

# LoadShift: Lastverschiebung in Haushalt, Industrie, Gewerbe und kommunaler Infrastruktur Potenzialanalyse für Smart Grids

Lastverschiebung  
in Haushalten

S. Moser, C. Elbe,  
E. Schmutzner, F. Frank,  
G. Muggenheimer

Österreichische  
Begleitforschung  
zu Smart Grids

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

## 7g/2015

**Impressum:**

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Leiter: DI Michael Paula

[www.NachhaltigWirtschaften.at](http://www.NachhaltigWirtschaften.at)

# LoadShift: Lastverschiebung in Haushalt, Industrie, Gewerbe und kommunaler Infrastruktur Potenzialanalyse für Smart Grids

Lastverschiebung in Haushalten

Österreichische Begleitforschung  
zu Smart Grids

Simon Moser, Fabian Frank, Gerold Muggenhumer  
Energieinstitut an der JKU Linz

Christian Elbe, Ernst Schmutzner  
TU Graz, Institut für Elektrische Anlagen

Linz und Graz, Juni 2014

Finanziert aus Mitteln des Klima- und Energiefonds

## Vorbemerkung

In der Strategie der österreichischen Bundesregierung für Forschung, Technologie und Innovation ist deutlich verankert, dass Forschung und Technologieentwicklung zur Lösung der großen gesellschaftlichen Herausforderungen beizutragen hat, wobei die Energie-, Klima- und Ressourcenfrage explizit genannt wird. In der vom Rat für Forschung und Technologieentwicklung für Österreich entwickelten Energieforschungsstrategie wird der Anspruch an die Forschung durch das Motto „Making the Zero Carbon Society Possible!“ auf den Punkt gebracht. Um diesem hohen Anspruch gerecht zu werden sind jedoch erhebliche Anstrengungen erforderlich.

Im Bereich der Energieforschung wurden in den letzten Jahren die Forschungsausgaben deutlich gesteigert und mit Unterstützung ambitionierter Forschungs- und Entwicklungsprogramme international beachtete Ergebnisse erzielt. Neben der Finanzierung von innovativen Forschungsprojekten gilt es mit umfassenden Begleitmaßnahmen und geeigneten Rahmenbedingungen eine erfolgreiche Umsetzung der Forschungsergebnisse einzuleiten. Ein wesentlicher Erfolgsfaktor für die Umsetzung ist die weitgehende öffentliche Verfügbarkeit der Resultate. Die große Nachfrage und hohe Verwendungsquoten der zur Verfügung gestellten Ressourcen bestätigen die Sinnhaftigkeit dieser Maßnahme. Gleichzeitig stellen die veröffentlichten Ergebnisse eine gute Basis für weiterführende innovative Forschungsarbeiten dar. In diesem Sinne und entsprechend dem Grundsatz des „Open Access Approach“ steht Ihnen der vorliegende Projektbericht zur Verfügung. Weitere Berichte finden Sie unter [www.NachhaltigWirtschaften.at](http://www.NachhaltigWirtschaften.at).

DI Michael Paula

Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

## **Vorbemerkung zur Smart Grids Begleitforschung**

In den letzten Jahren setzt das BMVIT aufgrund der Aktualität des Themas einen strategischen Schwerpunkt im Bereich der Weiterentwicklung der Elektrizitätsversorgungsnetze. Dabei stehen insbesondere neue technische, aber auch sozio-technische und sozio-ökonomische Systemaspekte im Vordergrund.

Im Rahmen der „Smart Grids Begleitforschung“ wurden daher Fragestellungen von zentraler Bedeutung für die Weiterentwicklung diesbezüglicher F&E-Strategien identifiziert und dementsprechende Metastudien, Detailanalysen und Aktionspapiere initiiert und - zum Teil gemeinsam mit dem Klima- und Energiefonds - finanziert. Der gegenständliche Bericht dokumentiert eine in diesem Zusammenhang entstandene Arbeit, die nicht zwingend als Endergebnis zur jeweiligen Fragestellung zu verstehen ist, sondern vielmehr als Ausgangspunkt und Grundlage für weiterführende Forschung, Strategieentwicklung und Entscheidungsfindung.

Michael Hübner

Themenmanagement Smart Grids

Abteilung Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Der Klima- und Energiefonds unterstützt das bmvit bei dieser Strategieentwicklung.

Dieses Projekt wurde mit Mitteln des Klima- und Energiefonds finanziert.

## VORWORT

Im Rahmen des Projektes „Loadshift“ werden Potenziale der Verschiebung der Energienachfrage erhoben und die ökonomischen, technischen sowie rechtlichen bzw. organisatorischen Aspekte der Verschiebungspotenziale analysiert. Das Projekt untersucht die Lastverschiebungspotenziale dabei getrennt für die Sektoren Industrie, Gewerbe, Haushalte und kommunale Infrastruktur, liefert konsistente Schätzungen für den Aufwand verschiedener Grade der Ausschöpfung und leitet Kostenkurven für Österreich ab.

Der vorliegende Projektbericht 6/9 „Lastverschiebung in Haushalten“ wurde im Rahmen dieses Projektes erstellt. Weitere Projektberichte des Projektes Loadshift sind:

0/9: Überblick und Zusammenfassung: Das Projekt Loadshift

1/9: Loadshift- Rahmenbedingungen

2/9: Netztechnische Betrachtung

3/9: Literaturvergleich

4/9: Lastverschiebung in der Industrie

5/9: Lastverschiebung bei gewerblichen Anwendungen: Lebensmittelkühlung und Dienstleistungsgebäude

**6/9: Lastverschiebung in Haushalten**

7/9: Lastverschiebung bei kommunalen Kläranlagen und Wasserversorgungssystemen

8/9: Rechtliche Aspekte des nachfrageseitigen Lastmanagements in Österreich inkl. eines Ausblicks auf die deutsche Rechtslage

9/9: Hemmniskatalog



Das Projekt Loadshift wird im Rahmen der 5. Ausschreibung Neue Energien 2020 vom Klima- und Energiefonds gefördert.

## INHALTSVERZEICHNIS

1	Erläuterungen zur Vorgehensweise .....	5
2	Grundlegendes zur Lastverschiebung in Haushalten .....	5
2.1	Verschiebbare Lasten.....	5
2.2	Prozessanalyse von Elektrogeräten im Haushalt hinsichtlich Lastverschiebung.....	6
2.2.1	Waschmaschinen .....	6
2.2.2	Wäschetrockner .....	6
2.2.3	Geschirrspülmaschine .....	6
2.2.4	Kühl- und Gefriergeräte.....	7
2.2.5	Warmwasser .....	7
2.2.6	Elektrodirekt- und Nachtspeicherheizungen .....	7
2.3	Verschiebezeitdauern.....	7
2.4	Durchschnittliche Einsatzzeiten der Elektrogeräte .....	8
3	Berechnung des technischen Lastverschiebungspotenzials .....	10
3.1	Methodik .....	10
3.2	Kennzahlen zum Einsatz der Geräte in Österreich .....	11
3.3	Lastverschiebung durch Auswählen des Startzeitpunkts.....	11
3.3.1	Waschmaschine.....	12
3.3.2	Wäschetrockner .....	13
3.3.3	Geschirrspülmaschine .....	14
3.4	Lastverschiebung durch Zu- oder Abschalten des Gerätes.....	15
3.4.1	Kühlgeräte .....	16
3.4.2	Gefriergeräte .....	18
3.4.3	Warmwasser .....	19
3.4.4	Elektrische Raumwärme.....	20
4	Meta-Analyse von Feldtests zur Lastverschiebung.....	24
4.1	Feldtests im deutschen E-Energy Programm.....	24
4.1.1	Überblick .....	24
4.1.2	Dynamischer stündlicher Tarif .....	25
4.2	Amerikanische Feldtests.....	25
4.3	Weitere Feldtests .....	28
4.3.1	Tempo-Programm der EdF (Frankreich, 1996).....	28
4.3.2	TOU-Netztarif, Spotmarktpreise, Remote Load Control (Norwegen).....	28
4.3.3	Smart A-Programm der Uni Bonn (Deutschland, 2011) .....	29
4.4	Resümee zu den betrachteten Feldtests .....	30
5	Ergebnisse des Experten-Workshops .....	31
5.1	Ablauf und Teilnehmer .....	31

