

Anhang 7: **Dezember 2003**

Zunahme der dezentralen Energieerzeugungsanlagen in elektrischen Verteilnetzen

Erkenntnisse aus dem Projekt

ausgearbeitet durch

Dr. G. Schnyder, P. Mauchle
Schnyder Ingenieure AG
Bösch 23
6331 Hünenberg

mitfinanziert durch

Bundesamt für Berufsbildung und Technologie, KTI; KTI P-Nr: 5840.2;
ABB Schweiz AG; Projekt- und Studienfonds der Elektrizitätswirtschaft PSEL;
AEK Energie AG; Elektrizitätswerk Davos AG; ewz Verteilnetz

Diese Arbeit ist im Auftrag des Bundesamtes für Energie entstanden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Weitere Informationen über das Programm „Elektrizität“ des Bundesamts für Energie stehen auf folgender Web-Seite zur Verfügung:

www.electricity-research.ch

INHALTSVERZEICHNIS

Zusammenfassung	1
1. Netzkapazität.....	4
1.1. Wie und in welchem Umfang werden mit der zunehmenden Einspeisung die Übertragungs- und Verteilnetze entlastet?	4
1.2. Wie viel DEA verträgt ein Mittelspannungsnetz?	5
1.3. Wie viel DEA verträgt ein Niederspannungsnetz?	5
1.4. Wie Stark werden die DEA die Kurzschlussleistung erhöhen?	5
1.5. Welches Potential besteht zur Zeit zur besseren Auslastung der Verteilnetze?	6
2. Netzstruktur und Netzführung	7
2.1. Wie verändert sich die Struktur und die Führung des Verteilnetzes durch den zunehmenden Einsatz der DEA?	7
2.2. Welche neuen Netzkonzepte auf der Ebene der Verteilnetze sind möglich?	7
2.3. Sind besondere Betriebsoptimierungen in den Verteilnetzen durch den Einsatz von DEA möglich?	7
2.4. Wie kann die durch den Einsatz von DEA entstehende Situation einer möglichen Lastflussumkehr in Verteilnetzen betrieblich gehandhabt werden?	8
2.5. Werden Anpassungen der Regelungen der Transformatorstufensteller in Unterwerken notwendig? Wo liegt diesbezüglich der kritische Anteil DEA im Netz?	8
2.6. Ist mit dem vermehrten Einsatz von DEA der Einsatz von FACDS in Verteilnetzen ableitbar?	8
2.7. Welche Anpassungen sind in Folge der Zunahme der DEA beim Schutz der versorgten Anlagen und beim Netzschutz erforderlich?	9
2.8. Wie weit muss ein Energiemanagementsystem auf den Betrieb der einzelnen DEA und eine allfällige Zwischenspeicherung der elektrischen Energie Einfluss nehmen?	9
2.9. Welche Einflüsse werden die DEA auf die Rundsteuerung haben?	9
2.10. Wie sollen die DEA aus der Sicht der Netzbetreiber und der Kunden gesteuert werden? Ist ein Einsatz für das Spitzenlastmanagement möglich?	10
3. Verfügbarkeit und Reservehaltung	10
3.1. In welchem Rahmen erhöht sich die Verfügbarkeit von Verteilnetzen durch den Einsatz von DEA?	10
3.2. Wie gross ist die optimale Reservehaltung von Energie und Leistung durch einen Netzbetreiber in einem Netz mit vielen DEA?	11
4. Inselbetrieb	12
4.1. Ist ein partieller, eventuell zeitlich begrenzter Inselbetrieb mit dem Einsatz von DEA zu erwarten?	12
4.2. Welche Bedingungen müssen für den Inselbetrieb erfüllt sein ?	13

4.3.	Wie muss die Konstellation der DEA in einer Insel sein, um einen stabilen Betrieb zu gewährleisten?	13
4.4.	Wie stabil ist ein Inselnetz bezüglich Spannungs- und Frequenzhaltung? Wie gross muss dabei die Reserveleistung mindestens sein?	14
4.5.	Welche speziellen Schutzvorkehrungen sind für den Inselbetrieb zu treffen?	15
4.6.	Welche Voraussetzungen muss die DEA erfüllen, die für die Rücksynchronisation des Inselnetzes auf das Verteilnetz verantwortlich ist?	15
4.7.	Wie wird der Master, der die Frequenz und Spannung für die Rücksynchronisation vorgibt, bestimmt? Muss dieser Master einen minimalen Anteil an der gesamten DEA-Leistung der Insel haben?	16

5. Speicherung / DC-Netze 16

5.1.	Welche bekannten Speichermedien elektrischer Energie werden mit dem Einsatz von DEA interessant für eine breite Anwendung und Nutzung?	16
5.2.	Ergeben sich durch den Einsatz der DEA Möglichkeiten für den Aufbau von partiellen DC-Netzen?	17

6. Netzkosten 17

6.1.	Wieweit können mit dem wachsenden Anteil einer dezentralen Energieerzeugung und der damit einhergehenden Einspeisung in das MS- und NS-Netz Netzkosten auf den vorgelagerten Netzebenen vermieden werden?	17
6.2.	Welche Verlusteinsparungen sind durch den Einsatz von dezentralen Erzeugungsanlagen möglich?	18
6.3.	Welche effektiven Netzkosten können gespart werden?	18

7. Gesetzgebung, Normen und Empfehlungen 19

7.1.	Welchen Einfluss kann der vermehrte Einsatz von dezentralen Erzeugungsanlagen auf die Gesetzgebung, Normen und Empfehlungen haben?	19
------	--	----

ZUSAMMENFASSUNG

Die im Rahmen des Projektes „Zunahme der DEA in elektrischen Verteilnetzen“ zusammengetragenen Fragestellungen, wurden basierend auf Simulationen und technischen Abklärungen soweit möglich beantwortet. Die wesentlichen Aussagen der Antworten werden im folgenden aufgeführt.

Die Spannungshaltung, d.h. das Vermeiden von zu hohen Spannungen, ist vor allem beim Einsatz von DEA mit grossen Leistungen im NS-Netz eine wesentliche Aufgabe der Steuerung und Regelung von DEA. Auf die Spannung kann mit dem Bezug oder der Abgabe von Blindleistung eingewirkt werden. Zusätzlich zum Spannungsprofil auf den Leitungen bilden auch die Leitungsbelastungen sowie der von den DEA mit Umrichtern erzeugte Oberschwingungsgehalt die begrenzenden Faktoren für die maximal in einem Verteilnetz zu installierenden DEA.

Da leistungsstarke DEA im NS-Netz zur Spannungshaltung Blindleistung aus dem Netz beziehen müssen, ist diese in den Transformatorstation bereitzustellen und über das NS-Netz zu transportieren. Eine Bereitstellung der Blindleistung am Anschlusspunkt der DEA mittels Blindleistungskompensatoren würde eine Spannungsregelung der DEA verunmöglichen. Die in der Transformatorstation auf der NS-Seite bereitzustellende Blindleistung kann ab dem MS-Netz oder besser in der Transformatorstation ab Blindleistungskompensatoren bezogen werden.

Zur Reduktion der von DEA mit Umrichtern erzeugten hohen zwischenharmonischen Strömen müssen die Umrichter mit projektspezifisch Filtern ausgerüstet werden, d.h. diese Filter müssen auf die Netzimpedanz am jeweiligen Anschlusspunkt des Umrichters abgestimmt werden.

