

## informatiCup 2013 • Aufgabe 2

# Energieinformatik - selbstorganisiertes Energiemanagement im Smart Grid

### Einführung

Für einen stabilen Betrieb elektrischer Energieversorgungssysteme sind Erzeugung und Verbrauch zu jedem Zeitpunkt genau aufeinander abzustimmen. Bereits kleinste Ungleichgewichte können zu Schwankungen in der Netzfrequenz und damit zu Störungen sowie letztlich zu Stromausfällen führen. Da das Stromnetz bislang über keine nennenswerten Speicherkapazitäten verfügt, ist es die Aufgabe elektrischer Großkraftwerke, ihre Erzeugung dem ständig schwankenden Verbrauch anzupassen und so das Gleichgewicht zwischen eingespeister und verbrauchter Leistung aufrecht zu erhalten.

Mit dem Ausbau erneuerbarer Energien kommt zu dem schwankenden Verbrauch eine bspw. von Wind oder Sonne abhängige Erzeugung (Windkraft bzw. Photovoltaik), welche die bislang zentral organisierte Ausgleichsaufgabe zwischen Erzeugung und Verbrauch deutlich erschwert. Zukünftige Smart Grids sollen diese Ausgleichsaufgabe durch den flächendeckenden Einsatz von IKT auf viele kleinere dezentrale Anlagen verteilen und damit den Bedarf an zusätzlichen Kraftwerkskapazitäten reduzieren, die andernfalls vorgehalten werden müssten, um die immer größer werdenden Leistungs-schwankungen auszugleichen.

Auf diese Weise sollen bspw. ausgewählte Verbraucher bevorzugt dann Strom verwenden, wenn der Wind gerade weht oder die Sonne scheint. Die Umsetzung dieser und vergleichbarer Ansätze ist maßgeblich informations- und kommunikationstechnisch geprägt. Versorgungsnetz und Anlagen müssen intelligent werden und sich kontinuierlich über ihre individuellen Bedürfnisse abstimmen, um der Ausgleichsaufgabe gerecht zu werden.

Mit steigender Anzahl aktiver und steuerbarer Komponenten in derartigen Smart Grids erhöht sich jedoch die Komplexität des Gesamtsystems. Eine Betriebsführung und -optimierung, die bislang integriert und zentral für wenige große Kraftwerke durchgeführt werden konnte, wird zunehmend komplexer und ist so im laufenden Betrieb nicht mehr zu bewältigen. Darüber hinaus stehen die Informationen, die als Grundlage für eine zentrale Optimierung dienen könnten, oftmals gar nicht zur Verfügung. Ursachen hierfür können sein:

- Datenschutzaspekte (vertrauliche Verbrauchsinformationen, Kundenstammdaten),
- wirtschaftliche Relevanz und Sensibilität von Datensätzen, die u.a. von wettbewerblich zueinander stehenden Energieversorgern oder Netzbetreibern zur Einsatzplanung oder Ressourcenmanagement verwendet werden,
- mangelnde messtechnische Erfassung.

Eine Lösung hierfür können Selbstorganisationsverfahren nach dem Vorbild natürlicher (oftmals biologischer) verteilter Systeme sein, die hier als Vorbild für die Koordination der Anlagen im Smart Grid untereinander dienen sollen, in dem sich relevante Akteure auf Basis beschränkter lokaler Informationen untereinander koordinieren und auf diese Weise zu einem effizienten und stabilen Betrieb des Gesamtsystems führen.

## Aufgabenstellung

Das Ziel dieser Aufgabe ist die Entwicklung eines verteilten agentenbasierten Energiemanagementsystems, in dem sich ein Schwarm autonomer Softwareagenten stellvertretend für dezentrale elektrische Verbraucher und Erzeuger lokal derartig koordiniert, dass dieser auf die externe Vorgabe eines Lastprofils (Verbrauchsleistung über die Zeit, [de.wikipedia.org/wiki/Lastprofil](https://de.wikipedia.org/wiki/Lastprofil)) reagieren und **dieses in Summe möglichst präzise abbilden kann**.

Betrachten Sie ein elektrisches Energieversorgungssystem (Nieder- bis Hochspannungsebene, [de.wikipedia.org/wiki/Stromnetz](https://de.wikipedia.org/wiki/Stromnetz)) und konstruieren Sie zunächst ein vereinfachtes Beispielszenario mit 4 städtischen Niederspannungsnetzen (mit jeweils 30 Haushalten), die über ein überlagertes Mittelspannungsnetz verbunden sind (siehe Abbildung 1).

