

EW Medien und Kongresse GmbH
www.ew-online.de



Sonderdruck (NR. 7146) aus Jg. 112 (2013), Heft 9, S. 40-42

Internet der Energie

Digitalisiertes Verteilungsnetz für die Stromversorgung

von Dr. Bernd Reifenhäuser und Dr. Alexander Ebbes

Internet der Energie

Digitalisiertes Verteilungsnetz für die Stromversorgung

Aktuelle Stromnetze sind miteinander hochgradig vernetzt, redundant auf Versorgungssicherheit ausgelegt und bedürfen zentraler Planung. Störungen können sich durch die enge Verzahnung schnell ausbreiten und zu einem großflächigen Blackout führen. Um Ausfällen angesichts eines steigenden Anteils erneuerbarer Energien künftig entgegenwirken zu können, muss Energie vorgehalten werden – eine ineffiziente und kostspielige Reserve. Ein dezentrales, digitales Stromnetz kann diese Aufgabe deutlich besser bewältigen.

Der steigende Anteil volatiler regenerativer Energien steigert das Ausfallrisiko im Stromnetz in den kommenden Jahren. Auch bessere Prognosemöglichkeiten – z. B. genauere Wettervorhersagen – erhöhen die Planungssicherheit nur wenig und bieten letztlich keine befriedigende Lösung. Für den sicheren Umstieg auf eine regenerative Energieversorgung ist die Speicherung von Energie unverzichtbar. Anstelle der zentralisierten sollte eine dezentrale Stromversorgung realisiert werden, mit Erzeugern und Speichern in verschiedenen Größenordnungen. Dazu müsste das Stromnetz allerdings selbstorganisierend sein (*Bild 1*).

Einen ähnlichen Systemwandel hat die Telekommunikationsbranche bereits vollzogen: Das Telefonnetz war bis in die 1990er Jahre zentralistisch ausgerichtet und zentral geschaltet. Analog dazu könnten kleine private Energiespeicher beim Endverbraucher als Ergänzung oder sogar als Ersatz für Großspeicher zur Stabilisierung der Netze beitragen.

Internet der Energie

Das Internet wurde als militärisches Kommunikationsnetz (Arpanet) auf Ausfallsicherheit hin konstruiert, um nach Angriffen selbstständig weiter zu funktionieren und soziale Versorgungssicherheit garantieren zu können. Zentral für das Internet ist die Paketorientierung: Routen werden dabei zur Laufzeit aus einzelnen Teilstrecken zusammengesetzt. Ein »Store and forward« in den Netzknoten ermöglicht eine blockadefreie Durchmischung, die auf einer Digitalisierung der Nutzlast basiert. Im Jahr 2008 entstand bei der GIP AG

die Idee, ein Smart Grid in Analogie zum Internet zu konstruieren. Das Unternehmen entwickelte eine Lösung und meldete sie im Jahr 2009 zum Patent an (*Bild 2*).¹⁾

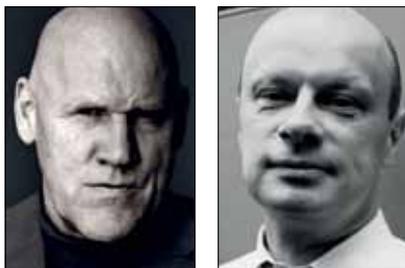
Energie ist digitalisierbar

Die japanischen Forscher *Hiroumi Saitoh* und *Junichi Toyoda* beschäftigten sich schon seit dem Jahr 1996 mit der Übertragung von Energie in Paketform.²⁾ Dieser Ansatz hat sich manifestiert und führte zur Gründung des Digital Grid Consortiums im Jahr 2011. Ziel war die Entwicklung eines Stromnetzes der nächsten Generation auf Basis von Angebot und Nachfrage. Mit dem Konzept eines Digital Grid Router (DGR) werden Inseln innerhalb des Netzes gebildet und durch paketorientierte Kopplung über den Router Ausfälle über Grenzen der Subnetze hinaus vermieden.

