

DATENAUSTAUSCHFORMATE FÜR DEMAND RESPONSE – EVALUATION UND FALLBEISPIEL MIT OPENADR

Norman Ihle, Serge Runge, Christoph Gutschi, Karlheinz Gödderz

Universität Oldenburg, Department für Informatik, norman.ihle@uni-oldenburg.de

Universität Oldenburg, Department für Informatik, serge.runge@efzn.de

cyberGRID GmbH, Inkusstrasse 16, 3400 Klosterneuburg, cg@cybergrid.com

Vattenfall Europe Information Services GmbH, Berlin, karlheinz.goedderz@vattenfall.de

Kurzfassung: Als ein Baustein beim Ausbau von Smart Grids wird häufig Demand Response genannt. Demand Response (DR) beschreibt die Beeinflussung der Endkundenseite im Strombezugsverhalten. Um für die damit verbundenen Anwendungsfälle umsetzen zu können kommen verschiedene Datenaustauschformate für die Kommunikation zwischen dem DR-Anbieter und dem Endkunden in Frage. Im Rahmen des Projektes BESIC, welches Demand Response Potentiale in einem Containerterminal untersucht und verfügbar macht, wurden verschiedene Datenaustauschformate auf die Erfüllung der im Projekt gestellten Anforderungen hin untersucht und bewertet. Als Ergebnis wurde das Format OpenADR für die Umsetzung ausgewählt und prototypisch implementiert. Die erfolgte Evaluation und die darauf basierende Umsetzung werden vorgestellt. Derzeit werden erste positive Erfahrungen beim Einsatz von OpenADR im Rahmen eines Feldtest gemacht.

Keywords: Demand Response, Datenaustauschformate, OpenADR

1 Einleitung

Nicht erst seit der Liberalisierung der Strommärkte befassen sich energieintensive Unternehmen mit der Optimierung ihres Strombezugsverhaltens. Spitzenlastmanagement und Verlagerung von Verbräuchen in Zeiträume mit vergünstigten Bezugspreisen wurden durch die Netzbetreiber mit der Einführung von leistungsbezogenen Tarifkomponenten und unterschiedlichen Tag- und Nachtтарifen unterstützt.

Energiemanagementsysteme übernehmen dabei die operative Überwachung auf Endkundenseite und, wenn möglich, die Steuerung des Energiebezugs. Wird dabei auf externe Anreize reagiert, so spricht man von Demand Response [1]. Diese Anreize können variable Preissignale sein, z.B. abgeleitet von aktuellen Bezugspreisen an der Strombörse, aber auch weitere Anreizsignale um den Stromverbrauch zu reduzieren bzw. sogar zu erhöhen, wie z.B. bei Frequenzschwankungen im Transportnetz oder bei der Verfügbarkeit von großen Mengen erneuerbaren Energien. Für die Integration des Endverbrauchers in den Strommarkt werden in verschiedenen Studien hohe Potenziale im Kontext von Demand Response genannt, teilweise unter dem noch etwas weiter gefassten Begriff Demand Side Integration [2], [3]. Allein in Deutschland wird für die Nutzung von flexiblen Lasten das Potenzial auf 2700MW geschätzt [3]. Dabei werden in verschiedenen Untersuchungen die stromintensiven Branchen (Aluminium, Chemie, Stahl, Papier, Zement) als Zielgruppe genannt ([4], [5], [6],

[7]) oder Möglichkeiten und Potenzial bei der Einbindung von Haushaltskunden untersucht ([8], [9]). Die Logistikbranche wird in keiner dieser Ausarbeitungen genannt oder betrachtet.

Im Projekt BESIC (Batterie-Elektrische Schwerlastfahrzeuge im Intelligenten Containerterminalbetrieb) wird geprüft, inwieweit Brückenschläge zwischen dem Automatisierungsumfeld einer Logistikdomäne (Containerterminalbetrieb) und der Energiedomäne (Lieferant/Aggregator) möglich sind. Im Rahmen des Projektes werden basierend auf den logistischen Erfordernissen die Möglichkeiten zur Prognose des Wirkleistungsbedarfs des Terminals und zur Ermittlung und Vermarktung von Flexibilität im Lastverlauf untersucht. Die Flexibilität im Leistungsbedarf entsteht dabei hauptsächlich aus der Nutzung von batterieelektrischen Schwerlastfahrzeugen für den Containertransport. Durch die Nutzung eines Batteriewechselprinzips für die Fahrzeuge bilden die im jeweiligen Zeitraum nicht genutzten Batteriesysteme einen quasi-stationären Speicher mit nicht konstanter Kapazität. Da die Nutzungsdauer einer geladenen Batterie im Fahrzeug deutlich länger ist, als die Zeit für einen vollständigen Ladevorgang, ergibt sich hier Flexibilität im Strombezug für die Ladevorgänge. Eine Planung der Nutzungssequenzen der einzelnen Batteriesysteme auf Basis der logistischen Erfordernisse ermöglicht eine a-priori-Einschätzung des Potenzials zur Verschiebung oder zur Vorziehung von Lasten aus den Batterieladevorgängen.

Um die Lastgangvorhersage und die zur Verfügung stehende Flexibilität energiewirtschaftlich nutzbar zu machen ist ein intensiver Datenaustausch zwischen den Marktpartnern erforderlich. Insbesondere die sowohl im zeitlichen Verlauf als auch in ihrer Höhe schwankende zur Verfügung stehende Flexibilität wird von einem Energiemanagementsystem täglich neu ermittelt, dem Marktpartner angeboten und dessen Vermarktungsergebnisse zurück gemeldet.

