

Anhang 1: **Dezember 2003**

Zunahme der dezentralen Energieerzeugungsanlagen in elektrischen Verteilnetzen

Aktuelle und mögliche zukünftige Situation

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. Einleitung	 3
 2. Aktuelle Situation der DEA	 3
2.1. Einbindung der DEA in das Verteilnetz	3
2.2. Technische Anforderungen	4
2.3. Rechtliche Rahmenbedingungen	5
2.4. Ökonomische Situation	5
2.4.1. Ökonomische Situation aus der Sicht der Betreiber von DEA	5
2.4.2. Ökonomische Situation aus der Sicht der Netzbetreiber	6
 3. Zukünftige Situation der DEA	 7
3.1. Entwicklung des Strommarktes	7
3.2. Mögliche technisch und betriebliche Situation	8
3.2.1. Generell	8
3.2.2. Integration der DEA in die Energieversorgung	8
3.2.3. Energiemanagement	8
3.2.4. Inselbildung und Inselbetrieb	9
3.2.5. DC-Netze	9
3.3. Mögliche ökonomische Situation	10
 Literaturverzeichnis	 11

ZUSAMMENFASSUNG

Ausgehend davon, dass in Zukunft neue erneuerbare Energiequellen wie Sonne, Wind und Biomasse, Kleinwasserkraftwerke sowie in einer Umgebung mit Wärmebezug Brennstoffzellen und Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen vermehrt zur Anwendung gelangen, werden diese dezentral eingesetzten Erzeugungseinheiten den Ausbau und den Betrieb der Verteilnetze auf den verschiedenen Spannungsebenen der Verteilnetze nachhaltig beeinflussen. Ausgehend von der aktuellen Situation werden die damit verbundenen Problemstellungen aufgezeigt.

In der aktuellen Situation werden dezentrale Energieerzeugungsanlagen (DEA) mit kleinen und auch grossen Leistungen, auf verschiedenen Spannungsebenen und mit unterschiedlichen Regelstrategien im Verteilnetz betrieben. Die Menge der DEA ist gering. Die DEA, von den grossen Anlagen, wie sie in Kehrlichtverbrennungsanlagen eingesetzt werden, abgesehen, haben einen geringen Anteil an der elektrischen Energieversorgung und somit auch einen geringen Einfluss auf den Betrieb der Verteilnetze. Mit DEA, die mit erneuerbarer Primärenergie betrieben werden, wie z.B. Solaranlagen, Windanlagen und Kleinwasserkraftwerken, wird versucht, einen möglichst hohen Grad an Eigenerzeugung von elektrischer Energie zu erreichen. Wärmekraftkopplungsanlagen (WKK-Anlagen) werden in der Regel wärmegeführt betrieben, wodurch die elektrische Energie auch produziert werden kann, wenn sie von den nahe gelegenen Verbrauchern nicht benötigt wird und somit ins Verteilnetz zur Weiterverteilung eingespeist wird. Teilweise werden Notstromaggregate auch während Spitzenlastzeiten eingesetzt und reduzieren somit die maximale Belastung im Verteilnetz.

Für die Aufschaltung von DEA auf das Verteilnetz bestehen technische Anforderungen, die eingehalten werden müssen, damit der Netzbetrieb nicht gestört und gefährliche Situationen, wie z.B. die Einspeisung auf frei geschaltete oder geerdete Netzteile, vermieden werden.

Als Rahmenbedingungen für die Erstellung, den Betrieb und die Instandhaltung von DEA gelten das Elektrizitätsgesetz sowie die entsprechenden Erlasse des Eidgenössischen Starkstrominspektorates. Abhängig von der eingesetzten Primärenergie und der Grösse der DEA ist der Verteilnetzbetreiber verpflichtet erzeugte elektrische Energie von DEA abzunehmen und zu vergüten.

