

Zeitreihenbasierte Netzsimulation und Bewertung von SmartGrid-Ausbauoptionen für Verteilnetze

Dr. Stephan Koch, Dipl.-Ing. Andreas Ulbig, Dr. Francesco Ferrucci

Adaptricity GmbH

c/o ETH Zürich, Power Systems Laboratory (PSL)

Physikstrasse 3, 8092 Zürich, Schweiz

Tel.: +41 44 500 9245

contact@adaptricity.com – www.adaptricity.com

1. Kurzfassung

In diesem Beitrag stellen wir Netzplanungsstudien für aktiv geführte Verteilnetze vor. Die zeitreihenbasierten Netzsimulationen und Bewertungen verschiedener SmartGrid-Netzausbauoptionen werden mittels der Simulationsplattform *DPG.sim* (*Distributed Prosumer and Grid Simulation*) durchgeführt, welche von Adaptricity [1], einem Spin-Off der ETH Zürich, entwickelt und vermarktet wird. Verschiedene netzbelastende Szenarien, wie z.B. ein starker dezentraler PV-Ausbau und Elektromobilität, als auch Netzausbauoptionen, u.a. der Einsatz dezentraler Speichersysteme und regelbarer Ortsnetztransformatoren im Vergleich zum klassischen Netzausbau, können mit *DPG.sim* analysiert werden. Der Einsatz von SmartMetering-Messdaten für die Erstellung örtlich und zeitlich hochauflösender Lastflusssimulationen wird ebenfalls vorgestellt. Alle Analysen werden anhand konkreter Fallbeispiele Schweizer Verteilnetzbetreiber präsentiert.

2. Motivation

Der kontinuierliche Ausbau der Erneuerbaren Energien (EE) und das stetig wachsende Stromhandelsvolumen bringen die europäischen Stromnetze mehr und mehr an ihre Belastungsgrenzen. Während Stromhandel und Windeinspeisung vor allem die Übertragungsnetze durch hohe und fluktuierende Lastflüsse beanspruchen, erzeugt die PV-Einspeisung primär im Verteilnetz Spannungs- und Lastflussspitzen.

Generell werden Verteilnetze so ausgelegt, dass weder die maximale Erzeugung noch der maximale Verbrauch zu einer Überlastung der Netzinfrastuktur oder zu einer Verletzung von Spannungsgrenzen führt [2]. Allerdings erfordert die relativ geringe Anzahl an Volllaststunden der fluktuierenden EE [3] eine sehr großzügig dimensionierte Netzinfrastuktur bei geringer Auslastung – zumindest, wenn die maximale Einspeisung als Auslegungspunkt verwendet wird. Daher ist fraglich, ob

die aktuell angewendete Verteilnetzdimensionierung basierend auf einem theoretisch möglichen, aber praktisch nur selten bis nie auftretenden Maximalbelastungsfall (Worst Case) bei sehr hohen Anteilen fluktuierender EE weiterhin aufrechterhalten werden kann bzw. sollte.

Eine effizientere Netzdimensionierung kann durch verschiedene Optionen erreicht werden, die im SmartGrid- Kontext diskutiert werden. Die Nutzung von dezentralen Speichern, dynamischem Lastmanagement sowie Blindleistungsmanagement, also die Anpassung des $\cos(\varphi)$ -Wertes bei dezentralen Erzeugern kann netzentlastend wirken. Zusätzlich erlaubt das Erzeugungsmanagement, d.h. die zeitweilige Abregelung von Wind- und Solarstromerzeugung, eine ökonomische Optimierung zwischen der Vermeidung von Netzausbaumaßnahmen und der vollständigen Nutzung der verfügbaren EE-Einspeisung. Ebenso stehen durch SmartMetering sowohl örtlich und zeitlich hochaufgelöste Verbrauchsmessungen als auch Kommunikationsschnittstellen zum Endkunden zur Verfügung.