Für den Anstieg des Kurzschlussstromes im Verteilnetz durch DEA sind zum grössten Teil die ASM und SM verantwortlich. DEA mit Umrichter verhalten sich bei einem Kurzschluss unkritisch, da diese lediglich in der ersten Phase während eines Kurzschlusses etwa den doppelten Nennstrom liefern. Der Einfluss der Kurzschlussstromerhöhung durch DEA kann im NS-Netz kritische Werte erreichen. Im MS-Netz ist die Erhöhung verglichen mit der Kurzschlussleistung ohne DEA nur gering, lediglich die Leitungsbelastung im Kurzschlussfall in unmittelbarer Nähe der DEA darf dabei nicht vernachlässigt werden.

Mit Hilfe von DEA auf der Verbraucherseite können Engpässe im Verteilnetz oder Liefereinschränkungen im vorgelagerten Netz überbrückt werden.

Eine Ringbildung auf der NS- und der MS-Verteilebene reduziert die Netzimpedanzen. Die durch das Ein- und Ausschalten der DEA verursachten Spannungsschwankungen können somit durch eine vermehrte Ringbildung im Verteilnetz reduziert werden. Als Alternative zur Aufschaltung der DEA aufs NS-Netz müssen DEA allenfalls über separate Leitungen direkt an die Transformatorstationen angeschlossen werden. Ist auch ein direkter Anschluss an die Transformatorstation nicht möglich, so wird eine Aufschaltung auf das MS-Netz notwendig.

Für einen optimierten Betrieb der DEA können übergeordnete Steuerungen eingesetzt werden, die untereinander Daten austauschen. Die Kommunikation der DEA mit einer übergeordneten Steuerung ist vor allem im Inselbetrieb sehr vorteilhaft. Um die unterschiedlichen Betriebszustände, wie z.B. den Betrieb ohne DEA, den Betrieb mit DEA oder den Inselbetrieb

beherrschen zu können, werden fernparametrierbare Schutzgeräte und fernsteuerbare Schalter notwendig sein.

Eine Steuerung des Lastflusses mit zusätzlichen Geräten ist auf der NS- und der MS-Ebene nicht zu erwarten. Sollte eine Einflussnahme auf den Lastfluss unumgänglich sein, so kann diese im beschränkten Rahmen auch durch DEA, die mit Umrichter auf das Netz aufgeschaltet sind, erfolgen. Im Falle, dass eine Lastflussumkehr erfolgt, die den Lastfluss über die Transformatoren in Unterwerken auch betrifft, ist zu gewährleisten, dass Transformatorstufensteller, die auf einer Strommessung basieren, die Stromrichtung bei der Regelung miteinander beinhalten, damit der Stufensteller auch bei einer Rücklieferung über das Unterwerk hinaus richtig regelt.

Die DEA können die Verfügbarkeit von Verteilnetzen erhöhen, wenn die DEA zur Engpassüberbrückung eingesetzt werden können oder in einem abgetrennten Teilnetz mit den DEA ein Inselnetz betrieben werden kann. Damit die DEA die Verfügbarkeit von Verteilnetzen erhöhen können, muss die Gesamtheit aller DEA eines Netzgebietes oder ein Teil davon selbst eine hohe Verfügbarkeit aufweisen. Eine hohe Verfügbarkeit eines Teils der installierten DEA wird erreicht, wenn viele DEA mit unterschiedlichem Primärenergieeinsatz im betrachteten Verteilnetz betrieben werden. Ist eine hohe Verfügbarkeit eines Teils der installierten DEA gewährleistet, so kann der Netzbetreiber auch die Reservehaltung für die mit DEA erbrachte Leistung und Energie reduzieren. Für die Berechnung der Reduktion der Reservehaltung kann analog zum Gleichzeitigkeitsfaktor für den Verbrauch ein Gleichzeitigkeitsfaktor für die Produktion mit DEA eingeführt werden.

Ein vermehrter Inselbetrieb von Verteilnetzen ist von mehreren Rahmenbedingungen abhängig. Diese sind die Entwicklung der Verfügbarkeit der Verbundnetze in Europa und die Häufigkeit von abgetrennten Netzteilen infolge von Unwettern oder Netzstörungen im Verteilnetz. Auch die Entwicklung der Strommarktliberalisierung kann ein weiterer Aspekt für einen vermehrten Inselbetrieb sein. In einem Inselbetrieb müssen die Toleranzwerte für die Netzspannung und die Netzfrequenz eingehalten werden. Ebenfalls muss eine ausreichend hohe Kurzschlussleistung gewährleistet werden, so dass jeder Kurzschluss im Inselnetz erkannt und weggeschaltet werden kann. Zudem muss im Inselbetrieb ausreichende, schnell verfügbare Reserveleistung vorhanden sein, um auf Lastsprünge der Verbraucher im Inselnetz reagieren zu können. Für die Umschaltung vom Verbundbetrieb in den Inselbetrieb kann eine unterbrechungsfreie Umschaltung oder eine Umschaltung mit einem Spannungsunterbruch erfolgen. Ebenfalls kann die Rückführung vom Inselnetzbetrieb zum Verbundbetrieb unterbrechungsfrei über eine Rücksynchronisation oder mit einem Spannungsunterbruch erfolgen.

Parallel zu den DEA können elektrische Speicher eingesetzt werden. Diese Speichereinheiten sorgen für eine gleichbleibende Leistungsabgabe des Gebildes „DEA und Speicher“ ins Verteilnetz. Die Speichereinheiten können Leistungseinbrüche, z.B. von Photovoltaikanlagen ausgleichen. Im Inselbetrieb können Speichereinheiten überschüssig produzierte elektrische Energie aufnehmen. Zudem können Speichereinheiten im Inselbetrieb als schnell verfügbare Leistungsreserve eingesetzt werden. Eine Alternative zu elektrischen Speichern sind DEA mit speicherbarer Primärenergie, wie z.B. Brennstoffzellen.

Der Einfluss der Zunahme der DEA auf die Kosten in einem Verteilnetz muss für die jeweils konkrete Situation ermittelt werden. Zu erwarten ist ein Einfluss auf die Investitions- und die Betriebskosten. Im NS-Netz werden Standardkomponenten eingesetzt, daher hat der Einsatz von DEA nur einen Einfluss auf die Kosten, wenn dadurch kleinere Elemente eingesetzt werden können, z.B. ein 630 kVA Transformator anstelle eines 1'000 kVA Transformators. Im MS-Netz können durch den Einsatz von DEA Engpässe überbrücken und somit Investitionen

im Netz und in den Unterwerken hinausgezögert werden. Durch den Einsatz von DEA können die Kosten für die Übertragungsverluste und die bezogene Spitzenleistungen reduziert werden. Der Aufwand für den Betrieb und Unterhalt kann durch den Einsatz von DEA nicht reduziert werden.

Der vermehrte Einsatz der DEA kann auch einen Einfluss auf die Gesetzgebung, die Normen und die Empfehlungen einen Einfluss haben. So müssen einzelne Grenzwerte in der VSE-Empfehlung bezüglich der Netzurückwirkungen unter Berücksichtigung des Einsatzes von mehreren DEA an einem NS-Strang für die einzelnen DEA allenfalls reduziert werden, d.h. die diesbezüglichen Rahmenbedingungen für DEA werden in einzelnen Punkten strenger. Zudem soll bei der Festlegung des Gesetzes resp. der Regeln für die zukünftige Elektrizitätswirtschaftsordnung (ELWO) die Zunahme der DEA berücksichtigt werden, so dass für deren Betrieb keine wirtschaftlichen Nachteile im Vergleich zu Grosskraftwerken geschaffen werden.

