

MÄRKTE FÜR DEMAND SIDE MANAGEMENT

Thomas GOBMAIER, Dominik BERNHARD, Serafin von ROON

Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.
Am Blütenanger 71 – D-80995 München
+49 89 158121-52, tgobmaier@ffe.de
www.ffe.de

Kurzfassung: Demand Side Management und Demand Response werden immer häufiger im Kontext von Netzstabilisierung, Speicherausbau oder Regelleistung genannt. Da eine schaltbare Anlage jedoch nur eine Dienstleistung gleichzeitig anbieten kann, ist für die Betrachtung der Potenziale von schaltbaren Verbrauchern wichtig zu wissen, für welche Märkte die Anlagen überhaupt geeignet sind, und welcher Markt für eine bestimmte Technik den höchsten Ertrag liefert. Somit kann abgeschätzt werden, welche Märkte zukünftig durch schaltbare Verbraucher entlastet werden, und welche Auswirkungen dies auf das Energiesystem haben wird.

Keywords: Demand Side Management, Demand Response, Spitzenlastmanagement, EEX Strombörse, Intraday, Day-Ahead, Regelleistung

1 Einleitung

Sinkende Kosten für IT und Datenübertragung ermöglichen eine wirtschaftliche Einbindung einer zunehmenden Anzahl schaltbarer Verbraucher in das Energieversorgungssystem. Das Interesse an schaltbaren Lasten wird durch die Diskussion um die Integration Erneuerbarer Energien gefördert, da ein steigender Bedarf an realen bzw. funktionellen Speichern sowie dynamischen Lasten als wahrscheinlich angenommen wird.

Die Einsatzmöglichkeiten von schaltbaren Verbrauchern sind vielfältig, wie folgende Aufzählung einiger Beispiele zeigt:

- Spitzenlastmanagement
- Ausgleich von Prognosefehlern bezüglich Verbraucherlast und Erzeugung regenerativer Energien, im Rahmen von Intraday Handel oder Regelleistung
- Kurzfristige Unterstützung von Kraftwerken bei Lastwechseln
- Funktionale Speicher
- Netzstabilisierung (Verteil- bzw. Übertragungsnetz)

Eine Anlage kann mit ihrer gesamten Leistung jedoch nur eine dieser Dienstleistungen gleichzeitig anbieten. Bei gleichzeitiger Vermarktung einer Dienstleistung auf zwei Märkten gibt es ein Problem, wenn zwei gegensätzliche Anforderungen kommen (z. B. Belastung Ortsnetz wegen PV und Entlastung Übertragungsnetz). Dies wird in der Diskussion um schaltbare Lasten häufig nicht beachtet. Das für eine Dienstleistung nutzbare Potenzial sollte um die Anlagen reduziert werden, welche bereits für andere Dienstleistungen eingesetzt werden.

Um eine Abschätzung treffen zu können, welche abschaltbaren Verbraucher zukünftig für welche Dienstleistungen zur Verfügung stehen, wurden zuerst passende Märkte identifiziert. Anhand eines Vergleichs der Anforderungen und Erträge wurde schließlich ermittelt, auf welchen Märkten ein Anlagentyp anbieten kann und auf welchem der Märkte die Erträge die höchste Einsatzwahrscheinlichkeit erwarten lassen.

2 Märkte für schaltbare Verbraucher

Für verschiedene Arten von Dienstleistungen gibt es verschiedene Märkte. Die ursprünglich als reine Strombörse gegründete EEX in Leipzig bietet mittlerweile verschiedenste Produkte von Futures bis hin zu 15-Minuten Produkten kurz vor Leistungserbringung an. Ein Handel muss nicht zwingend über die Börse ausgeführt werden, sondern kann auch direkt zwischen zwei Akteuren durchgeführt werden (OTC – over the counter). Da beide Akteure das Geschäft alternativ über den Handelsplatz abwickeln könnten, liegen die Preise bei OTC nahe am Preisniveau der EEX oder des Regelleistungsmarktes (Arbitragefreiheit). Da für fast jedes OTC-Geschäft ein vergleichbarer Markt existiert, wird OTC im Folgenden nicht extra betrachtet.