Im Folgenden werden die betrachteten auszutauschenden Daten kurz beschrieben. Auf Basis von Anforderungen, die mit Hilfe einer Geschäftsprozessmodellierung mit BPNM ermittelt wurden, wurden etablierte sowie propagierte Datenaustauschstandards im Umfeld von Demand Response und Smart Grid für den Anwendungsfall Containerterminal untersucht und ein Standard für die Umsetzung ausgewählt. Der Auswahlprozess sowie die Umsetzung der entsprechenden Datenaustauschprozesse werden in den folgenden Kapiteln ebenfalls beschrieben

2 Anforderungen an Demand Response im Projekt BESIC

Um seinen Lastverlauf nach energiewirtschaftlichen Gesichtspunkten optimieren zu können müssen dem Letztverbraucher Anreize zur Gestaltung seiner Lastkurve bekannt gemacht werden. Einen solchen Anreiz können Preisinformationen sein. Variable Preise, wie sie z.B. an der Strombörse entstehen, kann ein Stromlieferant oder ein Demand Response Serviceanbieter dazu nutzen den Wirkleistungsbedarf der Letztverbraucher in seinem Sinne zu beeinflussen. Wird zwischen den Marktpartnern auch das Bereitstellen von Regelleistung als Dienstleistung des flexiblen Verbrauchers vereinbart, so sind auch hier Vorab-Preisinformationen zu möglichen Bereitstellungserlösen von einem Aggregator mitzuteilen.

Der Letztverbraucher kann wiederum diese Formen von Anreizsignalen nutzen, um einen darauf optimierten Lastverlauf nach seinen betrieblichen Erfordernissen zu planen und diesen Lastverlauf dem Marktpartner als Prognose mitzuteilen. Der Vorteil für den Marktpartner liegt in der deutlich höheren Prognosegüte des Letztverbrauchers im Gegensatz zu eigenen

Ansätzen zur Vorhersage basierend auf statistischen Verfahren und historischen Verbrauchsdaten. Liegen dem Letztverbraucher dazu zusätzlich noch Informationen über mögliche Flexibilität in diesem Lastverlauf (Möglichkeiten zum Zu- oder Abschalten von Verbrauchern über die Zeit in Form von Leistungsbedarf) vor, können diese Informationen vom Aggregator im Rahmen von Regelleistung genutzt werden. Die entsprechenden Zu- oder Abschaltpotenziale des Letztverbrauchers muss dabei dem Demand Response Servicedienstleister (Aggregator) bei einem TSO-Abruf kurzfristig zur Verfügung gestellt werden.

Als besondere Anforderung des BESIC-Projektes wurde identifiziert, dass die Flexibilitätsbereitstellung täglich starken Schwankungen unterlegen ist. Erst mit der Vortagsplanung kann die Grundlast der Batteriewechselstation und das Zu- und Abschaltpotenzial über die Zeit für den Folgetag ermittelt und dem Aggregator angeboten werden. Auch diese Planung ist noch mit Unsicherheit behaftet, da sie auf der prognostizierten Transportlast der batterie-elektrisch betriebenen Schwerlastfahrzeuge beruht. Aufgrund von Abweichungen der tatsächlichen Auslastung und damit der Batteriewechselzeitpunkte muss ein Ausstieg aus der Flexibilitäts-erbringung am Bereitstellungstag jederzeit möglich sein („OptOut“), um den Logistikbetrieb im Terminal nicht zu gefährden.

Um Demand Response (DR) Anwendungsfälle im Kontext des Containerterminals umzusetzen wurde festgelegt, dass folgender Nachrichtenaustausch notwendig ist:

- *Von dem Letztverbraucher an den Lieferant/Aggregator:* Lastgangprognose, Flexibilitätsangebot, Verfügbarkeitsinformationen, Messdaten
- *Vom Lieferant/Aggregator an den Letztverbraucher:* Preisinformationen, Flexibilitätsvermarktungsinformationen, Abrufsignale für Flexibilität

Die einzelnen zu sendenden Nachrichten umfassen jeweils Datenfelder zur Spezifizierung der Nutzdaten und entsprechende zeitscheibenscharfe Werte („Profile“). So werden zum Beispiel bei der Lastgangvorhersage die Datenfelder „Zählpunkt“, „Zeitraum“, „Zeitliche Auflösung“, „Erstellungszeitpunkt“ und „Maßeinheit“ mit den eigentlichen zeitscheiben-scharfen Werten versendet. Es wird davon ausgegangen, dass benötigte Kopfdaten (Absender, Empfänger, eindeutige ID) der einzelnen Nachrichten jeweils von den einzelnen betrachteten Formaten vorgegeben werden.

Darüber hinaus wurden für den gesamten Nachrichtenaustausch allgemeine Festlegungen (z.B. generelle Nutzung von UTC-Zeit, Übermittlung über Internetverbindungen, etc.) getroffen, sowie jeweils spezifische Mindestinhalte festgelegt.

3 Kommunikationsstandards im Umfeld von Demand Response

Seit Beginn der Liberalisierung des Energiemarktes zeigt sich eine deutliche Zunahme der Marktfunktionen, die in der Energiewirtschaft zu erfüllen sind. Insbesondere regulierte Massenprozesse wie Lieferantenwechsel oder Messdatenübermittlung zwangen die beteiligten Marktakteure schon früh standardisierte Nachrichtenprotokolle für die automatisierte Abwicklung dieser Prozesse zu entwickeln. Für diese Prozesse, die für den deutschen Strommarkt in den Verordnungen GPKE (Geschäftsprozessen zur Belieferung von Kunden mit Elektrizität), MaBiS (Marktregeln für die Durchführung der Bilanzkreisabrechnung Strom) und WiM (Wechselprozesse im Messwesen) beschrieben sind, hat sich derzeit eine Anzahl von Nachrichtentypen basierend auf dem Kommunikationsstandard *EDIFACT* etabliert. Diese werden

im deutschen Energiemarkt intensiv genutzt und regelmäßig von den Verbänden gepflegt und bei Bedarf angepasst. Wichtigster Nachrichtentyp ist hier MSCONS, der für den Versand von Zählerständen und Lastganginformationen genutzt wird.