1. NETZKAPAZITÄT

1.1. WIE UND IN WELCHEM UMFANG WERDEN MIT DER ZUNEHMENDEN EINSPEISUNG DIE ÜBERTRAGUNGS- UND VERTEILNETZE ENTLASTET?

1.1.1. DEA speisen in das NS-Netz ein

Im NS-Netz ist bedingt durch das Impedanzverhältnis R/X von 2:1 die Wirkleistung des Verbrauchs oder der Einspeisung der bestimmende Faktor für das Spannungsprofil. Die DEA bewirken somit durch die Einspeisung von Wirkleistung eine Anhebung der Spannung im NS-Netz. Um die Spannung im Toleranzband halten zu können, müssen die DEA zusätzlich zur Wirkleistungsabgabe induktive Blindleistung aufnehmen. Dies bewirkt in der Trafostation eines NS-Netzes, dass der Wirkleistungsbezug abnimmt, der Blindleistungsbezug hingegen zunimmt. Die benötigte Blindleistung kann aus dem MS-Netz oder aus NS-seitigen Blindleistungskompensatoren bezogen werden. In den TS werden somit allenfalls vermehrt Blindleistungskompensatoren eingesetzt.

1.1.2. DEA speisen in das MS-Netz ein

Im MS-Netz ist bedingt durch das Impedanzverhältnis R/X von 1:2 die Blindleistung des Verbrauchs oder der Einspeisung der bestimmende Faktor für das Spannungsprofil. Die DEA haben somit nur einen massgebenden Einfluss auf die Spannung, wenn diese nicht mit $\cos \varphi = 1$ betrieben werden. Die Betreiber von DEA werden die DEA möglichst mit $\cos \varphi = 1$ betreiben, was zu einer Reduktion der ab den Unterwerken bezogener Wirkleistung führt.

1.1.3. Zusammenfassung

Durch den Einsatz von DEA wird ab den Unterwerken (UW) weniger Wirkleistung bezogen. Der Bedarf an Blindleistung steigt jedoch tendenziell an, vor allem bei einem verteilten Einsatz von grosser DEA-Leistung verglichen mit dem Verbrauch in einem NS-Netz. Dies rührt daher, da durch die Einspeisung im NS-Netz, vor allem bei Einspeisungen am Ende langer Leitungen, die Spannung am Anschlusspunkt ansteigt. Zur Absenkung der Spannung am Anschlusspunkt in das Toleranzband der Nennspannung muss Blindleistung bezogen werden, d.h. der Blindleistungsfluss über die Leitung wirkt dem durch die Einspeisung verursachten Spannungsanstieg entgegen. Die benötigte Blindleistung kann NS-seitig durch Blindleistungskompensatoren oder MS-seitig durch übererregte DEA geliefert werden oder muss vom UW geliefert werden.

Die Abnahme des Wirkleistungsbedarfs kann zu kleiner dimensionierten Trafostationen führen, wenn die benötigte Blindleistung auf der NS-Seite bereitgestellt wird und zudem für die verfügbare Lieferung der Wirkleistung von DEA ein Gleichzeitigkeitsfaktor der Erzeugung berücksichtigt wird. Eine Redimensionierung der UW durch den vermehrten Einsatz von DEA ist nicht zu erwarten, da in den Unterwerken Standardkomponenten, wie z.B. 40 MVA Transformatoren eingesetzt werden. Die DEA können allenfalls bewirken, dass der Zeitpunkt einer Leistungserhöhung eines UW hinausgeschoben werden kann.

1.1.4. Umfang der Entlastung

Der Umfang der Entlastung, d.h. der Abnahme des Wirkleistungsbedarfs ab TS resp. ab UW ist abhängig von der einspeisenden gesamten DEA Leistung.

1.2. WIE VIEL DEA VERTRÄGT EIN MITTELSPANNUNGSNETZ?

Die begrenzenden Faktoren im MS-Netz sind das Spannungsprofil auf den Leitungen, die Leitungsbelastung sowie der von den DEA mit Umrichtern erzeugte Oberschwingungsgehalt.

Wird die von den DEA erzeugte elektrische Energie in anderen Teilen des Verteilnetzes verbraucht, als diese produziert wird, so können abhängig von den Verbindungen zwischen den einzelnen Netzteilen Überlastungen auftreten.

Wie weit die Oberschwingungsgrenzwerte durch die Einspeisung von DEA, die über Umrichter angeschlossen werden, überschritten werden, ist jeweils von der Netzimpedanz am Anschlusspunkt abhängig. Störende Oberschwingungen müssen durch Filter bei den einzelnen Umrichtern vermieden werden und nicht durch eine Beschränkung der Anzahl DEA in einem MS-Netz.

1.3. WIE VIEL DEA VERTRÄGT EIN NIEDERSPANNUNGSNETZ?

Die begrenzenden Faktoren im NS-Netz sind die Spannungserhöhung, vor allem am Ende einer langen Leitung und die thermische Belastung der Kabel in der Nähe der Trafostation. Die durch den Betrieb der DEA verursachte zusätzliche thermische Belastung in der TS Nähe rührt daher, da die Summe aller Ströme ansteigt und zudem die Trassen nahe bei einander liegen. Die Summe aller Ströme steigt an, weil der Bezug lediglich noch zu einem Teil ab dem Trafo erfolgt und zum anderen Teil aus dem NS-Netz, falls auf einem Strang die Einspeisung grösser ist als der Verbrauch.

1.4. WIE STARK WERDEN DIE DEA DIE KURZSCHLUSSLEISTUNG ERHÖHEN?

1.4.1. Generell

Die Kurzschlussstromerhöhung ist stark von der Art der Ankopplung der DEA ans Netz abhängig. Die ASM und SM sind für den grössten Teil des Anstieges des Kurzschlussstromes verantwortlich. Die DEA mit Umrichter verhalten sich bei einem Kurzschluss unkritisch. Einzig in der ersten Phase des Kurzschlusses liefern sie etwa den 2-fachen Nennstrom. Danach werden sie von der internen Steuerung vom Netz getrennt und haben somit keinen Einfluss mehr auf den Kurzschlussstrom. Bei Inselbetrieb besteht in einem Netz mit vielen DEA mit Umrichter das Problem, dass zu kleine Kurzschlussströme auftreten, welche die Schutzelemente nicht zum Ansprechen bringen.

1.4.2. Kurzschluss im NS-Netz

Der maximale Kurzschlussstrom im NS-Netz ist durch den Transformator bestimmt. Entsprechend werden vor allem bei TS mit grossen Leistungen die NS-Verteilungen in der Trafostati-

on auf den maximalen, durch den Transformator begrenzten Kurzschlussstrom dimensioniert. Durch den Betrieb der DEA im NS-Netz steigt die Kurzschlussleistung auf der NS-Seite der Trafostation an und kann bei TS, die für den maximalen Transformator Kurzschlussstrom ausgelegt sind, kritische Werte erreichen.

Die Kurzschlussleistung im NS-Netz wird durch den Betrieb der DEA ebenfalls erhöht. Kurzschlüsse im NS-Netz sind jedoch nicht kritisch, wenn der entsprechende NS-Strang auf die Leistung der jeweiligen DEA angepasst wurde.

1.4.3. Kurzschluss im MS-Netz

Im MS-Netz ist die Kurzschlussleistung meistens sehr hoch, so dass die durch den Betrieb der DEA bedingte Erhöhung der Kurzschlussleistung für die Komponenten im UW nicht relevant ist.

Beim Anschluss einer DEA im MS-Netz müssen die vom Anschluss betroffenen Leitungen allenfalls verstärkt werden, da sich die Kurzschlussströme in der Nähe der DEA abhängig von der DEA-Leistung und der Art der Ankopplung stark erhöhen können.

