

# Simulation der Auswirkung von Demand Side Management auf die Leistungsaufnahme von Haushalten

Franz Xaver ZEILINGER<sup>1</sup>, Alfred EINFALT

Technische Universität Wien, Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe,  
Gußhausstraße 25 / E370-1, Telefonnr. : +43 | (0)1 | 58801 | 37301,  
E-Mail: [zeilinger@ea.tuwien.ac.at](mailto:zeilinger@ea.tuwien.ac.at), [einfalt@ea.tuwien.ac.at](mailto:einfalt@ea.tuwien.ac.at),  
Web: <http://www.ea.tuwien.ac.at/>

## Kurzfassung:

Um jene Fragen klären zu können, die sich bei einer Realisierung von Demand Side Management (DSM) speziell im Haushaltsbereich stellen, wurde ein Simulationsmodell entwickelt, das einerseits Verbraucher im Haushalt, andererseits die Auswirkungen von verschiedenen DSM-Systemen auf deren Leistungsaufnahme nachbilden kann.

Dazu wurden die Verbrauchergruppen in einem Haushalt in ihrem Verhalten nachgebildet. Die einzelnen Verbrauchergruppen werden mit Hilfe von so genannten Geräteklassen modelliert. Mit Hilfe von bereits bekannten Lastgängen, durchgeführten Messungen und weiteren Daten konnte ein Modell der Verbraucher für einen gemittelten Tageslastgang ermittelt werden.

Die zu untersuchenden DSM-Systeme sollen einen einfachen Aufbau aufweisen und ohne zusätzliche Kommunikation zwischen den Verbrauchern auskommen. Die Information über die Notwendigkeit eines Eingriffs in die Leistungsaufnahme der Verbraucher soll aus der Netzfrequenz ermittelt werden. Die dafür entwickelten Funktionen werden kurz vorgestellt. Mit diesen Funktionen lassen sich verschiedene DSM-Systeme erstellen um die Auswirkungen von diesen untersuchen zu können.

Das ermittelte Verbraucher-Modell dient in weiterer Folge als Grundlage für erste Untersuchungen von drei exemplarischen DSM-Systemen anhand von verschiedenen Szenarien, in denen ein Frequenzverlauf vorgegeben wird. Die Ergebnisse dieser Simulationen werden in dieser Arbeit vorgestellt und ermöglichen, dass bereits erste Anforderungen an eine Realisierung von DSM gewonnen werden können.

**Keywords:** Demand Side Management, Verbraucher Haushalt, frequenzabhängige Lastkurven

---

<sup>1</sup> Jungautor

## 1 Einleitung

Die Bilanz zwischen Erzeugung und Verbrauch von elektrischer Energie muss immer ausgeglichen sein. Möglichkeiten um für dieses Gleichgewicht zu sorgen sind das Speichern bzw. das Übertragen von überschüssiger Energie. Diese Möglichkeiten sind jedoch immer mit Verlusten verbunden, abgesehen weiteren Problemen, die sich durch eine weiträumige Übertragung auf bereits stark belasteten Übertragungsnetzen ergeben [1].

Demand Side Management (DSM) soll eine andere Möglichkeit bieten, ein Gleichgewicht aus Energieerzeugung und Energieverbrauch herzustellen, indem der Verbrauch von Energie beeinflusst wird und z.B. diesen in Zeiten verschiebt, in denen die Einspeisung durch fluktuierende Erzeuger hoch ist [2].

Untersuchungen zeigen, dass gerade im Haushalts- und Kleingewerbebereich für DSM ein beachtliches Potential zur Verfügung steht, dieses jedoch, mit Ausnahme von Rundsteuersignalen, bisher nicht erschlossen wird [2, 3, 4].

Um dieses Potential nutzen zu können, ist insbesondere bei der Umsetzung von DSM im Haushalt die Frage nach den damit verbundenen Kosten zu klären. Ist das DSM-System nur mit hohem technischem und finanziellem Aufwand realisierbar, können nur wenige Verbraucher damit gesteuert werden, da sich die Einbindung von Verbrauchern mit geringer Anschlussleistung nicht rentiert [5]. Könnte ein DSM-System sehr günstig implementiert werden, z.B. durch hohe Stückzahlen und einfachen Aufbau, kann man davon ausgehen, dass auch mehr Verbraucher für eine Leistungsbeeinflussung zur Verfügung stehen werden.

Neben diesen Fragen muss auch noch die Bereitschaft des Konsumenten beleuchtet werden, dass „seine“ Geräte sich am Ausgleich der Netzbilanz beteiligen. Bleibt diese vom Konsumenten unbemerkt, kann man davon ausgehen, dass in diesem Fall der Einsatz von DSM ohne weiteres ermöglicht wird.

Kommt es jedoch zur bemerkbaren Beeinflussung des Geräte- und damit des Nutzungsverhaltens, muss eine entsprechende Vergütung vorhanden sein, damit diese Einschränkungen akzeptiert werden. Auch könnten Anreize durch den Gesetzgeber oder die spezielle Netzsituation dazu führen, dass der Konsument eine höhere Akzeptanz für DSM aufbringt bzw. aufbringen muss. Insbesondere für eine Realisierung von weitgehend energieautonomen Inselnetzen mit hauptsächlich regenerativer Energieerzeugung ist ein Einsatz von DSM von großer Bedeutung.

Weitere Fragen, die sich beim Einsatz von DSM stellen, sind beispielsweise:

- Auswirkungen bei einem Einsatz in vielen Geräten z.B. auf die Netzstabilität
- Können die erwarteten Potentiale auch genutzt werden?
- Wie stark wird das Nutzerverhalten beeinträchtigt?
- Welche Funktionen muss eine DSM-Einheit zu Verfügung stellen? Lassen sich diese mit Hilfe einfacher, am besten standardisierter Bauelemente realisieren?
- Welche Anforderungen müssen an die Geräte gestellt werden um sie in das DSM-System einbinden zu können?
- Wie stark muss eine DSM-Einheit in das Gerät integriert werden?

- Welche Anforderungen müssen an die Hardware der DSM-Einheit gestellt werden (Messgenauigkeit, Schaltvermögen, ...)?
- Kann das System auch dazu verwendet werden, kleine autonome Inselnetze zu unterstützen bzw. zu ermöglichen?

Der Zugang zur Beantwortung dieser Fragen führte zu der Notwendigkeit einer vorherigen Simulation möglicher Realisierungen verschiedener DSM-Systeme.

Weiters sollten möglichst einfach aufgebaute und damit kostengünstige DSM-Systeme untersucht werden, die keine zusätzliche Kommunikation zwischen den Verbrauchern benötigen. Die Notwendigkeit der Beeinflussung des Verbrauches soll nur aus der aktuellen Netzfrequenz gewonnen werden.

Mit diesen Anforderungen an eine Simulation von DSM wurden in [6] entsprechende Funktionen und Modelle entwickelt, um damit erste Untersuchungen durchführen zu können. Mit Hilfe der Ergebnisse aus diesen Simulationen sollen Anforderungen an und Auswirkungen von DSM-Systemen erarbeitet werden, um eine reale Umsetzung eines einfachen DSM-Systems zu unterstützen.

In dieser Arbeit werden erste Ergebnisse aus diesen Untersuchungen präsentiert. Davor wird kurz das dafür ermittelte Simulationsmodell vorgestellt.

## 2 Simulationsmodell

### 2.1 Simulation der Verbraucher

Um die Verbraucher in einem Haushalt nachzubilden, wurden diese zunächst gemäß ihrer Eigenschaften in Geräteklassen eingeteilt. Aufgrund dieser Einteilung bot sich schon zu Beginn eine objektorientierte Implementierung dieser Geräteklassen an.

Jede Geräteklasse beschreibt das Verhalten eines bestimmten Gerätetyps und bildet dieses so nahe an der Wirklichkeit wie möglich ab.

