

Anwendungsnotiz: Umsetzung eines Demonstrators



Zusammenfassung

Bei der Umstellung von fossiler auf erneuerbare Energie wird das Stromsystem dezentraler (verteilte Erzeugung) und flexibler (Smart Grid). Neue Lösungen sollen verlässlichen und wirtschaftlichen Betrieb dieser wichtigen Infrastruktur bei zunehmender Komplexität gewährleisten. Easy Smart Grid konzentriert sich auf das Energiemanagement in Micro Grids. Das sind Teile größerer Netze (Areale), isolierte Inselnetze oder Bausteine des zukünftigen „zellulären“ Netzes. Auf Basis erfolgreicher F&E-Arbeiten haben wir beispielhaft gezeigt, wie Verbraucher auf verfügbare Erzeugung reagieren können.

1. Herausforderung

Wir wollen in Micro Grids durch Nutzung der Flexibilität sehr vieler Verbraucher erreichen, dass erneuerbare Energie aus PV- oder Windkraftanlagen optimal genutzt werden kann. Das heutige Stromnetz ist zentral organisiert und kann Lastverschiebung ab 500kW wirtschaftlich nutzen. Wir streben durch den Einsatz unseres dezentralen Verfahrens eine Skalierung um einen Faktor 1000 an. Der bisherige Aufwand muß um etwa das Tausendfache reduziert werden, damit auch Verbraucher mit 0,5-5 kW (Elektroautos, Wärmepumpen, Hausgeräte) wirtschaftlich eingebunden werden können. Bisherige Ergebnisse haben die Machbarkeit theoretisch bestätigt (Mehrwert der Lastverschiebung, Stabilität dezentraler Automatisierung, Vergleichbare Leistung dezentralen und zentralen Energiemanagements). Gerne geben wir dazu bei Bedarf weitere Informationen.

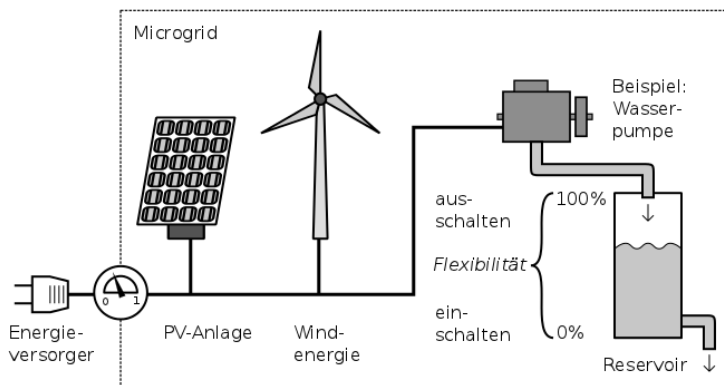


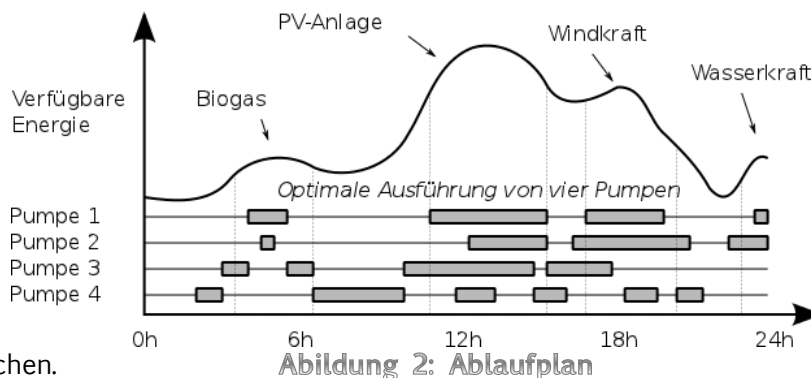
Abbildung 1: Szenario

Im Szenario liefern Erneuerbare Strom in ein Micro Grid. Ein klassischer Stromversorger deckt Grund- und Spitzenlast ab. Dies kann ein Netzbetreiber oder in einem Inselnetz ein Diesellaggregat sein. Verbraucher mit Verschiebepotential sollen möglichst viel erneuerbaren und wenig konventionellen Strom nutzen. Die Anforderungen sind also:

- ✓ Einfacher Betrieb und Integration in bestehendes Energiesystem (geringe Anforderungen an Infrastruktur, Verwendung von Standardkomponenten, Kompatibilität - keine Änderungen bei anderen Teilnehmern notwendig)
- ✓ Nutzung unterschiedlicher Flexibilität, keine Nutzerinteraktion (außer erste Konfiguration)
- ✓ Reaktion auf Schwankungen im Energieangebot in Echtzeit (Sekunden)
- ✓ Skalierbarkeit (Nutzen von einem bis zu sehr vielen Energieverbrauchern)
- ✓ Robuster Betrieb (Ausfall der Kommunikation oder der Steuerung anderer Teilnehmer).

