

Schrittweise Dezentralisierung des Energiemanagements durch Kombination service-orientierter Architekturen und autonomer Agentensysteme^{*}

Tanja Schmedes, Martin Tröschel

Betriebliches Informationsmanagement
OFFIS – Institut für Informatik
Escherweg 2
26121 Oldenburg
tanja.schmedes@offis.de
martin.troeschel@offis.de

Abstract: Dezentrale Energieressourcen (DER), die neben effizienten Technologien wie Kraft-Wärme-Kopplung auch Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energieträger umfassen, werden in zukünftigen Energielandschaften eine wichtige Rolle spielen [Ra07]. Eine besondere Herausforderung der dezentralen Energieversorgung ist dabei die verlässliche Koordination von Erzeugung und Verbrauch, die die optimale Ausnutzung bestehender Netzstrukturen und die Einsparung konventioneller Kraftwerkskapazitäten ermöglicht. Der Einsatz autonomer und verteilt organisierter Softwarekomponenten, so genannter Agenten, in der Energieversorgung ist Gegenstand aktueller Forschung [We07, Ko05, Zi05] und könnte in Zukunft einen entscheidenden Beitrag zur Lösung dieser Koordinationsaufgabe leisten. Für eine zeitnahe Umsetzung, die insbesondere auch wegen der ambitionierten Klimaschutzziele der Bundesregierung erforderlich ist, fehlen aber geeignete technische und rechtliche Rahmenbedingungen. In diesem Beitrag soll daher die Möglichkeit diskutiert werden, autonome Agenten als intelligente Komponenten in Energiemanagementsysteme auf der Basis service-orientierter Architekturen zu integrieren. Das so geschaffene System soll damit sowohl zeitnah realisierbar als auch an zukünftige Veränderungen in der Energielandschaft anpassbar sein und eine „sanfte“ Dezentralisierung des Energiemanagements ermöglichen.

1 Einleitung

Zukünftige Energieerzeugungsszenarien, wie sie etwa in den VDE-Studien „Elektrische Energieversorgung 2020“ [Sc05] sowie „Dezentrale Energieversorgung 2020“ [Ra07] untersucht wurden, sagen einen stetig wachsenden Anteil dezentraler

^{*} Teile dieser Arbeit sind im „Forschungsverbund Energie Niedersachsen“ (gefördert durch das Land Niedersachsen) sowie im Projekt „DEMS – Dezentrales Energiemanagement-System“ (gefördert durch die EWE AG) entstanden.

Erzeugungskapazitäten voraus. Der Einsatz effizienter Technologien wie die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) und erneuerbarer Energieträger kann dazu beitragen, klimaschädliche Emissionen zu vermindern und die Abhängigkeit von importierten Energieträgern wie Kohle, Erdgas oder Erdölprodukten zu vermindern. Aus dem erwarteten hohen Anteil verteilter Energieerzeugung ergeben sich insbesondere bezüglich der Integration der dezentralen Erzeuger in bestehende Netzstrukturen eine ganze Reihe wissenschaftlicher Herausforderungen. Besondere Aufmerksamkeit findet dabei die Idee so genannter Microgrids, die die Verlässlichkeit der Energieerzeugung steigern und die Auslastung des Stromnetzes reduzieren sollen [MB04, LP04]. Dazu müssen Erzeugung und Verbrauch von Energie bereits auf lokaler Ebene, d.h. insbesondere im Niederspannungsnetz, aufeinander abgestimmt und geeignet koordiniert werden. Im Extremfall könnten so Abschnitte des Verteilungsnetzes im Inselbetrieb, d.h. getrennt von den Spannungsebenen des Übertragungsnetzes, betrieben werden [MB04]. Ein weiterer Vorteil dieser Koordination ist etwa die Möglichkeit, stochastisch fluktuierende Einspeisung von Photovoltaik- oder Windkraftanlagen bereits auf lokaler Ebene ausgleichen zu können, so dass konventionelle Reserveenergiekapazitäten eingespart werden könnten.

