligkeit der Spannung	%																									
Maximaler Ladestrom	A																									
Min. Ladedauer von 0% bis 100 %	Min.																									
Maximaler Entladestrom	A																									
Minimale Autonomiedauer	Min.																									
Dauernachladestrom	A																									
Wirkungsgrad des Speichers	%																									
Umgebungstemperatur von bis	°C																									
Lärmpegel	< 5 dB																									
Anzahl Lade- und Entladezyklen																										
<b>Flywheel</b> (kombinierbar mit Batteriespeicher)																										
<b>Topologie</b>  	<b>Technische Daten</b> <table border="1"> <tr><td>Energiespeicherkapazität</td><td>Ah</td></tr> <tr><td>Anschlussspannung</td><td>V DC</td></tr> <tr><td>Welligkeit der Spannung</td><td>%</td></tr> <tr><td>Maximaler Ladestrom</td><td>A</td></tr> <tr><td>Min. Ladedauer von 0% bis 100 %</td><td>Min.</td></tr> <tr><td>Maximaler Entladestrom</td><td>A</td></tr> <tr><td>Minimale Autonomiedauer</td><td>Min.</td></tr> <tr><td>Dauernachladestrom</td><td>A</td></tr> <tr><td>Wirkungsgrad des Speichers</td><td>%</td></tr> <tr><td>Umgebungstemperatur von bis</td><td>°C</td></tr> <tr><td>Lärmpegel</td><td>dB</td></tr> <tr><td>Anzahl Lade- und Entladezyklen</td><td></td></tr> </table>		Energiespeicherkapazität	Ah	Anschlussspannung	V DC	Welligkeit der Spannung	%	Maximaler Ladestrom	A	Min. Ladedauer von 0% bis 100 %	Min.	Maximaler Entladestrom	A	Minimale Autonomiedauer	Min.	Dauernachladestrom	A	Wirkungsgrad des Speichers	%	Umgebungstemperatur von bis	°C	Lärmpegel	dB	Anzahl Lade- und Entladezyklen	
Energiespeicherkapazität	Ah																									
Anschlussspannung	V DC																									
Welligkeit der Spannung	%																									
Maximaler Ladestrom	A																									
Min. Ladedauer von 0% bis 100 %	Min.																									
Maximaler Entladestrom	A																									
Minimale Autonomiedauer	Min.																									
Dauernachladestrom	A																									
Wirkungsgrad des Speichers	%																									
Umgebungstemperatur von bis	°C																									
Lärmpegel	dB																									
Anzahl Lade- und Entladezyklen																										
<b>Kinetisches Modul mit Synchronmaschine</b> (zu dieseldynamischem USV-System)																										
<b>Topologie</b>  	<b>Technische Daten</b> <table border="1"> <tr><td>Energiespeicherkapazität</td><td>kWh</td></tr> <tr><td>Anschlussspannung</td><td>V AC</td></tr> <tr><td>Max. U Oberschwingungsgehalt</td><td>%</td></tr> <tr><td>Maximaler Ladestrom</td><td>A</td></tr> <tr><td>Min. Ladedauer von 0% bis 100 %</td><td>Min.</td></tr> <tr><td>Maximaler Entladestrom</td><td>A</td></tr> <tr><td>Minimale Autonomiedauer</td><td>Min.</td></tr> <tr><td>Dauernachladestrom</td><td>A</td></tr> <tr><td>Wirkungsgrad des Speichers</td><td>%</td></tr> <tr><td>Umgebungstemperatur von bis</td><td>°C</td></tr> <tr><td>Lärmpegel</td><td>dB</td></tr> <tr><td>Anzahl Lade- und Entladezyklen</td><td></td></tr> </table>		Energiespeicherkapazität	kWh	Anschlussspannung	V AC	Max. U Oberschwingungsgehalt	%	Maximaler Ladestrom	A	Min. Ladedauer von 0% bis 100 %	Min.	Maximaler Entladestrom	A	Minimale Autonomiedauer	Min.	Dauernachladestrom	A	Wirkungsgrad des Speichers	%	Umgebungstemperatur von bis	°C	Lärmpegel	dB	Anzahl Lade- und Entladezyklen	
Energiespeicherkapazität	kWh																									
Anschlussspannung	V AC																									
Max. U Oberschwingungsgehalt	%																									
Maximaler Ladestrom	A																									
Min. Ladedauer von 0% bis 100 %	Min.																									
Maximaler Entladestrom	A																									
Minimale Autonomiedauer	Min.																									
Dauernachladestrom	A																									
Wirkungsgrad des Speichers	%																									
Umgebungstemperatur von bis	°C																									
Lärmpegel	dB																									
Anzahl Lade- und Entladezyklen																										

Tabelle 13: Ergänzungsblatt Speicher zur Q/E-Matrix (leer)  
mit Batterieanlage, Flywheel sowie Kinetischem Modul mit Synchronmaschine