Unter anderen wurden folgende Geräteklassen implementiert:

- **thermische Speicher:** z.B. für die Simulation von Kühlgeräten, Boilern, Heizungen. Hierfür wird ein einfaches thermisches Modell verwendet.
- **stochastische Verbraucher:** das Gerät ist zufällig im Einsatz, wie dies z.B. bei einem Fernseher oder einem Beleuchtungskörper der Fall ist.
- **Verbraucher, die ein Programm abarbeiten:** deren Leistungsaufnahme folgt einem fixen Ablauf, wie z.B. bei Waschmaschinen. Der Programmstart erfolgt, ähnlich wie bei den Verbrauchern mit stochastischen Verhalten, zufällig.

Abbildung 1 zeigt ein Beispiel für eine der entwickelten Geräteklassen. Die für diese Klasse anzugebenden Parameter beschreiben das Verhalten eines Kollektivs von vielen gleichen Verbrauchern. Angegeben werden hier z.B. durchschnittliche Anschlussleistung und Stand-by-Verbrauch, typische Startzeiten, mittlere Einschaltdauern und Startwahrscheinlichkeiten.

Durch die Streuung dieser Parameter weist jede Geräteinstanz individuelles Verhalten auf, gut in Abbildung 1 anhand des Einzelgerätes (1 Person) zu erkennen. Je mehr Verbraucher

betrachtet werden, desto mehr geht die Summenlinie in einen gewünschten Verlauf über (Kurve „10.000 Personen“ in Abbildung 1).

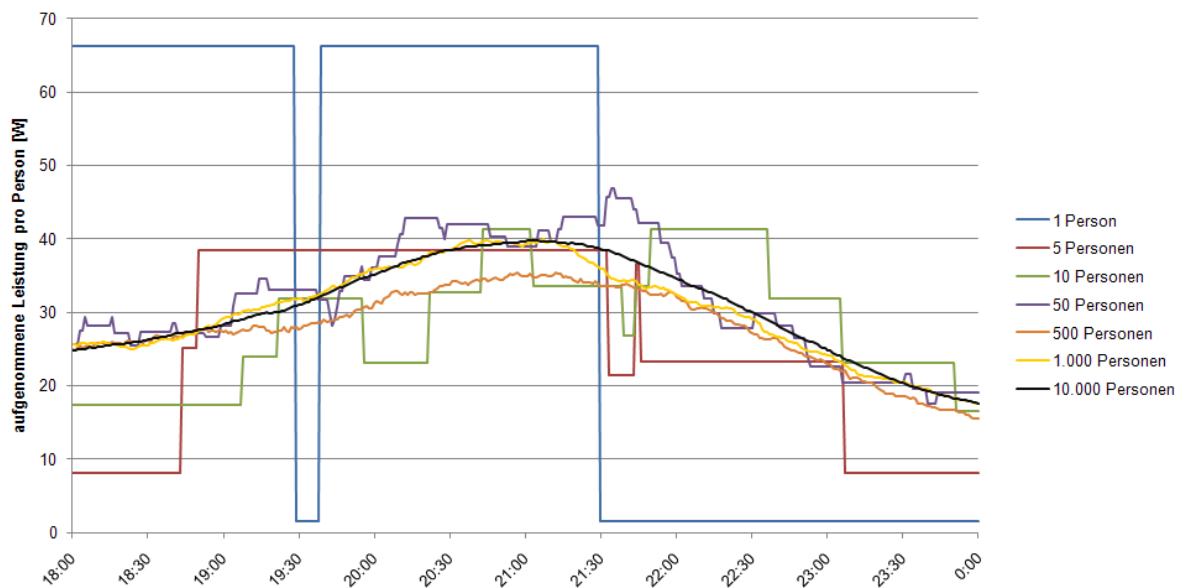


Abbildung 1: Beispiel für eine der implementierten Geräteklassen – Verbraucher mit stochastischem Verhalten (hier Audio-Video-Geräte)

Für die anderen Klassen werden ähnlich verschiedene beschreibende Parameter angegeben, z.B. bei thermischen Speichern thermischer Widerstand und Kapazität.

Mit Hilfe der entwickelten Geräteklassen kann nun ein Verbraucher-Modell für die Simulation ermittelt werden. In [3] und [4] wurde die Aufteilung des Energieverbrauchs eines Haushaltes auf verschiedene Gerätesektoren erarbeitet, dargestellt in Abbildung 2.

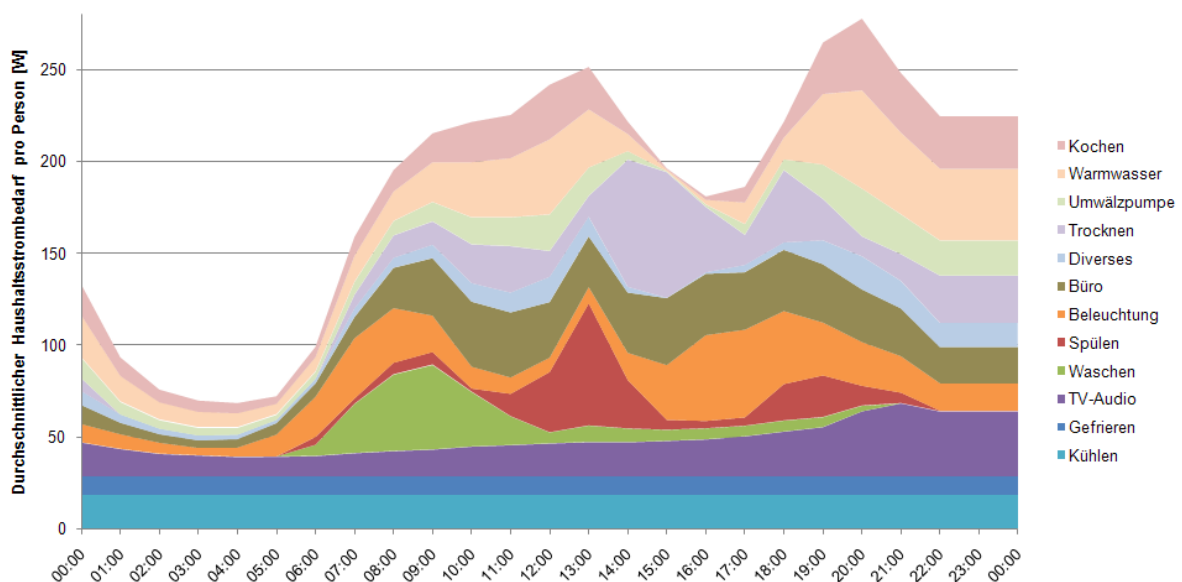


Abbildung 2: gemittelte Summenlastganglinie über die einzelnen Verbrauchssektoren eines Haushaltes (nach [3])

Mit Hilfe dieser Daten sowie zusätzlicher Statistiken und Messungen wurde ein erstes Verbrauchermodell für die Simulation ermittelt, in dem aber nicht alle in [3] angeführten Sektoren aufgegriffen wurden.

Jene Sektoren, die behandelt werden, sind Kühlen, Gefrieren, TV-Audio, Waschen, Spülen, Beleuchtung und Büro (dunkle Flächen in Abbildung 2). Mit diesen Sektoren werden 60% des Bedarfs an elektrischer Energie eines Haushaltes abgedeckt. Eine Einbindung der restlichen Sektoren in die Simulation ist jedoch leicht möglich, da bereits alle notwendigen Klassen für diese Gerätegruppen definiert sind.

In Abbildung 3 ist das Ergebnis eines Simulationsdurchlaufes mit den Geräten von 50.000 Personen dargestellt und wird zusätzlich den Vergleichsdaten gegenübergestellt, aus denen das Verbrauchermodell ermittelt wurde. Es ist gut zu erkennen, dass das ermittelte Modell die geforderten Verläufe gut nachbildet.