Die Umsetzung von Microgrids erfordert auf informationstechnischer Seite sowohl eine Kommunikationsinfrastruktur, die Erzeuger und Verbraucher umfasst, als auch geeignete Konzepte zur tatsächlichen Koordination der verteilten Systeme. In der aktuellen Forschung finden dabei so genannte Multi-Agentensysteme (MAS) besondere Beachtung. Intelligente, (teil-)autonome Softwarekomponenten, Agenten genannt, agieren hierbei nach festen Regeln in einem gemeinsamen System. Die Handlungen der Agenten berücksichtigen sowohl lokale Bedürfnisse, z.B. den Wärmebedarf eines Gebäudes, als auch ein oder mehrere globale Ziele wie etwa eine möglichst ausgeglichene elektrische Bilanz. Die Realisierung dieser MAS erfordert im Allgemeinen jedoch eine Reihe technischer und auch rechtlicher Rahmenbedingungen, die heute so noch nicht gegeben sind. Hohe (tatsächliche) Durchdringungsgrade der Energielandschaft mit DER, intelligente Netzkomponenten, die einen bidirektionalen Leistungsfluss zwischen den Ebenen des Verteilungsnetzes ermöglichen, sowie der großflächige Einsatz intelligenter Messgeräte in Gebäuden gehören zu den technischen Grundvoraussetzungen. Auf der rechtlichen Seite sind unter anderem Aspekte des Vertragsschlusses zwischen elektronischen Stellvertretern [BNS05] und Auswirkungen des rechtlichen Unbundlings auf die Realisierbarkeit stabiler Microgrids zu beachten. Es ist daher nicht zu erwarten, dass die zuvor beschriebenen Multi-Agentensysteme trotz ihrer Vorteile in naher Zukunft in der Praxis zum Einsatz kommen werden. Zwar gibt es einzelne Demonstrationsprojekte bzw. Machbarkeitsstudien; diese beschränken sich aber mit Ausnahme von Einzelfällen zumeist auf Simulationen [Zi05, Ko05]. Eine spätere großmaßstäbliche Einführung erscheint hinsichtlich der Aufgabe der Energieversorgungsunternehmen (EVU) und Netzbetreiber, eine durchgängig verlässliche Energieversorgung zu gewährleisten, ebenfalls als unwahrscheinlich.

Die Dezentralisierung der Koordinationsaufgaben von gewachsenen, zentralisierten Konzepten hin zu intelligenten Stromnetzen, Energieerzeugern und -verbrauchern muss in der Konsequenz stufenweise, „sanft“ erfolgen. Hoch entwickelte und evaluierte

Komponenten müssen schrittweise eingeführt und in bestehende Strukturen integriert werden. Dazu ist aber schon heute ein klar definierter Rahmen notwendig, der sich in die heutige Energielandschaft einpasst und dennoch Raum für die erforderlichen Umstrukturierungen lässt.

Nach einer kurzen Klärung der Begriffe „Agent“ und „Multi-Agentensystem“ im nächsten Abschnitt wird in Kapitel 3 eine service-orientierte Architektur (SOA) für die informationstechnische Umsetzung zukünftiger dezentraler Energiemanagementsysteme vorgestellt. Auf der Basis einer exemplarischen Instanz dieser SOA wird dann am Beispiel der Integration autonomer Agenten in Gebäuden ein erster möglicher Schritt zu einer sanften Dezentralisierung des Energiemanagements aufgezeigt.

2 Agenten, Multi-Agentensysteme und Energie

Agenten und Multi-Agentensysteme haben nicht zuletzt auch durch die zunehmende Dezentralisierung im Energieumfeld Einzug gehalten [Ko05, We07]. Die erwartete Verteiltheit der zukünftigen Energielandschaft bietet ein Umfeld, in dem diese Systeme ihre inhärenten Vorteile optimal zur Geltung bringen können. Wooldridge [Wo99] charakterisiert Agenten als autonome, pro- und reaktive Softwaresysteme mit sozialen Fähigkeiten. Die Autonomie bezieht sich auf die Fähigkeit des Agenten, eigenständige (d.h. nicht von menschlichen Benutzern vorgegebene) Entscheidungen zu treffen; die Eigenschaft der Proaktivität erlaubt es einem Agenten, ohne externe Anstöße aus sich selbst heraus Aktionen durchzuführen, während die Reaktivität die Fähigkeit zur Reaktion auf äußere Einflüsse umfasst; und die sozialen Fähigkeiten äußern sich schließlich in der Möglichkeit, mit anderen Agenten in Kontakt zu treten und gemeinsam Lösungen für ein Problem zu erarbeiten. Russell und Norvig [RN04] ordnen Agenten in den Bereich der rational agierenden Systeme ein, die durch Entscheidungsfindungsprozesse, wie z.B. logischem Schlussfolgern, geeignete Handlungen entwickeln, um in einer Umgebung ein vorgegebenes (Teil-)Ziel zu erreichen. Multi-Agentensysteme sind schließlich Systeme, in denen mehrere Agenten effektiv funktionieren und produktiv miteinander arbeiten können [HS99]. In einer solchen Umgebung müssen Regeln in Form von Protokollen definiert sein, die die Interaktion und Kommunikation zwischen den Agenten ermöglichen. Durch den geeigneten Austausch von Informationen und der Nutzung der Interaktionsmöglichkeiten können Agenten in MAS auf lokaler Ebene Entscheidungen treffen und Handlungen ausführen, die einem übergeordneten, gemeinsamen Ziel dienen.

