



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

**Bundesamt für Energie BFE**  
Sektion Netze

**Bericht** vom 12. September 2024

---

# **Langzeitbetrieb von Energieerzeugungsanlagen**

## Anleitung zur erfolgreichen Umsetzung

---



**power engineering ag**  
a solution for you – a challenge for us

**Datum:** 12. September 2024

**Ort:** Bern

**Auftraggeberin:**

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

**Auftragnehmer/in:**

MG Power Engineering AG  
Überlandstrasse 210, CH-8600 Dübendorf  
<https://power-engineering.ch>

**Autor/in:**

Markus Gehrig, MG Power Engineering AG, [m.gehrig@power-engineering.ch](mailto:m.gehrig@power-engineering.ch)

**BFE-Bereichsleitung:** Olivier Baillifard, [olivier.baillifard@bfe.admin.ch](mailto:olivier.baillifard@bfe.admin.ch)

**BFE-Vertragsnummer:** SI/200450-01

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

**Bundesamt für Energie BFE**

Pulverstrasse 13, CH-3063 Ittigen; Postadresse: Bundesamt für Energie BFE, CH-3003 Bern  
Tel. +41 58 462 56 11 · Fax +41 58 463 25 00 · [contact@bfe.admin.ch](mailto:contact@bfe.admin.ch) · [www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>4</b>
1.1	Zusammenfassung in Deutsch	4
1.2	Résumé en français	6
<b>2</b>	<b>Grundlagen und Methoden .....</b>	<b>9</b>
2.1	Ziel der Studie, Verwendungszweck	9
2.2	Methoden	9
<b>3</b>	<b>Erklärungen zum Thema Notstrom .....</b>	<b>10</b>
3.1	Konfigurationen von Notstromanlagen	10
3.1.1	<i>Notstromanlagen mit Kurzunterbrechung</i>	10
3.1.2	<i>Notstromanlagen ohne Unterbrechung (Nobreak)</i>	10
3.1.3	<i>Notstromanlagen der USV-Anlage nachgeschaltet</i>	11
3.2	Netzunterstützung vs. Netzentlastung	11
3.3	Inselbetrieb	12
3.3.1	<i>Betriebliche Risiken</i>	13
3.3.2	<i>Fazit und Empfehlung</i>	13
3.4	Netzparallelbetrieb	14
3.4.1	<i>Betriebliche Risiken</i>	15
3.4.2	<i>Fazit und Empfehlung</i>	15
3.5	Netzparallelbetrieb im Verbund	16
3.5.1	<i>Einordnung</i>	16
3.5.2	<i>Fazit und Empfehlung</i>	16
3.6	Blindleistung, dynamische Netzstützung, Frequenz	17
3.7	Kühlung von Notstromanlagen	18
3.8	Netzstabilität und Ausfallsicherheit in der Schweiz	19
3.8.1	<i>Hinweis</i>	19
3.8.2	<i>Netzstabilität</i>	20
3.8.3	<i>Versorgungssicherheit</i>	21
<b>4</b>	<b>Verschleiss .....</b>	<b>23</b>
<b>5</b>	<b>Verbrauchsmaterial und Stoffe .....</b>	<b>24</b>
5.1	Kraftstoff-Alterung	24
5.2	Biodiesel	24
5.3	Lagerfähigkeit Dieselmotorkraftstoff	25
5.4	Heizöl und HVO	27
5.5	Kraftstoff, Möglichkeit zum Nachfüllen	27
5.6	Kraftstoffzusätze/Additive/Adblue	27
5.7	Schmierstoffe	28
5.8	Verbrauchsmengen hochgerechnet	28

<b>6</b>	<b>Abgasanlage .....</b>	<b>30</b>
6.1	Eigenschaften (Temperatur, Druck, Abgas)	30
6.2	Partikelfilter	30
6.3	Harnstoffkatalysator	31
<b>7</b>	<b>Instandhaltung .....</b>	<b>32</b>
7.1	Inspektion	32
7.2	Wartung Intervall und Häufigkeit	32
7.3	Reparatur, Reparaturkonzept	34
7.4	Arbeitssicherheit	34
7.5	Planung der Instandhaltung	34
<b>8</b>	<b>Lastmanagement .....</b>	<b>35</b>
8.1	Einspeisungsbegrenzung bei mehreren Aggregaten im Parallelbetrieb	35
8.2	Abführen der Restwärme bei wärmegeführten Anlagen (nur minder Priorität)	35
<b>9</b>	<b>Abruf Rückspeisung, Steuerung .....</b>	<b>35</b>
9.1	Abruf der Rückspeisung (interne Einschaltlogik)	35
9.2	Steuerung und Schnittstellen	35
<b>10</b>	<b>Kosten .....</b>	<b>36</b>
10.1	Lastabhängig	36
10.2	Laufzeitabhängig	36
10.3	Fixkosten	36
10.4	Investitionen	37
<b>11</b>	<b>Mögliche Verletzung von Garantiebedingungen .....</b>	<b>38</b>
11.1	Leistungsdefinitionen nach ISO 8528-1	38
11.2	Umrechnung auf die geforderte Betriebsintensität	40
<b>12</b>	<b>Rechtliche Aspekte bezüglich Umweltgesetze .....</b>	<b>41</b>
<b>13</b>	<b>Empfehlungen .....</b>	<b>42</b>
<b>14</b>	<b>Quellen, Literatur und Normen .....</b>	<b>43</b>
14.1	Literatur	43
14.2	Normen und Richtlinien	44
<b>15</b>	<b>Abkürzungen und Begriffserklärung .....</b>	<b>45</b>
15.1	Abkürzungen	45
15.2	Begriffserklärung	46
<b>16</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>46</b>

Zum Zweck der Winterstromreserve untersucht die Studie die Langzeitnutzung von Notstromanlagen und BHKW, einschliesslich Wartung, Kosten und Betriebsbedingungen. Empfehlungen für sicheren und effizienten Betrieb über Wochen werden gegeben, betonend die Bedeutung von Wartungsstopps, Kraftstoff, Ersatzteilen und geschultem Personal, Sicherheit und Planung.

## **1 ZUSAMMENFASSUNG**

### **1.1 Zusammenfassung in Deutsch**

RN 1 Die Studie zielt darauf ab, Poolern, Aggregatoren und Betreibern klare Informationen über die Rahmenbedingungen eines Dauerbetriebes zu bieten und die Akquisition von Reservekraftwerken zu unterstützen. Sie untersucht die Konsequenzen eines Dauerbetriebs von Notstromanlagen über 10 Wochen und die dafür erforderlichen Bedingungen. Die Methoden umfassen eine deskriptive Untersuchung und eine strukturierte und informelle Befragung von Fachfirmen.

RN 2 Die verschiedenen Konfigurationen von Notstromanlagen werden erläutert, einschliesslich solcher mit und ohne Unterbrechung sowie deren Betriebsarten wie Insel- und Netzparallelbetrieb. Die Studie hebt die Unterschiede zwischen Netzunterstützung und Netzentlastung hervor und betrachtet die verschiedenen Risiken und Empfehlungen für jeden Betriebsmodus. Die Kühlung von Notstromanlagen wird ebenfalls behandelt. Insgesamt bietet die Studie einen umfassenden Überblick über Notstromanlagen, ihre Betriebsarten und Anwendungen.

Betriebsarten

RN 3 Das Kapitel 5 Verbrauchsmaterial und Stoffe behandelt die verschiedenen Aspekte im Zusammenhang mit Kraftstoffen, Schmiermitteln und Zusätzen für Notstromaggregate.

RN 4 Es wird die Alterung von Kraftstoffen in Langzeitlagern diskutiert, die zu Störungen und Schäden führen kann. Es wird empfohlen, Ultrafeinfilter und regelmässige chemische Analysen einzusetzen, um die Qualität des Kraftstoffs zu erhalten. Die Verwendung von Biodiesel und die damit verbundenen Herausforderungen wie Verstopfung von Kraftstofffiltern und Beeinträchtigung von Nachbehandlungssystemen wird ebenfalls behandelt.

Kraftstoffe

RN 5 Die Lagerfähigkeit von Dieseldieselkraftstoff und dessen Zusammensetzung mit Fettsäuremethylester (FAME) wird ebenfalls diskutiert, wobei betont wird, dass die Langzeitlagerung problematisch sein kann. Es wird auch auf die Verwendung von Heizöl und HVO in Dieselmotoren sowie auf die Möglichkeit zum Nachfüllen von Kraftstoffen eingegangen.

- RN 6 Des Weiteren werden Kraftstoffzusätze, Schmierstoffe und die Hochrechnung von Verbrauchsmengen behandelt, wobei betont wird, dass eine sorgfältige Planung und Wartung erforderlich sind, um einen reibungslosen Betrieb von Notstromaggregaten zu gewährleisten. **Andere Betriebsstoffe**
- RN 7 Die Eigenschaften und Wartungsanforderungen von Abgasanlagen werden im Kapitel 6 erläutert, insbesondere der Zusammenhang von Temperatur, Auslastung und Verrussung wird beleuchtet. Regelmässige Inspektionen und Wartungsmassnahmen werden hervorgehoben, um die Leistungsfähigkeit der Anlagen zu erhalten und Betriebsausfälle zu verhindern. **Abgasanlage, Partikelfilter**
- RN 8 Der Abschnitt 7 behandelt verschiedene Aspekte der Instandhaltung von Notstromaggregaten. **Instandhaltung**
- RN 9 In Bezug auf Inspektionen wird betont, dass tägliche Sichtkontrollen und Überprüfungen durch geschultes Personal notwendig sind, insbesondere vor einem längeren Betrieb. Die Schulung des Instandhaltungspersonals und die Planung spezifischer Lektionen vor einem längeren Einsatz werden ebenfalls empfohlen.
- RN 10 Die Häufigkeit und Intensität der Wartung sind nicht eindeutig festgelegt und hängen von verschiedenen Faktoren wie Alter, Grösse und Typ des Aggregats ab. Die Empfehlungen reichen von einer Wartung alle 500 Betriebsstunden bis hin 1500 Stunden, wobei die Art des Einsatzes und die Motorölqualität eine Rolle spielen.
- RN 11 Für Reparaturen, die unvorhersehbar sind, wird ein Interventionsplan empfohlen, der im Lichte des Dauerbetriebes ausgearbeitet wird. Die Arbeitssicherheit, insbesondere in Räumen mit mehreren Aggregaten, muss ebenfalls berücksichtigt werden, um Unfälle während Inspektionen, Wartungen oder Reparaturen zu vermeiden. Die Planung der Instandhaltung erfordert ein interdisziplinäres Team und die Bereitstellung angemessener finanzieller Mittel durch das Management. **Störungsintervention, Arbeitssicher und Planung**
- RN 12 Im Kontext der Einspeisungsbegrenzung bei Parallelbetrieb mehrerer Aggregate ist es wichtig, die Auswirkungen auf den Betrieb und den Netzschutz mit dem Verteilnetzbetreiber zu klären, da Rücklieferungen von Energie ins Netz zu Schutzauslösungen führen können. **Netzeinspeisung und Verteilnetzbetreiber**
- RN 13 Im Kapitel 10 wird aufgezeigt, dass die finanziellen Aufwendungen sehr stark vom betreffenden Fall abhängig sind. Die Kosten setzen sich aus lastabhängigen, laufzeitabhängigen, fixen Kosten sowie der Kosten der Investition zusammen.
- RN 14 Die Leistungsdefinitionen nach ISO 5828 werden detailliert erläutert und was der Einfluss von Notstrombetrieb auf Dauerbetrieb bedeutet. Um

eine Garantieverletzung zu vermeiden, ist auf jeden Fall mit dem Händler die Einsatzleistung im Dauerbetrieb zu vereinbaren. Schliesslich werden auch die umweltrechtlichen Aspekte der Notstromanlage zusammengefasst dargestellt.

- RN 15 Um einen Dauerbetrieb über Wochen sicherzustellen, sind unter Umständen geplante Wartungsstopps und die Versorgung mit Ersatzteilen und Personal essenziell. Die Logistik muss rechtzeitig geplant werden, und das Derating der Aggregate sollte verbindlich mit dem Hersteller geklärt werden. Eine automatische Schmierölnachführung ist empfehlenswert. Es wird mehr Personal für Inspektionen, Organisation und Betreuung von Anlieferungen benötigt, das entsprechend rekrutiert und geschult werden muss.