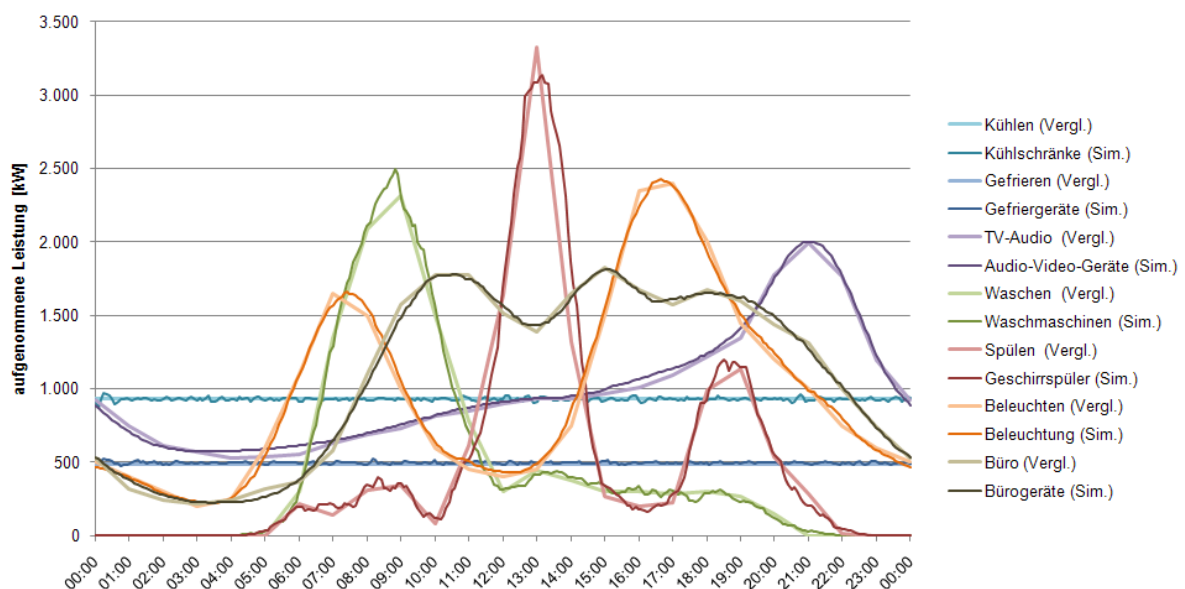


Abbildung 3: Ergebnis der Simulation der Leistungsaufnahme von Verbrauchern von 50.000 Personen und Gegenüberstellung zu den Vergleichsdaten der einzelnen Sektoren.

Im hier vorgestellten Verbrauchermodell wurde vereinfachend pro Sektor nur ein durchschnittlicher Verbraucher definiert. So werden im Sektor Audio-Video-Geräte alle entsprechenden Geräte (Fernseher, HiFi-Geräte, Radio, Spielkonsolen, Videorekorder, usw.) zu einem Gerät zusammengefasst. Durch diese Vereinfachung sind die Simulationsergebnisse bei geringen Personenanzahlen nicht repräsentativ. Für eine Verbesserung des Modells ist die feinere Unterteilung der einzelnen Verbrauchssektoren vorgesehen. Bei der Simulation von vielen Geräten ist diese Vereinfachung jedoch zulässig.

In Abbildung 4 wird der Gesamtverbrauch der betrachteten Sektoren dargestellt. Zusätzlich ist darin noch die relative Abweichung von den Vergleichsdaten bezogen auf den Maximalwert dieser dargestellt. Diese ist nie höher als 2,5 % vom Maximalwert, außer um 14:00 Uhr.

Diese Abweichung ist begründet durch die ungünstige Wahl der Parameter für die Geschirrspüler, wie auch gut in Abbildung 3 zu erkennen ist. Für diesen Sektor lagen zum

Zeitpunkt der Modellbildung noch keine ausreichenden Daten vor. Mit Hilfe von zusätzlichen Daten kann aber eine bessere Übereinstimmung erzielt werden.

Dieses Verbraucher-Modell dient trotz seiner Einschränkungen nun als Ausgangsbasis für die Simulationen und Untersuchungen von DSM im Haushaltsbereich.

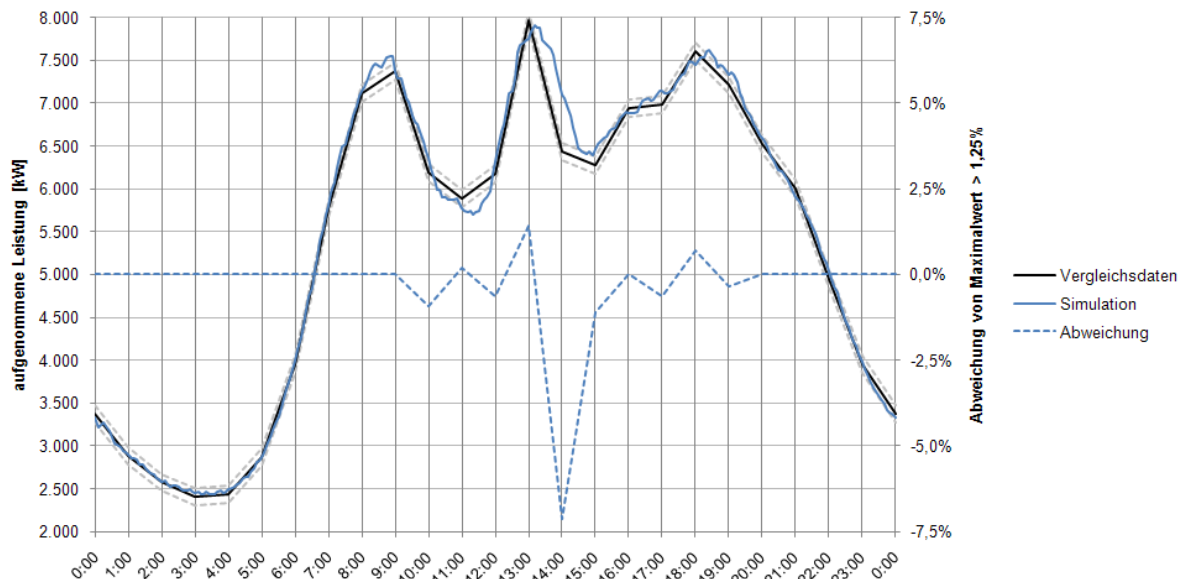


Abbildung 4: Ergebnis und Abweichung des simulierten Gesamtverbrauchs von 50.000 Personen von den Vergleichsdaten

## 2.2 Simulation der DSM-Funktionen

Wie bereits eingangs erwähnt, ist es das Ziel dieser Arbeit, Anforderungen und Auswirkungen eines möglichst einfachen DSM-Systems zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurden verschiedene Funktionen entwickelt, mit denen ein mögliches DSM-System ausgestattet werden könnte.

Die DSM-Funktionen werden von einem „Chip“, der DSM-Einheit, umgesetzt, der entweder vor oder im Gerät selbst angesiedelt ist. Dazu wird eine Schnittstelle definiert, über die die DSM-Einheit dem jeweiligen Gerät die Notwendigkeit einer Leistungsbeeinflussung mitteilt.

Diese Information wird aus der Netzfrequenz ermittelt. Neben verschiedenen Frequenzlevel als Reaktionsschwelle und deren Streuung können auch so genannte Prioritätsgruppen definiert werden, damit nicht alle Geräte beim gleichen Frequenzwert reagieren.

Weiters wurde die Möglichkeit geschaffen, durch Verzögerung den Zeitraum der Reaktion eines Gerätes auf einen ungünstigen Netzzustand über diesen hinaus zu verlängern, um auch damit die gleichzeitige Reaktion von vielen Geräten zu verhindern.

Bei einer kritischen Netzsituation reagieren die verschiedenen Verbraucher gemäß ihrer Möglichkeiten. Diese sind nicht für alle Gerätetypen gleich, weshalb hier verschiedene Reaktionsarten entwickelt wurden:

- **Ausschalten:** Im Falle eines kritischen Netzzustandes wird das Gerät vom Netz getrennt.

