

Demand Side Management in Haushalten

**Methoden zur Potenzialanalyse
und Kostenabschätzung**

DEMAND SIDE MANAGEMENT IN HAUSHALTEN METHODEN ZUR POTENZIALANALYSE UND KOSTENABSCHÄTZUNG

Serafin von Roon, Thomas Gobmaier, Malte Huck

Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., Am Blütenanger 71, 80995 München,
0049-89-158121-0, sroon@ffe.de, www.ffe.de

Kurzfassung: Im Rahmen des Projektes "Windenergie - Ausgleich der Prognosefehler"ⁱ [FFE-04 10] werden die Potenziale, Hemmnisse und Kosten verschiedener Möglichkeiten zur Bereitstellung von Reserveleistung zum Ausgleich von Prognosefehlern bei Windkraftanlagen untersucht. Eine Möglichkeit zur Bereitstellung dieser Reserveleistung könnte sich durch Demand Side Management (DSM) von Geräten in Haushalten eröffnen. Die Einbindung von Haushaltsgeräten in ein DSM-System wird durch den technischen Fortschritt, standardisierte Datenübertragungsverfahren und die Verbreitung von Mikroprozessoren begünstigt. Wegen der geringen Leistungen der schaltbaren Geräte werden im Haushaltssektor trotz der hohen Stückzahlen bislang keine DSM-Maßnahmen durchgeführt.

Im Folgenden werden Methoden vorgestellt mit denen die Anzahl der Geräte für ein definiertes Szenariojahr, die Höhe und die zeitliche Flexibilität der Bereitstellung von Reserveleistung und die DSM-Integrationskosten abgeschätzt werden können.

1 Technischer Ansatz des DSM

1.1 Definition

Nach der Definition der Energy Information Administration der USA [EIA-01 09] sind unter DSM Maßnahmen von Energieversorgungsunternehmen zusammengefasst, die den elektrischen Verbrauchslastgang beeinflussen. Die zentrale Steuerung bestimmter Haushaltsgeräte könnte somit für die Bereitstellung positiver und negativer Reserveleistung genutzt werden.

Positive Minutenreserve kann bereitgestellt werden, indem laufende Geräte in Haushalten ausgeschaltet werden oder deren Start verzögert wird. Negative Minutenreserve steht dann zur Verfügung, wenn nicht laufende Geräte eingeschaltet werden können. Dieser Ansatz ist nur mit Zustimmung der Gerätenutzer umsetzbar. Daher stehen für DSM Geräte im Fokus, deren zeitliche Steuerung nicht oder nur geringfügig mit Komforteinbußen des Kunden verbunden ist.

Das Konzept des DSM ist nicht neu und wird in Deutschland seit Jahrzehnten unter dem Begriff „Laststeuerung“ umgesetzt. **Abbildung 1-1** aus einer Veröffentlichung aus dem Jahr 1989 zeigt schematisch, wie durch DSM Lasten verschoben werden können.

Dies kann aus verschiedenen Gründen geschehen, z. B. um Lastspitzen (und dadurch Engpässe) zu vermeiden und die Verbraucherlastkurve zu glätten, aber auch wie im folgenden diskutiert, um zu bestimmten Zeiten positive oder negative Reserveleistung zur Verfügung zu stellen.

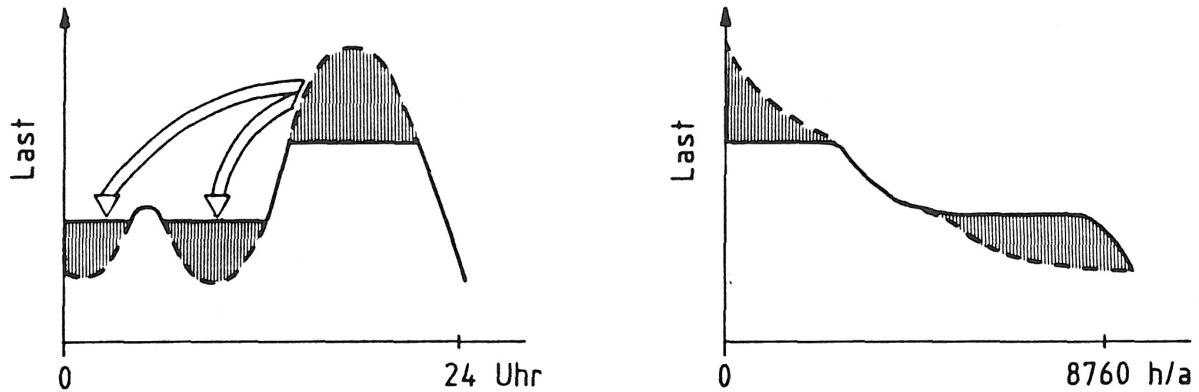


Abbildung 1-1: Verschiebung von Lasten durch Demand Side Management, Quelle Wagner 1989 [FFE-01 89]

2 Methoden

2.1 Abschätzung der Geräteanzahl für Reserveleistung mittels DSM als typisches Fermi-Problem

Die folgende Methodik ermöglicht, für ein Szenariojahr Y_{Szen} (z. B. 2020) die Ermittlung des praktischen Potenzials von Geräten in Haushalten, die mittels DSM kurzfristig Leistung bereitstellen können. Da für die Zukunft keine belastbaren Daten vorhanden sind, stellt diese Fragestellung ein typisches Fermi-Problem dar. Dieses ist dadurch gekennzeichnet, dass über einen mehrstufigen Prozess quantitativer Abschätzungen Ergebnisse in der richtigen Größenordnung erzielt werden. Der mehrstufige Prozess hebt die Abschätzungsfehler häufig auf, wodurch sich das Ergebnis verbessert. Auf Basis transparenter Annahmen können die Ergebnisse diskutiert und bei Verbesserung der Datenlage angepasst werden. Der Berechnungsweg erfolgt vom theoretischen Potenzial (alle Geräte eines Typs nehmen ausnahmslos am Reservemarkt teil) hin zu einer Abschätzung der für Reserveleistung tatsächlich verfügbaren Geräte (vgl. **Abbildung 2-1**).