Dass dieser Ansatz kein theoretisches Konstrukt ist, zeigen der erste Prototyp des DGR und die geplanten Feldtests in den USA im Frühjahr 2013 in Zusammenarbeit mit dem Electric Power Research Institute (*Bild 3*). Mit mehreren DGR wird ein zentralisiertes Weitverkehrsnetz für Strom in Subnetze unterteilt und damit digitalisiert. Alle asynchronen Zellen sind miteinander und mit dem synchronen Hauptnetz über den DGR verbunden. Jeder DGR kann diskrete Mengen Strom über eine bestehende Infrastruktur zu jedem beliebigen Ort innerhalb des Netzes übertragen und Spannung transformieren. Innerhalb der Zellen koordinieren Digital Grid Controller (DGC) zusammen mit den DGR Aufnahme, Konsum und Erzeugung diskreter Energiepakete. Durch die Verbindung von Router und Energiespeicher können die DGR Schocks im System ausgleichen. Überkapazitäten können im Speicher aufgenommen und bei Bedarf wieder eingespeist werden. Energie fließt nun nicht mehr unkontrolliert durch das gesamte Netz von der Quelle zum Bestimmungsort, sondern wird mit digitalen Paketen innerhalb der ein-

1) Patentanmeldung Ebbes/Reifenhäuser Deutschland und Europa EP000002430723A2/ USA US020120059532A1.

2) Electrical Engineering in Japan, Vol. 117, No. 1, 1996.



Dr. **Bernd Reifenhäuser** (l.), Gründer, Dr. **Alexander Ebbes**, CTO, GIP AG, Mainz.

zelen Segmente kontrolliert. Jedes Paket wird vom DGR dazu über Power Line Communication (PLC) mit Tags – z. B. Quelle, Route, Speicher, Endnutzer – versehen und entweder erst gespeichert oder direkt weitergeleitet.

Im Gegensatz zu den ersten Ansätzen durch *H. Saitoh* und *J. Toyoda* oder zu den Arbeiten des Digital Grid Consortiums ist im GIP-Konzept nicht nur der physikalische Transport digitalisierter Strompakete berücksichtigt, sondern das Prinzip der Selbstorganisation konsequent zu Ende geführt. Bei der Konstruktion eines selbstorganisierten fraktalen Netzes werden auch Demand-Side-Management und Demand Response dezentral und selbstorganisiert umgesetzt. Jeder Standort ist mit einem physikalischen oder virtuellen Energiespeicher ausgestattet, über den der nachfragende Standort (Demand) und die entsprechende Reaktion (Response) lokal geregelt werden. Dabei wird bewusst vom Push-Prinzip der kalkulierten Überversorgung zum Pull-Prinzip einer vorausgehenden Anfrage des Verbrauchers, die wenn möglich vom Netz erfüllt wird, ausgegangen. Denn jeder Standort kennt seinen Energiebedarf bzw. kann ihn prognostizieren.

Neben möglicher eigener Stromerzeugung am Standort wird der Energiespeicher aus dem Netz gespeist. Aus dem Energiebedarf und -inhalt für eine Zeitperiode T kann daraufhin ein Energiepaket berechnet werden. Dieses wird durch sein Leistungsprofil $L(t)$ mit den Anfangszeitpunkten t_0 und dem Endzeitpunkt t_{end} beschrieben. Der SGR, bestehend aus einer Kommunikationseinheit und einem steuerbaren Leistungsventil (steuerbare Schalter der Leistungselektronik: Thyristoren, IGBT), »fragt« dieses Paket im Netz nach. Erhält er von unterschiedlichen Stellen eine positive Antwort, muss der kostengünstigste und sicherste Weg für das Paket zum Standort berechnet werden, um die anforderungsgemäße Lieferung zu garantieren. So kann z. B. das Paket direkt von einem Nachbarn über die Niederspannungsanbindung oder einem Großkraftwerk kommen. Dies gewährleisten die SGR kombiniert mit dem entsprechenden Smart-Grid-Routing-Verfahren.