5.2	Beitrag der Haushalte zu den Zielen der Lastverschiebung.....	31
5.3	Realisierbares Lastverschiebungspotenzial .....	32
6	Tatsächliches Lastverschiebungspotenzial in Haushalten.....	33
6.1	Schritt 1: Aktive Wahl des Tarifs durch den Kunden .....	34
6.2	Schritt 2: Realistisches technisches Potenzial.....	34
6.3	Schritt 3: Tatsächlicher endkundenseitiger Beitrag .....	35
7	Kosten der Lastverschiebung in Haushalten .....	38
7.1	Vollkosten der Lastverschiebung .....	38
7.2	Kosten der Lastverschiebung pro kW.....	40
8	Resümee zur Lastverschiebung in Haushalten.....	42
9	E-Cars: Lastverschiebungspotenzial .....	44
9.1	Theoretisches Lastverschiebungspotenzial von E-Cars.....	45
9.2	Varianten der Lastverschiebung .....	45
9.3	Tatsächliches Lastverschiebungspotenzials.....	46
9.3.1	Szenario 1: Gesteuertes Laden.....	47
9.3.2	Szenario 2: Entladen .....	47
9.4	Zusammenfassung und Zukunftsaussicht.....	48
10	Literaturverzeichnis .....	49
11	Tabellenverzeichnis.....	52
12	Abbildungsverzeichnis .....	53

# 1 Erläuterungen zur Vorgehensweise

Im vorliegenden Kapitel werden das Lastverschiebungspotenzial von Haushalten analysiert und die mit einer Realisierung dieses Potenzials verbundenen Kosten abgeleitet. Die Ausgangsbasis für das realisierbare Potenzial bildet das technisch-theoretische Potenzial, das in Kapitel 2 qualitativ betrachtet und in Kapitel 3 quantifiziert wird.

Das technische bzw. theoretische Lastverschiebungspotenzial entspricht nicht jenem Potenzial, das tatsächlich bei den Haushalten realisiert werden kann. Um Restriktionen bzw. das umsetzbare Potenzial zu identifizieren, werden in Kapitel 4 Feldtests, welche das Ziel einer Lastverschiebung oder Spitzenlastminderung verfolgten, analysiert, sowie in Kapitel 5 die Ergebnisse des im Zuge des Projekts durchgeführten Expertenworkshops beschrieben. In Kapitel 6 wird auf Basis dieser Erkenntnisse das tatsächliche Lastverschiebungspotenzial abgeleitet.

Kapitel 7 leitet die Kosten einer Realisierung des tatsächlichen Lastverschiebungspotenzials her. Abschließend bildet Kapitel 8 ein Resümee zu den Potenzialen des Haushaltssektors. Ebenfalls dem Haushaltssektor zuzurechnen ist die private Elektromobilität (E-Cars), die aufgrund des heute geringen Potenzials als Ergänzung in Kapitel 9 eingefügt ist.

## 2 Grundlegendes zur Lastverschiebung in Haushalten

*Christian Elbe, Ernst Schmutzner*

### 2.1 Verschiebbare Lasten

Für eine Lastverschiebung kommen grundsätzlich Elektrogeräte in Frage, die mit einem thermischen Speicher ausgestattet sind bzw. bei denen es ohne Komfortverlust möglich ist, den Prozess zeitlich zu verschieben. Thermische Speicher können vor allem in Kühl- und Gefriergeräten sowie bei der Warmwasserbereitung und Elektroheizung (Speicherofen) gefunden werden. Auch ist es bei Haushaltsgroßgeräten wie Waschmaschinen und Wäschetrocknern sowie Küchengeräten wie Geschirrspülmaschinen teilweise möglich, den Prozess zeitlich zu verschieben. Bei letztgenannten Elektrogeräten ist es sowohl vom Nutzer, als auch der Möglichkeit den Prozess zu einem späteren Zeitpunkt zu starten abhängig, ob eine Lastverschiebung durchgeführt werden kann. Detailinformationen zu Studien bezüglich Nutzerverhalten und Akzeptanzuntersuchungen können in Kapitel 4 gefunden werden.

Eine Klassifizierung von Elektrogeräten in Haushalten hinsichtlich ihrer Eignung zur Lastverschiebung wurde beispielsweise von Zeilinger und Einfalt (2011) vorgenommen:<sup>1</sup> Dabei werden die Elektrogeräte in drei Klassen unterteilt, wobei Elektrogeräte der Klasse 1 (z.B.: Haarfön) nicht zeitlich verschoben werden können. Geschirrspüler, Trockner und Waschmaschinen sind in die Klasse 2 einzuordnen und Geräte mit einem thermischen Speicher in Klasse 3.

- Klasse 1: Gerät wird bei Bedarf eingesetzt
- Klasse 2: Gerät spult ein vordefiniertes Programm ab
- Klasse 3: Gerät versucht einen vorgegebenen Zustand zu erhalten

---

<sup>1</sup> Vgl. Zeilinger und Einfalt (2011), Seite 3.

## **2.2 Prozessanalyse von Elektrogeräten im Haushalt hinsichtlich Lastverschiebung**

Im Folgenden werden die einzelnen Elektrogeräte, die ein wesentliches Potenzial zur Lastverschiebung haben, aufgelistet und zudem wird auf den Prozess in Bezug auf die Lastverschiebung im Detail eingegangen.

### **2.2.1 Waschmaschinen**

Der Großteil des Gesamtenergieverbrauchs einer Waschmaschine wird durch die Aufheizung der Waschlauge verursacht. Dieser Aufheizprozess ist der energie- und leistungsintensivste Prozess des gesamten Waschvorgangs und wird über die Temperaturwahl gesteuert. Der Aufheizvorgang beginnt wenige Minuten nach dem Starten des Waschprogramms und dieser ist, abhängig von der gewählten Temperatur und der Beladung, für mehrere Minuten bis zu rund einer halben Stunde aktiv.

Hat der Benutzer keine Ansprüche daran, wann der Waschvorgang beginnen oder beendet sein soll, so eignet sich die Waschmaschine zur Lastverschiebung. Zu beachten ist dabei jedoch, dass beispielsweise im verdichteten Wohnbau eine Lastverschiebung in die Nachtstunden aufgrund einer möglichen Lärmbelästigung kaum möglich ist. Ein weiterer Einflussfaktor ist zudem, dass die Wäsche nach dem Ende des Waschvorganges nicht zu lange schleudertrocknet in der Waschmaschine liegen sollte, da sich dies nachteilig auf das Zerknittern auswirkt. Dies würde sich wiederum in einem Mehrverbrauch an elektrischer Energie beim Bügeln bemerkbar machen und ein Zerknittern der Wäsche ist zudem vom Nutzer ungewünscht. Eine mögliche Abhilfemaßnahme hierbei wäre die Auswahl des Spülstopps und ein späterer, manueller Start des Schleuderns, der bei handelsüblichen Waschmaschinen problemlos möglich ist.

### **2.2.2 Wäschetrockner**

Im Gegensatz zur Waschmaschine arbeitet die Heizung zur Trocknung der Wäsche im Wäschetrockner annähernd während des gesamten Trocknungsprozesses. Der energieintensive Prozess der Verdampfung von Wasser durch Wärmeeinwirkung ist hierbei für die Lastverschiebung interessant. Ist das zeitliche Ende der Trocknung der Wäsche frei wählbar und vom Benutzer unabhängig, so kann der Wäschetrockner für eine Lastverschiebung herangezogen werden. Aber auch hier muss sowohl auf das Zerknittern als auch auf den Umstand, dass der Wäschetrockner fast immer im Anschluss nach dem Wäschewaschen eingesetzt wird, geachtet werden.

### **2.2.3 Geschirrspülmaschine**

Bei der Spülmaschine sind die Wärmeerzeugung zur Erhitzung des Spülwassers sowie der Trocknungsvorgang am Ende des Spülprogrammes für den Großteil des Gesamtstromverbrauchs verantwortlich. Auch hier ist die Möglichkeit zur Lastverschiebung vom Nutzer abhängig und geht damit einher, ob nach dem kompletten Einräumen des Geschirrs mit dem Starten des Programms abgewartet werden kann.

## **2.2.4 Kühl- und Gefriergeräte**

Kühlschränke und Gefriergeräte sind zyklisch in Betrieb. Das heißt, es gibt Phasen der Abkühlung des Innenraumes, in denen das Kühlaggregat in Betrieb ist, unterbrochen von Ruhephasen, in denen eine Erwärmung aufgrund des begrenzten Temperaturwiderstandes der Isolierung stattfindet. Abhängig von der Speicherkapazität des Kühl- bzw. Gefrierortes sowie von der Isolierung und der Kühlleistung des Gerätes ist die Dauer der einzelnen Phasen verschieden.

Durch die thermische Kapazität des Gerätes selbst und der Lebensmittel im Innenraum ist ein Speicher gegeben, der sich zur Lastverschiebung einsetzen lässt. Während Kühlgeräte meist nur für Zeiträume von bis zu rund einer Stunde oder auch etwas mehr außer Betrieb sein können, ohne dass die Innenraumtemperatur auf ein Niveau steigt, das den Verderb der Lebensmittel beschleunigt, können bei Gefriergeräten längere Zeitdauern ohne Kühlung überbrückt werden (siehe auch Abschnitt 2.3).