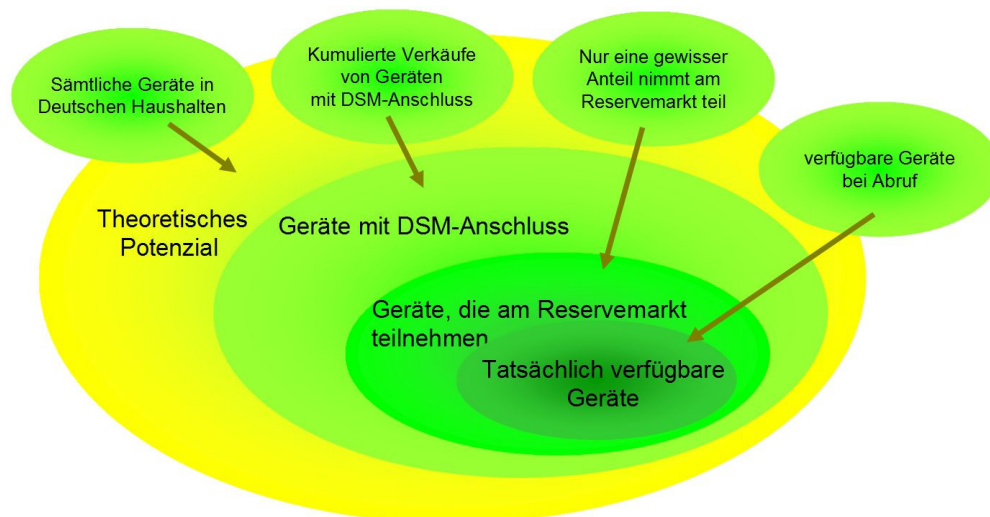


Abbildung 2-1: Ermittlung des praktischen Potenzials

Zuerst wurde das theoretische Potenzial über die Anzahl der Geräte (berechnet aus der Anzahl der Haushalte n_{HH} und dem Ausstattungsgrad q_{HH}) aus Literaturangaben und der mittleren Leistungsänderung P_n im Falle eines Abrufs erhoben. Bis zum Szenariojahr 2020 (Y_{Szen}) werden jedoch lediglich die Geräte ausgetauscht worden sein, die sich am Ende ihrer technisch wirtschaftlichen Lebensdauer t_D befanden. DSM fähige Geräte werden erst ab einem bestimmten Jahr Y_{DSM} im Handel verfügbar sein und nur einen Anteil q_{DSM} der verkauften Geräte ausmachen. Dieser Anteil wird maßgeblich von der Nutzerakzeptanz und den Kosten bestimmt. Von den DSM fähigen Geräten wird wiederum nur ein Anteil q_{Res} Reserveleistung anbieten. Falls negative (positive) Reserveleistung bereitgestellt werden soll, kann nur der Anteil q_{aus} (q_{an}) der Geräte berücksichtigt werden, der noch nicht mit Nennleistung betrieben wird. Von diesen Geräten kann wiederum nur der Anteil q_{pot} verwendet werden, bei dem eine Leistungserhöhung zu keinen Komplikationen führt. Somit berechnet sich das praktische Potenzial nach folgender Formel:

$$P_{Res} = n_{HH} \cdot q_{HH} \cdot \frac{(Y_{Szen} - Y_{DSM})}{t_D} \cdot q_{DSM} \cdot q_{Res} \cdot q_{aus/an} \cdot q_{pot} \cdot P_n$$

2.2 Berechnungsmethode für zeitlich begrenzte Lasten

2.2.1 Erläuterung

Eine typische Situation auf Verbraucherseite ist, dass eine gewisse Dienstleistung mit einem entsprechenden Energieverbrauch bis zu einem bestimmten Zeitpunkt spätestens erfolgt sein muss. Wenn der Zeitabschnitt bis zur Erfüllung jedoch größer ist als die Dienstleistung selbst in Anspruch nimmt, bestehen bei der Wahl der Startzeit gewisse Freiheiten. Dies könnte z. B. der Fall bei der Ladung von Batterien von Elektrostraßenfahrzeuge oder bei Geschirrspül- bzw. Waschmaschinen sein.

Diese Lasten lassen sich folglich innerhalb eines gewissen Zeitraums zeitlich verschieben, wobei die abgenommene Gesamtlast aber konstant bleibt. Im Folgenden soll für diese Situationen eine allgemeingültige Berechnungsmethode für negative und positive Reserveleistung präsentiert werden.