Abb. 2 zeigt beispielhaft das Energieangebot über einen Tag: Grundlaststrom wird vom Energieversorger bereitgestellt. Am Morgen läuft eine Biogas-Anlage an, es folgen Wind und Sonne, abends liefert ein Wasserkraftwerk Strom. In unserem Beispiel gibt es vier Pumpen, die 10 Stunden am Tag laufen

müssen, damit ihr Reservoir, das für 10 Stunden Vorrat hält, nicht leer läuft. Ein Ablaufplan für diese Pumpen, der erneuerbare Energie möglichst intensiv, klassische möglichst wenig einsetzt, ist in Abb. 2 unten dargestellt. Unser Ziel ist es, dies ohne zentrale Optimierung und den damit verbundenen Aufwand zu erreichen.

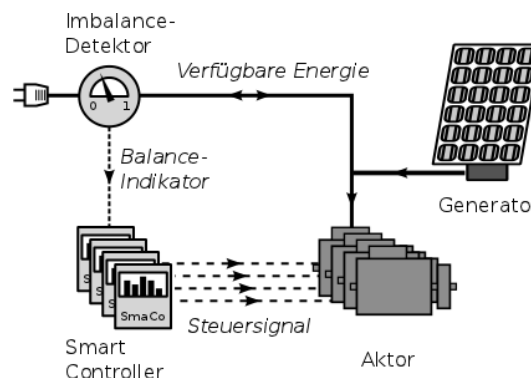


2. Lösungsansatz

Unser Ansatz nutzt einen Schwarm von Steuergeräten (SmaCo oder „Smart Controller“), die einem Signal (Balance Indikator) folgen. Der Balance-Indikator zeigt an, ob Energie gerade knapp oder reichlich verfügbar ist. Eine Energiegenossenschaft kann z.B. an der Schnittstelle ihres Netzabschnitts zum Netzbetreiber messen, in welche Richtung Energie fließt – ob also lokal Überfluss oder Knappheit herrscht.

Abbildung 3: Schwarmsteuerung

Der Balance-Indikator für verfügbare Energie (Wirtschaftswissenschaftler würden es ein Preissignal nennen) wird von allen SmaCo's empfangen. Jeder SmaCo entscheidet anhand dieses Balance-Indikators und der verfügbaren Flexibilität „seines“ Energieverbrauchers, wann er schaltet. Diese Entscheidungen beruhen ausschließlich auf dem Balance-Indikator und lokalen Informationen, Kommunikation zwischen den SmaCo's oder mit einem zentralen Optimierer findet nicht statt, damit müssen auch keine Daten offengelegt oder geschützt werden. Der Regelkreis wird über den Balance-Indikator geschlossen, der auch auf die Lasten reagiert.



3. Beispielanwendung

Verbraucher haben individuelle Potentiale zur Lastverschiebung. In Abb. 1 war es eine Wasserpumpe mit Reservoir. Nähert sich der Füllstand dem unteren Ende, muss die Pumpe anlaufen und das Reservoir auffüllen. Ist das Reservoir voll, muss sie ausschalten, um ein Überlaufen zu vermeiden. Bei allen anderen Füllständen kann die Pumpe sonst ungenutzten erneuerbaren Strom flexibel einsetzen. Als Nebenbedingung muss die Pumpe eine bestimmte Zeit am Stück laufen, um Verschleiß zu vermeiden. Ähnliche Flexibilität bieten Heizungen, Kühlgeräte und Klimaanlage, die eine Solltemperatur mit geringer Abweichung einhalten sollen, Druckluftspeicher mit einem Druck von 6-8 bar, Wärme- und Drainagepumpen etc.

Unsere Algorithmen kommen auf Basis von Schwarmverfahren zu intelligenten Regelentscheidungen. Dies hat den Vorteil, dass einzelne Agenten (Controller) nur wenige einfache Regeln benötigen. In einem Vogelschwarm folgen die einzelnen Vögel nur zwei Regeln: „Bewege dich zu einer Nahrungsquelle“ und „Halte einen bestimmten Abstand zu deinen Nachbarn ein“. Zentralinstanz oder Kommunikation sind nicht nötig und können daher auch nicht ausfallen, was die Robustheit steigert.

Der Nahrungsquelle entspricht unsere verfügbare Energie. Der Balance-Indikator sinkt mit dem Energieangebot (Abb. 4 links) und wird von einem „Imbalance Detektor“ ermittelt. Wenn der Verbrauch hoch ist, die Sonne scheint und der Wind weht, ist der Balance-Indikator nahe Null (maximaler Überschuss). Nachts bei Windstille mit hohem Verbrauch ist der Indikator maximal (Knappheit).