1.5. WELCHES POTENTIAL BESTEHT ZUR ZEIT ZUR BESSEREN AUSLASTUNG DER VERTEILNETZE?

1.5.1. Zunahme der Verbraucher

Eine bessere Auslastung der Verteilnetze erfolgt durch den Anschluss von zusätzlichen Verbrauchern.

1.5.2. Engpassüberbrückung

Engpässe im Verteilnetz können durch Leitungsüberlastungen oder Liefereinschränkungen im vorgelagerten Netz verursacht werden. Durch den Einsatz von DEA auf der Verbraucherseite des Engpasses können diese überbrückt werden. Werden DEA zur Engpassüberbrückung eingesetzt, so sind aus Gründen der Verfügbarkeit mehrere kleine DEA mit unterschiedlichem Primärenergieeinsatz weinigen grossen DEA vorzuziehen.

2. NETZSTRUKTUR UND NETZFÜHRUNG

2.1. WIE VERÄNDERT SICH DIE STRUKTUR UND DIE FÜHRUNG DES VERTEILNETZES DURCH DEN ZUNEHMENDEN EINSATZ DER DEA?

2.1.1. Netzstruktur

Im NS-Netz ist allenfalls eine Ringbildung anzustreben.

Zur Vermeidung von unzulässigen Spannungsschwankungen müssen im NS-Netz die DEA allenfalls mit zusätzlichen Leitungen an die TS angeschlossen werden. Eine Alternative dazu ist der Anschluss der DEA auf der MS-Ebene.

2.1.2. Netzführung

Eine Kommunikation der DEA untereinander mit einer übergeordneten Steuerung kann den Betrieb der DEA optimieren. Diese Kommunikation mit der übergeordneten Steuerung ist vor allem im Inselbetrieb sehr vorteilhaft.

2.1.3. Schutz

Um die unterschiedlichen Betriebszustände, wie z.B. Betrieb ohne DEA, Betrieb mit DEA oder Inselbetrieb, beherrschen zu können, werden fernparametrierbare Schutzgeräte und fernsteuerbare Schalter notwendig.

2.2. WELCHE NEUEN NETZKONZEPTE AUF DER EBENE DER VERTEILNETZE SIND MÖGLICH?

Die Ringbildung auf der NS- und der MS-Verteilebene reduziert die Netzimpedanzen. Die durch das Ein- und Ausschalten der DEA verursachten Spannungsschwankungen werden somit bei Netzen, die im geschlossenen Ring betrieben werden, reduziert.

2.3. SIND BESONDERE BETRIEBSOPTIMIERUNGEN IN DEN VERTEILNETZEN DURCH DEN EINSATZ VON DEA MÖGLICH?

Werden DEA gezielt zur Reduktion der Netzbelastung eingesetzt, so muss die Verfügbarkeit der DEA und auch der Primärenergie möglichst hoch sein. Eine hohe Verfügbarkeit kann erreicht werden, wenn die benötigte Leistung mit mehreren DEA mit unterschiedlichem Primärenergieeinsatz bereitgestellt wird.

Die DEA können durch die Einspeisung von Wirkleistung zur Reduktion der Leitungsbelastung und zur Reduktion der Übertragungsverluste eingesetzt werden. Zudem kann mit den DEA durch die Aufnahme oder Abgabe von Blindleistung auch auf die Spannung im NS- oder MS-Verteilnetz Einfluss genommen werden.

2.4. WIE KANN DIE DURCH DEN EINSATZ VON DEA ENTSTEHENDE SITUATION EINER MÖGLICHEN LASTFLUSSUMKEHR IN VERTEILNETZEN BETRIEBLICH GEHANDHABT WERDEN?

2.4.1. Zusätzliche Netzkomponenten

Eine Steuerung des Lastflusses auf der NS- und MS-Ebene ist nicht zu erwarten, d.h. es werden keine zusätzliche Leittechnik, Schalter und Messstellen für die Steuerung der Netze notwendig. Für den Schutz der Netze werden jedoch zusätzliche Messstellen erforderlich sein.

2.4.2. Stufensteller in Unterwerken

Stufenstellerregelungen in Unterwerken, die rein auf den Verbrauch ausgerichtet sind, werden bei einer Lastflussumkehr falsch regeln. Wird die sekundärseitige Spannung der UW Transformatoren abhängig vom Strom ohne Berücksichtigung der Stromflussrichtung geregelt, so wird bei einer Lastflussumkehr die Spannung angehoben, anstatt gesenkt. Damit die Stufenstellerregelung in Unterwerken auch bei einer durch DEA verursachten Lastflussumkehr noch funktioniert, muss bei der Regelung die Richtung des Stromflusses mitberücksichtigt werden.

2.5. WERDEN ANPASSUNGEN DER REGELUNGEN DER TRANSFORMATORSTUFENSTELLER IN UNTERWERKEN NOTWENDIG? WO LIEGT DIESBEZÜGLICH DER KRITISCHE ANTEIL DEA IM NETZ?

Spannungsregelungen, die auf einer ungerichteten Strommessung basieren, können nicht mehr weiter verwendet werden. Die Erkennung der Lastflussrichtung wird erforderlich.

Der Stufenstellungsregler regelt in die falsche Richtung, sobald der Lastfluss aus dem MS-Verteilnetz in das Unterwerk fließt. Der kritische Anteil DEA im Netz ist somit erreicht, sobald der Verbrauch des jeweiligen MS-Netzes mit der DEA Leistung im entsprechenden MS-Netz vollständig abgedeckt werden kann.

2.6. IST MIT DEM VERMEHRTEN EINSATZ VON DEA DER EINSATZ VON FACDS IN VERTEILNETZEN ABLEITBAR?

FACDS können eingesetzt werden, um Parallelleitungen mit unterschiedlichen Impedanzen, z.B. in Folge unterschiedlicher Leitungslängen, gleichmässig zu belasten, so dass keine Überlastung einer der beiden Leitungen erfolgt. DEA, die mittels Umrichter auf das Verteilnetz aufgeschaltet werden, können als FACDS eingesetzt werden. FACDS werden keine zusätzlichen Geräte sein, sondern bekannt Geräte im Verteilnetz werden mit Zusatzfunktionen die Aufgaben von FACDS übernehmen.

Steigt die Belastung einer Parallelleitung in Folge des Betriebes von DEA an, so wird zur Vermeidung einer Überlastung einer Leitung diese meistens zuerst verstärkt, bevor eine DEA als

FACDS betrieben wird. Ein weiterer Vorteil der Leitungsverstärkung gegenüber dem Einsatz eines FACDS liegt im Bereich Betrieb und Unterhalt. Eine Leitung, als unveränderbares Netzelement, muss vom Betreiber lediglich überwacht werden und verursacht geringe Unterhaltskosten. Im Gegensatz dazu muss das veränderbare Netzelement FACDS vom Betreiber parametrisiert und optimiert werden, zudem verursacht der FACDS nicht zu vernachlässigende Unterhaltskosten.

2.7. WELCHE ANPASSUNGEN SIND IN FOLGE DER ZUNAHME DER DEA BEIM SCHUTZ DER VERSORGTE ANLAGEN UND BEIM NETZSCHUTZ ERFORDERLICH?

Das Schutzkonzept eines Netzbetreibers muss dahingehend überarbeitet werden, dass die DEA mitberücksichtigt werden. Dabei sind die beiden Betriebsarten „DEA im Verbund“ und „DEA im Inselbetrieb“ zu berücksichtigen. Auf Grund dieser beiden Betriebsarten des Verteilnetzes wird eine Fernparametrierbarkeit der Schutzgeräte erforderlich.