Nehmen Sie eine Menge von flexiblen Verbrauchern und Erzeugern an, die nach Vorgabe bestimmte anlagenspezifische Lastprofile abfahren können (Wirkleistungswerte in 15-Minuten-Auflösung, beispielhaft dargestellt in Abbildung 2; berücksichtigen Sie, dass diese Lastprofile unterschiedlich lang sein können und ggf. nur die Länge eines gerätespezifischen Betriebszyklus haben). Darüber hinaus existiert ein variabler Anteil (90%, 70%, 50%, 30%, 10%) an nicht beeinflussbaren Verbrauchern und Erzeugern mit Standardlast- bzw. -erzeugungsprofilen ([de.wikipedia.org/wiki/Standardlastprofil](https://de.wikipedia.org/wiki/Standardlastprofil)), die Sie ebenfalls in 15-Minuten-Intervalle diskretisieren.

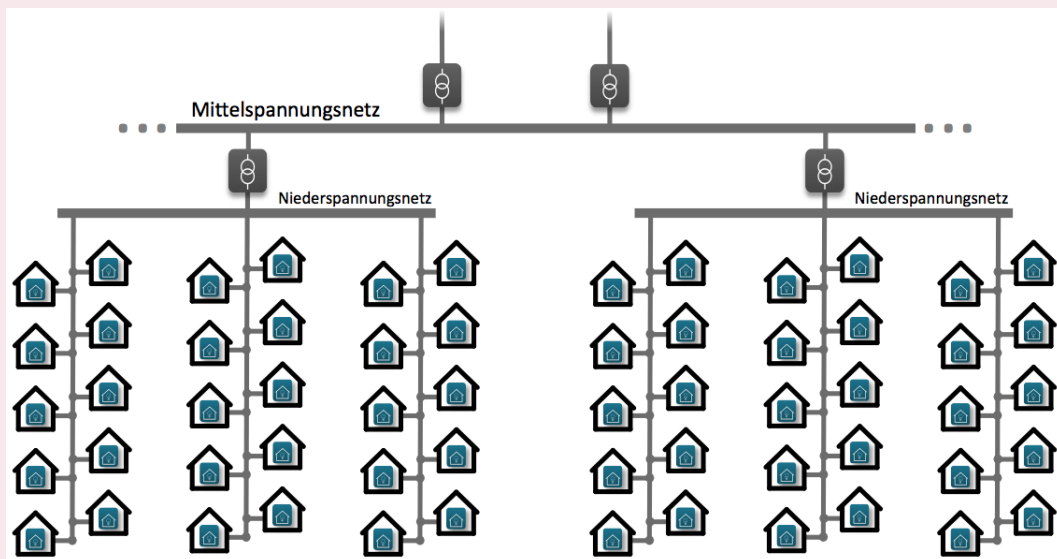


Abbildung 1: Vereinfachtes Beispielszenario (Urheber: S. Lehnhoff, 2012, lizenziert unter der Creative Commons-Lizenz Namensnennung-Weitergabe unter gleichen Bedingungen 2.0 Deutschland)

Diesem System sollen zwei unterschiedliche 24h-Ziellastprofile vorgegeben werden (wiederum in 15-Minuten-Auflösung). Das erste ist ein lineares Lastprofil, das einer ausgeglichenen Versorgungssituation ( $P_{Einspeisung} - P_{Verbrauch} = 0$ ) entspricht, und das zweite ein synthetisches von Ihnen begründet festzulegendes Lastprofil.