Für die Ausschöpfung dieser Optimierungspotenziale und deren Berücksichtigung in einer effizienteren Netzplanung sind neue Softwaretools erforderlich. Die etablierten Programme zur Netzsimulation erlauben neben einer Analyse dynamischer Vorgänge im Sekundenbereich häufig nur eine Simulation von einzelnen Einspeise- und Verbrauchssituationen. Solche Snapshot-Analysen sind allerdings ungeeignet, um das zeitliche Verhalten von EE-Einspeisung und EE-Vorhersage zusammen mit der zeitlichen Entwicklung von Speicherzuständen und Regeleingriffen im Netzbetrieb korrekt abzubilden sowie die Vor- und Nachteile innovativer Verteilnetzbetriebskonzepte zu quantifizieren.

3. Die Simulationssoftware *DPG.sim*

Die Simulationssoftware *DPG.sim* basiert auf funktionalen Modellen einzelner Erzeugungs-, Last- und Speichereinheiten auf einer (Verteil-) Netztopologie. Das charakteristische dynamische Verhalten der verschiedenen Einheiten, d.h. deren Interaktion mit dem Netz durch die Abgabe oder Aufnahme von Wirk- und Blindleistung, wird durch eine mathematische Repräsentation korrekt abgebildet und auf der Ebene einzelner Endkunden gekapselt. Da Endkunden neben Lasten auch Erzeugungs- und Speicheranlagen besitzen können, werden diese auch als *Prosumer* (engl. *Producer* und *Consumer*) bezeichnet (Abb. 1). *DPG.sim* bietet mit seinen Simulations- und Analysefunktionalitäten Netzplanern daher umfassende

Entscheidungsunterstützung bei der Auswahl geeigneter Netzerweiterungs- und Netzmodernisierungsmaßnahmen.

Die folgenden Submodelle können einem *Prosumer*-Objekt zugeordnet werden:

- Statische und dynamische Modelle (Erzeugung, Last und Speicher-Einheiten),
- Modell-Parametersätze (welche aus Wahrscheinlichkeitsverteilungen erzeugt sein können) sowie die dazugehörigen Energieverbrauchs-/zufuhr-Zeitreihen,
- SmartMeter-Modelle mit verschiedenen Optionen für gemessene Daten inklusive vereinfacht abgebildeter Kommunikationsschnittstellen sowie
- individuelle Stromtarifmodelle (fixer Tarif, Tag/Nacht-Tarif, dynamischer Tarif).

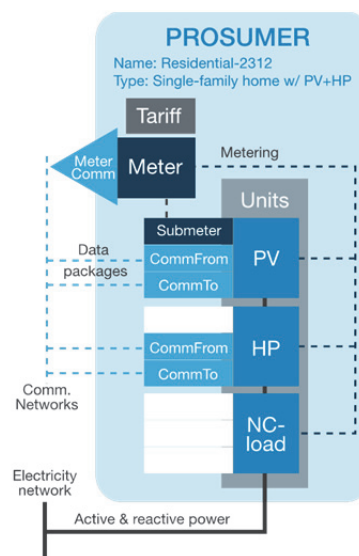


Abbildung 1: Simulationssoftware *DPG.sim* – Basis-Datenmodell.

In der Simulationsumgebung werden alle am Netz angeschlossenen *Einheiten* (Erzeugungs- und Speichereinheiten sowie Lasten) einem *Prosumer*-Objekt zugeordnet. In dieser Betrachtungsweise ist sowohl ein konventionelles Kraftwerk als auch ein konventioneller Haushalt ohne Erzeugungsanlagen ein *Prosumer*. Die in den *Prosumern* gekapselten Einheiten haben eine zeitlich veränderliche Wirk- und Blindleistungsaufnahme oder -abgabe, die in Form von Zeitreihensimulationen abgebildet wird. Hierbei wird zwischen *statischen* und *dynamischen* Einheiten unterschieden. Statische Einheiten besitzen auf der betrachteten Zeitschrittweite, z.B. 15 Minuten, keine Dynamik, d.h. keinen zeitvarianten inneren Zustand. Ihre Interaktion mit dem Netz wird somit allein durch die zugehörigen Stromabgabe-/aufnahme-Zeitreihen determiniert, die ihr Verbrauchs- oder Erzeugungsverhalten beschreiben. Beispiele für statische Einheiten sind sowohl Wind- und PV-Anlagen mit ihrer fluktuierenden Stromerzeugung als auch nichtsteuerbare Lasten. Dynamische

