

# Lastsprünge an der Viertelstunden-Grenze

Version 1.001 vom 17.02.2010

von Walter Schitteck

## Überblick/Zusammenfassung

Bei der Einführung variabler Strompreise wird in einigen Jahren der Zustand erreicht werden, dass die Tarife sich nicht mehr per Preisblatt, sondern nur noch tagesaktuell per Internet usw. kommunizieren lassen, wie z.B. beim „Real-Time-Pricing“. In diesem Text wird nachvollziehbar dargestellt, warum

1. bei Erreichen dieses Zustands die Etablierung automatischer Reaktionen der gesamten Verbrauchsseite beginnen wird, so dass die Stromkunden von der ständigen lästigen Beschäftigung mit dem Preisverlauf entlastet werden. Im Zusammenspiel von Elektroindustrie, Softwareanbietern, privaten und gewerblichen Stromkunden und ggf. Dienstleistern würde dies unausweichlich sogar gegen den Willen der Stromversorger durchgesetzt.
2. schon nach einzelnen wenigen Jahren durch geballte automatische Reaktionen der Verbrauchsseite auf Preiswechsel an der Viertelstundengrenze die Primärregelung mehrmals pro Woche an ihre Auslegungsgrenze (UCTE\*: 3000 MW) kommen wird. Hierfür ist keine zufrieden stellende „Lösung zum Nachrüsten“ erkennbar, die die Vorteile variabler Tarife bewahrt.

Diese qualitativen Aussagen werden überschlägig quantitativ belegt; dabei wird deutlich, dass man diese Problematik nicht „schön rechnen“ können wird.

**Erstmalig in der Geschichte der Stromversorgung wird somit den Versorgern eine Entwicklung „von außen aufgezwungen“ werden, auf die es keine allmählichen Reaktionsmöglichkeiten gibt (wie z.B. bei der Einspeisung erneuerbarer Energien).**

Die Vor- und Nachteile denkbarer Lösungsansätze werden erörtert; dabei wird deutlich, dass sich durch eine schlichte Verkürzung der Zeitabstände für Preisveränderungen kein zufrieden stellender Lösungsweg eröffnet.

**Unbestritten bleibt, dass Smart Metering und variable Tarife, die sich an vollen Viertelstunden orientieren, der richtige nächste Schritt sind. Allen Beteiligten sollte allerdings klar sein, dass damit noch keine Dauerlösung erreicht wird.**

Ganz am Ende des Textes ergänzt eine Seite „Fazit und Ausblick“ diese Zusammenfassung.

## Hinweise

Wer mit **Smart Metering** befasst ist, findet die wichtigsten Informationen auf den ersten beiden Seiten des Textes (bis Ende Kapitel 1.1).

In der Ende 2008 erschienenen **2. Auflage des Buches „Strom – fit für die Zukunft?“** (pdf-Volltext unter [http://www.staff.uni-marburg.de/~schitteck/buch\\_strom.html](http://www.staff.uni-marburg.de/~schitteck/buch_strom.html)) geht **Kapitel 2.2.3** schon auf das Thema Lastsprünge ein. Allerdings wurde die Darstellung recht komprimiert gehalten, um dem vermeintlichen Randthema nicht zu viel Raum zu geben.

---

\* Siehe Hinweis auf Seite 2, letzter Absatz.

Entsprechend der tatsächlichen Bedeutung des Themas soll es hier nun – ohne Platz-Beschränkungen – von allen Seiten beleuchtet werden. *Kursiv gedruckte Textteile* sind optional und nur dann von Bedeutung, wenn man Bedenken hat oder an einer Vertiefung interessiert ist – z.B. um für Diskussionen fit zu sein.

**Dieser Text richtet sich in erster Linie an Fachleute und kann von ihnen ohne Kenntnis des Buches/pdf gelesen werden.**

Nichtfachleute sollten zumindest die Kapitel bis 2.2.2 im Buch/pdf gelesen haben, und sollten dann ausprobieren, ob dieser Text für sie verständlich ist.

Wer das Buch sowieso gerade liest (Fachleute und evtl. auch Nichtfachleute), kann diesen Text auch als ausführliche Variante des Kapitels 2.2.3 in einem Zug mit dem Buch lesen.

Dank an die Fachleute, die mir beim Entstehen des Textes Diskussionspartner waren bzw. durch deren kritische/hilfreiche Hinweise dieser Text in der Endphase noch entscheidende Impulse bekam: Karl-Heinz Peil, Holger Röpken, Holger Armbrüster (Stadtwerke Marburg), Jan Ringelstein (IWES Kassel), Christian Sauer (ISE Freiburg).

Die UCTE ist zum 01.07.2009 in der neuen Organisation ENTSO-E aufgegangen. Das europäische Verbundnetz wird sich perspektivisch weiter ausdehnen. Um die in diesem Text enthaltenen überschlägigen Berechnungen nicht immer wieder auf neuer Basis durchführen zu müssen, bezieht sich alles auf das ehemalige UCTE-Verbundnetz. Ein inhaltlicher/qualitativer Unterschied dürfte sich daraus nicht ergeben. *Selbst dann nicht, wenn man zukünftig von einer deutlich erhöhten Gesamt-Primärregelreserve ausgehen müsste – denn in mindestens gleichem Verhältnis nimmt ja auch die Gesamt-Leistung auf Verbrauchsseite zu.*

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Perspektiven variabler Tarife</b>	<b>3</b>
1.1	Smart Metering	4
1.2	Gute Gründe für die Viertelstundengrenze	5
1.3	Automatische Reaktionen sind sinnvoll	6
1.4	Automatische Reaktionen sind unvermeidlich	7
<b>2</b>	<b>Lastsprünge an der Viertelstundengrenze</b>	<b>8</b>
2.1	Korrelierte Preisverläufe	8
2.2	Lastsprünge allein schon durch Kühl-/Gefriergeräte	9
2.3	Unschöne Zahlen	12
2.4	Weitere automatische Reaktionen	12
<b>3</b>	<b>Lösungsansätze</b>	<b>14</b>
3.1	Lösungsansatz 1: Zufällige Variation des Schaltzeitpunkts	15
3.2	Lösungsansatz 2: Ent-korrelierte Preisbewegungen	16
3.3	Lösungsansatz 3: Unterschiedliche Viertelstundenrhythmen	17
3.4	Lösungsansatz 4: Kürzere Zeitabstände	18
3.5	Lösungsansatz 5: Koordinierte Preisbewegungen	19
3.6	Lösungsansatz 6: Quasi-kontinuierliche Preisverläufe	20
<b>4</b>	<b>Fazit und Ausblick</b>	<b>21</b>

## 1 Perspektiven variabler Tarife

Vieles kann sich als „variabler Strompreis“ bezeichnen. Die meisten heutigen Tarife lassen sich noch per Preisblatt oder per langfristiger Vorschau im Internet kommunizieren. In diesem Text geht es aber um solche Tarife, die sich nicht mehr per Preisblatt, sondern nur noch tagesaktuell per Internet usw. kommunizieren lassen, wie z.B. beim „Real-Time-Pricing“<sup>1</sup>. Solche Tarife möchte ich als komplexe variable Tarife bezeichnen, weil sie keine festen Preisstufen und keine vorgegebenen Zeitblöcke mehr haben.

Darüber, wann es soweit sein wird, dass komplexe variable Tarife zumindest in Teilen Europas flächendeckend eingeführt werden, gibt es unterschiedliche Meinungen und Absichten. Aber nicht der Zeitpunkt ist hierbei entscheidend, sondern ob bis dahin das Nötige vorbereitet wurde. Denn mit der flächendeckenden Einführung komplexer variabler Tarife wird ein Stein ins Rollen gebracht, der schon nach wenigen Jahren die gesamte europäische Stromversorgung ins Wanken bringen könnte – wenn dieser Schritt getan würde, ohne

die nötige „dauerhafte Lösung danach“ rechtzeitig in den Blick zu nehmen.

Die möglichen Gründe dafür, dass die heute diskutierten komplexen variablen Tarife nur als Übergangslösung für wenige Jahre taugen könnten, werden im Folgenden ausführlich dargestellt. Das zu Grunde liegende Thema ist nicht völlig neu; z.B. unter der Bezeichnung Lawineneffekt<sup>2</sup> wurde es schon in Zusammenhang mit automatischen Reaktionen auf variierende Strompreise erwähnt. Die Tragweite des Themas im gesamten Verbundnetz soll hier aufgezeigt werden.

## 1.1 Smart Metering

Der Einsatz intelligenter Stromzähler (Smart Meters) mit allen dazu gehörenden Abrechnungs- und Informationsmöglichkeiten wird als Smart Metering bezeichnet.

Je klarer sich die technische Gestaltung komplexer variabler Tarife abzeichnet, desto mehr wird sich bei den Herstellern von Smart Meters eine Standardisierung verfestigen, so dass alles, was absehbar realisiert werden soll, auch durch die Geräte abgedeckt werden kann. Sie sind dann nicht nur „Stromzähler“ und Datenlieferanten nach außen, sondern bedienen u.U. auch Informationsschnittstellen im Haus und versorgen ggf. sogar alle elektrischen Geräte im Haus mit aktuellen und zukünftigen Preisinformationen. Dies alles – so zukunftsicher es auch klingt – möchte ich als „herkömmliche“ Smart Meters bezeichnen.

Bei der Übermittlung und Auswertung der Messwerte hat sich die Zahl von 96 Datensätzen pro Tag, also ein Datensatz je Viertelstunde, schon als Standard herauskristallisiert. Dieser Standard kann auch bei zukünftigen Tarifen, bei denen der Strompreis während einer Viertelstunde variieren kann, beibehalten werden – als Grundlage für die Bildung eines einzigen Datensatzes je Viertelstunde benötigt das Smart Meter dann alle Preise und ihre zeitliche Zuordnung. Dieser Viertelstundenrhythmus auf der Messeite wirft keine Probleme auf und wird hier nicht in Frage gestellt.