## **2.2.5 Warmwasser**

Die Warmwasserbereitung mittels Elektrowarmwasserspeicher ist eine der einfachsten und platzsparendsten Methoden, um Warmwasser zu erhitzen. Dabei wird in einem isolierten Behälter das Wasser mittels Elektro-Heizstab erwärmt und steht dann zum Verbrauch zur Verfügung. Viele dieser Boiler werden an einem eigens gezählten Stromkreis betrieben, der vom Energieversorgungsunternehmen bereits jetzt mittels Fernwirkeinrichtung (i.d.R. Rundsteuergerät) in der Schwachlastzeit geschaltet wird. Ist der Speicher ausreichend dimensioniert, so ist eine Lastverschiebung sehr gut ohne jeglichen Komfortverlust möglich.

Eine weitere Methode zur elektrischen Warmwasserbereitung ergibt sich durch den Einsatz einer Wärmepumpe. Diese macht sich die Umgebungswärme zu Nutze und benötigt nur etwa ein Drittel des Stroms für die gleiche Wärmeleistung. Auch hier ist bei ausreichend dimensioniertem Warmwasserspeicher eine Lastverschiebung gut durchführbar.

## **2.2.6 Elektrodirekt- und Nachtspeicherheizungen**

Elektrodirektheizungen haben keinen integrierten Wärmespeicher; eine Lastverschiebung basiert damit rein auf dem Nutzerverhalten. Speicheröfen können sehr gut zur Lastverschiebung eingesetzt werden. Die Erzeugung von Raumwärme mittels Nachtspeicheröfen erfolgt durch die Aufladung (Erhitzung) eines thermischen Speichers im Inneren des Ofens auf sehr hohe Temperaturen (über 500 °C) mit elektrischer Energie. Diese Aufheizung wird in den Nachtstunden (oder anderen Schwachlastzeiten) über einen meist eigens installierten Zähler durchgeführt und vom Energieversorgungsunternehmen zeitlich über Rundsteueranlagen gesteuert. Tagsüber wird mittels eines Gebläses die Wärme kontrolliert an den Raum abgegeben. Durch die hohe Speicherkapazität eignet sich diese Art der Heizung sehr gut für eine Lastverschiebung.

## **2.3 Verschiebezeitdauern**

Abhängig von der genauen Gerätenutzung in einem bestimmten Haushalt ergeben sich unterschiedliche Verschiebezeitdauern. Während etwa berufstätige Menschen während der Arbeitszeit vorwiegend nicht von zu Hause aus arbeiten, sind beispielsweise Eltern oder PensionistInnen meist längere Zeit im Haushalt und können Lasten somit einfacher verschieben.

Bezüglich der maximalen Verschiebezeitdauern sind in der Literatur vor allem auch Abschätzungen von Experten zu finden (siehe Tabelle 2-1), da bislang noch wenig aussagekräftige Feldtests durchgeführt wurden. Allerdings konnten in Feldtests in Bezug auf Kühl-/Gefriergeräte Zeitdauern von bis zu 5-7 h angegeben werden.<sup>2</sup> Weiters wird von Grein und Pehnt (2011) für reine Kühlgeräte eine maximale zeitliche Verschiebbarkeit von 30-60 min geschätzt.

**Tabelle 2-1: Maximale Verschiebezeitdauern in Stunden**

	Klobasa	Fraunhofer/WIK-Consult	Brauner et al.
<b>Waschmaschine</b>	24 h	24 h	24 h
<b>Wäschetrockner</b>	24 h	24 h	24 h
<b>Geschirrspülmaschine</b>	24 h	24 h	24 h
<b>Kühlgerät</b>	1 h	1 h	3-8 h
<b>Gefriergerät</b>	1 h	1 h	8 h
<b>E-Herd</b>	-	1 h	-

Quelle: Wik-Consult und Fraunhofer (2006)<sup>3</sup>, Klobasa (2007)<sup>4</sup>, Brauner et al. (2006)<sup>5</sup>

## 2.4 Durchschnittliche Einsatzzeiten der Elektrogeräte

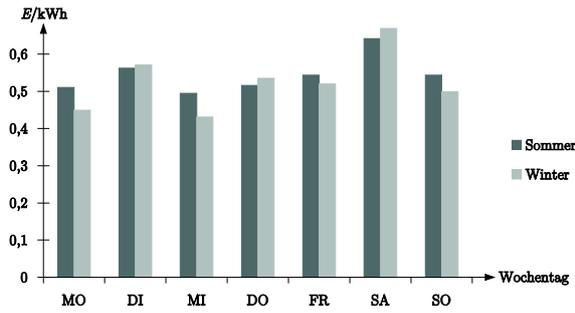
Während Kühl- und Gefriergeräte durchgehend zyklisch in Betrieb sind, werden Trockner, Waschmaschinen und Geschirrspüler nur nach Bedarf eingesetzt. Neben den täglichen durchschnittlichen österreichischen Einschalthäufigkeiten der angeführten Elektrogeräte, die in Abschnitt 3 behandelt werden, sind vor allem die Einschalthäufigkeiten über eine gesamte Woche bei der Potenzialbestimmung zu beachten. In Essl (2012) kann eine Auswertung dieser wöchentlichen, durchschnittlichen Einschalthäufigkeiten gefunden werden, die aus den Rohdaten von Wegscheider-Pichler (2008) ermittelt wurden. In Abbildung 2-1 bis Abbildung 2-4 werden die täglichen Energieverbräuche einzelner Geräte dargestellt. Die größte Abweichung kann hierbei beim Wäschetrockner gesehen werden, wobei aber auch angemerkt werden muss, dass aufgrund der geringen Anzahl an Wäschetrocknern in der Studie die Schwankungsbreite der Daten größer ist. Bei Wäschetrocknern ist markant, dass sie vor allem in den Wintermonaten eingesetzt werden.

<sup>2</sup> Vgl. Ringelstein et al. (2008), Seite 6.

<sup>3</sup> Vgl. Wik-Consult und Fraunhofer (2006), Seite 94.

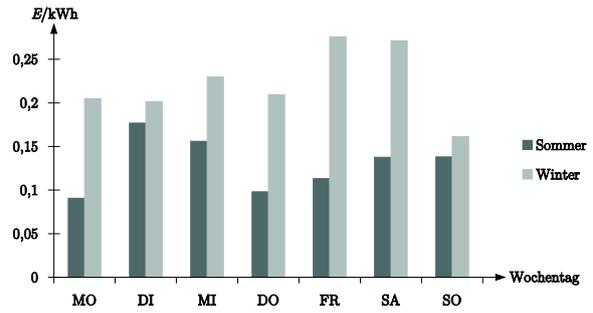
<sup>4</sup> Vgl. Klobasa (2007), Seite 84.

<sup>5</sup> Vgl. Brauner et al. (2006), Seite 30.



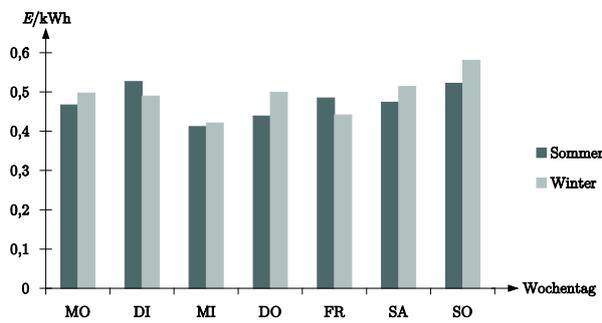
**Abbildung 2-1: Verbrauch einer durchschnittlichen Waschmaschine eines österreichischen Haushaltes**

Quelle: Essl (2012)



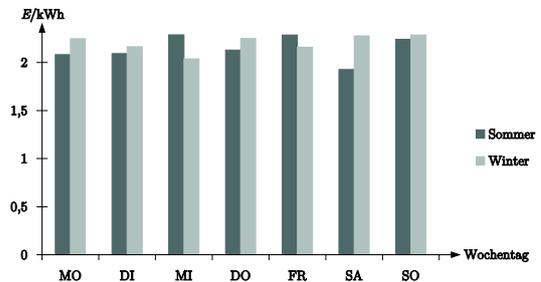
**Abbildung 2-2: Verbrauch eines durchschnittlichen Wäschetrockners eines österreichischen Haushaltes**

Quelle: Essl (2012)



