

Jahresbericht 2002, 27. Februar 2003

Projekt

Zunahme der dezentralen Energieerzeugungsanlagen in Verteilnetzen

Autor und Koautoren	Dr. G. Schnyder, Dr. O. Fritz, Prof. M. Höckel, P. Mauchle, Ch Häderli
beauftragte Institution	Schnyder Ingenieure AG, HTA Biel, ABB Forschungszentrum
Adresse	Bösch 23, 6331 Hünenberg
Telefon, E-mail, Internetadresse	+41 (41) 781 51 11, gilbert.schnyder@sing.ch
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	43014/82970
Dauer des Projekts (von – bis)	1. Oktober 2001 – 31. Dezember 2003

ZUSAMMENFASSUNG

Die Ermittlung der technischen Randbedingungen zur Nutzung von dezentralen Energieerzeugungsanlagen (DEA) im Verteilnetz sowie der ökonomischen Auswirkungen des Einsatzes dieser Erzeuger für Stromverteilungsunternehmen sind die generell mit dem Projekt verfolgten Ziele.

Während des Jahres 2002 sind folgende Aktivitäten ausgeführt worden: Erarbeiten der Szenarien für die aktuelle und die mögliche zukünftige Situation der DEA; Definition und Auflistung der technischen Rahmenbedingungen für den vermehrten Einsatz von dezentralen Erzeugungsanlagen in Verteilnetzen; Beschaffung von realen Netzdaten damit die Effekte der Zunahme der DEA möglichst real simuliert werden können; Gewinnen eines Überblick über ähnliche nationale und internationale Projektaktivitäten; Bestimmung der Softwaretools für die Ausführung von Simulationen; Definition der Modelle für die Simulation der DEA im Verteilnetz; Durchführung erster Beispiele für die Simulation der Zunahme der DEA mit realen Netzen.

Für die Simulationen stehen dem Forschungsprojekt folgende Netze zur Verfügung: Ausschnitte der Mittel- und Niederspannungsnetze des Stadtnetzes von Zürich; Mittelspannungsnetz einer Industrieregion im Kanton Aargau; Mittelspannungsnetz mit Kleinstadt und ländlichem Gebiet im Gebiet des Aargauischen Elektrizitätswerkes; Ländliches Mittelspannungsnetz des oberen Emmentals der BKW Energie AG; Mittelspannungsnetz der Stadt Biel. Die Simulationen werden mit der Software *DigSilent* und nach Bedarf mit *Nepplan2000* durchgeführt.

Folgende Szenarien sind an einem ersten Testnetz simuliert und beurteilt worden: Lastflussberechnung mit und ohne dezentraler Einspeisung, Überprüfung der Schutzkoordination, Stabilität des Netzes, Analyse des Oberwellenspektrums der Spannungen. Die erzielten Resultate werden im Rahmen der weiteren Projektarbeiten mit den konkreten Netzen weiter diskutiert.

Im Rahmen der ausgeführten Aktivitäten sind Kontakte zu verschiedenen Elektrizitätswerken aufgenommen worden. Resultate ähnlicher internationaler Projekte werden in die Projektarbeiten miteinbezogen.

Projektziele

Die Ermittlung der technischen Randbedingungen zur Nutzung von dezentralen Energieerzeugungsanlagen (DEA) im Verteilnetz sowie der ökonomischen Auswirkungen des Einsatzes dieser Erzeuger für Stromverteilungsunternehmen sind die generell mit dem Projekt verfolgten Ziele. Die zu erreichenden Resultate der Projektarbeiten können in die folgenden spezifisch technischen und ökonomischen Zielsetzungen unterteilt werden:

- Auflisten der notwendigen Monitoring-, Mess- und Regelmöglichkeiten zum dauernden Einsatz dezentraler Energieerzeuger in Verteilnetzen.
- Vergleich von Regelkonzepten, die den Betrieb von dezentralen Energieerzeugern sowohl im Insel- als auch im Netzbetrieb störungsfrei zulassen.
- Aufzeigen der Möglichkeiten einer unterbrechungsfreien Stromversorgung durch den Einsatz von dezentralen Erzeugungsanlagen.
- Auflisten der Folgen eines Verbunds mehrerer verteilter Energieerzeuger auf die Stabilität des Verteilnetzes.
- Herauskrystallisieren von Aussagen zur Notwendigkeit neuer Netzstrukturen und -elemente.
- Entwicklung eines Gesamtkonzeptes zur Qualitätssicherung im Verteilnetz mit reduzierter Redundanz.
- Aufzeigen des Mehrwerts für den Besitzer eines Energieerzeugers durch verbesserte Nutzungsstrategien.
- Herausarbeiten des Nutzens aus der Verwendung mehrerer Energieerzeuger auf Verteilnetzebene für einen Stromverteiler für die Spitzenlastbrechung und die Nutzung der Wärmeproduktion.
- Aufzeigen der Auswirkungen der Netzbenutzungsentschädigung auf den ökonomischen Nutzen verteilter Energieerzeugung.