Ein Teilaspekt dieses Textes ist allerdings folgende Frage: Wird man diejenigen Smart Meters, die zu Beginn der flächendeckenden Einführung komplexer variabler Tarife bei den Kunden installiert werden, nach z.B. drei Jahren schon durch weiterentwickelte Smart Meters ersetzen müssen? Im schlimmsten Fall wären Letztere dann noch gar nicht verfügbar – nämlich dann, wenn erst durch die tatsächliche Überbeanspruchung der Primärregelung (s.u. 2.3) deutlich würde, dass variable Tarife mit Viertelstundengrenze (s.u. 1.2) keine dauerhafte Zukunft haben.

Damit sind wir schon mitten drin in der Problemlage, die eigentlich erst weiter unten erarbeitet wird. Aber spinnen wir den Faden mal weiter: Was wäre so verkehrt an der Erwartung, dass man jedes Smart Meter einfach durch Einspielen einer neuen Firmware an jede nötige Veränderung anpassen kann? Also z.B. auch an eine quasi-kontinuierliche Preisbildung?

Ohne ins Detail zu gehen: Bei einem Konzept mit kontinuierlicher Veränderung des Strompreises und ggf. fortlaufender Strompreis-Prognose müssen – was das Smart Meter als Kommunikationszentrale des Hauses betrifft – mehr einheitliche Festlegungen getrof-

fen werden als bei Intervallen mit jeweils konstantem Strompreis. Auch Hardware-bezogene Besonderheiten, die nicht durch ein Firmware-Update zu lösen wären, sind dabei zu berücksichtigen. Wer das bezweifelt, sollte sicherheitshalber ein Konzept mit quasi-kontinuierlicher Preisbildung und ggf. Preisprognose auf solche Besonderheiten hin durchforsten.

Wer nichtsdestotrotz ohne gründliche Prüfung einfach davon ausgeht, dass sich vorhandene Smart Meters unterschiedlichster Hersteller schon an ein System mit kontinuierlicher Preisanpassung und ggf. Preisprognose anpassen lassen werden, überlässt Zukunftssicherheit dem Zufall. Dieses Vorgehen wäre beispiellos in der Geschichte der Stromversorgung. Allerdings sind auch die unten beschriebenen Umwälzungen durch automatische Reaktionen von Verbrauchsseite beispiellos. In der Hinsicht, dass erstmalig in der Geschichte der Stromversorgung den Versorgern eine Entwicklung „von außen aufgezwungen“ werden wird, auf die es keine allmählichen Reaktionsmöglichkeiten gibt (wie z.B. bei der Einspeisung erneuerbarer Energien).

Herkömmliche Smart Meters, wie sie heute und in den nächsten Jahren entwickelt und gebaut werden, sollten also nur so lange im großen Stil beschafft werden, wie sicher genug ist, dass komplexe variable Tarife noch z.B. mindestens fünf Jahre auf sich warten lassen werden.

Dies alles natürlich unter der Voraussetzung, dass die in den folgenden Abschnitten geschilderte Problemlage tatsächlich im Kern zutrifft. Dass das plausibel ist, wird in mehreren Schritten sowohl qualitativ als auch überschlägig quantitativ belegt. Dies ist natürlich weit entfernt von einem wissenschaftlichen Nachweis. Aber konkret genug, um zumindest die für Millioneninvestitionen nötige Sicherheit erheblich zu erschüttern.

## 1.2 Gute Gründe für die Viertelstundengrenze

Eins haben alle komplexen variablen Tarife gemeinsam, über deren greifbare Einführung diskutiert wird: Als Zeitpunkte für Preiswechsel werden volle Viertelstunden vorgesehen.

Das hat sehr gute Gründe:

1. Die Einplanung von Kraftwerkskapazitäten und der Handel an der Strombörse findet ebenfalls im Viertelstundenrhythmus statt. Ein Großteil der Tarifmodelle mit Real-Time-Pricing orientiert sich hauptsächlich am EEX-Spotmarkt.
2. Ein komplexer variabler Tarif mit z.B. 6...20 Preisänderungen pro Tag lässt sich gut tabellarisch darstellen, also wie in einem Preisblatt. Dabei werden Zeiten mit :00, :15, :30 oder :45 von den Kunden noch als „runde“ Zeiten empfunden, die man sich gut einprägen kann.

Ebenfalls sehr gut möglich ist eine grafische Darstellung des Preisverlaufs je Tag, solange die Preissprünge auf vollen Viertelstunden liegen. 96 Viertelstunden pro Tag kann man am Bildschirm recht gut überblicken und sich z.B. die teuersten Zeitabschnitte einprägen.

Bei solchen Tarifen kann sich also im Idealfall jeder Kunde aussuchen, ob er täglich die tabellarische oder die grafische Darstellung nutzt, um sich mit dem Preisverlauf zu befassen.

- Tarife, bei denen Preisveränderungen zu irgendwelchen Zeitpunkten, also nicht genau auf der Viertelstundengrenze, stattfinden, sind in diesem Punkt besonders nachteilig: Eine grafische Darstellung kann hier höchstens „nettes Beiwerk“ sein; das Studieren der tabellarischen Darstellung ist unerlässlich. Dabei werden die allermeisten Menschen Probleme haben, sich vier oder mehr „krumme“ Zeiten wie 11:27 – 13:41, 16:52 – 19:03 länger als eine Minute zu merken.
  - Tarife mit (quasi-) kontinuierlichen Preisverläufen lassen sich nicht mehr tabellarisch, sondern nur noch grafisch darstellen. Dies allerdings sehr gut, denn mit einem längeren Blick kann man sich die teuersten Zeiten einprägen. Hierbei kommt es nicht darauf an, bestimmte Zeiten genau zu treffen, denn die Veränderungen gehen ja ganz sanft vonstatten.
3. Wenn sicher ist, dass es im Laufe einer Viertelstunde keinen Preissprung gibt, kann das Last- und Kostenprofil auf Kundenseite mit 96 Datensätzen pro Tag erfasst werden. Diese Datenmenge lässt sich mit vertretbarem Einsatz an Ressourcen übertragen, speichern und abrechnen. Ein aus 96 Zeitabschnitten bestehendes Tages-Lastprofil lässt sich am Bildschirm gerade noch gut darstellen.
- Diesen Vorteil haben allerdings auch andere Tarifmodelle, z.B. bei (quasi-) kontinuierlicher Preisveränderung. Auch dort gibt es im Laufe einer Viertelstunde keine Preis-Sprünge – sondern i.d.R. sanfte Veränderungen. Die im Smart Meter erfassten Daten je Viertelstunde können in einem einzigen Datensatz zusammengefasst werden (siehe auch 4.3.5 im Buch/pdf).
  - Nur bei Preismodellen, die während des Verlaufs einer Viertelstunde einen Preissprung machen, werden 96 Datensätze pro Tag i.d.R. nicht ausreichen, denn der Kunde möchte natürlich wissen, wie viel Arbeit/Kosten während des teureren/billigeren Teils der Viertelstunde angefallen sind.

Diese drei Punkte mit ihren zusätzlichen Erläuterungen werden weiter unten im Text bei der Bewertung der Lösungsansätze in Kap. 3 immer wieder eine (Neben-) Rolle spielen.

Zusammengefasst kann man feststellen, dass die Viertelstundengrenze für Preisveränderungen sich aus Gründen der Einfachheit anbietet; alle anderen (kürzeren) Zeitbezüge wären in der Realisierung mit mehr Aufwand und mit Nachteilen verbunden.

### 1.3 Automatische Reaktionen sind sinnvoll

Variable Strompreise verfolgen auf wirtschaftlichem Wege ein technisches Ziel: Bei zukünftig (durch fortschreitenden Ausbau von Windkraft und Photovoltaik) immer stärker schwankendem Angebot soll sich die Strom-Nachfrage möglichst stark anpassen. Dadurch werden Schattenkraftwerks-Leistungen minimiert (siehe 2.2.1 im Buch/pdf), und bei Bedarf kann die Nachfrage so gesteigert werden, dass sie auch zu einem eigentlich zu hohen momentanen Strom-Angebot passt.

In der ersten Zeit nach Einführung solcher Tarife wird (zumindest im Privatbereich) der Schwerpunkt auf manuellen Reaktionen der Stromkunden liegen. D.h. sie informieren sich immer wieder über die vorgesehenen Preisbewegungen und versuchen, ihren Geräteeinsatz zeitlich so zu legen, dass sie zu teuren Zeiten möglichst wenig Strom verbrauchen.

Je stärker die Tarife variieren, desto zeitintensiver und lästiger wird diese tägliche Aufgabe, die sich eigentlich niemand gewünscht hat. Die schwankenden Preise einfach zu ignorieren, werden sich die wenigsten Stromkunden auf Dauer leisten können.

Die Lösung liegt in automatischen Reaktionen von Geräten, so wie sie für größere Anlagen auf Seiten gewerblicher Stromkunden schon sehr bald nach Einführung solcher Tarife gang und gäbe sein werden. Die für eine automatisierte Steuerung von Haushalts- und gewerblichen Geräten nötigen Techniken gibt es schon (z.B. digitalSTROM<sup>3</sup>), und die Kosten hierfür werden im Vergleich zum Nutzen vernachlässigbar sein.

Grundsätzlich sind automatische Reaktionen auch aus technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Gründen sinnvoll, denn je stärker die Reaktion auf eine Preisveränderung ist, desto weniger gezielte Leistungsvariation ist auf der Erzeugungsseite nötig, um z.B. eine Nachfragespitze abzudecken.