**Abbildung 2-3: Verbrauch einer durchschnittlichen Geschirrspülmaschine eines österreichischen Haushaltes**

Quelle: Essl (2012)



**Abbildung 2-4: Verbrauch einer durchschnittlichen elektrischen Warmwasserbereitung eines österreichischen Haushaltes**

Quelle: Essl (2012)

### 3 Berechnung des technischen Lastverschiebungspotenzials

Christian Elbe, Ernst Schmutzner, Simon Moser

#### 3.1 Methodik

Zur Ermittlung des Lastverschiebungspotenzials werden die Daten aus dem vorherigen Abschnitt entnommen. Die Vorgangsweise zur Berechnung des Lastverschiebungspotenzials ist grundsätzlich bei allen Elektrogeräten ähnlich und geschieht, wenn nicht anders angegeben, nach folgendem Schema:

1. Berechnung des Gesamtstromverbrauchs eines bestimmten Elektrogerätes  $W_{Ges,EG}$  innerhalb Österreichs über die Anzahl der Haushalte  $n_{HH}$  und dem Durchschnittsverbrauch je Haushalt und Jahr  $\bar{W}_{HH,EG}$  bei dem entsprechendem Elektrogerät:

$$W_{Ges,EG} = n_{HH} \cdot \bar{W}_{HH,EG}$$

2. Anschließend wird, wenn notwendig, der relevante Anteil des Gesamtstromverbrauchs zur Lastverschiebung  $W_{LV,EG}$ , der dem zu verschiebenden Prozess zuzuordnen ist, berechnet. Dabei wird der Anteil des lastverschiebungsrelevanten Prozesses mit  $k_{EG}$  bezeichnet.

$$W_{LV,EG} = k_{EG} \cdot W_{Ges,EG}$$

3. Im letzten Schritt wird das technische Lastverschiebungspotenzial bestimmt, das innerhalb einer Stunde abgerufen werden kann.
  - a. Für über einen Tag gleichverteilt genutzte Elektrogeräte (beispielsweise Kühlgeräte) wird der zur Lastverschiebung relevante Gesamtstromverbrauch  $W_{LV,EG}$  auf eine konstante Durchschnittsleistung (Bandlast  $\bar{P}_{LV,EG}$ ) über ein Jahr umgerechnet:

$$\bar{P}_{LV,EG} = \frac{W_{LV,EG}}{8760 h}$$

Die durchschnittliche Einschaltzeitdauer  $\bar{t}_{Ein}$  eines Elektrogerätes beträgt bei einer angenommenen Leistungsaufnahme eines einzelnen Elektrogerätes von  $\bar{P}_{EG}$  und einer Anzahl von  $n_{EG}$  Elektrogeräten und berechnet sich mittels der Bandlast  $\bar{P}_{LV,EG}$ :

$$\bar{t}_{Ein} = \frac{\bar{P}_{LV,EG}}{\bar{P}_{EG} \cdot n_{EG}} \cdot 24h$$

- b. Bei Elektrogeräten mit anderen Verteilungen ( $p$ ) der Einschaltzeiten wird der Energieverbrauch pro Tag  $W_{LV,EG}$  mit dem jeweiligen Verteilungsfaktoren, die einem durchschnittlichen Verbrauchswert entsprechen, verwendet. Die Leistung, die innerhalb einer Stunde bezogen  $P_{EG,h}$  wird, wird mit der jeweiligen Einschaltverteilung  $p_h$  multipliziert:

$$P_{LV,EG,h} = \frac{W_{LV,EG}}{365d} \cdot p_h$$

### 3.2 Kennzahlen zum Einsatz der Geräte in Österreich

Die Zahlen zur Berechnung des Verschiebepotenzials im folgendem Abschnitt stammen, wenn nicht anderes angegeben, aus dem Strom- und Gastagebuch von Strasser (2013). Werte, die nicht aus dem publizierten Strom- und Gastagebuch entnommen werden konnten, wurden selbstständig aus Rohdaten, die von der E-Control zur Verfügung gestellt wurden, berechnet.

Die verwendeten, durchschnittlichen, über den Tag verteilten Verbrauchswerte in folgenden Abschnitten stammen aus den Messdaten von Einfalt et al. (2012), die diese von 43 oberösterreichischen Haushalten in jeweils zwei Messzeiträumen im Sommer bzw. Winter zu jeweils 14 Tagen ermittelten. Diese Werte können jedoch nur als Richtwert für Gesamtösterreich dienen, d.h. es wird davon ausgegangen, dass die durchschnittlichen Verbrauchswerte von Strasser (2013) eine bessere Abschätzung des tatsächlichen Lastverschiebungspotenzials erlauben.

### 3.3 Lastverschiebung durch Auswählen des Startzeitpunkts

Elektrogeräte, die einen bestimmten Prozess durchlaufen, wie etwa Waschmaschinen, können nicht zu einem beliebigen Zeitpunkt während des Prozesses abgeschaltet werden. Zum einen muss beispielsweise beim Waschen ein bestimmter Temperaturverlauf eingehalten werden, um die Wäsche optimal zu säubern. Zum anderen ist es ohne manuelles Zutun eines Nutzers auch technisch nicht einfach zu bewerkstelligen, die Waschmaschine zu einem bestimmten Zeitpunkt zu stoppen. Aus diesem Grund können nicht Einzelprozesse, sondern nur geplante Startzeitpunkte der unten angeführten Elektrogeräte zeitlich verschoben werden. Bei neueren Elektrogeräten ist dies beispielsweise durch einen manuell einstellbaren, verzögerten Start möglich. Der Verschiebezeitraum kann dabei durchaus 24 Stunden und mehr betragen, wobei das verfügbare Lastreduktionspotenzial mit längeren Verschiebezeiträumen absinkt. Wenn der Verschiebezeitraum beispielsweise 24 Stunden beträgt, ist eine Leistungsreduktion nicht für 24 Stunden möglich, sondern nur zum gewählten Verschiebezeitpunkt. Die Zeitdauer der Leistungsreduktion entspricht dabei in etwa dem Anteil der Einschaltzeitdauer des jeweiligen Elektrogerätes in der dessen maximale Leistung auftritt.

### 3.3.1 Waschmaschine

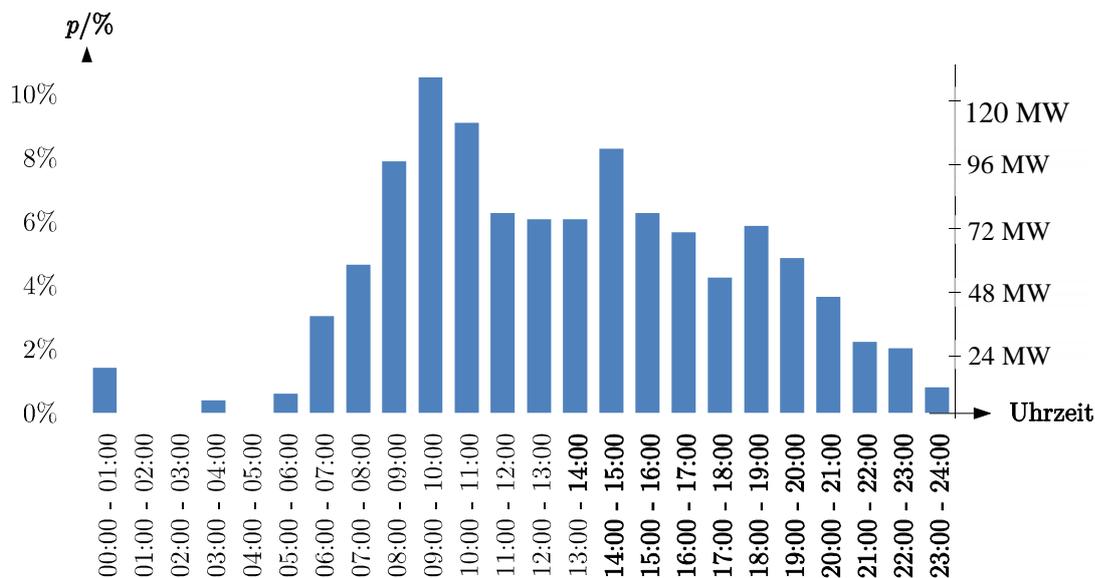
Üblicherweise tritt die höchste Leistungsaufnahme (Heizphase) zu Beginn (nach spätestens 5 Minuten) nach Start des Waschvorgangs auf (nach Befüllung der Trommel mit Wasser), was bei einer eventuellen Lastverschiebung mit berücksichtigt werden müsste. In Tabelle 3-1 können die Kennzahlen, die zur Ermittlung des Verschiebepotenzials herangezogen wurden, entnommen werden.