Im Inselbetrieb ist eine minimale Kurzschlussleistung durch die DEA zu gewährleisten. Der Schutz der versorgten Anlagen, wie auch der Netzschutz müssen auch bei den minimalen Kurzschlussströmen ansprechen und die Fehlerstellen vom Netz trennen.

2.8. WIE WEIT MUSS EIN ENERGIEMANAGEMENTSYSTEM AUF DEN BETRIEB DER EINZELNEN DEA UND EINE ALLFÄLLIGE ZWISCHENSPEICHERUNG DER ELEKTRISCHEN ENERGIE EINFLUSS NEHMEN?

Im Inselbetrieb eines Netzes ist eine Kommunikation zwischen den DEA und einer übergeordneten Steuerung von Vorteil, wenn die Masterfunktion nicht von einer DEA alleine wahrgenommen werden kann. Die Aufgabe der übergeordneten Steuerung ist dabei, mehrere DEA zu einem Master zusammenzufassen, welcher die Frequenz und die Spannung im Inselnetz vorgibt. DEA, die nicht in diesen Master integriert sind, funktionieren gleich wie im Verbundbetrieb, d.h. sie speisen konstante Wirkleistung ein und regeln allenfalls die Spannung an ihrem Anschlusspunkt.

Werden im Verbundbetrieb einzelne DEA zur Spitzenlastdeckung, Engpassüberbrückung oder Blindleistungsregelung eingesetzt, so müssen diese mit einem übergeordneten Energiemanagement kommunizieren.

2.9. WELCHE EINFLÜSSE WERDEN DIE DEA AUF DIE RUNDSTEUERUNG HABEN?

DEA mit Umrichtern erzeugen ein Stromspektrum mit hohen Zwischenharmonischen. Diese Zwischenharmonischen können die Rundsteuersignale stark stören.

Als Massnahme gegen die durch die Zwischenharmonischen verursachten Störungen müssen die DEA mit Umrichter mit projektspezifisch Filtern ausgerüstet werden, d.h. die Filter müssen auf die Netzimpedanz am jeweiligen Anschlusspunkt des Umrichters abgestimmt werden.

2.10. WIE SOLLEN DIE DEA AUS DER SICHT DER NETZBETREIBER UND DER KUNDEN GESTEUERT WERDEN? IST EIN EINSATZ FÜR DAS SPITZENLASTMANAGEMENT MÖGLICH?

2.10.1. Sicht der Kunden

Die Kunden resp. die Verbraucher wollen mit den DEA möglichst viel Wirkenergie zu Hochtarifzeiten selbst produzieren, denn diese teure Energie muss dann nicht beschafft oder kann sogar verkauft werden. Zudem ist es für grosse Verbraucher mit Leistungsverrechnung von Interesse, dass sie mit dem Betrieb der DEA die Leistungsspitzen reduzieren können.

Wird einem Verbraucher die bezogene Blindleistung ebenfalls verrechnet, so kann allenfalls eine Blindleistungskompensation mit der DEA erfolgen. Im MS-Netz führt diese Blindleistungskompensation zu einer Spannungsverbesserung am Anschlusspunkt. Im NS-Netz hingegen führt eine Kompensation des Blindleistungsbezuges durch die DEA am Anschlusspunkt zu einer Spannungserhöhung. Daher ist im NS-Netz auf eine Blindleistungskompensation durch die DEA zu verzichten. Die durch die DEA bezogene Blindleistung im NS-Netz ist erst in der Trafostation zu kompensieren. Die Art der Verrechnung des Blindleistungsbezuges im NS-Netz bei Verbrauchern mit grossen DEA ist daher zu überarbeiten.

2.10.2. Sicht der Netzbetreiber

Der Netzbetreiber ist bestrebt, eine möglichst hohe Betriebsstundendauer in seinem Netz zu erreichen, d.h. die Leistungsspitzen des Bezuges von seinem Vorlieferanten möglichst gering zu halten. Um die Leistungsspitzen im Netz zu reduzieren, ist der Netzbetreiber interessiert, dass die in seinem Netz vorhandenen Produktionsanlagen und somit auch die DEA zu Spitzenlastzeiten in Betrieb sind. Dazu kann der Netzbetreiber mit den Betreibern von DEA tageszeitabhängige Betriebszeiten der DEA oder den Betrieb der DEA auf Anforderung, z.B. mittels Rundsteuersignal, vereinbaren.

3. VERFÜGBARKEIT UND RESERVEHALTUNG

3.1. IN WELCHEM RAHMEN ERHÖHT SICH DIE VERFÜGBARKEIT VON VERTEILNETZEN DURCH DEN EINSATZ VON DEA?

Eine Erhöhung der Verfügbarkeit von Verteilnetzen ist möglich, wenn in einem Netz mit DEA ein Inselbetrieb möglich ist oder wenn die DEA zur Engpassüberbrückung eingesetzt werden können. Die Erhöhung der Verfügbarkeit der Verteilnetze ist dabei abhängig vom Anlagen-Mix der DEA und von der Verfügbarkeit der Primärenergie. Zudem tragen viele kleinere bis mittelgrosse DEA auf Grund ihrer eigenen Verfügbarkeit und der Vielzahl der Anlagen mehr zur Verfügbarkeit des Verteilnetzes bei, als wenn nur wenige aber grosse DEA im Verteilnetz vorhanden sind.

3.2. WIE GROSS IST DIE OPTIMALE RESERVEHALTUNG VON ENERGIE UND LEISTUNG DURCH EINEN NETZBETREIBER IN EINEM NETZ MIT VIELEN DEA?

3.2.1. Prinzip

Die optimale Reservehaltung von Energie und Leistung entspricht der maximal notwendigen Reservehaltung, um die Versorgung der Verbraucher in einem Verteilnetz zu gewährleisten. Die mögliche Reduktion einer hundertprozentigen Reservehaltung durch den Netzbetreiber wird im folgenden erläutert.

Verteilnetz ohne DEA:

Der Netzbetreiber muss die gesamte Leistung und Energie der Verbraucher bereitstellen. Bei der maximal zur Verfügung zu stellenden Leistung wird ein Gleichzeitigkeitsfaktor der Verbrauchsleistungen berücksichtigt, d.h. die zur Verfügung stehende Leistung ist geringer als die Summe aller installierten Verbraucherleistungen.

Verteilnetz mit wenigen DEA:

Wegen der geringen Anzahl der DEA kann sich der Netzbetreiber nicht darauf verlassen, dass die installierte Leistung der DEA oder ein Anteil davon bei Bedarf auch vorhanden ist. Daher muss der Netzbetreiber die gesamte Leistung und Energie der Verbraucher bereitstellen, obwohl beim Betrieb der DEA der Verbrauch aus der Sicht des Netzbetreibers reduziert wird. Bei der maximal zur Verfügung zu stellender Leistung wird ein Gleichzeitigkeitsfaktor der Verbrauchsleistungen berücksichtigt, die DEA werden dabei nicht berücksichtigt.

Verteilnetz mit vielen DEA:

Wegen der grossen Anzahl der DEA kann sich der Netzbetreiber darauf verlassen, dass ein Anteil der installierten Leistung der DEA bei Bedarf auch vorhanden ist. Daher muss der Netzbetreiber nicht mehr die gesamte Leistung und Energie der Verbraucher bereitstellen, d.h. er kann den aus der Sicht des Netzbetreibers reduzierten Verbrauch berücksichtigen. Bei der maximal zur Verfügung zu stellenden Leistung wird ein Gleichzeitigkeitsfaktor der Verbrauchsleistungen und ein Gleichzeitigkeitsfaktor der installierten Leistungen der DEA berücksichtigt. Die vom Netzbetreiber zur Verfügung zu stellende Leistung entspricht der Differenz der mit dem Gleichzeitigkeitsfaktor reduzierten installierten Verbraucherleistung und der mit dem Gleichzeitigkeitsfaktor reduzierten installierten Leistung der DEA.