Viele Märkte haben Mindestanforderungen (z. B. Leistung, Leistungsgradienten oder Angebotszeiträume). Um Dienstleistungen von Anlagen unterhalb dieser Mindestgrößen dennoch vermarkten zu können, werden kleinere Anlagen häufig in einem Pool zusammengeschlossen, welche gemeinsam anbieten und sich die Erträge teilen. Dadurch können auch schaltbare Verbraucher, deren Betriebsparameter sich nicht für einen Markt eignen, im Zusammenspiel mit anderen Anlagentypen ein sinnvoller Baustein im Angebotspool sein.

2.1 Energiemärkte

Bei Energiemärkten besteht die Dienstleistung aus der Erbringung einer Leistung über einen Zeitraum (z. B. Lieferung einer MW Leistung über eine Stunde). An der EEX gibt es den EEX Terminmarkt, welcher für schaltbare Verbraucher wegen der dazu notwendigen langfristigen Planbarkeit kaum interessant ist, den Spotmarkt Day-Ahead und den Spotmarkt Intraday. Auch die in Deutschland durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) bestehende Möglichkeit, im Rahmen des PV-Eigenverbrauchs eine Vergütung für selbstgenutzten Strom zu erhalten, entspricht durch die Vergütung pro kWh einem Energiemarkt. Im Folgenden werden die Eigenschaften der Energiemärkte skizziert.

- EEX Spot Day-Ahead: Kauf- und Verkauf von Strom (Stunden bzw. Blöcke mehrerer Stunden) am Vortag. Für schaltbare Verbraucher ist die Nutzung des Preis-Spreads zwischen Stunden möglich, die Verbraucher arbeiten dann als funktionaler Speicher.
- EEX Intraday: Kauf- und Verkauf von Strom (Stunden bzw. 15-Minuten) bis zu 45 Minuten vor Leistungserbringung. Kurzfristige bis sehr kurzfristige Nutzung des Preis-Spreads zwischen Stunden bzw. Viertelstunden möglich.
- PV-Eigenverbrauch: Wird PV-Strom in Deutschland nicht ins Netz eingespeist sondern selbst genutzt, dann wird die EEG-Förderung um 16,38 Ct/kWh gesenkt, bei Nutzung von mehr als 30 % der PV-Erzeugung wird für den darüber verbrauchten

Strom die Vergütung um lediglich 12 Ct/kWh gesenkt. Für Haushalte ist diese Regelung sehr wirtschaftlich, da der selbstgenutzte Strom deutlich günstiger als der bezogene Strom ist. Für Gewerbetriebe ist der Eigenverbrauch wegen des etwas niedrigeren Strompreises häufig wirtschaftlich, für die Industrie mit meist deutlich geringeren Strompreisen uninteressant. Steigende Strombezugspreise erhöhen die Attraktivität des Eigenverbrauchs.

2.2 Leistungsmärkte

Bei Leistungsmärkten wird für die zur Verfügung gestellte Leistung gezahlt. Je nach Markt ist die Abrufwahrscheinlichkeit und –häufigkeit sehr unterschiedlich, teilweise wird zusätzlich für die bereitgestellte Energie gezahlt. Leistungsmärkte sind Primärregelleistung, Sekundärregelleistung und Minutenreserve, sowie die Kapazitätsmärkte, deren Einführung in Deutschland derzeit diskutiert wird.