**Wichtig**

## 1.2 Résumé en français

- RN 16 L'étude vise à fournir aux poolers, aux agrégateurs et aux exploitants des informations claires sur les conditions générales d'une exploitation permanente et à soutenir l'acquisition de centrales de réserve. Elle examine les conséquences d'une exploitation permanente de groupes électrogènes de secours pendant plus de 10 semaines et les conditions nécessaires à cette exploitation. Les méthodes utilisées comprennent une étude descriptive et une enquête structurée et informelle auprès d'entreprises spécialisées.
- RN 17 Les différentes configurations des installations de secours sont expliquées, y compris celles avec et sans interruption, ainsi que leurs modes de fonctionnement tels que le fonctionnement en îlotage et en parallèle au réseau. L'étude souligne les différences entre le soutien du réseau et le délestage du réseau et examine les différents risques et recommandations pour chaque mode de fonctionnement. Le refroidissement des groupes électrogènes de secours est également abordé. Dans l'ensemble, l'étude offre un aperçu complet des installations de secours, de leurs modes de fonctionnement et de leurs applications.
- RN 18 Le chapitre 5 aborde les différents aspects liés aux carburants, aux lubrifiants et aux additifs pour les groupes électrogènes de secours.
- RN 19 Le vieillissement des carburants dans les entrepôts de longue durée, qui peut entraîner des dysfonctionnements et des dommages, est discuté. Il est recommandé d'utiliser des filtres ultrafins et de procéder à des analyses chimiques régulières afin de préserver la qualité du carburant. L'utilisation du biodiesel et les défis qui y sont liés, tels que le colmatage des filtres à carburant et la dégradation des systèmes de post-traitement, sont également abordés.

- RN 20 La capacité de stockage du diesel et sa composition avec des esters méthyliques d'acides gras (EMAG) sont également discutées, en soulignant que le stockage à long terme peut être problématique. L'utilisation du mazout et du HVO dans les moteurs diesel est également abordée, ainsi que la possibilité de réapprovisionner en carburant.
- RN 21 Les additifs pour carburants, les lubrifiants et l'estimation des consommations sont également abordés. Il est également question de l'extrapolation des quantités consommées, qu'une planification et un entretien minutieux sont nécessaires pour garantir le bon fonctionnement des groupes électrogènes.
- RN 22 Le chapitre 6 présente les caractéristiques et les exigences d'entretien des conduits de fumée. La relation entre la combustion et la température, l'utilisation et l'encrassement sont mis en lumière. Les inspections et les mesures d'entretien sont mises en évidence afin de garantir la maintenir les performances des installations et prévenir les pannes.
- RN 23 Le chapitre 7 traite de différents aspects de la maintenance des groupes électrogènes de secours.
- RN 24 En ce qui concerne les inspections, l'accent est mis sur la nécessité de procéder à des contrôles visuels et à des vérifications quotidiennes par un personnel formé, en particulier avant une utilisation prolongée. La formation du personnel de maintenance et la planification de formations spécifiques avant une utilisation prolongée sont également recommandées.
- RN 25 La fréquence et l'intensité de la maintenance ne sont pas clairement définies et dépendent de différents facteurs tels que l'âge, la taille et le type du groupe. Les recommandations vont d'un entretien toutes les 500 heures de fonctionnement à 1500 heures, le type d'utilisation et la qualité de l'huile moteur jouant un rôle.
- RN 26 Pour les réparations qui sont imprévisibles, il est recommandé d'élaborer un plan d'intervention à la lumière du fonctionnement continu. La sécurité au travail, en particulier dans les locaux où se trouvent plusieurs groupes, doit également être prise en compte afin d'éviter les accidents lors des inspections, de la maintenance ou des réparations. La planification de la maintenance nécessite une équipe interdisciplinaire et la mise à disposition de ressources financières adéquates par la direction.
- RN 27 Dans le contexte de la limitation de l'injection en cas de fonctionnement en parallèle au réseau de plusieurs groupes, il est important de vérifier les effets sur l'exploitation et la protection du réseau avec le gestionnaire

du réseau de distribution, car des retours d'énergie dans le réseau peuvent entraîner des déclenchements de protections.

RN 28 Le chapitre 10 montre que les charges financières dépendent très fortement du cas concerné. Les coûts se composent de coûts dépendant de la charge, de coûts dépendant de la durée, de coûts fixes ainsi que des coûts d'investissement.

RN 29 Les définitions de la puissance selon la norme ISO 5828 sont expliquées en détail, ainsi que l'influence du fonctionnement en mode secours sur le fonctionnement en continu. Afin d'éviter une violation de la garantie, il faut dans tous les cas convenir avec le revendeur de la puissance d'utilisation en mode continu. Enfin, les aspects environnementaux du groupe de secours sont également présentés de manière synthétique.

RN 30 Pour garantir un fonctionnement continu pendant des semaines, il peut être essentiel de planifier des arrêts de maintenance et d'assurer l'approvisionnement en pièces de rechange et en personnel. La logistique doit être planifiée à temps et le "derating" des groupes doit être obligatoirement clarifié avec le fabricant. Un remplissage automatique de l'huile de lubrification est recommandé. Il faut davantage de personnel pour les inspections, l'organisation et le suivi des livraisons, qui doit être recruté et formé en conséquence.

## 2 GRUNDLAGEN UND METHODEN

### 2.1 Ziel der Studie, Verwendungszweck

- RN 31 Die Studie soll als Instrument zur Kommunikation dienen: Die Pooler und Aggregatoren sollen anhand dieser Studie die Rahmenbedingungen (technisch wie auch kommerziell) in einfacher und klarer Form nachschlagen können.
- RN 32 Der Bericht soll als Unterstützung der Akquisition von Reservekraftwerken dienen und entsprechend verwendet werden.
- RN 33 Die Studie soll aufzeigen, ob ein Dauerbetrieb der Notstromanlagen (10 Wochen durchgehender Betrieb) möglich ist und was dafür notwendig ist. Die 10 Wochen stellen dabei die Zielgrösse dar. Da eine Notstromanlage nicht über diese lange Zeit ohne Unterbrechung für Wartung laufen kann, sind auch die erforderlichen Wartungsfenster zu thematisieren. Es ist aufzuzeigen, welche Einflüsse eine kürzere Einsatzdauer hat.

### 2.2 Methoden

- RN 34 Die deskriptive Studie beschreibt die Erfahrungen und Erkenntnisse rund um die Herausforderungen, die sich stellen, wenn eine Notstromanlage als Dauerstromversorgung verwendet wird. Dazu wurden aus den genannten Quellen theoretische und praktische Erkenntnisse zusammengetragen. Um der praktischen Erfahrung der Firmen, die Notstromanlagen erstellen und warten mehr Gewicht zu geben, wurde eine strukturierte Befragung durchgeführt:

Anzahl angefragte Firmen:	15
Rücklauf:	5
Anzahl Fragen:	20

- RN 35 Die Ausschöpfung lässt keine statistisch zuverlässige Auswertung zu. Die teilweise ausführlichen Hinweise sind aber wertvoll und sind in die Studie eingeflossen. Der Fragebogen ist im Anhang der Studie einsehbar.
- RN 36 An der Umfrage haben teilgenommen:
- Avesco AG, Gian Franco Broggi
  - AKSA Würenlos AG, Mathias Ringli
  - DCPowerSystems AG, Urs Peier
  - DEMTECH AG, André Hürlimann
  - Pure Clean Air AG, Moreno D'Agostino

### **3 ERKLÄRUNGEN ZUM THEMA NOTSTROM**

#### **3.1 Konfigurationen von Notstromanlagen**

##### **3.1.1 Notstromanlagen mit Kurzunterbrechung**

- RN 37 Notstromanlagen dieser Bauart werden wie gewöhnliche synchrone Kraftwerke<sup>1</sup> an das Netz geschaltet. Sie sind mit ganz wenigen älteren Ausnahmen mit Synchrongeneratoren ausgerüstet und sind daher prinzipiell in der Lage, Wirk- und Blindleistung ins Netz einzuspeisen.
- RN 38 Bei einem Netzausfall trennt der Netzkupplerschalter die Verbraucher vom Versorgungsnetz. Dann wird das Notstromaggregat über Elektromotoren oder mit Druckluftstarter in Gang gesetzt. Nach Erreichen der Nenndrehzahl wird der Generatorschalter geschlossen und die Last in Stufen zugeschaltet. Der Inselbetrieb ist erreicht. Bei Netzurückkehr erkennt die Steuerung, dass das Netz wieder stabil ist und synchronisiert den Generator über den Kuppelschalter wiederum mit dem Netz. Nach einer einstellbaren Zeit wird das Notstromaggregat wieder über den Generatorschalter vom Netz getrennt. Die Anlage ist wieder im Bereitschaftsmodus für den nächsten Ausfall. In Abbildung 1 ist die Schaltung dargestellt.
- RN 39 Anlagen dieser Art werden meistens monatlich einem Lastprobelauf unterzogen, wo die Leistungsfähigkeit unter Last geprüft wird. Hierzu wird der Generator über den Generatorschalter an das Netz synchronisiert und zu geschaltet. Dann wird die Leistung sukzessiv hochgefahren und der Strom an die Verbraucher abgegeben und der Überschuss in das Netz eingespeist. Da solche Anlage oft überdimensioniert oder redundant ausgeführt sind, resultiert eine hohe Rückspeisungsleistung.

##### **3.1.2 Notstromanlagen ohne Unterbrechung (Nobreak)**

- RN 40 Nobreak-Anlagen sind dynamische USV-Anlagen und versorgen die Verbraucher unterbrechungsfrei mit Strom. Eine Netzstützung ist nicht möglich oder nicht vorgesehen. Solche Anlagen können aber das Netz entlasten. Der Unterschied zwischen Netzentlastung und Netzunterstützung ist in Kap. 3.2 beschrieben.
- RN 41 Bei solchen Anlagen kommt bei einem Netzausfall die Energie kurzfristig aus einem Kurzzeitspeicher (kinetisch über einen schnellerlaufenden Aussenrotor eines Kinetikmoduls oder eine grosse Schwungmasse oder elektrisch über eine Batterie oder Doppelschichtkondensatoren) bis das Dieselaggregat gestartet und hochgelaufen ist. Sobald die Drehzahl erreicht ist, wird der Dieselmotor über die Freilaufkupplung<sup>2</sup> mit dem Generator bzw. dem Kinetikmodul verbunden. Die Varianten sind so

<sup>1</sup> Typ 1 Kraftwerk, siehe Begriffsbestimmung

<sup>2</sup> Je nach Hersteller auch Überholkupplung genannt

zahlreich wie die Lieferanten, die solche Lösungen anbieten. Entsprechend haben alle diese Lösungen ihre Vorteile und Nachteile.

### 3.1.3 Notstromanlagen der USV-Anlage nachgeschaltet

RN 42 Wenn auch hierzulande diese Lösung exotisch anmutet, gibt es sie auch. Das Genset wird von der rotierenden USV gesteuert und startet nach Netzausfall, übernimmt nach dem Synchronisieren die Last und entlastet damit die rotierende USV-Anlage.<sup>3</sup> Auch dieses System kann nicht in das speisende Versorgungsnetz zurückspeisen. Es kann aber das Netz entlasten.

## 3.2 Netzunterstützung vs. Netzentlastung

RN 43 Als Netzunterstützung verstehen wir hier den Parallellauf von Notstromgeneratoren zum öffentlichen Netz. In Rechenzentren sind die Notstromanlagen in der Regel redundant ausgelegt, um die Versorgungssicherheit zu erhöhen. Das bedeutet, die installierte Leistung ist grösser, je nach Konfiguration sogar doppelt so gross wie die Verbraucherleistung. Solche Betriebe sind also in der Lage, eine grössere Leistung einzuspeisen, als sie selbst aus dem Netz beziehen.

RN 44 Als Netzentlastung verstehen wir hier den Insellauf von Notstromgeneratoren mit den zugehörigen Lasten. Der Generator bildet mit seiner Last ein autarkes Netz, das unabhängig und galvanisch entkoppelt vom öffentlichen Netz funktioniert. Die ggf. vorhandene Redundanz erhöht in diesem Betriebsmodus die Versorgungszuverlässigkeit für die angeschlossene Last.

RN 45 Für das öffentliche Netz hat die Redundanz in diesem Fall keine Bedeutung. Daher ist die Netzentlastung aus der Sicht der öffentlichen Stromversorgung weniger interessant wie die Netzunterstützung.

RN 46 Ohne empirischen Nachweis sei hier angemerkt, dass das öffentliche europäische Verbundnetz deutlich zuverlässiger ist wie eine kleine Gruppe von Notstromaggregaten aus vielleicht 20 Einheiten.<sup>4</sup> Dafür sprechen die folgenden Eigenschaften:

- Die grosse Zahl unabhängiger Kraftwerke im Verbundnetz
- Der strukturelle Aufbau der Netzregelung mit ihren regional verteilten Bilanzgruppen.
- Der Kraftwerksvorhalt, der einen Auslegungsstörfall von 3 Gigawatt zulässt.

<sup>3</sup> Piller White Paper No. 0062-0-de: Sind alle rotierenden USVen gleich? 2013, S. 18 f.

<sup>4</sup> Siehe dazu auch Kap. 3.8 Netzstabilität und Ausfallsicherheit in der Schweiz



das transiente Verhalten des Aggregates charakterisiert (Tabelle 5 ISO 8528-5). Eng damit gekoppelt ist auch die maximale Lastaufschaltung. Im Inselbetrieb muss die Laständerung allein durch das Notstromaggregat bewältigt werden. Dabei pendelt die Frequenz um den Synchronpunkt und schwingt dann ein, sofern der Laststoss nicht zu gross ist.