Die Projektziele für das Jahr 2002 sind wie folgt definiert worden:

- Erarbeiten der Szenarien für die aktuelle und die mögliche zukünftige Situation der DEA;
- Definition und Auflistung der technischen Rahmenbedingungen für den vermehrten Einsatz von DEA;
- Beschaffung von realen Netzdaten damit die Effekte der Zunahme der DEA möglichst real simuliert werden können;
- Gewinnen des Überblick über ähnliche nationale und internationale Projektaktivitäten;
- Bestimmung der Softwaretools für die Ausführung von Simulationen;
- Definition der Modelle für die Simulation der DEA im Verteilnetz;
- Durchführen erster Beispiele für die Simulation der Zunahme der DEA mit realen Netze;
- Aufbau von Kontakten auf nationaler und internationaler Ebene.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Erarbeitung von Szenarien betreffend die aktuelle und die mögliche zukünftige Situation von DEA

Dezentrale Erzeugungsanlagen werden aktuell zur Nutzung von erneuerbaren Energiequellen, zur Reduktion des Strombezuges aus dem Netz und auch zusammen mit der Wärmeproduktion eingesetzt. Bezüglich der Last in einem Verteilnetz wirkt sich der Einsatz von DEA als Lastreduktion aus. Die ökonomische Situation aus der Sicht der Betreiber von DEA und aus der Sicht der Netzbetreiber ist unterschiedlich. Der Betreiber von DEA ist bestrebt, die Kosten für die elektrische Energie zu reduzieren. Diese Kosteneinsparung, d.h. der Ertrag aus dem Betrieb der DEA, setzt sich zusammen aus der Reduktion der Kosten für den Energiebezug und dem Ertrag aus der Rücklieferung von elektrischer Energie. Für den Netzbetreiber bringt der Einsatz von DEA keine unmittelbaren Erträge, hat er doch das Verteilnetz und die Leistungsbereitstellung so zu gestalten, dass ein sicherer Betrieb auch bei der Nichtverfügbarkeit der DEA gewährleistet ist. Die DEA können dem Netzbetreiber zur Reduktion der Leistungsspitzen in seinem Netz dienen. Der Netzbetreiber kann mit der Übernahme der rückgespeisten Elektrizität aus erneuerbarer Energie „Ökostrom“ als Produkt anpreisen.

Die Erarbeitung von Szenarien für die zukünftige Situation der DEA muss die mögliche Entwicklung des Strommarktes sowie die mögliche technische und betriebliche Situation von Verteilnetzen mit dem Umfeld des vermehrten Einsatzes von DEA berücksichtigen. Die Überlegungen zur Entwicklung des Strommarktes führen zum Schluss, dass die Zunahme der DEA nicht von der Entwicklung eines geöffneten Strommarktes abhängig ist, sondern neben weiteren sicher auch von der Nachfrage der Endverbraucher nach Elektrizität aus erneuerbarer Energie.

Mit der Zunahme der DEA wird die Verfügbarkeit der Leistung aus DEA zunehmen, so dass die Reservierung der Netzbetreiber nicht mehr den Ausfall sämtlicher DEA in seinem Netz abdecken muss. Mit dem Einsatz von Energiemanagementsystemen werden die DEA bezüglich Netzauslastung und Produktion optimal eingesetzt. Dazu sind neu auch Prognoseverfahren für den Einsatz von DEA mit witterungsabhängiger Primärenergie, wie Photovoltaik- oder Windenergieanlagen mit zu berücksichtigen. Ist z.B. in einem Teilgebiet ausreichend Leistung aus DEA vorhanden, so können Teilnetze auch als Inseln betrieben werden. Treten in einem Gebiet konzentriert Windenergie-, Photovoltaik- oder Brennstoffzellen-Anlagen auf, so könnten sich allenfalls Gleichstromnetze entwickeln, an denen elektrische Speicher und Verbraucher direkt angeschlossen werden.