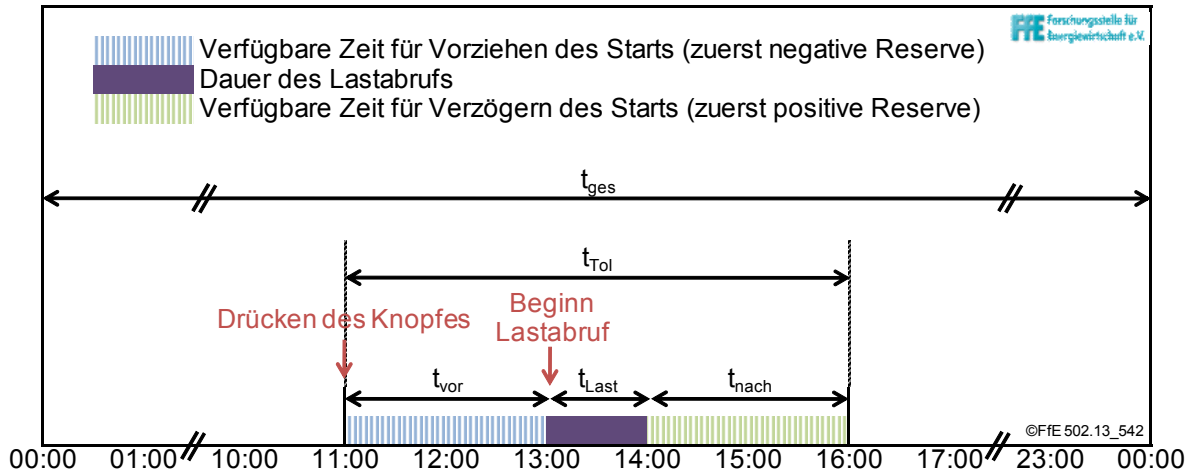


Abbildung 2-2: Erklärung der Reserveberechnung anhand eines Beispiels

Abbildung 2-2 zeigt schematisch die relevanten Zeiten, aus denen durch eine Formel (s. u.) allgemeingültig die zur Verfügung stehende Reserveleistung berechnet werden kann. Zunächst muss der Betrachtungszeitraum t_{ges} definiert werden, beispielsweise ist eine Unterscheidung zwischen Tag und Nacht häufig sinnvoll. Der Zeitraum, innerhalb dessen der Betrieb des Geräts frei gewählt werden kann, wird als Toleranzzeitraum t_{Tol} bezeichnet. Im Falle von Elektrostraßenfahrzeugen entspricht t_{Tol} der Zeit vom Anstecken an die Ladesäule bis zur gewünschten Abfahrt. Die eigentliche Dienstleistung benötigt eine gewisse Zeit t_{Last} . Im Fall von Spülmaschinen wäre dies die Betriebszeit für einen Spülgang.

Der Anbieter des DSM kann wählen, wann er im Fall ohne Reserveabruf den Lastabruf innerhalb der Toleranzzeit positioniert. Hierbei ergeben sich unterschiedliche Zeiten vor dem Lastabruf (t_{vor}) und nach dem Lastabruf (t_{nach}). Im Beispiel der Spülmaschinen kann sich der Verbraucher also sicher sein, dass in den meisten Fällen (die Fälle ohne Abruf von Reserveleistung) das Geschirr nach der Zeit $t_{vor} + t_{Last}$ fertig gespült ist. Wird positive oder negative Reserve abgerufen, so kann die Lastabnahme innerhalb t_{Tol} verschoben werden. Soll zunächst negative Reserve zur Verfügung gestellt werden, so kann der Spülbeginn maximal um die Zeit t_{vor} vorgezogen werden. Für den Abruf von negativer Reserve lässt sich die Last maximal um t_{nach} nach hinten verschieben. Der DSM-Anbieter wird einen Kompromiss finden müssen zwischen einer großen Toleranzzeit t_{Tol} (hohe und flexible Reservebereitstellung) und einer kurzen Zeit t_{vor} bzw. t_{Tol} , da die Lastabnahme innerhalb eines vom Kunden tolerierbaren Zeitraums erfolgen muss.

2.2.2 Berechnung

Kurzfristig kann positive Leistung nur dadurch bereitgestellt werden, dass Geräte, die fahrplanmäßig gelaufen wären, vor- oder nachgelagert betrieben werden. Für die

Berechnung der verfügbaren Reserveleistung ist es wichtig, wie viele Geräte zum Zeitpunkt des Reservebedarfs laufen (also abschaltbereit sind) und wie viele Geräte für einen vorzeitigen Start zur Verfügung stehen. Der Anteil q_{Last} derjenigen Geräten, die unter Last sind, berechnet sich wie folgt:

$$q_{Last} = \frac{t_{Last}}{t_{ges}}.$$

Der Anteil q_{Ber} derjenigen Geräte, die nicht in Betrieb sind und zugeschaltet werden könnten (Betrieb hat noch nicht stattgefunden), beträgt:

$$q_{Ber} = \frac{t_{vor}}{t_{ges}}.$$

Auf Basis der mittleren Anzahl der Leistungsabnahmen pro Tag und Gerät (n_T), der Anzahl der Geräte N sowie der mittleren Leistungsänderung pro Gerät P_n im Falle eines Abrufs lässt sich somit die maximale positive (P_{pos}) und negative (P_{neg}) Reserveleistung berechnen:

$$P_{pos} = q_{Last} \cdot n_T \cdot N \cdot P_n$$

$$P_{neg} = q_{Ber} \cdot n_T \cdot N \cdot P_n.$$

Hierbei ist noch nicht bestimmt, wie lange diese Leistung erbracht werden kann. Auf diesen Aspekt wird in Abschnitt 2.2.3 eingegangen.