Als veranschaulichendes Beispiel soll hier die Koordination der Einspeisung aus Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWK) dienen, die den Ausgleich von Schwankungen in der Einspeisung regenerativer Erzeuger oder die Reduktion von Lastspitzen im Verteilungsnetz zum Ziel hat [PSK07]. Beim Einsatz dieser Anlagen sind Nebenbedingungen wie minimale Laufzeiten, Anfahrzeiten und insbesondere auch der lokale Wärmebedarf zu beachten, da ja gleichzeitig Strom und Wärme erzeugt wird. Intelligente Gebäudeagenten können lokal verfügbare Informationen wie den Zustand von Warmwasserspeichern, den erwarteten Verbrauch des nächsten Tages oder Benutzerpräferenzen als interne Entscheidungsgrundlage nutzen und so geeignete

Fahrpläne für die KWK-Anlagen generieren¹. In Kooperation mit anderen Agenten können auch externe Vorgaben berücksichtigt werden, damit zu wünschenswerten Zeiten in das Niederspannungsnetz eingespeist wird [TA07]. Gegenüber zentralisierten Ansätzen mit nur wenigen „Entscheidungsträgern“ bieten MAS eine wesentlich verbesserte Skalierbarkeit, da Entscheidungskompetenzen verteilt vorliegen und zudem auf Ausschnitte der Gesamtaufgabe angewendet werden können. Daraus ergibt sich im Allgemeinen auch eine schnelle Reaktionsfähigkeit der MAS auf lokale Störungen des Betriebs [Ko05] wie z.B. dem Ausfall einzelner KWK-Anlagen und eine damit verbundene erhöhte Verlässlichkeit der verteilten Energieerzeugung.

Ein weiterer Aspekt, der die Domäne Energie für Agenten und MAS interessant macht, ist die Liberalisierung des Energiemarktes. Die dadurch eröffnete Möglichkeit eines zukünftigen Wettbewerbs in der Energieerzeugung hat in Verbindung mit der Dezentralisierung zur Konsequenz, dass jeder Erzeuger bzw. Verbraucher als Teilnehmer in einem offenen Markt betrachtet werden kann, an dem (möglicherweise auch kurzfristig) Energie gehandelt wird. Die Akzeptanz eines solchen Marktes hängt insbesondere auch davon ab, ob die zugrunde liegenden Handelsprozesse automatisiert ablaufen können (vor allem aus Sicht der Verbraucher) und ob in einem solchen dynamischen System die Versorgungssicherheit der Energieversorgung weiterhin gewährleistet ist. Beides kann durch die Verknüpfung elektronischer (virtueller) Märkte mit Multi-Agentensystemen realisiert werden [Ko05]. Die Agenten vertreten dabei die Interessen einzelner Marktteilnehmer, können individuelle Zielsetzungen verfolgen und auf elektronischem Wege Verträge z.B. mit Stromlieferanten (die natürlich wiederum durch Agenten vertreten sein können) abschließen. Entsprechende gesetzliche Rahmenbedingungen vorausgesetzt, können solche Verträge auch kurzfristig und z.B. für Minuten- oder Stundenintervallen eingegangen werden [SN04, Zi05]. Die Koordination von Erzeugung und Verbrauch im Sinne eines Microgrids ergibt sich in solchen marktbasierenden Ansätzen dann, wenn die lokal angebotene Energie günstiger ist als die in konventionellen Kraftwerken erzeugte.

3 SOA für dezentrales Energiemanagement

Service-orientierte Architekturen sind ein Konzept zur Entwicklung flexibler, agiler und effektiver Systemarchitekturen, das in den letzten Jahren zunehmend an Beachtung findet. Allerdings ist das Konzept auch aufgrund seiner Aktualität und seines Schlagwortcharakters in der Literatur nicht klar definiert. Je nach konkretem Anwendungskontext variiert die Bedeutung und Ausprägung des Begriffs „SOA“ sowie des darin enthaltenen Service-Gedanken. Im vorliegenden Beitrag wird unter einer SOA „Komponentenorientierung in Verbindung mit loser Kopplung und ausgelagerter Ablaufsteuerung“ verstanden [Si07]. Eine SOA ist demnach ein prozessorientiertes Architekturkonzept, das den Aufbau eines Gesamtsystems, wie einem Energiemanagementsystem, auf Basis einzelner Dienste (Services) beschreibt. Ein

¹ Siehe dazu insbesondere auch Kapitel 4.

Service stellt fachliche, für das Gesamtsystem relevante Dienste wie Geschäftsprozesse und höherwertige Geschäftsfunktionen bereit. Somit bezeichnet der Begriff Service in diesem Beitrag „eine Software-Komponente mit einer ganz bestimmten funktionalen Bedeutung, die in der Regel ein Geschäftskonzept höherer Ebene einkapselt“ [KBS07].

Das Konzept der SOA ist insbesondere für das dezentrale Energiemanagement zur „sanften“ Dezentralisierung praxisrelevant. So können mittels SOA nicht nur benötigte Altsysteme eines EVU oder relevante Geschäftsfunktion und -prozesse über Services gekapselt werden [Us05], [LMW07]. Vielmehr können zudem die verteilten Akteure, wie Erzeuger und Verbraucher, über standardisierte Services aktiv in das dezentrale Energiemanagement unter Wahrung ihrer lokalen Autonomie integriert werden [Sc07]. Hierfür werden die benötigten Koordinationsaufgaben wie Einsatzplanung oder Erzeugerprognose in entsprechenden Services gekapselt und dezentral, vor Ort der Energieerzeuger, -verbraucher und weiterer Akteure bereitgestellt. Globale Energiemanagementprozesse können dann beispielsweise unter Nutzung dieser Services durchgeführt werden. Die SOA basiert hierbei auf einer hierarchisch organisierten Kommunikationsinfrastruktur, welche die Strukturierung der einzubeziehenden Akteure des dezentralen Energiemanagements ermöglicht.