Berücksichtigung von technischen Rahmenbedingungen

Mit der Beschreibung der möglichen zukünftigen technischen und betrieblichen Situation sind Fragestellungen formuliert, die mittels Simulationen an realen Netzen beantwortet werden sollen. Zu berücksichtigen sind die Rahmenbedingungen, welche auch bei einer Zunahme der DEA aus technischer Sicht einzuhalten sind. Diese Rahmenbedingungen beinhalten:

- die technischen und betrieblichen Bestimmungen für den Betrieb von DEA im Verteilnetz;
- die Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen;
- die Beurteilung von Netzzrückwirkungen;
- die Vermeidung unzulässiger Rückwirkungen auf die Tonfrequenz-Rundsteuerungen.

Die Einhaltung der Rahmenbedingungen bei der Zunahme von DEA in verschiedenen Netzkonfigurationen ist mittels der Simulation von verschiedenen Arten von Ankopplungen unterschiedlicher DEA zu prüfen. Dabei sind jeweils die Produktionsgrenzen für die Einhaltung der Rahmenbedingungen zu ermitteln.

Ankoppelung von DEA an das Verteilnetz

Bei der Beurteilung der Situation von dezentralen Erzeugungsanlagen ist weniger die Produktionsart, als die Ankopplung an das Verteilnetz zu berücksichtigen. Bezüglich der Ankopplung werden für die weiteren Projektarbeiten die folgenden Varianten betrachtet (siehe Fig. 1):

- Asynchrongenerator: kleinere Wasserkraftwerke, kleinere Windkraftwerke, konventionelle Wärmekraftkopplungsanlagen;
- Synchrongenerator: Wasserkraftwerke, Windkraftwerke;
- Elektronische Ankopplung mittels DC/AC-Konverter oder AC/AC-Konverter: Photovoltaik-Anlagen, Brennstoffzellenkraftwerke, Mikroturbinen, Gasturbinen, Windkraftwerke;

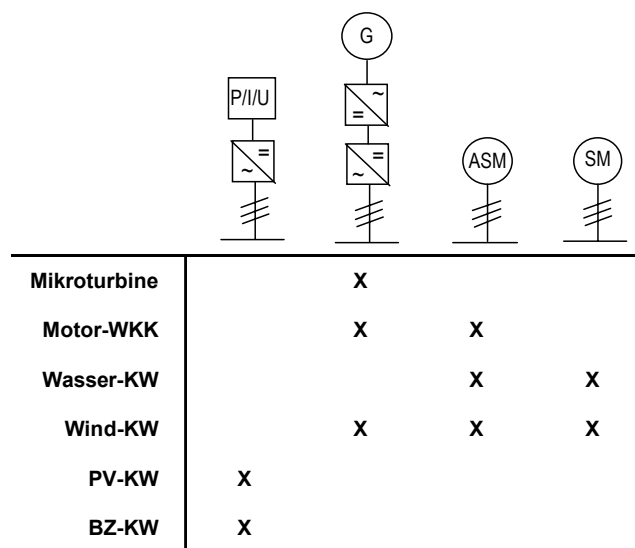


Fig. 1 - Netzanbindungstypen der eingesetzten DEA

Im Gegensatz zur Energieerzeugung in grossen zentralen Kraftwerken, in welchen ausschliesslich Synchronmaschinen eingesetzt werden, kann ein dezentraler Kraftwerkspark aus einer Vielzahl verschiedener Erzeugereinheiten zusammengesetzt sein. Photovoltaikanlagen (PV-KW) und Brennstoffzellenkraftwerke (BZ-KW) können aufgrund ihres Charakters als Gleichstromquellen betrachtet werden, deren Strom mittels Wechselrichtern an das Netz angepasst wird. Bei den anderen Kraftwerkstypen werden die rotierenden Maschinen zunehmend über elektronische Konverter mit dem Netz verbunden. Durch Entkopplung der Turbinendrehzahl und der Netzfrequenz kann die Effizienz der Energieumwandlung besonders im Teillastbetrieb massgeblich gesteigert werden.

