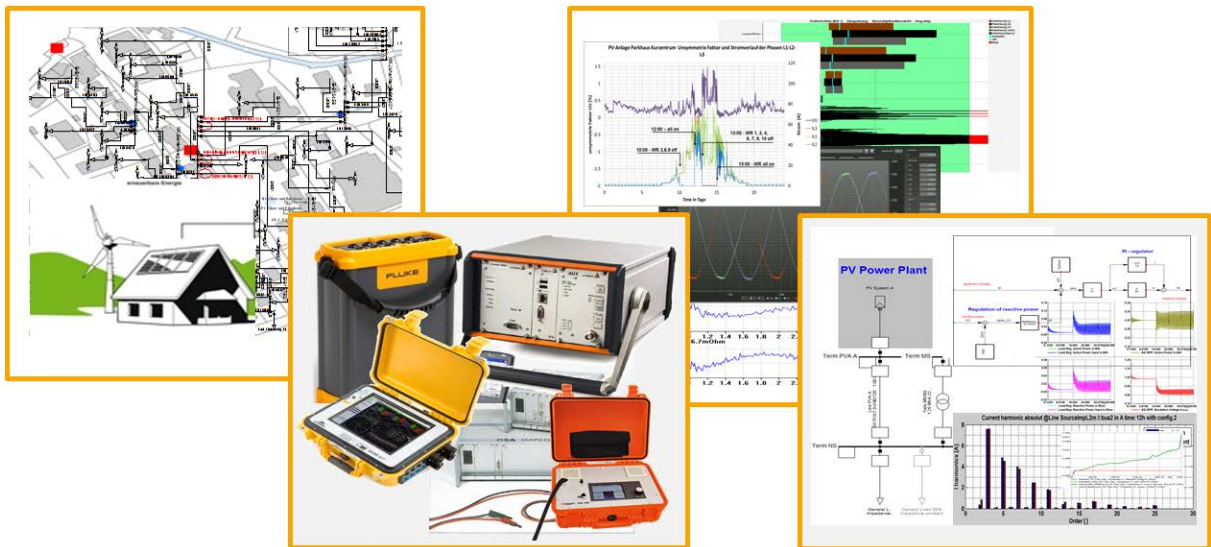




Schlussbericht 29.09.2016

Swinging Grids

Messung und Modellierung von Schwingungsphänomenen in Verteilnetzen





Berner
Fachhochschule

Datum: 29.09.2016

Ort: Nidau

Auftraggeberin:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Netze
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Kofinanzierung:

AEW Energie AG, CH-5001 Aarau
BKW Energie AG, CH-3000 Bern 25
Energie Service Biel/Bienne, CH-2504 Biel
Energie Thun AG, CH-3600 Thun
Repower AG, CH-7742 Poschiavo
EWZ, CH-8050 Zürich

Auftragnehmer/in:

Berner Fachhochschule
Technik und Informatik (BFH-TI)
Quellgasse 21
CH-2503 Biel
www.ti.bfh.ch

Projektleiter/in:

Prof. Michael Höckel, Berner Fachhochschule, michael.hoeckel@bfh.ch

Autor/in:

Andreas Gut, Berner Fachhochschule, andreas.gut@bfh.ch
Prof. Michael Höckel, Berner Fachhochschule, michael.hoeckel@bfh.ch
Niklaus Schneeberger, Berner Fachhochschule
Dominik Amrein, Berner Fachhochschule
Stefan Schori, Berner Fachhochschule, stefan.schori@bfh.ch

BFE-Bereichsleitung: Dr. Michael Moser, michael.moser@bfe.admin.ch

BFE-Programmleitung: Dr. Michael Moser, michael.moser@bfe.admin.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/501071-01

Bundesamt für Energie BFE

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. +41 58 462 56 11 · Fax +41 58 463 25 00 · contact@bfe.admin.ch · www.bfe.admin.ch

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.