### 3.3.1 Betriebliche Risiken

- RN 50 Ein sehr hoher Laststoss kann das Aggregat an die Stabilitätsgrenze bringen, sodass das Polrad aussertritt fallen würde. Ein solches Ereignis wird durch die Schutzmechanismen des Aggregates verhindert. Denn das würde zu massiven Anlagenschäden führen.
- RN 51 Aber auch bei geringeren Laststössen können erhebliche Frequenzschwankungen die Folge sein. USV-Anlagen gehen in einem solchen Fall in den Batteriebetrieb mit der Folge, dass die Last drastisch zurückgeht. Das kann zu heftigem Pendeln führen.
- RN 52 Moderne kompakte Hochleistungsdieselmotoren haben eine hohe Aufladungsrate und sind daher empfindlicher auf Laständerungen als ältere Aggregate mit grossem Hubraum.
- RN 53 Ein Inselbetrieb erfolgt immer über eine Netztrennung. Das führt zu einem Spannungsausfall für alle Verbraucher, die nicht mit USV-Strom versorgt sind. Solche Blackout-Tests werden in der Regel einmal jährlich durchgeführt. Dabei kommt es gelegentlich zu Ausfällen von angeschlossenen Geräten, die dann ersetzt werden.

### 3.3.2 Fazit und Empfehlung

- RN 54 Fazit: Wer seine Anlage im Inselbetrieb (originärer Notstrombetrieb) betreibt, kennt aus eigenem Interesse das Lastverhalten genau.
- RN 55 Empfehlung: Der Inselbetrieb, also ein Schwarzstart mit Lastaufschaltung, ist zwar in den meisten Fällen erprobt, stellt aber ein zusätzliches Risiko dar, das im Netzparallelbetrieb nicht besteht.



- RN 58 Damit ein Notstromaggregat netzparallelbetriebsfähig ist, muss es mit einer Synchronisiervorrichtung ausgerüstet sein. Die Synchronisierung prüft, ob das Netz und das Aggregat die gleiche Frequenz und die gleiche Phasenlage haben und regelt ggf. die Drehzahl, bis beide Kriterien genau stimmen, dann wird zugeschaltet.
- RN 59 Der Netzparallelbetrieb wird auch zum Lastprobelauf verwendet, weil diese Betriebsart unterbrechungsfrei aus dem normalen Netzbetrieb erreicht werden kann.

### 3.4.1 Betriebliche Risiken

- RN 60 Treten netzseitig Frequenzschwankungen auf, etwa durch eine Mangellage oder einen Kraftwerkwechsel, welche über die eingestellte Toleranz hinausgeht, trennt sich das Aggregat vom Netz und stellt einen Inselbetrieb her.
- RN 61 Tritt ein Spannungsausfall oder ein Frequenzeinbruch ein, trennt sich das Aggregat sofort vom Netz. Dazu überwacht ein Schutzgerät entweder den Polradwinkel (Lastwinkel) oder den Frequenzgradienten, bei grossen Anlagen im MW-Bereich auch beide Kriterien.

### 3.4.2 Fazit und Empfehlung

- RN 62 Fazit: Der Netzparallelbetrieb ist risikoarm. Das einzige Risiko ist der schnelle transiente Netzfehler (ROCOF-Fehler) der mit Lastwinkelrelais und Frequenzgradientenrelais überwacht werden. Die Konsequenz ist eine sofortige Netztrennung, gefolgt von einer erneuten Synchronisation und wieder Zuschaltung. Je nach Konfiguration wird dabei die Last für einige Sekunden abgeworfen.
- RN 63 Empfehlung: Als Reservekraftwerk kommt praktisch nur der Netzparallelbetrieb infrage. Damit lässt sich die Last leicht, anlageschonend und bedarfsgerecht führen.

### 3.5 Netzparallelbetrieb im Verbund

#### 3.5.1 Einordnung

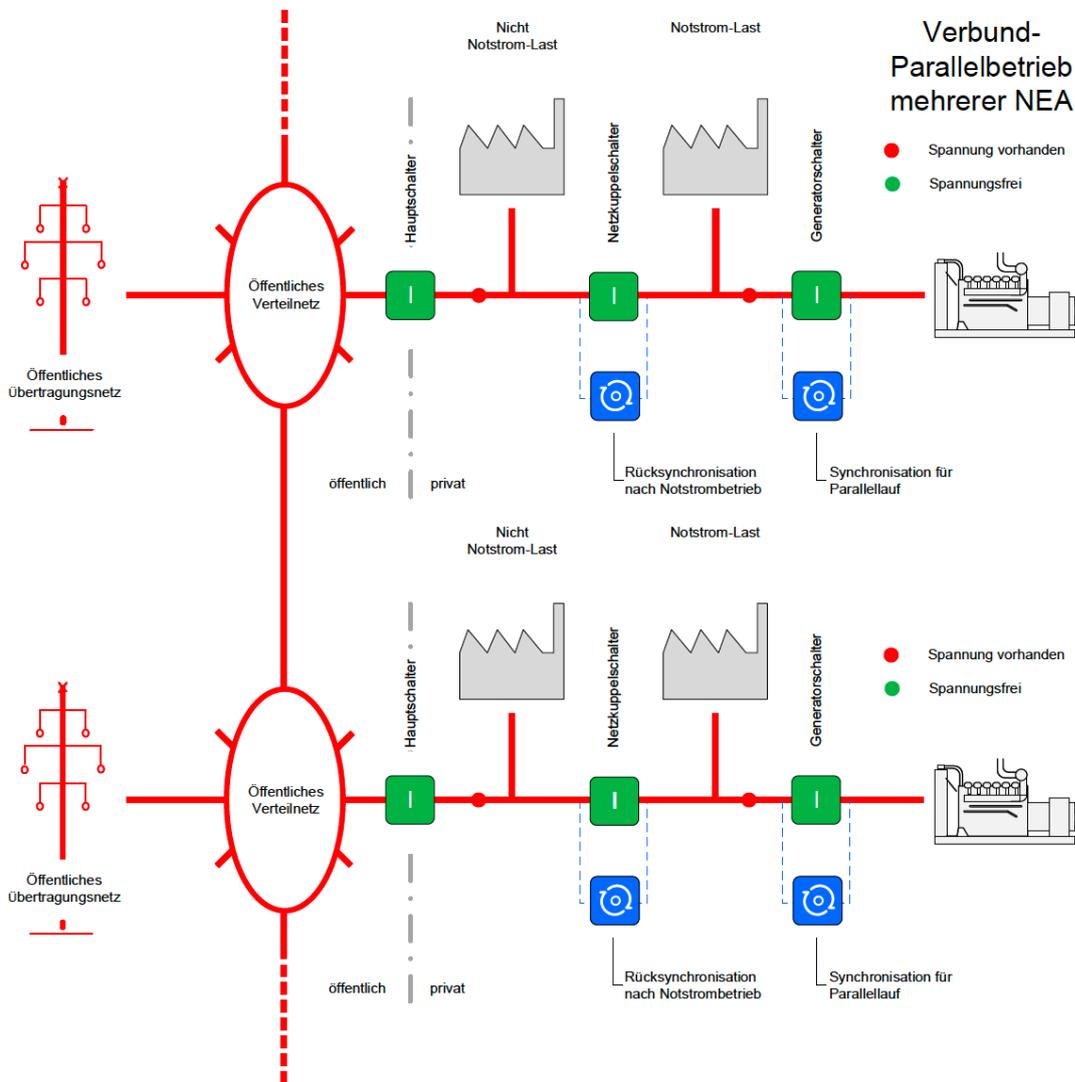


Abbildung 3: Prinzip des Schaltzustandes im Netzparallelbetrieb unabhängiger Anlagen

RN 64 Der Netzparallelbetrieb im Verbund ist das Gleiche, wie wenn mehrere Notstrombetreiber gleichzeitig einen Lastprobellauf durchführen. Eine Regelung untereinander ist nicht erforderlich. Lediglich die Leistungsanforderung kommt vom Verteilnetzbetreiber. Das ist vergleichbar mit der Tertiärleistungslieferung.

#### 3.5.2 Fazit und Empfehlung

RN 65 Fazit: Der Verbundbetrieb mit zentraler Leistungsanforderung ist ebenso wenig kritisch, wie der Netzparallelbetrieb.

### 3.6 Blindleistung, dynamische Netzstützung, Frequenz

- RN 66 Synchrongeneratoren sind in der Lage, Blindstrom in das Netz einzuspeisen und können so dynamisch zur Netzstützung beitragen. Mit der Regulierung der Blindleistung kann die Spannung stabil gehalten werden und so das Abschalten bei Unter- oder Überspannung verhindert werden. Es sind keine weiteren Massnahmen erforderlich.
- RN 67 Eine synchrone Erzeugungsanlage, was eine Notstromanlage oder ein BHKW typischerweise ist, muss in der Lage sein, einen Spannungsfehler im Netz in den Toleranzen der Abbildung 4 zu durchlaufen, ohne dass eine Netztrennung erfolgt. Notstromanlagen haben erleichterte Bedingungen, die jedoch nicht gelten, wenn die Anlage über längere Zeit am Netz ist.<sup>6</sup>

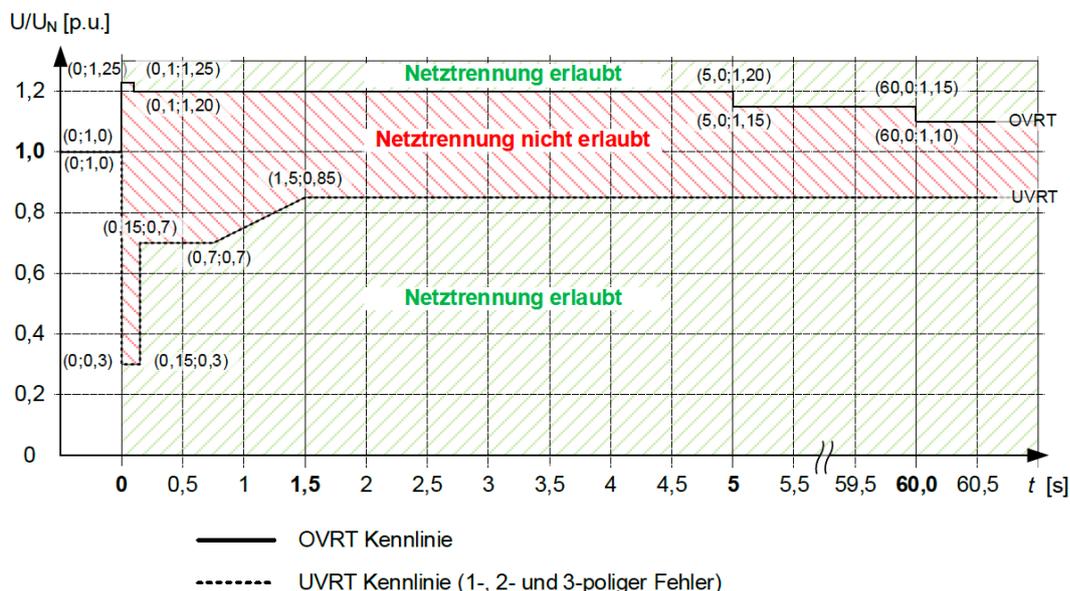


Abbildung 4: Fehlerdurchlaufen bei Unter- oder Überspannung<sup>7</sup>

- RN 68 Falls die Frequenz aus dem Bereich von 49.8 bis 50.2 Hertz driftet, muss die Leistung angepasst werden: Bei Unterfrequenz muss die Leistung gehalten werden oder darf höchstens 10 % pro Hertz abgesenkt werden. Bei Überfrequenz dagegen muss die Leistung mit einem Gradienten von 40 % der maximalen Wirkleistung pro Hertz abgesenkt werden, was einer Statik von 5 % entspricht. Wir mit einer geringeren Leistung eingespeist, kann diese Leistung bis zum Grenzwert weitergehalten werden.<sup>8</sup>

<sup>6</sup> Kap. 7.1.2, Ziff 4, VSE-Branchenempfehlung NA/EEA-NE7 CH 2020 (Anmerkung: Die rechtliche Verbindlichkeit erlangt die Branchenempfehlung durch die technischen Anschlussbedingungen bzw. durch die Werkvorschriften der Verteilnetzbetreiber)

<sup>7</sup> Quelle VSE-Branchenempfehlung NA/EEA-NE7 CH 2020 (Abb. 6 u(t)-Kennlinie für FRT-Verhalten)