- **Ausschalten Stand-by-Verbrauch:** Im Fall eines kritischen Netzzustandes wird der Stand-by-Verbrauch des Gerätes reduziert, die normale Funktion ist davon nicht betroffen.
- **Leistungsreduktion:** Die Leistungsaufnahme des Gerätes wird für die Dauer eines kritischen Netzzustandes durch geeignete Mittel verringert, z.B. durch Dimmen von Beleuchtungskörpern.
- **Solltemperaturänderung:** Bei thermischen Speichern wird die Solltemperatur verändert, damit für die Dauer des kritischen Netzzustandes die Leistungsaufnahme reduziert wird. Nach der Erholung der Netzfrequenz muss das normale Speicherniveau durch erhöhte Leistungsaufnahme wiederhergestellt werden.
- **Verschieben Programmstart:** Bei Geräten, die ein Programm abarbeiten (wie z.B. Waschmaschinen oder Geschirrspüler) wird der Programmstart im Fall eines kritischen Netzzustandes verschoben. Hierbei kann eine maximal zulässige Verzögerungszeit definiert werden, damit der Programmstart in absehbarer Zeit erfolgt.
- **Programm unterbrechen:** Bei Geräten, die ein Programm abarbeiten, wird das Programm im Fall eines ungünstigen Netzzustandes an einer geeigneten Stelle unterbrochen. Auch hier kann eine maximale Zeitspanne für die Unterbrechung angegeben werden.

Aus diesen verschiedenen DSM-Funktionen können nun unterschiedliche DSM-Systeme zusammengesetzt werden. Bei der Implementierung dieser Funktionen wurde darauf geachtet, dass die Definition von DSM-Systemen sehr flexibel ist und auch weitere, zusätzliche Funktionen leicht in die Simulationsumgebung aufgenommen werden können.

### 3 Simulation von Verbrauchern mit DSM

Mit dem ermittelten Verbrauchermodell und den entwickelten DSM-Funktionen können nun erste Simulationen durchgeführt werden.

Zu diesem Zweck werden exemplarisch drei unterschiedliche DSM-Systeme, die die entwickelten Funktionen verwenden, anhand von verschiedenen Szenarien auf ihre Auswirkungen hin untersucht.

In [3] wurden bereits erste Abschätzungen über das Reduzierungs-Potential verschiedener Verbrauchssektoren erarbeitet. Dabei wurde davon ausgegangen, dass die Funktion aller Geräte nur soweit beeinträchtigt wird, dass diese kaum vom Benutzer bemerkt wird, z.B. durch leichtes Dimmen der Beleuchtung oder Abschalten des Stand-by-Verbrauchs. Diese Potentiale bilden auch die Grundlage für die Einstellungen der verwendeten DSM-Systeme.

Bei allen drei DSM-Systemen erhöhen die Kühlgeräte ihre Solltemperatur auf einen zulässigen Höchstwert.

Das erste System reagiert unmittelbar auf Frequenzänderungen. Bei Waschmaschinen und Geschirrspülern wird das Programm sofort unterbrochen. Bei Erholung der Netzfrequenz kehren alle Geräte sehr rasch wieder zu ihrer normalen Betriebsweise zurück. Dieses System wird mit „**DSM unverzögert**“ bezeichnet.

Das System „**DSM selektiv verzögert**“ hat das gleiche Verhalten wie das unverzögerte, nur wird hier durch andere Parameterwahl der sofortige Start von Waschmaschinen und Geschirrspülern sowie der Kühlgeräte bei Erholung der Netzfrequenz hinausgezögert.

Dem letzten System liegt die Annahme zugrunde, dass in jedem Gerät die gleiche DSM-Einheit mit den gleichen Funktionen verbaut wurde. Diese Einheiten sorgen durch eine gleichverteilte Verzögerungszeit dafür, dass nach einem kritischen Netzzustand über vier Stunden verteilt nach und nach die Geräte wieder zum normalen Betrieb zurückkehren. Zusätzlich lässt dieses System nur einen maximalen Programmaufschub bzw. Programmunterbrechung von 2 Stunden bei Geschirrspülern und Waschmaschinen zu. Dieses System wird in weiterer Folge mit „**DSM-Einheiten identisch**“ bezeichnet.

Diese drei DSM-Systeme sollen erste Ansätze für die Umsetzung von DSM im Haushalt darstellen. Anhand von unterschiedlichen Szenarien bezüglich des Frequenzverlaufes werden diese drei Systeme untersucht und miteinander verglichen.

Die Netzfrequenz wird im Zuge der Simulation als eine von außen vorgegebene Größe betrachtet, die durch das Verbraucherverhalten nicht beeinflusst wird. Diese Annahme spiegelt wieder, dass die Leistung der betrachteten Verbraucher klein gegenüber der im Netz verfügbaren ist. Eine zweite Möglichkeit könnte aber auch eine innerhalb eines Inselnetzes installierte Regelung sein, die mit Hilfe der Netzfrequenz das Verbraucherverhalten zu steuern versucht.

Betrachtet werden Geräte, die 5.000 Personen benützen, wobei eine vollständige Ausstattung mit DSM-Einheiten angenommen wurde. Die Reaktionsschwelle der Geräte liegt bei einer mittleren Frequenzabweichung von 0,5 Hz und einer Standardabweichung von 20% dieses Wertes.

### **3.1 Szenario „Verschiebung Lastspitzen“**

Bei dem in diesem Szenario angenommenen Frequenzverlauf, dargestellt in Abbildung 5, sollten die Spitzen der Gesamtleistung der betrachteten Sektoren verschoben werden. Dies gelingt, wie gut zu erkennen ist, bei allen drei DSM-Systemen. Beim unverzögerten System kommt es aber, aufgrund des gleichzeitigen Startens von vielen Waschmaschinen, Geschirrspülern und Kühlgeräten, zu einer stark erhöhten Leistungsaufnahme.

Ein besseres Ergebnis liefern die beiden anderen DSM-Systeme. Die Lastspitzen werden gut aus den Zeiträumen der niedrigen Frequenz in jene mit normaler Frequenz geschoben, ohne dass es zu einer höheren Leistungsaufnahme kommt.

In Abbildung 6 ist das Ergebnis der Simulation als Lastdauerlinie des Verbrauchs pro Person dargestellt. Anhand dieses Verlaufes kann man gut erkennen, dass zwar das unverzögerte DSM-System eine höhere Reduzierung der Leistung bietet, diese erfolgt aber auf Kosten einer stark erhöhten Leistungsaufnahme zu anderen Zeitpunkten. Im Vergleich dazu sind die beiden anderen DSM-Systeme näher am Verlauf der Leistungsaufnahme ohne DSM, können aber ebenso eine Reduzierung in der gleichen Größenordnung erzielen.

Das DSM-System mit identischen Einheiten schafft es sogar eine Leistungsaufnahme zu erzielen, die, bis auf zwei Stunden, kleiner oder gleich ist als bei der Gerätekonstellation ohne DSM. Dies begründet sich in der bei Audio-Video-, Bürogeräten und Beleuchtung



durchgeführten Leistungsreduktion, die hier für einen längeren Zeitraum erfolgt als bei den anderen DSM-Systemen.