- Primärregelleistung: Wöchentliche Auktion über die Dauer einer Woche jeweils eine Woche vorher. Eine Anlage muss die angebotene Leistung stufenlos sowohl zuschalten als auch reduzieren können sowie die Leistung für die gesamte Woche halten können. Automatische Regelung über die Netzfrequenz vor (Sollwert meist 50,000 Hz). Keine Vergütung der Arbeit, positive und negative Leistungsabrufe gleichen sich meist aus.
- Sekundärregelleistung: Wöchentliche Auktion über die Dauer einer Woche jeweils eine Woche vorher. Die Anlage muss mindestens in diskreten Stufen schalten können. Die Dienstleistung wird unterteilt in HT- und NT-Zeitblöcke sowie positive und negative Leistung. Die angebotene Leistung muss über den gesamten Block gehalten werden können. Automatische Schaltung durch ein Steuersignal des Übertragungsnetzbetreibers (ÜNB).
- Minutenreserve: Tägliche Auktion von 4-Stunden Blöcken für den nächsten Tag mit Unterscheidung nach positiver und negativer Leistung. Die angebotene Leistung muss im gesamten Zeitblock gehalten werden können. Diskrete Leistungsstufen müssen gefahren werden können. Heute noch telefonischer Abruf, im Laufe des Jahres 2012 Umstellung auf Onlineabruf.
- Kapazitätsmarkt: Durch den langen Zeitraum zwischen Planung und Inbetriebnahme bei Kraftwerken können Preissignale im Markt erst mit großer Verzögerung in neue Kraftwerke umgesetzt werden. Die Vermarktung des Stroms über die Börse führt in einem liberalisierten Energiemarkt zum Abbau von Kapazitäten, die sehr selten eingesetzt werden. Ein Kapazitätsmarkt kann zukünftig sinnvoll werden, um die notwendigen Kapazitäten zu sichern. Aktuell sind nur Investitionszuschüsse in neue Anlagen und die Unterstützung von Konzepten wie Demand Response geplant, die Erhaltung bestehender Kapazitäten wird nicht honoriert.

2.3 Anforderungen an Anlagen zur Marktteilnahme

In **Tabelle 1** sind die Anforderungen der Märkte speziell für schaltbare Lasten zusammengefasst. Sie gelten für die Majorität der Verbraucher, Ausnahmen sind im Einzelnen immer möglich.

Der Markt für Primärregelleistung erfordert, sowohl positive als auch negative Leistung entsprechend des Angebots bereitstellen zu können. Der Markt eignet sich nur für schaltbare Lasten mit sehr geringem spezifischen Schaltaufwand, da fast kontinuierlich Abrufe mit einem Teil der vorgehaltenen Leistung erfolgen. Wegen der hohen geforderten Reaktionsgeschwindigkeit und der Anforderung, die Leistung in beide Richtungen regeln zu können, ist der Markt nur für jene Anlagen geeignet, die ohnehin permanent betrieben werden, und dabei kurzfristig die Leistung erhöhen oder senken können (z. B. Kühlaggregate). Die Leistungsregelung erfolgt kontinuierlich, d.h. die Anlage muss stufenlos bzw. mit sehr kleinen Stufen schaltbar sein. Die maximale Abrufdauer entspricht dem Ausschreibungszeitraum von einer Woche, nur bei hydraulischen Anlagen wird eine Ausnahme gemacht, diese müssen die volle Leistung nur für vier Stunden garantieren können.

Am Day-Ahead Markt wird die Dienstleistung der Energielieferung (positive Leistung über einen Zeitblock) gehandelt, diese kann man kaufen oder verkaufen. Um die schaltbare Anlage möglichst häufig einsetzen zu können, sollte der Aufwand (monetär, organisatorisch und zeitlich durch geänderten Betriebsablauf) für eine Zu- oder Abschaltung gering sein, die Schaltung sollte möglichst automatisch durchgeführt werden können. Die Teilnahme am Handel ist nur sinnvoll, wenn der Bedarf möglichst häufig, z. B. durch tägliches Laden eines Elektrostraßenfahrzeugs, aber nicht kontinuierlich auftritt. Die angebotene Leistung muss über den Zeitraum komplett zur Verfügung gestellt werden, eine Modulation der Anlage ist nicht notwendig. An die Reaktionsgeschwindigkeit werden nur sehr geringe Anforderungen gestellt, da bereits am Vortag die Auktionsergebnisse bekannt werden. Gehandelt werden Produkte mit der Dauer von einer Stunde, vier Stunden, 12 Stunden (peak und offpeak) und 24 Stunden (base). Der Handel am Day-Ahead Markt entspricht einer täglichen Anpassung des Strombesorgungsprofils.