**Tabelle 3-1: Leistungsdaten zur Waschmaschinennutzung in Österreich (2012)**

Kennzahl	Wert	Bemerkung
Anzahl aller Haushalte in Österreich ( $n_{HH}$ )	3.660.867	
Gesamtstromverbrauch Waschmaschine ( $W_{Ges}$ )	520 GWh/a	142 kWh/Haushalt
Lastverschiebungsrelevanter Prozess ( $k_{EG}$ )	80%	Annahme Heizphase
Anteil Heizprozess ( $W_{LV}$ )	420 GWh/a	1.140 MWh/d

Quelle: Strasser (2013)

Abbildung 3-1 zeigt die Verteilung der Waschgänge an einem Durchschnittstag. Ordnet man der Verteilungsfunktion Leistungswerte zu, erhält man das Lastverschiebungspotenzial im Tagesverlauf. Anhand dieser Verteilung ist erkennbar, dass sich die größten Lastverschiebepotenziale zwischen 8 und 19 Uhr ergeben. Dabei beträgt das technische, maximale Potenzial  $P_{LV,h}$ , das zwischen 9 und 10 Uhr auftritt, rund 10,5 % oder rund 120 MW. Das Minimum zwischen 8 und 19 Uhr beträgt rund 4,5 % bzw. rund 51 MW.



**Abbildung 3-1: Verteilung der Anzahl der Waschgänge (typische Einsatzzeiten) an einem Durchschnittstag**

Quelle: Einfalt et al. (2012), Essl (2012)

Der Ausgangszeitpunkt für die Betrachtung ist der Zeitpunkt der Ladung der Waschmaschine. Für Waschmaschinen wird nur ein Lastreduktionspotenzial attestiert, da die Last von diesem anfänglichen Zeitpunkt nach hinten verschoben wird. Eine Vorverschiebung der Last, also ein Lasterhöhungspotenzial, ist nicht möglich, da eine ungeladene Waschmaschine nicht zur Durchführung zur Verfügung steht.

### 3.3.2 Wäschetrockner

Wie bei der Waschmaschine ist beim Wäschetrockner eine Verschiebung des Startzeitpunkts möglich, aber keine Unterbrechung des laufenden Prozesses. Beim Wäschetrockner ist die Leistungsaufnahme über die Laufzeit überwiegend konstant, da die Trocknung kontinuierlich stattfindet. In der Aufheizphase wird die maximale Leistung angefordert, danach bis kurz vor Programmende ein wenig reduziert.

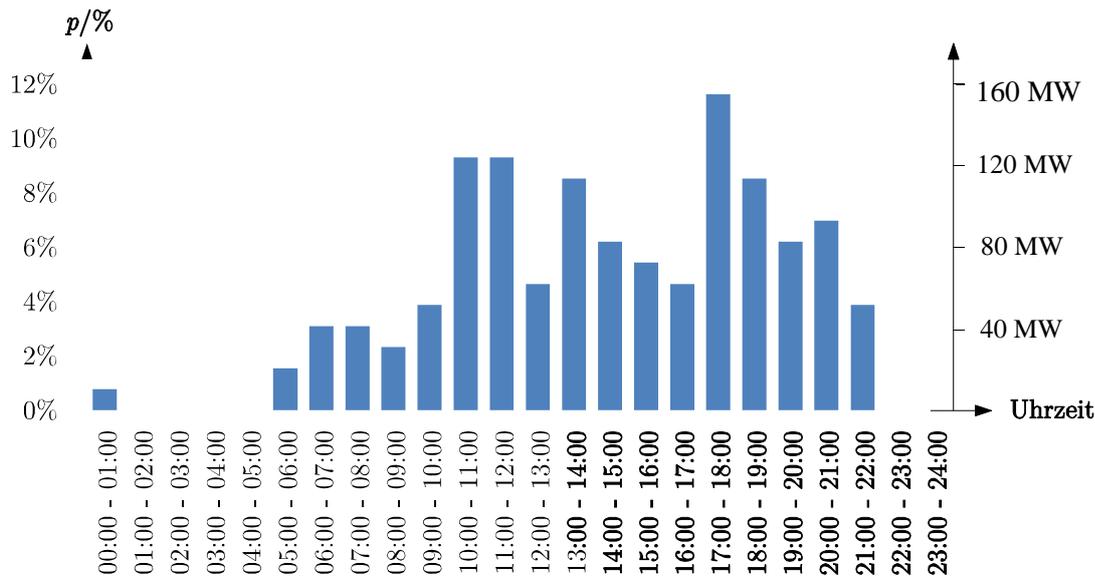
**Tabelle 3-2: Leistungsdaten zur Wäschetrocknernutzung in Österreich (2012)**

Kennzahl	Wert	Bemerkung
Anzahl aller Haushalte in Österreich ( $n_{HH}$ )	3.660.867	
Gesamtstromverbrauch Wäschetrockner ( $W_{Ges}$ )	520 GWh/a	143 kWh/Haushalt
Lastverschiebungsrelevanter Prozess ( $k_{EG}$ )	95 %	Annahme
Anteil Heizprozess ( $W_{LV}$ )	500 GWh/a	1360 MWh/d

Quelle: Strasser (2013)

Der Anteil der Heizenergie am Gesamtenergieverbrauch wird bei Wäschetrocknern mit 95 % angenommen.

Abbildung 3-2 zeigt die Verteilung der Trockengänge an einem Durchschnittstag. Ähnlich wie bei der Waschmaschine sind auch hier zwischen rund 9 und 22 Uhr die meisten Wäschetrockner eingeschaltet. Ordnet man diesen Wahrscheinlichkeiten Leistungswerte zu, erhält man das Lastverschiebungspotenzial im Tagesverlauf. Im genannten Betrachtungszeitraum liegt das maximale technische Potenzial  $P_{LV,h}$ , das zwischen 9 und 22 Uhr auftritt, bei rund 12 % oder bei rund 160 MW, während das Minimum rund 4 % bzw. rund 55 MW beträgt.



**Abbildung 3-2: Verteilung der Anzahl der Trockengänge (typische Einsatzzeiten) an einem Durchschnittstag**

Quelle: Einfalt et al. (2012), Essl (2012)

Der Ausgangszeitpunkt für die Betrachtung ist der Zeitpunkt der Ladung des Wäschetrockners. Für Wäschetrockner wird nur ein Lastreduktionspotenzial attestiert, da die Last von diesem anfänglichen Zeitpunkt nach hinten verschoben wird. Eine Vorverschiebung der Last, also ein Lasterhöhungspotenzial, ist nicht möglich, da ein ungeladener Wäschetrockner nicht zur Durchführung zur Verfügung steht.

### 3.3.3 Geschirrspülmaschine

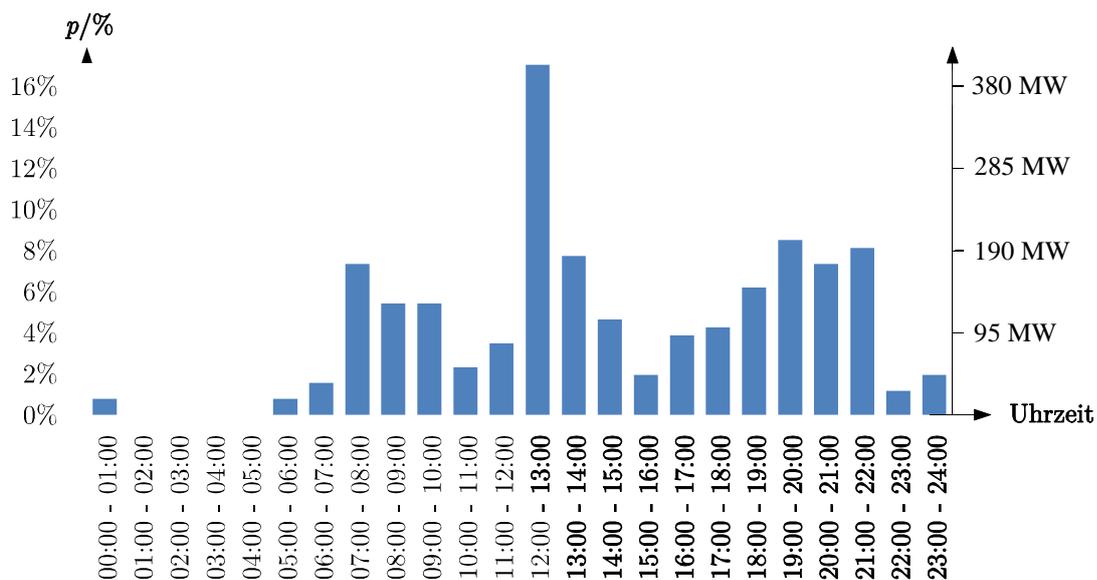
Der Geschirrspüler ist ein weiteres Haushaltsgerät mit fixem Programmablauf, das nicht unterbrochen werden sollte. Charakterisierend für den Stromverbrauch bzw. Leistungsaufnahme sind hier die beiden Heizphasen, einmal im aktiven Spülvorgang, ein zweites Mal beim Klarspülgang mit anschließendem Trocknen.