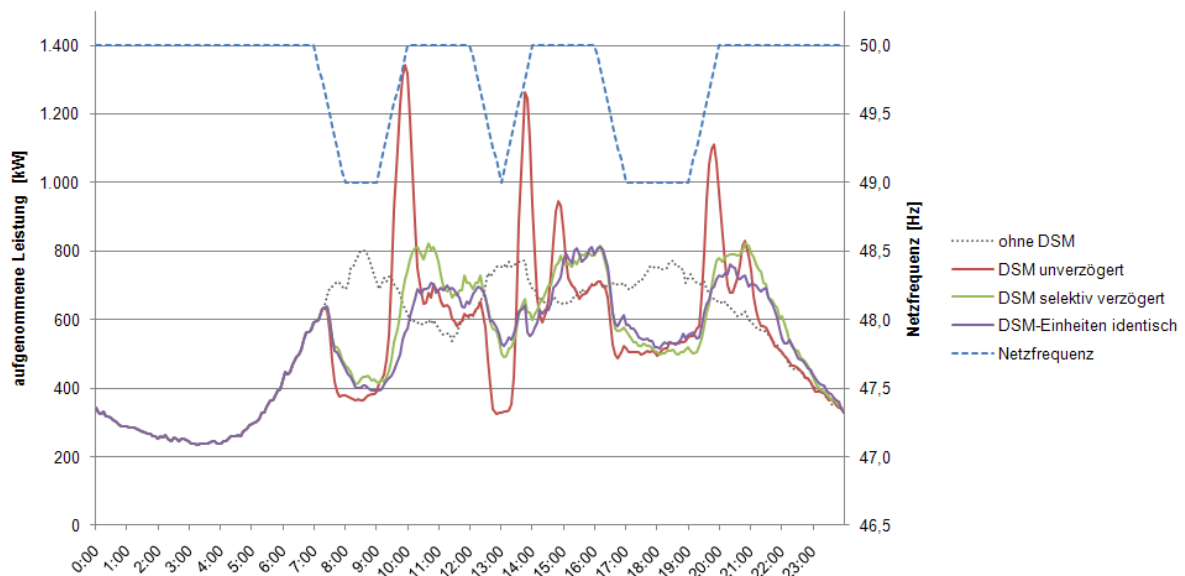


Abbildung 5: Vergleich der Gesamtleistungsaufnahme der exemplarischen DSM-Systeme für das Szenario „Verschiebung Lastspitzen“

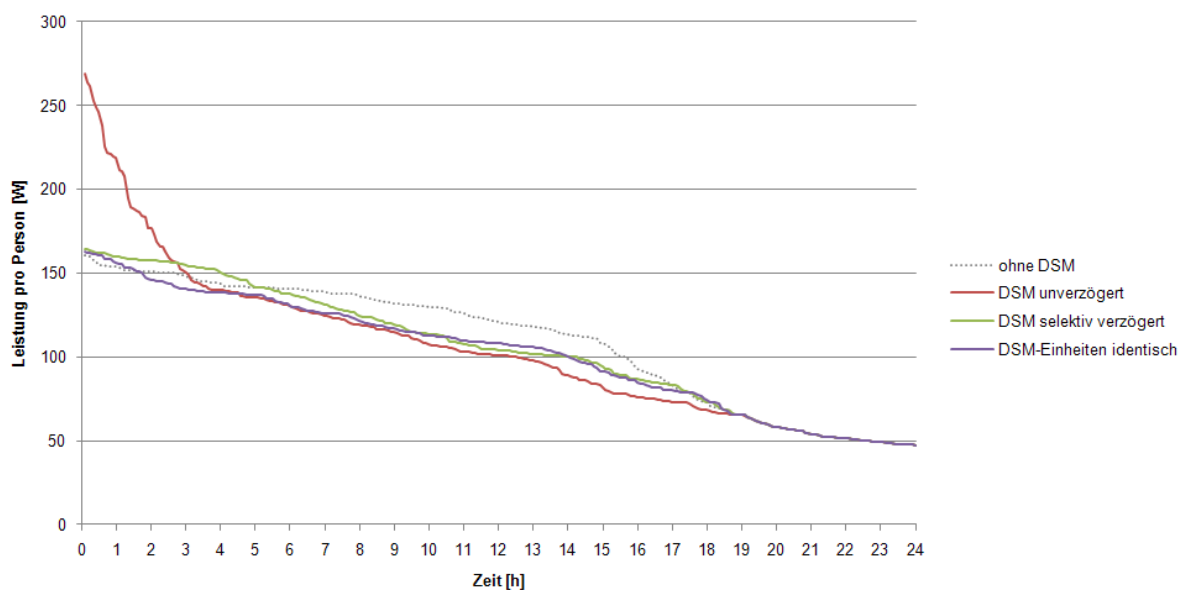


Abbildung 6: Lastdauerlinien der Gesamtleistung pro Person der verschiedenen DSM-Systeme für das Szenario „Verschiebung Lastspitzen“

### 3.2 Szenario „kurze Frequenzeinbrüche“

In diesem Szenario bricht die Frequenz zu vier Zeitpunkten innerhalb von 5 Minuten um 1 Hz ein, bleibt auf dem niedrigen Wert für weitere 5 Minuten und kehrt wiederum innerhalb von 5 Minuten zum Ausgangswert zurück.

Das unverzögerte und das selektiv verzögerte DSM-System kehren nach jedem Einbruch relativ rasch wieder zur normalen Leistungsaufnahme zurück. Wieder zeigt das unverzögerte System aufgrund der raschen Reaktion eine erhöhte Leistungsaufnahme.

Beim System mit identischen Einheiten wird durch die Zeitverzögerung bei jedem Frequenzeinbruch eine bis zu 4 Stunden andauernde Reaktion hervorgerufen, die quasi durch den Frequenzeinbruch „getriggert“ wird, was ein interessantes Verhalten darstellt. Ist die Netzfrequenz frei einstellbar, wie z.B. in einem über einen Umrichter entkoppelten Inselnetz, kann in diesem System durch kurze Frequenzimpulse eine Steuerung der Verbraucher erzielt werden.

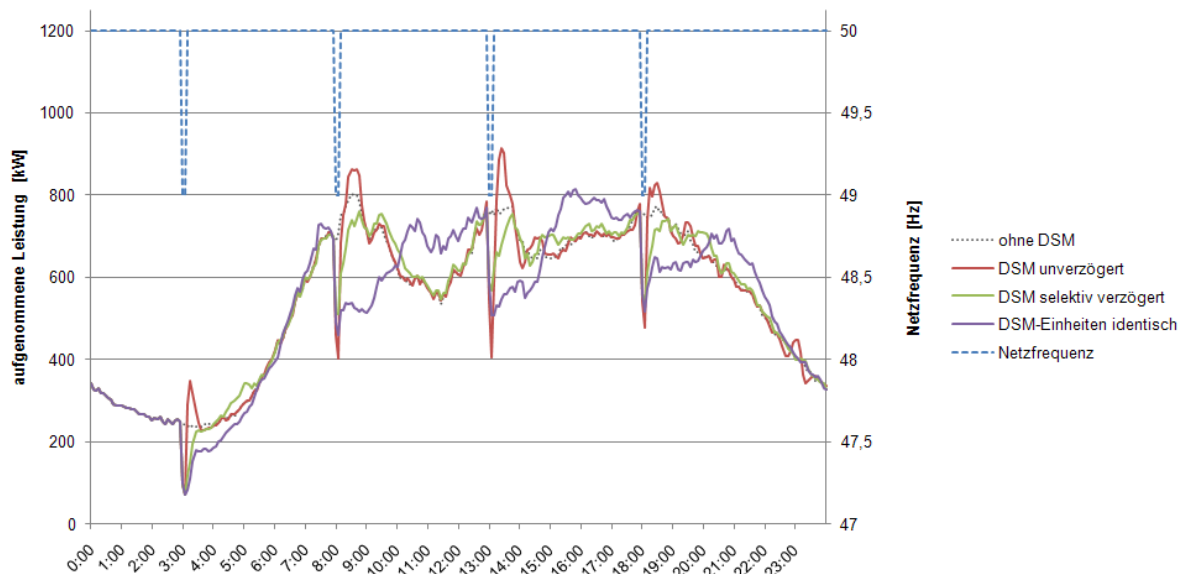


Abbildung 7: Vergleich der Gesamtleistungsaufnahme für die verschiedenen DSM-Systeme für das Szenario „kurze Frequenzeinbrüche“

### 3.3 Szenario „langer Frequenzeinbruch“

In diesem Szenario wird ein sehr langer und dauerhafter Frequenzeinbruch betrachtet.

Bei allen drei Systemen kommt es zu einer deutlichen Leistungsreduktion. Bei den DSM-Systemen „Unverzögert“ und „Einheiten identisch“ kommt es aber zu Lastspitzen, weil hier die Programme von Geschirrspülern und Waschmaschinen nur um maximal zwei Stunden aufgeschoben werden können, gut zu erkennen im Abbildung 8.