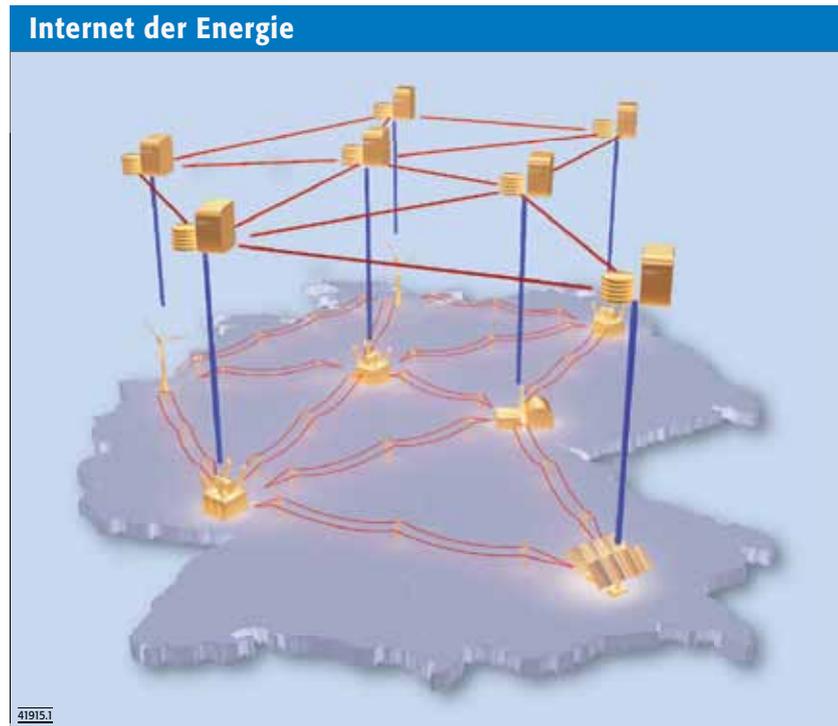


Bild 1. Mögliches Internet der Energie

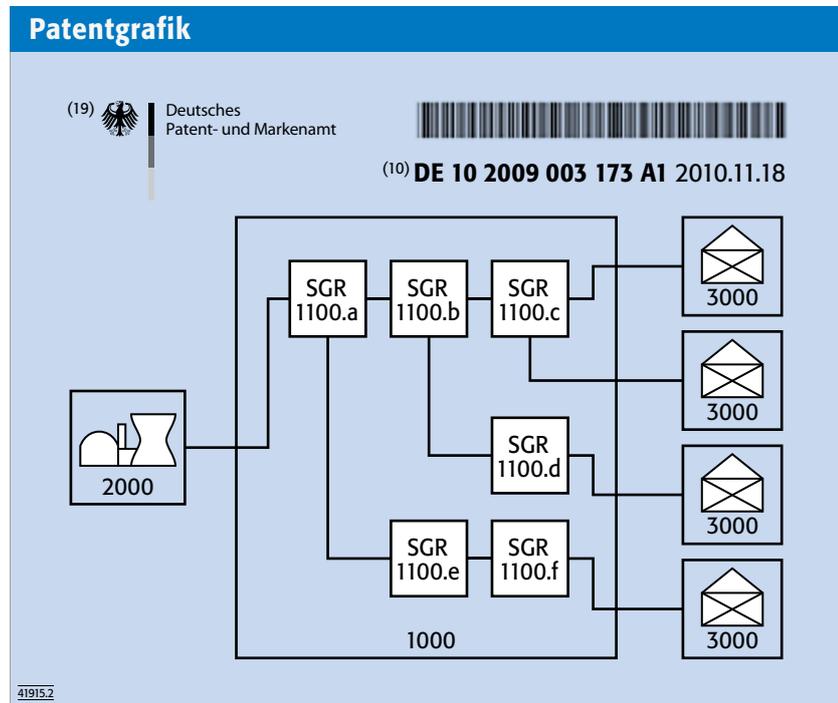


Bild 2. Patent Netzwerktopologie mit SGR

Das Konzept der GIP sieht neben der Übertragung eines Energiepakets die Übertragung eines Datenpakets vor. In diesem sind Spannung $U(t)$, Stromstärke $I(t)$ und Zeitdauer T sowie sender- und empfangerspezifische Daten, wie das Leistungsprofil, enthalten. Das Energiepaket

entspricht der Nutzlast eines Datenpakets in klassischen IP-Netzwerken. Die Übertragung geschieht dabei nicht über statische Netzwerktrassen, sondern dynamisch. Dazu muss das Konzept des Routings auf das Energienetz übertragen und jeder Knoten des Netzwerks



Bild 3. Prototyp des Digital Grid Router

mit einem SGR ausgestattet werden. Zur gerichteten Übertragung vom Sender zum Empfänger kommen Routingtabellen oder -algorithmen zum Einsatz.

Die vom SGR übertragene Energie muss in $U(t)$, $I(t)$ und T ausreichend dimensioniert sein, um den anfragenden Stromabnehmer auf Kundenseite zu versorgen. Details sind im Leistungsprofil festgelegt, vor allem, welche Energiemenge je Zeiteinheit maximal bereitstellen ist. Zur Steuerung der

Sollleistung wird das Leistungsventil in den Stromkreislauf geschaltet. Eine alternative Form der Leistungsbegrenzung kann durch einen Zeitmultiplex der Energiepakete erzielt werden. Dabei gibt der Abnehmer lediglich an, wie viele Energiepakete er insgesamt abnehmen möchte.