<sup>8</sup> Kap. 5.8.3, Ziff 3 ff., VSE-Branchenempfehlung NA/EEA-NE7 CH 2020

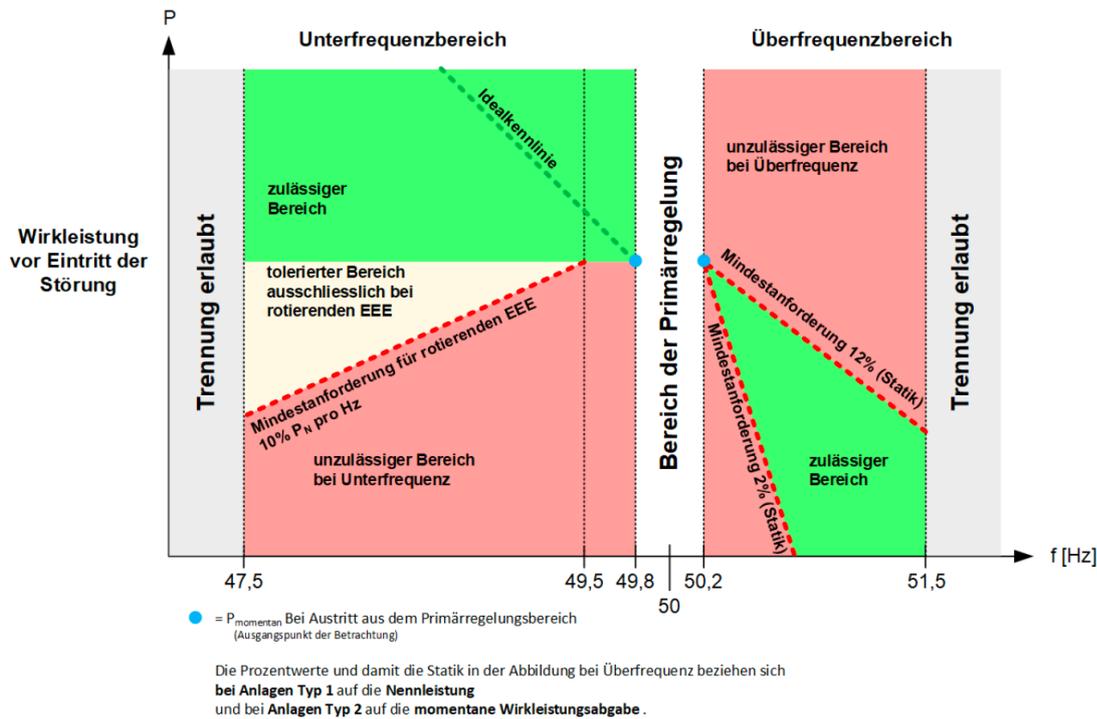


Abbildung 5: Abgabeleistung in Abhängigkeit der Netzfrequenz<sup>9</sup>

RN 69 Schnelle Frequenzänderungen von müssen robust durchlaufen werden. Stabilitätsanforderung  $\pm 1.0$  Hz/s

RN 70 Die gemittelten Werte der Frequenzänderungsrate (ROCOF) gelten für ein gleitendes Zeitfenster von 0.5 Sekunden.

RN 71 Bei einem Frequenzeinbruch oberhalb der in der folgenden Grafik dargestellten Kennlinie darf die Leistungsabgabe nicht reduziert werden.

RN 72 Für Anlagen, die an die Mittel oder Hochspannung angeschlossen werden, gelten die entsprechenden Angaben für die Netzebene 3 bis 5.<sup>10</sup>

### 3.7 Kühlung von Notstromanlagen

RN 73 Für Notstromanlagen stehen verschiedene Kühlungskonzepte im Einsatz. Die wichtigsten sind im Folgenden aufgezählt:

- Aussenaufstellung in Container mit vorgebautem Rippenkühler
- Aussenaufstellung in Container mit separatem Rückkühler
- Innenaufstellung mit vorgebautem Rippenkühler und freier Nachströmung

<sup>9</sup> Quelle VSE-Branchenempfehlung NA/EEA-NE7 CH 2020 (Abb. 8 Übersicht Anforderungen an die Abgabeleistung in Abhängigkeit der Netzfrequenz.

<sup>10</sup> VSE-Branchenempfehlung NA/EEA-NE3-5 CH 2022

- Innenraumaufstellung mit Wärmetauschern, Rückkühlnetz und Rückkühlern im Freien.
- Innenraumaufstellung mit Wärmetauschern und Verwendung Rückkühlnetz des Gebäudes
- Innenraumaufstellung mit Wärmetauschern und Kühlung über Fluss- oder Seewasser, selten Trinkwasser (Ausnahmen z. B. Wasserversorgungen)

RN 74 Bei Innenraumanlagen besonders in Untergeschossen, sind für die Abführung der Strahlungswärme auch Umluftkühler im Einsatz, die ihre Wärme an ein Rückkühlnetz abgeben.

RN 75 Für den Dauerbetrieb von Notstromanlagen muss insbesondere bei der Verwendung von Gebäuderückkühlnetzen geprüft werden, ob die Auslegung der Rückkühlung für den Dauerbetrieb geeignet ist.

RN 76 Wärmetauscher, Rohrleitungen, Absperrorgane und Rückkühler benötigen zusätzliche Inspektion während des Dauerbetriebes. Diese Arbeiten werden in der Regel durch die Instandhaltungsorganisationen geregelt. Insbesondere Rückkühler müssen hin und wieder gereinigt werden. Die Verschmutzung ist abhängig von den Umgebungsbedingungen und der erhöhten Nutzung.

RN 77 Es muss geprüft werden, ob eine Teilabschaltung der Rückkühlung für den Wartungsfall möglich ist. Ansonsten muss diese Arbeit mit den geplanten Aggregateabschaltungen koordiniert werden.

### **3.8 Netzstabilität und Ausfallsicherheit in der Schweiz**

#### **3.8.1 Hinweis**

RN 78 Notstromanlagen mit ihren Konfigurationen und Betriebsvorschriften sind bei Rechenzentren fast immer aufgrund angelsächsischer Normen, Richtlinien festgelegt. Diese Festlegungen haben einen engen Bezug zu der Versorgungssicherheit in Amerika und teilweise in Grossbritannien. In der Schweiz ist die Situation mit der Versorgungssicherheit grundlegend anders, was im folgenden Kapitel erklärt wird.

RN 79 Das Vertrauen in die Versorgungssicherheit und in die Stabilität des öffentlichen Netzes ist ein entscheidender Einflussfaktor für die Akzeptanz der Netzunterstützung durch den Parallelbetrieb. Ein stabiler, zuverlässiger Netzparallelbetrieb setzt eine gute Versorgungssicherheit voraus. Firmen und Personen, die den Netzparallelbetrieb ablehnen, tun dies oft aufgrund von internen Richtlinien oder eigenen Erfahrungen in Ländern mit einer schlechten Versorgungsstabilität wie zum Beispiel in den USA.

### 3.8.2 Netzstabilität

RN 80 Die Netzstabilität hat drei Komponenten.

- Bilanzmässig ausgewogen.
- Vorausberechenbar
- Inhärente Selbstregelung

RN 81 Es muss zu jederzeit gleich viel Energie bezogen werden, wie gerade erzeugt wird. Wenn zu wenig produziert wird, sinkt die Frequenz und wenn zu viel generiert wird, steigt sie. Warum das wichtig ist: Aus Stabilitätsgründen muss die Frequenz in engen Toleranzen gehalten werden, da sonst grosse Ausgleichsströme durch die Übertragungsnetze pendeln würden.

Bilanzmässig ausgewogen

RN 82 Idealerweise ist der Kraftwerkseinsatz zu 100 % voraussehbar. Das ist real nicht so, denn jedes Kraftwerk kann auch durch nicht voraussehbare Störungen ausfallen. Daher muss immer eine gewisse Reserveleistung vorgehalten werden. Sind grosse Kraftwerke an der Produktion beteiligt, muss auch der Leistungsvorhalt gross sein. In Europa ist das für den Auslegungsstörfall 3000 Megawatt.<sup>11</sup> Mit den erneuerbaren Energien, insbesondere Windkraft und PV, sind weitere Unsicherheiten dazugekommen. In der Vergangenheit oft als Flatterstrom belächelt. Je mehr solcher Flatterstrom vorhanden ist, desto weniger flattert er. Heute ist erneuerbare Energie längst nicht mehr stochastisch, was heisst zufällig. Die Wettervorhersagen und eine grosse Anzahl verschiedenartiger Kraftwerke machen den Kraftwerkseinsatz planbar. Nicht immer, aber meistens. Allerdings braucht es in Zukunft noch einen massiven Zubau und grosse Investitionen in die Netze, um die Versorgungssicherheit langfristig zu gewährleisten.

Vorausberechenbar

RN 83 Die traditionellen Kraftwerke mit Synchrongeneratoren haben die tolle Eigenschaft, dass sie in Drehstromnetzen durch ihre kinetische Energie zur Stabilität beitragen, noch bevor irgendein Regler eingreifen kann. Das nennt man Momentanreserve oder Trägheit.

Inhärente Selbstregelung

RN 84 Die Synchrongeneratoren koppeln die Kraftwerke mehr oder weniger hart mit dem Netz und allen anderen Synchrongeneratoren. Dennoch ist die Koppelung vergleichbar mit einer Feder. Jedes Kraftwerk und das Netz selbst enthalten wesentlich Induktivitäten. Induktivitäten sind vergleichbar mit Federn in der Translationsmechanik. Der Reziprokwert der Induktivität ist dabei die Federkonstante.

RN 85 Die Summe aller rotierenden Massen der Kraftwerke, also Rotoren der Generatoren sowie Laufzeuge der Wasser-, Dampf- und Gasturbinen

<sup>11</sup> Entso-E (European Network of Transmission System Operators for Electricity) Hrsg, Operation Handbook: P1 - Policy 1: Load-Frequency Control: Final Version (approved by SC on 19 March 2009). 2009, S. 5, Unterabsatz A-D3.1

bilden die kinetische Energie, welche eine Frequenzänderung kompensieren. Die Grösse dieser kinetischen Energie ist aber auch Teil des Problems, denn wenn die Gesamtversorgung von Grosskraftwerken besorgt wird, so ist bei einer Störung die potenziell wegbrechende Kraftwerksleistung sehr gross. Der oben genannte Auslegungsstörfall für die Primärregelung von 3000 MW ist auch für die Momentanreserve massgebend.

RN 86 Die Netzstabilität ist aber auch gewährleistet, wenn zunehmend fossile und kerntechnische Grosskraftwerke stillgelegt und durch umformergekoppelte, sogenannte Typ 2 Kraftwerke, ersetzt werden, wie eine neuere Studie belegt.<sup>12</sup>

### 3.8.3 Versorgungssicherheit

RN 87 In der Versorgungssicherheit gehört die Schweiz weltweit zur Spitze. Die eidgenössische Elektrizitätskommission ElCom ermittelt jährlich die sogenannten SAIDI und SAIFI-Werte. Die SAIDI-Werte beschreiben die durchschnittliche Ausfalldauer pro versorgten Endverbraucher über einen bestimmten Zeitraum in einem bestimmten Netzgebiet. Die SAIFI-Werte beschreiben die durchschnittliche Ausfallhäufigkeit pro versorgten Endverbraucher über einen bestimmten Zeitraum in einem bestimmten Netzgebiet. Die SAIDI-Werte sind über viele Jahre weitgehend stabil oder leicht rückläufig. Sie werden international vergleichbar, meistens jährlich ermittelt. Luxemburg hat die weltweit tiefsten Werte (10), Deutschland hat leicht geringere Werte (15) als die Schweiz (19), wogegen zum Beispiel Grossbritannien, Frankreich, Italien und Spanien Werte um ca. 55 bis ca. 70 Minuten haben und die Vereinigten Staaten sogar um 280 Minuten.<sup>13</sup> Vor diesem Hintergrund haben Notstromversorgung in der Schweiz eine deutlich geringere Bedeutung wie etwa in den USA und in einigen Ländern Europas.

RN 88 Die Unterbrechungsdauer auf der Stufe VNB liegt in mittleren bis hohen Siedlungsdichten maximal zwischen unter 50 und unter 70 Minuten (2020) und die Häufigkeit zwischen 0.6/a und knapp unter 1.2/a (2020). Dennoch liegen die meisten Werte der VNB unter 10 Minuten und die Häufigkeit unter 0.2/a.

---

<sup>12</sup> Maria Nuschke, Fraunhofer Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE, Frequenzstabilität im umrichterdominierten Verbundnetz, Diss., 2021, Zusammenfassung Seite 131 ff.

<sup>13</sup> Quelle Wikipedia besucht (14.01.23)

Jahr		2022	2021	2020	2019
SAIDI Ausfalldauer	geplant	9 min	9 min	9 min	11 min
	ungeplant	7 min	8 min	12 min	8 min
	Total	16 min	17 min	21 min	19 min
SAIFI Ausfallhäufigkeit	geplant	0.12	0.12	0.11	0.10
	ungeplant	0.14	0.16	0.21	0.17
	Total	0.26	0.28	0.32	0.27

Tabelle 1: Statistik Ausfalldauer und Ausfallhäufigkeit (Quelle ElCom Berichte Jahre 2020 und 2023)

RN 89 Die Versorgungssicherheit hängt eng mit der Netzstabilität zusammen. Um Versorgungssicherheit zu erreichen, ist aber auch Verfügbarkeit in der geforderten Qualität erforderlich. Das ruft nach entsprechend gepflegter Infrastruktur, um die Energie bereitstellen, speichern und verteilen zu können.

## 4 VERSCHLEISS

RN 90 Der Verschleiss von Anlagen- und Bauteilen ist oft eine Frage der Erfahrung. Darum wurde in der Befragung der Notstromlieferanten dieses Thema abgefragt:

RN 91 Welche Bauteile fallen am häufigsten aus. Nennen Sie drei der folgenden Bauteile, die aus ihrer Sicht grösste Beachtung brauchen. Die Frage wurde von drei Unternehmen beantwortet.