Die ökonomische Situation der DEA ist aus der Sicht der Betreiber von DEA und aus der Sicht des Verteilnetzbetreibers zu betrachten. Der Betreiber von DEA wird seine Anlage dann betreiben, wenn ihm diese einen Beitrag zur Deckung der Fixkosten abwirft. Bei DEA mit nicht speicherbarer Primärenergie, wie z.B. Sonneneinstrahlung, wird dies immer dann sein, wenn ein Betrieb möglich ist. Dadurch kann der Betreiber den Strombezug ab dem Netz reduzieren oder bei geringem Eigenverbrauch sogar dem Netzbetreiber Strom zurückliefern. WKK-Anlagen werden abhängig vom Wärmebedarf betrieben, unabhängig davon, ob die eigenerzeugte elektrische Energie selbst verbraucht oder ins Verteilnetz abgegeben wird. Aus der Sicht der Netzbetreiber wirkt sich der Betrieb von DEA in erster Linie wie eine Lastreduktion aus, d.h. der Einsatz von DEA reduziert den Umsatz des Netzbetreibers. Zudem können durch den Einsatz von DEA Netzverstärkungen notwendig werden. Teilweise betreiben Netzbetreiber auch einen Handel mit elektrischer Energie aus erneuerbarer Energie, die mit DEA erzeugt wird. Die DEA werden von den Netzbetreibern auch genutzt, um Lastspitzen zu re-

duzieren und dadurch die Strombeschaffungskosten gegenüber den Vorlieferanten zu senken.

Der zukünftig erwartete vermehrte Einsatz von DEA wird den Ausbau und den Betrieb der Verteilnetze nachhaltig beeinflussen. Dabei stellen sich die Fragen nach der Verfügbarkeit der einzelnen DEA, der optimalen Reservehaltung durch den Netzbetreiber, das Verhalten der Netze bei einer Lastflussumkehr und wie allenfalls auf den Lastfluss im Verteilnetz eingewirkt werden kann. Mehrere unterschiedliche DEA können zu virtuellen Grosskraftwerken zusammengefasst werden. Mittels Energiemanagementsystemen können die Produktion und die Verteilung optimiert werden. Damit die dazu notwendigen technischen Anforderungen erfüllt werden können, werden zusammen mit der Zunahme der DEA auch die Kommunikation und die Steuerungsaufgaben in den regionalen und lokalen Verteilnetzen zunehmen.

Bei Netzgebieten, in denen die Produktion mittels DEA und der Verbrauch ausgewogen sind, ist prinzipiell ein Inselbetrieb möglich. Um ein Teilnetz als Insel zu betreiben sind unter anderem Fragen bezüglich der Spannungs- und Frequenzvorgabe, der Stabilität und der schnell verfügbaren Leistungsreserve sowie der Rücksynchronisation zu beantworten.

Einen möglichen Einfluss kann die Zunahme der DEA auch auf die Zunahme von DC-Netze haben. Werden in einem Gebiet viele DEA mit DC-Erzeugung, wie z.B. Photovoltaik und Brennstoffzellen eingesetzt, so können diese auf ein DC-Netz aufgeschaltet werden. Das DC-Netz wird über einen leistungsstarken Wechselrichter anstelle vieler kleiner Wechselrichter auf das Verteilnetz aufgeschaltet. Treten diese DC-Netze vermehrt auf, so werden auch zunehmend Verbraucher direkt ans DC-Netz angeschlossen werden. Diese Verbraucher können z.B. USV-Anlagen, Rechenzentren oder Tankstellen für Elektrofahrzeuge sein.

Im Markt der elektrischen Energie bestehen mehrere Rahmenbedingungen, welche die zukünftige Verbreitung von DEA beeinflussen können. Das sind die generelle Entwicklung der Strommarktöffnung, der zunehmend notwendige Ersatz von zentralen Grossanlagen und die Nachfrage nach Ökostrom. Die Zunahme der DEA ist dabei weniger von der Entwicklung eines geöffneten Strommarktes abhängig, als vom Bedarf für den Ersatz von still zu legenden zentralen Grossanlagen und von der Nachfrage der Endverbraucher nach Elektrizität aus erneuerbarer Energie.

Die ökonomischen Auswirkungen durch die Zunahme der DEA für die Netzbetreiber wird stark vom Zustand und der Struktur des jeweiligen Verteilnetzes abhängig sein. Die zukünftige ökonomische Situation der einzelnen DEA aus der Sicht der Anlagenbetreiber wird zudem auch von der Verfügbarkeit der elektrischen Energieversorgung ab dem Verteilnetz und von der Nachfrage nach ökologisch produzierter elektrischer Energie bestimmt werden.

1. EINLEITUNG

Für das Projekt gilt die Prämisse, dass in Zukunft neue erneuerbare Energiequellen wie Sonne, Wind und Biomasse, Kleinwasserkraftwerke sowie in einer Umgebung mit Wärmebezug Brennstoffzellen und Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen vermehrt zur Anwendung gelangen werden.

Diese vermehrt dezentral eingesetzten Erzeugungseinheiten werden den Ausbau und den Betrieb der Verteilnetze auf den verschiedenen Spannungsebenen der Verteilnetze nachhaltig beeinflussen.