Tabelle 1: Anforderungen der Märkte an schaltbare Lasten

	Einspeisung	Tolerierbarer Abrufaufwand	Täglicher Einsatz	Modulierend	Reaktionsgeschwindigkeit	Max. Abrufdauer
Primärregelleistung	pos. & neg.	sehr gering	Anlage kann angedrosselt 24 Stunden durchlaufen	kontinuierlich	hoch (15 s), meist nur möglich wenn Anlage bereits läuft	1 Woche (hydr. Anlagen 4 h)
Sekundärregelleistung	pos. oder neg.	gering	-/-	diskrete Stufen	schneller Start möglich (30 s bis 15 min) oder Anlage läuft bereits	12 bis 60 Stunden
Minutenreserve	pos. oder neg.	moderat	-/-	diskrete Stufen	Start in 15 Minuten (Fahrplanprodukt)	4 Stunden
Day-Ahead	Kauf oder Verkauf pos.	gering	gering, Bedarf tritt an sehr vielen Tagen auf	nein	nur nach Fahrplan, Leistungserbringung innerhalb von 15 min	1 Stunde bzw. Produktdauer
Intraday Stunden	Kauf oder Verkauf pos.	gering	gering, Bedarf tritt an sehr vielen Tagen auf	nein	bis 45 Minuten vor Leistungserbringung nach Fahrplan	1 Stunde
Intraday 15-Minuten	Kauf oder Verkauf pos.	gering	gering, Bedarf tritt an sehr vielen Tagen auf	nein	bis 45 Minuten vor Leistungserbringung nach Fahrplan	15 Minuten
PV-Eigenverbrauch (Haushalte und GHD)	negativ	gering	gering, Bedarf tritt häufig auf	nein	-/-	-/-
Kapazitätsmarkt	positiv	hoch	Anlage muss bis zum Abruf abgeschaltet sein	nein	gering, mehrere Stunden bzw. Tage Zeit bis Leistungserbringung	Tage bis Wochen

Die Teilnahme an den Märkten erfordert bei den Regelleistungsmärkten eine Präqualifikation durch die ÜNBs, mit welcher sichergestellt werden soll, dass die von den Anlagen angebotene Dienstleistung auch erbracht werden kann. Für schaltbare Lasten geht dies meist nur im Pool. Im Gegensatz zu Kraftwerken existieren für schaltbare Lasten häufig keine Standards zur Präqualifikation. In Deutschland lässt sich z. B. das Unternehmen Entelios AG einen Pool schaltbarer Verbraucher für die Minutenreserve präqualifizieren.

Für schaltbare Lasten sind Mindestleistungen und die Dauer der Leistungserbringung oft ein Hemmnis. Die Ausschreibungsdauer von Primär- und Sekundärreserve wurde bereits von einem Monat auf eine Woche verkürzt, weitere Vereinfachungen zur Gewinnung neuer Marktteilnehmer sind zu erwarten.

Die meisten schaltbaren Verbraucher ermöglichen eine Verschiebung der Last um mehrere Stunden und entsprechen damit funktionalen Speichern, da sie wie ein Speicher den beim Abschalten vermiedenen Strom verkaufen und den zu einem späteren Zeitpunkt zum Nachholen benötigten Strom kaufen. Nur eine geringe Zahl der schaltbaren Verbraucher hat keinen Nachholbedarf nach einer Abschaltung (z. B. Produktionsreduktion in der Industrie), und kann damit bereits gekauften Strom ohne Gegengeschäft wieder verkaufen.

3 Entscheidungskriterien für die Marktteilnahme

Für schaltbare Anlage besteht meist kein spezieller Stromtarif (Ausnahme sind Wärmestromverträge für z. B. Wärmepumpen und Elektrospeicherheizungen). Dies bedeutet, dass ein Nutzer bzw. Besitzer einer Anlage sich aktiv für eine Marktteilnahme entscheiden muss. Dabei findet die Entscheidung über die Teilnahme und den Markt auf Basis mehrerer verschiedener Kriterien statt. Einige davon werden im Folgenden beispielhaft aufgezählt:

- Aufwand für Information zu den Märkten und für die Entscheidung im Unternehmen
- Transaktionskosten (Vertragsabschluss, Abrechnung)
- Investitionskosten für die Kommunikation
- Aufwand bei jeder einzelnen Schaltung, organisatorische Kosten
- Opportunitätskosten durch Produktionsverringering
- Risiko (höhere Ausfallwahrscheinlichkeit, kürzere Anlagenlebensdauer, schlechtere Qualität der Produkte)
- Ertrag auf dem Markt
- Umweltschutz, Hilfe zur Integration Erneuerbarer

Da jeder Entscheider die Faktoren auf Basis seiner aktuellen Situation und Zukunftserwartung anders gewichtet, kann selbst bei identischen Anlagen mit gleicher Laufzeit die Beurteilung von zwei Entscheidern unterschiedlich ausfallen. Hat der Entscheider z. B. durch das Tagesgeschäft keine Zeit für neue Fragestellungen, dann wird er nicht prüfen, ob die Schaltbarkeit seiner Anlagen vermarktet werden kann.

