

## Zusätzliche Anmerkungen zum „Erlaubten Arbeitsbereich“, „Gefährdeten Zustand“ und „Reservebetrieb“<sup>1</sup>

### Zusammenfassung und Fazit

Für arbeitsvermögenbegrenzte Einheiten gibt es einen **erlaubten Arbeitsbereich**, dessen Grenzen sich an dem **Speicherverhältnis**, also der Relation zwischen vermarkteter Leistung und Speicherkapazität, orientieren. Dieser erlaubte Arbeitsbereich darf nur verlassen werden, falls ein **gefährdeter Zustand** eintritt, der über Szenarien in der Frequenzabweichung gem. Art. 3 (2) Nr. 17 der Commission Regulation (EU) 2017/1485 definiert ist. Nach Ende des gefährdeten Zustands muss vom Anbieter so schnell wie möglich, spätestens aber innerhalb von **zwei Stunden**, sichergestellt werden, dass der Speicherstand der Einheit wieder den erlaubten Arbeitsbereich erreicht. Dies gilt für den Fall, dass der erlaubte Arbeitsbereich im gefährdeten Zustand verlassen worden ist. Bei länger anhaltendem gefährdeten Zustand kann der Speicherstand an die Randbereiche des gesamten Arbeitsvermögens gelangen. Damit der Regelleistungsbeitrag nicht komplett erlischt, ist eine Grenze definiert, bei deren Überschreitung die Einheit in den **Reservebetrieb** wechselt. Während dieses (in Deutschland **fünf-minütigen**) Übergangs vom Normal- in den Reservebetrieb geht die für die Aktivierung von FCR durch die Einheit **ausschlaggebende Frequenzabweichung** von der **real gemessenen** Frequenzabweichung im Netz linear in die **Abweichung von einer neuen Referenzfrequenz** über. Die neue Referenzfrequenz mittelt dabei in dynamischer Weise die letzten fünf Minuten im Frequenzverlauf. Die angepasste Erbringung durch die Einheit im Reservebetrieb erlaubt es ihr, den Speicher nicht maßgeblich weiter zu erschöpfen, zugleich weiterhin zur Systemstabilität beizutragen und sich innerhalb neu definierter erlaubter Erbringungsgrenzen zu bewegen.

Das Konzept des Reservebetriebs für arbeitsvermögenbegrenzte Einheiten bringt systemseitig vorteilhafte Eigenschaften mit sich:

Anbieter können nach Erreichen der jeweiligen Ober- oder Untergrenze für den Reservebetrieb durch die Reaktion auf die Abweichung von der neuen Referenzfrequenz ihre Einheit mit einer zuvor im Rahmen des Präqualifikationsverfahrens festgelegten Maximalleistung ent- bzw. nachladen. Das Gesamtsystem profitiert insofern vom Reservebetrieb, dass bei wachsender Frequenzabweichung auch arbeitsvermögenbegrenzte Einheiten im Reservebetrieb noch zur Systemstabilität beitragen, indem sie den dynamischen Anteil der Frequenzabweichung ausregeln.

---

### Erlaubter Arbeitsbereich und Speicherverhältnis

Das erste wichtige Paar von Begrenzungen innerhalb des Arbeitsvermögens stellen dabei die Grenzen des **erlaubten Arbeitsbereiches** dar. Durch diese soll gewährleistet werden, dass die Einheit zu jedem Zeitpunkt noch für mindestens 15 Minuten die gesamte vermarktete Leistung erbringen kann (in Anlehnung an Art. 156(9) der Commission Regulation (EU) 2017/1485, bevor ein fünf-minütiges Speichervermögen für den Übergang in den Reservebetrieb (vgl. Erklärung

---

<sup>1</sup> In Anlehnung an die regulatorischen Grundlagen des „Synchronous Area Framework Agreement II“ (SAFA II) sowie die „Additional Properties for FCR“ in Übereinstimmung mit Art. 154(2) der Commission Regulation (EU) 2017/1485

Berlin, Bayreuth, Dortmund, Stuttgart, 07.06.2023 | Seite 2 von 11

später) verbleibt. Intuitiverweise sind also die untere und obere Grenze für diesen Bereich als Relativangabe zum vollen Speicherstand wie folgt gegeben:

$$C_{uG}^A = 20 \text{ min} \cdot \frac{P_{VL}}{E_{nutzbar}} = \frac{1}{3} \text{ h} \cdot \frac{P_{VL}}{E_{nutzbar}}$$

$$C_{oG}^A = 1 - C_{uG}^A$$

Dabei ist:  $E_{nutzbar}$ : Nutzbares Arbeitsvermögen  
 $P_{VL}$ : Vermarktete Leistung