Im folgenden wird ausgehend von der aktuellen Situation aufgezeigt, welche neuen Problemstellungen im Zusammenhang mit der Zunahme der dezentralen Energieerzeugungsanlagen (DEA) in elektrischen Verteilnetzen auftreten können.

2. AKTUELLE SITUATION DER DEA

2.1. EINBINDUNG DER DEA IN DAS VERTEILNETZ

Die regionalen Verteilnetze und die lokalen Verteilnetze werden zur Zeit hauptsächlich radial betrieben. Die elektrische Energie fließt dabei von den Unterwerken über das Verteilnetz auf einem vom Schaltzustand her klar definierten Weg zu den Verbrauchern. In den meisten Fällen bewirkt der Einsatz von dezentralen Energieerzeugungsanlagen eine Reduktion der vom Verteilnetz aus gesehenen Last. Der Fall, dass eine DEA bis ins Unterwerk oder sogar über das Unterwerk hinaus elektrische Energie zurückliefert, beschränkt sich auf die grossen DEA, wie z.B. Kehrlichtverbrennungsanlagen.

Beim Ausfall einzelner DEA steigt der Verbrauch aus der Sicht des Verteilnetzes sprunghaft an. Dieser Anstieg der Verbrauchsleistung muss aus dem Verteilnetz gedeckt werden. Der Ausfall kleiner DEA ist dabei für den Netzbetrieb nicht von Bedeutung. Beim Ausfall grosser DEA kann die wegfallende Erzeugerleistung, resp. der grosse Verbrauchsanstieg aus Sicht des Verteilnetzes zur Zeit in den meisten Fällen auch gedeckt werden. Bezüglich der zulässigen Anzahl solcher Lastschwankungen bestehen in den meisten Fällen Betriebsvereinbarungen zwischen den Netzbetreibern und den Betreibern von grossen DEA. Mit diesen Betriebsvereinbarungen soll gewährleistet werden, dass dem Netzbetreiber genügend Zeit bleibt, um die Spannung in seinem Netz ausregeln zu können.

Der Betrieb der DEA richtet sich nach sehr unterschiedlichen Bedürfnissen, wie folgende Aufzählung zeigt:

- Die DEA werden betrieben um möglichst einen hohen Grad an Eigenerzeugung zu erreichen, wie z.B. bei Solaranlagen, Windanlagen und Kleinwasserkraftwerken. Der Betrieb ist dabei stark vom Angebot der Energiequellen Sonneneinstrahlung, Wind und Wasserangebot abhängig. Eine Abstimmung des Betriebs der DEA auf den Strombedarf oder die Tarifzeiten erfolgt lediglich bei Kleinwasserkraftwerken mit Speicherbecken.

- Wärmekraftkopplungsanlagen (WKK-Anlagen) werden in der Regel wärmegeführt betrieben, d.h. diese DEA sind in Betrieb, wenn Wärmebedarf besteht. Der Betrieb von WKK wird selten auf den Strombedarf der Verbraucher oder sogar auf die Tarifzeiten abgestimmt. Dies hat zur Folge, dass WKK-Anlagen nicht nur den Stromverbrauch reduzieren, sondern unter Umständen auch ins Verteilnetz zurückliefern.
- Betreiber von grossen DEA, wie z.B. Kehrlichtverbrennungsanlagen, erzeugen häufig viel mehr elektrische Energie als sie selbst benötigen. Diese DEA liefern daher dauernd elektrischen Energie ins Verteilnetz zurück. Die Vergütung der Energierücklieferung ist jeweils zwischen dem Betreiber der DEA und den Netzbetreiber vertraglich geregelt.
- Verbraucher mit grossen Lastspitzen setzen teilweise Notstromaggregate ein, um diese Lastspitzen gegenüber dem Netzbetreiber zu reduzieren. Der Einsatz dieser DEA ist jeweils abhängig von der Verbrauchsleistung auf eine kurze Zeit von einzelnen Stunden pro Tag beschränkt. Teilweise bestehen zwischen den Netzbetreiber und den Betreiber von DEA auch Betriebsvereinbarungen bezüglich dem Betrieb von Notstromanlagen zur Reduktion der Lastspitzen im Verteilnetz, z.B. während der Mittagsspitzenlast.