Die Anwendung der Formeln wird am Beispiel in **Abbildung 2-2** gezeigt. In dem Spülmaschinen-Beispiel wurde eine Dauer der Leistungsabnahme von $t_{Last} = 1$ h und eine Toleranzdauer von $t_{Tol} = 5$ h angenommen. Die Toleranzdauer von 5 h ergibt sich durch das Drücken eines "5 h-Knopfes", das heißt der Nutzer akzeptiert eine Beendigung des Spülgangs innerhalb der nächsten fünf Stunden. Der fahrplanmäßige Betrieb (ohne Reserveabruf) wurde in die Mitte der Toleranzzeit gelegt, so dass $t_{vor} = t_{nach} = 2$ h ist. Im Normalfall wird der Spülvorgang also nach $t_{vor} + t_{Last} = 3$ h beendet sein.

Steht der gesamte Tag für Lastabnahmen zur Verfügung ($t_{ges} = 24$ h), so ergeben sich nach obigen Formeln im Beispiel die folgenden Quoten:

$$q_{Last} = 1 \text{ h} / 24 \text{ h} = 1/24 \text{ und}$$

$$q_{Ber} = 2 \text{ h} / 24 \text{ h} = 1/12.$$

In diesem Beispiel ließe sich also bei dem ersten Reserveabruf am Tag doppelt so viel negative wie positive Reserveleistung zur Verfügung stellen, da zu jedem Zeitpunkt die Anzahl zuschaltbereiter Maschinen doppelt so groß ist wie die der bereits laufenden Maschinen.

Da durch DSM lediglich der Startzeitpunkt des Lastabrufs beeinflusst wird, nicht aber, ob dieser überhaupt erfolgt, bleibt die abgerufene Gesamtlast über den Tag integriert konstant. Bedingt durch diese Tatsache kommt es im Falle eines Reserveabrufs immer zu einem Ausgleichsgeschäft, was vom DSM-Betreiber zeitlich so positioniert werden

kann, dass es als zweiter Reserveabruf am selben Tag genutzt werden kann. Daher muss nach einem ersten negativen (positiven) Reserveabruf später am Tag ein weiteres Mal positive (negative) Reserveleistung zur Verfügung gestellt werden. Somit ergeben sich durch die kurzfristigen Leistungsbereitstellungen immer zwei Abweichungen gegenüber dem Fahrplan. Dieser Sachverhalt wird im folgenden Abschnitt deutlich.

2.2.3 Abruf von Reserveleistung

Im Folgenden wird am Beispiel von Geschirrspülmaschinen diskutiert, welche Auswirkungen der Abruf von positiver bzw. negativer Reserveleistung auf das Lastprofil von einmalig verfügbaren zeitlich begrenzten Lasten hat.

Abhängig von dem Zeitpunkt des Reserveabrufs innerhalb der Toleranzzeit werden drei Szenarien diskutiert. Diese werden schematisch in **Abbildung 2-3** gezeigt und in den folgenden Abbildungen detaillierter geschildert. Es wird jeweils betrachtet, was passiert, wenn zuerst negative bzw. positive Reserveleistung abgerufen wird. **Abbildung 2-4** (Fall 1) zeigt den ersten Extremfall, bei dem der fahrplanmäßige Lastabruf an den Beginn der Toleranzzeit gelegt wird. In **Abbildung 2-5** (Fall 2) wird das Spülen nach Fahrplan in die Mitte der Toleranzzeit positioniert. **Abbildung 2-6** (Fall 3) zeigt den Fall, bei dem der fahrplanmäßige Betrieb am Ende der Toleranzzeit platziert wurde. Hier ist die Zeit für einen vorgezogenen Maschinenstart t_{vor} maximal.

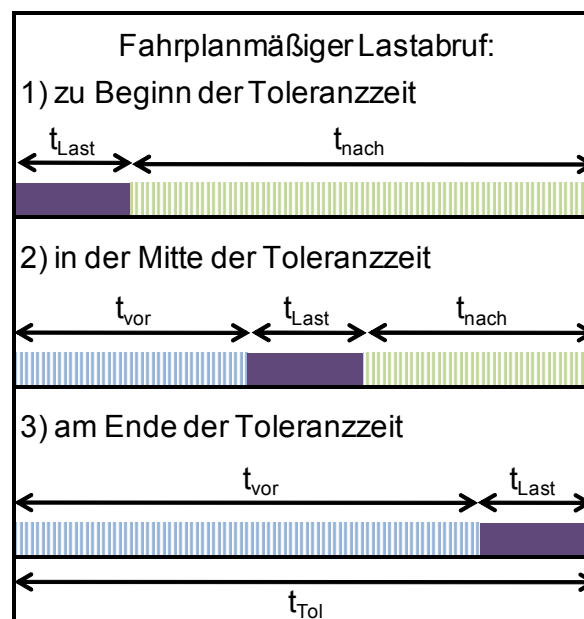


Abbildung 2-3: Drei Möglichkeiten der Positionierung des fahrplanmäßigen Lastabrufs innerhalb der Toleranzzeit

Alle drei Abbildungen zeigen jeweils die Situation ohne Reserveabruf (a) und den Fall, wenn positive Leistung zuerst (b) oder negative Leistung zuerst (c) bereitgestellt werden soll. Das Diagramm im unteren Teil der Grafiken (d) zeigt jeweils die resultierenden Lastflüsse bei einer großen Anzahl an Maschinen, die kontinuierlich gestartet werden.