Das selektiv verzögerte System lässt deutlich längere Programmverschiebungen zu (im Mittel bis zu fünf Stunden), weshalb die Leistungsaufnahme bei diesem System beinahe sieben Stunden lang unter dem Ausgangsniveau liegt.

Anhand der Lastdauerlinien in Abbildung 9 kann man die deutliche Reduzierung der aufgenommenen Leistung im Vergleich zu dem Gerätekollektiv ohne DSM erkennen.

Das DSM-System „selektiv verzögert“ weist für das hier betrachtete Szenario das günstigste Verhalten auf. Beinahe zwölf Stunden kann dieses System eine Leistungsreduktion erzielen, zwei Stunden mehr als die beiden anderen Systeme.

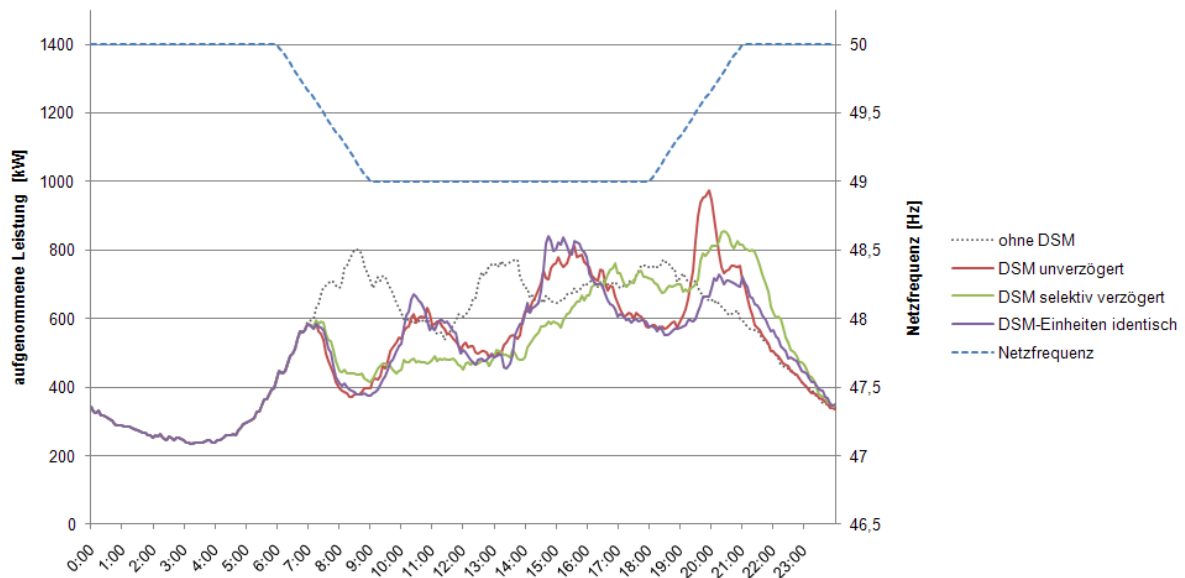


Abbildung 8: Vergleich der Gesamtleistungsaufnahme für die verschiedenen DSM-Systeme für das Szenario „langer Frequenzeinbruch“

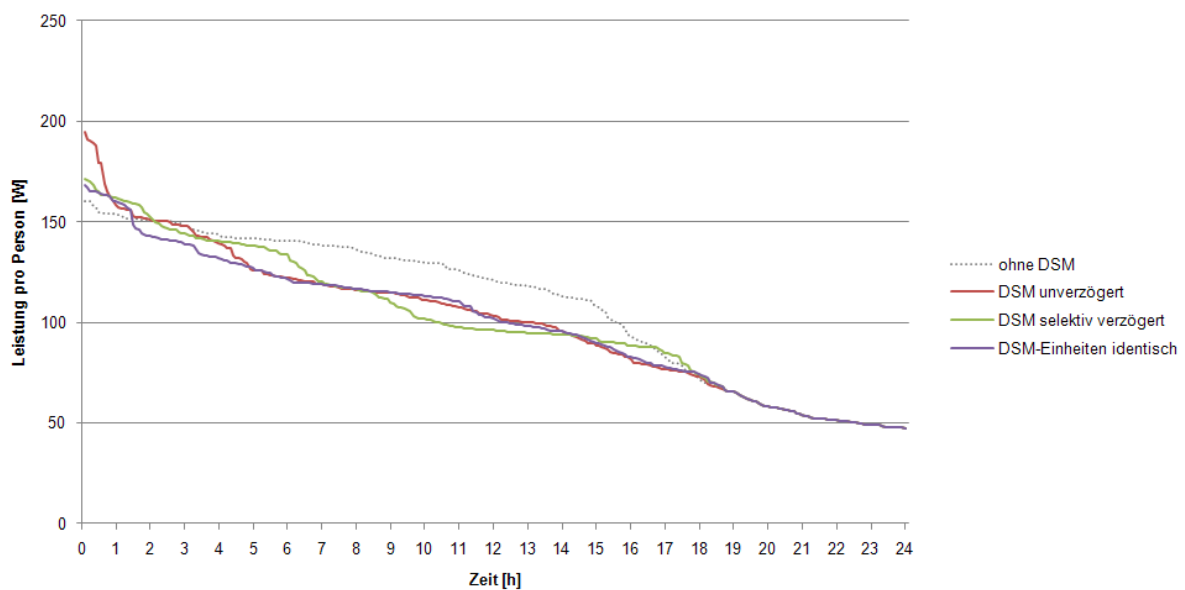


Abbildung 9: Lastdauerlinien der Gesamtleistung pro Person der verschiedenen DSM-Systeme für das Szenario „langer Frequenzeinbruch“

Dieses Verhalten wird jedoch nur mit einem starken Eingriff in das Verhalten von Waschmaschinen und Geschirrspülern erreicht, deren Programm im Mittel um fünf Stunden verschoben wird. Ob dies für die Benutzer erträglich ist, muss bezweifelt werden.

### 3.4 Szenario „Frequenzverlauf Großstörung“

Bis jetzt wurden die Frequenzverläufe für die Simulation als einfache, lineare Verläufe angenommen. Im folgenden Szenario soll die Netzfrequenz jedoch den Verlauf bei einer Großstörung im europäischen Übertragungsnetz nachbilden.

Dazu wurde der Frequenzverlauf im Ruhrgebiet (Area 1) bei der Großstörung, welche sich am 4. November 2006 ereignete, herangezogen. Genauere Informationen zu dieser Störung können [1] entnommen werden.

Um 22:30 Uhr wird der höchste Wert mit 50,19 Hz erreicht. Im Szenario wird dann angenommen, dass sich die Netzfrequenz innerhalb von 45 Minuten wieder auf den Wert von 50 Hz normalisiert (siehe Frequenzverlauf in Abbildung 10).

Im betrachteten Zeitraum sind fast keine Waschmaschinen und Geschirrspüler aktiv, weshalb die Leistungsreduktion zum großen Teil auf das Verhalten der Kühlgeräte zurückzuführen ist. Büro- und Audio-Video-Geräte sowie die Beleuchtung stellen eine Leistungsreduktion zur Verfügung (siehe auch Abbildung 12 und Abbildung 13).

Das DSM-System „Unverzögert“ kehrt rasch nach der Störung zum normalen Betrieb zurück, das selektiv verzögerte etwas später. Es tritt, aufgrund der kurzen Dauer der Störung, beim unverzögerten System kaum eine erhöhte Leistungsaufnahme auf, da in diesem Zeitraum sich der Inhalt der Kühlgeräte nur geringfügig erwärmt.

Beim System „Einheiten identisch“ führt die Störung wiederum zu einer länger andauernden Leistungsreduktion.