## 1.4 Automatische Reaktionen sind unvermeidlich

Nun möchte ich **ein kleines Gedankenpiel** machen: Nehmen wir einmal an, alle Stromversorger hätten ein massives Interesse daran, dass möglichst wenig automatische Reaktionen von Geräten stattfinden – warum auch immer.

Dann würde jeder Stromversorger dafür sorgen, dass es bei den Methoden, mit denen er seinen Preisverlauf an die Kunden kommuniziert, möglichst wenig Übereinstimmung zu den Formaten der anderen Stromversorger gibt. Jeder Versorger würde z.B. seine Webseiten etwas anders aufbauen und im Extremfall alle paar Wochen wieder in einem neuen Format präsentieren. Das klingt verrückt, aber bleiben wir mal bei unserer Annahme.

Je komplexer die Tarife werden, desto stärker wird aber auf Seiten der Privatkunden der Wunsch nach automatisierten Lösungen sein – denn sie wollen nicht mehr -zig Minuten pro Tag mit der Steuerung ihres Verbrauchs zubringen. So wird sich zwangsläufig selbst in kleinsten Versorgungsgebieten irgendein Dienstleister etablieren, der aus dem kommunizierten Preisverlauf immer wieder Datensätze in standardisiertem Format erzeugt. Diese lassen sich an einer Stelle einspeisen, die diese Informationen in geeigneter Weise bis in die Haushalte und zu den Geräten transportiert. Die Datenübertragung für diese Zwecke wiederum kann europaweit einheitlich oder mit sehr wenigen unterschiedlichen Verfahren erfolgen, so dass es für die Hersteller von Elektrogeräten kein Problem darstellt, den gesamten Markt mit Geräten zu versorgen, die automatisch auf sich ändernde Strompreise reagieren.

Bei neu entwickelten Elektrogeräten könnte die „Preisintelligenz“ gleich eingebaut werden. Bei langlebigen Altgeräten („weiße Ware“) lässt sich die automatische Reaktion auf die Preisinformation mit intelligenten Zwischensteckdosen fast genauso effektiv realisieren wie bei neuen Geräten. Ebenfalls denkbar ist eine zentrale Steuerung je Kundenanschluss, bei der statt der Preisinformationen die Schaltinformationen über die Stromleitungen im Haus übertragen werden.

*Nicht dass das alles nur Zukunftsmusik wäre. Schon länger wird an der automatischen preisabhängigen Steuerung von Geräten und Anlagen in Haushalt und Kleingewerbe gearbeitet.<sup>4</sup> Und auch große Versorger stellen die Weichen für variable Tarife mit automati-*

*schen Reaktionen von Verbrauchsseite.*<sup>5</sup>

Unser Gedankenspiel mit seiner extremen Annahme bringt uns somit zu folgendem Ergebnis: **Egal wie die Haltung der Stromversorger zu automatischen Reaktionen von Geräten und Anlagen auf Verbrauchsseite ist, ist es nur eine Frage der Zeit, bis potenziell alle in Frage kommenden Geräte automatisch reagieren.**

Aufgrund der geschilderten Not der privaten Stromkunden dürften nach der Einführung komplexer Tarife eher nur Monate statt Jahre vergehen, bis mehr und mehr Geräte automatisch reagieren. Nach Ablauf einzelner weniger Jahre kann man davon ausgehen, dass deutlich mehr als die Hälfte aller in Frage kommenden Geräte automatisch reagiert.

## **2 Lastsprünge an der Viertelstundengrenze**

Unser Gedankenspiel hat einen realen Hintergrund: Es gibt tatsächlich massive Gründe, warum die Stromversorger sich mit allen Mitteln gegen automatische Reaktionen von Geräten wehren sollten – wenn es denn Sinn hätte.

Dem einzelnen regionalen Versorger, der alle Dienstleistungen der Regelzone bzw. des Verbundnetzes in Anspruch nimmt, können automatische Reaktionen von Verbrauchsseite sogar egal sein. Aber bei den für die Bereitstellung von Regelleistung Verantwortlichen dürften bei dem Gedanken alle Alarmglocken klingeln. Zumindest dann wenn es um geballte Reaktionen an der Viertelstundengrenze und nicht um gestreute Reaktionen auf einen sich kontinuierlich verändernden Preis geht.

Allen variablen Tarifen grundsätzlich gemeinsam ist allerdings der wünschenswerte Effekt, dass sich die Strom-Nachfrage in mehr oder weniger starkem Maße anpasst an das schwankende Angebot. Für die bisher üblichen Tarife mit konstantem Strompreis gibt es bei zunehmendem Ausbau fluktuierender Erzeugung kein Existenzrecht mehr. Deshalb führen immer stärker variable Tarife und Smart Metering genau in die richtige Richtung. Es wäre fatal, diesen Fortschritt zu diskreditieren oder aufzuhalten.

Was ist nun so problematisch an der Viertelstundengrenze, die komplexe variable Tarife mit ihren Preisveränderungen einhalten? Das wollen wir Schritt für Schritt erarbeiten.

### **2.1 Korrelierte Preisverläufe**

Hätte jeder regionale oder netzweit agierende Stromversorger seine eigenen Ausgangsgrößen, aus denen er seinen Preisverlauf berechnet, und gäbe es zwischen den Ausgangsgrößen unterschiedlicher Versorger kaum Korrelationen, dann könnte man davon ausgehen, dass sich alle zur vollen Viertelstunde stattfindenden Lastwechsel meist recht gut ausgleichen. Jeder Versorger bräuchte nur seinen eigenen Preisverlauf und seine eigenen Lastprognosen im Blick zu haben und bräuchte sich um Lastsprünge kaum Gedanken machen.

Leider muss man jedoch davon ausgehen, dass die meisten Versorger ihre Preisverläufe anhand derselben Ausgangsgrößen berechnen – zuvorderst der Preisverlauf am EEX-Spotmarkt. Wo bei einzelnen Versorgern andere Größen einen starken Einfluss haben, muss man dennoch von einer starken Korrelation zum Preisverlauf anderer Versorger ausgehen.

Nicht unbedingt bzgl. der absoluten Höhe der Preise, sondern bzgl. ihrer Bewegungsrichtung.

Es dürfte im ganzen europäischen Verbundnetz kaum einen Versorger geben, bei dem an einem Werktag um 11:15 Uhr MEZ/MESZ der Preis absinkt. Und kaum einen, bei dem um 22:45 Uhr der Preis ansteigt.

Trotzdem kann noch jeder Versorger seine Lastprognosen machen, und die werden meist ungefähr zutreffen. Je mehr automatische Reaktionen es gibt, desto weniger stark müssen die Preise variiert werden, um die gleiche Lastveränderung zu erreichen. So weit, so gut. Aber was ist mit den Zeitpunkten der Lastwechsel?

Wenn es für die Schaltzeitpunkte bei den automatischen Reaktionen von Geräten auf Preissprünge keinerlei Vorgaben gibt, muss man davon ausgehen, dass bei steigendem Preis genau zur vollen Viertelstunde viele oder sehr viele Geräte ihren Stromverbrauch verringern werden, z.B. Kühl-/Gefriergeräte. Entsprechend muss man damit rechnen, dass bei fallendem Preis viele Geräte ihren Stromverbrauch erhöhen – in dem Moment, in dem der Preis fällt, also genau zur vollen Viertelstunde. Dazu unten mehr.

Aus den Überlegungen bis hierher kristallisiert sich noch kein greifbares Problem heraus. Für den Ausgleich von Lastwechseln gibt es doch die Primär- und Sekundärregelung – und außerdem möchte man ja durch einen fallenden Preis gerade zusätzlichen Stromverbrauch anziehen – es wäre also verkehrt, wenn daraufhin kein starker Lastwechsel käme ... oder?

## 2.2 Lastsprünge allein schon durch Kühl-/Gefriergeräte

Für die folgenden Überlegungen wollen wir nur eine Art von Stromverbrauchern betrachten: Kühl- und Gefriergeräte und -anlagen im privaten und gewerblichen Bereich. Außerdem wollen wir bzgl. ihres Lastverhaltens nur Deutschland betrachten. Das Ergebnis vorweg: Es ist sehr plausibel, dass es allein durch Kühl-/Gefriergeräte mehrmals pro Woche Lastsprünge gibt, die den deutschen Anteil an der Primärregelreserve (gut 700 MW\*) um ein Vielfaches übertreffen. Wenn Entsprechendes in den anderen Ländern des Verbundnetzes passiert, würde allein durch diese Geräte die Primärregelung regelmäßig in die Knie gezwungen.

Natürlich wird jede/r, die/der sich bislang mit variablen Tarifen und Smart Metering beschäftigt hat, einer solchen Einschätzung nur dann zustimmen, wenn in den folgenden Überlegungen alle Bedenken und Lösungsansätze berücksichtigt werden. Es wird also recht umfangreich ...

Wie wird die Steuerung für ein Kühl-/Gefriergerät ausgelegt, das seine Arbeit rund um die Uhr zu niedrigstmöglichen Stromkosten (Aufsummierung von: el. Arbeit \* Arbeitspreis je Viertelstunde) erledigen soll?

Eins vorweg: Verglichen mit einem ansonsten baugleichen Gerät, das auf herkömmliche Weise in relativ gleichmäßigem Rhythmus kühlt, wird solch ein Gerät ein paar Prozent mehr elektrische Arbeit leisten, s.u. *Diese Tatsache dürfte jedoch – egal ob nach Ressourcen-, Klima- oder Umweltgesichtspunkten – kaum negativ zu werten sein. Denn durch automatische Reaktionen auf Preisveränderungen werden Strom-Überangebote (z.B. bei star-*

\* Siehe Hinweis auf Seite 2, letzter Absatz.