2.2. TECHNISCHE ANFORDERUNGEN

Für den Anschluss und den Betrieb der DEA am Verteilnetz bestehen die folgenden technischen Anforderungen:

- Die DEA müssen in einem vom Netzbetreiber definierten Spannungs- und Frequenzbereich betrieben werden können. Die entsprechenden technischen Rahmenbedingungen für den Anschluss und Betrieb der DEA am Netz beruhen auf Normen und Empfehlungen.
- Die Erzeugung oder der Bezug von Blindleistung muss zwischen dem Betreiber der DEA und dem Netzbetreiber vertraglich geregelt werden. Allenfalls kann die DEA durch gesteuerte Blindleistungsabgabe in die Spannungshaltung des Verteilnetzes eingebunden werden.
- Die DEA muss Synchronisationseinrichtungen enthalten, die ein Zuschalten im Normalbetrieb, wie das Anfahren der DEA und das Zuschalten auf ein unter Spannung stehendes Netz, ermöglichen. Zuschaltungen von DEA auf das Netz müssen synchron erfolgen.
- Die DEA müssen Schutzeinrichtungen enthalten, die folgende Punkte berücksichtigen: Äussere Kurzschlüsse, Überfrequenz, Unterfrequenz und speziell bei Generatoren Schiefast, Stator- und Rotorüberlast, unzulässige Untererregung, Asynchronlauf, Torsionsbeanspruchungen, Antriebsausfall (motorischer Betrieb). Zudem müssen Massnahmen gegen Schalterversager, Reserveschutzeinrichtungen und ein Staf-felplan vorhanden sein.
- DEA müssen sich beim Ausfall des Verteilnetzes, d.h. wenn die Netzspannung oder die Netzfrequenz des Netzes ausserhalb den definierten Toleranzbänder liegen, automatisch vom Verteilnetz trennen. Ob in diesem Falle der Verbraucher eine interne Insel mit der DEA fährt oder nicht, liegt im Ermessen des Betreibers der DEA und ist abhängig von den technischen Möglichkeiten der DEA. Eine Synchronisation und ein Zuschalten der DEA auf das Verteilnetz darf erst erfolgen, nachdem dieses wieder stabil in den Toleranzbändern der Spannung und Frequenz betrieben wird.

- DEA dürfen keine unzulässigen Netzurückwirkungen verursachen. Dabei sind die Grenzwerte der VSE-Empfehlungen für die Beurteilung von Netzurückwirkungen (VSE 2.72d – 97) einzuhalten.

2.3. RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN

Für die Erstellung, den Betrieb und die Instandhaltung von DEA gelten das Elektrizitätsgesetz vom 24. Juni 1902 betreffend die elektrischen Schwach- und Starkstromanlagen (SR 734.0) und die zugehörigen Verordnungen. Im weiteren sind die Erlasse des Eidgenössischen Starkstrominspektorates (EStI) betreffend Kleinkraftwerke und Eigenerzeugungsanlagen zu berücksichtigen.

Gemäss dem Energiegesetz (EnG) vom 26. Juni 1998 (SR 730.0) sind die Netzbetreiber verpflichtet, von unabhängigen Produzenten angebotene Überschussenergie, die regelmässig produziert wird, in einer für das Netz geeigneten Form abzunehmen. Bei WKK-Anlagen gilt diese Abnahmepflicht nur, wenn gleichzeitig die erzeugte Wärme genutzt wird. Bei der Nutzung erneuerbarer Energien ist auch die nicht regelmässig produzierte elektrische Überschussenergie abzunehmen. Die Richtgrösse für die Vergütung der abgenommenen Energie liegt bei 15 Rp./kWh, sie ist jeweils abhängig von der eingesetzten Primärenergie und bei Wasserkraftwerken von der Leistung der Anlagen.

2.4. ÖKONOMISCHE SITUATION

Die ökonomische Situation der DEA muss aus der Sicht des Betreibers einer DEA und aus der Sicht des Netzbetreibers betrachtet werden.

2.4.1. Ökonomische Situation aus der Sicht der Betreiber von DEA

Ein Betreiber von DEA wird aus ökonomischer Sicht seine Anlage nur betreiben, wenn der durch den Betrieb der DEA erwirtschaftete Ertrag grösser als die Grenzkosten ist. D.h. der durch die Strom- und allenfalls Wärmeenergieerzeugung erwirtschaftete Betrag muss grösser als die Betriebskosten sein, damit mit dem Betrieb der DEA ein Beitrag zur Deckung der Fixkosten geleistet wird. Selbstverständlich wird der Betreiber bestrebt sein, die vollständige Deckung der Fixkosten und darüber hinaus einen Gewinn zu erreichen. Das diesbezügliche Betriebsmanagement ist von der Art der DEA und deren Möglichkeit zur Energiespeicherung abhängig.