4 Kategorisierung von schaltbaren Verbrauchern

Die Abschätzung, welcher Markt für eine schaltbare Anlage sinnvoll ist, wird durch eine vorherige Kategorisierung der Verbraucher erleichtert. Dabei sind folgende Punkte zu berücksichtigen:

- Mögliche Art der Einspeisung in das öffentliche Netz: Ist Leistungserhöhung für negative Leistung und/oder eine Leistungsreduktion für positive Leistung möglich?
- Aufwand für einen Abruf: Welchen organisatorischen oder monetären Aufwand verursacht ein Abruf? Werden viele oder eher wenige Abrufe pro Woche angestrebt?
- Täglicher Einsatz: Wie viele Stunden pro Tag ist ein Bedarf vorhanden? Wie viele Stunden läuft die Anlage mit welcher Leistungsstufe?
- Modulierend: Kann die Leistung der Anlage verändert werden? Ist eine kontinuierliche Leistungsänderung möglich, oder nur diskrete Schritte?
- Reaktionsgeschwindigkeit: Wie schnell kann ein Leistungsabruf (An- oder Abschalten) von der Anlage umgesetzt werden? Welche Leistungsgradienten kann die Anlage fahren?
- Max./min. Abrufdauer: Wie lange läuft oder steht die Anlage? Kann sie die angebotene Dienstleistung garantiert zur Verfügung stellen?
- Planbarkeit: Wie lange vorher ist der konkrete Einsatz der Anlage bekannt?

Mit dieser Kategorisierung und einem Vergleich mit Tabelle 1 können für viele Anlagentypen bereits erste Märkte ausgeschlossen werden, da deren Anforderungen nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand eingehalten werden können.

5 Ertrag an den Märkten

Der Ertrag der Dienstleistung ist das wichtigste Entscheidungskriterium bei der Wahl des Marktes. Dabei ist zu beachten, dass die Preise oft starken Schwankungen unterliegen, und dass es keine Garantie für einen Zuschlag bei den Auktionen gibt. Liegt der Preis der Dienstleistung zu hoch, erhalten günstigere Anbieter den Zuschlag. Um dennoch die Erträge auf den verschiedenen Märkten vergleichen zu können, wurden vereinfachende Annahmen getroffen (z. B. Zuschlag bei jedem abgegebenen Angebot) /FFE-42 10/.

- Primärregelleistung: 560 €/(Tag·MW), keine Vergütung der Arbeit (Basis: Feb. bis Aug. 2011, 3.900 €/Woche·MW)
- Sekundärregelleistung: 260 €/(Tag·MW) für positive Leistung, 250 €/(Tag·MW) für negative Leistung (Basis: Mittelwerte 2008 bis 2010 bei Zuschlag aller Auktionen, ohne Arbeitspreis, 96.000 €/(Jahr·MW) für positive, 93.000 €/(Jahr·MW) für negative Sekundärreserve)
- Minutenreserve: 95 €/(Tag·MW) für positive Leistung, 180 €/(Tag·MW) für negative Leistung (Basis 2008 bis 2010, bei Zuschlag für alle Auktionen, ohne Arbeitspreis)

- EEX Day-Ahead: Verschiebung von 1 MW von teuerster (11 Uhr) zu günstigster (3 Uhr) Stunde ergibt 27 € (Basis: EEX Mittelwert 2010), von 11 auf 7 Uhr ergibt 9 €, von 18 Uhr auf 22 Uhr ergibt 8 €. Ist nur eine Verschiebung pro Tag möglich, entsprechen diese Angaben den Tageserlösen.
- EEX Intraday Spotmarkt 1-Stunden Produkte: Das Preisniveau folgt den Day-Ahead Preisen, dazu kommen noch kurzfristige Preisschwankungen.
- EEX Intraday Spotmarkt 15-Minuten Produkte: Noch keine Marktpreise bekannt, Preise werden etwa den Intraday-Stundenpreisen entsprechen
- PV-Eigenstrom: Für Haushalte ergibt sich eine Preisreduktion von etwa 220 €/MWh für Strombezug auf 164 €/MWh für selbst genutzten PV-Strom. Dies ergibt einen Preisvorteil von 56 €/MWh bzw. 100 €/MWh ab 30 % Eigenverbrauch. (EEG 2012, Anlagen unter 30 kW peak)
- Bei Poolung reduziert sich der Ertrag für die einzelnen Anlagen entsprechend der Anzahl und des informationstechnischen Aufwands

