



Technische Anforderungen an die automatische Frequenzentlastung

Der vorliegende technische Hinweis "Technische Anforderungen an die automatische Frequenzentlastung unter Berücksichtigung einer veränderten Erzeugungssituation" wurde in Kooperation mit Österreichs E-Wirtschaft und dem VSE Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen erarbeitet.



Österreichs E-Wirtschaft

Brahmsplatz 3, Postfach 123, AT 1041 Wien

Telefon: +43-(0)1-50198 0
Fax: +43-(0)1-5051218
E-Mail: info@oesterreichsenergie.at
Internet: www.oesterreichsenergie.at



VSE Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Hintere Bahnhofstrasse 10, Postfach, CH 5001 Aarau

Telefon: +41 (0)62 825 25 25
Fax: +41 (0)62 825 25 26
E-Mail: info@strom.ch
Internet: www.strom.ch



Dieses Dokument darf für den eigenen Bedarf vervielfältigt werden.

© Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE (FNN)

Bismarckstr. 33, 10625 Berlin

Telefon: + 49 (0) 30 3838687 0
Fax: + 49 (0) 30 3838687 7
E-Mail: fnn@vde.com
Internet: www.vde.com/fnn

1. Ausgabe: Juni 2012

Technische Anforderungen an die automatische Frequenzentlastung unter Berücksichtigung einer veränderten Erzeugungssituation

Technischer Hinweis

Juni 2012

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	5
Bildverzeichnis	5
Vorwort	6
Einleitung	7
1 Anwendungsbereich	8
2 Abkürzungen.....	8
3 Rahmenbedingungen.....	8
4 Anforderungen.....	9
5 Stufenplan	12
6 Bestimmung der Referenznetzlast	13
7 Realisierung	15
7.1 Grundsätze für die Realisierung	15
7.2 Realisierung bei Verbrauchernetzen ohne Rückspeisung	15
7.3 Realisierung bei Verbrauchernetzen mit zeitweiser Rückspeisung	16
8 Zusammenfassung und Ausblick.....	17
9 Literaturhinweise.....	17

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Einstellwerte für frequenzabhängigen Lastabwurf	11
Tabelle 2	Messgenauigkeiten	12
Tabelle 2	Umsetzungsbeispiel mit vier Stufen	12

Bildverzeichnis

Bild 1	Maßnahmen zur Frequenzstabilisierung	7
Bild 2	Empfehlungen des Unterfrequenz-Lastabwurfes nach [1]	8
Bild 3	Prinzipschaltung der wirkleistungsrichtungsabhängigen Frequenzschutzfunktion	10
Bild 4	Bestimmung der Wirkleistungsrichtung mit Freigabestrom und geneigter Kennlinie ...	10
Bild 5	Bestimmung der Wirkleistungsrichtung mit Wirkleistungsschwelle	11
Bild 6	Bestimmung der Referenznetzlast	14
Bild 7	Frequenzentlastung bei Verbrauchernetzen ohne Rückspeisung	16
Bild 8	Frequenzentlastung bei Verbrauchernetzen mit zeitweiser Rückspeisung	16

Vorwort

Die Funktion der automatischen Frequenzentlastung hat eine große Bedeutung für die Aufrechterhaltung eines sicheren Systembetriebes. Durch die zunehmenden dezentralen Einspeisungen ist eine klare Zuordnung von Lasten und Verbrauchern oft nicht mehr möglich. Die bisher verbreitete Realisierung der automatischen Frequenzentlastung mit Frequenzrelais ist daher nicht mehr ausreichend und neue Konzepte sind notwendig. Die FNN-Projektgruppe Lastabwurf hat die technischen Anforderungen als Technischen Hinweis erarbeitet. In bewährter Weise erfolgte dies unter Mitarbeit von Fachleuten aus Österreich und der Schweiz.

In der Projektgruppe arbeiteten mit:

Dr. Roland Becker	Amprion GmbH
Thomas Blechinger	SWM Services GmbH
Wolf Fischer	Vattenfall Europe Distribution Berlin GmbH
Jens Hauschild	50Hertz Transmission GmbH
Ignaz Hübl	KELAG Netz GmbH
Dietmar Krull	E.ON Avacon GmbH
Gerold Kuonen	BKW FMB Energie AG
Wolfgang Leitner	Energie AG Oberösterreich Netz GmbH
Milorad Markovic	Austrian Power Grid
Dr. Fred Oechsle	EnBW Regional AG
Sven Rütze	ENSO Netz GmbH
Jens-Michael Salzmann	E.ON edis AG
Dr. Walter Sattinger	SWISSGRID AG
Karsten Schiller	WEMAG AG
Bruno Wartmann	ewz Verteilnetz
Uwe Welz	E.ON Netz GmbH
Dr. Thomas Kumm	Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE (FNN)
Thoralf Bohn	Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE (FNN)

Einleitung

Zur Frequenzhaltung im Übertragungsnetz ist der Übertragungsnetzbetreiber im Rahmen seiner Verantwortung für den zuverlässigen Systembetrieb zur Vorhaltung von Primärregel-, Sekundärregel- und Tertiärregelreserve (Minutenreserve) verpflichtet.