*kem Wind) besser ausgenutzt und Strom-Engpässe abgeschwächt. Somit wird eine stark auf fluktuierender erneuerbarer Erzeugung basierende Stromversorgung gefördert.*

Die herkömmliche Steuerung eines Kühlgeräts ist so ausgelegt, dass die Innentemperatur immer innerhalb eines relativ engen Bandes gehalten wird. Eine ständige Verbreiterung dieses Bandes nach oben würde zu ständig wiederkehrenden wärmeren Temperaturen führen, die für das Kühlgut schädlich wären. Eine ständige Verbreiterung dieses Bandes nach unten ergäbe einen unnötig hohen Stromverbrauch.

Ganz anders ist eine nicht-ständige Verbreiterung des Temperatur-Bandes zu bewerten, die nur mit kleinen Zeitanteilen zum Einsatz kommt. Eine seltene und kurzfristige Verbreiterung des Bandes nach oben schadet dem Kühlgut nicht nennenswert – das kann in Relation zur Durchschnittstemperatur quantifiziert werden. Eine beliebig häufige Verbreiterung des Bandes nach unten führt zu einem erhöhten Durchschnitts-Stromverbrauch – natürlich nur in Zeiten, in denen sich das aufgrund deutlich niedrigeren Preises auch lohnt.

Beispielhaft greifen wir uns zunächst nur die Kühlschränke heraus, und zwar Geräte heutiger Machart, die allerdings mit einer für zukünftige Bedingungen optimierten Steuerung ausgestattet werden. Wie sich die Ergebnisse verändern, wenn man Kühlschränke und Gefriergeräte zukünftiger Machart einbezieht, soll anschließend separat betrachtet werden.

Im Folgenden wollen wir die Zeit zwischen zwei Preisminima (z.B. vor Mittag bis nach Mittag) betrachten. Ausgangspunkt ist eine Zeit (eine oder mehrere Viertelstunden), in der der Preis niedriger ist als vorher und nachher, also ein Minimum. Endpunkt ist ebenfalls ein Preisminimum. Eine Vereinfachung sei erlaubt: Das zweite Minimum soll preislich exakt gleich niedrig liegen wie das Anfangs-Minimum. *Wenn die Realität anders ist, ändert das nichts (qualitativ) bzw. wenig (quantitativ) an den folgenden Überlegungen; manches lässt sich dann nur nicht mehr so schön einfach formulieren.*

Bezüglich des Schaltverhaltens der Geräte muss unterschieden werden:

- Manche (besonders gut isolierte und mit Kühlgut gefüllte) Geräte werden in der Lage sein, während aller höheren Preise zwischen den beiden Minima ohne Kühlleistung auszukommen. Solche Geräte werden sich exakt mit Beginn des ersten höheren Preises abschalten und exakt mit Beginn des nächsten Preisminimums wieder einschalten, um ihrem Kühlgut bei niedrigsten Stromkosten optimale Bedingungen zu bieten.
- Viele Geräte werden nicht die ganze Zeit zwischen zwei Preisminima auf Leistung verzichten können. Sie werden sich bei den beiden Preisminima genauso verhalten wie im vorigen Punkt beschrieben. Allerdings wird die Steuerung dieser Geräte dafür sorgen, dass sie sich nach Verlassen des Ausgangs-Preisminimums beim nächstteureren Preis noch einmal einschalten, natürlich nur so lange wie unbedingt nötig und so spät wie möglich. Entsprechend ist es bei Annäherung an das zweite Preisminimum. Hier werden diese Geräte sofort bei Erreichen des im Vergleich zum Minimum nächstteureren Preises einschalten, aber nur so lange wie nötig laufen, damit das Preisminimum bei der höchsten erlaubten Innentemperatur erreicht wird.

Dieses gezielte kurze Einschalten vor Beginn bzw. nach Ende eines höheren Preises wird sich ggf. auch bei mehreren gestaffelten Preissprüngen nacheinander abspielen, bei Geräten, die bei weitem nicht die Zeit zwischen zwei Preisminima ohne Leistung überbrücken können.

**Jeder solche Ausschaltvorgang wird am Beginn einer teureren Viertelstunde stattfinden, und jeder solche Einschaltvorgang am Beginn einer billigeren Viertelstunde.** Nur so wird das Kühlgut bei niedrigstmöglichen Stromkosten (den Umständen entsprechend) optimal gekühlt.

Eine Besonderheit gibt es noch: Wenn die Preisminima sehr kurz sind, also z.B. nur eine einzige Viertelstunde dauern, werden manche Geräte über die volle Viertelstunde hinaus auch beim nächstteureren Preis noch durchgängig Leistung ziehen; bei einer weiteren Steigerung des Preises werden sie aber genau im Moment des Wechsels (vorübergehend) abschalten, also wiederum am Beginn einer teureren Viertelstunde.

*Bei Aussagen zum Schaltverhalten von Kühl-/Gefriergeräten muss natürlich berücksichtigt werden, dass sie – je nach Bauart – ggf. zwischen Aus- und Wiedereinschalten eine Mindest-Ausschaltzeit einhalten müssen, die allerdings i.d.R. nur einen Bruchteil einer Viertelstunde ausmacht. Hierdurch ändern sich die Aussagen in diesem Text nicht.*

Bei einem Tarifmodell, das sich direkt oder indirekt an Leistungsangebot und -nachfrage orientiert, gibt es an jedem Tag 2 – 3 Preismaxima (Morgen, Mittag, Spätnachmittag/Abend) und entsprechend 2 – 3 Preisminima (vor Mittag, nach Mittag, Nacht) – wenn man stärkere Schwankungen der fluktuierenden Einspeisung einmal außer Betracht lässt.

Die obigen Überlegungen gehen davon aus, dass Kühlschränke jedes dieser Preisminima ausnutzen müssen, um ihre Aufgabe einwandfrei zu erfüllen. Da ein nächtliches Preisminimum i.d.R. tiefer ist als die anderen, besteht jedoch für die Gerätehersteller ein Anreiz, Geräte zu entwickeln, die tagsüber ganz oder fast ganz ohne Kühlleistung auskommen, sich also in erster Linie auf das nächtliche Preisminimum fokussieren.

Bezieht man nicht nur Kühlschränke, sondern auch Gefriergeräte in die Überlegungen ein, dann sollte man die Möglichkeit einkalkulieren, dass es zukünftig nennenswerte Anteile von Geräten geben könnte, die nicht einmal mehr jede Nacht Kühlleistung benötigen, sondern sich die billigsten Nächte der Woche aussuchen können.

Unser Interesse richtet sich nun auf diejenigen Situationen, in denen die größte Zusammenballung gleichgerichteter Schaltvorgänge bei Kühl-/Gefriergeräten und -anlagen stattfindet. Wenn alle denkbaren Arten von Geräten mit nennenswerten Anteilen vertreten sind, wird es um ein nächtliches Preisminimum herum stärkere Zusammenballungen von Schaltvorgängen geben als um die Preisminima tagsüber. Am stärksten werden die Zusammenballungen aber um besonders niedrige (nächtliche) Preisminima herum auftreten, die es nur einzelne wenige Male pro Woche gibt.

Auf der Basis aller Überlegungen bis hierher lassen sich zusammenfassend folgende Aussagen treffen:

**Nach einem länger dauernden besonders niedrigen Preisminimum ist damit zu rechnen, dass (vorsichtig formuliert) weit mehr als die Hälfte aller Kühl-/Gefriergeräte exakt zur vollen Viertelstunde abschaltet, sobald der nächsthöhere Preis wirksam wird.**

**Nach einem kurz dauernden besonders niedrigen Preisminimum wird man das Gleiche i.d.R. über die volle Viertelstunde sagen können, zu der der nächsthöhere Preis endet.**

**Entsprechendes gilt umgekehrt für das gleichzeitige Einschalten der Geräte bei der**

### **Annäherung an ein besonders niedriges Preisminimum.**

Die stärksten negativen und positiven Lastwechsel werden mehrmals pro Woche auftreten. Daneben sind mehrmals täglich weitere Lastwechsel von etwas geringerer Stärke zu erwarten, die sich jedoch ebenfalls massiv auswirken können.

Dies alles bezieht sich zunächst nur auf Kühl- und Gefriergeräte.

## **2.3 Unschöne Zahlen**

Soweit die qualitativen Aussagen. Nun geht es um die absolute Stärke der zu erwartenden Lastwechsel.

Wir überschlagen: Wenn bei ca. 40 Millionen Haushalten in Deutschland jeder im Schnitt nur ein einziges Kühl- oder Gefriergerät mit einer Leistung von durchschnittlich nur 80 W hätte, wäre das eine Gesamtleistung von 3,2 GW. Wenn man für alle im gewerblichen Bereich am Stromnetz betriebenen Kühl- und Gefriergeräte und -räume eine Gesamtleistung von nur 1,8 GW ansetzt, ist das sicher nicht übertrieben. Somit kann man von einer Gesamtleistung von 5 GW ausgehen.

Nach der Einführung komplexer variabler Tarife dürfte es nicht allzu viele Jahre dauern, bis nahezu alle solchen Geräte automatisch auf den Preis reagieren; bei Altgeräten ggf. über intelligente Zwischensteckdosen. Denn durch die enormen Stromkostensparnisse besteht ein hoher Anreiz dazu, sie nicht einfach weiterlaufen zu lassen wie bisher.