Einheiten besitzen zusätzlich einen inneren Systemzustand, der durch eine Zustandsgleichung dargestellt wird und z.B. einen thermischen Speicher mit inneren Temperaturen oder auch einen Energiespeicher mit Ladezustand beschreibt. Die Einheitenmodellierung basiert, mit einigen Ergänzungen in der praktischen Umsetzung, auf dem *PowerNodes*-Modellierungsansatz [4]. Weiterhin können folgende Eigenschaften in den Einheitenmodellen abgebildet werden:

- Elektrische Charakteristik (konstante Leistung, konstante Impedanz, ...),
- Blindleistungscharakteristik ($\cos(\varphi)$, $Q(P)$ - oder $Q(U)$ -Charakteristik),
- Innere Regler (Hysteres- oder PID-Regler), sowie
- Externe Eingriffsmöglichkeiten (Blockierung, Zustandsumschaltung, ...).

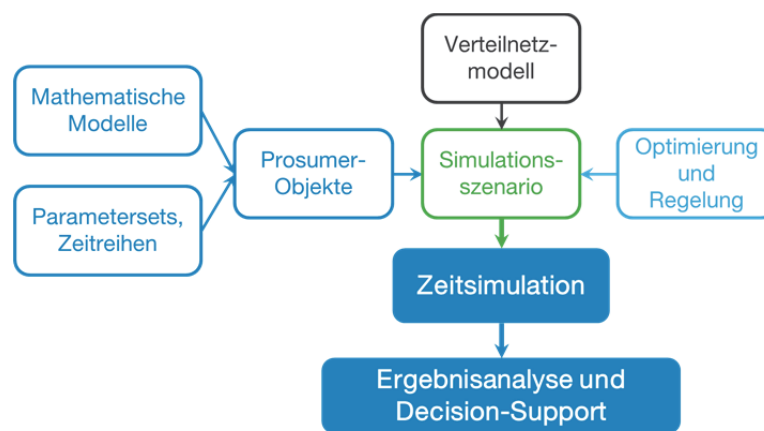


Abbildung 2: Simulationssoftware *DPG.sim* – interne Simulationsstruktur.

Durch ein effizientes Zeitreihen-Simulationskonzept können die durch Stromerzeugung, Stromverbrauch und Energiespeichereinsatz induzierten Netzbetriebsbedingungen in Simulationen verschiedener Länge, z.B. Tages-, Monats- oder Jahressimulation, abgebildet werden (Abb. 2). Somit kann *DPG.sim* (Abb. 3) sowohl für die Durchführung für Verteilnetzstudien als auch zur Entwicklung und Validierung von Betriebsstrategien für zukünftige *SmartGrids* verwendet werden.

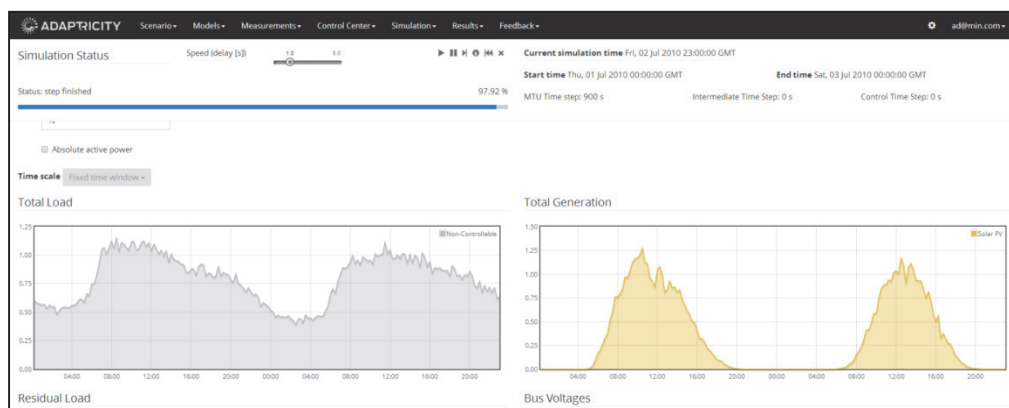


Abbildung 3: Grafische webbasierte Benutzeroberfläche von *DPG.sim*.