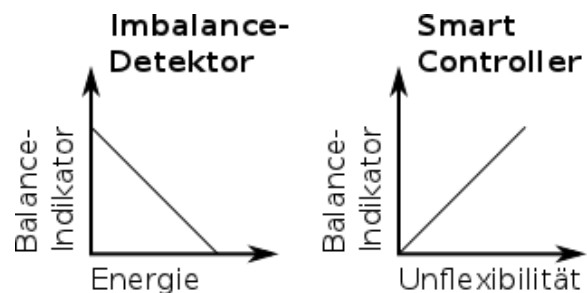


Abbildung 4: Balance-Indikator

4. Implementierung des Smart Controllers

Der SmaCo ermittelt ständig die Flexibilität des von ihm gesteuerten Geräts: Bei leerem Wassertank muss eingeschaltet werden. Die Wertschätzung für Energie entspricht dann dem Maximalwert des Balance-Indikators (Abb. 4 rechts, Flexibilität ist maximal knapp). Bei vollem Tank besteht maximale Flexibilität, die Pumpe kann bis zum Ende ihres Flexibilitätsspielraums ausgeschaltet bleiben, die Wertschätzung für Energie ist null. Entsprechendes gilt für dazwischen liegende Werte.

Jeder SmaCo entscheidet auf Basis des Balance-Indikators und seiner lokalen Information (Füllstand, Nebenbedingungen des Nutzers), wann sein Verbraucher ein- oder ausgeschaltet wird. Dazu kann sein Algorithmus historische Daten ebenso nutzen wie verfügbare Wetterprognosen. Minimale Einschaltzeiten oder Abkühl dauern fließen in die Berechnung der Wertschätzung ein. Im Micro Grid bildet der Balance-Indikator so quasi das Preissignal für einen Echtzeit-Markt für Energie.

5. Implementierung des Demonstrators

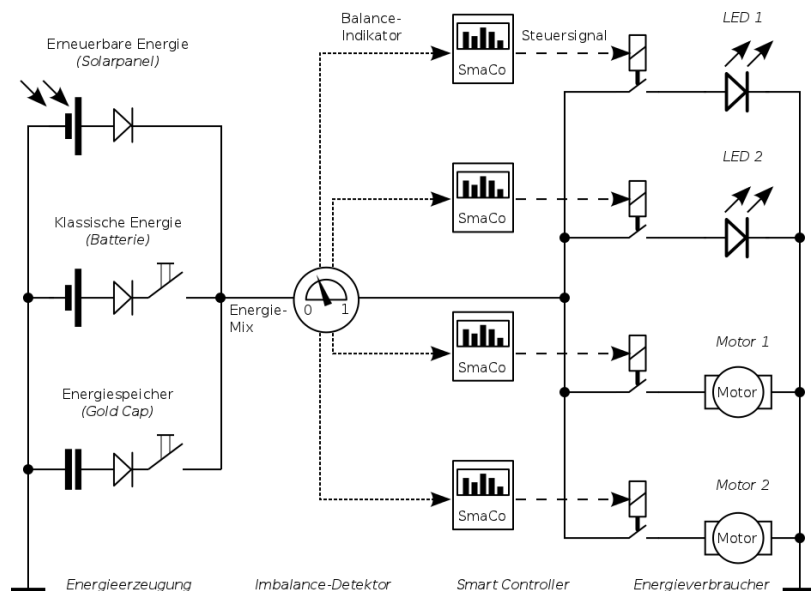


Abb. 5: Schaubild Demonstrator

Der Demonstrator implementiert den Schwarm. Damit überprüfen wir, ob das Verfahren wie erwartet funktioniert, also die gesetzten Ziele erreicht. Darüber hinaus wollten wir die Hardware-Anforderungen kennen lernen und unerwünschte Nebenwirkungen entdecken, etwa „Aufschaukeln“ bei Störungen. Abb. 5 zeigt ein Schaubild des Demonstrators. Wir nutzen zwei kleine Motoren (40mA) und zwei Leuchtdioden (20mA) als Energieverbraucher, die über Relais