DEA, bei denen die Primärenergie nicht gespeichert werden kann, wie z.B. bei Photovoltaikanlagen, Windenergieanlagen und kleinen Flusswasserkraftwerken oder auch Dampfturbinen bei Kehrichtverbrennungsanlagen, werden abhängig vom Angebot der Primärenergie betrieben. Eine Speicherung der erzeugten elektrischen Energie wird bisher nur selten eingesetzt, z.B. bei Photovoltaikanlagen zur Speisung von Batterien von unterbrechungsfreien Stromversorgungsanlagen. Der Ertrag dieser DEA setzt sich zusammen aus den vermiedenen Stromkosten der versorgten Verbraucher des Betreibers der DEA und der Rücklieferung ins Netz, deren Vergütung sich gemäss dem Energiegesetz nach marktorientierten Bezugspreisen für gleichwertige Energie richten muss, resp. bei der Nutzung erneuerbarer Energien nach den Kosten für die Beschaffung gleichwertiger Energie aus neuen inländischen Produktionsanlagen.

DEA mit speicherbarer Primärenergie, wie z.B. WKK-Anlagen, Notstromanlagen und auch Kleinwasserkraftwerke mit Speicherbecken werden nach dem Bedarf betrieben. Der wichtigste Bestandteil des Ertrages von WKK-Anlagen besteht aus der Wärmeproduktion und den vermiedenen Stromkosten der versorgten Verbraucher des Betreibers der WKK-Anlage. Die Vergütung der Rücklieferung von elektrischer Energie ins Netz richtet sich nach marktorientierten Bezugspreisen für gleichwertige Energie und ist somit gering. Der Betrieb von Kleinwasserkraftwerken mit Speicherbecken und auch von Notstromanlagen wird nach dem Ertrag aus dem Stromgeschäft optimiert. Diese Optimierung kann der Einsatz zur Spitzenlastdeckung der eigenen Verbraucher oder ein mit dem Netzbetreiber vereinbarter Betrieb sein.

2.4.2. Ökonomische Situation aus der Sicht der Netzbetreiber

Aus der Sicht des Netzes wirkt sich der Betrieb von DEA als Lastreduktionen aus. Ausfälle oder Abschaltungen von DEA wirken sich hingegen als Lastzunahmen aus. Da sich ein Netzbetreiber nicht auf einen zuverlässigen Betrieb der DEA abstützen kann, muss er sein Verteilnetz und die Energie- und vor allem auch die Leistungsbereitstellung so planen, dass ein Betrieb auch ohne DEA gewährleistet ist. Der Einsatz von DEA bewirkt somit keine Reduktion des Aufwandes eines Netzbetreibers, sondern im Gegenteil durch die Eigenproduktion der DEA werden zudem die Erträge des Netzbetreibers reduziert. In Anbetracht des Umsatzes der Netzbetreiber und der zur Zeit installierten Leistung von DEA ist diese Ertragsreduktion meistens nicht relevant.

Bei einer starken Zunahme der DEA wird die Planbarkeit der Netze, an die viele DEA angeschlossen sind, schwieriger. Das Risiko bezüglich den ausreichenden Leistungsreserven für den Ausfall der DEA oder für leistungsstarke Rücklieferungen kann zu Überdimensionierungen der jeweiligen Netzgebiete und somit zu Fehlinvestitionen führen.

Rücklieferungen aus DEA muss der Netzbetreiber gemäss dem Energiegesetz nach marktorientierten Bezugspreisen für gleichwertige Energie, resp. bei der Nutzung erneuerbarer Energien nach den Kosten für die Beschaffung gleichwertiger Energie aus neuen inländischen Produktionsanlagen vergüten. Die Praxis zeigt, dass die aus erneuerbaren Energien produzierte elektrische Energie vielfach auch zu Preisen, die weit über dem üblichen Strompreis liegen, verkauft werden kann. D.h. es gibt Endverbraucher, die z.B. bereit sind für eine bestimmte Menge elektrischer Energie aus Solaranlagen über 50 Rp./kWh zu bezahlen. Gelingt es dem Netzbetreiber, solche Kunden zu gewinnen, so entstehen dem Netzbetreiber aus ökonomischer Sicht keine Nachteile durch die gesetzlich vorgeschriebene Übernahme der Überschussenergie von DEA. Den administrativen Mehraufwand können grössere Netzbetreiber durch die Vermarktung des Ökostromes wett werden. Dies gilt nicht zwingend für kleinere Netzbetreiber, da eine Vermarktung des Ökostroms meist nicht in deren finanziellen Möglichkeit liegt.