Sind diese Regelleistungen nicht in der Lage, die Netzfrequenz zu stabilisieren oder kommt es störungsbedingt zu einem plötzlichen Absinken der Frequenz, ist eine Aktivierung weiterer Maßnahmen in Kraftwerken und spätestens ab 49,0 Hz eine gezielte automatische Lastanpassung durchzuführen (siehe Bild 1). Damit soll ein weiteres Absinken der Netzfrequenz verhindert bzw. ein Wiederherstellen des Leistungsgleichgewichtes erreicht werden.

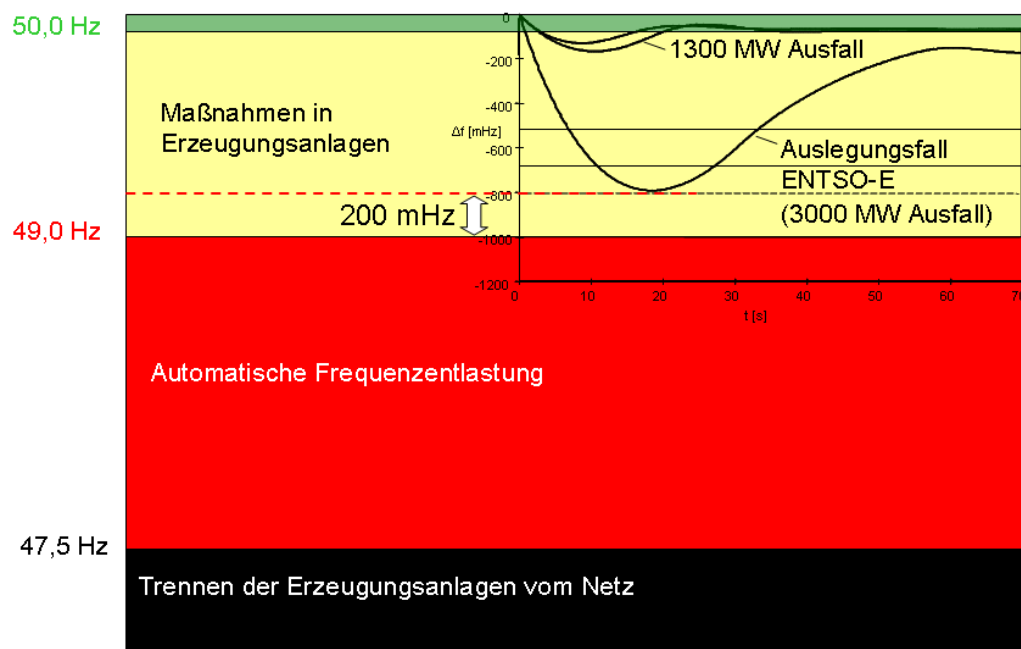


Bild 1 Maßnahmen zur Frequenzstabilisierung

Eine Lastanpassung wird mit der automatischen Frequenzentlastung (AFE bzw. UFLS - under-frequency load shedding) durch einen stufenweisen Lastabwurf im Netz erreicht

Durch die Zunahme an dezentralen Erzeugungsanlagen kann aber mit den derzeitigen Realisierungsvarianten nicht ausgeschlossen werden, dass sich in den auszulösenden Netzgebieten auch Erzeugungsanlagen befinden, deren Abschaltung unter Umständen der Frequenzstabilisierung entgegenwirkt.

Zur Verbesserung dieses unerwünschten Zustandes haben die Übertragungsnetzbetreiber gemeinsam mit den Verteilungsnetzbetreibern Lösungsmöglichkeiten diskutiert und in diesem Dokument einen schnell umsetzbaren und diskriminierungsfreien Mindeststandard für den Lastabwurf unter Berücksichtigung der Einspeisesituation erarbeitet.

Um die erforderliche Wirkung zu erreichen, muss die AFE flächendeckend, dezentral und autark aufgebaut werden. Alle Netznutzer haben sich entsprechend den festgelegten Regeln zu beteiligen.

Maßnahmen im überfrequenten Bereich sind nicht Bestandteil dieses Dokumentes.

1 Anwendungsbereich

Dieser technische Hinweis (TH) ist bei der Umsetzung der automatischen Frequenzentlastung anzuwenden.

2 Abkürzungen

AFE Automatische Frequenzentlastung

3 Rahmenbedingungen

Grundlage für die Umsetzung des Unterfrequenzschutzes sind [1], [2], [3], [4]. Dort wird empfohlen, den Unterfrequenz-Systemschutz flächendeckend, über den Frequenzbereich zwischen 48,0 Hz und 49,2 Hz gleichmäßig verteilt und derart umzusetzen, dass nach Auslösung aller Unterfrequenzrelais mindestens 50 % der ursprünglichen Last (vor Eintritt der Unterfrequenz) vom Netz getrennt sind. Der empfohlene Lastabwurfbereich ist in Bild 2 grün dargestellt.