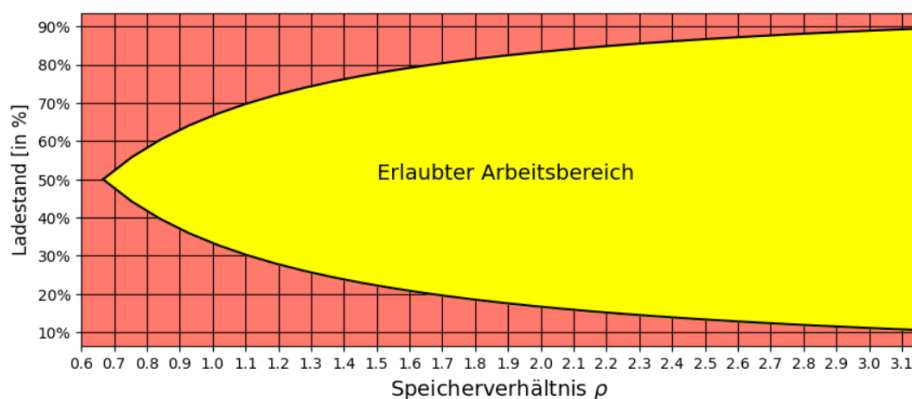
Eine weitere wichtige Größe, anhand derer die obigen Grenzen oft bemessen und angegeben werden, ist das **Speicherverhältnis**, welches angibt, wie lange eine Einheit aufgrund ihres begrenzten Arbeitsvermögens die vermarktete Leistung maximal ohne Speichermanagement-Maßnahmen erbringen kann. Es lässt sich leicht mittels der Formel

$$\rho = \frac{E_{nutzbar}}{P_{VL}}$$

bestimmen. Mithilfe dieses Speicherverhältnisses ergeben sich die Zusammenhänge

$$C_{uG}^A = \frac{1h}{3\rho} \quad \text{und} \quad C_{oG}^A = 1 - C_{uG}^A = \frac{3\rho - 1h}{3\rho}$$

für die obere und untere Grenze des erlaubten Arbeitsbereichs einer Einheit und dieser lässt sich dadurch wie folgt grafisch darstellen:



Insbesondere ist an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass es sich bei den oben verwendeten Kennzahlen der Einheit um dynamische Größen handelt, die von der jeweiligen **Vermarktungssituation der Einheit** abhängen. Das **nutzbare Arbeitsvermögen** umfasst dabei lediglich den Anteil der physischen Gesamtkapazität der Einheit, der zur Vermarktung in der Primärregelleistung verwendet wird. Außerdem kann sich die allokierte Vorhalteleistung einer speicherbegrenzten Einheitsaach innerhalb einer Viertelstunde ändern. Dies hat wiederum Auswirkungen auf das Speicherverhältnis und die jeweiligen Grenzen des erlaubten Arbeitsbereichs für diese spezielle Vermarktungssituation der Einheit.

Berlin, Bayreuth, Dortmund, Stuttgart, 07.06.2023 | Seite 3 von 11

Zu jedem Zeitpunkt am Markt bestimmt also das Verhältnis zwischen aktuell vermarkteter Leistung und nutzbarem Arbeitsvermögen einer Einheit maßgeblich den erlaubten Arbeitsbereich und damit den Spielraum für geeignete Speichermanagementmaßnahmen während der Erbringung. Während des Präqualifikationsverfahrens ist in diesem Zusammenhang die vermarktete Leistung gleich der maximalen vermarkteten Leistung im Sinne der Präqualifikation zu setzen und die Speichergrenzen entsprechend anzupassen.

## Gefährdeter Zustand

Der Anbieter muss grundsätzlich dafür sorgen, dass der Speicherstand der Einheit den erlaubten Arbeitsbereich nicht verlässt. **Grundsätzlich** heißt dabei, dass dies immer der Fall sein muss, außer es tritt ein sogenannter **gefährdeter Zustand** ein. Ein gefährdeter Zustand ist gegeben, sobald eines der folgenden drei Szenarien einer Frequenzabweichung auftritt:

- mindestens  $\pm 200$  mHz einmalig
- mindestens  $\pm 100$  mHz dauerhaft für mindestens fünf Minuten
- mindestens  $\pm 50$  mHz dauerhaft für mindestens 15 Minuten

Der gefährdete Zustand **endet**, sobald die Frequenzabweichung wieder betragsmäßig kleiner als 50 mHz ist. Bei Eintreten eines gefährdeten Zustands ist es den arbeitsvermögenbegrenzten Einheiten gestattet, den erlaubten Arbeitsbereich zu verlassen, um weiterhin zur Frequenzhaltung beitragen zu können. Gleichzeitig müssen Anbieter versuchen, durch Speichermanagementmaßnahmen wieder den erlaubten Arbeitsbereich zu erreichen. Dies muss so bald wie möglich, spätestens aber **zwei Stunden nach Ende des gefährdeten Zustands** geschehen sein.

In dem Fall, dass eine Einheit aufgrund eines gefährdeten Zustands den erlaubten Arbeitsbereich verlässt, muss dennoch sichergestellt werden, dass das Arbeitsvermögen der Einheit (sowohl in positive als auch in negative Richtung) nicht vollständig erschöpft wird. Aus diesem Grund werden außerhalb des erlaubten Arbeitsbereiches erweiterte Grenzen des Speicherstands definiert, die den Übergang zum später erläuterten Reservebetrieb initiieren sollen.