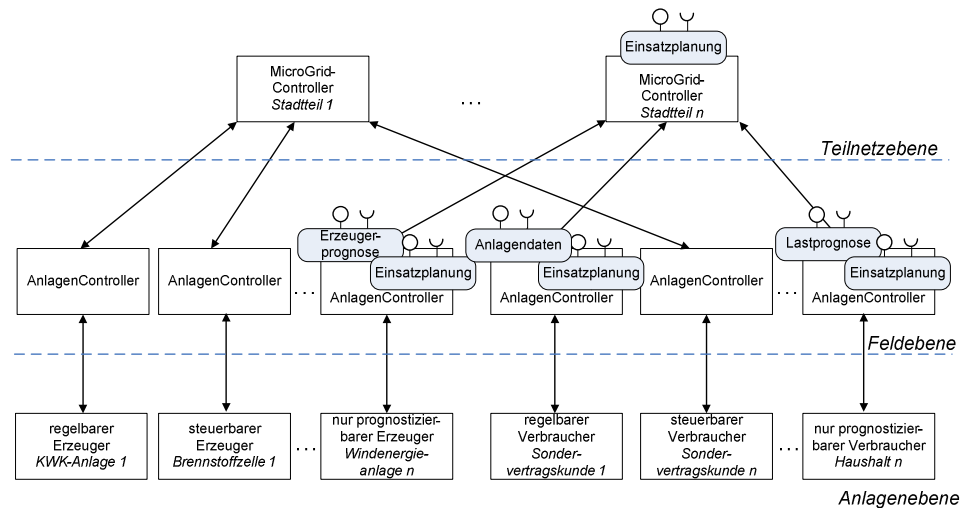


Abbildung 1: Beispielinstanz einer SOA für das dezentrale Energiemanagement

3.1 Beispielinstanz einer SOA für das dezentrale Energiemanagement

Anhand eines Beispiels zum globalen Energiemanagementprozess „Einsatzplanung“ wird im Folgenden das Konzept der SOA zur Dezentralisierung des Energiemanagements verdeutlicht, siehe auch Abbildung 1. Die einzelnen Akteure im dezentralen Energiemanagement, wie Energieerzeuger, -verbraucher oder gekoppelte Erzeuger und Verbraucher, beispielsweise in Form von größeren Gebäuden, werden auf

der untersten Ebene der hierarchisch organisierten Kommunikationstopologie, der so genannten *Anlagenebene* angeordnet. Auf dieser Ebene können interne Energiemanagementaufgaben in Form von Services angeboten und durchgeführt werden, welche nicht nach Außen zur Verfügung gestellt werden.

Die einzelnen Anlagen werden auf der so genannten *Feldebene* durch AnlagenController nach Außen sichtbar gemacht. Diese AnlagenController verbergen die internen Details der Anlagen und kapseln diese somit [MF07]. Auf dieser Ebene können für das globale Energiemanagement relevante Aufgaben bezüglich des Managements der Anlagen durchgeführt werden [Sc07]. Im vorliegenden Beispiel werden auf der Feldebene folgende, für die Einsatzplanung relevante Dienste angeboten:

- „Erzeugerprognose“: stellt die Prognose eines lokalen Erzeugers bereit.
- „Lastprognose“: stellt die Prognose eines lokalen Verbrauchers bereit.
- „Anlagendaten“: stellt lokale Anlageninformationen wie Kapazität oder Einsatzrestriktionen² bereit.
- „Einsatzplanung“: stellt die lokale Einsatzplanung, d.h. die Überprüfung und gegebenenfalls Aktualisierung eines Einsatzplanes für eine lokale Anlage bereit.

Eine höher liegende Ebene kann die einzelnen AnlagenController der Feldebene zu Clustern zusammenfassen und somit die Energiemanagementaufgaben durch Hierarchisierung weiter strukturieren. In der vorliegenden Abbildung 1 erfolgt diese Strukturierung anhand der Netztopologie, so dass die AnlagenController auf der so genannten *Teilnetzebene* aufgrund ihrer Topologie geclustert werden. Die Hierarchisierung kann zudem anhand weiterer Faktoren wie Erzeugertyp oder Einspeiseleistung erfolgen. Die Clusterbildung und damit einhergehende Hierarchisierung ist kein einmaliger Vorgang, sondern kann mehrmals anhand verschiedener Merkmale durchgeführt werden. Das vorliegende Beispiel beschränkt sich der Übersichtlichkeit halber auf eine einmalige Clusterung aufgrund der Netztopologie. Auf dieser Teilnetzebene wird der für die globale Einsatzplanung relevante Service „Einsatzplanung“ angeboten. Dieser Dienst übernimmt lokal die Erstellung eines Einsatzplanes für das jeweilige Teilnetz. Zudem führt der Dienst eine Aufteilung des Einsatzplans auf die einzelnen, im Teilnetz geclusterten Anlagen durch.