Für nicht-regulierte Prozesse der Energiewirtschaft ist der Druck für einen hohen Grad der Standardisierung gestiegen, insbesondere durch das Aufkommen der „Smart Grids“, d.h. mit einer Dezentralisierung der Erzeugung in Kombination mit fluktuierender Einspeisung und der höheren Verfügbarkeit von Messwerten („Smart Meter“) sowie vermehrter Einbindung der Endkunden für den Zweck der Nachfragesteuerung („Demand Response“). Eine Anzahl von verschiedenen Formaten wurde bereits von verschiedenen Marktakteuren und Standardisierungsgremien erarbeitet und vorgeschlagen. Diese Formate unterscheiden sich in den unterstützten Zielprozessen (z.B. Netzautomatisierung, Smart Meter Steuerung, Endkundenbeeinflussung, etc.), der Ebene der Beschreibung (Datenmodell, Datenaustauschprotokoll, etc.), Verantwortlichkeit für das jeweilige Format (Energiemarktakteur, Verband, Standardisierungsgremium, etc.), sowie der derzeitigen Marktdurchdringung. Die prominentesten Formate sollen im Folgenden kurz skizziert und anschließend bewertet werden.

VHP-Ready [10] ist ein Nachrichtenprotokoll für die Steuerung von Blockheizkraftwerken und Wärmepumpen, welches dazu genutzt werden kann, diese zu einem vernetzten, flexibel regelbaren und zentral gesteuerten Anlagensystem im Sinne eines virtuellen Kraftwerkes zusammen zu schließen. Dazu werden unter anderem Schaltbefehle an die Endgeräte kommuniziert. Es wird die Nachrichtenstruktur, für welche die Standards IEC 60870 oder IEC 61850 genutzt werden können, beschrieben und teilweise Interaktionsfolgen vorgegeben.

Das *Common Information Model* (CIM) [11], basierend auf den Standards IEC 61970, IEC 61968 und IEC 62325 ist ein Datenmodell zur Beschreibung von Elektrizitätsnetzen, welches nach und nach auch um Marktprozesse erweitert wurde und inzwischen auch von dem europäischen Verband der Transportnetzbetreiber ENTSO-E in der Entwicklung unterstützt wird. CIM beschreibt dabei in einem objektorientierten Aufbau mittels UML-Klassendiagrammen Bestandteile von Netzen und Marktprozessen und deren Verbindung untereinander. Aus dem sehr umfangreichen Datenmodell können für eigene Zwecke Ausschnitte gewählt werden (sogenannte Profile), die für den jeweiligen Anwendungskontext relevant sind. Serialisiert, z.B. in einer XML-Darstellung, können diese Profile als Nachrichtenformat genutzt werden.

Aus der Erkenntnis heraus, dass es dem CIM noch an Möglichkeiten zur Beschreibung von Prozessen rund um Endkundenflexibilität mangelt, wurde im Rahmen des EU-Projekts MIRABEL (Micro-Request-Based Aggregation, Forecasting and Scheduling of Energy Demand, Supply and Distribution) eine Erweiterung des Common Information Models vorgeschlagen, welches Datenmodelle für den Austausch von Flexibilitätsinformationen ergänzt („*FlexOffer*“).

OpenADR [12] ist ein Datenaustauschformat welches für die Beeinflussung der Endkunden-seite durch Preissignale entwickelt wurde und dabei ist sich in der Version 2.0 im US-amerikanischen Raum durchzusetzen. In einer XML-Notation werden Nachrichten vom Typ Event oder Report genutzt, um Demand Response Ereignisse wie preisliche Varianzen oder geforderte Verbrauchsreduzierungen anzukündigen bzw. nach erfolgten Ereignissen entsprechende Messdaten abzurufen. Ein Opt-Out ist dabei immer möglich. Es wird dabei sowohl die Nachrichtenstruktur als auch die Interaktionsfolge in einem Top-Down Ansatz bestehend aus sogenannten virtuellen Endknoten (Virtual End Nodes, VEN) und jeweils über-

geordneten Knoten (Virtual Top Nodes, VTN) beschrieben. Dabei kann eine VEN auch wieder eine VTN sein, sollte sie weitere VENs ansteuern können: verschiedene Kommunikationsarchitekturen sind möglich [13].

Das von verschiedenen europäischen Akteuren getriebene *Open Smart Grid Protocol* [14] ist ein Nachrichtenprotokoll für die Kommunikation von Messstellenbetreibern und Messdienstleistern mit Smart Metern. Die für Konfiguration der Endgeräte und dem Abruf von Messergebnissen benötigten Daten sind dabei in Tabellen abgelegt und können über ein binäres Format versendet werden. Im Standard sind die dafür benötigten Tabellen ebenso beschrieben, wie die zu erfüllenden Voraussetzungen für die Übertragung über PowerLine.

Tabelle 1 gibt einen zusammenfassenden Überblick über die einzelnen Formate und benennt neben der verantwortlichen Organisation für die Weiterentwicklung des Standards das hauptsächlich spezifizierte Einsatzgebiet, soweit dieses aus der Spezifikation hervorgeht. Aus dem spezifizierten Einsatzgebiet und dem vorgesehenen Verwendungszweck ergeben sich verschiedene Ebenen, auf denen die Beschreibung und Modellierung erfolgt. Die jeweilige Einordnung, wie sie für die Betrachtung im Projekt BESIC erfolgt ist, ist ebenfalls in dieser Tabelle abgebildet.