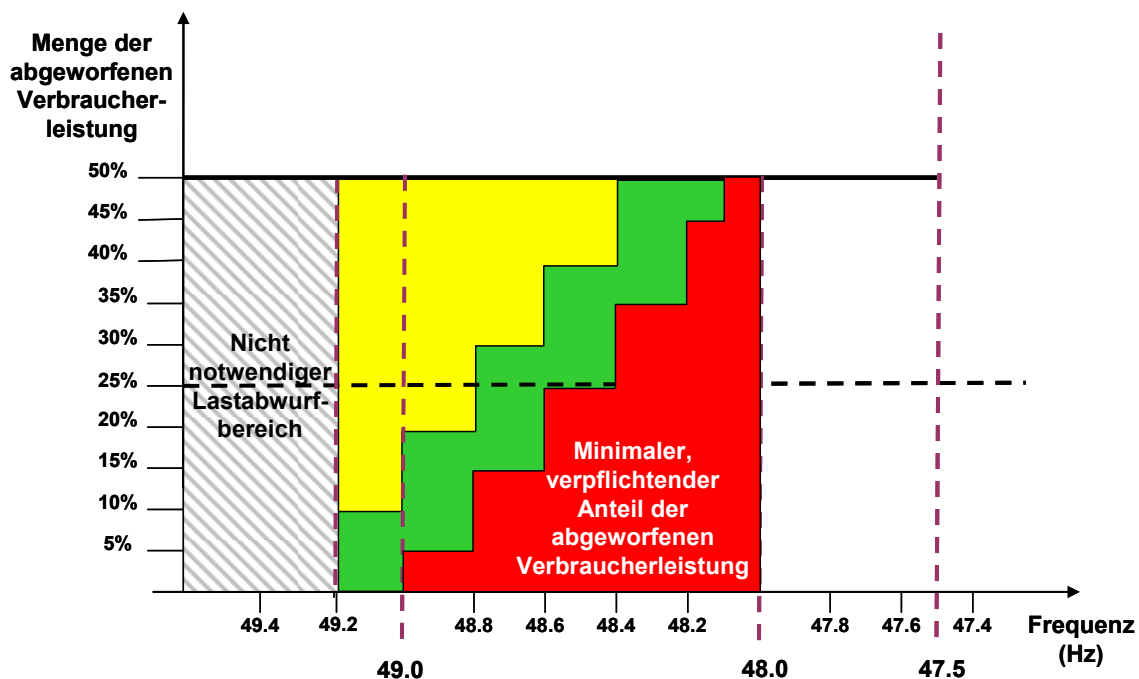


Bild 2 Empfehlungen des Unterfrequenz-Lastabwurfes nach [1]

Der Lastabwurf ist so umzusetzen, dass nach geeigneten Verfahren eine Rotation der Zuordnung von Verbrauchern zu den Auslösefrequenzgruppen möglich ist.

4 Anforderungen

Die Funktion der automatischen Frequenzentlastung kann in einem getrennten Relais, aber auch in einer vorhandenen Schutzeinrichtung als Funktion integriert werden. In beiden Fällen gelten grundsätzlich die technischen Anforderungen für Schutzeinrichtungen entsprechend VDN-Richtlinie „Digitale Schutzsysteme“ [5] bzw. FNN-Hinweis „Leitfaden Schutzsysteme“ [6]. Dies gilt sowohl für die technische Ausführung als auch für die Instandhaltung.

Die Schutzfunktion sollte aus Gründen der Entkopplung von Spannungs- und Frequenzproblemen erst ab einer einstellbaren Leiter-Leiter-Spannung (empfohlene Einstellung $70\% U_n^1$), einstellbar zwischen 65 und 80% mit einer Schrittweite von 5%, aktiv werden.

Der Arbeitsbereich des Frequenzschutzes muss zwischen 45,0 und 55,0 Hz liegen und mindestens in Schritten von 100 mHz im Bereich zwischen 45,0 und 50,0 Hz einstellbar sein. Dabei wird eine Messgenauigkeit der Frequenz von 50 mHz gefordert. Entsprechend Operation Handbook Policy 5 ist eine maximale Abschaltzeit (Schutz + Leistungsschalter) von 350 ms einzuhalten.

Um Überfunktionen zu vermeiden, ist in Abhängigkeit vom Messalgorithmus gegebenenfalls eine Verzögerungszeit (z. B. 100 ms) einzustellen.

ANMERKUNG: Die Abschaltzeit von 350 ms rührt von mechanischen Unterfrequenzrelais und Primärtechnik älterer Bauart (z. B. ölarne Leistungsschalter) her. Digitale Schutzgeräte weisen deutlich kleinere Eigenzeiten auf. In Kombination mit moderner Primärtechnik sind kürzere Abschaltzeiten erreichbar. Im Hinblick auf eine schnelle Reaktion bei hohen Frequenzgradienten sind Abschaltzeiten < 200 ms anzustreben.