Bauteile die häufiger ausfallen können	Anzahl Nennungen
Vorgebauter Ventilator	0
Kühlschläuche und Leitungen am Motor	2
Vorgebauter Rippenkühler	0
Wärmetauscher (LLK und Motorkühlung) zu einem Gebäudekühlnetz	0
Rückkühler auf dem Dach Gebäudekühlnetz	0
Rückkühler auf dem Dach explizit für Notstrom	2
Transferkühlleitungen vom Motor zum Wärmetauscher	0
Transferkühlleitungen vom Wärmetauscher zum Rückkühler	1
Transferpumpen rückkühlerseitig	2
Kühlwasserpumpen motorseitig	1
Dichtungen motorseitig	2
Dieselerusspartikelfilter	1

*Tabelle 2: Bauteile die potenziell ausfallen können*

RN 92 Das Intervall für den Kühlmittelwechsel ist zu beachten, da dieser für einen zuverlässigen Betrieb wichtig ist.

RN 93 Bei externen Kühlern ist die Einregulierung des Kühlsystems besonders wichtig für die korrekte Funktion der Netzersatzanlage. Dazu sind Tests mit wechselnden Lasten hilfreich.

## 5 VERBRAUCHSMATERIAL UND STOFFE

### 5.1 Kraftstoff-Alterung

RN 94 Kraftstoffe sind bei Notstromanlagen oft jahrelang in Tanks gelagert. Das mindert nicht nur den Energiegehalt, sondern kann auch zu Störungen und Beschädigungen führen. Verunreinigter<sup>14</sup>, gealterter Kraftstoff ist eine sehr häufige Ursache von Ausfällen und Schäden am (Common-Rail) Einspritzsystem moderner Dieselmotoren.

RN 95 Zwar hat jeder Motor auch einen Kraftstofffilter. Das genügt aber oft nicht, wenn Kraftstoff sehr lange gelagert wird. Mit einer zusätzlichen Ultrafeinfiltration lassen sich feine Partikel bis zu 98 % absorbieren, schreibt Micfil.<sup>15</sup>

RN 96 Je nach Bedarf und Grösse werden Ultrafeinfilter installiert:

- Zwischen Kraftstoff-Förderpumpe und Standard-Kraftstofffilter
- Zwischen Speicher und Tagestank
- Als separate Kraftstoffpflegeanlage mit Kraftstoff-Förderpumpe

Das wird auch häufig mit Wasserseparatoren kombiniert.

RN 97 Regelmässige chemische Kraftstoffanalysen lassen Mängel am Kraftstoff frühzeitig erkennen. Das wird auch von den Firmen, die Notstromanlagen liefern und warten empfohlen.<sup>16</sup>

### 5.2 Biodiesel

RN 98 Biodiesel ist ein Kraftstoff, der als Monoalkylfettsäureester klassifiziert wird und aus verschiedenen Rohstoffen hergestellt werden kann. In Europa ist der gebräuchlichste Biodiesel Raps-Methylester (REM), während in den USA Sojamethylester (SME) dominierend ist. Diese Biodieseltypen sind Derivate von Rapsöl oder Sojaöl und fallen unter den Begriff Fettsäure-Methylester (FAME). Kaltgepresste Pflanzenöle sind jedoch nicht für die Verwendung in Dieselmotoren geeignet, da sie ohne Esterifizierung gelieren können und möglicherweise mit modernen Elastomeren in Motoren inkompatibel sind. Alternativ zu Soja- und Rapsöl können tierische Fette, Abfall-Küchenöle und andere Rohstoffe für die Biodieselherstellung verwendet werden. Kraftstoffe, die zu 100 % aus FAME bestehen, werden als B100-Biodiesel oder sauberer Biodiesel bezeichnet. Biodiesel kann auch mit Destillatdieselmotorkraftstoff gemischt werden, wobei in Europa B5 (5 % Biodiesel, 95 % Diesel) und B20 (20 % Biodiesel, 80 % Diesel) gängige Mischungen sind. In der Schweiz wird B7 an den Tankstellen verkauft.

<sup>14</sup> Wasser, Bakterien, Schlamm

<sup>15</sup> <https://www.micfil.com/micfil-ultra-fine-filter-fuer-kraftstoff-und-biodiesel/?lang=de> (01.02.2024)

<sup>16</sup> DEMTECH, DC Power Systems und AKSA

- RN 99 Motorenhersteller geben zugelassene Spezifikationen heraus, die bindend sind, um Garantiebedingungen nicht zu verletzen.
- RN 100 Biodiesel weist aggressive Eigenschaften auf, die Ablagerungen im Kraftstofftank und den Kraftstoffleitungen lösen können. Dies führt zu einer Säuberung des Kraftstoffsystems, allerdings kann es auch zu frühzeitigen Verstopfungen der Kraftstofffilter kommen. Perkins empfiehlt den Austausch der Brennstofffilter alle 50 Betriebsstunden nach der erstmaligen Verwendung einer B20-Biodieselmischung. Die im Biodiesel enthaltenen Glyceride tragen ebenfalls zu einer schnelleren Verstopfung der Kraftstofffilter bei, weshalb das Serviceintervall auf 250 Betriebsstunden reduziert werden sollte.
- RN 101 Die Verwendung von Biodiesel kann das Öl im Kurbelgehäuse und die Nachbehandlungssysteme beeinträchtigen, aufgrund der chemischen Zusammensetzung und Eigenschaften des Biodiesels sowie möglicher chemischer Schmutzstoffe im Kraftstoff. Die Schmieröl- oder Kraftstoffverdünnung ist höher bei Biodiesel oder Biodieselmischungen, bedingt durch die für Biodiesel typisch niedrigen Verdampfungsverluste. Schadstoffbegrenzungsstrategien in modernen Industriemotoren können zu einer höheren Biodieselskonzentration in der Motorölwanne führen, wobei die langfristigen Auswirkungen noch unbekannt sind. Perkins empfiehlt eine Ölanalyse, um die Qualität des Motoröls bei Verwendung von Biodiesel zu überprüfen und die Biodieselmenge im Kraftstoff bei der Entnahme der Ölprobe zu notieren.<sup>17</sup>

### 5.3 Lagerfähigkeit Dieselkraftstoff

- RN 102 Kraftstoffe können bei Langzeitlagerung (1 Jahr) oxidieren und polymerisieren, was zu unlöslichen Bestandteilen führen kann, und die Filter verstopfen können. Bei Dieselkraftstoffen gibt es Laborprüfmethoden und festgelegte Grenzwerte für unlösliche Harze. Additive wie Antioxydanzien können den ablaufenden chemischen Prozess wirksam verhindern bzw. unterbrechen.<sup>18</sup>
- RN 103 Eine über die Brennstoffqualität bei Netzersatzanlagen in Deutschland durchgeführte Studie<sup>19</sup> kam zur Erkenntnis, dass die Langzeitlagerung von Dieselkraftstoff, welchem Fettsäuremethylester (FAME) beigemischt wurde, problematisch sein kann. Die gewonnenen Erkenntnisse reichen von Fehlstarts bis hin zu kapitalen Motorschäden.

---

<sup>17</sup> PERKINS WARTUNG 2020, S. 61 ff.

<sup>18</sup> MOLLENHAUER/TSCHÖKE, Handbuch Dieselmotoren, S. 104 f. (Abschnitt 4.1.8.13)

<sup>19</sup> Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik BSI 2015 (Zusammenfassung der Studie)

- RN 104 In der Schweiz kann Diesel ohne nähere Deklaration bis zu 7 % FAME enthalten.<sup>20</sup> FAME ist hygroskopisch und kann bis zu 1500 mg Wasser/kg Biodiesel physikalisch lösen. Aus einer Vielzahl von Untersuchungen ist bekannt, dass die Ausschöpfung des festgelegten maximalen Wassergehalts von 500 mg/kg zu verschiedenen negativen Folgen bei Blendkraftstoffen führen kann.
- RN 105 Dazu gibt es auch Praxiserfahrung: Der Firma Demtech AG sind Fälle von Dieselpest bekannt. Die Firma rät deshalb dringend reinen Dieseldieselkraftstoff ohne Beimischung von FAME, umgangssprachlich Biodiesel genannt, zu bestellen. Demtech AG schreibt auch, dass HVO gefördert werden sollte.
- RN 106 Hydrotreated Vegetable Oils sind Pflanzenöle, die durch Wasserstoff veredelt wurden. Die Motoren können schonender betrieben werden, da keine Aromate<sup>21</sup> vorhanden sind, die Verkokung an Motorenteilen verursachen, schreibt MTU auf ihrer Internetseite<sup>22</sup>. Wird dazu grüner Wasserstoff aus erneuerbarer Energie durch Elektrolyse verwendet, ist er bis zu 90 % CO<sub>2</sub>-neutral. Dagegen spricht der sehr hohe Energieaufwand für die Bereitstellung des Kraftstoffes.
- RN 107 Wärme begünstigt den Alterungsprozess des Kraftstoffes. Daher ist der Kraftstoff im Tagestank stärker gefährdet, weil moderne Motoren den Treibstoff für die Einspritzdüsenkühlung verwenden und daher der Brennstoff zwischen Aggregat und Tagestank zirkuliert.
- RN 108 Normen zu Kraftstoffen, die nach dem Dieselprozess verbrannt werden können:

	EN 590 Dieseldieselkraftstoff	Heizöl EL	Ökoheizöl
Cetanzahl:	≥ 51	k.A.	k.A.
Schwefel:	≤ 10 mg/kg	≤ 1000 mg/kg	≤ 50 mg/kg
FAME:	≤ 7 %	k.A.	0 %
Lagerstabilität	ca. 1 Jahr	k.A.	3 Jahre

*Tabelle 3: Vergleich Diesel, Heizöl*

- RN 109 Nach Recherchen des BFE wird heute aus logistischen Gründen praktisch nur Dieseldieselkraftstoff (EN590) mit FAME-Beimischung im Umlauf gebracht (B7). Das bedeutet, dass Kraftstoff ohne FAME kaum erhältlich ist.<sup>23</sup> Die Händler bieten derzeit jedoch bis auf weiteres noch B0, also ohne FAME, an.<sup>24</sup>

<sup>20</sup> Agrola, Migrol, SOCAR u. a. auf ihren Internetseiten 02.2024

<sup>21</sup> Aromate sind organische Verbindungen mit aromatischem Geruch, daher ursprünglich der Name

<sup>22</sup> <https://www.mtu-solutions.com/eu/de/stories/bahn/lokomotiven/hvo-is-gentle-on-the-engine.html> (besucht 01.05.2024)

<sup>23</sup> Tel. Olivier Baillifard, BFE am 22.04.2024

<sup>24</sup> Anfrage bei Agrola AG am 08.05.2024

## 5.4 Heizöl und HVO

RN 110 Grundsätzlich können in Dieselmotoren auch Heizöl und HVO (Hydrotreated Vegetable Oils) verbrannt werden. Das Heizöl muss jedoch schwefelarm sein, also weniger als 10 ppm enthalten, da sonst Ablagerungen am Dieselpartikelfilter entstehen würden.<sup>25</sup>

## 5.5 Kraftstoff, Möglichkeit zum Nachfüllen

RN 111 Das BFE hat ein Logistikkonzept für die Ölversorgung erarbeitet. Für die vorliegende Studie zum Langzeitbetrieb der Notstromanlagen kann davon ausgegangen werden, dass die Treibstoffversorgung der Notstromaggregate rund um die Uhr mit den entsprechenden Qualitätsbrennstoffen sichergestellt ist. Die Versorgungskette wird durch das Logistikkonzept sichergestellt. Eventuell erforderliches Personal für die Befüllung der Tanks wird durch Ad-hoc-Personal verwaltet und ist nicht Bestandteil dieses Dokuments. Die Tanks sind somit de facto nie leer und verfügen immer über einen ausreichenden Füllstand, um einen kontinuierlichen Betrieb der Notstromaggregate zu gewährleisten.<sup>26</sup>

RN 112 Das Nachfüllen im laufenden Betrieb des Aggregates ist grundsätzlich technisch möglich. Die Art und Weise sollte aber rechtzeitig geprüft werden. Die deutlich höhere Häufigkeit von Betriebsstoffanlieferungen muss je nach Betrieb und Standort des Einfüllstutzens beachtet werden.<sup>27</sup> Zu prüfen sind insbesondere:

- Befindet sich die Kraftstoff-Fülleinrichtung an einem geeigneten Ort?
- Ist der Platz frei für das Tankfahrzeug?
- Ist die Überfüllsicherung (Hectronic) funktionsbereit?
- Ist der Kraftstoffvorrat genügend gross?
- Sind häufige Tankfahrzeugfahrten logistisch berücksichtigt?
- Ist der Kraftstofflieferant frühzeitig informiert?

## 5.6 Kraftstoffzusätze/Additive/Adblue

RN 113 Ein Diesellaggregat braucht etwa 6 bis 7 % des Kraftstoffverbrauches an Harnstofflösung.<sup>28</sup>

<sup>25</sup> Im Wesentlichen übereinstimmend: AKSA, DCPowerSystems und DEMTECH

<sup>26</sup> Quelle: BFE Ölkonzept. Mit Ölversorgung ist Kraftstoffversorgung gemeint, die im Ölkonzept des BFE beschrieben ist.