Zusammenfassung

Dezentrale Einspeisungen, elektrische Energiespeicher und steuerbare Lasten stellen neue Anforderungen an die Verteilnetze. Einige Auswirkungen sind bereits heute gut messbar, die Grenzen der Belastbarkeit sind jedoch wenig transparent. Eine optimale Nutzung der Netze setzt genaue Kenntnisse der Vorgänge bei Verbrauchern und Erzeugern voraus. In diesem Projekt wurden kritische Netze erfasst, vorhandene Auswirkungen gemessen und die Grenzen der Belastbarkeit mittels Simulationen auf der Basis von geeigneten Modellen aufgezeigt. Mithilfe der gewonnenen Erkenntnisse wurden Empfehlungen in Bezug auf den Netzanschluss von modernen Kundenanlagen erarbeitet.

Am Kick-off vom 6. August 2014 wurde das Projekt gemeinsam mit allen involvierten Projektpartnern (AEW Energie AG, BKW Energie AG, Energie Service Biel/Bienne, Energie Thun AG, ewz und Repower AG) gestartet. Es handelt sich dabei um sechs Verteilnetzbetreiber, die relativ gut über die Schweiz verteilt sind und unterschiedlich strukturierte und belastete Verteilnetze betreiben.

In der ersten Phase wurde gemeinsam mit jedem Verteilnetzbetreiber ein Teilnetz evaluiert, welches im Rahmen des Projekts gemessen, modelliert und mittels Szenarienanalysen untersucht werden sollte. Von der BFH ist im Voraus eine Liste mit Kriterien zusammengestellt worden, die bei der Auswahl der zu untersuchenden Verteilnetze als Grundlage diente. Daraus sind die für die Messungen und Modellierungen relevanten Netze abgeleitet worden. Die Auswahl umfasste einen Mix von ländlichen, städtischen und industriellen Netzen inklusive eines Netzes, das aufgrund seiner hohen PV-Produktion als „PV-Kraftwerk“ angesehen werden kann. Eine von der BFH erstellte Beschreibung der für die Messungen verfügbaren Messgeräte diente bei der Auswahl der geeigneten Geräte für die richtigen Messstellen.

In den sechs von den Verteilnetzbetreibern eingebrachten Netzen wurden anschliessend ab März 2015 flächendeckende Messkampagnen durchgeführt. Das Team der BFH hat in den Netzen der Partner eine Vielzahl von Power-Quality-Messgeräten installiert, die jeweils während zwei Wochen die Spannungen und Ströme an den Messpunkten aufgezeichnet haben. Anhand der Messdaten kann bei der Auswertung erkannt werden, welche Arten von Schwingungen im gemessenen Stromnetz an welchen Punkten auftreten. Bei ausgewählten Messungen und Analysen wurde das Team der BFH von der Fachhochschule Westschweiz (HES-SO Wallis) und von der Technischen Universität Dresden unterstützt. Anfang September 2015 wurde die Messreihe beendet. Alle sechs Netze der Partner konnten erfolgreich ausgemessen werden.

Die untersuchten Netze wurden mit einem Netzanalysetool statisch modelliert. Die Verifikation mittels der Messdaten stellte sicher, dass die Modelle nach einem iterativen Anpassungsprozess möglichst genau mit der Realität übereinstimmen. Eine Simulation des dynamischen Verhaltens wurde für drei der sechs Netze vorgenommen. Dazu sind während des Projekts die exakten Modelle von Einzelstrangreglern, regelbaren Ortsnetztransformatoren (RONT) und Wechselrichtern genau nachgebildet worden. Definierte Szenarien wurden an den Modellen simuliert und miteinander verglichen, um beispielsweise den optimalen Einsatz von möglichen Regelungen im Niederspannungsnetz oder das Verhalten von Wechselrichtern bei sich ändernder frequenzabhängiger Netzimpedanz zu untersuchen.