Die Abschaltung von Industrieverbrauchern (Produktionsverringerung) ist bei den heutigen Strompreisen nur für sehr wenige Branchen interessant. So zeigt **Abbildung 1** den Anteil der Stromkosten an den gesamten Produktionskosten. Je höher der Anteil der Stromkosten, desto eher ist in Stunden mit hohen Strompreisen eine Abschaltung oder Verringerung der Produktion durch den Verkauf des zuvor bei geringeren Preisen eingekauften Strom darstellbar.

Die Abschaltung von Unternehmen ist dann wirtschaftlich, wenn der aktuelle Strompreis höher ist als die Summe aus Strombezugskosten, Fixkosten, Gewinn und Kosten für den Aufwand des Abschaltens (Organisation, Arbeitszeiten, ggf. Vermittlung Kunden an Konkurrenz).

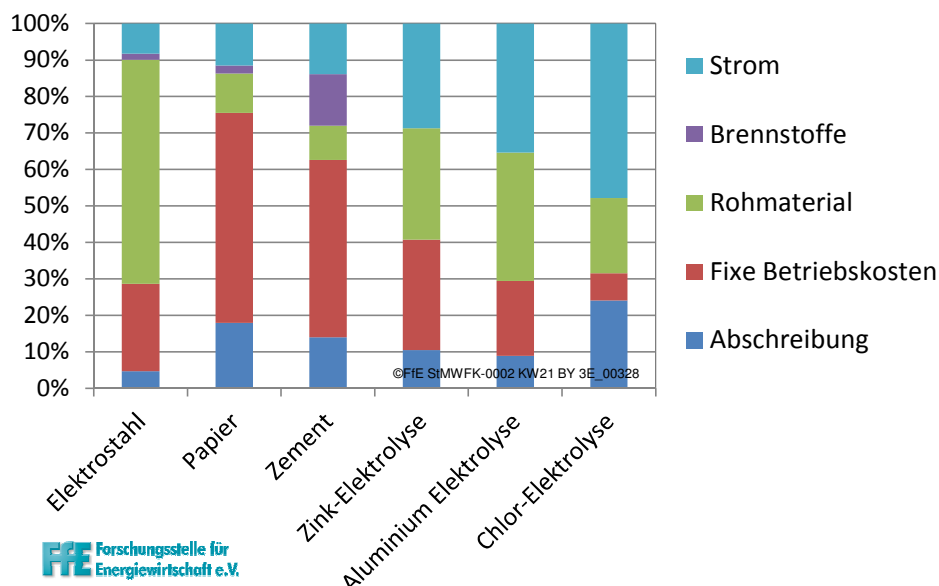


Abbildung 1: Aufteilung der Produktionskosten /ISI-03 09, eigene Berechnungen/

Die Berechnungen ergaben, dass für Elektro Stahl, Papier und Zementherstellung in den Jahren 2007 bis 2009 zu keiner Stunde der Verkauf von Strom die Opportunitätskosten

gedeckt hätte. Lediglich bei Zink-, Aluminium- und Chlor-Elektrolyse wäre dies aufgrund des hohen Stromkostenanteils in ausgewählten Stunden wirtschaftlich gewesen. **Abbildung 2** zeigt die damit verbundenen Gewinne für die Jahre 2008 und 2009, sowie die Erträge durch positive Minutenreserve für die Bereitschaft zur Abschaltung. Dabei zeigen sich die hohen Preisfluktuationen zwischen zwei Jahren, und der Zusammenhang der Preise zwischen EEX Day-Ahead und Minutenreserve (beide Dienstleistungen werden am Vortag gehandelt). Der Vergleich zwischen den Erlösen der Betriebe beim Stromverkauf Day-Ahead und beim Anbieten von positiver Minutenreserve zeigt, dass in beiden Jahren die Minutenreserve einen höheren Ertrag bringen kann.