Die AFE-Funktion ist gemäß Abschnitt 7.3 in Mischnetzen mit zeitweiser Rückspeisung zusätzlich mit einer Wirkleistungsrichtungserkennung auszuführen.

Zur Verhinderung einer Überfunktion dieser Wirkleistungsrichtungserkennung sind die Einführung eines Mindeststromes von 5 bis 10% des Wandlerbemessungsstroms und eine leichte Neigung der Kennlinie notwendig.

Die Funktion kann auch als Leistungswinkelüberwachung realisiert werden. Es ist auch zulässig, eine Überwachung einer reinen Wirkleistungsschwelle zu realisieren. Als Messverfahren können entweder die Mitsystemgrößen ermittelt und beurteilt werden oder es wird eine Winkelmessung vorgenommen. Bei Ansprechen der Wirkleistungsrichtungserkennung in Richtung Einspeisung ins überlagerte Netz wird die Auslösung durch den Frequenzschutz blockiert. Die schraffierte Fläche der Richtungserkennung im Bild 4 bzw. Bild 5 bedeutet Wirkleistungsrichtung ins überlagerte Netz und führt zur Blockade der Auslösung. Die Wandleranschaltung im Bild 3 ist als Beispiel auf der Unterspannungsseite ausgeführt, kann aber ebenfalls auf der Oberspannungsseite erfolgen.

¹ Netz-Nennspannungen z.B. 400 kV, 220 kV, 150 kV, 110 kV, 60 kV, 30 kV, 20 kV, 15 kV, 10 kV, 6 kV

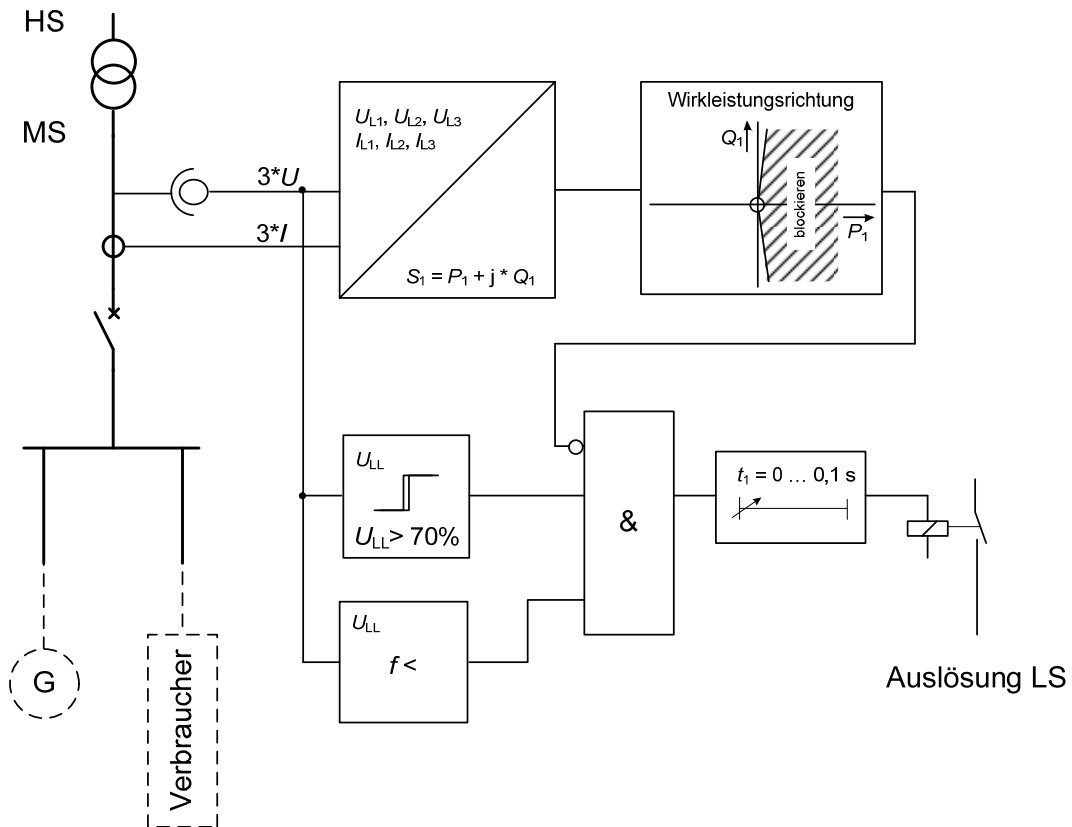


Bild 3 Prinzipschaltung der wirkleistungsrichtungsabhängigen Frequenzschutzfunktion