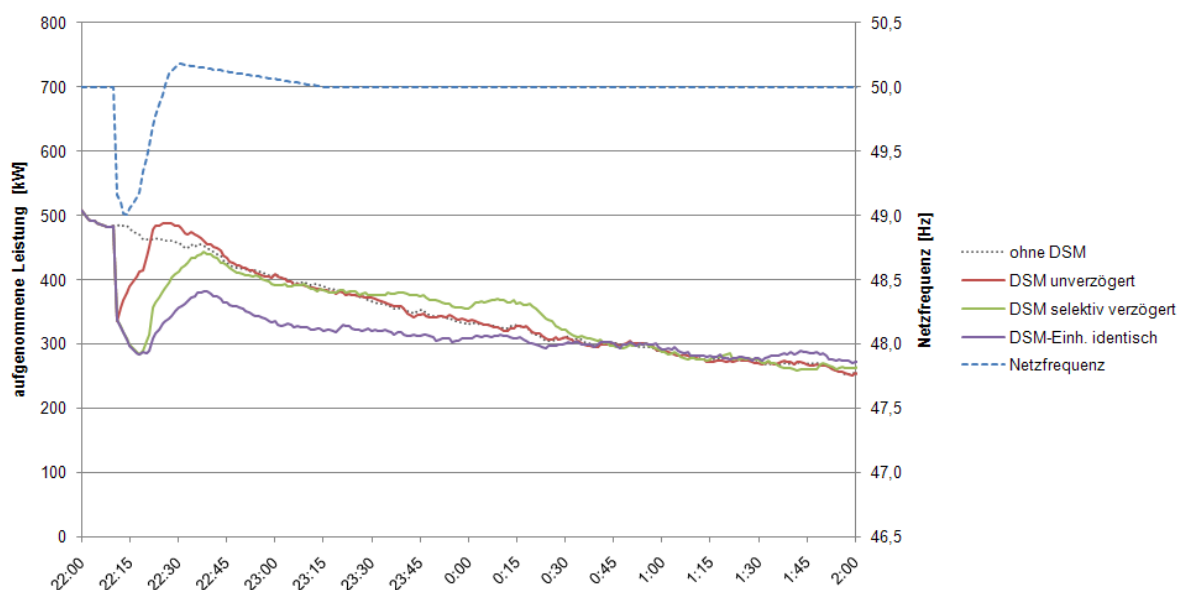


Abbildung 10: Vergleich der Gesamtleistungsaufnahme für die verschiedenen DSM-Systeme für das Szenario „Frequenzverlauf Großstörung“

In Abbildung 11 sind die Dauerlinien für die Gesamtleitung dargestellt. Sie zeigen ein ähnliches Bild wie beim Szenario „kurzer Frequenzeinbruch“, da die untersuchte Großstörung einen ähnlichen Frequenzverlauf wie dieses aufweist.

Das DSM-System „Einheiten identisch“ sorgt für eine längere Leistungsreduktion als eigentlich notwendig wäre. Eine erhöhte Leistungsaufnahme wird vermieden. Gerade bei einer Netzstörung könnte aber dieses Verhalten von großem Vorteil sein, da so plötzliche Lastwechsel bei der Erholung des Netzes, welche dieses wieder stark belasten würden, nicht auftreten.

Die erzielte, kurzfristige relative Leistungsreduktion ist bei allen Systemen mit bis zu 40% bereits beachtlich. Um einen Black-Out zu vermeiden könnten aber alle Verbraucher noch einen höheren Beitrag leisten. So könnte z.B. die DSM-Einheit bei hohen und schnellen Frequenzeinbrüchen eine Art „Notprogramm“ starten, in dem deutlich mehr Verbraucher vom Netz getrennt werden. Auch könnten in diesem Modus andere Verzögerungszeiten gültig sein, um der Erholung des Netzes mehr Zeit zu lassen.

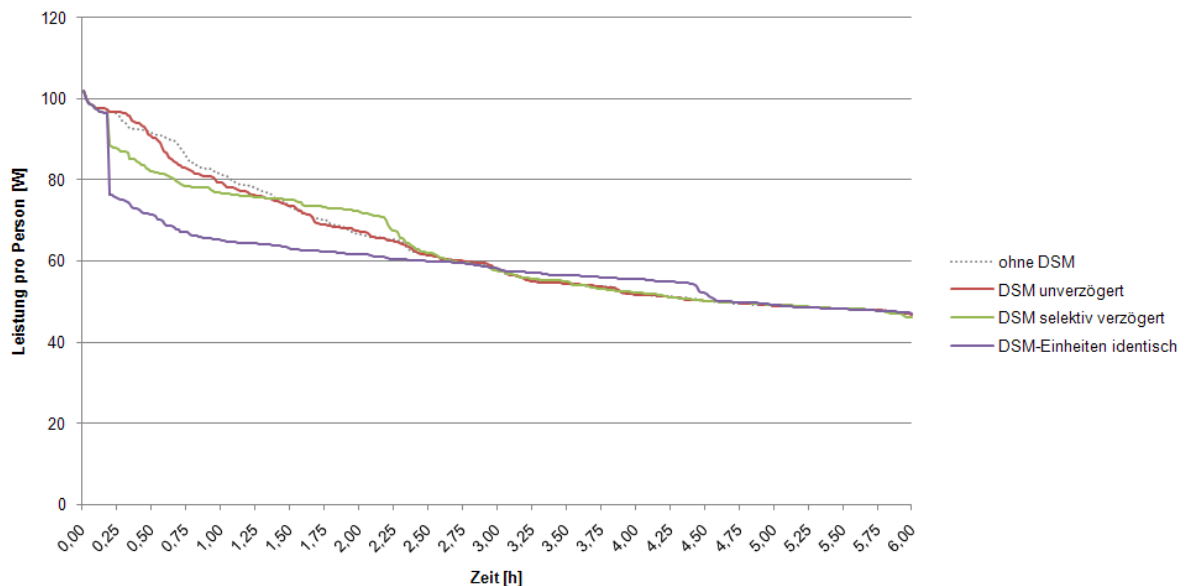


Abbildung 11: Lastdauerlinien der Gesamtleistung pro Person der verschiedenen DSM-Systeme für das Szenario „langer Frequenzeinbruch“

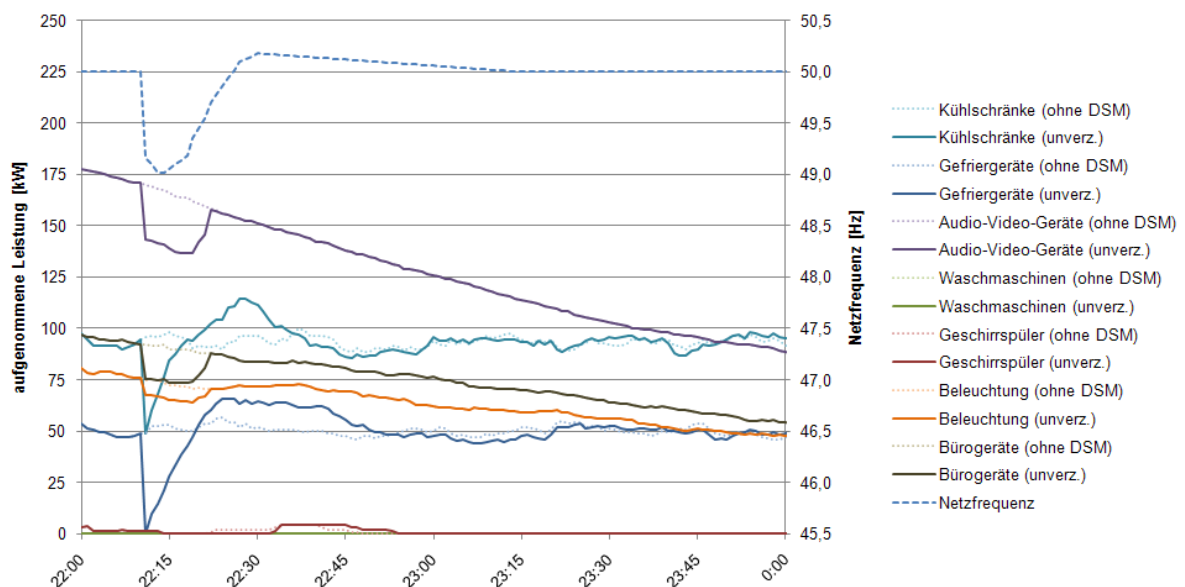


Abbildung 12: Ausschnitt aus dem Simulationsergebnis für das angegebene Szenario und dem DSM-System „unverzögert“

Abbildung 12 und Abbildung 13 zeigen jeweils für die DSM-Systeme „Unverzögert“ und „Einheiten identisch“ die Reaktion der einzelnen Gerätegruppen auf die Großstörung.