Der Prozess der Einsatzplanung läuft nun wie folgt ab: Der MicroGrid-Controller erfragt alle notwendigen Daten der AnlagenController durch Aufruf der vom AnlagenController zur Verfügung gestellten Services „Erzeugerprognose“, „Lastprognose“ sowie „Anlagendaten“ und erzeugt auf Basis dieser Daten für alle ihm untergeordneten Anlagen Fahrpläne. Diese übermittelt er durch Nutzung des Services „Einsatzplanung“ an die AnlagenController, die die Fahrpläne prüfen und bestätigen oder ablehnen. Eine Ablehnung etwa veränderter lokaler Nebenbedingungen wegen hat im Allgemeinen zur

² Eine schematische Übersicht möglicher Einsatzrestriktionen findet sich in Kapitel 4.

Folge, dass alle Fahrpläne neu generiert werden müssen (Neuaufwurf), da sich durch Änderungen an einem Fahrplan zwangsweise Änderungen an anderen Fahrplänen ergeben.

3.2 Vorteile der SOA für das dezentrale Energiemanagement

Das in Abschnitt 3.1 vorgestellte Konzept der SOA zur schrittweisen Umsetzung des dezentralen Energiemanagements ermöglicht es, globale Energiemanagementprozesse Top-Down durch die Nutzung lokaler Dienste durchzuführen.

Ein Vorteil dieses Konzeptes liegt in der Akzeptanz des Systems begründet. Im Gegensatz zu reinen Multi-Agenten-Systemen, bei denen jegliche Entscheidung lokal autonom durchgeführt wird, wahrt der hier vorgestellte Ansatz Akteuren wie EVU die Möglichkeit der Einflussnahme. So wird in der hier vorgestellten Beispielsinstanz auf Ebene der MicroGrid-Controller eine Einsatzplanung durchgeführt, auf die das EVU Einfluss nehmen kann – es muss nicht „blind“ darauf vertrauen, dass unterliegende Agenten einen Einsatzplan erstellen werden.

Ein weiterer Vorteil liegt in der Kapselung der fachlichen Geschäftsfunktionen in Form wohldefinierter Services. Diese Kapselung ermöglicht es sowohl Altsysteme als auch Neuentwicklungen in das Energiemanagement zu integrieren. Zudem ermöglicht die Definition der Services und ihrer Schnittstellen die Adaptierbarkeit der SOA, da die Realisierungen der Dienste, d.h. die Serviceimplementierungen, austauschbar sind. So können bei Beibehaltung der gleichen Servicestruktur technisch innovative Lösungen Altsysteme schrittweise ablösen. Dieser Vorteil des hier vorgestellten SOA-Konzeptes wird insbesondere im folgenden Abschnitt 4 weiter vertieft.

4 Agenten zur Einsatzplanung in service-orientierten Architekturen

Die innerhalb einer SOA gegebene Kapselung der eigentlichen Funktionalitäten durch Services ermöglicht es, einzelne Komponenten schrittweise auszutauschen und aktuellen Entwicklungen in der Energielandschaft anzupassen. Diese besondere Flexibilität kann nun in Kombination mit Agententechnologien dazu genutzt werden, das Energiemanagement schrittweise zu dezentralisieren und Entscheidungskompetenzen entsprechend den jeweils aktuellen Anforderungen und Möglichkeiten in die Komponenten zu verteilen. Im Folgenden wird die Einführung autonomer Agenten auf Gebäude- bzw. Anlagenebene als ein erster möglicher Schritt exemplarisch aufgezeigt.

4.1 Einsatzplanung auf Anlagenebene

Dezentrale steuerbare KWK-Anlagen im Leistungsbereich bis zu 50 kW³, die bei der

³ Die Leistungsangabe bezieht sich dabei auf die maximale thermische Leistung. Die elektrische Leistung ergibt sich aus der Stromkennzahl (Quotient aus elektrischem und thermischen Wirkungsgrad) der Anlage.

Koordination dezentraler Anlagen im Sinne eines Microgrids oder Virtueller Kraftwerke eine wichtige Rolle spielen können, sind der effizienten Nutzung der anfallenden Abwärme wegen häufig in Gewerbeobjekten mit hohem Wärmebedarf wie z.B. Einkaufszentren oder Schwimmbädern untergebracht. Zukünftige modulare Brennstoffzellensysteme mit einem höheren elektrischen Wirkungsgrad können auch in Objekten mit geringerem Wärmebedarf wie z.B. Mehr- und Einfamilienhäusern zum Einsatz kommen. Auch die Nutzung regenerativer Energieträger in Form von Photovoltaikanlagen ist (von Versuchsanlagen abgesehen) an Gebäude gebunden. Die Gebäude- bzw. Anlagenebene bietet daher einen geeigneten Einstiegspunkt für die Dezentralisierung des Energiemanagements.