5.3 Beilage 3: Lebenszykluskosten von USV-Anlagen mit dynamischen Speichern und Batterieanlagen

**Bundesamt für Energie**  
**Berechnung der Lebenszykluskosten von USV-Anlagen**  
**Allgemeine Eingaben**

Kapitalkosten	
Kapitalzinssatz:	4.0%
Jahresteuern:	2.0%
Realzinssatz:	2.0%

Berechnung der Hoch- und Niedertariffdauern für den Strombezug	
Werktags Beginn HT-Zeit:	6.30 Uhr (Eingabe z.B. "6:30")
Werktags Ende HT-Zeit:	21.00 Uhr (Eingabe z.B. "21:00")
Hochtariffdauer:	3770 Std. pro Jahr
Niedertariffdauer:	4990 Std. pro Jahr

USV Lastverteilung pro Jahr

Definition der Lastart	lineare Last
------------------------	--------------

Betriebsphasen	Dauer [Std.]	Leistung [kW]	Wirkenergiepreis [Rp./kWh]	Leistungsfaktor der Last cos φ
Betriebsdauer 1:	1200	150.0	20.0	0.85
Betriebsdauer 2:	900	135.0	20.0	0.85
Betriebsdauer 3:	500	125.0	20.0	0.88
Betriebsdauer 4:	1500	110.0	12.0	0.90
Betriebsdauer 5:	500	90.0	12.0	0.85
Betriebsdauer 6:	200	75.0	20.0	0.99
Betriebsdauer 7:	200	60.0	20.0	0.85
Betriebsdauer 8:	300	57.0	20.0	0.85
Betriebsdauer 9:	470	55.0	20.0	0.85
Betriebsdauer 10:	260	32.0	12.0	0.86
Betriebsdauer 11:	700	25.0	12.0	0.85
Betriebsdauer 12:	200	20.0	12.0	0.80
Betriebsdauer 13:	1890	15.0	12.0	0.80
Betriebsdauer 14:				
Betriebsdauer 15:				
Betriebsdauer 16:				
Betriebsdauer 17:				
Betriebsdauer 18:				
Betriebsdauer 19:				
Betriebsdauer 20:				
<b>Summe Betriebsdauer:</b>	8760			
<b>Jahresenergieverbrauch der Last:</b>		701220		

Verrechnung des Blindenergieanteils über	
	50%
der Wirkenergie	

Preis für Blindenergie	
	45
Rp./kvarh	



1005.006 / MpX1002c\_LCC-USV-Eval\_1\_1\_Vergleich dyn. Speicher und Batterien.xls / Allgemeine Eingaben  
28.09.2009 / Sing / Mp / Seite 1 von 4

Tabelle 14: Beispiel von Verbrauchsdaten und weitere allgemeine Daten für den Vergleich der Lebenszykluskosten

**Bundesamt für Energie**  
**Berechnung der Lebenszykluskosten von USV-Anlagen**  
**USV-Anlage Variante 1**

Variante:	USV-Anlage mit Batterien
Hersteller / Lieferant:	Lieferant A

USV Typ:	Typische UPS
USV Nennleistung gesamt:	180 kW
USV Nennleistung pro Modul:	180 kW
Anzahl Module evtl. mit Redundanz	1 von 1

Wirkungsgrad und Verluste der USV-Anlage sowie Kompensation des Leistungsfaktors der Last		
	Wirkungsgrad $\eta$ für lineare Last	Komp. auf Leistungsfaktor
- bei 100 % Last	95.6%	0.99
- bei 75 % Last	95.8%	
- bei 50 % Last	95.8%	
- bei 25 % Last	94.8%	
	Verlust in kW	
- bei 0 % Last	2.46	pro Modul
Lebensdauer USV-Anlage:	20 Jahre	

Energieverbrauch	
Wirkenergieverbrauch der Last:	701'220 kWh
Wirkenergieverluste der USV-Anlage:	39'178 kWh
Total Wirkenergiebezug ab Versorgungsnetz:	740'398 kWh
Blindenergiebezug der Last:	404'170 kvarh
Total Blindenergiebezug ab Versorgungsnetz:	105'501 kvarh

Investitionskosten	
Anschaffungskosten USV-Anlage:	SFr. 28'000 ohne Energiespeicher
Anschaffungskosten Batterieanlage:	SFr. 21'800 Autonomie 10 Min.
Installationskosten:	SFr. 2'300 Schrank und Batterieanlage
Total Investition:	SFr. 52'100

Ersatzinvestitionen Batterieanlage		
	Kosten	nach n Jahren
1. Ersatzinvestition der Batterieanlage:	SFr. 21'800	7
2. Ersatzinvestition der Batterieanlage:	SFr. 21'800	14
3. Ersatzinvestition der Batterieanlage:	SFr. 0	
Total der Ersatzinvestitionen Batterieanlage:	SFr. 43'600	