Im Folgenden sollen die drei Szenarien detailliert betrachtet werden. Wird keine Reserve abgerufen, so spülen die Maschinen immer zu dem anfangs festgelegten Zeitpunkt, in Abbildung 2-4 z. B. in der ersten Stunde der Toleranzzeit. Werden zeitlich konstant gleich viele Maschinen gestartet, ergibt sich idealisiert eine zeitlich konstante Lastkurve. Die verschiedenfarbigen Kästchen in den Abbildungen stehen jeweils für Maschinen, deren Startknopf (Beginn der Toleranzzeit) zur selben Zeit gedrückt wurde. Zur Vereinfachung wurden in einem Takt von einer halben Stunde jeweils zwei Maschinen dargestellt. In Realität werden im Beispiel der Spülmaschinen zeitlich zufällig verteilt mehrere Tausend Maschinen pro Stunde gestartet, wobei sich die im unteren Teil der Abbildung gezeigten Lastkurven ergeben.

In Abbildung 2-4 wird die Spülzeit an den Beginn der Toleranzzeit gelegt, was dazu führt, dass ein großer Zeitraum t_{nach} für das Verzögern des Spülbeginns bleibt. Soll zuerst positive Reserve abgerufen werden, so kann diese über den Zeitraum t_{nach} bereitgestellt werden. Ab dem Beginn des Reserveabrufs werden sämtliche Maschinen um bis zu t_{nach} verzögert, wobei die Reserve spätestens nach t_{nach} wieder enden muss, da spätestens dann die ersten Maschinen wieder spülen müssen. Zu einem Späteren Zeitpunkt des Tages kann die Verzögerung wieder aufgehoben werden und es kommt zu einem Last-Maximum. Der Ausgleich ist zeitlich frei positionierbar und auch Form und Höhe des Peaks lässt sich frei anpassen, wobei die Energiekonstant bleibt. Soll zuerst negative Reserve abgerufen werden, so ist dies nicht möglich, da sich die Spülzeit nicht weiter vorziehen lässt. Dieses Extremszenario ist also nur dann sinnvoll, wenn man von vornherein immer zunächst positive und dann negative Reserveleistung bereitstellen möchte. Für den Kunden ist dieses Szenario aber ideal, da in den Meisten Fällen die Spülmaschine bereits nach t_{Last} fertig ist.

In Abbildung 2-5 befindet sich die fahrplanmäßige Spülzeit in der Mitte der Toleranzzeit. Dies ermöglicht die Bereitstellung sowohl von negativer als auch von positiver Reserveleistung, unabhängig davon, welche von beiden zuerst bereitgestellt werden soll. Diese Flexibilität bezahlt man mit einer geringeren maximal möglichen negativen Reserveleistung und mit einer kürzeren Dauer, über die die positive Reserve bereitgestellt werden kann.

Abbildung 2-6 beschreibt den zweiten Extremfall, bei dem die fahrplanmäßige Spülzeit an das Ende der Toleranzzeit gesetzt wird. In diesem Fall ist die Höhe der Reserve identisch wie wenn die Spülzeit am Anfang positioniert ist, nur dass nun als erstes lediglich negative Reserve bereitgestellt werden kann.

Es wird darauf hingewiesen, dass in allen Fällen bereits gestartete Maschinen auslaufen werden. Ein Abbrechen des bereits gestarteten Spülvorgangs ist aufgrund der zusätzlich verbrauchten Energie zum Wiederaufwärmen kaum ökonomisch. Deshalb kommt es in den Lastdiagrammen zu den beobachteten Schrägen. Würden Maschinen auch unterbrochen werden, so ließe sich der Abfall auf Null Watt auch durch scharfe Kanten realisieren.