Format	Herkunft	Standardisierungstreiber	Spezifiziertes Einsatzgebiet	Beschreibungsebene
EDIFACT	International/ Deutschland	CEFACT / BDEW	Regulierte Energiemarktprozesse	Nachrichtenstruktur und Interaktion (Segmente)
CIM	International	IEC	Beschreibung von Netztopologien und Energiemarktprozessen	Datenmodell (objektorientiert)
FlexOffer	Europa	-	Handel von Erzeugungs- und Verbrauchsflexibilität	Datenmodell (objektorientiert)
OpenADR	USA	openADR Alliance	Demand Response	Nachrichtenstruktur & teilw. Interaktion (objektorientiert)
VHP-Ready	Deutschland	VHPready e.V.	Fernsteuerung von BHKW und Wärmepumpen	Nachrichtenstruktur (Signalbeschreibung)
OSGP	Europa	OSGP Alliance	Smart Meter	Nachrichtenstruktur & Interaktion (tabellenorientiert)

Tabelle 1: Überblick über Eigenschaften der einzelnen Datenformate

4 Ergebnis der Evaluation

Die einzelnen Datenaustauschformate unterscheiden sich hinsichtlich Ihrer Anwendungsfälle, für die sie erstellt worden sind, der Darstellungsebene und der Übertragungsebene. Während einige Formate genau auf ihre Anwendungsfälle zugeschnitten sind, für die sie erstellt wurden (z.B. OSGP, VHP-Ready) sind andere als Datenmodell eher geeignet eine Auswahl aus dem Modell zur Definition eines eigenen Formats zu treffen (CIM). Die wichtigsten Ergebnisse der Evaluation sollen im Folgenden kurz zusammengefasst dargestellt werden. Dabei war ein wichtiges Ziel einen Formatstandard zu finden, der ohne tiefgreifende Änderungen anwendbar ist, praktikabel in der Umsetzung und zukunftsträchtig erschien.

Die derzeitige Nutzung der *EDIFACT*-Nachrichtentypen ist sehr eng mit den regulierten Energiemarktprozessen verbunden. Da die *BESIC*-Anforderungen aus den betrachteten Datenverkehren aus einem nicht regulierten Bereich kommen, wäre hier eine deutliche Erweiterung bzw. eine umfassende Anpassung bezüglich vorhandener Codierungen nötig, so dass *EDIFACT* nur sehr bedingt zum Erfüllen der Anforderungen geeignet ist.

Als umfassendes Datenmodell zur Beschreibung von Elektrizitätsnetzen und Energiemarktprozessen bietet die Normenfamilie *CIM* eine breite Basis zur Auswahl benötigter Elemente zur Beschreibung der genannten Anforderungen. Die Auswahl der benötigten Objekte und deren Zusammenstellung als Subset wird Profilbildung genannt. *CIM* eignet sich damit gut zur Erfüllung der Anforderungen, benötigte Elemente sind zum überwiegenden Teil im Datenmodell enthalten. Es muss allerdings beachtet werden, dass die Profilbildung innerhalb von *CIM* eine Definition eines eigenen Datenformats (basierend auf einem standardisierten Datenmodell) darstellt und Einschränkungen der Wertebereiche einzelner Datenfelder noch zu definieren wären.

Mirabel FlexOffer ist eine Erweiterung des *CIM*-Datenmodells zur Darstellung von Flexibilität sowohl im Erzeugungsbereich als auch auf Verbraucherseite. Es stellt insoweit eine Besonderheit dar, als dass es ein Format ist, welches im Rahmen eines Forschungsprojektes entwickelt wurde. Da *FlexOffer* speziell für den Anwendungszweck Flexibilitätshandel erstellt wurde, deckt es entsprechende Anforderungen an den Versand von Flexibilitätsinformationen ab, ist allerdings auch auf diesen Bereich eingeschränkt und eignet sich allein nicht für die Übermittlung von Preisinformationen oder Lastgangvorhersagedaten. Zusätzlich weicht das Format in der eigentlichen Nachrichtenmodellierung von den Vorgaben von *CIM* ab, indem es ein eigenes Schema nur mit den eigenen modellierten Datentypen für den Nachrichtenaustausch definiert.

Hinsichtlich der Anforderungen erfüllt *OpenADR* den Großteil derer, die innerhalb des Projektes benannt wurden und bietet eine hohe Flexibilität bei der Umsetzung dieser, aber auch weiterer Anforderungen. Insbesondere die Unabhängigkeit der Übertragung zwischen den externen Lieferant/Aggregator und dem Endkunden ist hervorzuheben. Die schaltbaren Einheiten können über Energiemanagementsystems gekapselt werden. Wie die eigentlichen Schalthandlungen an die betroffenen Geräte übertragen werden oder wieviele einzelne Geräte angesprochen werden, bleibt unabhängig vom Informationsaustausch zwischen Lieferanten und Endkunden. Dass das Format im US-amerikanischen Raum bereits erfolgreich im Einsatz ist, spricht ebenfalls für das Format.

VHP-Ready ist ein Standard, der für die Steuerung von BHKWs und Wärmepumpen im Rahmen von virtuellen Kraftwerken entwickelt wurde. Entsprechend ist der Funktionsumfang derzeit noch darauf eingeschränkt. Entsprechende Kompatibilitätslisten für die Kombination verschiedener Anlagearten die steuerbar sind, gibt der Standard vor. Zwar gibt es innerhalb der dargestellten Daten Möglichkeiten zur Abfrage von Verbrauchsdaten und zur Steuerung der Anlagen im Sinne eines Fahrplans, allerdings werden diese Daten nicht als Profil gesendet, was deren Verwendung bezüglich der Anforderungen wieder einschränkt. Preis und Flexibilitätsdaten können mit der heute aktuellen Version des Standards nicht versendet werden. Die Kommunikation erfolgt direkt mit den zu schaltenden Endgeräten.