**Tabelle 3-3: Leistungsdaten zur Spülmaschinennutzung in Österreich (2012)**

Kennzahl	Wert	Bemerkung
Anzahl aller Haushalte in Österreich ( $n_{HH}$ )	3.660.867	
Gesamtstromverbrauch Geschirrspülmaschine ( $W_{Ges}$ )	960 GWh/a	262 kWh/Haushalt
Lastverschiebungsrelevanter Prozess ( $k_{EG}$ )	90 %	Annahme: Laugenheizung und Trocknung
Anteil Heizprozess ( $W_{LV}$ )	860 GWh/a	2360 MWh/d

Quelle: Strasser (2013)

Abbildung 3-3 zeigt die Verteilung der Spülgänge an einem Durchschnittstag. Wie man erkennen kann, wird der Geschirrspüler am häufigsten zur Mittagszeit, aber auch morgens bzw. abends verwendet. Dies spricht dafür, dass er meist direkt nach dem Essen eingeschaltet wird. Eine Verschiebung des Einschaltzeitpunktes auf späte Nacht- oder Morgenstunden ist bei diesem Elektrogerät durchaus möglich. Ordnet man der Wahrscheinlichkeit Leistungswerte zu, erhält man das Lastverschiebungspotenzial im Tagesverlauf. Die durchschnittliche Haupteinschaltzeit liegt demnach zwischen 7 und 22 Uhr, während ein markantes Maximum zwischen 12 und 13 Uhr liegt, das rund 17 % bzw. 400 MW ( $P_{LV,h}$ ) beträgt. Das Minimum in dem angegebenen Zeitraum ist hingegen nur 2 % bzw. rund 50 MW und tritt am Nachmittag auf.



**Abbildung 3-3: Verteilung der Anzahl der Geschirrspülgänge (typische Einsatzzeiten) an einem Durchschnittstag**

Quelle: Einfalt et al. (2012), Essl (2012)

Der Ausgangszeitpunkt für die Betrachtung ist der Zeitpunkt der Ladung des Geschirrspülers. Für Geschirrspüler wird nur ein Lastreduktionspotenzial attestiert, da die Last von diesem anfänglichen Zeitpunkt nach hinten verschoben wird. Eine Vorverschiebung der Last, also ein Lasterhöhungspotenzial, ist nicht möglich, da ein ungeladener Geschirrspüler nicht zur Durchführung zur Verfügung steht.

### 3.4 Lastverschiebung durch Zu- oder Abschalten des Gerätes

Bei Elektrogeräten, die keinen bestimmten Prozess durchlaufen, sondern beispielsweise die Temperatur in einem bestimmten Bereich konstant halten wollen, ist sowohl ein Zu- als auch Abschalten des Elektrogerätes möglich. Voraussetzung dabei muss jedoch sein, dass der Prozess während der Lastverschiebung innerhalb seiner erlaubten Grenzen bleibt, also beispielsweise die Temperatur nicht außerhalb des Toleranzbereichs liegt. Eine solche Regelung ist in den meisten Fällen nur automatisiert durchführbar. Im Folgenden sind Elektrogeräte aufgeführt, bei denen ein Zu- und Abschalten möglich wäre.

### 3.4.1 Kühlgeräte

Wie bereits erwähnt, ist bei der Lastverschiebung von Kühlgeräten, die Innenraumtemperatur der ausschlaggebende Faktor, der sowohl die Einschaltdauer als auch die Ausschaltdauer begrenzt. Die Innenraumtemperatur muss innerhalb des erlaubten Toleranzbereiches bleiben, um eine Qualitätsbeeinträchtigung der Lebensmittel zu vermeiden.

Kühlgeräte sind zyklisch in Betrieb, um ein vorgegebenes Temperaturband nicht zu verlassen. Der Einschaltzyklus ist von Gerät zu Gerät verschieden und beträgt im Mittel ca. 25-40 % eines Gesamtzyklus.<sup>6</sup> Über das genaue Verhalten von Kühl- und Gefriergeräten mittels Modellbildung und Einbindung in das Demand-Side-Management gibt es bereits zahlreiche Arbeiten: Stadler et al. (2008), Bendel et al. (2006), Kamper (2009), Bigler et al. (2011), Kremers et al. (2012), Sonnenschein und Lünsdorf (2009), Hinrichs et al. (2009) und Hinrichs (2008).

Werden mehrere 100 Kühlgeräte als gesamte Einheit betrachtet, können diese als Bandlast mit konstanter Leistungsaufnahme betrachtet werden, da die Einschaltzeitpunkte und Einschaltzeitdauern zufällig verteilt sind. So hat bereits der Summenlastgang von beispielsweise 500 Kühlgeräten eine Standardabweichung von nur mehr rund 10 % des Mittelwertes.<sup>7</sup>

Die Leistungsdaten der Kühlschränke in Österreich sind in Tabelle 3-4 zu finden.

**Tabelle 3-4: Leistungsdaten zu Kühlschränken in Österreich (2012)**

Kennzahl	Wert	Bemerkung
<b>Anzahl aller Haushalte in Österreich (<math>n_{HH}</math>)</b>	3.660.867	
<b>Gesamtstromverbrauch Kühlgeräte (<math>W_{Ges}, W_{LV}</math>)</b>	1.160 GWh/a	316 kWh/Haushalt
<b>Anzahl der Kühlgeräte (<math>n_{Kühlg.}</math>)</b>	4.613.167	
<b>Durchschnittsleistung pro Kühlgerät (<math>\bar{P}_{Kühlg.}</math>)</b>	70 W	(vgl. Stadler, et al., 2008, p. 3)
<b>Spitzenleistung aller Kühlgeräte (<math>\hat{P}_{Kühlg.}</math>)</b>	320 MW	70 W je Kühlgerät
<b>Durchschnittsleistung aller Kühlgeräte (<math>\bar{P}_{LV}</math>)</b>	130 MW	(8.760 h)
<b>Durchschnittliche, tägliche Einschaltzeitdauer (<math>\bar{t}_{Ein}</math>)</b>	9,8 h/d	70 je Kühlgerät

Quelle: Strasser (2013)

#### 3.4.1.1 Lastreduktion

Bei einer gewünschten Lastreduktion können nur die eingeschalteten Kühlgeräte zur Leistungsverringerung beitragen. Damit nicht alle Geräte gleichzeitig abschalten und einen plötzlichen Leistungseinbruch verursachen, wird zusätzlich zum Steuersignal auch ein „Spread“ (Zeitspanne) übermittelt in der sich die Elektrogeräte zeitlich randomisiert abschalten. Die typischen Zeitdauern, die aus einer Simulation von 5.000 Kühlgeräten

<sup>6</sup> Vgl. Brauner et al. (2006), Seite 31.

<sup>7</sup> Vgl. Sonnenschein und Lünsdorf (2009), Seite 5.

ermittelt wurden<sup>8</sup> sind in Tabelle 3-5 zu finden. Diese einfache Art der Steuerung der Kühlschränke wird auch als „*Direct Storage Control*“ bezeichnet.

**Tabelle 3-5: Zeitdauer für bestimmte Lastreduktion in Abhängigkeit vom Spread – Direct Storage Control**

Spread in min	Lastreduktion in % für bestimmte Zeitdauer in min					
	100 %	90 %	75 %	50 %	25 %	10 %
<b>0</b>	0	11	23	61	97	111
<b>10</b>	0	10	23	60	97	112
<b>20</b>	0	3	23	59	96	112
<b>30</b>	0	0	21	57	94	112
<b>40</b>	0	0	16	55	93	110
<b>50</b>	0	0	3	53	90	109
<b>60</b>	0	0	0	48	87	107

Quelle: Stadler et al. (2008)<sup>9</sup>

Soll eine Lastreduktion über einen längeren Zeitraum erfolgen, so ist ein vorheriges Einschalten der Kühl- und Gefriergeräte notwendig, um die Innenraumtemperatur zu reduzieren. Das mit „*Timed Load Reduction*“ bezeichnete Steuerungskonzept übermittelt zum Steuersignal auch eine „*Lead time*“, in der sich die Geräte einschalten und die Innenraumtemperatur reduzieren, um dann später länger ausgeschaltet bleiben zu können. Allerdings sei bei dieser Methode, die längere Ausschaltzeitdauern ermöglicht, erwähnt, dass vor der Leistungsabsenkung eine Leistungserhöhung in Kauf genommen werden muss. Die Ergebnisse der vorher erwähnten Simulation bezüglich der genauen Zeitdauern können in Tabelle 3-6 gefunden werden.