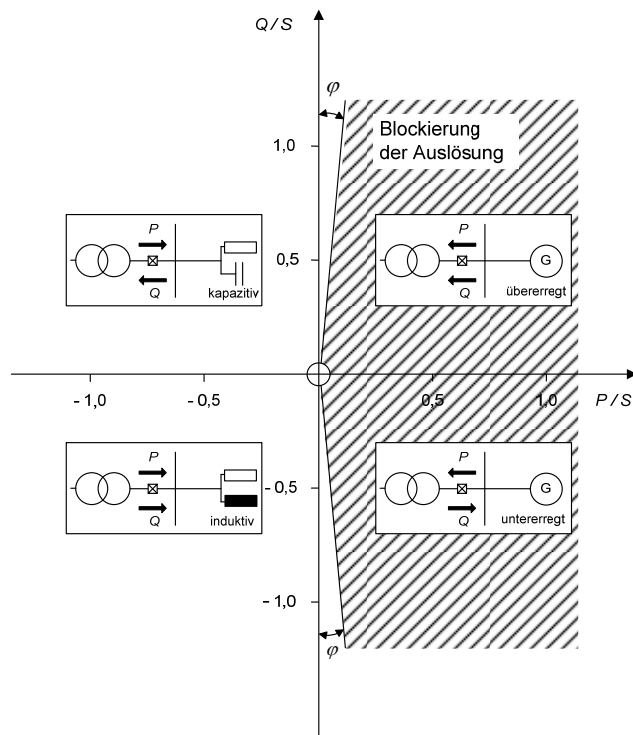


Bild 4 Bestimmung der Wirkleistungsrichtung mit Freigabestrom und geneigter Kennlinie

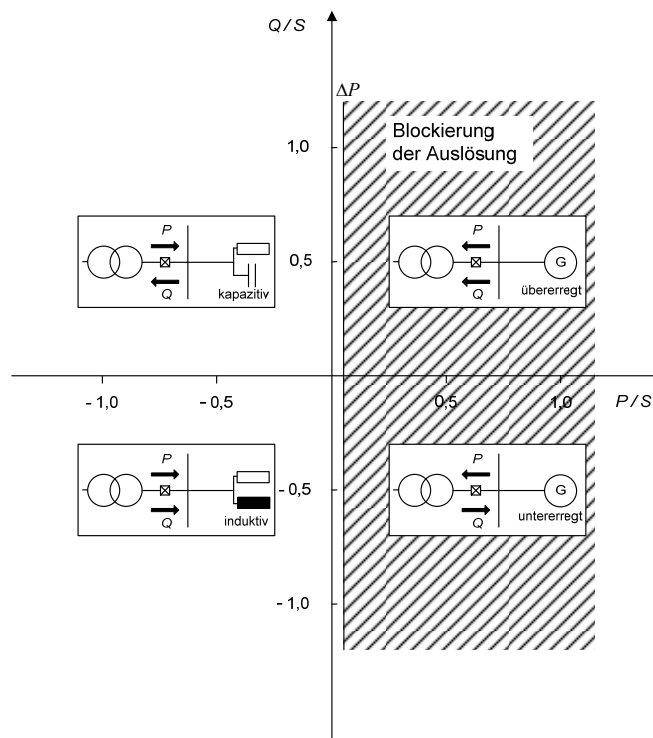


Bild 5 Bestimmung der Wirkleistungsrichtung mit Wirkleistungsschwelle

Folgende Einstellwerte sollen realisiert werden:

Tabelle 1 Einstellwerte für frequenzabhängigen Lastabwurf

Schutzfunktion	Messgröße	Einstellbereich (bezogen auf Wandlerbemessungsgrößen)	Standard	Erläuterung
Freigabestrom für Wirkleistungsrichtung	I_{min}	$0,02 - 0,20 * I_n$	$0,05 * I_n$	5 % des Wandlerbemessungsstromes I_n
Winkel	φ	$0^\circ - 10^\circ$	5°	
Alternativ zur Winklereinstellung: Ansprechschwelle für Wirkleistung	P_{min}	$0,01 - 0,10 * S_n$	$0,05 * S_n$	S_n ist die Bemessungscheinleistung des Schutzgerätes (z.B. 100 V; 1 A)

Tabelle 2 Messgenauigkeiten

Strom	$\pm 2\%$ von I_n
Rückfallverhältnis für Strom	0,95
Leistung	$\pm 5\%$ bei S_n
Lastwinkel	$\pm 2^\circ$

Die Relais sollten mit einer Messkreisüberwachung ausgeführt werden, die beim Ansprechen zur Blockierung der Frequenzschutzfunktion führt. Eine Störschreiberfunktion wird empfohlen.

Bei Bedarf können weitere Funktionen hilfreich sein:

- Parametersatzumschaltung,
- Fernblockierung.

5 Stufenplan

Die Definition der Stufen richtet sich nach den Forderungen des Operation Handbook Policy 5. Die Stufen sind so zu wählen, dass man immer oberhalb des roten Bereiches im Bild 2 liegt (Mindestanforderung).