Das *Open Smart Grid Protocol* wurde für die PowerLine-basierte Kommunikation mit Smart Metern entwickelt. Dafür wurde ein umfangreiches tabellenbasiertes Datenmodell entworfen,

welches genau auf diesen Zweck ausgelegt ist. Lastgangdaten können angefragt und versendet werden. Weder preisliche Informationen noch Informationen bezüglich Flexibilität oder Prognosedaten sind zum Versenden vorgesehen. Zwar gibt es einige Tabellen, die für die herstellerabhängige Verwendung vorgehalten werden und für die es somit keine Vorgaben bezüglich der enthaltenen Daten gibt, allerdings müssten alle Felder selbst definiert werden, sollte man die tabellenbasierte Darstellung nutzen wollen.

Die Möglichkeit zur Umsetzung der in dem vorhergehenden Kapitel genannten Anforderungen wurde für jedes Format geprüft, soweit es die öffentlich verfügbare Dokumentation zuließ und diese für den Projektkontext sinnvoll erschien. Tabelle 2 fasst die Bewertung für die wichtigsten Anforderungen noch einmal im Überblick zusammen.

Format	Preis- informationen	Lastgang- prognosedaten	Flexibilitäts- angebot	Flexibilitäts- abruf	Verfügbar- keit	Messdaten
EDIFACT	-	o	-	x	-	+
CIM	+	+	o	o	o	+
FlexOffer	-	x	++	+	x	x
OpenADR	++	+	o	+	++	+
VHP-Ready	x	-	x	+	+	+
OSGP	x	-	x	o		++

Tabelle 2: Bewertung zur Erfüllung der einzelnen Anforderung

Bewertungsschema für die Bewertung bezüglich der Anforderungen in Tabelle 2:

- ++: Anforderung vom Standard 1:1 abgedeckt
- +: Anforderung vom Standard abdeckbar
- o: Ergänzungen zum Standard benötigt
- : Erhebliche Anpassungen des Standards benötigt um die Anforderung abzudecken
- x: Derzeit mit dem Standard nicht abbildbar

Auf Basis der in der Evaluation erfolgten Bewertung wurde für die Nutzung im Projekt BESIC OpenADR empfohlen. Insbesondere die Möglichkeit zur modifikationsfreien Umsetzung aller Anforderungen und die freie Verfügbarkeit von Referenzimplementierungen gaben hier den Ausschlag. Die weiteren Formate EDIFACT, VHP-Ready und OSGP sind derzeit noch zu sehr auf die Anwendungsfälle beschränkt, für die sie erstellt wurden. Eine Nutzung bezüglich der genannten Anforderungen ist zwar teilweise möglich, allerdings müsste das Format jeweils geändert oder angepasst werden, um den Anforderungen gerecht zu werden, wobei einige Anforderungen derzeit ohne komplette Neudefinition der Lösung gar nicht abbildbar sind. Ein Subset ausgewählte aus dem Common Information Model (CIM) wäre auch möglich, allerdings lässt CIM die Spezifikation der eigentlichen Kommunikation offen. Eine Abstimmung zwischen OpenADR und CIM soll aber zukünftig erfolgen [15].

5 Umsetzung im Rahmen des Projekts BESIC

OpenADR gibt eine flexible Architektur vor, bei der der verwaltende und steuernde Akteur als VTN (Virtual Top Node) bezeichnet wird und der gesteuerte Akteur als VEN (Virtual End No-

de), wobei diese Architektur kaskadierbar ist. Der VEN ist zuständig für die Steuerung der angeschlossenen „Ressourcen“, d.h. der schaltbaren Einrichtungen. Vorgegeben werden verschiedene Kommunikationssequenzen zwischen VEN und VTN für verschiedene Anwendungsfälle. Die wichtigsten Nachrichtendienste sind dabei „Report“ für die regelmäßige Übermittlung von Informationen (z.B. Messdaten) und „Event“ für spontane Ereignisse (z.B. Flexibilitätsabruf). Weitere Nachrichtendienste betreffen z.B. die gegenseitige Registrierung von VEN und VTN und den Austausch von verfügbaren Daten und Zeiten. Die einzelnen Nachrichtentypen der Dienste werden über XSD-Schemata beschrieben, aus denen man für einzelne Nachrichtenzwecke neben obligatorischen Feldern auch optionale Felder wählen kann und die Nachrichten so an die eigenen Bedürfnisse anpassen kann. Oft wird die Möglichkeit geboten über Erweiterungen eigene Datentypen zu spezifizieren. Als Übertragungsprotokoll werden HTTP oder XMPP vorgegeben.

Im Sinne der Kommunikationsstruktur von OpenADR nimmt das Energiemanagementsystem des Containerterminals im Projekt BESIC die Funktion einer Virtual End Node (VEN) ein, während das Demand Response System des Energiedienstleisters als Virtual Top Node (VTN) fungiert. Der OpenADR-Standard gibt dabei neben allgemeinen Architekturvorgaben vor allem die einzelnen Nachrichtenbestandteile vor, deren Ausprägung als schemakonforme XML-Dateien für den Austausch der verschiedenen Informationen genutzt werden können. Die beiden im Tagesgeschäft am häufigsten verwendeten Nachrichtentypen sind dabei der „Report“, für regelmäßige Übersendung von Überwachungsinformationen und Messergebnissen, sowie das „Event“ für das Senden von Steuerungsinformationen der VTN an den VEN. Der Empfang einer Nachricht wird mit einer Bestätigungsnachricht quittiert. Im Rahmen des BESIC-Projektes wurden für alle benötigten Informationsaustausche Nachrichtenschablonen definiert. Sie geben vor, in welchem Rahmen der Standard in den einzelnen Anwendungsfällen genutzt wird und wie die entsprechende Ablaufsequenzen für den Austausch erfolgen sollen, sofern dies nicht schon vollständig von der Standarddefinition vorgegeben war. Für die Übertragung wurde sich auf die Nutzung von XMPP geeinigt, da eine entsprechende Referenzimplementierung für eine Virtual End Node vorlag und auf Basis dieser die Implementierung vorgenommen wurde. Zusätzlich hat die XMPP-Lösung den Vorteil, dass die benötigte Kommunikationsstruktur (XMPP-Server) unter der eigenen Verwaltung liegt und Geschwindigkeitsvorteile erwartet wurden. Für die Virtual Top Node wird von der OpenADR Alliance, die den Standard betreut, eine zertifizierte Referenzimplementierung bereitgestellt, welche von dem amerikanischen Forschungsinstitut EPRI (Electric Power Research Institut) bereitgestellt wird [16]. Diese Referenzimplementierung der Virtual Top Node unterstützt auf der Transportebene sowohl HTTP als auch XMPP und kann damit als Testumgebung für eigene Implementierungen genutzt werden.