Diese erweiterten Grenzen sind so dimensioniert, dass die Einheit noch mindestens so lange die vermarktete Leistung vollständig erbringen kann, bis die volle Aktivierungszeit für aFRR (in Deutschland fünf Minuten) abgelaufen ist. Aus diesem Grund ergeben sich die Grenzen wie folgt:

$$C_{uG}^R = \frac{\Delta t_{FAT} \cdot P_{VL}}{E_{nutzbar}} = \frac{\Delta t_{FAT}}{\rho} \left( = \frac{1h}{12\rho} \right)$$
$$C_{oG}^R = 1 - C_{uG}^R$$

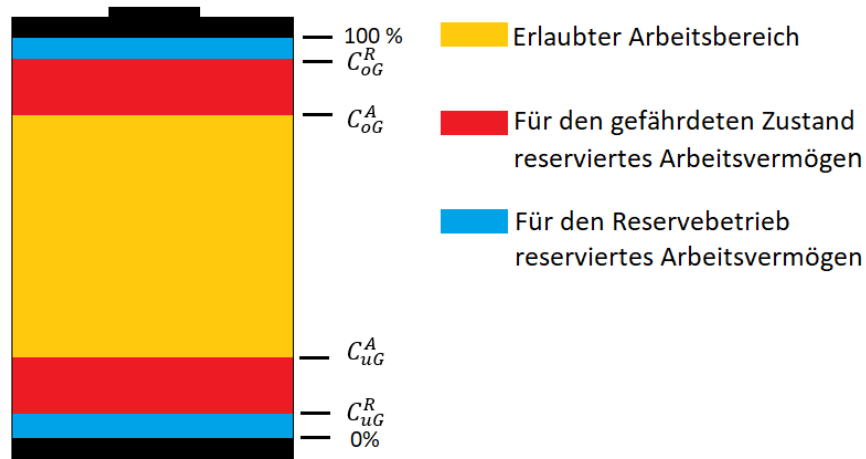
Dabei ist:

$E_{nutzbar}$ :	Nutzbares Arbeitsvermögen
$P_{VL}$ :	Vermarktete Leistung
$\Delta t_{FAT}$ :	Aktivierungszeit (Full Activation Time) aFRR (in DE fünf Minuten)

Auch an dieser Stelle ist anzumerken, dass es sich bei den oben verwendeten Kennzahlen um dynamische Größen handelt, die von der Vermarktungssituation der Einheit abhängen. Somit können auch die Grenzen für den Reservebetrieb von Produktzeitscheibe zu Produktzeitscheibe unterschiedliche Werte annehmen.

## Zusammenfassung der Grenzen innerhalb des Arbeitsvermögens

Bevor nun erläutert wird, wie sich die arbeitsvermögenbegrenzte Einheit im Reservebetrieb verhalten muss und wie der Übergang in diesen definiert ist, fassen wir anhand der folgenden Abbildung die verschiedenen Grenzen und zugehörigen Bereiche innerhalb des vollen Arbeitsvermögens einer Einheit zusammen:



## Erbringung von Regelleistung im Reservebetrieb

Bei Eintreten eines gefährdeten Zustands und einem möglichen Verlassen des erlaubten Arbeitsbereichs durch eine arbeitsvermögenbegrenzte technische Einheit kann es durch die darauffolgende weitere Erbringung dazu kommen, dass das Arbeitsvermögen auch die oben definierte untere bzw. obere Grenze für den Reservebetrieb erreicht.

Bevor der Übergang in den Reservebetrieb erläutert wird, wird zunächst erklärt, inwiefern die Einheit in dem Reservebetrieb auf Frequenzabweichungen reagieren und die dadurch verbundene Regelleistung erbringen muss.

Im Reservebetrieb muss die Einheit gemäß der Abweichung auf die über die letzten fünf Minuten gemittelten neuen Referenzfrequenz reagieren. Diese Abweichung wird zum Zeitpunkt  $t$  (in Sekunden) mit  $\Delta f_0(t)$  bezeichnet und lässt sich mithilfe der **real gemessenen Frequenzabweichungen**  $\Delta f(t)$  der letzten fünf Minuten wie folgt ausdrücken:

$$\Delta f_0(t) = \Delta f(t) - \frac{1}{\Delta t_{FAT}} \sum_{i=0}^{\Delta t_{FAT}-1} \Delta f(t-i)$$

Dabei ist:  $\Delta f(t)$ : Real gemessene Frequenzabweichung zur Zeit  $t$   
 $\Delta t_{FAT}$ : Aktivierungszeit (Full Activation Time) aFRR (in DE fünf Minuten), hier in Sekunden für Mittelwertbildung

Später wird noch anhand simulierter Szenarien darauf eingegangen, inwiefern sich die Abweichung von der neuen Referenzfrequenz von der realen gemessenen Frequenzabweichung unterscheidet und wie sich in Folge dessen die zu erbringende Regelleistung verhält. Grundsätzlich lässt sich aber sagen, dass letztere deutlich niedriger (oder sogar entgegengesetzt) ist, was es den Anbietern ermöglicht, deutlich länger netzstabilisierend zu agieren.