Da man aus den obigen Schilderungen nicht mit letzter Sicherheit sagen kann, wie nahe an 100 % der Anteil der Geräte ist, der zur selben vollen Viertelstunde vor oder nach einem besonders niedrigen Preisminimum schaltet, sind wir mit folgender Aussage wohl auf der sicheren Seite:

**Mehrmals pro Woche muss damit gerechnet werden, dass mindestens 60 % der deutschen Kühl- und Gefriergeräte gleichzeitig in dieselbe Richtung (ein bzw. aus) schalten. Dies ergibt schlagartige Gesamt-Lastwechsel von 3...5 GW allein in Deutschland. Hierdurch würde allein von Deutschland aus und allein durch Kühl- und Gefriergeräte die Verbundnetz-weite Primärregelung (Auslegungsgrenze zu UCTE-Zeiten\*: 3 GW) in die Knie gezwungen.**

## **2.4 Weitere automatische Reaktionen**

Wer bei obiger Aussage Vorbehalte hat, weil er vielleicht etwas anders gerechnet hätte, sollte sich klar machen:

- Wenn man Verbundnetz-weit alle Kühl- und Gefriergeräte in die Rechnung einbezüge, ergäben sich (Basis: UCTE\*) ca. 4x so große Zahlen.
- Auch bei vielen anderen Geräten bestünde die Tendenz, genau beim Wechsel zu einem günstigeren Preis ein- bzw. genau beim Wechsel zu einem teureren Preis auszuschalten, z.B. bei
  - ◆ elektrischen Warmwasserbereitern mit Vorratsspeicher,
  - ◆ elektrischen Speicherheizungen,
  - ◆ Elektroautos,

---

\* Siehe Hinweis auf Seite 2, letzter Absatz.

- ♦ generell allen Anwendungen, die nur „irgendwann fertig werden“ sollen, z.B. Brennöfen.

Alle diese Geräte haben im Gegensatz zu Kühl- und Gefriergeräten eine Nennleistung von mehreren kW, so dass durch ihr gleichzeitiges Schalten ein vielfach stärkerer Lastwechsel hervorgerufen werden könnte. In der Zeit, in der variable Stromtarife sich durchsetzen und zunehmend komplexer werden, dürfte die Zahl der Elektroautos massiv zunehmen.

Wenn nur jeder 50. der 450 Mio. Einwohner des UCTE-Gebiets\* ein 2-kW-Gerät hat, das gleichzeitig mit allen anderen schaltet, dann ergibt sich ein Lastsprung von 18 GW. Das entspricht nur 20 solchen Geräten in einem Ort mit 1000 Einwohnern. Es ist leicht vorstellbar, dass ein Vielfaches davon tatsächlich betrieben wird.

- Viele größere Stromverbraucher im gewerblichen Bereich und viele weitere Neugeräte werden ja innerhalb recht kurzer Zeit auch die Fähigkeit haben, durch Berücksichtigung des Strompreises Kosten zu sparen. Dies betrifft z.B. Klimaanlage, Beleuchtungsanlagen, Wäschetrockner, Backöfen, Kaffeemaschinen, Wärmeplatten, Heizlüfter, ... (siehe 2.3.2 im Buch/pdf). Die Strategien, mit denen sie Kosten sparen, dürften vielfach ähnlich sein, so dass bei jedem Preiswechsel zur vollen Viertelstunde ein gewisser Teil von ihnen schaltet. Dass dies in nennenswertem Maß auch zeitgleich mit den durch Kühl- und Gefriergeräte verursachten Lastsprüngen passieren wird, ist offensichtlich.

Die genannten Stromverbraucher sind zum Glück nicht immer alle in Betrieb, aber die Gesamt-Nennleistung der in Europa zu einem beliebigen Moment tagsüber oder abends in Betrieb befindlichen Geräte und Anlagen beträgt immer etliche -zig GW. Sie könnten dazu beitragen, dass maximale Lastsprünge doch auch um Tagsüber-Preisminima herum stattfinden. Um die nächtlichen Preisminima herum – bei niedrigerer Gesamtleistung – bewirken ihre Schaltvorgänge eine weitere Verstärkung der zu erwartenden größten Lastsprünge.

- Ein Thema soll in diesem ganzen Text in Hinblick auf die Viertelstundengrenze ausgeklammert bleiben, wäre aber bei einer Gesamtlösung unbedingt zu berücksichtigen (im Buch: 3.2.6):

Es geht um die Nutzung des billigsten Nachtstroms durch Waschmaschinen, Geschirrspülmaschinen usw. Egal ob man den Strompreis nachts über 4..6 Stunden konstant niedrig hält oder ob die billigste Zeit deutlich kürzer ist: Wer will die Stromkunden daran hindern, dass alle ihre Geräte exakt mit Beginn der billigsten Zeit einschalten und dann zunächst überwiegend mit ihrer Nennleistung von z.B. 2 kW laufen? Wenn man davon ausgeht, dass in den billigsten Nächten eines dieser Geräte je 4 Einwohner läuft, ergäbe das allein in Deutschland schon einen Gesamt-Lastsprung von ca. 40 GW.

Für dieses Thema gäbe es (bei Beibehaltung der Viertelstundengrenze) Lösungsansätze, die z.T. Ähnlichkeit mit den unten behandelten hätten. Sie sollen hier nicht diskutiert werden; es soll nur das Bewusstsein geweckt werden, dass es dieses Thema auch noch gibt.

- Selbst wenn man durch vielerlei Maßnahmen erreichen könnte, dass alle in Europa gleichzeitig schaltenden Geräte zusammen maximale Lastsprünge von „nur“ 1...2 GW verursachen würden, müsste man sich sagen lassen, dass die Primärregelung für solche

---

\* Siehe Hinweis auf Seite 2, letzter Absatz.

„geplanten“ sprunghaften Lastwechsel nicht gedacht ist. Bei geplanten Lastwechseln auf Erzeugungsseite werden maximale Leistungsänderungsgeschwindigkeiten bzw. „Rampen“ eingehalten. Die Auslegungsgrenze der Primärregelung wurde anhand der Wahrscheinlichkeit aller ungeplanten Lastwechsel (z.B. durch Ausfall von Netzeinrichtungen) festgelegt, und diese können ja theoretisch auch genau zur vollen Viertelstunde eintreten. Man wird sogar für den Moment der Beanspruchung von Netzeinrichtungen durch netzweite schlagartige Lastwechsel eine deutlich erhöhte Wahrscheinlichkeit des Ausfalls von Netzeinrichtungen ansetzen müssen.

Die Auslegung der Primärregelung müsste also selbst dann neu ermittelt (d.h. erhöht) werden, wenn man es schaffen würde, die Viertelstunden-Lastwechsel europaweit auf utopisch „niedrige“ 1...2 GW zu begrenzen. Diese Aussage gilt genauso, wenn kurz nach Beginn der Verbreitung automatischer Reaktionen von Geräten (z.B. im gewerblichen Bereich) die schlagartigen Lastwechsel noch nicht über 3 GW\* hinaus gehen.

Mit anderen Worten: Variable Tarife, die automatische Reaktionen von Geräten provozieren, dürfen erst eingeführt werden, wenn es einen hierzu passenden Plan für die Aufstockung der verbundnetzweiten Primärregelreserve gibt. Dass es hierfür irgendein Konzept mit bezahlbarem Gesamtaufwand geben kann, ist schwerlich vorstellbar.

Obwohl ich mich bemüht habe, keine extremen Annahmen zu treffen, wird sich kaum vermeiden lassen, dass manche Leser meine Darstellungen als „aufgebauscht“ bezeichnen. Sie werden also andere Annahmen für realistisch halten. Die Frage ist jedoch: Ändert sich mit dem, was sie für realistisch halten, wirklich qualitativ etwas an der Problemlage?

### 3 Lösungsansätze

Wer den Ausführungen bis hierhin (überwiegend) zustimmen kann, wird völlig zu Recht darauf verweisen, dass dadurch ja nur ein Problem aufgezeigt wurde. Jedes Problem sollte aber erst einmal für lösbar gehalten werden, und das wollen wir auch hier tun.

Für das Folgende müssen wir eine Annahme treffen: Wie groß mag der mehrmals wöchentlich zu erwartende stärkste Leistungssprung zu einer vollen Viertelstunde sein, der durch alle bisher erwähnten Arten von Geräten und Anlagen bei vollständig automatischer Reaktion verursacht würde? Bezogen auf das bisherige UCTE-Gebiet\* mit einer Primärregelreserve von 3 GW wollen wir anhand der oben in 2.4 genannten Zahlen einen Leistungssprung von 30 GW ansetzen. *Wenn man alle Annahmen in die jeweils passende Richtung dreht, könnte man hier auch auf einen kleineren Wert von z.B. 20 GW kommen, aber es wären genauso gut auch 50 GW und mehr denkbar.*

Diese 30 GW werden uns im Folgenden immer wieder begegnen.

Es sind einige Lösungsansätze denkbar, um das oben geschilderte Problem zu entschärfen und eine Überbeanspruchung der Primärregelung zu vermeiden.

Die Lösungsansätze wurden bewusst in eine Reihenfolge gebracht: Die ersten beiden versuchen die Viertelstundengrenze ohne Wenn und Aber beizubehalten. Der dritte hält zwar

---

\* Siehe Hinweis auf Seite 2, letzter Absatz.

pro forma die Viertelstunde hoch, macht sich aber unabhängig von vollen Viertelstunden. Welche Herausforderungen/Schwierigkeiten entstehen, wenn man versucht, mit kürzeren Zeitabständen zu arbeiten, sieht man bei den übrigen drei Lösungsansätzen.

### 3.1 Lösungsansatz 1: Zufällige Variation des Schaltzeitpunkts

Um schlagartige Lastwechsel in der Größenordnung von (europaweit) -zig GW zu vermeiden, kann für die gesamte Verbrauchsseite eine zufällige Variation des Schaltzeitpunkts vorgegeben werden. Denkbar wäre z.B. eine Zeitspanne von  $-300\dots+300$  Sekunden, bezogen auf die volle Viertelstunde.