<sup>27</sup> Siehe zu Häufigkeit Kap. 5.8

<sup>28</sup> Adblue ist ein allgemein bekanntes Produkt und wird häufig synonym zu Harnstofflösung genannt.

## 5.7 Schmierstoffe

- RN 114 Der Zustand des Schmieröls gibt oft Auskunft über die Dichtungszustände. Kraftstoff und Wasserdampf kommen zwar regelmässig durch den Blow-by<sup>29</sup> in das Carter. Aber auch mangelhafte Dichtungen können das Schmieröl beeinträchtigen. Das Schmieröl sollte darum ebenfalls periodisch untersucht werden, wie auch die Fachfirmen in der Befragung bestätigen.<sup>30</sup>
- RN 115 Der übliche Schmierölverbrauch beträgt bei Aggregaten bis 500 kW weniger als 0.2 % des Kraftstoffverbrauches. Bei grösseren Aggregaten liegt der Schmierstoffverbrauch bei etwa 0.3 bis 0.8 %.

## 5.8 Verbrauchsmengen hochgerechnet

- RN 116 In der folgenden Berechnung werden die Verbrauchsmengen für Kraftstoff, Schmieröl und Adblue hochgerechnet.<sup>31</sup>
- RN 117 Als Berechnungsbasis dient eine Einsatzleistung von 1000 kW bei einem Verbrauch bei 75 % Auslastung von 220 g/kWh. Der Kraftstoffverbrauch pro Stunde errechnet sich damit wie folgt.

$$V = P \cdot v \cdot \rho \cdot t = 1000 \text{ kW} \cdot 0.22 \text{ kg/kWh} \cdot 0.86 \text{ kg/l} \cdot 1 \text{ h} = 256 \text{ l/h}$$

mit:

V = Verbrauch unter den genannten Bedingungen

P = Einsatzleistung

v = Spezifischer Verbrauch in g/kWh

$\rho$  = Dichte in kg/dm<sup>3</sup> des Kraftstoffes 0.86 kg/dm<sup>3</sup>

t = Zeit: 1h

	spezifischer Verbrauch		effektiver Verbrauch pro MW			
	%	pro kWh	pro Stunde	pro Tag	pro Woche	pro Monat
Kraftstoff	100%	0.2558 l/kWh	256 l	6140 l	42977 l	184186 l
Harnstofflösung	7%	0.0179 l/kWh	18 l	430 l	3008 l	12893 l
Schmieröl	0.80%	0.0020 l/kWh	2 l	49 l	344 l	1473 l

Tabelle 4: Verbrauchsdaten pro Megawatt

<sup>29</sup> Kurbelgehäusegase, Verbrennungsgase, die entlang der Kolbenwände zwischen den Ringen und den Zylinderwänden bei der Verbrennung in das Kurbelgehäuse gelangen.

<sup>30</sup> AKSA, MTU

<sup>31</sup> Je nach Quelle variieren die Mengen zwischen 0.01 bis 0.04 Liter pro Kilowattstunde

- RN 118 Für den Dauerbetrieb ist daher dringend eine automatische Schmierölnachfüllung erforderlich. Je nach Konstruktion ist das manuelle Nachfüllen im Betrieb nicht möglich.
- RN 119 Die Kraftstofflogistik sollte sehr frühzeitig geplant werden, denn pro Megawatt Leistung fahren zwei 5-Achs-Tankfahrzeuge pro Woche vor.<sup>32</sup>
- RN 120 Für die Harnstofflösung kommt pro Megawatt alle Monate ein 2-Achs-Tanklaster.
- RN 121 Derartige Verbrauchsmengen an Betriebsstoffen hinterlässt auch im Maschinenraum ihre Spuren. Die Reinigung sollte entsprechend verstärkt werden, um Unfälle durch schmierigen Beschlag zu vermeiden.
- RN 122 Die Einweisung der Betriebsstofflieferanten erfordert Zeit der Betriebsmitarbeiter.

---

<sup>32</sup> Quelle: <https://www.agrola.ch/de/service/medien/das-unternehmen/tankfahrzeug-flotte.html> (besucht: 06.04.2024)

## 6 ABGASANLAGE

### 6.1 Eigenschaften (Temperatur, Druck, Abgas)

RN 123 Die Abgasanlage steht im Betrieb unter Druck und wird über 500 °C heiss. Die visuelle, haptische und olfaktorische Inspektion<sup>33</sup> auf der gesamten zugänglichen Länge ist periodisch angezeigt.

### 6.2 Partikelfilter

RN 124 Der Partikelfilter braucht Temperatur, damit er nicht übermässig verrusst. Das erreicht man mit einem Belastungsgrad von mehr als 70 %. Damit wird die Abgasanlage genügend heiss, damit der Russ zu Asche verbrennt.

RN 125 Die Filter müssen regelmässig entleert und gereinigt werden. Die Häufigkeit ist schwer abzuschätzen, da Erfahrungswerte im Dauerbetrieb fehlen, da die Notstromaggregate nur wenige Stunden pro Jahr laufen. Eine Internetrecherche bei spezialisierten Unternehmen hat eine Schätzung von 1000 bis 3000 Stunden ergeben. Die Anfrage bei Pure Clean Air hat ergeben, dass man je nach Russfracht des Motors mit einem Reinigungszyklus von 1000 Stunden rechnen muss.

RN 126 Die Filter werden entweder ausgetauscht und in einer Reinigungszentrale des Dienstleisters gereinigt oder gleich vor Ort gereinigt und wieder eingesetzt. Das Austauschverfahren geht deutlich schneller. Die Dauer ist abhängig vom Typ und der Bauart des Filters sowie von der Einbaulage und der Zugänglichkeit. Diese Arbeiten sind frühzeitig zu planen, denn sie sind nicht aufschiebbar, da sonst ein Ausfall des betroffenen Aggregates droht.

RN 127 Welches Verfahren gewählt werden soll, hängt von der Anzahl Aggregate, den tatsächlich erforderlichen Wartungszyklen und den Verhältnissen vor Ort ab. Es wird empfohlen, hier die Beratung der Lieferanten und Dienstleister in Anspruch zu nehmen, damit eine durchgehende Versorgung sichergestellt ist. Siehe dazu auch Kap. 7.2 Wartung Intervall und Häufigkeit.

RN 128 Die auf Abgassysteme spezialisierte Firma Pure Clean Air empfiehlt, falls ein Dauerbetrieb vorgesehen ist, rechtzeitig Filter-Mittelteile an Lager zu nehmen, damit die Filter im Austauschverfahren gewechselt und gereinigt werden können. Damit kann man eine Betriebsunterbrechung von einem halben Tag drastisch reduzieren.

---

<sup>33</sup> Geruch, Wärmeveränderungen, Verschmutzung deuten auf Schäden hin

### 6.3 Harnstoffkatalysator

RN 129 Der Service an Harnstoffkatalysatoren wird in der Regel durch die Notstromfirmen durchgeführt. Dazu gehört das Prüfen und eventuell Ersetzen von Düsen und Kompressoren.

## 7 INSTANDHALTUNG

### 7.1 Inspektion

- RN 130 Eine tägliche Inspektion ist auf jeden Fall erforderlich.<sup>34</sup> Dabei geht es um Sichtkontrollen, Niveau- und Druckkontrollen, Verschmutzungs- und Abnutzungsprüfung sowie akustische und olfaktorische Aufmerksamkeit. Die Resultate sollten protokolliert und mit Soll-Daten verglichen werden. Eine Inspektion ist nur erfolgreich, wenn die Instandhaltungsfachleute auch darauf geschult werden. Die Instandhaltungsfachleute sind meistens Elektroinstallateure oder Installateure im HLK-Bereich und verstehen von Verbrennungsmotoren nichts. Manche Firmen stellen gar angelernte Hilfskräfte an. Das ist klar ungenügend für die Inspektion von Notstromanlagen.
- RN 131 Vor einem Dauereinsatz sollte das Instandhaltungspersonal spezifisch geschult werden, damit die Inspektionsarbeiten fachgerecht ausgeführt werden können. Das Personal sollte aber über eine technische Grundausbildung verfügen, damit eine solche Schulung erfolgreich ist. Die Fachfirmen können da anlagenspezifische Schulungen und Instruktionen erteilen. Sinnvollerweise sind solche Schulungen gut vorbereitet und enden mit einer angemessenen Erfolgskontrolle. Daher sind solche Dienstleistungen kostenpflichtig.
- RN 132 Für einen mehrwöchigen Einsatz muss das Instandhaltungspersonal entsprechend eingeplant werden.

Inspektion täglich

### 7.2 Wartung Intervall und Häufigkeit

- RN 133 Wie viel Wartung erforderlich ist, nicht eindeutig bestimmbar. Die Meinungen gehen da stark auseinander und dürften vom Alter, Baugrösse und Fabrikat abhängig sein. Auch die individuelle Einschätzung spielt da eine Rolle.
- RN 134 Eine Wartung ist grundsätzlich alle 500 Betriebsstunden erforderlich.<sup>35</sup> Einige Lieferanten machen die Häufigkeit sehr stark von der Ölqualität abhängig.<sup>36</sup> Andere Lieferanten nennen die monatliche Wartung als genügend.<sup>37</sup>
- RN 135 Die Angaben über die Häufigkeit und Intensität sind teilweise sehr unterschiedlich und reichen von 500 Stunden bis über 1500 Stunden. Das hängt vor allem vom Alter und Typ des Aggregates ab. Aber auch die Ausrüstung mit einer Schmierölzentrifuge und die Schmierölqualität haben einen grossen Einfluss. Der Motorenhersteller MTU schreibt bei

Richtwert Intervall: 500 h

<sup>34</sup> Was auch die Fachfirmen AKSA, DCPOWERSYSTEMS und DEMTECH bestätigen

<sup>35</sup> DEMTECH und verschiedene andere Quellen

<sup>36</sup> DC Power Systems: 250 Std bei geringster Ölqualität bis 1500 Std bei höchster Ölqualität

<sup>37</sup> AKSA

bester Ölqualität und vorhandener Ölzentrifuge ein Intervall von 1500 Stunden vor, falls schwefelarmer Kraftstoff verwendet wird. Das gilt weltweit. Lokale Erfahrungen lassen auch noch 200 weitere Betriebsstunden zu, wie DCPower Systems AG mündlich zu Protokoll gibt. Danach ist ein Schmierölwechsel erforderlich. Er dauert im besten Fall, logistisch minutiös vorbereitet, 30 Minuten und kann aber auch eine Stunde in Anspruch nehmen. Auch diese Angaben hängen stark vom Aggregat und von der Einbausituation ab. Nicht alle Aggregate sind gleich gut zugänglich.

RN 136 Die Art des Einsatzes hat einen Einfluss auf die Wahl des Wartungsplanes. Der Einsatz als Notstromaggregat mit wechselnder Last und einer höheren Spitzenleistung erfordert eine intensivere Wartung wie ein Aggregat, das zur Netzstützung mit konstanter Leistung eingesetzt wird. Auch die Höhe der Einsatzleistung, bezogen auf die maximale mögliche Leistung hat einen Einfluss auf die Wartungsintensität. Zur Ermittlung der maximalen Betriebsstunden bis zur Grundüberholung errechnet sich aus dem Lastprofil.<sup>38</sup>

RN 137 Die Wartung wird normalerweise durch eine Fachfirma für Stationärmotoren oder einen Notstromlieferanten durchgeführt. Der Personalbestand in diesen Firmen ist ausgelegt auf die üblichen jährlichen Wartungspläne bei ihren Kunden. Im Fall einer landesweit aktivierten Unterstützungsanforderung in einer Mangellage müsste das Personal drastisch erhöht werden. Eine Hochrechnung sieht etwa wie folgt aus:

RN 138 Aufwand pro Aggregat:

Betriebszeit 10 Wochen:  $10 * 7 * 24 = 1680$  Stunden

Mindestens Wartungseinsätze pro Aggregat:

Je nach Lieferant bzw. Hersteller sind unterschiedliche Zeitaufwände angegeben. Sie reichen von sechs Stunden unter idealen

Voraussetzungen bis zwei Tage bei schwierigen Voraussetzungen und je nach Wartungsplan. Dabei ist auch die Zugänglichkeit zu beachten. Eine Wartung einer Anlage in einem grosszügigen Maschinenraum ist schneller gemacht, wie in den beengten Verhältnissen eines Containers der draussen der Witterung ausgesetzt ist.

RN 139 Die Auswertung der Planvorlagen des Eidgenössischen Starkstrominspektorates hat ergeben, dass etwa 265 Notstromanlagen oder BHKW im Leistungsbereich von 800 und 8000 kW in Betrieb stehen. Eine erhebliche Unsicherheit bezüglich Vollständigkeit besteht jedoch, weil nicht bei allen Gesuchen die Leistungen erfasst wurde. Die Erfassung der Daten endete im Jahr 2021, als die Planvorlagepflicht für solche Anlagen hinfällig wurde.<sup>39</sup> Schliesslich dürfte ein Teil der Betreiber der

---

<sup>38</sup> Wartungspläne MTU

<sup>39</sup> Änderung der VPeA

Vorlagepflicht nicht nachgekommen sein.<sup>40</sup> Dagegen sind vermutlich rückgebaute Anlagen nicht erfasst.