Das folgende Beispiel mit fiktive Leistungen und Gleichzeitigkeitsfaktoren dient zur Illustration der Reduktion der über einen Transformator in einem NS-Netz zur Verfügung zu stellenden Leistung:

Verbrauch

Die im NS-Netz installierte Verbraucherleistung S_{V-Inst} beträgt 1'200 kVA.

Der durchschnittliche Gleichzeitigkeitsfaktor G_V der Verbraucher im betrachteten NS-Netz beträgt 0.7.

Daraus ergibt sich folgende maximale Verbraucherleistung:

$$S_V = G_V * S_{V-Inst.} = 0.7 * 1'200 \text{ kVA} = 840 \text{ kVA}$$

Somit kann das NS-Netz über einen 1'000 kVA Transformator versorgt werden.

Produktion im NS-Netz mittels DEA

Die im NS-Netz installierte DEA-Leistung $S_{DEA-Inst}$ beträgt 900 kVA. Diese DEA-Leistung wird mit mehreren DEA mit unterschiedlichem Primärenergieeinsatz erzeugt.

Der durchschnittliche Gleichzeitigkeitsfaktor G_{DEA} der Produktion im betrachteten NS-Netz beträgt 0.3.

Daraus ergibt sich folgende dauernd verfügbare minimale Produktionsleistung:

$$S_{DEA} = G_{DEA} * S_{DEA-Inst.} = 0.3 * 900kVA = 300kVA$$

Berechnung der zur Verfügung zu stellenden Last

Die maximal zur Verfügung zu stellende Leistung aus dem MS-Netz wird wie folgt berechnet:

$$S_{MS} = S_V - S_{DEA} = 840kVA - 300kVA = 540kVA$$

Somit kann das NS-Netz unter Berücksichtigung der Produktion der DEA im NS-Netz über einen 630 kVA Transformator anstatt über einen 1'000 kVA Transformator versorgt werden.

3.2.2. Berechnung des Gleichzeitigkeitsfaktors der DEA

Die Formel für die Berechnung des Gleichzeitigkeitsfaktors der Leistungen der DEA muss basierend auf Erfahrungswerten noch definiert werden. Dabei müssen die folgenden Parameter berücksichtigt werden.

- Anzahl DEA
- Leistungen der einzelnen DEA
- Verfügbarkeit der einzelnen DEA unter Berücksichtigung der Verfügbarkeit der Anlage und der Primärenergie

Zur Vermeidung von Transformatorüberlastungen können Lastabschaltungen vorgesehen werden für den Fall, dass der Gleichzeitigkeitsfaktor der DEA-Einspeisungen aus welchen Gründen auch immer unterschritten wird.

4. INSELBETRIEB

4.1. IST EIN PARTIELLER, EVENTUELL ZEITLICH BEGRENZTER INSELBETRIEB MIT DEM EINSATZ VON DEA ZU ERWARTEN?

Zur Zeit besteht kein Bedarf für einen Inselbetrieb der Verteilnetze oder Teilen davon. Sollte sich aber die Verfügbarkeit der Verbundnetze in Europa verschlechtern, so wird der Bedarf für den Inselbetrieb von Verteilnetzen zunehmen.

Unwetter, wie z.B. der Sturm Lothar am 26. Dezember 1999, können den Ausfall von MS-Netzen zur Folge haben. Ebenfalls werden durch Lawinenniedergänge immer wieder MS-Netzteile vom Verbundnetz getrennt. In solchen Fällen besteht ein Bedarf für den Inselbe-

trieb. Zum Teil werden nach Umwelteinflüssen mit länger andauernder Trennung eines Verteilnetzes vom Verbundnetz die jeweiligen MS-Verteilnetze als Inselnetze betrieben.

Die Entwicklung der Strommarktliberalisierung kann ein weiterer Aspekt für einen vermehrten Inselbetrieb sein. Dabei wird es davon abhängen, wie die Kostenwälzung der Netzbenutzungskosten auf das Netz mit DEA erfolgt. Werden die Netzkosten abhängig vom Bruttoenergieverbrauch und der maximalen Bezugsleistung auf die unteren Netzebenen gewälzt, so ist es möglich, dass es aus ökonomischer Sicht für ein Netz mit vielen DEA interessant sein kann, wenn dieses vom vorgelagerten Netz getrennt und dauernd als Insel betrieben wird. Durch diese Entkopplung können die Netzbenutzungskosten reduziert werden, da keine Kosten von den vorgelagerten Netzen übernommen werden müssen. Allerdings sinkt dadurch die Verfügbarkeit der Stromversorgung für die Verbraucher dieses Verteilnetzes und zudem können die DEA die erzeugte elektrische Energie lediglich an die Verbraucher ihrer Insel liefern.

Ein vermehrter Inselbetrieb von Verteilnetzen wird sich abhängig von der Ökonomie sowie von der technischen und organisatorischen Machbarkeit entwickeln.

4.2. WELCHE BEDINGUNGEN MÜSSEN FÜR DEN INSELBETRIEB ERFÜLLT SEIN ?

Im Inselbetrieb müssen die Toleranzwerte für die Nennspannung und Nennfrequenz eingehalten werden, so dass weder die Netzkomponenten noch die Verbrauchieranlagen durch Spannungs- und Frequenzabweichungen beschädigt werden können. Tritt eine unzulässige Spannungs- oder Frequenzabweichung auf, so muss die Insel über die Schutzeinrichtungen spannungslos geschaltet werden, d.h. sämtliche DEA müssen vom Inselnetz getrennt werden.

Im Inselbetrieb muss eine ausreichend hohe Kurzschlussleistung gewährleistet werden, so dass jeder Kurzschluss im Inselnetz erkannt und weggeschaltet werden kann.

4.3. WIE MUSS DIE KONSTELLATION DER DEA IN EINER INSEL SEIN, UM EINEN STABILEN BETRIEB ZU GEWÄHRLEISTEN?

4.3.1. Konstellation im MS-Netz

Um auf Laständerungen im Inselnetz ausreichend reagieren zu können, muss eine genügend schnelle Leistungsreserve der DEA vorhanden sein. Je grösser die rotierende Masse in einem Inselnetz ist, umso geringer sind die Frequenzschwankungen bei Laständerungen.

Für den Wechsel vom Verbundbetrieb in den Inselbetrieb sind zwei Fälle zu unterscheiden.

Unterbrechungsfreie Umschaltung

Bei einem Ausfall der Einspeisung ab dem Unterwerk werden die DEA nicht ausgeschaltet, sondern wechseln auf eine autonome Regelung, d.h. im Inselbetrieb bestimmt die DEA mit Masterfunktion die Spannung und Frequenz im Netz. Damit die Insel ohne Spannungsunterbruch weiter betrieben werden kann, müssen Schalter im Verteilnetz definiert werden, die bei einem Ausfall der Versorgung ab dem Unterwerk automatisch durch Schutzfunktionen geöffnet werden und somit die Grenzen des Inselnetzes bilden. Diese Schalter dienen auch als Kuppelschalter bei der Rücksynchronisation auf das Verbundnetz.