Hinsichtlich der Beurteilung der Einsatzmöglichkeiten der einzelnen DEA in den zu untersuchenden Netzen wird eine Vielzahl von Kriterien beurteilt:

- energiewirtschaftlicher Nutzen, in welchem neben den Produktionskosten auch Planbarkeit, Gleichförmigkeit und Ausfallhäufigkeit zusammengefasst wird;
- lokale Verfügbarkeit der Primärenergie;
- lokale Nutzbarkeit der Koppelprodukte;
- lokale Emission und Immissionsvorschriften;
- Anforderungen an die DEA bezüglich des Netzbetriebes.

Die DEA mit erneuerbarer Primärenergie, wie Photovoltaik, Windkraftwerke und Wasserkraftwerke, wurden bezüglich dem Stand der Technik und der Verbreitung in der Schweiz beschrieben.

Beschaffung von realen Netzdaten

Für die Simulationen stehen dem Forschungsprojekt zur Zeit folgende Netze zur Verfügung:

- Ausschnitte der Mittel- und Niederspannungsnetze des Stadtnetzes von Zürich;
- Mittelspannungsnetz einer Industrieregion im Kanton Aargau;
- Mittelspannungsnetz mit Kleinstadt und ländlichem Gebiet im Gebiet des Aargauischen Elektrizitätswerkes;
- Ländliches Mittelspannungsnetz des oberen Emmentals der BKW Energie AG;
- Mittelspannungsnetz der Stadt Biel.

Softwaretools für die Simulation von Szenarien

Simulationen werden mit der Software *DigSilent* und nach Bedarf mit *Nepplan2000* durchgeführt. Für den Einsatz von *DigSilent* im Rahmen des Forschungsprojektes sprechen folgende Argumente:

- Das Programmpaket integriert sämtliche Funktionalitäten, welche für die umfassende Bewertung von Netzen notwendig ist, wie z.B. Lastflussberechnungen, Kurzschlussstromberechnungen, Momentanwertanalyse, Effektivwertanalyse und Oberschwingungsanalyse (siehe Fig. 2). Folglich sind die Netzdaten nicht an verschiedenen Orten mehrfach zu pflegen;
- Die HTA Biel ist bereits in Besitz einer unbeschränkt nutzbaren Lizenz;
- Durch bereits durchgeführte Projekte ist die notwendige Erfahrung im Umgang mit der Software an der HTA Biel bereits vorhanden.

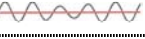
Störungsart/Einfluss		Simulationsart			Anlage		
		Momentanwert	Effektivwert	Fourieranalyse	Asynchronmaschine	Synchronmaschine	Umrichter
Oberschwingungen		X		X	X	X	X
U-schwankungen/Flicker			X		X	X	X
U-einbruch			X		X	(X)	
Spannungsanhebung			X		X	X	X
Unterbrechung		X	X		X	X	X
Einkerbungen		X					X
transiente Übersp.		X			(X)	(X)	(X)
Frequenzänderungen			X		nur im Inselbetrieb		
Resonanzerscheinungen		X					X
Unsymmetrie			X		(X)	(X)	X
Kurzschlussstrom		X	X		X	X	X
Schutzkoordination		X	X		X	X	X

Fig. 2 - Übersicht über die möglichen Wechselwirkungen zwischen DEA's und Netz und Simulationswerkzeug zur Qualifizierung und Quantifizierung derselben.

Beispielnetz für die Prüfung der Ankopplung der dezentralen Kraftwerke an das Verteilnetz

Diverse Kraftwerksmodelle sind aufgebaut und das Zusammenspiel dieser Kraftwerke im Netzverbund untersucht worden. Als Testtopologie diente ein Mittelspannungsnetz mit einer Transformatorenstation und diversen Lasten. Das Verbundnetz und ein Synchrongenerator – z.B. Wasserkraftwerk - bilden die Einspeisungen in die Mittelspannungsebene. In die Niederspannungsebene speisen eine Asynchronmaschine – z.B. Windenergiekonverter - sowie ein Pulsweitenmodulierter Umrichter ein (siehe Fig. 3).