Als Schrittweite der Lastabwurfstufen sollte maximal 200 mHz eingehalten werden. Eine feinere Stufung (z. B. 100 mHz bzw. maximal 10% Last) kann aus netztechnischen Gründen sinnvoll sein. Die Einstellungen sind zwischen Übertragungsnetzbetreiber und Verteilnetzbetreiber abzustimmen.

Auf Basis der vorhandenen Frequenzstufen werden zur praktikablen Handhabung drei bis fünf Lastabwurfstufen empfohlen, beispielhaft nachfolgend mit vier Stufen:

Tabelle 2 Umsetzungsbeispiel mit vier Stufen

Frequenz	Aktion	Summenlast	Aktivierungsart
49,8 Hz	Aktivierung von Leistungsreserven unverzögert und Abwurf von Speicherpumpen ($t < 10s$)		Manuell / Automatisch
49,2 Hz	Abwurf von Speicherpumpen unverzögert		Automatisch
49,0 Hz	Lastabwurf Stufe 1, ca. 12,5%	ca. 12,5%	Automatisch
48,8 Hz	Lastabwurf Stufe 2., ca. 12,5%	ca. 25,0%	Automatisch
48,6 Hz	Lastabwurf Stufe 3, ca. 12,5%	ca. 37,5%	Automatisch
48,4 Hz	Lastabwurf Stufe 4, ca. 12,5%	mind. 50%	Automatisch
47,5 Hz	Trennung der Kraftwerke vom Netz		Automatisch

Die Aufteilung der Abwurflasten auf Stufen mit jeweils gleicher Menge hat den Vorteil, dass bei einer Rotation der Stufen die Lastgruppen nicht neu aufgeteilt werden müssen.

6 Bestimmung der Referenznetzlast

Grundsätzlich bestehen mehrere Möglichkeiten zur Bestimmung der Referenznetzlast.

Die in der Vergangenheit praktizierte Verwendung des Stichtages der Jahreshöchstlast ist dabei nicht mehr zielführend, da die Einspeisung regenerativer Stromerzeuger starken jahres- und tageszeitlichen sowie meteorologischen Schwankungen unterworfen ist. Aus diesen Gründen wird auch die Möglichkeit der Anwendung weniger Stichtage verworfen.

Stattdessen wird davon ausgegangen, dass das Abwurfschema im statistischen Mittel eine Entlastung des Höchstspannungsnetzes um die geforderten prozentualen Stufen bewirken soll. Deshalb wird zur Ermittlung der Referenznetzlast die Jahresmittellast herangezogen und jeder Abwurfpunkt gemäß des Anteils an der Jahresmittellast einbezogen. Dies führt außerdem dazu, dass die Bewertung von Abwurfknoten nur geringen Schwankungen unterliegt und nur bei erheblichem Zubau oder Änderung an der Netzstruktur angepasst werden muss.

Bei der Ermittlung der Abwurfpunkte muss ein Kompromiss zwischen einer hohen und niedrigen Anzahl von Abwurfpunkten gefunden werden. Während eine hohe Anzahl von Punkten in den unteren Spannungsebenen (MS, NS) eine feine topologische Abwurfquantisierung ermöglicht, bedeutet dies auch höheren technischen Aufwand für Abwurf- und Netzwiederaufbaueinrichtungen und somit höhere Kosten. Deshalb wird im Sinne von Stromkunden und stabilem Netzbetrieb ein Mindeststandard definiert, der eine günstige und zugleich zuverlässige Funktion garantiert.

Vieleorts sind die Hochspannungsnetze leistungsstark, großflächig und stark vermascht. Daher stellt der Abwurf in der Höchstspannung bzw. von HöS/HS-Transformatoren keine akzeptable Lösung dar. Mittelspannungsnetze sind dagegen in der Regel regional eng begrenzt und werden üblicherweise unvermascht betrieben. Deshalb wird als Mindeststandard der Abwurf von HS/MS-Transformatoren gefordert. Dann ergibt sich auch als natürlicher Bilanzkreis für die Referenznetzlast die Menge der HS/MS-Transformatoren eines Netzbetreibers (öffentliche und Industrienetzbetreiber). Das Vorgehen bei der Bilanzierung ist dabei im folgenden Schema abgebildet.