4. Illustrative Ergebnisse aus Netzstudien basierend auf *DPG.sim*

Integration von GIS-Datensätzen und SmartMeter-Messdaten in Netzsimulationen

Die Simulationsplattform *DPG.sim* ermöglicht die direkte Integration von bereits vorhandenen Daten aus geografischen Informationssystemen (GIS) und von SmartMeter-Messdaten in (Verteil-) Netzsimulationen. Diese Kombination aus örtlich und zeitlich hochaufgelösten Datensätzen ermöglicht qualitativ deutlich verbesserte Netzsimulations- als auch Analysefunktionalitäten.

Örtlich und zeitlich hochauflösende Lastflusssimulationen bis herunter zu der Ebene einzelner Straßenzüge können mit *DPG.sim* realisiert und auch mit hoher Detailtreue visualisiert und analysiert werden. Eine Illustration der GIS-Datenintegration in *DPG.sim* ist hier am Beispiel der Stadt Basel dargestellt (Abb. 4). Die Industriellen Werke Basel (IWB) haben ca. 40'000 SmartMeter in einzelnen Netzgebieten in Basel installiert. Die dadurch zur Verfügung stehenden Wirkleistungsmessdaten werden, kombiniert mit ergänzenden Messwerten von Unterwerken und Trafo-Stationen, für die Berechnung sehr hochauflösender Lastflusssimulationen in *DPG.sim* eingesetzt. Die Darstellung der resultierenden Lastflussmuster und hierauf aufbauende Analysen sind direkt im Simulationstool verfügbar.

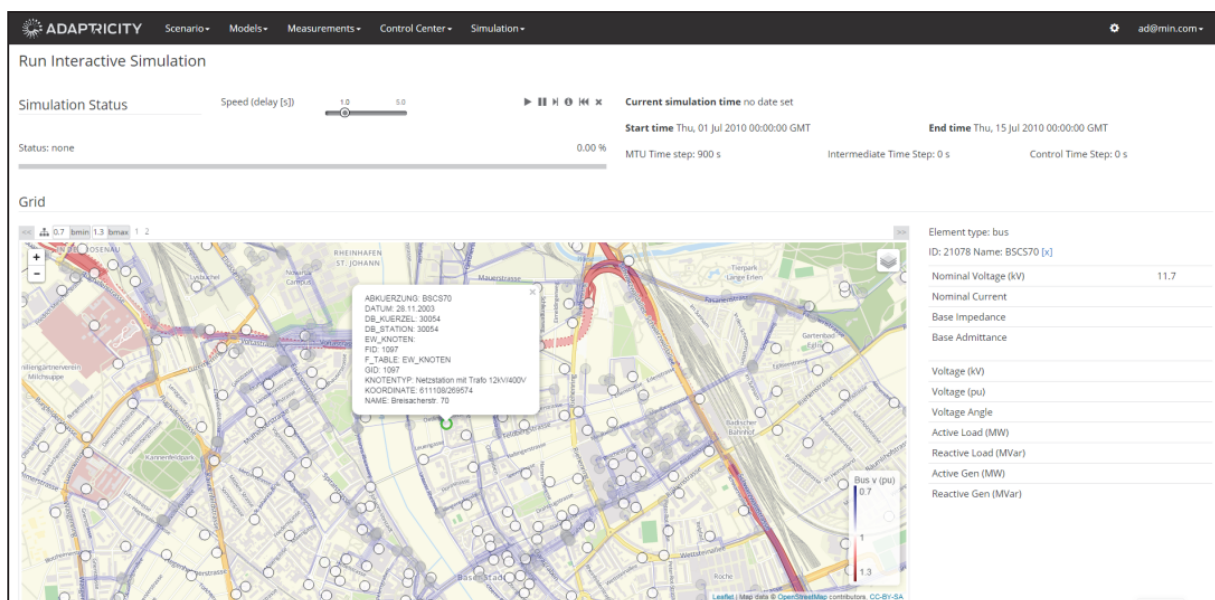


Abbildung 4: Ausschnitt des Innenstadtgebiets der Stadt Basel (inkl. Verteilnetz).