#### **Vorteile:**

Die Lastwechsel erfolgen nicht mehr schlagartig, sondern annähernd linear verteilt, so dass für die Primär- und Sekundärregelung genügend Zeit zum Reagieren bleibt.

Alle drei in 1.2 genannten Vorteile der Viertelstundengrenze bleiben erhalten, Punkt 3 allerdings mit Abstrichen.

#### **Nachteile:**

- Es kann so zwar keine schlagartigen Gesamt-Lastwechsel mehr geben, aber die Summe aller Lastwechsel in einem 10-Minuten-Zeitraum dürfte die gleiche Größenordnung haben wie die Leistungsänderung, die sonst schlagartig stattgefunden hätte. Wenn es also europaweit einen Lastwechsel von 30 GW zu einer vollen Viertelstunde gegeben hätte, dann verteilen sich diese 30 GW nun auf 10 Minuten. Lastveränderungen dieser Größenordnung können niemals erwünscht sein, sondern kommen – wie oben in 2.2 beschrieben – als Resultat der Kostenminimierungs-Strategien der Geräte zu Stande. Denn der Preis macht ja in großen zeitlichen Abständen Sprünge, anstatt sich ständig sanft anzupassen, wie es ideal wäre.  
Selbst wenn sich eine so starke Gesamt-Lastveränderung auf einen Zeitraum von 10 Minuten verteilt, sind Primär- und Sekundärregelung in diesen 10 Minuten und darüber hinaus vollauf damit beschäftigt, die nicht erwünschte Lastveränderung von z.B. 20 GW aufzufangen. Auch bei dieser Lösung muss die Auslegung der Primärregelung neu ermittelt werden; eine erhebliche Aufstockung der Gesamt-Primärregelreserve ist nicht zu vermeiden.
- Eine Gesamt-Zufallszeit von 10 Minuten wirkt sich massiv auf die preisabhängige Steuerung von Geräten aus. Um sicher zu sein, dass während einer teureren Zeit keine Leistung gezogen wird, müsste ein vorgesehene Einschalten auf 5 Minuten nach Beginn der billigeren Zeit bzw. ein vorgesehene Ausschalten auf 5 Minuten vor Ende der billigeren Zeit gelegt werden. Was bleibt dann noch von einer billigen Viertelstunde übrig?
- Wenn keine Strategien zur konsequenten Meidung teurerer Zeiten angewendet werden, findet ein erheblicher Anteil des Stromverbrauchs zu einem teureren Preis statt als eigentlich vorgesehen.
- Der Arbeitszustand von Kühl-, Gefrier- und anderen Geräten kann vom Stromkunden i.d.R. akustisch wahrgenommen werden. Gleichzeitig ist er über die billigsten Viertelstunden informiert und wird leicht feststellen können, dass sich sein Kühlschrank z.B. 4

Minuten vor Ende der teureren Zeit einschaltet, aber dann auch 4 Minuten vor Ende der billigsten Zeit schon wieder abschaltet. Auch durch kritische Medien werden die Kunden darüber informiert werden, dass die preisabhängige Steuerung aufgrund der Vorgaben keinesfalls ideal abläuft. Es wird einem kritischen Teil der Kunden kaum verständlich zu machen sein, warum die Geräte immer wieder schlechter sparen als es eigentlich möglich wäre.

Man muss nicht allzu schwarz malen, um vorauszusehen, dass es illegale Firmware-Updates für verbreitete Geräte und „besonders“ intelligente (und noch dazu deutlich billigere) Zwischensteckdosen ohne Zulassung geben wird, jeweils mit der Eigenschaft, dass die zufällige Variation fest auf 0 programmiert ist. Wenn auf diese Weise nur 10 % aller Geräte manipuliert wären, würden europaweit aus z.B. 30 GW Lastwechsel innerhalb von 10 Minuten schon mehr als 3 GW genau zur vollen Viertelstunde, und die Primärregelung wäre wieder am Anschlag.

Über die kundenseitigen Lastprofile könnten solche „Sünder“ zwar mit etwas Rechenintelligenz aufgespürt werden, aber das Verfolgen solcher Taten wäre eine sehr zweischneidige Angelegenheit, die immer wieder medienwirksam werden könnte. Zumindest dann, wenn die „Sünder“ zu Recht behaupten könnten, ohne Festhalten an der Viertelstundengrenze ließen sich die Preissteuerungen von Geräten viel kundenfreundlicher realisieren. „Ziviler Ungehorsam“ darf sich generell einer breiten Unterstützung erfreuen und ist in unserer Gesellschaft zumindest dort weit verbreitet, wo es ums eigene Geld geht.

## 3.2 Lösungsansatz 2: Ent-korrelierte Preisbewegungen

Die geschilderte Problemlage steht und fällt ja damit, dass die Preisbewegungen der unterschiedlichen Versorger im Verbundnetz stark bis sehr stark korrelieren. Dies betrifft, wie oben geschildert, nicht unbedingt die Preise selbst oder die Stärke der Preissprünge. Für das Auftreten enormer gleichzeitiger Lastsprünge reicht es aus, wenn die Bewegungsrichtung der Preise überwiegend gleich ist.

Der Lösungsansatz wäre somit, dafür zu sorgen, dass die Versorger gezielt Preissprünge in unterschiedliche Richtungen machen bzw. dass ein Teil der Versorger zu einer vollen Viertelstunde einen Preissprung macht und der andere Teil den Preis konstant lässt.

### **Vorteile:**

Bei verringerter Korrelation werden auch die resultierenden Lastsprünge geringer ausfallen. Bei sehr guter Qualität der Lastprognosen aller Versorger könnte man sogar erreichen, dass die Summe aller Lastwechsel genau die gewünschte Gesamt-Laständerung ergibt. Das lässt sich bei korrelierten Preissprüngen in manchen Situationen überhaupt nicht erreichen, s.o.

### **Nachteile:**

- Dieser Lösungsansatz steht und fällt mit der Exaktheit der Lastprognosen aller Versorger. Da es bei manchen Preissprüngen europaweit um -zig GW Lastwechsel geht, wird der resultierende Gesamt-Lastwechsel bei entgegengesetzten Preissprüngen z.B. aus der

Differenz 16 GW – 14 GW gebildet. Wenn sich hier auch nur einmal eine Abweichung der Prognosen um 10 % in die „falsche“ Richtung ergibt, ist sofort wieder die Primärregelung am Anschlag und darüber hinaus.

- Wenn unterschiedliche Versorger teilweise entgegengesetzte Preissprünge machen sollen, ergeben sich für die Kunden der einzelnen Versorger kuriose Preisverläufe mit häufigen großen Sprüngen hin und her. Wenn dem Kunden der Sinn der Preisverläufe nicht mehr zu vermitteln ist und die tägliche Beschäftigung damit nur noch Kopfschütteln hervorruft, dürfte die Akzeptanz solcher variablen Tarife ins Bodenlose sinken.
- Ein Ent-Korrelieren könnte auch stattfinden, indem man zwar auf entgegengesetzte Preissprünge verzichtet, aber zu jeder vollen Viertelstunde nur ein kleinerer Teil der Versorger eine Preisbewegung macht, während alle anderen den Preis diesmal konstant lassen.

Dies wäre deshalb nicht praktikabel, weil zwischen einem Preisminimum und einem Preismaximum oft gar nicht so viele Viertelstunden existieren, dass alle Versorger sich hierbei mit einem akzeptablen Preisverlauf vom Minimum zum Maximum bewegen können. Um Lastwechsel von 30 GW auf unter 3 GW zu drücken, dürfte je voller Viertelstunde nicht mal ein Zehntel aller Versorger einen Preissprung machen.

- Jeder Versorger, der zu einer vollen Viertelstunde mit EEX-Preisbewegung eine entgegengesetzte Preisbewegung macht oder seinen Preis konstant lässt, hat bei der Abrechnung seines Stroms einen Nachteil. Es muss ein System gefunden werden, mit dem die Versorger solche Nachteile untereinander gegenrechnen können bzw. sich gegenseitig nachweisen können, dass sich Nachteile und Vorteile ausgeglichen haben. Dieses würde aufgrund der einzubeziehenden Größen vermutlich recht komplex.
- Das Ent-Korrelieren ist mit erheblichem Aufwand verbunden, und das nur, um an der Viertelstundengrenze für Preisveränderungen festhalten zu können. Für die ja (siehe oben 1.2) überwiegend Gründe sprechen, die mit Einfachheit zu tun haben. Mit solch einem Modell würde sich diese Argumentation selbst ad absurdum führen.
- Von dem in 1.2 genannten Vorteil Nr. 1 bleibt nur wenig übrig.

### 3.3 Lösungsansatz 3: Unterschiedliche Viertelstundenrhythmen

Man löst sich von den vollen Viertelstunden der „echten“ Zeit und weist jedem Versorger bzw. jedem Teilgebiet eines großen Versorgers eine von 30 festen Halbminuten zu, die immer denselben Abstand zu den „echten“ vollen Viertelstunden hat.

Beispiel: Für Kunden der Stadtwerke Marburg darf ein Preiswechsel immer nur genau sechseinhalb Minuten nach der vollen Viertelstunde stattfinden und niemals zur vollen Viertelstunde selbst.

#### **Vorteile:**

Statt eines einzigen starken Lastsprungs zur vollen Viertelstunde (z.B. europaweit insgesamt 30 GW) gibt es dann 30 kleinere Lastsprünge von z.B. je 0,5...1,5 GW. Die Primärregelung wird zwar insgesamt für mehrere Stunden pro Tag im 30-s-Rhythmus in Atem gehalten, kommt aber kaum mal an ihre Auslegungsgrenze.