Jährliche Kosten und Erträge der USV-Anlage	
Kosten Wirkenergieverluste:	SFr. 6'468
Kosten Blindenergiebezug (+)	
Ertrag Blindenergieerduktion (-):	-SFr. 2'410
Resultierende Energiekosten der USV-Anlage:	SFr. 4'058
Betrieb und Überwachung:	SFr. 1'000 inkl. Kontrollgänge im Batterieraum
Unterhalt und Reparatur:	SFr. 2'000 inkl. Batteriekontrollen
Weitere Kostenanteile:	SFr. 1'500 inkl. Platzbedarf für Batterien
Umweltkosten (Raumklimatisierung):	SFr. 3'000 inkl. Belüftung Batterien
Total der jährlichen Kosten:	SFr. 11'568

Entsorgungskosten	
Kosten (+) / Ertrag (-) bei Entsorgung:	SFr. 3'000 Elektronik und Batterien

Lebenszykluskosten (LCC)	
LCC bezogen auf den Anschaffungszeitpunkt bei einer Lebensdauer von 20 Jahren:	SFr. 278'608
LCC zum Anschaffungszeitpunkt verteilt auf einzelne Jahre der Lebensdauer der USV-Anlage:	SFr. 17'039

Tabelle 15: Beispiel der Lebenszykluskosten für eine USV-Anlage mit Batterien

**Bundesamt für Energie**  
**Berechnung der Lebenszykluskosten von USV-Anlagen**  
**USV-Anlage Variante 2**

Variante:	USV-Anlage mit dyn. Energiespeicher
Hersteller / Lieferant:	Lieferant A

USV Typ:	Typische UPS mit Flywheel
USV Nennleistung gesamt:	180 kW
USV Nennleistung pro Modul:	180,0 kW
Anzahl Module evtl. mit Redundanz:	1 von 1: 1 UPS; 2 Flywheel (FW)

<b>Wirkungsgrad und Verluste der USV-Anlage sowie Kompensation des Leistungsfaktors der Last</b>		
	Wirkungsgrad $\eta$ für lineare Last	Komp. auf Leistungsfaktor
- bei 100 % Last	95,6%	0,99
- bei 75 % Last	95,8%	
- bei 60 % Last	95,8%	
- bei 25 % Last	94,8%	
	<b>Verlust in kW</b>	
- bei 0 % Last	3,06	pro Modul (1 UPS + 2 FW)
Lebensdauer USV-Anlage:	20	Jahre

<b>Energieverbrauch</b>	
Wirkenergieverbrauch der Last:	701'220 kWh
Wirkenergieverluste der USV-Anlage:	40'043 kWh
Total Wirkenergiebezug ab Versorgungsnetz:	741'263 kWh
Blindenergiebezug der Last:	404'170 kvarh
Total Blindenergiebezug ab Versorgungsnetz:	1'05'624 kvarh

<b>Investitionskosten</b>	
Anschaffungskosten USV-Anlage:	SFr. 28'000 ohne Flywheel
Anschaffungskosten dyn. Energiespeicher:	SFr. 148'000 Autonomie 24 Sek.
Installationskosten:	SFr. 1'500 Schrankmontage USV und FW
Total Investition:	SFr. 177'500

<b>Ersatzinvestitionen Batterieanlage</b>		
	Kosten	nach n Jahren
1. Ersatzinvestition der Batterieanlage:	SFr. 0	
2. Ersatzinvestition der Batterieanlage:	SFr. 0	
3. Ersatzinvestition der Batterieanlage:	SFr. 0	
Total der Ersatzinvestitionen Batterieanlage:	SFr. 0	

<b>Jährliche Kosten und Erträge der USV-Anlage</b>	
Kosten Wirkenergieverluste:	SFr. 8'572
Kosten Blindenergiebezug (+):	
Ertrag Blindenergieerzeugung (-):	-SFr. 2'410
Resultierende Energiekosten der USV-Anlage:	SFr. 4'162
Betrieb und Überwachung:	SFr. 500 Energiespeicher überwacht
Unterhalt und Reparatur:	SFr. 1'500
Weitere Kostenanteile:	SFr. 1'000 geringer Platzbedarf für FW
Umweltkosten (Raumklimatisierung):	SFr. 1'000 geringer Aufwand für Klimatisierung
Total der jährlichen Kosten:	SFr. 8'162

<b>Entsorgungskosten</b>	
Kosten (+) / Ertrag (-) bei Entsorgung:	SFr. 1'000 Elektronik

<b>Lebenszykluskosten (LCC)</b>	
LCC bezogen auf den Anschaffungszeitpunkt bei einer Lebensdauer von 20 Jahren:	
	SFr. 311'629
LCC zum Anschaffungszeitpunkt verteilt auf einzelne Jahre der Lebensdauer der USV-Anlage:	
	SFr. 19'058