5.Simulation und Analyse der Auswirkungen des PV-Ausbaus im Verteilnetz

Für ein Verteilnetzgebiet in der Agglomeration der Stadt Zürich wurden die durch einen großflächigen PV-Ausbau entstehenden Auswirkungen auf den Verteilnetzbetrieb simuliert und analysiert. Im hier angenommenen Ausbauszenario kann an sonnigen Tagen die resultierende Wirkleistungseinspeisung der PV-Spitze zu signifikanten Spannungsproblemen an einzelnen Verteilnetzknoten führen (grösser als 110% V_0 , Abb. 5). Aufbauend auf diesem Szenario können nun klassische Netzausbau-Optionen (Leitungs- und Trafokapazitäten) mit *smarten* Netzausbau-Optionen (regelbare Ortsnetztransformatoren, Wirk- und Blindleistungsmanagement oder dezentrale Energiespeicher) verglichen werden.

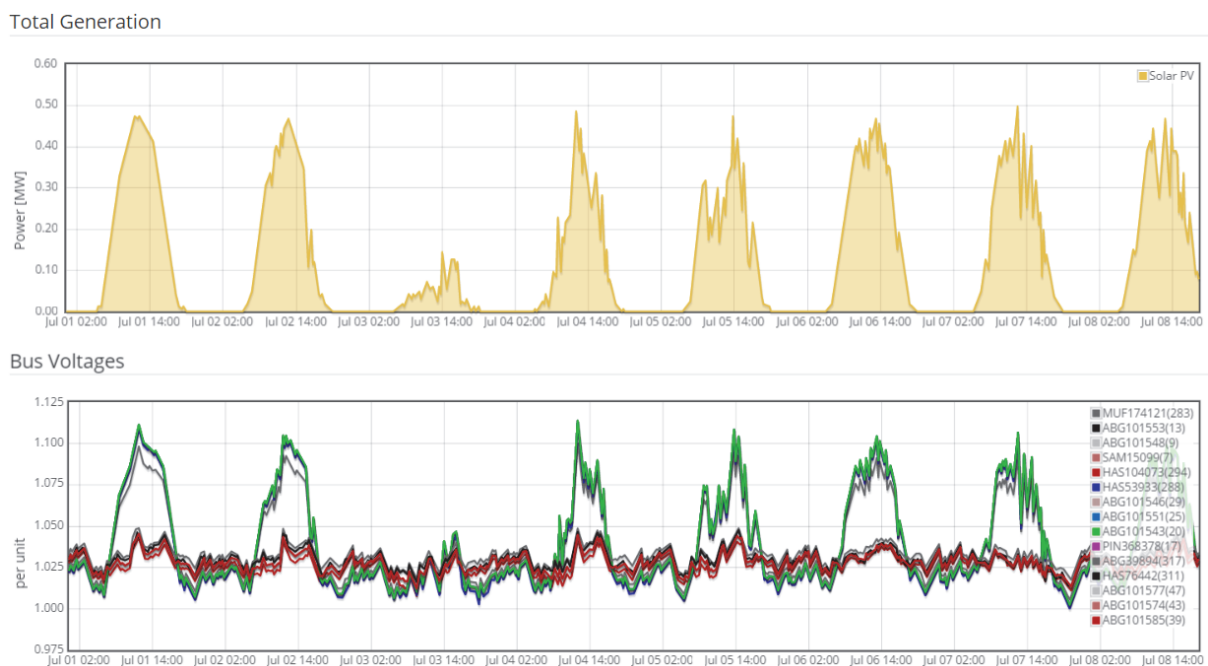


Abbildung 5: Resultierende Spannungsprobleme durch große PV-Erzeugung.

Referenzen

- [1] Adaptricity – Offizielle Webseite. URL: www.adaptricity.com.
- [2] D-A-CH-CZ Kompendium (2007): *Technische Regeln zur Beurteilung von Netzurückwirkungen*. URL: www.vde.com.
- [3] Agentur für Erneuerbare Energien (2013, Juli): *Studienvergleich – Entwicklung der Volllaststunden von Kraftwerken in Deutschland – Die Auslastung von Kraftwerken im Zuge der Energiewende*. URL: www.energiestudien.de.
- [4] K. Heussen, S. Koch, A. Ulbig, G. Andersson: *Unified system-level modeling of intermittent renewable energy sources and energy storage for power system operation*, IEEE Systems Journal, März 2012.