RN 140 Wenn drei Wartungseinsätze über 10 Wochen pro Anlage erforderlich sind und etwa 400 Anlagen<sup>41</sup> im genannten Leistungsbereich im Einsatz sind, so sind in dieser Zeit 1200 zusätzliche Einsätze erforderlich. Wenn auch die Zahlen nicht sehr belastbar sind, zeigt sich doch ein erheblicher Personalaufwand, der rechtzeitig organisiert werden muss.

### 7.3 Reparatur, Reparaturkonzept

RN 141 Unter Reparatur verstehen wir hier die Instandsetzung oder Instandstellung einer mangelhaften, unplanmässig verschlissenen oder defekten Einheit. Es wird dabei nicht unterschieden, ob die Einheit ausgetauscht oder vor Ort regeneriert wird. Im Gegensatz zu Inspektion und Wartung ist die Reparatur nicht planbar. Vorbeugende Reparatur oder Ersatz sind der Wartung zugeordnet.

RN 142 Die Eigenschaft der Nichtplanbarkeit stellt ein Restrisiko dar, das auch bei maximaler Inspektions- und Wartungsqualität nicht ganz ausgeschlossen werden kann. Je besser Inspektion und Wartung sind, desto geringer ist das Reparaturrisiko. Instandhaltungsfirmen und Organisationen haben in der Regel einen Interventionsplan für solche Fälle. Dieser muss im Lichte des Dauerbetriebes neu beurteilt werden.

### 7.4 Arbeitssicherheit

RN 143 In Fällen, wo mehrere Aggregate im gleichen Raum stehen, muss auch die Arbeitssicherheit geplant werden. Eine Inspektion, Wartung oder Reparatur kann während des Laufes eines Aggregates erfolgen. Der Maschinenlärm führt zu eingeschränkter Kommunikationsmöglichkeit. Die Bedingungen vor Ort sind mit den einschlägigen Richtlinien der SUVA über Instandhaltung zu überprüfen. Bei Umgang mit laufenden Maschinen sind insbesondere Gehörschutz, Schutzbrille und Handschuhe zu tragen.

### 7.5 Planung der Instandhaltung

RN 144 Die in diesem Kapitel erwähnten Aspekte sollen Hinweise geben, die beachtet werden müssen. Ein interdisziplinäres Team aus Werkinhaber, Betreiber, Instandhalter und Sicherheitsbeauftragten soll damit ein Konzept erstellen, das auf die individuelle Situation zugeschnitten ist. Das

<sup>40</sup> Indiz dazu ist ein Quervergleich mit vorliegenden Daten von Betreibern

<sup>41</sup> Schätzung, Annahme. Stand heute in der Reserve: ca. 400 Anlagen.

Management stellt die finanziellen Mittel bereit und kontrolliert die Durchführung und das Ergebnis dieser Planung.

## **8 LASTMANAGEMENT**

### **8.1 Einspeisungsbegrenzung bei mehreren Aggregaten im Parallelbetrieb**

RN 145 Mit dem Verteilnetzbetreiber ist vorsichtig zu prüfen, welchen Einfluss eine grosse Rücklieferung von Energie in das Netz auf den Betrieb und insbesondere den Netzschutz haben könnte.

RN 146 Die Energierichtung wird je nach Situation und möglicherweise auch Tages oder Jahreszeit mehr oder weniger weit in das Verteilnetz hinein umgekehrt. Oft sind Schutzrichtungen in Rückwärtsrichtung anders eingestellt, was unter Umständen zu Schutzauslösungen führen kann.

### **8.2 Abführen der Restwärme bei wärmegeführten Anlagen (nur minder Priorität)**

RN 147 Bei wärmegeführten Anlagen (BHKW) muss sichergestellt werden, dass die anfallende Wärme tatsächlich abgeführt werden kann, wenn auch kein Bedarf zur gegebenen Zeit vorhanden ist. Da die Bereitstellungsperiode in die Heizperiode fällt, ist die Wahrscheinlichkeit eher gering, dass die Wärme nicht abgeführt werden kann.

RN 148 Wärme-Kraft-Koppelungsanlagen (WKK) werden in dieser Studie nicht vertieft beurteilt.

## **9 ABRUF RÜCKSPEISUNG, STEUERUNG**

### **9.1 Abruf der Rückspeisung (interne Einschaltlogik)**

RN 149 Die Leistungsanforderung darf nicht geringer als 30 % der Nennleistung betragen, für die das Aggregat ausgelegt ist, da sonst die erforderliche Temperatur für die Regeneration der Partikelfilter nicht erreicht würde. Das hätte zur Folge, dass die Anlage übermässig verrussen würde.

### **9.2 Steuerung und Schnittstellen**

RN 150 Es muss mit dem Verteilnetzbetreiber und der Swissgrid bestimmt werden, wie die Leistungsanforderung abgerufen wird. Das kann

automatisch über ein Steuergerät oder über Fahrpläne mit telefonischen Anforderungen und manuellen Starts erfolgen.

## 10 KOSTEN

RN 151 Eine seriöse allgemeingültige Kostenprognose ist nicht möglich. Zu heterogen sind die Anwendungen, die Einbauorte, die eingesetzten Aggregate und die Instandhaltungsorganisationen.

RN 152 Will man die Kosten für einen Anwender an einem Standort ermitteln, sammelt man die Aufwendungen getrennt in den folgenden drei Kriterien:

1. Lastabhängig
2. Laufzeitabhängig
3. Fixe Kosten
4. Investitionen

### 10.1 Lastabhängig

RN 153 Die lastabhängigen Kosten sind Verbrauchskosten. Sie sind abhängig vom Aggregat und der vorgesehenen und vereinbarten Einsatzleistung. Die wesentlichen Verbrauchsmaterialien sind in Kap. 5.8.

### 10.2 Laufzeitabhängig

RN 154 Zu den Kosten, die von der Laufzeit abhängig sind, gehören die Instandhaltungskosten und die Auslagen für abgenutzte Teile. Natürlich haben Verschleissteile und Wartungskosten eine lastabhängige Komponente, diese hat aber nur für die initiale Einordnung eine Bedeutung.

RN 155 Die lastabhängigen Kosten werden durch Multiplikation mit der Einsatzzeit zu laufzeitabhängigen Kosten.

### 10.3 Fixkosten

RN 156 Zu den festen Kosten zählen alle Kosten, die auch dann entstehen, wenn gar nie ein Einsatz angefordert wird. Sie entstehen mit dem Vertrag zur Bereitstellung und beinhalten alle vorbereitenden Handlungen wie Planung, Verhandlung mit Lieferanten, Einkauf von Reservematerialien und Komponenten, die möglicherweise nie gebraucht werden.

## 10.4 Investitionen

RN 157 In diese Kategorie gehören vorbereitende, verbessernde Investitionen, die ohne die Bereitstellung von Reserveleistung nicht getätigt würden. Sie können aber durchaus einen Mehrwert für die Anlage zum ursprünglichen Zweck haben. Es sind zum Beispiel Verbesserungen der Betankungseinrichtung, Verbesserungen bei der Abgasbehandlung, Investition in eine automatische Schmierölversorgung oder eine Kraftstofffilterung usw.

## 11 MÖGLICHE VERLETZUNG VON GARANTIEBEDINGUNGEN

### 11.1 Leistungsdefinitionen nach ISO 8528-1

RN 158 Die Normenreihe ISO 8528 behandelt die Wechselstromgeneratoren angetrieben von Hubkolbenverbrennungsmotoren. Die ISO 8528-1 legt die Anwendung, die Bewertung und die Leistungsfähigkeit fest. Zuerst werden die Anwendungskriterien unterschieden:

Anwendungsbeispiele	Dauerbetrieb	Zeitlich begrenzter Betrieb
Konstante Last	Bereitstellung Grundlast mit BHKW	Spitzenlastmanagement, bei dem ein Stromerzeugungsaggregat, das parallel zu einem Versorgungsnetz betrieben wird, in Zeiten des Spitzenstromverbrauchs eine konstante Last übernimmt.
Variable Last	Bereitstellung von elektrischem Strom, wenn kein Netzstrom verfügbar oder die Stromversorgung unsicher ist.	Bereitstellung einer grundlegenden Unterstützungsfunktion für die elektrische Versorgung eines Gebäudes im Falle eines Ausfalls der normalen Energieversorgung.

*Tabelle 5: Anwendungsbeispiele Dauerbetrieb und zeitlich begrenzter Betrieb*

- Kontinuierliche Leistungsabgabe (Continuous Power, COP)
- Hauptleistungsbereitstellung (Prime Power, PRP)
- Netzstabilisierung (Grid Stability Power, LTP)
- Notstromleistung (Standby Power, ESP)
- Datacenter Kontinuierliche Leistungsabgabe (DCP)

RN 159 Es werden dabei vier Leistungsklassen unterschieden, welche die elektrischen Systeme charakterisieren:

- Klasse G1: Für Verbraucher die nur auf Grundparameter Spannung und Frequenz angewiesen sind (Beleuchtung und einfache elektrische Lasten)
- Klasse G2: Für Verbraucher die an einem kommerziellen öffentlichen Netz funktionieren, das im Rahmen der Normen Toleranzen zulassen. (Beleuchtung, Pumpen, Ventilatoren und Hebezeuge)
- Klasse G3: Für Verbraucher, die gehobene Ansprüche an Stabilität von Spannung und Frequenz sowie an die Wellenform haben (Telekommunikation, Umrichter)
- Klasse G4 Für Verbraucher, die ausserordentlich hohe Ansprüche an Stabilität von Spannung und Frequenz sowie an die Wellenform haben (Datenverarbeitungssystem und Computersysteme, die direkt ohne USV angeschlossen sind)

RN 160 Notstromanlagen sind typischerweise für Klasse G2 ausgelegt. Für höhere Ansprüche bestimmter Verbrauchergruppen sind Unterbrechungsfreie Stromversorgungen (USV) an die Notstromanlage angeschlossen. Die technischen Einzelheiten zu den Klassen sind in der Norm 8528-5 Tabelle 4 geregelt.

RN 161 Nicht für alle Motoren sind Leistungen für jede Kategorie festgelegt. Manche Anwendungskategorien müssen aus definierten Anwendungen umgerechnet werden. Aber für jedes verkaufte Aggregat wurde für mindestens eine bestimmte Anwendungsklasse die Leistung festgelegt. Dabei sind auch die Umgebungsbedingungen am Einsatzort berücksichtigt.

Leistungsdefinition individuell prüfen und mit dem Lieferanten absprechen

RN 162 Die Leistungskategorien definieren abgeleitet aus den Anwendungsklassen die an den Klemmen verfügbare Leistung. Der Hersteller ist verantwortlich für die Bestimmung der Leistungsabgabe gemäss den nachfolgenden Leistungsklassen. Sind die Bedingung im tatsächlichen Betrieb nicht erfüllt, kann eine Verkürzung der Lebensdauer die Folge sein. Darum ist für den Dauerbetrieb eine reduzierte Leistung mit dem Hersteller oder Lieferanten verbindlich zu vereinbaren.

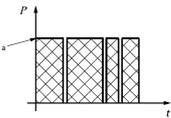
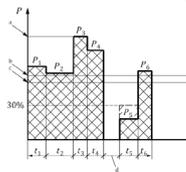
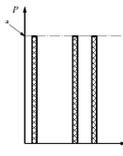
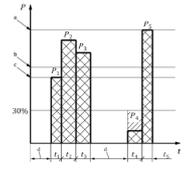
Anwendung	Continuous Power	Prime Power	Zeitlich begrenzte Dauerleistung	Standby Power	Data Center Continuous Power
Abkürzung	COP	PRP	LTP	ESP	DCP
Lastprofil	konstant 	variabel 	variabel 	variabel 	variabel, konstant
Leistungsabgabe	Dauerleistung entspricht der Maximalleistung	70 % der mittleren Leistung über 24 Stunden	Zeitlich limitierte Dauerleistung entspricht der Maximalleistung	70 % der mittleren Leistung über 24 Stunden <sup>42</sup>	Siehe unten
Überlastbar <sup>43</sup>	0 %	10 %	0 %	0 %	0 %
Betriebszeit	unlimitiert	unlimitiert	500 h	200 h	unlimitiert

Tabelle 6: Leistungskategorien

<sup>42</sup> Bei der variablen Leistungssequenz werden Leistungen unter 30 % mit 30% gerechnet und Stillstandzeiten werden nicht mitgerechnet. 14.3.5 ISO 8528-1

<sup>43</sup> Während einer Stunde innerhalb von 12 Stunden

RN 163 Für Maschinen, die ein Rechenzentrum versorgen, wird eine maximale Leistung festgelegt, die das Aggregat für die Versorgung einer variablen oder kontinuierlichen Last zeitlich unbegrenzt erbringen muss.<sup>44</sup> In der Norm steht ausserdem der Hinweis, dass die Bewertung nach DCP kein längerer Betrieb unter Last parallel zu einem Versorgungsnetz zulässig sei.