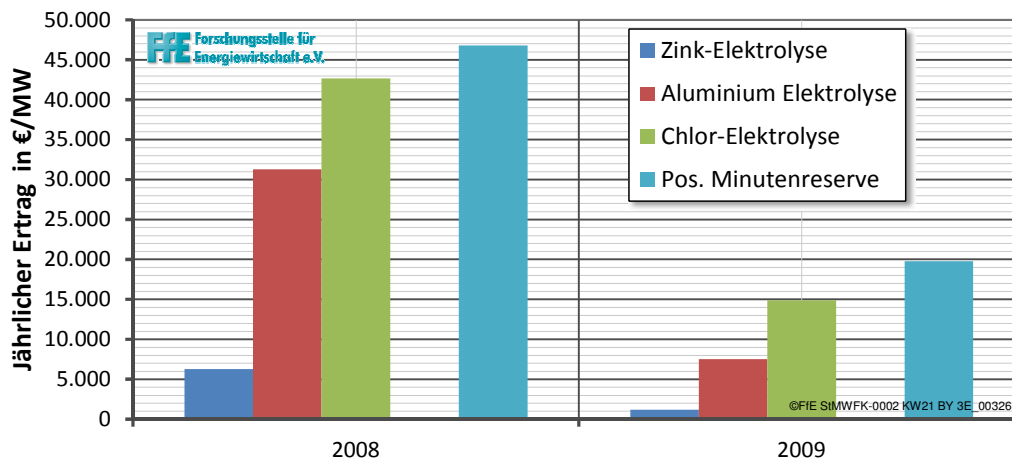


Abbildung 2: Vergleich der Erlöse bei Stromverkauf

Der Vorteil der Minutenreserve ist, dass für den gesamten Ausschreibungszeitraum ein Leistungspreis gezahlt wird, auch wenn keine Schaltung stattfindet, während beim Day-Ahead Handel nur Erträge beim Verkauf von zuvor eingekaufter und dann vermiedener Leistung erzielt werden.

6 Beispiele für geeignete Märkte

Mit der in diesem Beitrag vorgestellten Methodik gelangt man zu einer Abschätzung, für welche Arten schaltbarer Verbraucher welche Märkte geeignet sind. Hierzu ist eine starke Verallgemeinerung notwendig, im Einzelfall oder bei Poolung können andere Märkte besser passen.

Bei den in **Tabelle 2** aufgeführten Industriebetrieben fällt auf, dass der Handel an der EEX für schaltbare Verbraucher nicht genannt wird. Dies liegt an der Annahme, dass der Betrieb bereits mit organisatorischen Mitteln den zeitlichen Einsatz seiner Verbraucher soweit optimiert hat, dass es für den statischen Verbraucherlastgang keine Optimierungsmöglichkeiten beim Stromeinkauf an der EEX mehr gibt. Wird dann entschieden, dass schaltbare Verbraucher eingesetzt werden können, dann ist auf den Regelleistungsmärkten mehr Ertrag möglich.

Tabelle 2: Geeignete Märkte für Industriebetriebe

Industrie Lastverringern	Primär- regelleistung	Sekundär- regelleistung	Minuten- reserve	PV-Eigen- verbrauch	EEX Day-Ahead bzw. Intraday
Elektrostahl Verschiebung Last	x	x	x		
Papier Verschiebung Last		x	x		
Zement Verschiebung Last	x	x	x		
Zink-Elektrolyse Verschiebung Last	x	x	x		
Aluminium Elektrolyse Verschiebung Last	x	x	x		
Chlor-Elektrolyse Verschiebung Last		x	x		
Allgemeines Verschieben (Kühlen, Lagergut, Speicher)		x	x		
Industrie Abschaltung					
Elektrostahl Produktions-Stop			x		
Papier Produktions-Stop			x		
Zement Produktions-Stop			x		
Zink-Elektrolyse Produktions-Stop			x		
Aluminium Elektrolyse Produktions-Stop			x		
Chlor-Elektrolyse Produktions-Stop			x		