Bei der Einsatzplanung, d.h. der Erstellung von Fahrplänen für steuerbare Anlagen in gewisser zeitlicher Auflösung durch ein Energiemanagementsystem müssen, wie bereits in Kapitel 3 angedeutet, mehrere lokale Nebenbedingungen beachtet werden:

- Der lokale Wärmebedarf des Objekts muss in jedem Zeitintervall gedeckt sein⁴.
- Die planbare Laufzeit einer KWK-Anlage hängt für jedes Zeitintervall von der Wärmekapazität und dem jeweils aktuellen Zustand des lokalen Wärmespeichers⁵ ab.
- Der technische Betrieb der Anlage selbst umfasst Anforderungen z.B. bezüglich Minimallaufzeiten, Anfahrzeiten und Leistungsänderungsgeschwindigkeiten, die in die Fahrplanerstellung einfließen müssen.
- Bewohnerpräferenzen, etwa Temperaturvorgaben und bevorzugte Einsatzzeiten, können die Einsatzplanung beeinflussen.
- Leistungsprognosen, etwa von Photovoltaikanlagen, können in die Fahrplangestaltung einfließen, um einen möglichst guten Ausgleich fluktuierender Einspeisung zu ermöglichen.

Die zuvor diskutierte service-orientierte Architektur sieht unter anderem Services zur Bereitstellung von Lastprognosen und Anlagendaten vor (siehe Abbildung 1). Mittels dieser Dienste kann wie in Abschnitt 3.1 beschrieben auf höheren Ebenen eine Datenbasis zur Generierung geeigneter Fahrpläne für einzelne Anlagen geschaffen werden. Mit einer steigenden Anzahl dezentraler Anlagen wächst dabei jedoch auch das Datenaufkommen und die Komplexität der Einsatzplanung stark an. Insbesondere letzterem kann durch den Einsatz autonomer Gebäudeagenten, die unter Berücksichtigung oben genannter Restriktionen Fahrpläne für die ihnen unterstellten

⁴ In der Regel sind KWK-Anlagen aus Gründen der Wirtschaftlichkeit so dimensioniert, dass sie eine Laufzeit von ca. 5000 Stunden pro Jahr erreichen. Da etwa im Winter thermische Lastspitzen auftreten können, die über der maximalen thermischen Leistung der Anlagen liegen, ist zur Deckung des Wärmebedarfs im Allgemeinen ein zusätzlicher Spitzenlastkessel notwendig.

⁵ Bei den meist eingesetzten Wasserspeichern hängt die Wärmekapazität vom Volumen und der Spreizung, d.h. der Differenz aus Vorlauf- und Rücklauftemperatur, ab.

steuerbaren Anlagen generieren können, begegnet werden. Die algorithmische Vorgehensweise kann von Agent zu Agent unterschiedlich und optimal an die lokalen Gegebenheiten angepasst sein; dabei können je nach Notwendigkeit sowohl konstruktivistische als auch heuristische Planungsverfahren zum Einsatz kommen.

4.2 Integration von Agenten in service-orientierte Architekturen

Die Integration der auf Anlagenebene planenden Agenten in service-orientierte Architekturen kann wegen der in SOA gegebenen Kapselung der Funktionalitäten durch Services relativ unkompliziert erfolgen. Ansatzpunkt im Beispiel ist der Dienst „Einsatzplanung“, der bisher bereits dazu verwendet wurde, vorgefertigte Fahrpläne vom MicroGrid-Controller entgegenzunehmen und zu prüfen (siehe Abschnitt 3.1):

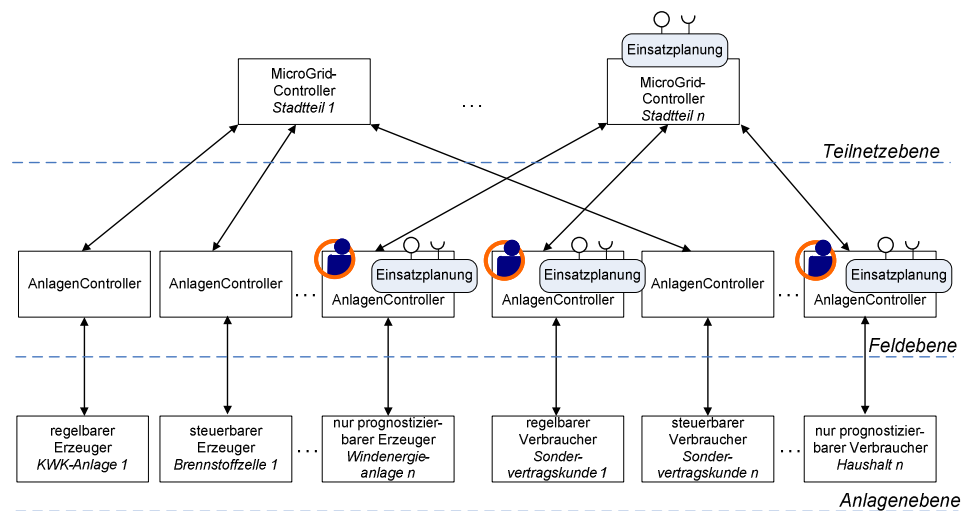


Abbildung 2: Autonome Agenten kapseln lokale Informationen und erweitern die Funktionalität des Dienstes „Einsatzplanung“.