Erreicht das Arbeitsvermögen wieder die Grenze für den Reservebetrieb in Richtung des für den gefährdeten Zustands reservierten Bereichs (roter Bereich in obiger Zeichnung) und es ist kein gefährdeter Zustand mehr gegeben, so muss die Einheit wieder in den Normalbetrieb zurückkehren. In diesem muss dann auch wieder Regelleistung anhand der realen Frequenzabweichung  $\Delta f(t)$  erbracht werden.

## Gewichtungsfunktion zur Bestimmung der ausschlaggebenden Frequenzabweichung

Sobald eine der beiden Grenzen für den Übergang in den Reservebetrieb erreicht worden ist, beginnt ein  $\Delta t_{FAT}$  langes Zeitfenster für eben diesen. In dieser Zeitspanne bewegt sich die Frequenzabweichung, gemäß der die Einheit Regelleistung zum Zeitpunkt  $t$  erbringen muss, ( $\Delta f_{reaction}(t)$ ) **linear** von der realen Frequenzabweichung  $\Delta f(t)$  hin zur Abweichung von der neuen Referenzfrequenz  $\Delta f_0(t)$ .

Um diesen Prozess geeignet darzustellen, führen wir zwei weitere Variablen ein, die vom Systemzustand zum jeweiligen Zeitpunkt abhängen. Zum einen wird der **Zeitpunkt, zu dem der Wechsel** in den Reservebetrieb (oder wieder zurück in den Normalbetrieb) **initiiert wird**, mit  $t_{switch}$  bezeichnet. Diese Variable wird bei jedem Wechsel zwischen den beiden Betrieben neu auf den Zeitpunkt des jeweils aktuellen Wechselvorgangs gesetzt. Zum anderen beschreibt die **Statusvariable**  $R$ , in welchen Betrieb die Einheit gerade wechseln will. Sie nimmt die diskreten Werte 0 und 1 an, wobei 0 für „Reservebetrieb aus“ und 1 für „Reservebetrieb an“ steht.

Bevor auf eine Übergangsfunktion zwischen den Frequenzabweichungen für den jeweiligen Betrieb eingegangen wird, wird zunächst die Rolle der obigen Variablen anhand eines kurzen Beispiels verdeutlicht.

Zu Beginn des Szenarios befindet sich die Einheit im Normalbetrieb, d.h.  $t_{switch}$  hat noch keinen Wert zugewiesen und es gilt  $R = 0$ . Aufgrund des gefährdeten Zustands entleert sich die Batterie nun bis zur unteren Grenze für den Reservebetrieb. Das initiiert einen Wechsel in den Reservebetrieb,  $t_{switch}$  wird auf den jeweiligen Zeitpunkt und  $R$  auf 1 gesetzt. Während des Wechsels in den Reservebetrieb behebt sich nun allerdings der gefährdete Zustand und das Speichervermögen der Einheit erreicht wieder die Grenze für den Reservebetrieb – diesmal in Richtung des erlaubten Arbeitsbereichs. Dies initiiert einen Wechsel zurück in den Normalbetrieb,  $t_{switch}$  nimmt also diesen neuen Zeitpunkt als Wert an und  $R$  wieder auf 0 gesetzt.

Das Verhalten dieser beiden Variablen beeinflusst maßgeblich die Definition der entsprechenden Gewichtungsfunktion für die oben eingeführten Frequenzabweichungen. Dafür wird zunächst die **Übergangsfunktion**  $T_{trans}$  wie folgt definiert:

$$T_{trans}(t) = T_{trans}(t_{switch}) - \frac{(-1)^R}{\Delta t_{FAT}}(t - t_{switch}) \quad , \text{wobei} \quad T_{trans}(0) = 0.$$

Dabei ist:	$t_{switch}$ :	Zeitpunkt des Systemübergangs
	$R$ :	Statusvariable für Betrieb der Einheit
	$\Delta t_{FAT}$ :	Aktivierungszeit (Full Activation Time) aFRR (in DE fünf Minuten) , in der selben Einheit wie die Zeit $t$

Man erkennt sofort, dass die Übergangsfunktion direkt mit dem aktuellen Wert des Übergangszeitpunkts  $t_{switch}$  und der Statusvariable  $R$  zusammenhängt. Dabei gibt  $t_{switch}$  vor, von welchem Zeitpunkt aus der jeweilige Übergang modelliert wird und  $R$  beeinflusst das Vorzeichen des hinteren Terms. Für  $R = 1$ , also den Wechsel in den Reservebetrieb, wächst die Funktion mit fester Steigung, während sie für  $R = 0$ , also den Wechsel in den Normalbetrieb, betragsmäßig gleich fällt. Der Anfangswert von  $T_{trans}$  ist auf Null gesetzt, weil man zu Beginn der Betrachtung von einem Normalzustand des Systems ausgeht und die rekursive Definition einen Anfangswert verlangt.