Insgesamt wurden für das BESIC-Projekt 36 Nachrichtenschablonen entworfen, die den gesamten Prozess von der Registrierung der VEN am VTN, die Anforderung von Messdaten, den Messdatenversand, das Flexibilitätsangebot und den Abruf von Flexibilität umfassen. Abbildung 1 zeigt exemplarisch eine solche Nachrichtenschablone für das Versenden von Messdaten (Nachrichtentyp „UpdateReport“) inklusive beispielhafter Daten.

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
- <oadrUpdateReport ei:schemaVersion="2.0b"
  xsi:schemaLocation="http://openadr.org/oadr-2.0b/2012/07 ./schema/oadr_20b.xsd"
  xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xmlns:power="http://docs.oasis-
  open.org/ns/emix/2011/06/power" xmlns:scale="http://docs.oasis-
  open.org/ns/emix/2011/06/siscale"
  xmlns:strm="urn:ietf:params:xml:ns:calendar-2.0:stream"
  xmlns:xcal="urn:ietf:params:xml:ns:calendar-2.0" xmlns:emix="http://docs.oasis-
  open.org/ns/emix/2011/06" xmlns:pyld="http://docs.oasis-
  open.org/ns/energyinterop/201110/payloads" xmlns:ei="http://docs.oasis-
  open.org/ns/energyinterop/201110" xmlns="http://openadr.org/oadr-2.0b/2012/07">
  <pyld:requestID>REPORT08</pyld:requestID>
  - <oadrReport>
    - <xcal:dtstart>
      <xcal:date-time>2015-01-02T00:00:00Z</xcal:date-time>
    </xcal:dtstart>
    - <xcal:duration>
      <xcal:duration>PT1M</xcal:duration>
    </xcal:duration>
    - <strm:intervals>
      - <ei:interval>
        - <xcal:dtstart>
          <xcal:date-time>2015-01-02T00:00:00Z</xcal:date-time>
        </xcal:dtstart>
        - <xcal:duration>
          <xcal:duration>PT1M</xcal:duration>
        </xcal:duration>
        + <xcal:uid>
          - <oadrReportPayload>
            <ei:rID>BWSMessdaten</ei:rID>
            <ei:confidence>100</ei:confidence>
            - <ei:payloadFloat>
              <ei:value>111.11</ei:value>
            </ei:payloadFloat>
          </oadrReportPayload>
        </xcal:uid>
      </ei:interval>
    </strm:intervals>
    <ei:eiReportID>HHLABWS20150102_01</ei:eiReportID>
    <ei:reportRequestID>RR08</ei:reportRequestID>
    <ei:reportSpecifierID>HHLACTA_BWSMETERING</ei:reportSpecifierID>
    <ei:reportName>TELEMETRY_USAGE</ei:reportName>
    <ei:createdDateTime>2015-01-02T00:01:30Z</ei:createdDateTime>
  </oadrReport>
  <ei:venID>HHLA01EMS</ei:venID>
</oadrUpdateReport>

```

Abbildung 1: Exemplarische Nachrichtenschablone mit Beispieldaten

Nach dem Start der Schnittstelle registriert sich die VEN am VTN an und beide Systeme führen einen „Handshake“ aus, in dessen Verlauf die VTN der VEN eine ID zuteilt, die Berichtsfähigkeiten gegenseitig ausgetauscht werden und eventuell bereits veröffentlichte Events abgefragt werden (vgl. Abbildung 2, Diagramm A).

Die BESIC-VEN ist in der Lage folgende regelmäßige Reports an die VTN zu übersenden:

- Die aktuelle Leistungsaufnahme der gesamten Batteriewechselstation (als Summe der Leistungsaufnahme der einzelnen Ladegeräte)
- Das Flexibilitätsangebot (als Ergebnis der Planung) inklusive Grundlast („Baseline“) sowie Zu- und Abschaltpotenzial je Zeitscheibe
- Der aktuelle Energieverbrauchswert des Gesamtterminals
- Die Prognose des Gesamtlastgangs des Terminals

Für die regelmäßige Berichterstattung von der VEN an die VTN wird der Nachrichtentyp „UpdateReport“ genutzt (vgl. Abbildung 2, Diagramm B). Während des initialen Handshakes, bei dem die VEN sich beim VTN anmeldet, werden auch die Berichtsfähigkeiten der VEN an die VTN übermittelt. Die VTN hat von diesem Zeitpunkt an die Möglichkeit die möglichen Berichte („Reports“) einzeln anzufordern („CreateReport“). Dazu nennt die VTN auch die gewünschte Intervalllänge und Berichtszeiträume in der entsprechenden Nachricht. Anschließend bestätigt die VEN die zukünftige Erstellung der Reports und sendet in den angeforderten Abständen die entsprechenden Daten regelmäßig. Der Empfang der Daten wird von der VTN immer mit einer „UpdatedReport“-Nachricht bestätigt. Diese kann auch