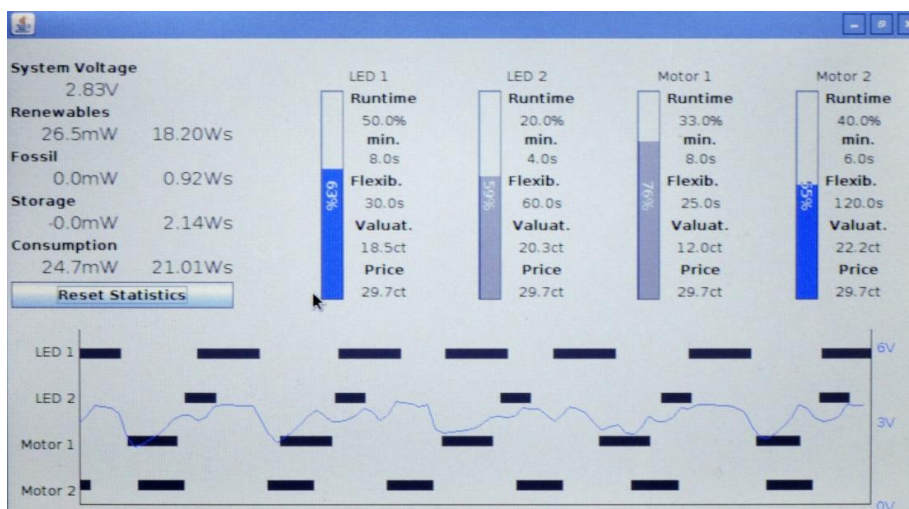
gesteuert werden. Erneuerbare Energie wird von Solarzellen bereitgestellt. Als klassischer Energieversorger dienen Batterien, ein Goldcap-Kondensator kann als „Speicher“ zugeschaltet werden. Balance-Indikator und SmaCo-Entscheidungen werden mehrmals pro Sekunde auf einem Raspberry Pi mit Raspbian-Linux in Java berechnet, eine Anzeigeeinheit dient der Visualisierung. Wir messen zusätzlich die Systemspannung, den von den Energiequellen gelieferten Strom sowie den Gesamtstromverbrauch und ermitteln daraus Leistung und Arbeit. Der Balance-Indikator wird im Demonstrator aus der Systemspannung abgeleitet: Die Solarzellen liefern bei voller Sonneneinstrahlung 5V Leerlaufspannung,

dann hat der Balance-Indikator den Minimalwert (Null). Unter 3V wird Strom von der Batterie benötigt. Bei einer Systemspannung von 1V ist diese maximal belastet, der Indikator hat hier den Maximalwert. Dazwischen wird linear interpoliert.

Es ist wichtig zu betonen, dass sowohl die Größe der Lasten (wir haben mW gewählt, in der Praxis werden es eher kW sein) als auch die Art, wie der Balance-Indikator ermittelt wird, für unseren Demonstrator nicht entscheidend sind: Wir haben hier zur Vereinfachung die Spannung gewählt, in Drehstromnetzen zeigt dagegen üblicherweise die Netzfrequenz die Balance an.

Die Flexibilitätten wurden unterschiedlich gewählt und in Software implementiert:

Verbraucher	Reservoir Speicherzeit sec	Anschaltzeit %	Minim. Anschaltzeit sec
LED 1	30	50	8
LED 2	60	20	4
Motor 1	25	33	8
Motor 2	120	40	6



Schwarmverfahren funktionieren am besten mit vielen identischen Einheiten. Unser Demonstrator-Schwarm ist herausfordernd, denn er hat nur vier Geräte mit jeweils unterschiedlicher Flexibilität, die keine ganzzahligen Vielfachen voneinander sind, was eine Ablaufreihenfolge schwierig macht. Der Demonstrator bestätigt

aber, dass sich der SmaCo-Schwarm auch unter diesen Bedingungen wie gewünscht so organisiert, dass der Stromverbrauch der Batterie minimiert wird. Auf Änderungen im Stromangebot, Hinzufügen oder Entfernen eines Verbrauchers oder Speichers reagiert der Schwarm ebenso unkritisch und sinnvoll wie auf Änderungen der Flexibilitätsparameter. Ich danke Dr.-Ing. Erik Buchmann herzlich für die fruchtbare Zusammenarbeit bei diesem stimulierenden Projekt.

6. Nächste Schritte

Die komplette Intelligenz für vier dezentrale Regler wurde mit einem Baustein für 25€ realisiert. In geeigneten Stückzahlen sollten Hardwarekosten unter einen Euro sinken, wenn - wie in unserer Anwendungsnotiz „Konversion von Dieselnetzen“ beschrieben - die Netzfrequenz zur Übertragung des Balance-Indikators genutzt werden kann. Zuerst werden aber industrielle Baugruppen (einige 1000 €) als Plattform für Anwendungen im Umfeld 100kW genutzt. Die Kosten sinken bei steigenden Stückzahlen, womit kleinere flexible Lasten wirtschaftlich erschlossen werden können.

Die bisherigen Arbeiten und Erkenntnisse sind eine gute Grundlage für erste praktische Anwendungen. Wir freuen uns über Partner, die gemeinsam neue Lösungen realisieren wollen.

► Kontakt: Dr.-Ing. Thomas Walter

thomas.walter@easysg.de

www.easysg.de