Mithilfe der obigen Übergangsfunktion kann man nun eine **Gewichtungsfunktion** definieren, die später benutzt wird, um den Zustand von System und Einheit richtig in der ausschlaggebenden Frequenzabweichung widerzuspiegeln. Sie ist gegeben durch folgende Formel:

$$T(t) = \begin{cases} 0 & , \text{ falls } T_{trans}(t) \leq 0 \\ T_{trans}(t) & , \text{ falls } 0 < T_{trans}(t) < 1 \\ 1 & , \text{ falls } T_{trans}(t) \geq 1 \end{cases}$$

Die ausschlaggebende Frequenzabweichung während des Übergangs in den Reservebetrieb ist dann gegeben durch die folgende Kombination der real gemessenen Frequenzabweichung und der Abweichung von der neuen Referenzfrequenz:

$$\Delta f_{reaction}(t) = T(t) \cdot \Delta f_0(t) + (1 - T(t)) \cdot \Delta f(t)$$

Anders ausgedrückt lässt sich der Anteil, zu dem die gemittelte Frequenzabweichung „herausgerechnet“ wird direkt mithilfe der Übergangsfunktion  $T$  skalieren. Dies ergibt die alternative Formel:

$$\Delta f_{reaction}(t) = \Delta f(t) - \frac{T(t)}{\Delta t_{FAT}} \sum_{i=0}^{\Delta t_{FAT}-1} \Delta f(t-i)$$

## Übergang vom Normalbetrieb in den Reservebetrieb

Im Normalbetrieb bzw. zu Beginn des Übergangs in den Reservebetrieb ist die Übergangsfunktion  $T_{trans}(t)$  und damit auch die Gewichtungsfunktion  $T(t) = 0$ , die ausschlaggebende Frequenzabweichung  $\Delta f_{reaction}(t)$  entspricht also der realen Frequenzabweichung  $\Delta f(t)$ . Während des Übergangs nimmt die Gewichtungsfunktion  $T$  und damit auch der Anteil der Abweichung von der neuen Referenzfrequenz  $\Delta f_0(t)$  linear zu. Am Ende des Übergangsbereichs und im darauffolgenden Reservebetrieb ist  $T(t) = 1$ , was bedeutet, dass die ausschlaggebende Frequenzabweichung  $\Delta f_{reaction}(t)$  mit der Abweichung von der neuen Referenzfrequenz  $\Delta f_0(t)$  übereinstimmt.

## Übergang von dem Reserve- in den Normalbetrieb

Sobald die arbeitsvermögenbegrenzte Einheit die jeweilige Ober- bzw. Untergrenze für den Reservebetrieb in Richtung des für den gefährdeten Zustand reservierten Arbeitsvermögens (d.h. von  $C_{UG}^R$  aufwärts bzw. von  $C_{OG}^R$  abwärts) wieder

Berlin, Bayreuth, Dortmund, Stuttgart, 07.06.2023 | Seite 7 von 11

erreicht hat und kein gefährdeter Zustand mehr besteht, muss die Einheit über den Zeitraum von  $\Delta t_{FAT}$  (in Deutschland also fünf Minuten) wieder linear in den Normalbetrieb wechseln.

Dieser Übergang ist insbesondere schon in obiger Formulierung mit inbegriffen. Durch die sich je nach Szenario ändernde Statusvariable  $R$  wird auch der Übergang zurück in den Normalbetrieb mit modelliert.

Die ausschlaggebende Frequenzabweichung ergibt sich wieder gemäß der oben angegebenen Formeln für die Kombination von real gemessener Frequenzabweichung und der Abweichung von der neuen Referenzfrequenz. Die Interpretation dieser ist direkt mit dem intuitiven Verständnis des linearen Übergangs zurück in den Normalbetrieb vereinbar:

Vor dem Zeitpunkt  $t_{\text{switch}}$ , also dem Startzeitpunkt des Übergangs in den Normalbetrieb, ist die Übergangsfunktion  $T(t) = 1$ , die ausschlaggebende Frequenzabweichung  $\Delta f_{\text{reaction}}(t)$  entspricht also der Abweichung von der neuen Referenzfrequenz  $\Delta f_0(t)$ . Während des Übergangs nimmt die Übergangsfunktion  $T$  und damit auch der Anteil von  $\Delta f_0(t)$  linear ab. Am Ende des Übergangsbereichs und im darauffolgenden Reservebetrieb ist  $T(t) = 0$ , was bedeutet, dass die ausschlaggebende Frequenzabweichung  $\Delta f_{\text{reaction}}(t)$  mit der realen Frequenzabweichung  $\Delta f(t)$  übereinstimmt.

Ist die Einheit dann wieder im Normalbetrieb angekommen, muss der Anbieter sicherstellen, dass sich das Arbeitsvermögen schnellstmöglich wieder in den erlaubten Arbeitsbereich begibt. Ab Ende des (letzten) gefährdeten Zustands hat er dafür **maximal zwei Stunden** Zeit.