#### **Nachteile:**

- Die Auslegung der Primärregelung muss trotzdem neu ermittelt werden, denn die Wahrscheinlichkeit des zufälligen Zusammentreffens ungeplanter Lastwechsel mit den Lastwechseln im 30-s-Rhythmus ist stark erhöht.
- Je weiter ein Versorger mit seinem Zwangsrhythmus von der vollen Viertelstunde entfernt ist, desto stärkere Nachteile hat er beim Einkauf von Strom z.B. über den EEX-Spotmarkt. Denn dort wird weiterhin in normalen Viertelstunden abgerechnet. Es gibt also bessere und schlechtere Halbminuten, die einem Versorger zugewiesen werden können, und die hieraus resultierenden Ungerechtigkeiten müssen irgendwie ausgeglichen werden. Das kann sich recht kompliziert gestalten.
- Für diejenigen Versorger, die mit ihrem Rhythmus genau auf der vollen Viertelstunde liegen, ergeben sich keine Probleme bzgl. Kommunikation des Preisverlaufs, Akzeptanz des Tarifmodells bei den Kunden, Darstellung der Lastprofile, ...  
Alle anderen Versorger (mit den verbleibenden knapp 97 % aller Kunden!) haben genau bei diesen Themen gravierende Probleme zu bewältigen.
- Wenn man davon ausgeht, dass zwischen Stromanbietern keine massiven Preisunterschiede existieren, wird eine nicht geringe Zahl von Kunden rein aus Gründen der Einfachheit dazu tendieren, im Zweifel einen zu wählen, dessen Rhythmus genau auf der vollen Viertelstunde liegt. Dies verschiebt aber das Gleichgewicht zwischen den 30 Halbminuten aller Versorger, so dass die Aufteilung der Halbminuten zwischen den Versorgern immer wieder angepasst werden muss.  
Die andere Seite derselben „Medaille“ sieht so aus: Ein Versorger, dessen Rhythmus auf der vollen Viertelstunde liegt, kann sich merklich höhere Arbeitspreise leisten, ohne weniger Kunden zu haben. Einfachheit hat bei Privatkunden einen hohen (geldwerten) Stellenwert; das sieht man auch in anderen Branchen heutzutage.
- Alle drei unter 1.2 genannten Vorteile des Bezugs auf volle Viertelstunden würden stark angekratzt oder völlig aufgegeben. Mit Einfachheit hätte dieser Lösungsansatz nichts mehr zu tun.

### 3.4 Lösungsansatz 4: Kürzere Zeitabstände

Wenn Preisbewegungen mit 15 Minuten Mindestabstand zu zu großen Lastsprüngen führen, liegt der Gedanke nahe, die 15 Minuten aufzuteilen, so dass z.B. alle fünf oder drei Minuten oder gar jede ganze oder halbe Minute ein Preiswechsel stattfinden darf. Damit verbindet sich die Erwartung, dass sich die automatischen Reaktionen von Verbrauchsseite auf die in Frage kommenden Zeitpunkte aufteilen und so statt eines riesigen Lastsprungs zur vollen Viertelstunde mehrere schwächere Lastwechsel nacheinander erfolgen, die von Primär- und Sekundärregelung besser aufgefangen werden können.

Ganz so einfach geht es allerdings nicht, denn der Viertelstundentakt existiert ja weiterhin für die Einplanung von Kraftwerkskapazitäten und vor allem am EEX-Spotmarkt. Jeder Versorger, der zu einem anderen Zeitpunkt als zur vollen Viertelstunde einen Preiswechsel durchführt, hat einen Nachteil, der sich in seinem Geschäftsergebnis niederschlägt. Ohne jegliche Koordination der Preiswechsel der unterschiedlichen Versorger muss man also davon ausgehen, dass die Preiswechsel trotz kürzerer möglicher Zeitabstände weiterhin überwiegend zur vollen Viertelstunde stattfinden, mit den oben beschriebenen Auswirkungen.

Mehr braucht man über diesen Lösungsansatz in seiner Grundform nicht zu sagen.

Interessant wird es allerdings dann, wenn man diesen Lösungsansatz um zusätzliche verbindliche Regelungen ergänzt, um der Problematik wirklich begegnen zu können.

Eine Frage lässt sich für solche Lösungsansätze generell klären: In welchem zeitlichen Abstand sollten Preisveränderungen möglich sein?

Es wird ja eine dauerhafte Lösung gesucht, die auch dann noch einwandfrei arbeitet, wenn nach etlichen Jahren nahezu die gesamte Verbrauchsseite automatisch auf Preisänderungen reagiert. Damit scheiden Zeitabstände von mehr als einer Minute aus, denn bei weniger als 15 Lastsprüngen je Viertelstunde belasten die einzelnen Sprünge die Primärregelung zu stark, wenn man 30 GW Gesamt-Lastwechsel auf eine Viertelstunde verteilen will.

Es kommen also nur Zeitabstände von einer Minute oder darunter in Frage.

Noch ein Aspekt lässt sich grundsätzlich klären:

Die Festlegung des Zeitabstands, in dem Preisänderungen stattfinden können, sagt ja noch nichts über die tatsächliche Häufigkeit von Preisänderungen.

Ein komplexer variabler Tarif mit 6...20 Preiswechseln pro Tag ließe sich auch losgelöst von vollen Viertelstunden auf einen Mindestabstand von einer Minute umstellen, ohne dass an der Zahl der Preiswechsel pro Tag etwas geändert werden müsste (siehe Lösungsansatz 5). Zeitabstände unter einer Minute kommen hierbei allerdings nicht in Frage, denn dann wäre keine für die Kunden akzeptable tabellarische oder grafische Darstellung des Preisverlaufs mehr möglich.

Wenn man sich von einer tabellarisch gerade noch überschaubaren Maximalzahl von Preiswechseln pro Tag löst, kommt auch ein Tarif mit quasi-kontinuierlicher Preisveränderung in Frage. Sinnvollerweise mit ausschließlich grafischer Darstellung des Preisverlaufs (siehe 1.2 Punkt 2). Hier sind Bruchteile von Minuten sinnvoller als Minutenabstände, um möglichst sanfte Preisveränderungen zu erreichen (siehe Lösungsansatz 6).

Zwischen beiden Lösungsansätzen gibt es nichts weiteres Sinnvolles: Welcher Kunde will sich mit 30 oder 50 Preissprüngen pro Tag auseinandersetzen?

### **3.5 Lösungsansatz 5: Koordinierte Preisbewegungen**

Eine der Methoden, um die Zusammenballung von Lastwechseln auf einen Zeitpunkt zu vermeiden, wurde bei Lösungsansatz 2 schon genannt: Zu jedem vorgesehenen Zeitpunkt macht nur ein kleiner Teil der Versorger eine Preisbewegung, während alle anderen den Preis konstant lassen. Die Art der Tarife mit z.B. 6...20 Preiswechseln pro Tag könnte beibehalten werden, die Preisänderungen müssten zeitlich nur leicht verschoben werden, unterschiedlich je Versorger. Würde man die Versorger in feste Gruppen aufteilen, die immer dieselben Abstände zur vollen Viertelstunde einhielten, ergäbe sich wieder Lösungsansatz 3. Also geben wir hier vor, dass es keine festen Gruppen von Versorgern geben soll. Dann muss verhindert werden, dass zu viele Versorger gleichzeitig ihren Preis verändern. Dies erreicht man durch eine Verbundnetz-weite Koordination: Die Versorger melden ihre Lastprognosen und ihre gewünschten Preisbewegungen an die Zentrale und erhalten modifizierte Zeitpunkte für Preisbewegungen zurück, die dann umgesetzt werden.

Wie oben in 3.4 in zwei Schritten erarbeitet, macht hier nur ein Zeitabstand von 1 Minute Sinn. Dies ergänzen wir noch um eine zufällige Variation der Schaltzeiten auf Verbrauchsseite von  $-30...+30$  Sekunden.

#### **Vorteile:**

Schaltvariationen von 30 s führen zu keinen nennenswerten Abrechnungs-Nachteilen und dürften von allen Kunden toleriert werden.

Bei optimaler Verbundnetz-zentraler Steuerung kann man davon ausgehen, dass selbst bei Preisänderungen, die alle Versorger gleichermaßen innerhalb derselben Viertelstunde vollziehen wollen, die Lastwechsel völlig gleichmäßig über die gesamte Viertelstunde verteilt würden.

#### **Nachteile:**

- Wenn 30 GW Lastwechsel nun nicht mehr auf einen Schlag stattfinden, sondern linear auf eine Viertelstunde verteilt werden, „hängt“ die Primärregelung die ganze Zeit über irgendwo bei 1...3 GW Abweichung, je nachdem wie schnell die Sekundärregelung hinterher kommt. Auch hier muss die Gesamt-Primärregelreserve stark aufgestockt werden, so dass der schlimmste denkbare Fall genau während solch einer Viertelstunde auftreten darf.
- So wie beim Lösungsansatz 2 muss ein System gefunden werden, mit dem die Versorger die Nachteile zentral vorgegebener Tarifschaltzeiten untereinander gegenrechnen können bzw. sich gegenseitig nachweisen können, dass sich Nachteile und Vorteile ausgeglichen haben. Dies lässt sich sicher in die zentralen Algorithmen integrieren – aber wer behält da noch das Vertrauen, dass das System wirklich niemanden übervorteilt?
- Alle Vorteile der Viertelstundengrenze (siehe 1.2) gehen durch diesen Lösungsansatz verloren; er verfehlt also sein Ziel vollständig.

### **3.6 Lösungsansatz 6: Quasi-kontinuierliche Preisverläufe**

Wie schon am Ende von 3.4 herausgearbeitet, eignen sich Zeitabstände unter einer Minute für quasi-kontinuierliche Preisveränderungen – die sich nur noch grafisch gut darstellen lassen. Wir betrachten beispielhaft einen Rhythmus von 30 Sekunden, den wir um eine zufällige Variation der Schaltzeiten auf Verbrauchsseite von  $-15...+15$  Sekunden ergänzen.