Autonom planende Agenten können die Funktionalität dieses Dienstes wie folgt erweitern:

- Der *MicroGrid-Controller*, der diesen Dienst nutzt, übermittelt nicht mehr vorgefertigte Fahrpläne, sondern globale Vorgaben, die sich etwa aus der prognostizierten Netzlast ergeben. Dies können beispielsweise mit der jeweiligen Anlagenleistung gewichtete Einspeiseprofile sein, die festlegen, wann eine Einspeisung aus Netzsicht wünschenswert ist.
- Die Agenten generieren unter Berücksichtigung der globalen Vorgaben und der lokalen Restriktionen Fahrpläne für die ihnen unterstellten Anlagen. Dabei wird

innerhalb der Fahrpläne zwischen fest definierten und begrenzt verschiebbaren Anlagenlaufzeiten differenziert. Damit wird einerseits erreicht, dass die Anlagen zu kritischen Zeiten (z.B. bei thermischen Lastspitzen im Gebäude) garantiert laufen, und andererseits bietet sich dem MicroGrid-Controller damit ein gewisser Spielraum, um letzte globale Feinabstimmungen der Fahrpläne vorzunehmen.

- Die dieser Art gestalteten Fahrpläne werden an den MicroGrid-Controller gemeldet, der diese gegebenenfalls etwas modifizieren und zurück übermitteln kann.

Neben einer Verteilung des Aufwands der Einsatzplanung hat dieser Ansatz den Vorteil, dass sensitive lokale Daten nicht in höhere Hierarchieebenen kommuniziert werden müssen, aber dennoch in die Gestaltung der Fahrpläne einfließen. Die Dienste zur Prognose- und Anlagendatenbereitstellung können somit auf ein notwendiges Minimum reduziert oder in späteren Schritten ganz entfernt werden.

Damit ist ein erster möglicher Schritt hin zu einem Energiemanagement, in dem Entscheidungskompetenzen dezentral organisiert sind, aufgezeigt. Eine mögliche zukünftige Weiterentwicklung des vorgestellten Systems könnte etwa die Umgestaltung der Koordination der dezentralen Anlagen von konstruktivistischen oder heuristischen Planungsverfahren hin zu marktorientierten Ansätzen sein, wie sie z.B. in [Ko05] diskutiert werden. Dabei wird durch Auktionsverfahren eine bestmögliche Abstimmung von Erzeugung und Verbrauch von elektrischer Energie angestrebt; die Rolle des Auktionators könnte hier der MicroGrid-Controller übernehmen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Der zukünftig erwartete hohe Anteil dezentraler Energieressourcen an der Energieerzeugung bringt neben vielen Möglichkeiten auch eine ganze Reihe Herausforderungen mit sich. Besonders deutlich wird dies an der Koordination dezentraler Anlagen auf den unteren Spannungsebenen, die einerseits eine Verstärkung fluktuierender Einspeisung und eine Reduktion konventioneller Kraftwerkskapazitäten ermöglichen kann, dazu aber andererseits innovative, verteilte Steuerungskonzepte erfordert. Multi-Agentensysteme, die Gegenstand aktueller Forschung sind, könnten wegen der ihnen inheränten Vorteile in verteilten Systemen hierzu in Zukunft einen entscheidenden Beitrag leisten. Da für einen erfolgreichen Einsatz dieser Systeme aber sowohl notwendige technische als rechtliche Rahmenbedingungen nicht gegeben sind und die Pflicht der EVU und Netzbetreiber zur Gewährleistung einer durchgängig verlässlichen Energieversorgung ein späteres, vollständiges Umstellen der vorhandenen Systeme auf MAS unwahrscheinlich macht, bedarf es einer Strategie zur sanften, schrittweisen Dezentralisierung des Energiemanagements.

Mit der in diesem Beitrag diskutierten Kombination von service-orientierten Architekturen und autonomen Agentensystemen wurde eine solche Strategie präsentiert.

Vorteile der vorgestellten SOA sind insbesondere ihre zeitnahe Umsetzbarkeit, die Kapselung von Funktionalitäten durch Services, die ein unkompliziertes Austauschen bzw. Erweitern von Funktionen erst ermöglicht, sowie die Möglichkeit, Kompetenzen nach und nach in tiefer gelagerte Komponenten zu verschieben. Die schrittweise Ergänzung der Funktionalitäten von Services auf verschiedenen Hierarchieebenen ermöglicht eine zeitliche Anpassung des Energiemanagements an neue Randbedingungen und fördert auf Seiten der involvierten Akteure die Akzeptanz des Gesamtsystems.

Die am Beispiel der Einsatzplanung vorgestellte Integration autonomer Agenten in service-orientierte Architekturen für das Energiemanagement ermöglicht eine verteilte Koordination der Einspeisung dezentraler Systeme. Der Grad der Verteiltheit kann dabei z.B. auch von wirtschaftlichen Aspekten abhängig gemacht werden, indem nur Anlagen, für die es rentabel ist, mit zusätzlicher Intelligenz ausgestattet werden. Durch die bereitgestellten Services ist es durchaus vorstellbar, dass autonome Agenten mit zentral gesteuerten Einheiten koexistieren. Die genaue Ausgestaltung des Systems richtet sich flexibel nach den Anforderungen der betroffenen Akteure.