Durch Betriebsvereinbarungen mit den Betreibern von grossen DEA, wie z.B. Wasserkraftwerken mit Speicherbecken oder Notstromanlagen, können grosse Netzbetreiber gezielt Lastspitzen in ihren Netzen reduzieren und die Strombeschaffungskosten gegenüber den Vorlieferanten senken.

3. ZUKÜNFTIGE SITUATION DER DEA

3.1. ENTWICKLUNG DES STROMMARKTES

Mit der Ablehnung des Elektrizitätsmarktgesetzes (EMG) durch das Schweizer Volk ist nicht klar, wie weit und ob überhaupt eine Markttöffnung statt finden wird. Im folgenden werden mögliche Entwicklungen des Strommarktes der Schweiz aufgezeigt.

Es ist möglich, dass auf Grund des wirtschaftlichen und politischen Druckes aus Europa die Übertragungsebene rasch geöffnet sein wird. In einem weiteren Schritt könnten grosse Unternehmungen und nicht zuletzt auch Netzbetreiber der Schweiz darauf hinwirken, dass ihnen für den Transport von elektrischer Energie das überregionale Verteilnetz und das Übertragungsnetz zur Verfügung stehen werden. Wie rasch sich diese unregulierte Markttöffnung vollziehen würde, ist abhängig davon, wie bereitwillig die Netzbetreiber ihre Netze für Durchleitungen zur Verfügung stellen, resp. wie rasch die entsprechenden Durchleitungen juristisch über die Wettbewerbskommission erwirkt werden können.

Entwickelt sich der Strommarkt dahin, dass die Durchleitungen auf der Übertragungsebene und der überregionalen Verteilnetzebene vorhanden sind, wird auch der Handel mit Elektrizität aus erneuerbarer Energie zunehmen. Als Händler werden dann vor allem die Verteilnetzbetreiber auftreten, um die übernommene Überschussenergie gemäss EnG an Endverbraucher in anderen Regionen liefern zu können, resp. um Elektrizität aus erneuerbarer Energie für ihre Endverbraucher aus anderen Regionen beschaffen zu können. Für diesen Handel von Elektrizität aus erneuerbarer Energie ist, solange die Menge gering ist, die Durchleitung nicht zwingend notwendig, da das Geschäft auch mittels Zertifikatshandel abgewickelt werden kann.

Auch wenn sich die Öffnung der Übertragungsebene und der überregionalen Verteilnetzebene ohne gesetzliche Vorgaben entwickeln sollte, so ist mit einer Öffnung des Strommarktes auf der regionalen und lokalen Verteilnetzebene in den nächsten Jahren nicht zu rechnen. Trotzdem wird aber der Einsatz von DEA zunehmen, sei dies um zentrale Grossanlagen, die aus Altersgründen still gelegt werden, zu ersetzen oder um dem Bedarf an Elektrizität aus erneuerbarer Energie gerecht zu werden.

Die Netzbetreiber werden unabhängig vom Stand der Öffnung der Netze zunehmend interessiert sein, möglichst viel Elektrizität aus erneuerbarer Energie in ihrem Verteilnetz einzukaufen, um den Bedarf ihrer Kunden an Ökostrom decken zu können, ohne dafür Durchleitungsentschädigungen an vorgelagerte Netzbetreiber entrichten zu müssen. Die Netzbetreiber werden daher darauf hinwirken, dass stillgelegte DEA, wie z.B. Kleinwasserkraftwerke, wieder in Stand gesetzt und in Betrieb genommen werden oder dass bisher nicht genutzte vorhandene Energiequellen, wie Wasser, Wind, Sonne, Biogas und Holz neu vermehrt genutzt werden.

Die Zunahme der DEA ist nicht von der Entwicklung eines geöffneten Strommarktes abhängig, sondern vom Bedarf für den Ersatz von still zu legenden zentralen Grossanlagen und von der Nachfrage der Endverbraucher nach Elektrizität aus erneuerbarer Energie.

3.2. MÖGLICHE TECHNISCH UND BETRIEBLICHE SITUATION

3.2.1. Generell

Der zukünftig erwartete vermehrte Einsatz von DEA wird den Ausbau und den Betrieb der Verteilnetze nachhaltig beeinflussen. Im folgenden werden die diesbezüglichen möglichen oder vorstellbaren technischen und betrieblichen Situationen aufgeführt und zugehörige Fragen aufgezeigt.