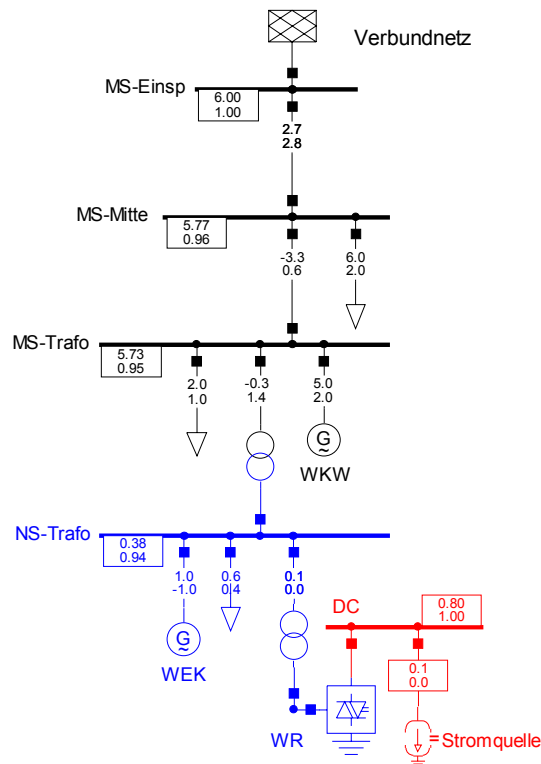


Fig. 3 - Lastflussberechnung mit der Testtopologie mit Berücksichtigung der dezentralen Einspeisungen

Ergebnisse von Simulationen am Beispielnetz

Lastflussberechnung mit und ohne dezentraler Einspeisung

Die Lastflussberechnungen zeigen, inwieweit die dezentralen Einspeisungen zur Spannungsstützung eingesetzt werden können. Die Simulationsergebnisse beweisen, dass sich der unvermeidbare Spannungsverlust im zentral versorgten Mittelspannungsnetz durch DEA beliebig kompensieren lässt.

Überprüfung der Schutzkoordination

Mittelspannungsnetze werden häufig mittels Überstromzeitschutzrelais abgesichert, welche in Richtung des Einspeisepunktes zeitlich gestaffelt werden. Die Simulationen zeigten, dass die Wirksamkeit dieses Schutzkonzeptes durch dezentrale Einspeisungen weitgehend unbeeinflusst bleibt, solange die Verbundnetzeinspeisung vorhanden ist und der Anlageninterne Schutz die DEA im Fehlerfall unverzüglich vom Netz trennt. Bezüglich eines gewollten Inselbetriebes ist die Anpassung des Schutzkonzeptes zwingend.

Stabilität des Netzes

Im Netzparallelbetrieb der DEA werden die Spannung und Frequenz durch die im Vergleich zu den DEA leistungsstarke Netzeinspeisung gehalten, sodass sich keine zusätzlichen Stabilitätsprobleme

ergeben. Beim Übergang in den Inselbetrieb kann die Stabilität nur gewährleistet werden, wenn an geeigneten DEA entsprechende Regelungen eingebaut werden. Zudem ist es notwendig, angemessene Leistungsreserven verfügbar zu halten um die Schwankungen der Netzgrößen - Frequenz, Spannung - zu minimieren.

Analyse des Oberwellenspektrums der Spannungen

Wenn sich im Verteilnetz grössere Lasten oder Einspeisungen befinden, welche starke Stromober-schwingungen aufweisen, können diese Ströme über den Leitungen Spannungsabfälle hervorrufen, die wiederum die Kurvenform der Spannungen beeinflussen. Die Simulationsrechnungen legen dar, dass durch die DEA der Oberschwingungsgehalt der Spannungen reduziert werden kann.

Die beschriebenen Effekte werden im Rahmen der weiteren Projektarbeiten mit den konkreten Netzen weiter diskutiert.

Nationale Zusammenarbeit

An den Projektaktivitäten sind Schnyder Ingenieure AG, das ABB Forschungszentrum in Dättwil sowie die Berner Fachhochschule HTA Biel involviert. Als mitfinanzierende und in die Projektarbeiten mit integrierte Partner partizipieren das Elektrizitätswerk der Stadt Zürich, das Elektrizitätswerk der Landschaft Davos und die AEK Energie AG Solothurn.

Im Rahmen der ausgeführten Aktivitäten sind Kontakte zu weiteren Elektrizitätswerken wie das Aargauische Elektrizitätswerk, das Elektrizitätswerk der Stadt Biel, die Bernischen Kraftwerke AG und die Kraftwerke Dala AG aufgenommen worden.