Wohlgemerkt, hier geht es nicht um ein dynamisches Modell; wir bleiben – wie bei allen anderen Lösungsansätzen – bei der Vorab-Festlegung der Preise, d.h. sie werden z.B. mit einem Tag Vorlauf festgelegt.

Quasi-kontinuierlich heißt in diesem Fall: Alle nötigen Preisveränderungen werden so sanft wie möglich angebahnt, mit geringstmöglichen Preis-Sprüngen von einer halben Minute zur nächsten.

#### **Vorteile:**

Wenn wirklich alle Preisveränderungen sanft stattfinden, wird die Primärregelung i.d.R. nicht stärker beansprucht als durch die gewohnten unkoordinierten Lastwechsel bei konstantem Strompreis.

Die grafische Darstellung des Preisverlaufs hier ist für die Kunden allemal besser als die Darstellungsmöglichkeiten beim vorigen Lösungsansatz (siehe 1.2 Punkt 3).

### **Nachteile:**

- Wenn die einzelnen Versorger in der Gestaltung ihres Preisverlaufs frei sind, verschafft sich ein Versorger, der seinen Preisverlauf „härter“ an die EEX-Preissprünge anpasst als andere, einen Vorteil. Weil dies über Überleben oder Untergehen entscheiden kann, wird bei allen Versorgern die Tendenz bestehen, ihre Preisverläufe so hart wie möglich an die EEX-Preissprünge anzupassen. Dadurch wird es aber statt eines kontinuierlich sanften Preisverlaufs immer wieder herausragende Viertelstunden geben, in denen bei jedem 30-s-Schritt doch recht große Preissprünge gemacht werden. In diesen Zeiten werden viele Geräte ähnlich reagieren, und die oben geschilderten Lastsprünge von z.B. 30 GW werden bei Beginn und Ende solch einer Zeit recht konzentriert auftreten. Vermieden werden können solche Effekte durch eine regelzonen- oder landesweit einheitliche (relative) Preissteuerung, bei der geringstmögliche Preisveränderungen je 30-s-Schritt unabdingbar sind. Der Nachteil des einheitlichen Preisverlaufs (stärkstmögliche Korrelation!) wird bei Weitem übertroffen durch den Vorteil sanfter Preisbewegungen (statt Preissprünge). Aber selbst hier kann nicht per se ausgeschlossen werden, dass doch einmal viele Geräte in derselben halben Minute schalten. Auf welche Weise man bei quasi-kontinuierlichem Preisverlauf einem gleichzeitigen Schalten vieler Verbraucher vorbeugen kann, wird an mehreren Stellen im Buch/pdf <sup>6</sup> behandelt. Manches lässt sich übertragen, obwohl es dort ja um eine echte dynamische Preisbildung geht.
- Für die Abrechnung sind mehr Daten zu verarbeiten als bei den anderen Modellen. Wenn dies allerdings im entsprechend angepassten Smart Meter geschieht und dabei je Viertelstunde trotzdem nur ein einziger Abrechnungs-Datensatz entsteht, ist dies nicht als Nachteil zu werten.
- Der erste der drei unter 1.2 genannten Vorteile geht verloren. Die Preisverläufe haben keinen Bezug mehr zur Viertelstunde; das Modell hat allerdings einen eigenen „Charme“ und kann durchaus noch mit Einfachheit punkten.

Insgesamt ist dieser Lösungsansatz von allen genannten derjenige mit den am wenigsten gravierenden Nachteilen.

## **4 Fazit und Ausblick**

Von den untersuchten denkbaren Lösungsansätzen zur Beibehaltung der Viertelstunden-grenze sind die Ansätze 1...5 aus unterschiedlichen Gründen als Dauerlösung kaum geeignet. Variable Tarife sollen sowohl technisch als auch für den Alltag der Kunden als Fortschritt wahrnehmbar sein; dies zu bestätigen fällt bei den Lösungsansätzen 1...5 schwer. Bei einzelnen von ihnen kann man sich allerdings vorstellen, dass sie für wenige Jahre als Notlösung dienen, bis eine Dauerlösung gereift ist. Die Lösungsansätze 1...5 könnte man zusammenfassend als Modelle mit nicht-kontinuierlichem Preisverlauf (d.h. mit Preissprüngen) bezeichnen.

Nur Lösungsansatz 6 wäre als Dauerlösung geeignet, geht aber am Thema vorbei, indem er

die Viertelstundengrenze vollständig hinter sich lässt. Er hat einen quasi-kontinuierlichen Preisverlauf.

Die hier dargelegten groben Überlegungen und überschlägigen Berechnungen dürfen nicht überbewertet werden. Aber auch ohne gesicherte Erkenntnisse bleibt festzuhalten:

**Wenn seriös über Tarifmodelle mit Viertelstundengrenze gesprochen wird, sollte immer auch deutlich darauf hingewiesen werden,**

- **dass Lastsprünge an der Viertelstundengrenze als Thema unbedingt berücksichtigt werden müssen.**
- **dass ggf. angeführte Lösungsansätze möglicherweise nicht zu einer dauerhaften Lösung führen. Zumindest dann, wenn ihre Auswirkungen nicht bis ins Letzte untersucht wurden (Technik, wirtschaftlicher Ausgleich zwischen Versorgern, Kundenverhalten, Akzeptanz).**
- **dass es trotz allem, was ggf. zu diesem Thema ausgeführt wird, möglich sein kann, dass Tarifmodelle mit nicht-kontinuierlichem Preisverlauf generell keinen dauerhaften Bestand haben und darauf basierende Investitionen u.U. schon nach wenigen Jahren abgeschrieben werden müssen.**

Deutliche Hinweise sind deshalb unerlässlich, weil bisher nahezu durchgängig der Eindruck entstehen konnte, das Thema sei ohne grundsätzlichen Systemwechsel lösbar.

Die flächendeckende Einführung komplexer variabler Tarife mit Viertelstundengrenze ist absehbar. Ein verantwortliches Vorgehen hierbei schließt konkrete Vorbereitungen für eine dauerhaft tragfähige Lösung ein. Mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit könnte sich bei den entsprechenden Untersuchungen die Notwendigkeit eines Systemwechsels ergeben. Falls sowieso neue Pfade beschritten werden müssen, kommen neben Modellen mit Vorab-Festlegung der Preise auch echte dynamische Modelle mit Preis-Prognose in Frage, mit etlichen bedeutenden Vorteilen.

Dass Smart Metering und die Einführung greifbarer variabler Tarife ein jetzt notwendiger Schritt sind, ist unbestritten. Es darf nur nicht passieren, dass die Mehrheit der Beteiligten erst durch tatsächliche Probleme der oben geschilderten Art „aufwacht“ und man dann erst anfängt, eine dauerhaft tragfähige Lösung zu entwickeln. Denn dann müsste sich ganz Europa etliche Jahre lang mit den geschilderten Problemen herumschlagen und die Zeit bis zur Einführung einer dauerhaften Lösung mit Provisorien überbrücken. Das entspräche nicht dem bisherigen Stil in der Elektrizitätswirtschaft.

## Versionen dieses Textes:

**1.001 vom 17.02.2010:** Die unwichtigste Quantifizierung, nämlich die vermutete Häufigkeit, mit der die allerstärksten Lastsprünge zu erwarten sind, wird von „mehrmals täglich“ auf „mehrmals pro Woche“ verschoben. Dies aufgrund der Annahme, dass in zukünftigen Jahren ein nennenswerter Teil der Kühlschränke nur nachts Strom braucht und ein nennenswerter Teil der Gefriergeräte mehrere Tage lang ohne Strom auskommen kann. Die Änderungen betreffen vor allem Kapitel 2.2.

Ansonsten gibt es keine qualitative oder quantitative Änderung der Kernaussagen.

**1.000 vom 18.01.2010:** Originalversion

- 
- 1 wik-Consult – FhG Verbund Energie: Potenziale der Informations- und Kommunikations-Technologien zur Optimierung der Energieversorgung und des Energieverbrauchs (eEnergy), Seite 76.  
<http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/Studien/e-energy-studie>
  - 2 D. Nestle: Energiemanagement in der Niederspannungsversorgung mittels dezentraler Entscheidung, ab Seite 63. <http://www.upress.uni-kassel.de/publik/978-3-89958-390-8.volltext.frei.pdf>
  - 3 ETH Zürich: digitalSTROM electric intelligence.  
<http://www.digitalstrom.org/cms/fileadmin/DigitalS/download/dSFAQsWeb2.pdf>
  - 4 Institut für Solare Energieversorgungstechnik: BEMI – Strommanager aus Kassel spart Kosten.  
[http://www.iset.uni-kassel.de/pls/w3isetdad/www\\_iset\\_page.show\\_menu?p\\_name=7012091&p\\_lang=ger](http://www.iset.uni-kassel.de/pls/w3isetdad/www_iset_page.show_menu?p_name=7012091&p_lang=ger)
  - 5 H. Frey: Preissignal an der Steckdose.  
[http://www.dena.de/fileadmin/user\\_upload/Download/Veranstaltungen/2007/11/Frey\\_Preissignal\\_an\\_der\\_Steckdose.pdf](http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Download/Veranstaltungen/2007/11/Frey_Preissignal_an_der_Steckdose.pdf)
  - 6 W. Schitteck: Strom – fit für die Zukunft? Pdf-Volltext unter [http://www.staff.uni-marburg.de/~schitteck/buch\\_strom.html](http://www.staff.uni-marburg.de/~schitteck/buch_strom.html)