Literaturverzeichnis

- [BNS05] Bergfelder, M.; Nitschke, T.; Sorge, C.: Signaturen durch elektronische Agenten - Vertragsschluss, Form und Beweis. In: Informatik Spektrum, Springer-Verlag, Berlin, 2005; S. 210-219.
- [HS99] Huhns, M. N.; Stephens, L. M.: Multiagent Systems and Societies of Agents. In: (Weiss, G. Hrsg.): Multiagent System – A modern approach to distributed artificial intelligence. The MIT Press, Cambridge (Massachusetts), 1999; S. 79 – 120.
- [Ko05] Kok, J.K. et. al.: PowerMatcher: Multiagent Control in the Electricity Infrastructure. In: Proc. AAMAS'05, Utrecht, Netherlands, 2005; S. 75-82.
- [KBS07] Krafzig, D.; Banke, K.; Slama, D.: Enterprise SOA: Wege und Best Practices für Serviceorientierte Architekturen, mitp, 2007.
- [LMW07]Luhmann, T.; Meister, J.; Wulff, C.: Serviceorientierte Produktplattform für das Energiemanagement der Zukunft. In: Wirtschaftsinformatik 49 (5), 2007; S. 343_351.
- [LP04] Lasseter, R. H.; Piagi, P.: Microgrid: A Conceptual Solution. In: Proc. IEEE Power Electronics Specialists Conference (PESC'04), Aachen, 2004.
- [MB04] Marnay, C.; Bailey, O. C.: The CERTS Microgrid and the Future of the Macrogrid. In: Proc. 2004 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Pacific Grove (California), 2004. LBNL-55281.
- [MF07] Meister, J.; Feislachen, H.: Virtual Power Plant requirements for IEC 61850-7-420. Präsentation zum Workshop on International Standardization for Distributed Energy Resources, 2007.
- [PSK07] Pielke, M.; Schulz, C.; Kurrat, M.: Wirtschaftliche Rahmenbedingungen einer netzorientierten Betriebsweise von Mini-BHKW. In: (Beck, H.-P. Hrsg.) Forschungsverbund Energie Niedersachsen – Tagungsband zum 1. Statusseminar des FEN. Goslar, 2007.
- [Ra07] Raphael, T. et. al.: VDE-Studie „Dezentrale Energieversorgung 2020“. VDE, Frankfurt, 2007.
- [RN04] Russell, S.; Norvig, P.: Künstliche Intelligenz – Ein moderner Ansatz. Pearson Studium, München, 2004.

- [Sc07] Schmedes, T.: Modellierung service-orientierter Architekturen in der Energieversorgung. In (Bleek, W.-G.; Schwentner, H.; Züllighoven, H. Hrsg.): Software Engineering 2007 - Beiträge zu den Workshops, GI, 2007; S. 187-194.
- [Sc05] Schröppel, W. et. al.: VDE-Studie „Elektrische Energieversorgung 2020 – Perspektiven und Handlungsbedarf“. VDE, Frankfurt, 2005.
- [Si07] Siedersleben, J.: SOA revisited: Komponentenorientierung bei Systemlandschaften. In: Wirtschaftsinformatik 49, 2007; S. 110-117.
- [SN04] Sester, P.; Nitschke, T.: Softwareagent mit Lizenz zum ...? - Vertragsschluss und Verbraucherschutz beim Einsatz von Softwareagenten. In: Computer und Recht, Verlag Dr. Otto Schmidt, Köln, 2004; S. 548-554.
- [TA07] Tröschel, M.; Appelrath, H.-J.: Standardisierte Kommunikation für dezentrales Energiemanagement. In: (Beck, H.-P. Hrsg.) Forschungsverbund Energie Niedersachsen – Tagungsband zum 1. Statusseminar des FEN. Goslar, 2007.
- [Us05] Uslar, M.; Schmedes, T.; Luhmann T.; Appelrath, H.-J.: Eine serviceorientierte Architektur für das dezentrale Energiemanagement. In (Armin B. Cremers, A.B.; Manthey, R.; Martini, P.; Steinhage V. Hrsg.): INFORMATIK 2005: Informatik LIVE!, 2005; S. 622–626.
- [We07] Wedde, H. F. et. al.: Dezentral vernetzte Energiebewirtschaftung (DEZENT) im Netz der Zukunft. In: Wirtschaftsinformatik 49 (2007) 5, vieweg-Verlag, Wiesbaden, 2007; S. 361-369
- [Wo99] Wooldridge, M.: Intelligent Agents. In: (Weiss, G. Hrsg.): Multiagent System – A modern approach to distributed artificial intelligence. The MIT Press, Cambridge (Massachusetts), 1999; S. 27 – 77.
- [Zi05] Zitterbart, M. et. al.: A Peer-to-Peer Framework for Electronic Markets. In: Peer-to-Peer Systems and Applications, Springer-Verlag, Berlin, 2005.