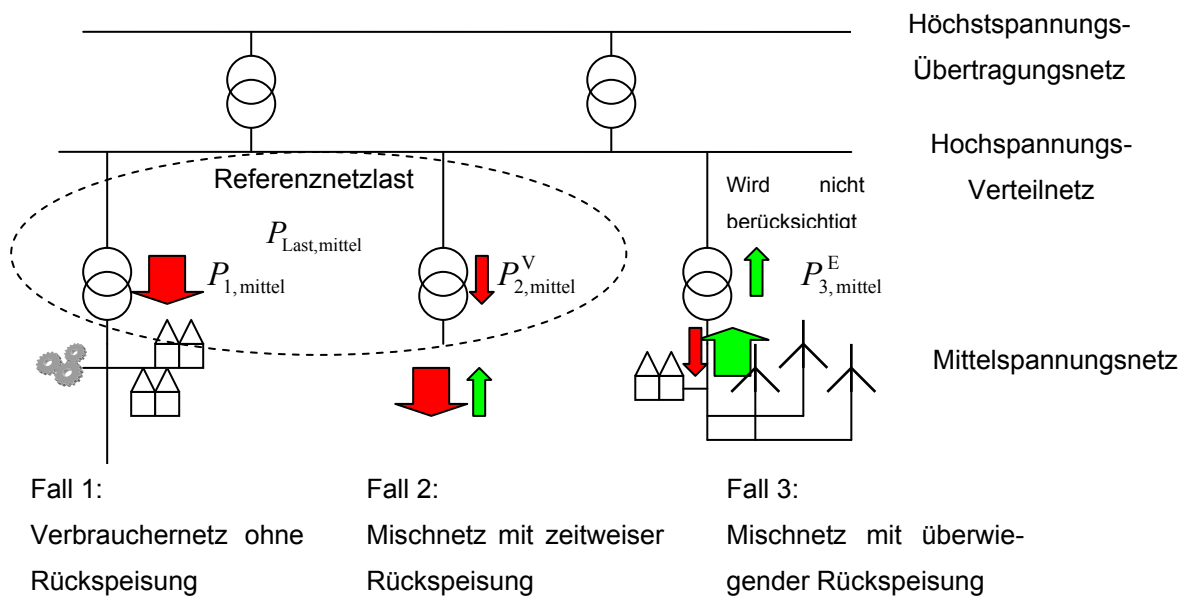


Bild 6 Bestimmung der Referenznetzlast

Bei der Bestimmung der Referenznetzlast werden Jahres-Netto-Einspeiser (Fall 3) nicht berücksichtigt. Diese werden auch nicht Teil der Abwurfgruppen, da von diesen im Mittel ohnehin keine Entlastung zu erwarten ist.

In die Referenznetzlast werden folglich nur Jahres-Netto-Verbraucher eines Netzbetreibers (öffentliche und Industrienetzbetreiber) am Hochspannungsnetz einbezogen:

$$P_{Last,mittel} = \sum_i P_{i,mittel}^V = P_{1,mittel}^V + P_{2,mittel}^V + \dots$$

Die Funktion des Lastabwurfs in Mischnetzen mit zeitweiser Rückspeisung gem. Fall 2 wirft dabei besondere Anforderungen auf. Hier ist zu verhindern, dass kontraproduktiv in einer Rückspeisesituation Erzeugerleistung anstatt Last abgeworfen wird. Um dies zu verhindern, ist der frequenzabhängige Lastabwurf wirkleistungsrichtungsabhängig auszuführen.

Eine zeitweise Rückspeisung liegt vor, wenn mehrere 15-min-Mittelwerte mit Rückspeisung pro Jahr ermittelt wurden.

Außerdem ist zu verhindern, dass nach dem Abwurf der Lasten eine Überlastsituation durch die im Netz verbliebene Erzeugerleistung entsteht.

Dass bei Fall 3 seltene Fälle auftreten können, in denen Netto-Erzeugernetze Wirkleistung beziehen und dennoch am Netz bleiben, wird akzeptiert. Daraus ergibt sich auch kein Nachteil für die Abwurfunktionalität, da diese Netze nicht in der Abwurfbilanz berücksichtigt wurden.

7 Realisierung

7.1 Grundsätze für die Realisierung

Der Unterfrequenzschutz sollte künftig wirkleistungsrichtungsabhängig ausgeführt werden, da zunehmend in den Anlagen Abgänge vorhanden sind, in denen die Wirkleistungsrichtung aufgrund schwankender dezentraler Einspeisungen nicht mehr eindeutig zuordenbar ist (Bild 6, Fall 2).

In Anlagen, in denen eine Differenzierung zwischen Abgängen mit Last und Einspeisung eindeutig möglich ist, ist ein reiner Frequenzschutz, wie in vielen Bestandsanlagen vorhanden, ausreichend. Dabei ist zu beachten, dass die Ermittlung der Referenzlast auf Basis der gewählten MS-Abgänge erfolgen muss.

Um Auslösungen der Frequenzrelais im Falle von Teilnetzumschaltungen, Teilnetzwiederaufbau im Inselbetrieb und daher bei noch erheblichen Frequenzschwankungen zu vermeiden, ist gegebenenfalls eine Fernblockierung vorzusehen.

Sofern unterlagerte Netzbetreiber in begründeten Ausnahmefällen kein eigenes Abwurfschema entsprechend der vorstehend beschriebenen Bilanzierungsregel sowie der Frequenzstufen [1] realisieren können, ist es erforderlich, diese in das Abwurfschema des überlagerten Netzbetreibers zu integrieren.

Direkt ans Höchst- oder Hochspannungsnetz angeschlossene Netzkunden müssen ein eigenes Abwurfschema entsprechend der vorstehend beschriebenen Bilanzierungsregel sowie der Frequenzstufen [1] realisieren.