3.2.2. Integration der DEA in die Energieversorgung

Mit der Zunahme der DEA wird die Verfügbarkeit der damit erzeugten Energie grösser. D.h. die von den Netzbetreibern für DEA Ausfälle bereit zu stellende Energie- und Leistungsreserven werden nur noch einen Teil der gesamten DEA betragen. Dabei stellt sich die Frage nach

- der Verfügbarkeit der einzelnen DEA und
- der optimalen Reservehaltung durch den Netzbetreiber.

DEA, die mit erneuerbaren Energien wie Wasser von Flüssen, Wind und Sonne betrieben werden, liefern elektrische Energie, wenn die Primärenergie vorhanden ist. Diese Produktion muss nicht identisch sein mit dem Elektrizitätsbedarf der elektrisch nahe gelegenen Verbraucher. Daher wird zusammen mit diesen DEA auch der Einsatz von Energiespeichern zunehmen, um die elektrische Energie bei Bedarf zur Verfügung zu haben. Als Alternative zu den Energiespeichern kann die aus erneuerbaren Energien gewonnene elektrische Energie auch ins Netz eingespeist werden, um an Orten verbraucht zu werden, an denen zur entsprechenden Zeit keine Elektrizität aus erneuerbaren Energien verfügbar sind, aber gewünscht wird. Dabei stellen sich die folgenden Fragen:

- Wie wirken sich die Einspeisungen auf den Lastfluss aus, kommt es zur Lastflussumkehr, müssen die Regelungen der Transformatorstufensteller in den Unterwerken der neuen Situation angepasst werden?
- Könnte mittels einem Ringnetz oder einem vermaschten Netz gezielt der Lastfluss gesteuert werden oder ist sogar der Einsatz von FACDS zur Steuerung des Lastflusses notwendig?

3.2.3. Energiemanagement

Durch die Zunahme der DEA auf der regionalen und lokalen Verteilnetzebene wird es möglich lokale Optimierungen bezüglich der Netzauslastung zu erreichen. Dabei wird die dezentral erzeugte elektrische Energie möglichst für die am nächsten gelegene Last verwendet. Um diese Optimierung zu erreichen, wird ein Online Energie-Management-System (EMS) erforderlich, das zum einen die dezentralen Erzeuger und zum anderen Verbrauchergruppen erfasst. Dabei werden eine grosse Anzahl von DEA mit unterschiedlichsten Produktionscharakteristiken virtuell zu einem Grosskraftwerk zusammengefasst und die elektrische Energie mittels FACDS auf dem elektrisch optimalsten Weg zu den im gesamten Verteilnetz verteilten Verbrauchern geleitet. Dies mit dem Ziel, das vorhandene Verteilnetz möglichst gut auszulasten, das heisst eine möglichst hohe Gebrauchsstundendauer zu erreichen, ohne dass die maximale Last einzelner Verbraucher zeitweise beschränkt werden muss.

Mit der Zunahme der DEA wird auch die Kommunikation und die Steuerung in den regionalen und lokalen Verteilnetzen zunehmen.

Für den optimalen Einsatz von Energiemanagementsystemen ist die Verfügbarkeit und Abrufbarkeit der von den DEA produzierten elektrischen Leistung sehr wichtig. Wind- und Solaranlagen sind stark von der Witterung abhängig. Daher werden für diese Anlagen Prognoseverfahren entwickelt werden, die die jeweilige maximal mögliche Produktion bis zu einigen Tagen im Voraus bestimmen können.

Im Zusammenhang mit dem Energiemanagement stellen sich die folgenden Fragen:

- Wie weit muss das Energiemanagementsystem auf den Betrieb der einzelnen DEA und eine allfällige Zwischenspeicherung der elektrischen Energie Einfluss nehmen?
- Ist es allenfalls möglich, dass mittels dem Energiemanagementsystem kein Einfluss auf die Produktion genommen werden muss, d.h. dass es ausreicht, wenn lediglich die Verteilung gesteuert wird, um eine optimale Ausnutzung der Netze zu erreichen?
- Welches Potential besteht zur Zeit zur besseren Auslastung der Verteilnetze?