Umschaltung mit Unterbrechung

Bei einem Ausfall der Einspeisung ab dem Unterwerk werden die DEA ebenfalls abgeschaltet. Anschliessend wird das Inselnetz beginnend mit der DEA mit Masterfunktion aufgebaut. Dabei werden Teilnetze mit Verbrauchern sowie weitere DEA auf die DEA mit Masterfunktion aufgeschaltet, bis das gewünschte Inselnetz aufgebaut ist. Diese Art für den Aufbau eines Inselnetzes ist organisatorisch aufwändig und benötigt viele automatisierte Schalter im Verteilnetz. Die Rückschaltung in den Verbundbetrieb kann unterbrechungsfrei über definierte Kuppelschalter im Verteilnetz erfolgen. Als Alternative zur unterbrechungsfreien Rücksynchronisation kann die Umschaltung in den Verbundbetrieb auch mit Unterbruch erfolgen, d.h. der Inselbetrieb wird ausgeschaltet und das Verteilnetz ab dem Unterwerk aufbauend unter Spannung gesetzt.

4.3.2. Konstellation im NS-Netz

Bezüglich der Leistungsreserve, der Umschaltung vom Verbund in den Inselbetrieb und der Rückführung in den Verbundbetrieb gilt im NS-Netz prinzipiell das selbe wie im MS-Netz. Die Einspeisung im Verbundbetrieb erfolgt jedoch ab der Transformatorstation.

Im NS-Netz fehlt häufig die grosse rotierende Masse, so dass die Frequenzhaltung bei grossen Laständerungen problematischer ist als im MS-Netz. Als schnell verfügbare Reserven können im NS-Netz auch elektrische Energiespeicher, die über Wechselrichter ins Inselnetz einspeisen, eingesetzt werden.

Im NS-Netz werden häufig WKK-Anlagen eingesetzt. Für die elektrische Energieversorgung im Inselnetz stehen diese DEA aber nur bedingt zur Verfügung, denn falls kein Wärmebedarf für eine WKK-Anlage besteht, ist die Wärmeabführung üblicher Weise nicht vorhanden und die Anlage kann nicht betrieben werden.

4.3.3. Anforderung an die Kurzschlussleistung

Um einen Verbraucher ab einem Inselnetz versorgen zu dürfen, muss am Anschlusspunkt des Verbrauchers die Kurzschlussleistung genügend gross sein, so dass ein Kurzschluss erkannt und weggeschaltet wird. Problematisch werden diesbezüglich Anschlusspunkte in einem Inselnetz sein, welches hauptsächlich ab DEA mit Umrichtern gespeist wird.

Bei Inselnetzen mit isoliertem Sternpunkt muss ein Erdschluss ebenfalls erkannt werden. Dies kann durch die Messung des Erdschlussstromes erfolgen, falls der Erdschlussstrom im Inselnetz noch ausreichend gross ist. Eine Alternative zur Erfassung eines Erdschlusses ist die Messung der Verlagerungsspannung.

4.4. WIE STABIL IST EIN INSELNETZ BEZÜGLICH SPANNUNGS- UND FREQUENZHALTUNG? WIE GROSS MUSS DABEI DIE RESERVELEISTUNG MINDESTENS SEIN?

Um die Frequenz und die Spannung in einem Inselnetz stabil zu halten, muss eine minimale schnell verfügbare Reserveleistung zur Verfügung stehen. Diese Reserveleistung liegt in der rotierenden Masse der Generatoren.

Die schnell verfügbare Reserveleistung muss mindestens so gross sein, dass die Spannungs- und Frequenzgrenzen für Erzeugungseinheiten gemäss IEC 34-1 / SEV 3009 eingehalten werden.

4.5. WELCHE SPEZIELLEN SCHUTZVORKEHRUNGEN SIND FÜR DEN INSELBETRIEB ZU TREFFEN?

Die Schutzgeräte auf der MS-Ebene müssen zwei Parametersätze enthalten, einen für den Verbundbetrieb und einen für den Inselbetrieb. Die Parametersätze der Schutzgeräte müssen automatisch umschaltbar sein.

4.6. WELCHE VORAUSSETZUNGEN MUSS DIE DEA ERFÜLLEN, DIE FÜR DIE RÜCKSYNCHRONISATION DES INSELNETZES AUF DAS VERTEILNETZ VERANTWORTLICH IST?

4.6.1. Rücksynchronisation eines Inselnetzes auf das NS-Netz

Die Trennstelle zum vorgelagerten Verteilnetz muss definiert werden. Idealerweise wird derjenige Schalter auf der Transformator Sekundärseite als Trennstelle festgelegt, welcher auch als Kuppelschalter für die Rücksynchronisation auf das vorgelagerte Verteilnetz verwendet wird.

Im NS-Netz muss die Masterfunktion häufig auf mehrere DEA aufgeteilt werden. Für die unterbrechungsfreie Rücksynchronisation auf das vorgelagerte Verteilnetz ist daher eine Kommunikation zwischen den DEA mit Masterfunktion erforderlich.

Die unterbrechungsfreie Rückschaltung eines NS-Inselnetzes auf das vorgelagerte Verteilnetz kann als Alternative zur geführten Rücksynchronisation auch wie folgt vorgegangen werden. Soll das Inselnetz auf das vorgelagerte Verteilnetz zurückgeschaltet werden, so wird abgewartet, bis die beiden Netze zufällig synchron sind. Sobald die Synchronität erreicht ist, wird der Schalter an der Trennstelle geschlossen. Diese Alternative hat gegenüber der geführten Rücksynchronisierung den Nachteil, dass es sehr lange dauern kann, bis die zufällige Synchronität eintritt und vom Inselbetrieb in den Verbundbetrieb zurückgeschaltet wird. Eine Kommunikation zwischen den DEA für die Rücksynchronisation ist allerdings bei dieser Alternative nicht erforderlich.

Eine weitere Alternative zur Rückschaltung auf das vorgelagerte Netz ist diejenige mit Spannungsunterbruch.

4.6.2. Rücksynchronisation eines Inselnetzes auf das MS-Netz

Die Rücksynchronisation des Inselnetzes auf das vorgelagerte Netz erfolgt mit der DEA mit Masterfunktion über eine der definierten Trennstellen im Verteilnetz oder im Unterwerk. Ist die Leistung einer DEA zu gering um die Rücksynchronisation durchzuführen, so erfolgt die Rücksynchronisation mit mehreren DEA, die untereinander kommunizieren.

Die Rückschaltung auf das vorgelagerte Netz mit Spannungsunterbruch ist auch im MS-Netz als Alternative zur unterbrechungsfreien Rückschaltung möglich.

4.7. WIE WIRD DER MASTER, DER DIE FREQUENZ UND SPANNUNG FÜR DIE RÜCKSYNCHRONISATION VORGIBT, BESTIMMT? MUSS DIESER MASTER EINEN MINIMALEN ANTEIL AN DER GESAMTEN DEA-LEISTUNG DER INSEL HABEN?

Die Anforderung an die Regelkapazität der DEA mit Masterfunktion im jeweiligen Inselnetz muss mittels Simulation gefunden werden. Abhängig von diesen Simulationen kann die DEA mit Masterfunktion bestimmt werden. Allenfalls muss die Masterfunktion auf mehrere DEA aufgeteilt werden.

5. SPEICHERUNG / DC-NETZE

5.1. WELCHE BEKANNTEN SPEICHERMEDIEN ELEKTRISCHER ENERGIE WERDEN MIT DEM EINSATZ VON DEA INTERESSANT FÜR EINE BREITE ANWENDUNG UND NUTZUNG?

Mit Speichereinheiten können kurzzeitige Produktionseinbrüche der DEA überbrückt werden, so dass das Gebilde „DEA und Speicher“ mit einer konstanten Leistung ins Netz einspeist. Z.B. können dadurch bei einer Photovoltaikanlage Leistungseinbrüche, welche durch vorbeiziehende Wolken verursacht werden, überbrückt werden.