eventuelle Fehlercodes enthalten, sollte die Nachricht nicht korrekt oder inhaltlich fehlerhaft übersendet worden sein.

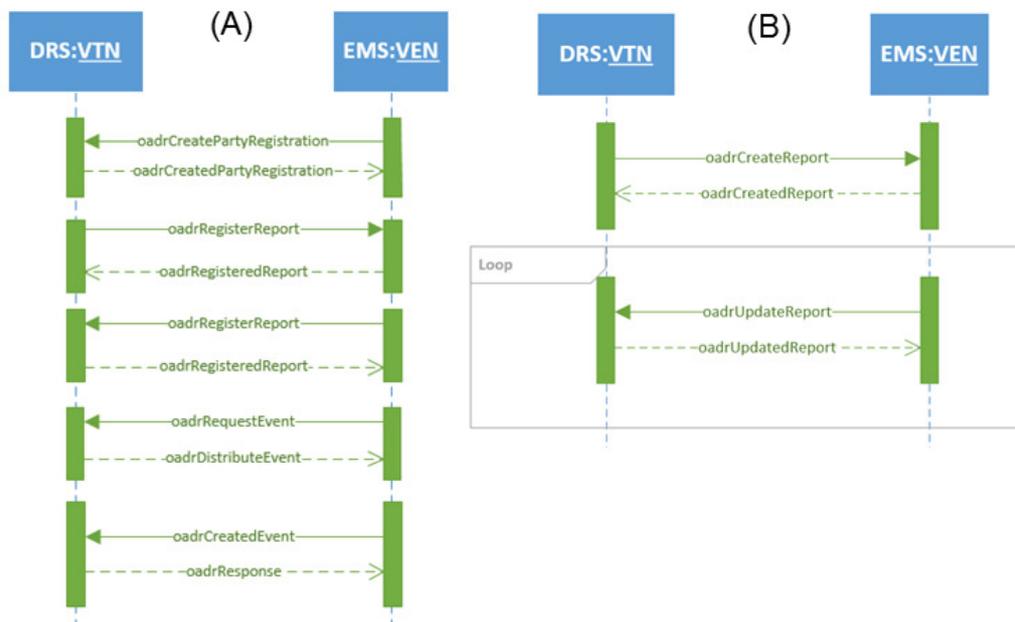


Abbildung 2: Ablauf des "Handshakes" bei der Registrierung (A) und Sequenzdiagramm zum Reporting (B)

„Event“-Nachrichtentypen werden dagegen für ad hoc – Informationsübermittlung genutzt, insbesondere dafür, dass die VTN eine oder mehrere VENs darüber informiert, dass eine Verhaltensänderung im aktuellen Energieverbrauch gewünscht ist. Es können sowohl Änderungswünsche in relativen Werten übermittelt werden als auch direkte Steuerungsinformationen zu Schaltwerten und Zeitpunkten. Die zeitlichen Abläufe spielen in diesem Nachrichtentyp entsprechend eine wichtige Rolle. Mögliche Änderungen im Verbrauchsverhalten können im Voraus angekündigt werden, mehrere Zeitscheiben umfassen und auch nach Abschluss nochmal bestätigt werden. Als ein Anwendungsfall für den deutschen Markt ist hier der Abruf von Regelenergie zu nennen.

Für die Informationen über ein bevorstehendes Event wird der Nachrichtentyp „DistributeEvent“ genutzt. Der Empfang wird zuerst auf Transportebene von der VEN mit einer leeren Nachricht bestätigt, bevor von der VEN eine „CreatedEvent“-Nachricht erstellt wird. In dieser Nachricht ist es für die VEN möglich ihre Bereitschaft zur Teilnahme an der Verhaltensänderung zu bestätigen („OptIn“) oder diese abzulehnen („OptOut“). Im Rahmen des BESIC-Projektes wird dieser Nachrichtentyp genutzt, um Regelenergieabrufe von der VTN an die VEN zu kommunizieren. In einem solchen Fall werden die Abrufleistung, Zeitpunkt und Dauer des Abrufs kommuniziert. Zusätzlich zu dem Anwendungsfall Regelenergieabruf wird der Nachrichtendienst „Event“ auch genutzt, um die VEN über die Ergebnisse der Vermarktung der angebotenen Flexibilität zu informieren. Hierfür wurde ursprünglich der „Report“-Nachrichtendienst vorgesehen. Aufgrund von technischen Restriktionen der Implementierung beim Versand von „UpdateReport“-Nachrichten mit vorgelagerter „Report“-Registrierung und –Anforderung bei der VTN wurde hier der „Event“-Dienst genutzt, bei dem es auch entsprechend der Vorgaben der XSD-Schemata möglich ist, die benötigten zu übermittelnden Informationen in entsprechende „Event“-Nachrichtentypen zu übernehmen.

Ein weiterer Nachrichtenaustausch betrifft eine generelle Verfügbarkeitsmeldung für Abruf-Ereignisse. Für die VEN ist es so möglich, der VTN zu signalisieren, dass sie für einen gewissen Zeitraum, z.B. den Rest des Tages, nicht für Regelernergieabrufe bereit steht. Dazu sendet sie eine Nachricht vom Typ „CreateOpt“ mit dem Inhalt „OptOut“ an die VTN. Zusätzlich wurde im Rahmen des Projektes vorgesehen, zu Beginn eines neuen Ablaufplanes eine entsprechende Nachricht mit dem Inhalt „OptIn“ an die VTN zu senden und so die grundsätzliche Bereitschaft für den Empfang von Abruf-Ereignissen zu signalisieren. Eine „CreateOpt“-Nachricht wird von der VTN immer mit einer „CreatedOpt“-Nachricht bestätigt.

5.1 Anwendung im Feldtest

Im Rahmen des Projekts BESIC wird derzeit in einem Feldtest die OpenADR-Schnittstelle Schnittstelle für die Vermarktung und den Abruf von Flexibilität eingesetzt. In dem Feldtest werden die Batterieladegeräte über das Energiemanagementsystems des Containerterminals gesteuert. Dazu wird am Tag vor der eigentlichen Ausführung eine Planung der logistischen Anforderungen, der darauf basierenden Batterieeinsatzsequenzen und der dazugehörigen Ladevorgängen bei Aufenthalt eines Batteriesystems in der Wechselstation durchgeführt. Die Planung berücksichtigt dabei mögliche dynamische Preise für die Wirkleistung, indiziert durch die EEX-Börsenpreise des Day-Ahead Marktes vom Vortag und den Ergebnissen aus den Auktionen am Markt für Minutenreserve der Vorwoche. Die Flexibilität, welche sich für Minutenreserveangebote nutzen lässt, wird mit einem entsprechenden Durchschnittspreis und dem geplanten Ladeverlauf ohne Abrufe an den externen Lieferant/Aggregator gesendet. Dieser versucht die Flexibilität