3.2.4. Inselbildung und Inselbetrieb

Netzteile mit einem grossen Anteil an DEA können gewollt oder ungewollt in den Inselbetrieb wechseln. Der Inselbetrieb kann nur aufrecht erhalten bleiben, wenn die DEA entsprechend dem Bedarf in der Insel elektrische Leistung produzieren, d.h. die Anlagen müssen in der Lage sein, sowohl die Frequenz, die Spannung und die Wirkleistung zu regeln. Dabei stellen sich die folgenden Fragen:

- Wie muss die Konstellation der DEA in der Insel sein, um einen stabilen Betrieb zu gewährleisten?
- Welche Voraussetzungen muss die DEA erfüllen, die für die Rücksynchronisation des Inselnetzes auf das Verteilnetz verantwortlich ist?
- 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?

Der Einsatz von DEA kann auch dazu führen, dass in Teilnetzen die Produktion und der Verbrauch ausgeglichen ist, d.h. diese Teilnetze funktionieren bezüglich der Wirkleistung als Inseln. Die Elektrische Verbindung zum vorgelagerten Netz besteht nach wie vor, aber es besteht kein oder nur ein geringer Lastfluss über diese Verbindung. Dabei stellen sich die folgenden Fragen:

- Wie stabil bezüglich der Spannungs- und Frequenzhaltung ist ein solches Teilnetz im Normalbetrieb und im Fall der Trennung vom vorgelagerten Netz?
- Sind spezielle Schutzvorkehrungen zu treffen? Wenn ja, welche?

3.2.5. DC-Netze

Photovoltaikanlagen und Brennstoffzellen erzeugen Gleichspannung. Die elektrische Energie aus Windenergieanlagen wird häufig über einen Gleich- und Wechselrichter ins Verteilnetz eingespeist. Also auch dabei ist Gleichspannung vorhanden. Treten Photovoltaikanlagen, Windenergieanlagen und/oder Brennstoffzellen konzentriert in einem Gebiet auf, so können DC-Netze zur Anwendung kommen, um die Einspeisung ins Verteilnetz über einen leistungsstarken Wechselrichter anstelle von vielen kleinen Wechselrichtern zu realisieren. Treten diese

DC-Netze vermehrt auf, so werden auch zunehmend Verbraucher direkt ans DC-Netz angeschlossen werden. Diese Verbraucher können z.B. USV-Anlagen, Rechenzentren oder Tankstellen für Elektrofahrzeuge sein.

In DC-Netzen können auch elektrische Energiespeicher ohne die aufwändige Energieumwandlung eingesetzt werden.

Bezüglich den DC-Netzen stellt sich die Frage, wie gross bezüglich Erzeugung und Verbrauch müssen diese Netze sein, um einen stabilen Betrieb zu gewährleisten.

3.3. MÖGLICHE ÖKONOMISCHE SITUATION

Eine zentrale Frage ist, wie sich die Zunahme der DEA auf die Kosten im Verteilnetz auswirken wird. Müssen Netzkomponenten verstärkt werden oder können diese redimensioniert werden? Ist die Verfügbarkeit der mittels DEA erzeugten elektrischen Energie ausreichend gross, so dass die vom Verteilnetzbetreiber bereitzustellenden Leistungsreserven reduziert oder die Investitionen für Leitungsausbauten verzögert werden können? Sind die durch den Betrieb der DEA reduzierten Übertragungsverluste bezüglich den Kosteneinsparungen für den Verteilnetzbetreiber überhaupt relevant? Die Beantwortung dieser Fragen wird stark vom Zustand und der Struktur des jeweiligen Verteilnetzes abhängig sein.

Ebenfalls wird die Verfügbarkeit der elektrischen Energieversorgung ab dem Verteilnetz und die Nachfrage nach ökologisch produzierter elektrischer Energie die ökonomische Situation der DEA stark beeinflussen.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Dipl.-Ing Martin Hoppe-Kilper Uni Kassel, u.a., Integration erneuerbarer Energien und dezentrale Energieversorgung, FVS Themen 2001
- [2] Dr. Rainer Bitsch Siemens AG, u.a., Technische Anforderungen an dezentrale Versorgungsstrukturen in Europa, FVS Themen 2001
- [3] Dipl.-Phys. Norbert Lewald Stadtwerke Karlsruhe, Das EDISon Projekt, FVS Themen 2001
- [4] Prof. Dr. Jürgen Schmid Uni Kassel, u.a., Energie und Kommunikation, FVS Themen 2001
- [5] Dipl.-Ing. Kurt Rohring Uni Kassel, u.a., Prognoseverfahren zur optimalen Nutzung erneuerbarer Energien, FVS Themen 2001