Zur Vermeidung von Leitungsüberlastungen durch die Einspeisung von DEA, können parallel zur DEA Speichereinheiten platziert werden. Diese Speichereinheiten werden aufgeladen, wenn die Produktion der DEA die Leitungskapazität überschreitet und entladen, wenn keine oder eine reduzierte Produktion von elektrischer Energie durch die DEA erfolgt.

Speichereinheiten sind vor allem im Inselbetrieb von Interesse, so dass Überproduktionen der DEA gespeichert werden können und bei Bedarf Energie oder schnell verfügbare Leistung bezogen werden kann.

Elektrische Speichereinheiten, die vor allem im NS-Netz eingesetzt werden, sind Batterien, die über Gleich- und Wechselrichter auf das Netz aufgeschaltet werden. Diese Speichereinheiten haben die Fähigkeit elektrische Energie zu speichern und auch geforderte Leistung schnell zur Verfügung zu stellen, wie dies von den Unterbrechungsfreien Stromversorgungsanlagen (USV) her bekannt ist.

DEA mit speicherbarer Primärenergie und schneller Regelbarkeit, wie z.B. die Brennstoffzellen, können ebenfalls als Speicherelement zur Bereitstellung von elektrischer Energie und Leistungsreserve im Inselbetrieb eingesetzt werden.

5.2. ERGEBEN SICH DURCH DEN EINSATZ DER DEA MÖGLICHKEITEN FÜR DEN AUFBAU VON PARTIELLEN DC-NETZEN?

Die Versorgung von Endverbrauchern über ein DC-Netz wurde nicht weiter verfolgt. Die Ankopplung der DC-Netze an das AC-Verteilnetz soll als AC/DC Ankopplung mit einer grossen Leistung betrachtet werden. Bei dieser Ankopplung sind auch Speicher im DC-Netz mitzubetrachten.

6. NETZKOSTEN

6.1. WIEWEIT KÖNNEN MIT DEM WACHSENDEN ANTEIL EINER DEZENTRALEN ENERGIEERZEUGUNG UND DER DAMIT EINHERGEHENDEN EINSPEISUNG IN DAS MS- UND NS-NETZ NETZKOSTEN AUF DEN VORGELAGERTEN NETZEbenen VERMIEDEN WERDEN?

6.1.1. DEA im NS-Netz

Im Normalfall ist der Verbrauch grösser als die Produktion von elektrischer Energie durch die DEA. Die DEA tragen somit im Normalfall zur Reduktion der Wirk- und Blindleistung bei.

Falls in einem NS-Netz die Produktion von elektrischer Energie grösser ist als der Verbrauch, muss zur Reduktion der Netzspannung in das Toleranzband der Nennspannung Blindleistung bezogen werden. Die dabei entstehenden Kosten für die zusätzlich benötigten Blindleistungskompensationen können allenfalls von mehreren Betreibern von DEA gemeinsam getragen werden. Diese Betreiber müssten dann allerdings von einer Verrechnung der bezogenen Blindenergie an ihrem Anschlusspunkt befreit werden.

Werden die DEA zur Spitzenlastdeckung eingesetzt und ist die Verfügbarkeit eines Anteils der DEA gewährleistet, so lassen sich in diesem Masse die Kosten für Leistungsspitzen reduzieren.

6.1.2. DEA im MS-Netz

Werden die DEA zur Spitzenlastdeckung eingesetzt, was allenfalls über die Rundsteuerung erfolgen kann, und ist die Verfügbarkeit eines Anteils der DEA gewährleistet, so lassen sich in diesem Masse die Kosten für Leistungsspitzen reduzieren. Können die DEA auch zur Engpassüberbrückung eingesetzt werden, so lassen sich Investitionen im Netz und in den Unterwerken hinausschieben.

Weitere Einsparungen sind möglich, wenn die DEA zur Spannungsregelung eingesetzt werden, das heisst, wenn die Aufnahme oder Abgabe von Blindleistung abhängig von der Spannung am Anschlusspunkt gesteuert wird.

6.2. WELCHE VERLUSTEINSPARUNGEN SIND DURCH DEN EINSATZ VON DEZENTRALEN ERZEUGUNGSANLAGEN MÖGLICH?

Prinzipiell können mit DEA im NS-Netz die Übertragungsverluste in den Trafostationen, dem MS-Netz und den Unterwerken reduziert werden. Mit DEA im MS-Netz können die Übertragungsverluste im MS-Netz und in den Unterwerken reduziert werden.

Der Umfang der Reduktion der Übertragungsverluste ist dabei jedoch stark vom jeweiligen Belastungszustand der Verteilnetze abhängig. Bei Hochlast ist die Verlustreduktion am grössten. Bei Schwachlast hingegen kann durch die DEA-Einspeisung eine Lastflussumkehr erfolgen, bei welcher der Strom gegenüber der Schwachlast ansteigt und somit auch die Netzverluste zunehmen.

6.3. WELCHE EFFEKTIVEN NETZKOSTEN KÖNNEN GESPART WERDEN?

Die effektiven Kosteneinsparungen müssen jeweils für eine konkrete Situation ermittelt werden. Prinzipiell sind die folgenden Kosteneinsparungen möglich:

- Investitionskosten: Im NS-Netz werden Standardkomponenten eingesetzt, daher hat der Einsatz von DEA nur einen Einfluss auf die Kosten, wenn dadurch kleinere Elemente eingesetzt werden können, z.B. ein 630 kVA Transformator anstelle eines 1'000 kVA Transformators. Im MS-Netz können durch den Einsatz von DEA Engpässe überbrücken und somit Investitionen im Netz und in den Unterwerken hinausgezögert werden.
- Betriebskosten: Durch den Einsatz von DEA können die Kosten für die Übertragungsverluste und die bezogene Spitzenleistungen reduziert werden.
- Betrieb & Unterhalt: Der Aufwand für den Betrieb und Unterhalt kann durch den Einsatz von DEA nicht reduziert werden.

7. GESETZGEBUNG, NORMEN UND EMPFEHLUNGEN

7.1. WELCHEN EINFLUSS KANN DER VERMEHRTE EINSATZ VON DEZENTRALEN ERZEUGUNGSANLAGEN AUF DIE GESETZGEBUNG, NORMEN UND EMPFEHLUNGEN HABEN?

Die Grenzwerte der VSE-Empfehlung bezüglich der Netzrückwirkungen müssen unter Berücksichtigung des Einsatzes von mehreren DEA an einem NS-Strang für die einzelnen DEA allenfalls reduziert werden.

Um einen bezüglich dem Netzbetrieb optimalen Betrieb mit DEA zu erreichen, müssen die gesetzlichen Betriebsbedingungen, wie z.B. der Zwang zur Wärmeführung von BHKW's, allenfalls überarbeitet werden.

Bei der Festlegung des Gesetzes resp. der Regeln für die Strommarktliberalisierung, d.h. der zukünftigen Elektrizitätswirtschaftsordnung (ELWO), soll der Einsatz der DEA durch die Kostenwälzung nicht benachteiligt werden. Bei der Kostenwälzung der Netzkosten von der Übertragungsebene und der überregionalen Verteilebene auf die regionale Verteilebene resp. weiter auf die lokale Verteilebene muss der Einspeisung durch DEA auf der regionalen und lokalen Verteilebene besondere Beachtung geschenkt werden. Ist dies nicht der Fall, so ist die durch die DEA erzeugte elektrische Energie gegenüber derjenigen mittels Grosskraftwerken auf der Übertragungsebene eingespeisten, günstiger produzierten Energie nicht konkurrenzfähig.