**Definition DCP:** für Dauerbetrieb den Hersteller oder Lieferant konsultieren.

RN 164 Die Höchstleistung für Stromerzeugungsaggregate mit geringer Leistung ist definiert als die Leistung, die sich aus der Multiplikation von Strom und Spannung ergibt, die das Aggregat mindestens 5 Minuten lang liefern kann. Die vorgeschriebene Ausgangsspannung muss innerhalb von  $\pm 10\%$  der Nennspannung und die erforderliche Ausgangsfrequenz innerhalb von  $\pm 8\%$  der Nennfrequenz liegen. Das Mindestverhältnis zwischen der Nennleistung (COP) und der Höchstleistung (MAX) muss grösser oder gleich 0,75 betragen.<sup>45</sup>

RN 165 Die Hersteller haben oft auch abweichende oder bessere Klassifikationen. Kleine Motoren bei Caterpillar haben zum Beispiel keine Leistungsdefinition nach COP. Da gilt PRP-Leistung mal 0.7<sup>46</sup>. In jedem Fall muss die Umrechnung mit dem Hersteller fallweise bestimmt werden.

## 11.2 Umrechnung auf die geforderte Betriebsintensität

RN 166 Es wird mit einer Betriebsintensität von sieben bis 14 Tagen gerechnet, wobei die Praxis auch davon abweichen kann.<sup>47</sup> Die im Fall tatsächlich vereinbarte Betriebsintensität ist massgebend, wie gross die abgegebene Leistung eingestellt werden darf. Diese Parameter sind mit dem Hersteller oder Lieferanten zu vereinbaren.

---

<sup>44</sup> 14.3.6 ISO 8528-1

<sup>45</sup> 14.3.7 ISO 8528-1

<sup>46</sup> Telefonat Broggi 06.12.2023

<sup>47</sup> BFE, Entscheid als Grundlage 11.12.2023

## 12 RECHTLICHE ASPEKTE BEZÜGLICH UMWELTGESETZE

- RN 167 Die rechtliche Grundlage für die Winterstromreserve ist die Verordnung über die Errichtung der Stromreserve für den Winter (WResV).
- RN 168 Für Notstromanlagen gelten zum Teil gegenüber anderen gebäudetechnischen Einrichtungen erleichterte Bedingungen, da sie nur sehr selten in Betrieb sind. Inwieweit diese Bestimmungen auch für den ausserordentlichen Dauerbetrieb gelten, ist nicht Bestandteil dieser Studie.
- RN 169 Betroffen sind die folgenden Gesetze auf Bundesebene:
- Luftreinhalte-Verordnung (LRV), Erleichterungen: Ziff. 823, 826, 827 und 837
  - Lärmschutzverordnung (LSV), Belastungsgrenzwerte für Industrie und Gewerbe sind für Tag- und Nachtbetrieb unterschiedlich geregelt. Die Pegelkorrekturen für die Anwendung (HLK-Anlagen) (K1) die Tonhaltigkeit (K2), die Hörbarkeit des Impulsgehalts (K3) aber auch die durchschnittlichen täglichen Lärmphasen.<sup>48</sup> Diese Lärmphasen ändern sich mit dem Dauerbetrieb stark. Notstromanlagen dürfen zudem für den Tagbetrieb ausgelegt werden, wenn der Lastprobelauf tagsüber stattfinden kann.
- RN 170 Darüber hinaus müssen auch die Gesetze auf kantonaler und kommunaler Ebene betrachtet werden.

---

<sup>48</sup> Ziff. 33 LSV

## 13 EMPFEHLUNGEN

- RN 171 Grundsätzlich ist ein Dauerbetrieb über mehrere Wochen möglich, wenn die notwendigen Wartungsstopps geplant werden und die Versorgung mit Ersatzteilen, Servicepersonal, Verbrauchsmaterial (Filter, Schläuche, Riemen etc.), Betriebsstoffe (Kraftstoff, Schmiermittel, ggf. Harnstoff).
- RN 172 Wichtig ist auch die Logistik für die Versorgung. Die muss mit den Versorgern rechtzeitig vorbereitet werden. Insbesondere der Personaleinsatz muss bei den Wartungsdienstleistern geplant und reserviert werden.
- RN 173 Das Derating der Aggregate für den Dauerbetrieb muss mit dem Aggregate-Hersteller verbindlich geklärt werden.
- RN 174 Die effektiv erforderliche Wartung vor, während und nach dem Dauerlauf ist mit dem Wartungsdienstleister oder Hersteller genau zu klären.
- RN 175 Eine automatische Schmierölnachführung sollte installiert werden.
- RN 176 Es wird deutlich mehr Personal benötigt für die täglichen Inspektionen, die Organisation und die Betreuung von Anlieferungen. Dieses Personal muss rekrutiert, eingeplant sowie einsatzbezogen instruiert und geschult werden.

## 14 QUELLEN, LITERATUR UND NORMEN

### 14.1 Literatur

#### BUNDESAMT FÜR SICHERHEIT IN DER INFORMATIONSTECHNIK BSI (DE) 2015

Neue Erkenntnisse zur Lagerfähigkeit von Brennstoffen für Netzersatzanlagen, 2015 (Zusammenfassung der Studie des «Institut für Wärme und Oeltechnik e.V.» (IWO) in Hamburg zur Brennstoffqualität in Netzersatzanlagen (NEA))

#### ENTSO-E (EUROPEAN NETWORK OF TRANSMISSION SYSTEM OPERATORS FOR ELECTRICITY) HRSG,

Operation Handbook: P1 - Policy 1: Load-Frequency Control: Final Version (approved by SC on 19 March 2009). 2009

#### INFRAS I.A. ERDÖLVEREINIGUNG/BIOFUELS SCHWEIZ 2018

Hans-Jörg Althaus, Alexander Wunderlich, Jürg Füssler: Marktpotenzial für flüssige Biotreib- und Biobrennstoffe in der Schweiz 2020 – 2030, Schlussbericht

#### MOLLENHAUER KLAUS/ TSCHÖKE HELMUT, Handbuch Dieselmotoren, Springer, 2007

#### NUSCHKE MARIA, FRAUNHOFER INSTITUT FÜR ENERGIEWIRTSCHAFT UND ENERGIESYSTEMTECHNIK IEE,

Frequenzstabilität im umrichterdominierten Verbundnetz, Diss., 2021

#### PERKINS WARTUNG 2020

Betriebs- und Wartungshandbuch 2806C-E18TA und 2806D-E18TA Industriemotor, 2020 (2021 übersetzt)

#### MTU WARTUNGSPLAN 3B

Wartungsplan für Dieselgeneratoraggregate ... (Aufzählung Typen)  
Anwendungsgruppe 3B (MS50264/03D)

#### MTU WARTUNGSPLAN 3G

Wartungsplan für Dieselgeneratoraggregate ... (Aufzählung Typen)  
Anwendungsgruppe 3G (MS50268/04D)

#### DCPOWERSYSTEMS ERLÄUTERUNG WARTUNGSPÄNE MTU

Erläuterungen zu Wartungsplänen und Schmiermittelvorschriften

#### ROLLS ROYCE / MTU BETRIEBSSTOFFVORSCHRIFT

Dieselmotoren aller kommerziellen mtu-Baureihen (einschliesslich Marine), ... (Aufzählung) A001061/43D

## 14.2 Normen und Richtlinien

### ISO 8528-1

Reciprocating internal combustion engine driven alternating current generating sets, Part 1: Application, ratings and performance, 2018

### ISO 8528-5

Reciprocating internal combustion engine driven alternating current generating sets, Part 5: Generating sets, 2022

### VSE-Branchenempfehlung Netzanschluss für Energieerzeugungsanlagen an das Niederspannungsnetz

Technische Anforderungen für den Anschluss und Parallelbetrieb in NE7

### VSE-Branchenempfehlung Netzanschluss für Energieerzeugungsanlagen an das Mittel- und Hochspannungsnetz

Technische Anforderungen für den Anschluss und Parallelbetrieb in NE3 bis NE5

## 15 ABKÜRZUNGEN UND BEGRIFFSERKLÄRUNG

### 15.1 Abkürzungen

Abs.	Absatz
Art.	Artikel
COP	Continuous Power
DCP	Data Center Continuous Power
EN	Europäische Norm
Entso-E	European Network of Transmission System Operators for Electricity (Verband Europäischer Übertragungsnetzbetreiber)
ESP	Emergency Standby Power
ESTI	Eidgenössisches Starkstrominspektorat
et al.	et alii (und andere)
etc.	etcetera
FAME	Fatty Acid Methyl Ester = Fettsäurenmethylester
FN	Fussnote
Ggs.	Gegensatz
HVO	Hydrotreated Vegetable Oils (Pflanzenöle durch Wasserstoff veredelt)
i. d. R.	in der Regel
ISO	International Organization for Standardization
Kap.	Kapitel
lit.	litera
LTP	Limited-time running Power
MAX	Maximum power für low power generating sets
NIN	Niederspannungsinstallationsnorm
OR	Schweizerisches Obligationenrecht OR, SR 220, vom 30. März 1911
OVRT	Overvoltage ride through
PRP	Prime Power
QM	Qualitätsmanagement
RN	Randnummer
ROCOF	Rate of Change of Frequency (Änderungsgeschwindigkeit der Frequenz, $df/dt$ )
SN	Schweizer Norm
u. d. G	und der Gleichen
UVRT	Undervoltage ride through
vgl	Vergleiche
WKK	Wärme-Kraft-Koppelung
z. B.	zum Beispiel
zit.	Zitiert

## 15.2 Begriffserklärung

Aggregatoren	Bündeln mehrere Notstromaggregate zu einem virtuellen Kraftwerk.
Carter	Kurbelgehäuse, Ölwanne
Netzfrequenz	Die Netzfrequenz beträgt in Europa 50 Hz. Sie wird über die Einspeisung von Wirkleistung balanciert.
Pooler	Vertragspartner des Produzenten, der in Abstimmung mit dem Netzbetreiber mehrere Notstromgruppen gemeinsam mittels der Fernsteuerung bedarfsgerecht einsetzt und mit den Produzenten abrechnet.
Netzspannung	Die Netzspannung beträgt in der Niederspannung im Drehstromsystem 3 x 230/400 Volt
Wirkleistung	Die Wirkleistung ist diejenige Leistungskomponente einer elektrischen Leistung, die in der Lage ist, Arbeit zu verrichten oder Wärme zu erzeugen. Mathematisch ist sie reelwertig.
Blindleistung	Die Blindleistung ist für die Magnetisierung einer Maschine (induktiv, der Spannung nacheilend) bzw. für das elektrische Feld eines Kondensators (kapazitiv, der Spannung voreilend) erforderlich. Sie erzeugt eine Phasenverschiebung zur Spannung und wirkt kapazitiv einspeisend spannungstützend und induktiv einspeisend spannungsdämpfend. Mathematisch ist sie imaginärwertig.
SAIDI	System Average Interruption Duration Index. Durchschnittlicher Stromausfall je versorgtem Verbraucher im Verteilnetz (NE5 und NE7).
SAIFI	System Average Interruption Frequency Index. Daraus geht hervor, wie häufig ein Verbraucher durchschnittlich pro Jahr von einer Unterbrechung betroffen ist.

Dübendorf, 09.09.2024

Markus Gehrig

## 16 ANHANG

Kein Anhang

Zitiervorschlag:

Gehrig (MG Power Engineering AG)

Langzeitbetrieb von Energieerzeugungsanlagen, Anleitung zur erfolgreichen Umsetzung, Dübendorf, 09.09.2024

Dokumenteninformation	
Autor:	Markus Gehrig
Geändert durch:	m.gehrig
Publiziert:	09.09.2024
Speicherdatum:	09.09.2024
Gedruckt:	09.09.24 18:56:00
Dateiname:	BFE NEA-Langzeitbetrieb 028.docx
Status:	Finale Version
Verteiler:	Gemäss sep. Verteilerliste

Datum	Kapitel	Änderung	Version	Visum
23.11.2024	Alle	neu erstellt <b>Nur wenn Dokument schon im Umlauf war</b>	001	MG
25.04.2024	Alle	Vorabzug erstellt	020	MG
09.05.2024	Alle	Ergänzt, bereinigt, verfeinert und Rechtschreibung geprüft	025	MG
20.05.2024	Alle	Ergänzungen nach Feedback RN 123 und 125 ergänzt. Zahl fehlt.	026	MG
22.05.2024	FN 41	Fehlende Zahl ca. 400 eingesetzt, Verzeichnis aktualisiert.	027	MG
09.09.2024	1	Französische Zusammenfassung eingefügt	028	MG

**Nur Datum geprüft und freigegeben und Visum ausfüllen «erstellt Datum» kommt automatisch**

Ausgabe	erstellt		geprüft		freigegeben		Version
	Datum	Visum	Datum	Visum	Datum	Visum	
erste	23.11.2024	MG		MG		MG	Version 001
aktuelle	09.09.2024	MG	22.05.2024	MG	09.09.2024	MG	Version 028

**Das Dokument basiert auf einer Vorlage oder auf einem Dokument der MG Power Engineering AG**