## Konkretes Beispielszenario für Übergang in den Reservebetrieb und Erbringung

Nun werden die oben erklärten Szenarien und Prinzipien bezüglich gefährdetem Zustand, Reservebetrieb und Erbringung anhand eines Beispielfalls für eine Frequenzmessung von SwissGrid am 07.06.2019 erklärt und veranschaulicht.<sup>2</sup> Es gelten die folgenden Annahmen:

$$\Delta t_{FAT} = 300 \text{ s}, \quad P_{VL} = 1 \text{ MW}, \quad E_{\text{nutzbar}} = 1 \text{ MWh}$$

Damit ergibt sich ein Speicherverhältnis von  $\rho = 1 \text{ h}$  sowie eine obere und untere Grenze für den erlaubten Arbeitsbereich der Einheit von

$$C_{uG}^A = \frac{1}{3} \approx 33,3\% \quad \text{und} \quad C_{oG}^A = \frac{2}{3} \approx 66,7\%.$$

Der Reservebetrieb darf ab den Vermögensgrenzen

$$C_{uG}^R = \frac{1}{12} \approx 8,3\% \quad \text{bzw.} \quad C_{oG}^R = \frac{11}{12} \approx 91,7\%$$

aktiviert werden.

---

<sup>2</sup> Ursprünglich wurde dieses Szenario in einem Begleitdokument zum Reservebetrieb aus [https://netztransparenz.tennet.eu/fileadmin/user\\_upload/SO\\_NL/Explanatory\\_Note\\_Reserve\\_Mode\\_final.pdf](https://netztransparenz.tennet.eu/fileadmin/user_upload/SO_NL/Explanatory_Note_Reserve_Mode_final.pdf) behandelt.

Berlin, Bayreuth, Dortmund, Stuttgart, 07.06.2023 | Seite 8 von 11

Abbildung 1 zeigt den Übergang vom Normal- in den Reservebetrieb in Bezug auf die verschiedenen oben eingeführten Frequenzabweichungen. Die für die zu erbringende Regelleistung ausschlaggebende Frequenzabweichung  $\Delta f_{reaction}(t)$  (blaue Linie) gleicht zu Beginn der Übergangsphase der realen Frequenzabweichung  $\Delta f(t)$  (schwarze Linie) und geht im Laufe der fünf Minuten in die Abweichung von der neuen Referenzfrequenz  $\Delta f_0(t)$  (rote Linie) über. Die grüne Linie zeigt den (mitlaufenden) Fünf-Minuten-Mittelwert für die Frequenzabweichung und in Magenta ist der Wert der Gewichtungsfunktion  $T(t)$  zum jeweiligen Zeitpunkt  $t$  aufgezeichnet.

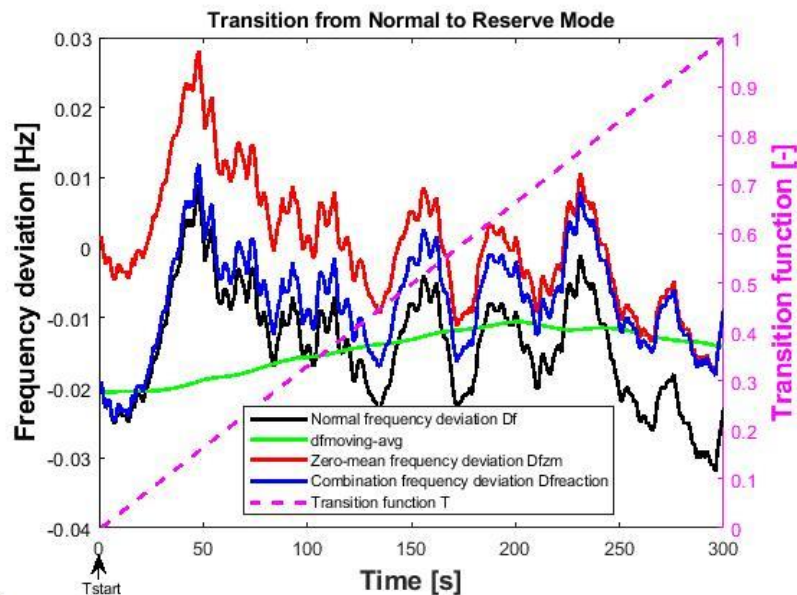


Abbildung 1: Frequenzabweichungen und Übergangsfunktion während des Übergangs in den Reservebetrieb

Diese Entwicklung wird in Abbildung 2 fortgesetzt, in der zusätzlich noch der Einfluss des Reservebetriebs auf den Ladezustand der Einheit dargestellt ist. Nach Ende der fünf-minütigen Übergangsphase gleicht die ausschlaggebende Frequenzabweichung weiterhin der Abweichung von der neuen Referenzfrequenz, d.h. die blaue Linie läuft weiterhin auf der roten Linie. Man erkennt direkt, dass der Übergang in den Reservebetrieb den simulierten Ladezustand mit Reservebetrieb (gestrichelte magentafarbene Linie) immer oberhalb von 3% bleiben lässt. Dies hat zur Folge, dass es in diesem Szenario keine Pause in der Erbringung geben muss. Insbesondere erreicht das Arbeitsvermögen der Einheit zum Ende der dargestellten Zeitspanne hin die untere Grenze für die Aktivierung des Reservebetriebs. Da zu diesem Zeitpunkt insbesondere auch kein gefährdeter Zustand mehr besteht, muss die Einheit danach wieder in den Normalbetrieb übergehen. Für den Fall, dass kein Reservebetrieb benutzt wird (durchgezogene magentafarbene Linie), erschöpft sich das Arbeitsvermögen bei  $t \approx 300 \text{ s}$  und die Einheit kann in diesem Beispiel für ca. 100 Sekunden keine Primärregelung erbringen.