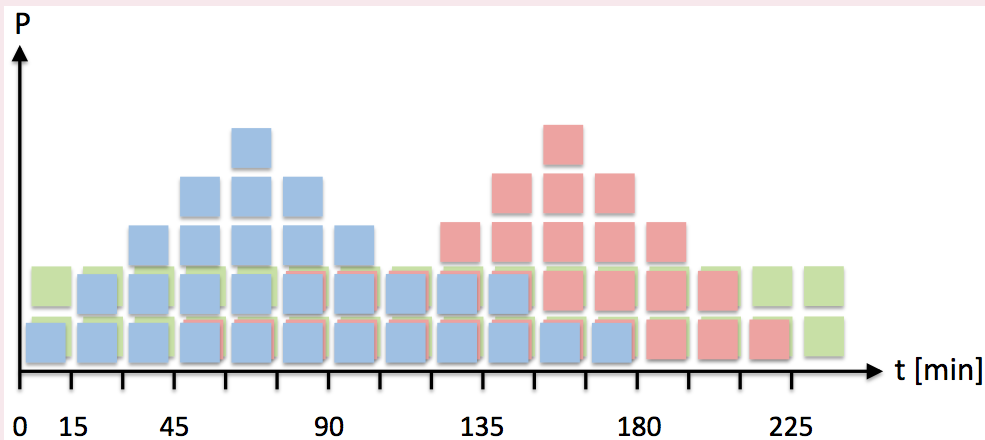


Abbildung 2: Beispielhafter Verbrauch eines flexiblen Verbrauchers mit drei möglichen (blau, rot, grün) Lastprofilen (Urheber: S. Lehnhoff, 2012, lizenziert unter der Creative Commons-Lizenz Namensnennung-Weitergabe unter gleichen Bedingungen 2.0 Deutschland)

## Runde 1

Bevor Sie mit der Implementierung des Testsystems beginnen, sollten Sie zunächst die folgenden Teilaufgaben lösen:

- Entwickeln Sie zunächst eine geeignete Formalisierung des Problems,
- Entwickeln Sie ein geeignetes Nachbarschaftsmaß, innerhalb dessen die Agenten miteinander direkt kommunizieren und individuelle Informationen austauschen können. Entwerfen Sie darüber hinaus ein größeres Organisationsschema (möglicherweise über eine zweite Klasse von Agenten), in dem nur aggregierte vergrößerte Informationen ausgetauscht werden können. Grundlage sollte die Versorgungstopologie des betrachteten elektrischen Netzes sein. Leitungsverluste dürfen vernachlässigt werden.

## Runde 2

Implementieren Sie das Testsystem für das in Abbildung 1 gezeigte Beispielnetz. Verwenden Sie für die Koordination das in der ersten Runde entwickelte Nachbarschaftsmaß:

- Entwerfen Sie einen verteilten selbstorganisierenden Kommunikations- und Koordinationsmechanismus, der eine dezentrale Abstimmung der Anlagenagenten untereinander zur Abbildung eines zentral vorgegebenen Lastgangs ermöglicht,
- Machen Sie Angaben zu Güte, Robustheit und Stabilität Ihres Ansatzes,
- Die Betriebsmittel elektrischer Energieversorgungssysteme werden auf Basis sog. Gleichzeitigkeitsfaktoren ausgelegt. Diese berücksichtigen die stochastische Durchmischung von Erzeugung und Verbrauch und die Tatsache, dass nie alle Geräte innerhalb eines Netzbereichs gleichzeitig

und mit voller Leistung eingeschaltet sind. Diese Planungsgrundlage erlaubt eine konservative Dimensionierung von Leitungen und eine Reduzierung von Investitionskosten in diesem Bereich. Verteilte Energiemanagementansätze, die dezentrale Anlagen derartig koordinieren, dass sie auf externe Leistungsvorgaben reagieren (z.B.: Aufladen von Elektrofahrzeugen bei hoher Windenergieeinspeisung), können Synchronisationseffekte verursachen, die hohe Gleichzeitigkeiten verursachen und diese Planungsgrundlage verletzen. Nehmen Sie bzgl. Ihres Ansatzes Stellung zu diesem Phänomen.

Erstellen Sie für Ihre Implementierung bitte eine Bedienungs- und Installationsanleitung. Dokumentieren Sie die von Ihnen getroffenen Entscheidungen bei Annahmen zum Szenario sowie der Auswahl verwendeter Algorithmen und Datenstrukturen und in der Software-Entwicklung.

## Weiterführende Literatur

1. Michael J. Wooldridge: “An Introduction to Multiagent Systems”, Wiley & Sons, 2009.
2. Sebastian Lehnhoff: “Dezentrales vernetztes Energiemanagement”, Vieweg+Teubner, 2010.
3. Michael Sonnenschein, Ute Vogel: “Naturinspirierte Verfahren für eine nachhaltige Stromversorgung”, [http://www-ui.informatik.uni-oldenburg.de/download/Publikationen/Koelpinsee\\_2011\\_Naturinspiriert.pdf](http://www-ui.informatik.uni-oldenburg.de/download/Publikationen/Koelpinsee_2011_Naturinspiriert.pdf)
4. Christian Hinrichs: “Selbstorganisierte Koordinationsverfahren für ein dezentrales Supply-Demand Matching im elektrischen Verteilnetz”, <http://www-ui.informatik.uni-oldenburg.de/download/Publikationen/H11.pdf>