Tabelle 16: Beispiel der Lebenszykluskosten für eine USV-Anlage mit dynamischem Energiespeicher

**Bundesamt für Energie**  
**Berechnung der Lebenszykluskosten von USV-Anlagen**  
**Ergebnisübersicht**

Variante:	USV-Anlage mit Batterien	USV-Anlage mit dyn. Energiespeicher	Bemerkungen
<b>Hersteller / Lieferant:</b>	Lieferant A	Lieferant A	Vergleich zweier Anlagen des selben Lieferanten
<b>USV Typ:</b>	Typische UPS	Typische UPS mit Flywheel	
<b>USV Nennleistung exkl. Redundanz [kW]:</b>	180	180	
<b>Konfiguration (Module):</b>	1 von 1	1 von 1	
<b>Lebensdauer der USV-Anlage in Jahren:</b>	20	20	
<b>Energieverbrauch</b>			
<b>Wirkenergieverbrauch der Last [kWh]:</b>	701'220	701'220	
<b>Wirkenergieverluste der USV-Anlage [kWh]:</b>	39'178	40'043	geringer Unterschied, da durch die Leistungselektronik bestimmt
<b>Total Wirkenergiebezug ab Versorgungsnetz [kWh]:</b>	740'398	741'263	
<b>Blindenergiebezug der Last [kvarh]:</b>	404'170	404'170	
<b>Total Blindenergiebezug ab Versorgungsnetz [kvarh]:</b>	105'501	105'624	
<b>Investitionskosten</b>			
<b>Anschaffungskosten USV-Anlage:</b>	SFr. 28'000	SFr. 28'000	Die selbe USV-Anlage ist für beide Arten der Energiespeicherung geeignet.
<b>Anschaffungskosten Energiespeicherung:</b>	SFr. 21'800	SFr. 148'000	Die Investitionskosten für Flywheel sind viel höher als für Batterieanlagen.
<b>Installationskosten:</b>	SFr. 2'300	SFr. 1'500	Mehraufwand für Montage der Batterieanlage
<b>Total Investition:</b>	<b>SFr. 52'100</b>	<b>SFr. 177'500</b>	
<b>Ersatzinvestitionen Batterieanlage</b>			
<b>Total der Ersatzinvestitionen Energiespeicherung:</b>	<b>SFr. 43'600</b>	<b>SFr. 0</b>	Die Batterien müssen während der Lebensdauer der USV-Anlage 2 mal ersetzt werden.
<b>Jährliche Kosten</b>			
<b>Energiekosten USV-Anlage:</b>	SFr. 4'058	SFr. 4'162	Der Unterschied der Energieverluste ist sehr gering.
<b>Betrieb und Überwachung:</b>	SFr. 1'000	SFr. 500	Kontrollgänge im Batterieraum sind erforderlich.
<b>Unterhalt und Reparatur:</b>	SFr. 2'000	SFr. 1'500	Batterien verursachen Mehrkosten für die Wartung und die Kontrollen.
<b>Weitere Kostenanteile:</b>	SFr. 1'500	SFr. 1'000	Der Platzbedarf für die Flywheel ist geringer.
<b>Umweltkosten (Raumklimatisierung):</b>	SFr. 3'000	SFr. 3'000	Mehrkosten für die Klimatisierung des Batterieraumes
<b>Total der jährlichen Kosten:</b>	<b>SFr. 11'558</b>	<b>SFr. 8'162</b>	
<b>Entsorgungskosten</b>			
<b>Kosten (+) / Ertrag (-) bei Entsorgung:</b>	<b>SFr. 3'000</b>	<b>SFr. 1'000</b>	Mehrkosten für die Entsorgung der Batterien
<b>Lebenszykluskosten (LCC)</b>			
<b>LCC bezogen auf Anschaffungszeitpunkt:</b>	SFr. 278'608	SFr. 311'629	Die höheren Investitionskosten für USV-Anlagen mit dynamischen Energiespeicher überwiegen die höheren jährlichen Betriebskosten der USV-Anlagen mit Batterien.
<b>bei einer Lebensdauer von 20 Jahren</b>		20 Jahren	
<b>LCC zum Anschaffungszeitpunkt verteilt auf einzelne Jahre der Lebensdauer der USV-Anlage:</b>	<b>SFr. 17'039</b>	<b>SFr. 19'058</b>	Die jährlichen Kosten für USV-Anlagen mit dynamischen Energiespeicher sind ca. 12% höher als diejenigen für USV-Anlagen mit Batterien.

Tabelle 17: Vergleich der Lebenszykluskosten für eine USV-Anlage mit Batterien mit einer USV-Anlage mit dynamischem Energiespeicher