**Tabelle 3-6: Zeitdauer für bestimmte Lastreduktion in Abhängigkeit der Lead Time – Timed Load Reduction**

Lead Time in min	Lastreduktion in % für bestimmte Zeitdauer in min						
	100 %	90 %	75 %	50 %	25 %	10 %	>0 %
<b>10</b>	39	44	47	51	55	58	60
<b>20</b>	47	52	57	75	85	90	94
<b>30</b>	47	52	57	76	112	118	120
<b>40</b>	47	52	57	76	112	121	128
<b>50</b>	47	52	57	76	112	121	128

Quelle: Stadler et al. (2008)<sup>10</sup>

<sup>8</sup> Vgl. Stadler et al. (2008), Seite 3.

<sup>9</sup> Vgl. Stadler et al. (2008), Seite 5.

<sup>10</sup> Vgl. Stadler et al. (2008), Seite 6.

Wird die technisch etwas aufwändigere „*Timed Load Reduction*“ und die Übermittlung eines Spread außer Acht gelassen, lassen sich in Österreich somit unter Einbeziehung der Ergebnisse aus Tabelle 3-5 Lastreduktionspotenziale von rund 120 MW bis 10 MW abhängig von einem Zeitraum von rund 10 Minuten bis zu 2 Stunden angeben.

### 3.4.1.2 Lasterhöhung

Eine Lasterhöhung durch Kühlgeräte ist nach oben erwähntem Prinzip möglich, wobei die maximale Einschaltzeitdauer durch die minimale Innentemperatur im Kühlgerät begrenzt wird. Nach Elbe und Schmutzer (2013) beträgt die typische Einschaltzeitdauer für ein Kühl- bzw. Gefriergerät ungefähr zwischen 10 bis 30 Minuten. Nur bei rund 5 % der Geräte ist die Einschaltzeitdauer kleiner als 10 Minuten. Einschaltzeitdauern von über 60 Minuten treten hingegen nur bei wenigen Kühl- und Gefriergeräten (<5 %) auf. Diese Werte können als maximale Einschaltzeitdauern aufgefasst werden. Zur Berechnung des Lasterhöhungspotenzials wird angenommen, dass in den ersten 5 Minuten rund 95 %, zwischen 6 und 15 Minuten rund 60 % und für die restliche Zeit auf die volle Stunde rund 10 % der sich außer Betrieb befindlichen Kühlgeräte für eine Lasterhöhung verwenden lassen.

Werden alle Kühlgeräte gleichzeitig eingeschaltet, so kann bei einer Durchschnittslast von 130 MW von einer Spitzenleistung von rund 320 MW österreichweit ausgegangen werden. Dies entspricht einer maximalen Lasterhöhung von rund 190 MW.

Allgemein hat eine Steuerung eines Verbundes von Kühlgeräten den Nachteil, dass diese von dem asynchronen, zufälligen Betrieb in einen synchronen Betrieb übergehen. Dadurch können Oszillationen entstehen, die 5 bis 10 Stunden andauern.<sup>11</sup> Um diese zu vermeiden ist auch hier eine Steuerungsautomatik notwendig, die wieder randomisierte Einschaltzeitpunkte hervorrufen soll.

### 3.4.2 Gefriergeräte

Für Gefriergeräte gelten die gleichen Prinzipien wie bei Kühlgeräten. Durch ihre meist größere Speicherkapazität, eine größere Temperaturspreizung der erlaubten Innentemperatur und die bessere Isolierung haben sie insgesamt ein größeres Lastreduktionspotenzial als Kühlgeräte. Das heißt, dass die angegebenen Zeitdauern in Tabelle 3-5 und Tabelle 3-6 für Gefriergeräte durchaus ein Vielfaches der Werte betragen können. In Tabelle 3-7 sind die Leistungsdaten zu Gefriergeräten in Österreich angegeben.

Für eine Lastreduktion können im Extremfall Gefriergeräte laut Herstellerangaben für 15-30 h ausgeschaltet bleiben, Gefriertruhen sogar bis zu 50 h.<sup>12</sup> Dann liegt die Luftinnentemperatur jedoch bereits bei -9 °C. Da die Gefrierguttemperatur laut Herstellern bei zumindest unter -18 °C liegen sollte, sind geringere Ausschaltzeiten anzunehmen. Laut Brauner et al. (2006) können Gefriergerät bis zu 8 h abgeschaltet werden. Es ist davon auszugehen, dass Gefriergeräte für zumindest eine Stunde ohne Überschreitung der Grenztemperatur abgeschaltet bleiben können. Vereinfacht wird zur Berechnung des Lastreduktionspotenzials angenommen, dass in der ersten Stunde rund 90 % aller Kühlgeräte und anschließend bis zur vierten Stunde rund 20 % aller Kühlgeräte zur Verfügung stehen.

---

<sup>11</sup> Vgl. Hinrichs et al. (2009), Seite 4.

<sup>12</sup> Vgl. Groiß (2008), Seite 66.

Das Lasterhöhungspotenzial ist aufgrund der ähnlichen, typischen Einschaltzeitdauern ident zu den beschriebenen Angaben der Kühlgeräte (Elbe und Schmutzner, 2013) und unterscheidet sich somit nur von der zur Verfügung stehenden Gesamtleistung. Werden alle Gefriergeräte gleichzeitig eingeschaltet, so kann bei einer Durchschnittslast von 70 MW von einer Spitzenleistung von rund 210 MW ausgegangen werden, was einer maximalen Lasterhöhung von rund 140 MW entspricht. Diese maximale Last kann allerdings nur wenige Minuten gehalten werden und sinkt dann rapide ab, wie bereits bei den Kühlgeräten beschrieben.

**Tabelle 3-7: Leistungsdaten zu Gefriergeräten in Österreich (2012)**

Kennzahl	Wert	Bemerkung
Anzahl aller Haushalte in Österreich ( $n_{HH}$ )	3.660.867	
Gesamtstromverbrauch Gefriergeräte ( $W_{Ges}, W_{LV}$ )	611 GWh	167 kWh/Haushalt
Anzahl der Gefriergeräte ( $n_{Gefrierger.}$ )	2.361.663	
Spitzenleistung aller Gefriergeräte ( $\hat{P}_{Gefrierger.}$ )	210 MW	90 W je Gefriergerät
Durchschnittsleistung aller Gefriergeräte ( $\bar{P}_{LV}$ )	70 MW	611.000 MWh/8760 h
Durchschnittliche, tägliche Einschaltzeitdauer ( $\bar{t}_{Ein}$ )	7,9 h/d	90 W je Gefriergerät

Quelle: Strasser (2013)

### 3.4.3 Warmwasser

Da sich bei teilsolaren Anlagen und Untertischwarmwasserspeichern nur sehr begrenzt eine Lastverschiebung bewerkstelligen lässt, werden im Folgenden nur Haushalte betrachtet, die ausschließlich mit elektrischem Warmwasserspeicher ausgestattet sind. Zudem wird dabei noch berücksichtigt, dass bereits einige Haushalte über einen zweiten Stromzähler verfügen, der vorwiegend per Rundsteuergerät geschaltet wird, also bereits eine Lastverschiebung durchgeführt wird. Deshalb werden im Folgenden nur Haushalte betrachtet, die über nur einen Stromzähler verfügen. Dafür wird zunächst der Energieanteil der Warmwasserbereitungsanlagen ermittelt.

**Tabelle 3-8: Leistungsdaten zur elektrischen Warmwasserbereitung in Österreich (2012)**

Kennzahl	Wert	Bemerkung
Anzahl Haushalte ausschließlich mit elektr. Warmwasserbereitung (ohne 2. Zähler)	403.681	
Gesamtstromverbrauch elektrische Warmwasserbereitung ( $W_{LV}$ )	400 GWh/a	992 kWh/a
Durchschnittsleistung ( $\bar{P}_{LV}$ )	45 MW	400.000 MWh/8760 h
Spitzenleistung ( $\hat{P}_{Warmw.}$ )	807 MW	2 kW je Boiler
Durchschnittliche, tägliche Einschaltzeitdauer ( $\bar{t}_{Ein}$ )	1,36 h/d	

Quelle: Strasser (2013)

Wird davon ausgegangen, dass sich die elektrischen Warmwasserspeicher als Bandlast verhalten, so haben diese im Mittel eine Leistungsaufnahme von rund 45 MW. Unter dieser Annahme beträgt das Lastreduktionspotenzial rund 45 MW. Da viele elektrische Warmwasserbereitungsanlagen mit einem unterbrechbaren Tarif betrieben werden, ist dieses Potenzial nur zu bestimmten Zeitpunkten abrufbar. Zudem kann dieses auch durchaus größer sein.