Internationale Zusammenarbeit

Auf internationaler Ebene sind derzeit keine Projektaktivitäten vorgesehen. Allerdings werden die Resultate ähnlicher Projekte aus dem Ausland in die Projektarbeiten miteinbezogen.

Im Hinblick auf einen Wissenstransfer hat ein erstes Gespräche mit Prof. Dr. E. Handschin von der Universität Dortmund stattgefunden.

Bewertung 2002 und Ausblick 2003

Mit den Projektaktivitäten des Jahres 2002 sind die Grundlagen für die Beantwortung der Fragestellungen bezüglich den Auswirkungen der Zunahme der DEA in elektrischen Verteilnetzen erarbeitet worden.

Eine Auswahl der mit dem Forschungsprojekt im Jahr 2003 generell zu erreichenden Resultate sind:

- Aussagen zur generellen Veränderung der Betriebsführung, der Betriebskonzepte und der Ausbauplanung von Verteilnetzen unter dem Aspekt der vermehrten dezentralen Produktionseinheiten.
- Definition einer Plattform für die zukünftigen Forschungsaktivitäten
- Aussagen zu möglichen Visionen betreffend neuen Netzkonzepten

Die für das Jahr 2003 geplanten Forschungsprojektaktivitäten sollen aufgrund von Simulationen an realen Verteilnetzen mit Fallbeispielen die folgenden konkreten Fragestellungen behandeln:

- Wie und in welchem Umfang werden mit der zunehmenden dezentralen Einspeisung die Übertragungsnetze entlastet?
- Wieweit können mit dem wachsenden Anteil einer dezentralen Energieerzeugung und der damit einhergehenden Einspeisung in das Mittel- oder Niederspannungsnetz Netzkosten auf den vorgelegerten Netzebenen vermieden werden?
- Welche effektiven Netzkosten können gespart werden?
- Welche Verlusteinsparungen sind durch den Einsatz von dezentralen Erzeugungsanlagen möglich?
- Wie verändert sich die Struktur und die Führung des Verteilnetzes durch den zunehmenden Einsatz der dezentralen Erzeugung?
- Welche neuen Netzkonzepte sind auf der Verteilnetzebene möglich?
- Ist ein partieller, eventuell zeitlich begrenzter Inselbetrieb mit dem Einsatz von DEA zu erwarten?
- Sind besondere Betriebsoptimierungen in den Verteilnetzen durch den Einsatz von DEA möglich?
- In welchem Rahmen erhöht sich die Verfügbarkeit von Verteilnetzen?
- Welche bekannten Speichermedien elektrischer Energie werden mit dem Einsatz von DEA interessant für eine breitere Anwendung und Nutzung?
- Wie kann die durch den Einsatz von DEA entstehende Situation einer möglichen Lastflussumkehr in Verteilnetzen betrieblich gehandhabt werden?
- Ergeben sich durch den Einsatz der DEA Möglichkeiten für den Aufbau von DC-Netzen?
- Ist mit dem vermehrten Einsatz von DEA der Einsatz von FACDS in Verteilnetzen ableitbar?
- Welcher Einfluss ergibt sich auf die Gesetzgebung und welche notwendige Änderung des Vorschriftenwesens könnten sich allenfalls ergeben?
- Wie weit soll ein Energiemanagementsystem auf den Betrieb der einzelnen DEA und eine allfällige Zwischenspeicherung der elektrischen Energie Einfluss nehmen?
- Ist es allenfalls möglich, dass mittels 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?

Referenzen

- [1] M. Höckel: **Der energiewirtschaftliche Wert der dezentralen Produktion**, Bulletin SEV/VSE 89 (1998), Nr. 18
- [2] D. Brunner, G. Schnyder, H. Glavitsch: **Lastmodell für das Verteilnetz**, Bulletin SEV/VSE 85 (1994), Nr. 1
- [3] G. Schnyder: **Optimierung des Verteilnetzes durch Blindleistungskompensation**, Bundesamt für Energie, 1995
- [4] Oliver Fritz, Alec Stothert, Marco Suter: **Optimising Distributed Power Production Energy Technologies for a Sustainable Future**, Paul Scherrer Institut, Würenlingen, 2000
- [5] Marco Suter: **Microturbines: a new generation for small power**, Alternative Energy Solutions, ABB Transmission & Distribution Ltd, Zürich, 2000