am Markt zu platzieren. Dazu werden reale Szenarien aus dem Jahr 2014 als Grundlage genommen. Die VTN sendet das Ergebnis der Vermarktung an das Energiemanagementsystem des Terminals zurück. Am Tag der Ausführung werden die einzelnen Ladevorgänge analog der Planung gesteuert. Minütlich wird die Leistungsaufnahme der Batteriewechselstation als Summe der Leistungsaufnahme der einzelnen Ladegeräte an den Lieferanten/Aggregator übermittelt. Kommt es zu Abrufen von Minutenreserveleistungen, so wird der Plan entsprechend angepasst. Anhand der Messwerte kann der externe Lieferant die Erbringung der angeforderten Leistung nachvollziehen.

Der Feldtest zeigt, dass die Kommunikation zwischen Lieferant/Aggregator auf Basis der OpenADR-Schnittstelle zuverlässig funktioniert und mit den erstellten Nachrichtenschablonen alle Bedürfnisse an die Informationsübermittlung erfüllt werden können. Auch die Übermittlung über XMPP hat sich als zuverlässig erwiesen.

6 Zusammenfassung

Im Rahmen des Projektes BESIC wurde ein Demand Response Anwendungsfall für einen Containerterminal entwickelt und implementiert. Für die Kommunikation zwischen Lieferant/Aggregator und Endkunde wurden verschiedene Kommunikationsstandards evaluiert. Darauf basierend wurde OpenADR als Standard ausgewählt und entsprechend den Anforderungen erfolgreich implementiert. Erste Ergebnisse des Feldtests bestätigen die Eignung des Standards zur Erfüllung der Anforderungen im Rahmen des Projekts.

7 Referenzen

- [1] C. W. Gellings and J. H. Chamberlin, *Demand-Side Management: Concepts and Methods*. Lilburn, GA, USA: The Fairmont Press, Inc., 1988.
- [2] VDE, "VDE-Studie - Demand Side Integration - Lastverschiebungspotenziale in Deutschland." Energietechnische Gesellschaft im VDE, 11-Jun-2012.
- [3] BDEW, "BDEW-Roadmap Realistische Schritte zur Umsetzung von Smart Grids in Deutschland." 11-Nov-2013.
- [4] M. Klobasa, "Dynamische Simulation eines Lastmanagements und Integration von Windenergie in ein Elektrizitätsnetz auf Landesebene unter regelungstechnischen und Kostengesichtspunkten," ETH Zürich, Zürich, 2007.
- [5] Deutsche Energie Agentur GmbH, Ed., "Dena-Netzstudie II." Nov-2010.
- [6] T. Gobmaier, D. Bernhard, and S. von Roon, "Märkte für Demand Side Management," presented at the 1st International European Demand Response Center (EDRC) Workshop, Graz, 2012.
- [7] S. von Roon and T. Gobmaier, "Demand Response in der Industrie - Status und Potenziale in Deutschland," Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., München, Endbericht, Dez. 2010.
- [8] A. Kamper, "Dezentrales Lastmanagement zum Ausgleich kurzfristiger Abweichungen im Stromnetz," Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe, 2009.
- [9] F. X. Zeilinger and A. Einfalt, "Simulation der Auswirkung von Demand Side Management auf die Leistungsaufnahme von Haushalten," *7 Int. Energiewirtschaftstagung 2011*, Feb. 2011.
- [10] Vattenfall Europe Wärme AG, "VHPReady - Technische Anforderungsspezifikation." 2014, <https://www.vhpready.de/download/vhpready-3-0-deutschf/>.
- [11] M. Uslar, M. Specht, S. Rohjans, J. Trefke, and J. M. González, *The Common Information Model CIM: IEC 61968/61970 and 62325-A practical introduction to the CIM*. Springer, 2012.
- [12] OpenADR Alliance, "OpenADR 2.0 b profile specification." 2013, <http://www.openadr.org/specification>
- [13] U. Herberg, D. Mashima, J. G. Jetcheva, and S. Mirzazad-Barijough, "OpenADR 2.0 deployment architectures: Options and implications," in *Smart Grid Communications (SmartGridComm), 2014 IEEE International Conference on*, 2014, pp. 782–787.
- [14] OSGP Alliance, "Open Smart Grid Protocol" 2012, <http://www.osgp.org/>.
- [15] G. Ghatikar and E. Koch, "Deploying Systems Interoperability and Customer Choice within Smart Grid," *Grid-Interop 2012 Irving TX*, 2012.
- [16] Electric Power Research Institute, "OpenADR 2.0 Open Source Virtual Top Node." 2014, <http://www.epri.com/abstracts/Pages/ProductAbstract.aspx?ProductId=000000000001026755>.