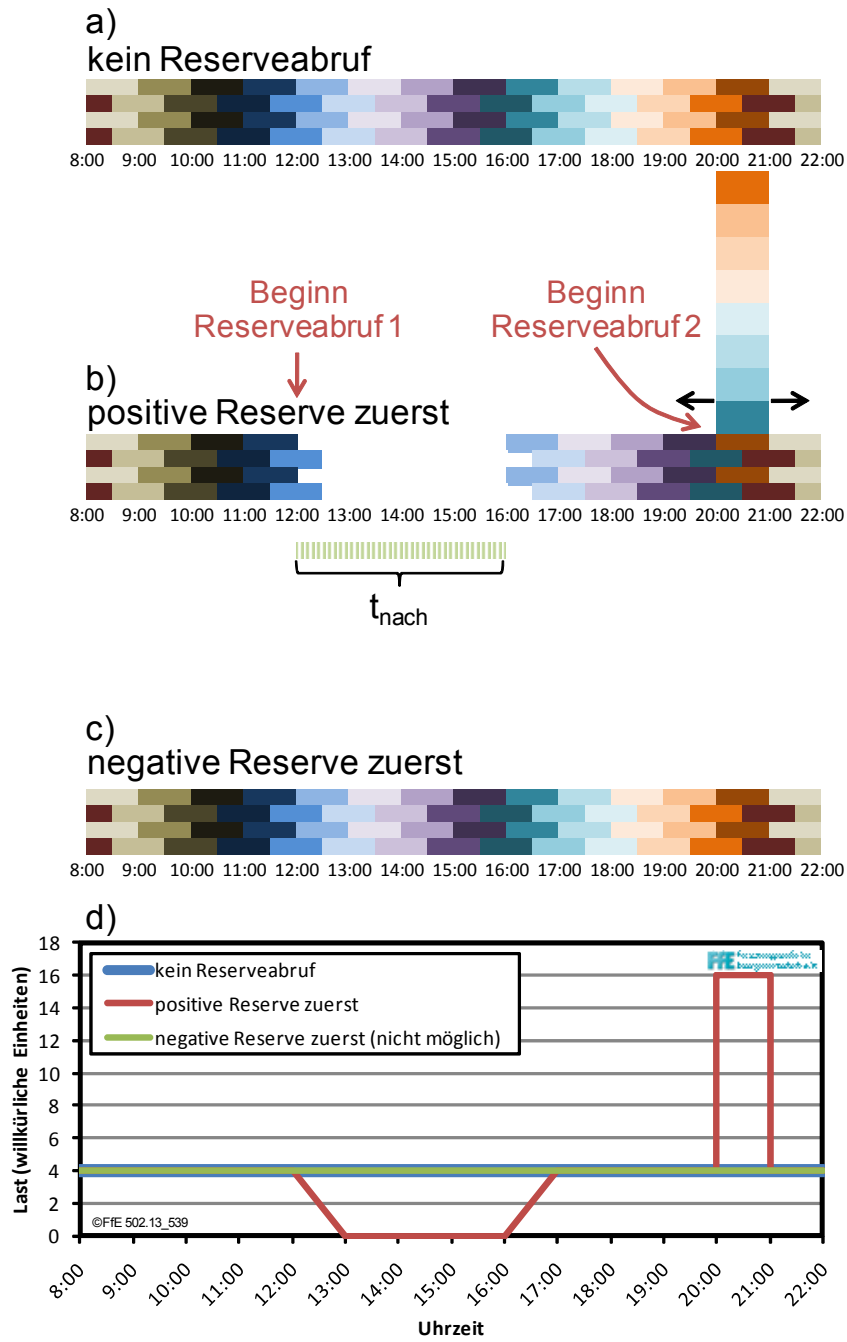


Abbildung 2-4: Fahrplanmäßiger Betrieb in der ersten Stunde der Toleranzzeit

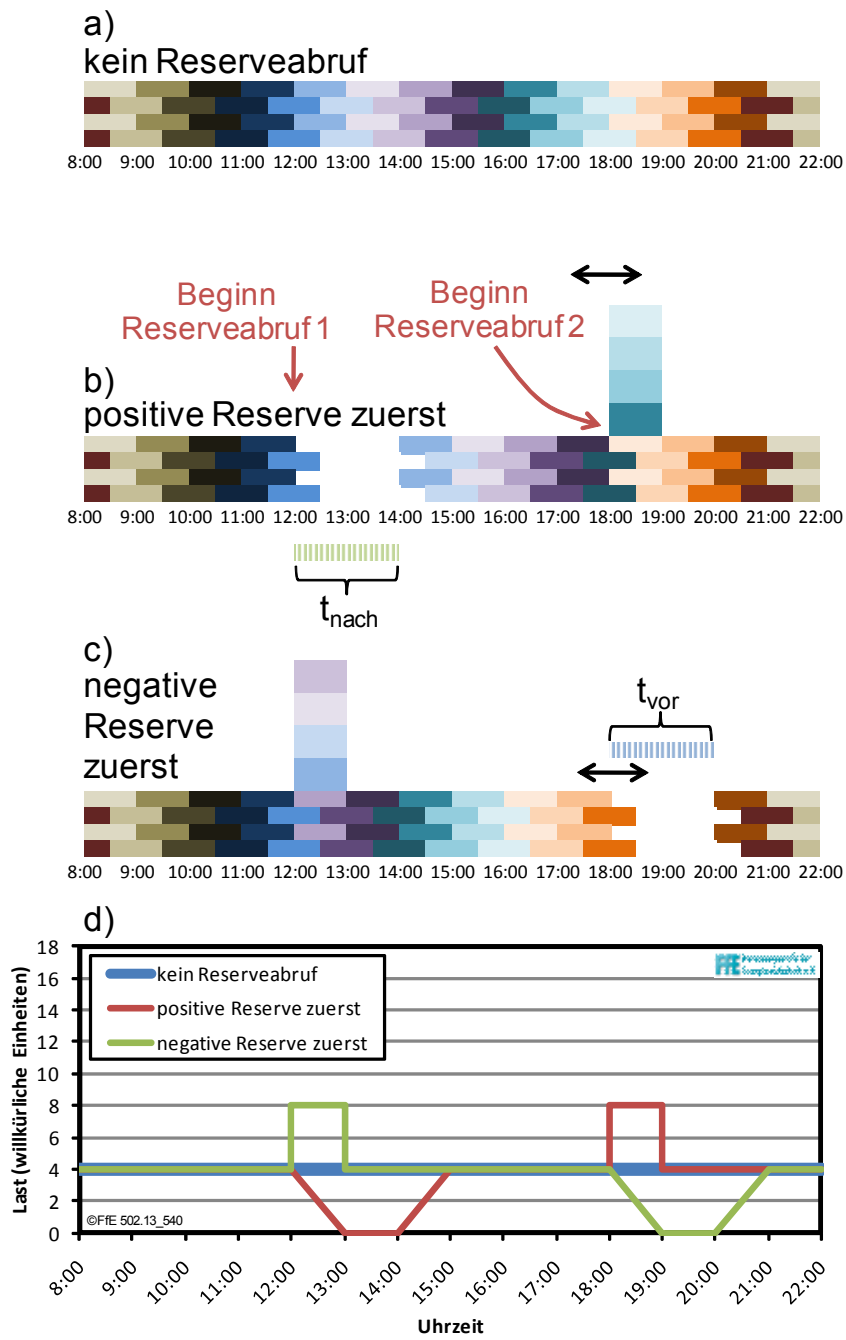


Abbildung 2-5: Fahrplanmäßiger Betrieb in der Mitte der Toleranzzeit

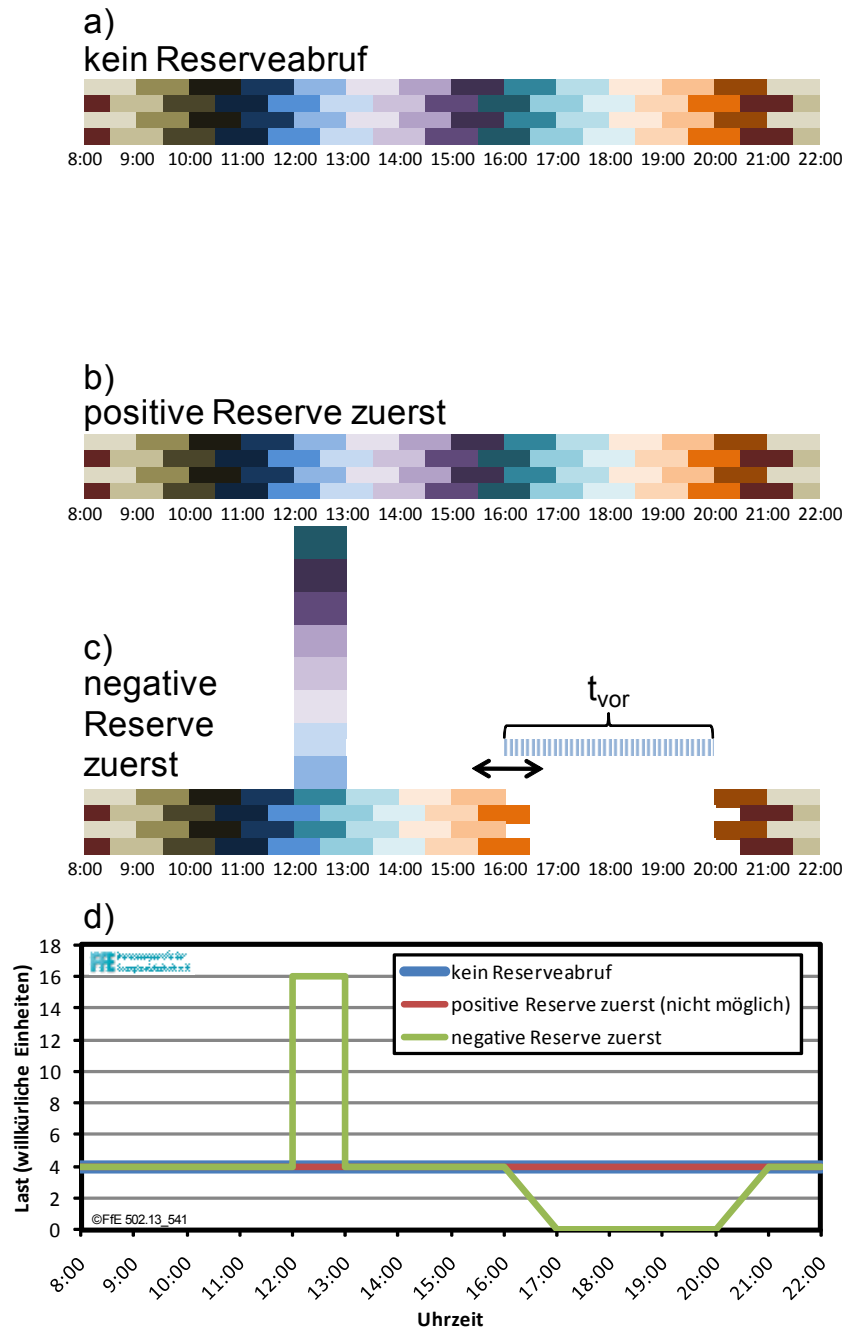


Abbildung 2-6: Fahrplanmäßiger Betrieb am Ende der Toleranzzeit

2.2.4 Demand Side Management als „Stromspeicher“

In dem oben geschilderten Sachverhalt lässt sich also der Stromverbrauch lediglich insofern steuern, dass eine zeitliche Verschiebung der Verbraucherlast erreicht wird. Zum Beispiel wird ein Geschirrspülgang, welcher vom DSM unterbrochen wird, zu späterer Zeit nachgeholt, wodurch der Gesamtstromverbrauch bzw. die gesamte Energie E gleich bleibt oder sogar leicht ansteigt. Somit kann man die Maßnahmen des Demand Side Management als „Stromspeicher“ betrachten, der durch verändertes Nutzerverhalten be- oder entladen werden kann.

3 Systemkosten

Für eine Investitionsentscheidung sind die Kosten folgender Komponenten zusätzlich zu den Grenzkosten zu berücksichtigen:

- Zentrale Organisation (Management Gerätepark und Verkauf der Dienstleistung im Stromhandel)
- Zentrale Steuerung zur Koordination der Geräteparks
- Datenübermittlung zum Gerät (Sender, Übertragungsstrecke)
- Rückkanal zur Statusmeldung (optional)
- Datenempfänger und Auswertelogik im Gerät

Die spezifischen Kosten für die zentrale Organisation und Steuerung reduzieren sich bei hohen Stückzahlen, so dass sie hier nicht weiter betrachtet werden. Die Datenübermittlung kann über Funk (Rundsteuersignal oder Mobilfunk wie z.B. GSM, GPRS, UMTS) oder über Kabel (Modem/DSL bzw. zukünftig PowerLine zum Ortsnetztrafo) erfolgen.