Daten- und Energiepaket werden im einfachsten Fall parallel über das gleiche physikalische Medium (PLC) übertragen. Alternativ kann die Übertragung auch sequenziell und

über separate Kommunikationsinfrastrukturen stattfinden.

Eine solche Infrastruktur muss aus einem in Verfügbarkeit und Leistungskennzahlen gesicherten Kommunikationsnetz bestehen. Zur konzentrierten Übertragung von großen Energiemengen über ein Hochspannungsnetz ist es möglich, kleine Energiepakete zu großen Energiepaketen zusammenzufassen. An einem Netzwerkknoten wird dieses große Paket vom SGR dann wieder in kleinere Pakete aufgeteilt und an die einzelnen Empfänger übertragen (Bild 4).

Erzeuger und Abnehmer innerhalb des Netzwerks benötigen eine Einrichtung zum Übertragen und Empfangen von Energiepaketen. Idealtypisch ist hier ein bidirektionales Design unter Einbezug von Energiespeichern an allen Netzwerkknoten anzustreben, um die klare Abgrenzung zwischen Erzeuger und Abnehmer aufzuheben. Jeder Marktteilnehmer kann aus seinem Speicher im Bedarfsfall Energie für Andere bereitstellen. Speichermanagement garantiert stets ein Mindestmaß an Energie, so dass in einem Ausbau dieses Szenarios auch Netzknoten zu virtuellen Kraftwerken zusammengeschlossen werden, um flexibel auf Lastspitzen und -täler reagieren zu können.

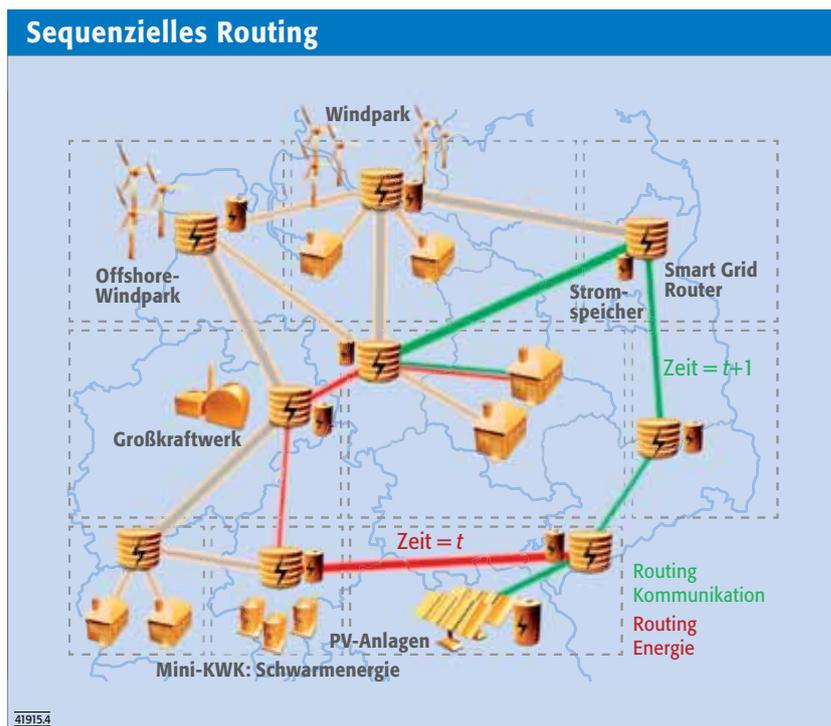


Bild 4. Sequenzielles Routing von Energie- und Kommunikationspaketen

Fazit

Ein Energienetz braucht unabhängig von seiner Umsetzungsart eine unterstützende Kommunikationsinfrastruktur. Operation-Support-Systeme, wie sie aus dem Telekommunikationsbereich bekannt sind, sind auch für ein Smart Grid zur automatisierten Integration und Orchestrierung der Netzelemente und Dienstleistungen notwendig. Ohne eine automatisierte Kommunikationsinfrastruktur wird kein Smart-Grid-Konzept die Voraussetzungen für ein steigendes Volumen dezentraler Energieeinspeisung und Elektromobilität erfüllen können.

(41915)

bernd.reifenhaeuser@gip.com

alexander.ebbes@gip.com

www.gip.com