Bei Haushalten ist der PV-Eigenverbrauch die lukrativste Möglichkeit zur Vermarktung schaltbarer oder verschiebbarer Lasten, dies setzt allerdings eine ausreichend dimensionierte und nach dem aktuellen EEG geförderte PV-Anlage voraus. Fortwährend laufende Verbraucher wie Kühlgeräte könnten Primärregelleistung zur Verfügung stellen, Anlagen mit täglichem, kalkulierbarem Verbrauch über wenige Stunden (z. B. Elektromobilität) sind für den EEX Spotmarkt eher interessant. Mittels Poolung könnten Elektrostraßenfahrzeuge auch Regelleistung bereitstellen. Hierzu wird zur Sicherstellung einer immer am Netz befindlichen Mindestleistung jedoch eine erhebliche Anzahl an Fahrzeugen benötigt, was den spezifischen Ertrag stark mindert.

Tabelle 3: Geeignete Märkte für Haushalte, GHD und Verkehr

Haushalte Lastverschiebung	Primär- regelleistung	Sekundär- regelleistung	Minuten- reserve	PV-Eigen- verbrauch	EEX Day-Ahead bzw. Intraday
Waschmaschine			x	x	
Wäschetrockner			x	x	
Spülmaschine			x	x	
Kühl- & Gefrierschrank	x				
Umwälzpumpen	x				
Elektrospeicherheizungen				x	x
Wärmepumpen			x	x	
Warmwasserbereitung				x	x
Laden von Traktionsbatterien (ESF)				x	x
Mikro-KWK Anlage					x
Gewerbe, Handel und Dienstleistung Lastverschiebung					
Kühl- & Gefrierhäuser und -schränke	x				
Allgemeines Verschieben (Lagergut, Speicher)			x		
Warmwasserbereitung					x
Lüftungsanlagen, Klimaanlage			x		
Verkehr Lastverschiebung					
Heizen/Kühlen von Zügen			x		
Leistungsreduktion von Zügen			x		

7 Fazit

Es hat sich gezeigt, dass bei den heutigen Preisstrukturen für die meisten schaltbaren Verbraucher die Vermarktung im Pool als Regelleistung die wirtschaftlichste Variante ist. Dies liegt daran, dass allein für die Möglichkeit zur Leistungsbereitstellung gezahlt wird, unabhängig wie häufig diese eingesetzt wird. Da bei den meisten Verbrauchern beim Schalten ein Aufwand (organisatorisch oder monetär) entsteht, ist die Bereitstellung von Minutenreserve der am häufigsten passende Markt, da dies der Regelleistungsmarkt mit der geringsten Abrufwahrscheinlichkeit ist. Nur wenige Anlagen, wie z. B. Kühlgeräte, wären besser für Primärregelleistung geeignet. Für das Anbieten von Regelleistung gibt es allerdings einen umfangreichen Katalog an Anforderungen, deren Einhaltung mit einer Präqualifikation zu beweisen ist. Die Präqualifikationsbedingungen orientieren sich häufig an Stromerzeugern; für schaltbare Lasten müssten die Vorgaben geändert werden.

Die stundenweise Abschaltung von Industriebetrieben bei hohen Strompreisen ist nur für sehr wenige Branchen interessant, und zudem wirtschaftlich aber weniger attraktiv als die Vermarktung dieser Dienstleistung als Regelleistung.

Für die meisten schaltbaren Verbraucher stellen die Regelleistungsmärkte die attraktivste Möglichkeit zur Vermarktung dar, nur wenige Ausnahmen können an der Strombörse höhere Erträge erwirtschaften.

Quellen:

- ISI-03 09 Wille-Haussmann, Bernhard; Erge, Thomas; Klobasa, Marian: Integration von Windenergie in ein zukünftiges Energiesystem unterstützt durch Lastmanagement. Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), 2009
- FFE-42 10 Von Roon, Serafin; Gobmaier, Thomas: Demand Response in der Industrie - Status und Potenziale in Deutschland. München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE), 2010

Die Ergebnisse wurden im Rahmen des Verbundprojektes KW21 erarbeitet. Wir danken der E.ON Energie AG, dem Bayerischen Staatsministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst (BStMWFK) sowie dem Bayerischem Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie (BStMWIVT) für die Förderung.