Während des Projekts ist zu jedem der sechs Arbeitspakete (Work Packages) ein Bericht entstanden, welche die Analysen der Messkampagnen sowie die Ergebnisse sowohl aus den statischen als auch aus den dynamischen Modellierungen und Simulationen dokumentieren. Dazu kommt ein zusätzlicher Bericht, welcher vor dem Projekt verfasst wurde, um den Status Quo des Forschungsgebiets zu erläutern. Mit Ausnahme des Berichts zur Auswahl der Netztopologien sind alle Dokumente gemeinsam mit dem Schlussbericht öffentlich zugänglich.

Das Projekt „Swinging Grids“ hat den gesamten Frequenzbereich von quasi 0 Hz bis 150 kHz beleuchtet. Im Allgemeinen sind die Niederspannungsnetze auch mit der Integration verschiedener Spannungsregler oder Wechselrichter mit Regelfunktionen stabil. Es wurde gezeigt, dass subsynchrone Schwingungen zwar messbar sind, die dabei auftretenden Instabilitäten aber kaum mit diesen korrelieren. Instabilitäten treten vor allem durch ein ungünstiges Zusammenspiel von Schwingungen oberhalb der Grundschwingung mit der frequenzabhängigen Netzimpedanz auf. Einzelne Kundenanlagen können aufgrund einer unvorteilhaften Kombination von Regelparametern und frequenzabhängiger Netzimpedanz zu einer erhöhten Stromverzerrung bis hin zum instabilen Betrieb neigen. Dies ist abhängig von Hersteller und Typ der eingesetzten Geräte sowie von der am Anschlusspunkt vorherrschenden frequenzabhängigen Netzimpedanz. Als Schlüsselfaktor für die Stabilität der Niederspannungsnetze kann folglich die frequenzabhängige Netzimpedanz identifiziert werden. Da diese bisher wenig untersucht und der Einfluss von nichtlinearen Betriebsmitteln auf selbige wenig bekannt ist, sind derzeit nur spärlich Grundlagen vorhanden, um den Einfluss in Zukunft sinnvoll abschätzen zu können. Zudem sind aktuell verwendete Simulationsprogramme, die für die Beurteilung von Gesamtnetzfragen ausgelegt sind, noch nicht in der Lage, die Auswirkungen der nichtlinearen Geräte auf die frequenzabhängige Netzimpedanz, zusammen mit der gesamtharmonischen Charakteristik der angeschlossenen Betriebsmittel, darzustellen.

Insbesondere für Kundenanlagen mit nichtlinearer Technologie sind einige einfache Zusatzeempfehlungen formuliert worden, welche dabei helfen, kritische Netze vorgängig zu untersuchen oder nachträglich die richtigen Grössen zu beachten, um Ursachen und Lösungen für erhöhte Oszillationen oder den instabilen Betrieb eines Umrichters zu finden.

Die vorliegenden Erkenntnisse und Empfehlungen haben einerseits die Forschung weitergebracht und andererseits den Verteilnetzbetreibern geholfen, ihre Netze noch besser zu verstehen. Die Projektergebnisse wurden im Rahmen von ganztägigen Seminaren mit jedem Projektpartner separat vorgestellt. Darüber hinaus wurden Zwischenergebnisse aus einzelnen Arbeitspaketen an nationalen und internationalen Veranstaltungen präsentiert.

Das Projekt „Swinging Grids“ ist aus der Sicht der beteiligten Projektpartner ein voller Erfolg. Die erarbeiteten Ergebnisse haben den Wissenshorizont umfassend erweitert und vor allem mit den Erkenntnissen zur Netzimpedanz gezeigt, welche Hauptfaktoren zu berücksichtigen sind, um auch in Zukunft eine hohe Spannungsqualität in den Stromnetzen zu garantieren. Die Resultate werden ausserdem den akademischen Gehalt der Ausbildung von aktuellen und zukünftigen Studentinnen und Studenten auf einem hohen Level halten. Die erarbeiteten Messdaten und die verifizierten Modelle stehen in anonymer Form für weitere Untersuchungen zur Nutzung bereit.