Die Freigabe der Wiedereinspeisung der Verbraucher nach Auslösung durch die automatische Frequenzentlastung erfolgt durch den jeweiligen überlagerten Netzbetreiber.

Bei den zu realisierenden Konzepten sind folgende Punkte zusätzlich zu beachten:

- mögliche Überlastungen der Transformatoren oder Stromkreise des übergeordneten Netzes
- gegebenenfalls höherer Aufwand beim Netzwiederaufbau
- mögliche Überspannungen und Ausgleichvorgänge bei Lastabwurf sind planerisch und rechnerisch zu berücksichtigen

7.2 Realisierung bei Verbrauchernetzen ohne Rückspeisung

Das klassische Konzept auf Basis einer Frequenzmessung und Auslösung des HS/MS-Transformators ist anwendbar, wenn an der MS-Sammelschiene reine Lasten angeschlossen sind. Der Abgriff der Messspannung für die Frequenzmessung kann ober- oder unterspannungsseitig des Transformators, an der MS-Sammelschiene oder im Eigenbedarf erfolgen.

ANMERKUNG Die Abschaltung kann alternativ auch auf einzelne MS-Abgänge erfolgen. Dabei ist zu beachten, dass die Ermittlung der Referenzlast auf Basis der gewählten MS-Abgänge erfolgen muss.

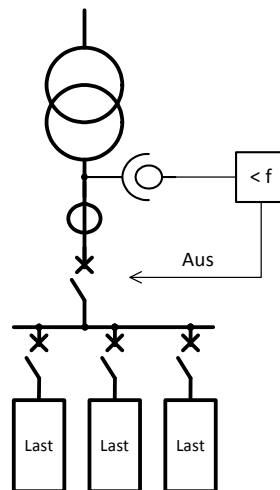


Bild 7 Frequenzentlastung bei Verbrauchernetzen ohne Rückspeisung

7.3 Realisierung bei Verbrauchernetzen mit zeitweiser Rückspeisung

In Mischnetzen ohne eindeutige Einspeisungen oder Lasten, bei denen der Transformator die Bilanzgröße darstellt, findet diese Lösung Anwendung.

ANMERKUNG Die Abschaltung kann alternativ auch auf einzelne MS-Abgänge erfolgen. Dabei ist zu beachten, dass die Wirkleistungsrichtungserfassung und die Ermittlung der Referenzlast auf Basis der gewählten MS-Abgänge erfolgen müssen.

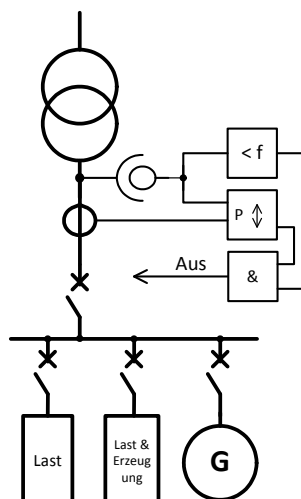


Bild 8 Frequenzentlastung bei Verbrauchernetzen mit zeitweiser Rückspeisung

8 Zusammenfassung und Ausblick

Die zuvor beschriebene Lösung verbessert die Funktionsweise der automatischen Frequenzentlastung unter Berücksichtigung der heutigen Struktur der dezentralen Einspeisungen und kann kurzfristig umgesetzt werden.

Perspektivisch ist mit einer noch stärkeren Durchdringung dezentraler Erzeugungsleistung insbesondere im Niederspannungsnetz zu rechnen. Diese Entwicklung kann unter Umständen zu einer notwendigen Weiterentwicklung des beschriebenen Konzeptes führen. Hierbei sollten zukünftige technische Möglichkeiten, die sich z. B. aus „Smart Grids“ eröffnen können, ausreichend betrachtet werden.

Die Nutzung weiterer Kriterien wie z. B. df/dt für Systemschutzfunktionen sollte ebenfalls zukünftig untersucht werden.

9 Literaturhinweise

- [1] ENTSO-E Operation Handbook, Policy 5, Emergency Operations, V1, 08.2010,
<https://www.entsoe.eu/resources/publications/system-operations/operation-handbook/>
- [2] Transmission Code 2007, Netz- und Systemregeln der deutschen Übertragungsnetzbetreiber,
VDN, 1. August 2007
<https://www.vde.com/de/fnn/dokumente/documents/transmissioncode2007.pdf>
- [3] TC 2010
http://www.swissgrid.ch/content/swissgrid/de/home/experts/topics/transmission_code.html
- [4] TOR AT
<http://www.e-control.at/de/marktteilnehmer/strom/marktregeln/tor>
- [5] VDN-Richtlinie Digitale Schutzsysteme, 1.Auflage 2003
- [6] FNN-Hinweis Leitfaden zum Einsatz von Schutzsystemen in elektrischen Netze, Ausgabe September 2009