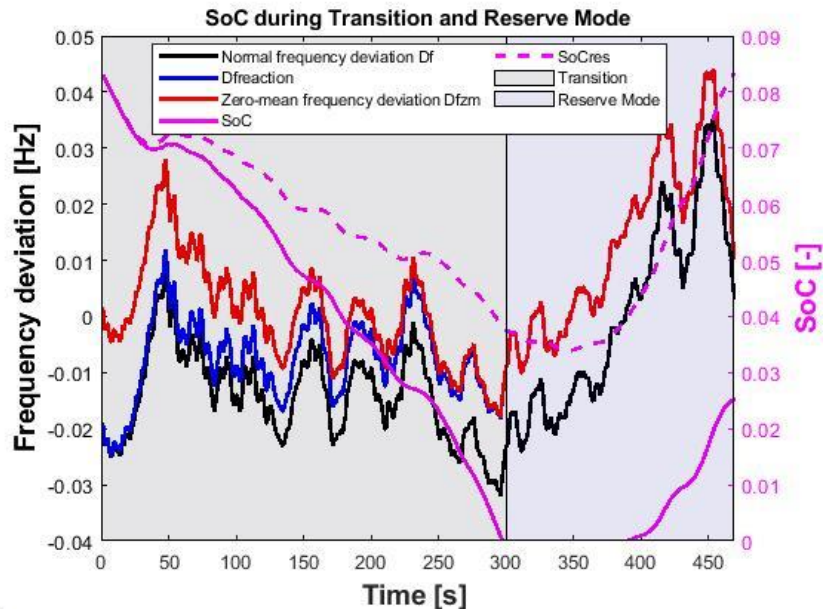


Abbildung 2: Frequenzabweichung und Ladezustand während des und nach dem Übergang in den Reservebetrieb

Zu guter Letzt ist es noch illustrativ, die zu aktivierende Primärregelleistung während und nach der Übergangsphase in den Reservebetrieb zu betrachten. Abbildung 3 zeigt die zu liefernde Regelleistung gemäß der real gemessenen Frequenzabweichung (schwarze Linie) im Vergleich zu der zu liefernden Regelleistung gemäß der ausschlaggebenden Frequenzabweichung im (Übergang zum) Reservebetrieb (blaue Linie). Während sich beide Linien im Verlauf deutlich ähneln, erlaubt die Erbringung der Primärregelleistung im Reservebetrieb ein langsames Ausschöpfen des Speichervermögens während der Erbringung. Dies wird wieder durch den in Magenta aufgetragenen jeweiligen Speicherstand der Einheit verdeutlicht. Würde die Einheit auf den Wechsel in den Reservebetrieb verzichten, könnte die zu aktivierende Regelleistung ungleich null von  $t = 300 \text{ s}$  bis  $t = 400 \text{ s}$  nicht erbracht werden.

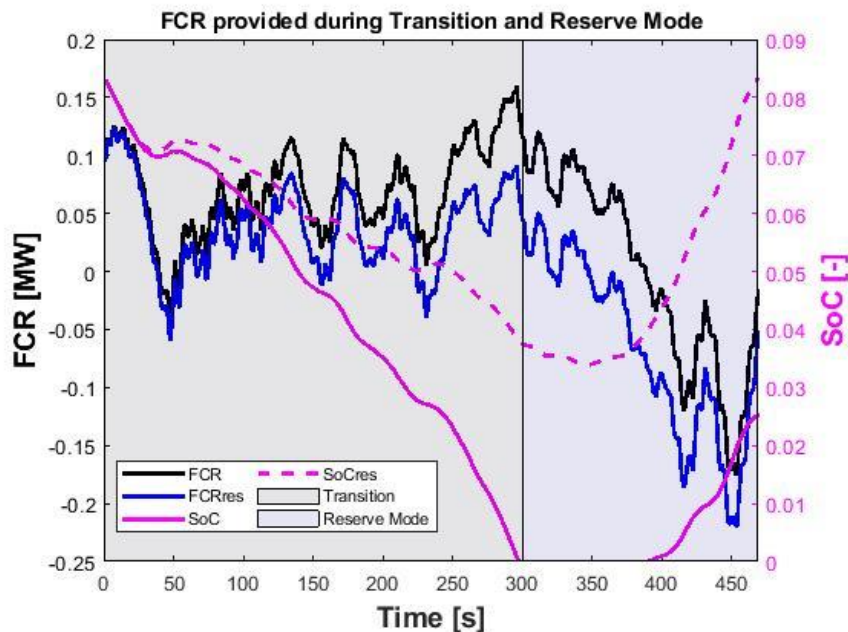


Abbildung 3: Einfluss des Reservebetriebs auf zu aktivierende Primärregelleistung und den Ladezustand der Einheit

## Häufig gestellte Fragen

**Frage:** Wie lange muss eine Einheit nach Eintreten eines gefährdeten Zustands voll erbringen, bis sie in den Reservebetrieb wechseln darf?