Man kann erkennen, dass es beim DSM-System „unverzögert“ zu einer raschen Reaktion auf den Frequenzeinbruch und einer ebenso raschen Rückkehr zur normalen Betriebsweise bei der Erholung der Netzfrequenz kommt. Da die Dauer der Leistungsreduktion relativ kurz ist, kommt es bei den Kühlgeräten zu keiner stark erhöhten Leistungsaufnahme. Nach ca. einer Stunde entspricht die Leistungsaufnahme wieder jener ohne DSM.

Im Gegensatz dazu erfolgt beim DSM-System „Einheiten identisch“ zwar ebenso eine schnelle Reaktion auf den Frequenzeinbruch, die Rückkehr zum normalen Betrieb wird aber deutlich hinausgezögert (siehe Abbildung 13 bzw. Abbildung 10).

Durch die längere Dauer des Zeitraumes, in dem die Solltemperatur erhöht bleibt, kommt es auch zu einer erhöhten Leistungsaufnahme der Kühlgeräte, wenn diese wieder ihre normale Solltemperatur einstellen. Da beim DSM-System „Einheiten identisch“ diese Zeitpunkte für die einzelnen Geräte aber über einen größeren Zeitraum verteilt werden, wird hier ebenso vermieden, dass die Leistungsaufnahme insgesamt zu hoch ausfällt.

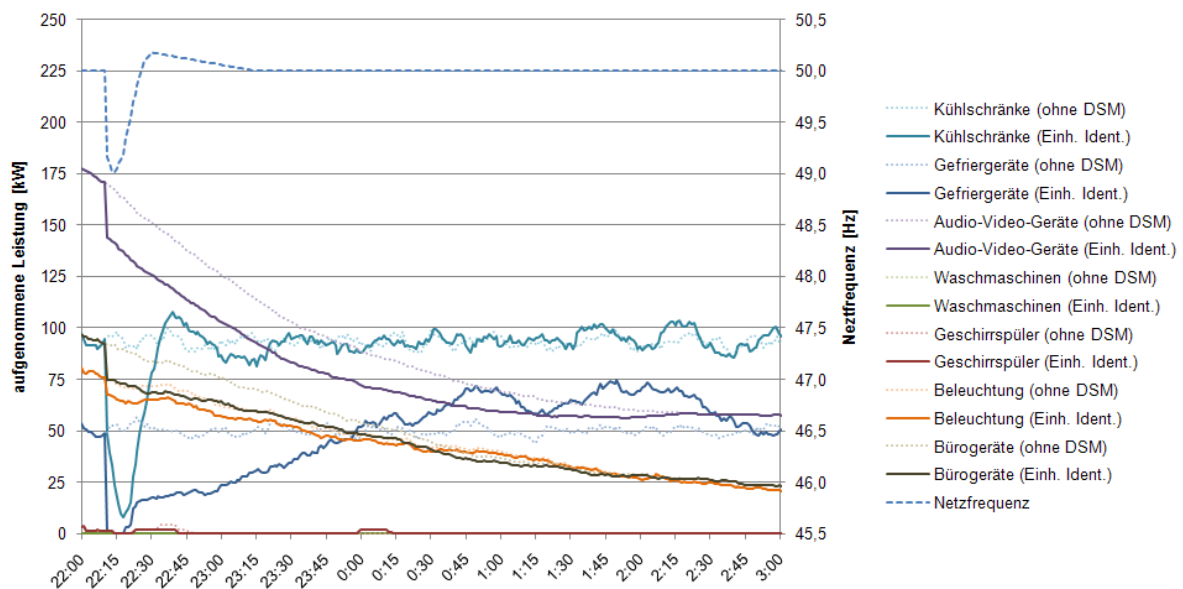


Abbildung 13: Ausschnitt aus dem Simulationsergebnis für das angegebene Szenario und dem DSM-System „Einheiten identisch“

## 4 Schlussfolgerungen

Mit Hilfe des entwickelten Simulationsmodells in Verbindung mit den eben vorgestellten Szenarien konnten bereits erste Anforderungen an DSM-Systeme erarbeitet werden.

So zeigten Untersuchungen, dass die Genauigkeit der Frequenzmessung in den betrachteten Bereichen sich kaum auf das Verhalten der Geräte mit DSM auswirkt, weshalb diese bereits mit einfachen und damit kostengünstigen Mitteln realisiert werden kann.

Die Einführung der Verzögerung der Rückkehr zum Normalbetrieb der Geräte nach einem Frequenzeinbruch stellte in den betrachteten Szenarien ein gutes Mittel dar, um Lastspitzen zu vermeiden.

Weiters führte ein simples DSM-System, dass theoretisch in allen Geräten eingesetzt werden kann, bereits zu einem guten, frequenzabhängigen Lastverhalten.

Für eine entsprechende Umsetzung bietet sich die Definition einer Schnittstelle an, über die eine möglichst einfach aufgebaute und damit kostengünstige DSM-Einheit mit dem jeweiligen Gerät kommuniziert. Dieses Gerät sorgt dann seinen Möglichkeiten entsprechend für eine Leistungsreduktion. Diese Schnittstelle und Funktion müsste aber von den Geräteherstellern zur Verfügung gestellt werden.

Für weitergehende Untersuchungen muss das Simulationsmodell entsprechend erweitert und verbessert werden. Neben der Einbindung weiterer vorhandener Verbraucherguppen könnten auch neuartige Verbraucher wie z.B. Elektro-Autos oder auch Dezentrale Erzeugungsanlagen betrachtet werden.

Auch müsste das Simulationsmodell weiter verfeinert werden, um bessere Aussagen treffen zu können.

Weiters bestehen noch viele Möglichkeiten für weitere DSM-Funktionen, beispielsweise eine Reaktion der Geräte auf Überfrequenz.

Weitere wichtige Fragestellungen sind jene nach der Auswirkung der Einführung von Prioritätsgruppen bei den Verbrauchern, wie sich verrauschte Frequenzdaten auswirken und wie sich die Leistungsreduktion auf die einzelnen Verbraucher aufteilt.

Die entwickelten Funktionen und Modelle bieten die Möglichkeiten, die geforderten Erweiterungen zu realisieren und damit weiterführende Untersuchungen zu ermöglichen.

Mit Hilfe der in dieser Arbeit gemachten sowie weiteren Simulationen sollen genauere Erkenntnisse über den Einsatz von DSM gewonnen und in weiterer Folge die reale Umsetzung unterstützt werden.

## Literatur

- [1] *Final Report: System Disturbance on 4th November 2006*, UCTE, Jan. 2007.
- [2] Christian Bendel, David Nestle, Jan Ringelstein, *Wirtschaftliche und technische Integration verteilter Erzeugung in der Praxis - Feldtest im Projekt DINAR*, Institut für Solare Energieversorgungstechnik ISET (Kassel), 22. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Deutschland, 2007.
- [3] Christoph Groß, *Power Demand Side Management: Potentiale und technische Realisierbarkeit im Haushalt*, Diplomarbeit, Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft, TU Wien, 2008.
- [4] Christoph Groß, Günther Brauner, *Power Demand Side Management – Potentialabschätzung im Haushalt*, TU Wien, Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft, 6. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien, 2009.
- [5] Günther Brauner, Georg Pöpl, Dietmar Tiefgraber, *Verbraucher als virtuelles Kraftwerk: Potentiale für Demand Side Management in Österreich im Hinblick auf die Integration von Windenergie*, Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft, TU Wien, 2006.
- [6] Franz Zeilinger, *Simulation von Demand Side Management mit frequenzabhängigen Lastprofilen in Inselnetzen*, Diplomarbeit, Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft, TU Wien, 2010.