Generell bietet es sich im Haushaltsbereich an, DSM und Smart Metering zu verbinden, um dieselbe Methode der Datenübertragung nutzen zu können. Im Folgenden wird angenommen, dass für die Datenübermittlung und den Rückkanal die Datenstrecke des Smart Metering genutzt werden kann, wodurch keine nennenswerten Zusatzkosten anfallen.

So bleibt bei der Kostenbetrachtung nur der Datenempfänger mit der Auswertelogik im Gerät. Hier wird angenommen, dass der Rechner mit Einbau im Endpreis des Gerätes den Nutzer etwa 50€ mehr kostet als ein Standardgerät. Bei einer Lebensdauer der Elektronik von 10 Jahren und fünf Schaltungen pro Woche entstehen Kosten von ca. 1,9 ct/Schaltvorgang und Gerät. Hierzu kommt noch der zusätzliche Stromverbrauch der Logik, welche mit 1 W angesetzt wird. Bei 22 ct/kWh ergibt dies Jahresstromkosten von 1,93 €, bzw. 0,74 ct/Schaltvorgang.

Zur Ermittlung der Kosten wurde in **Tabelle 3-1** ermittelt, wie viele Geräte zusammengefasst werden müssen, um eine Leistung von 1 MW über eine Stunde ein- bzw. ausschalten zu können (entsprechend 1 MWh). Es zeigt sich, dass die Integration von Geräten mit kleinen mittleren Leistungen sehr hohe Kosten verursacht.

Tabelle 3-1: *Kosten für Investition und Betrieb der DSM-Logik abhängig von der schaltbaren Leistung, zusammengefasst in 1-Stunden Blöcke mit 1 MW*

Schaltbare Leistung pro Gerät in W	Anzahl benötigter Geräte für 1 MW	Stromkosten pro Schaltvorgang von 1 MW	Investitionskosten pro Schaltvorgang von 1 MW	Gesamtkosten pro Schaltvorgang von 1 MW
10	100.000	741 EUR/MW	1.923 EUR/MW	2.664 EUR/MW
100	10.000	74 EUR/MW	192 EUR/MW	266 EUR/MW
1.000	1.000	7 EUR/MW	19 EUR/MW	26 EUR/MW

©FFE 502.13_480

Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass manche Geräte zusätzliche Funktionalitäten erhalten, für welche sie dauerhaft online sein müssen. Dann wäre die Integration der DSM-Fähigkeit allein mit einer Softwareerweiterung möglich. Es würden nur sehr geringe Kosten für die DSM-Funktionalität anfallen und selbst sehr kleine Geräte könnten integriert werden.

4 Zusammenfassung

Die Anzahl der Geräte, die mittels DSM kurzfristig Leistung bereitstellen können, kann für ein bestimmtes Szenariojahr über die Anzahl der Haushalte, dem Ausstattungsgrad, der technischen Lebensdauer der Geräte und der Quote der verkauften Geräte mit DSM Fähigkeit abgeschätzt werden.

Für eine Berechnung der kurzfristig zur Verfügung stehenden Leistung ist das Umsetzungskonzept maßgeblich. Es wurde eine Methodik vorgestellt, bei der der zentralen DSM Steuerung nach Drücken des Start-Knopfes das Recht eingeräumt wird den Zeitpunkt des Spülvorgangs innerhalb eines vorher vereinbarten Zeitraums frei zu wählen. Eine kurzfristige Leistungsbereitstellung kann nur als solche gewertet werden, wenn diese eine Abweichung gegenüber den fahrplanmäßigen Betrieb darstellt. Der Bereitstellung kurzfristiger positiver Leistung folgt immer ein Ausgleich durch negative Leistung. Die Höhe der kurzfristigen Leistung und die Reihenfolge werden durch die fahrplanmäßige Wahl des Betriebs innerhalb des Toleranzzeitraums bestimmt. Die verfügbare Last lässt sich mittels der Länge des Toleranzzeitraums, der Betriebsdauer und der Wahl des fahrplanmäßigen Starts innerhalb des Toleranzzeitraums berechnen.

Unter der Annahme, dass die zusätzlichen Kosten für die DSM Fähigkeit bei 50 € pro Gerät liegen und im Mittel fünf Mal pro Woche kurzfristig Leistung mittels DSM bereitgestellt wird, ergäben sich pro Gerät mit 1000 W schaltbarer Leistung 26 € Kosten pro Schaltvorgang. Dies zeigt, dass DSM mit Geräten kleiner Leistungen nur eine Chance hat, wenn die zusätzliche Hardware standardmäßig verbaut ist und somit für die Wirtschaftlichkeitsberechnung von DSM nicht berücksichtigt werden muss.

5 Quellen

- FFE-01 89 Wagner, U.: Leistungs- und Lastbedarfssteuerung, in: FfE-Schriftenreihe 19:. München: Gesellschaft für praktische Energiekunde (GfPE), 1989
- EIA-01 09 EIA: Glossary – Demand-side management. Internetseite http://www.eia.doe.gov/glossary/glossary_d.htm, Washington: Energy Information Administration, 2009
- FFE-04 10 Windenergie - Ausgleich der Prognosefehler; laufendes Projekt an der Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V, München; Projektinformationen: www.ffe.de/taetigkeitsfelder/energiebedarfsprognosenstruktur-und-marktanalysen/255

ⁱ Das Projekt "Windenergie - Ausgleich der Prognosefehler" wird gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages (Förderkennzeichen 0325091)