**Antwort:** Die Definition der obigen Speichergrenzen ermöglicht es, dass mindestens 15 Minuten lang verpflichtend weiterhin die volle vermarktete Leistung erbracht wird. In dem Fall, dass die auftretenden Frequenzabweichungen kleiner sind als  $\pm 200$  mHz, ist dies mindestens für einen entsprechend längeren Zeitraum möglich und notwendig. Der Wechsel in den Reservebetrieb soll stattfinden, sobald der Speicherstand die jeweilige Grenze seines Arbeitsvermögens für den Reservebetrieb ( $C_{UG}^R$  bzw.  $C_{OG}^R$ ) erreicht.

**Frage:** Wie lange darf die Einheit dann im Reservebetrieb bleiben?

**Antwort:** Für den Verbleib im Reservebetrieb sind lediglich der Speicherstand der Einheit und die zugehörigen Grenzen für den Reservebetrieb ausschlaggebend. Der Anbieter hat dafür zu sorgen, dass das Arbeitsvermögen durch entsprechende Speichermanagementmaßnahmen schnellstmöglich wieder in den erlaubten Bereich geführt wird und hat dafür maximal zwei Stunden Zeit. Daher können diese zwei Stunden auch als obere Schranke für den Verbleib im Reservebetrieb angesehen werden, umfassen aber insbesondere auch das Nachladen des für den gefährdeten Zustand reservierten Arbeitsvermögens.

**Frage:** Der gefährdete Zustand hält nach dem Wechsel der technischen Einheit zurück in den Normalbetrieb immer noch an. Was bedeutet das für das Erbringungsverhalten der Einheit?

Berlin, Bayreuth, Dortmund, Stuttgart, 07.06.2023 | Seite 11 von 11

**Antwort:** Falls sich der Speicherstand außerhalb der Grenzen für den Reservebetrieb (d.h. von  $C_{uG}^R$  aufwärts bzw. von  $C_{oG}^R$  abwärts) befindet, erbringt die Einheit weiterhin das volle PRL-Soll. Erst wenn die Grenze des zulässigen Arbeitsvermögens für den Reservebetrieb (von  $C_{uG}^R$  abwärts bzw. von  $C_{oG}^R$  aufwärts) erreicht wird, soll wieder in den Reservebetrieb gewechselt werden.

**Frage:** Die Frequenzabweichung ist betragsmäßig wieder kleiner als 50 mHz. Was bedeutet das für das Erbringungsverhalten der Einheit?

**Antwort:** Ab diesem Zeitpunkt hat die Einheit zwei Stunden Zeit, um ihren Ladestand wieder in den erlaubten Arbeitsbereich zu bringen. Der Ladezustand ist jedoch verpflichtend schnellstmöglich wieder herzustellen, o.g. zwei Stunden gelten in diesem Zusammenhang als Obergrenze der möglichen Zeitdauer. Sobald der notwendige Ladezustand in Richtung des für den gefährdeten Zustand reservierten Arbeitsvermögens (d.h. von  $C_{uG}^R$  aufwärts bzw. von  $C_{oG}^R$  abwärts) wiederhergestellt worden ist, hat die speicherbegrenzte Einheit in den Normalbetrieb zu wechseln.

## Glossar

$C_{uG}^A$	Untere Grenze des erlaubten Arbeitsbereichs
$C_{oG}^A$	Obere Grenze des erlaubten Arbeitsbereichs
$E_{nutzbar}$	Nutzbares Arbeitsvermögen (= Gesamtkapazität)
$P_{VL}$	Vermarktete Leistung
$\rho$	Speicherverhältnis zwischen Leistung und Kapazität
$C_{uG}^R$	Untere Grenze für Übergang in den Reservebetrieb
$C_{oG}^R$	Obere Grenze für Übergang in den Reservebetrieb
$\Delta t_{FAT}$	Aktivierungszeit (Full Activation Time) aFRR (in DE fünf Minuten)
$\Delta f_0(t)$	Null-Mittel-Frequenzabweichung zum Zeitpunkt $t$
$\Delta f(t)$	Real gemessene Frequenzabweichung zum Zeitpunkt $t$
$t_{switch}$	Zeitpunkt des Systemübergangs
$R$	Statusvariable für den Reservebetrieb
$T_{trans}$	Übergangsfunktion
$T$	Gewichtungsfunktion
$\Delta f_{reaction}(t)$	Ausschlaggebende Frequenzabweichung zum Zeitpunkt $t$
Normalzustand	Bezeichnet den Netzzustand analog Art. 3 (2) Nr. 5 der System Operation Guideline
Gefährdeter Zustand	Bezeichnet den Netzzustand analog Art. 3 (2) Nr. 17 der System Operation Guideline
Normalbetrieb	Betrieb einer FCR-Einheit, im Rahmen dessen in Anlaage zu den Anforderungen der kontinentaleuropäischen Übertragungsnetzbetreiber auf die absolute Frequenzabweichung zur Normalfrequenz reagiert wird.
Reservebetrieb	Betriebsweise einer FCR-Einheit, im Rahmen dessen ausschließlich auf eine Null-Mittel-Frequenzabweichung reagiert wird.