Zur Abschätzung des Lasterhöhungspotenzials wird angenommen, dass rund 50 % des durchschnittlichen Tagesverbrauchs aller elektrischer Warmwasserbereitungsanlagen, also rund 540 MWh einmalig eingespeist werden können und sich die Leistungskurve wie eine e-Funktion verhält. Damit ergibt sich der Lastverlauf laut Tabelle 3-9.

**Tabelle 3-9: Lasterhöhungspotenzial bei elektrischer Warmwasserbereitung**

Zeitdauer in min	0-5	6-15	16-59	60-240
Anteil der Spitzenleistung	95 %	75 %	46 %	7 %

Quelle: Zuvor getroffene Abschätzung einer e-Funktion für 50% des durchschnittlichen Tagesverbrauchs

Da davon ausgegangen werden kann, dass die Nutzung des Warmwasser größtenteils zu den Morgen- und Abendstunden erfolgt, wird in diesen Zeiträumen eine höhere Durchschnittsleistung auftreten, was zu einer Reduktion des Lasterhöhungs-, bzw. zu einer Erhöhung des Lastreduktionspotenzials führt. Da die elektrische Warmwasserbereitung in den letzten Jahren rückläufig ist und beispielsweise durch solare Warmwasserbereitung ersetzt wird, ist das Gesamtpotenzial im Sinken begriffen.

### 3.4.4 Elektrische Raumwärme

Basis für die folgenden Unterpunkte ist die online verfügbare Übersicht der Statistik Austria zu „Heizungen 2011/2012 nach Bundesländern, verwendetem Energieträger und Art der Heizung“ (erstellt am 17.6.2013).

Die Statistik differenziert bei der elektrischen Raumwärme zwischen „Einzelöfen“, „Elektroheizung (fest verbunden)“ und „Zentral- und gleichwertige Heizung“. Wärmepumpen werden in der Kategorie Wärmepumpen/Solar getrennt ausgewiesen. Es ist festzuhalten, dass es sich ausschließlich um Hauptwohnsitzwohnungen handelt.

Für die elektrische Raumwärme im Allgemeinen gilt die Restriktion, dass Lastverschiebung nur in jenen Zeiten möglich ist, zu denen das Heizsystem in Betrieb ist. Dies trifft einerseits und primär saisonal zu, aber auch im Fall z.B. milder Winter, die geringere Leistungen/Energiemengen erfordern.

#### a) Einzelöfen

Es ist anzunehmen, dass Einzelöfen in Abgrenzung zu den „fest verbundenen“ Öfen über den Hauptstromzähler laufen. Es wird kein Lastverschiebungspotenzial attestiert, außerdem ist in oben zitierte Statistik eine erhebliche Reduktion der Heizungsart festzustellen (Halbierung im Zeitraum 2003/2004 bis 2011/2012), was für ein beispielhaftes Zieljahr 2020 ein minimales Potenzial ergibt.

### **b) Fest verbundene Elektrodirektheizung**

Ein Wärmebedarf von 120 kWh/m<sup>2</sup>/a wird als Durchschnittswert für eine schlecht isolierte Wohnung (für Einfamilienhäuser und Gebäude mit mehreren Wohnungen) angenommen. Bei 180 Heiztagen ergeben sich rund 0,67 kWh/m<sup>2</sup>/d, was bei 90 m<sup>2</sup> 60 kWh/d und damit einer Dauerlast (Anmerkung: nicht einer Maximallast) von 2,5 kW entspricht.

Die fest verbundenen Elektroheizungen müssen in Direktheizungen und Nachtspeicherheizungen aufgeteilt werden. Hier wird Anzahl von 74.000 Direktheizungen angenommen. Laut oben angeführter Übersicht der Statistik Austria ist mit einem langfristigen Rückgang der Direktheizungssysteme zu rechnen. Auf Basis einer Abschätzung der Entwicklung in den vergangenen 10 Jahren wird mit einem Potenzial von 60.000 Heizungen gerechnet.

Lastreduktion: Zusammenfassend wird das Lastverlagerungspotenzial einer Elektrodirektheizung mit einem maximalen Durchschnittswert (mit hoher Varianz für den Einzelhaushalt) von 2,5 kW angegeben. Vereinfachend werden bis zu 15 Minuten 35 %, im Zeitraum 15-60 Minuten (Annahme: aufgrund der geringeren thermischen Trägheit etwa ein Drittel im Vergleich zur Wärmepumpe) 30 % und 0 % für den Zeitraum ab 1 h angenommen.

### **c) Fest verbundene Nachtspeicherheizung und Elektroheizboiler**

Die fest verbundenen Elektroheizungen müssen in Direktheizungen und Nachtspeicherheizungen aufgeteilt werden. Entsprechend der oben verwendeten Anzahl verbleiben etwa 90.000 Nachtspeicherheizungen. Hinzu kommen 52.000 elektrische „Zentral- und gleichwertige Heizungen“ (gesamt 142.000), weil sie hinsichtlich der Lastverschiebung eine vergleichbare Kombination aus Ladesystem und Speicher aufweisen. Um die Reduktion der Gesamtzahl an elektrisch betriebenen Heizsystemen bis 2020 abzubilden, wird von einem Potenzial von 100.000 Heizsystemen ausgegangen.

Während das Laden des Speichers in Niedriglastzeiten erfolgt, erfolgt die Entladung konstant. Daher müssen v.a. nachts deutlich höhere Ladeleistungen möglich sein. Es wird von einem Vierfachen (6 h vs. 24 h) ausgegangen und 10 kW pro Haushalt angenommen.

Lastsenkung: Aktuell werden diese Heizsysteme dann betrieben, wenn es sich um Zeiten mit geringen Kosten und geringen Netzlasten handelt. Zu diesen Zeiten wird keine Notwendigkeit einer Lastreduktion unterstellt bzw. ist diese bereits heute eingesetzt und entspricht dem Status Quo; es erscheint daher nicht zielführend, dieses Potenzial in einer Cost Curve widerzuspiegeln.

Lasterhöhung: Die meisten Nachtspeicherheizungen werden über einen Thermostat geregelt, der bei Zuschaltung solange Strom bezieht, bis ein bestimmtes Temperaturniveau erreicht ist. D.h. es ist tagsüber durch Laden des (restlichen) Speicherpotenzials ein (verringertes) Niveau der Zuschaltung möglich. Es wird mit einem Potenzial von 50 % im Zeitraum bis 15 Minuten und von 10 % im Zeitraum bis 60 Minuten gerechnet.

### **d) Wärmepumpen**

Biermayr et al. (2013) schätzt die Zahl der Wärmepumpen in Österreich, die für Raumheizungszwecke eingesetzt werden, mit derzeit rund 115.000 Stück. Oben zitierte Übersicht der Statistik Austria führt für 2011/2012 107.000 Heizsysteme in der Kategorie Wärmepumpe/Solar an. Während im Jahr 2011 rund 12.300 Heizungs-Wärmepumpen verkauft wurden, stieg die Anzahl auf rund 13.600 im Jahr 2012. Der Verband „Wärmepumpe Austria“ geht von Mindestwachstumsraten des Markts von 5 % aus (E-Mail-Auskunft des

Verbands). Bis 2020 könnten demnach jährlich 15.000 neue Wärmepumpen installiert werden, d.h. im Jahr 2020 könnte ein Potenzial von 230.000 Stück zur Verfügung stehen.

In einer Studie von Gaehmi (2013) wurde das Lastverschiebungspotenzial für rund 1.000 durchschnittliche österreichische Haushalte mit Wärmepumpe erhoben. Dabei wurde für den Monat Jänner für den Zeitraum zwischen 19 und 20 Uhr ein technisches Lastreduktionspotenzial von maximal 1,3 MW angegeben, wenn von einer maximalen Raumtemperaturspreizung von +/- 1 °C ausgegangen wird. Anzumerken ist, dass diese Leistung sehr stark mit der Außentemperatur korreliert und somit auch wesentlich geringer sein kann. Zur Illustrierung des ungefähren Verlaufs bei einer durchzuführenden Lastverschiebung wurden von Gaehmi (2013) die Referenzwerte mit dem modellierten Leistungsverlauf anhand eines Beispiels verglichen. In Tabelle 3-10 ist das daraus abgelesene, gerundete Potenzial in Bezug auf den angegebenen Referenzwert vorzufinden. Die Lastreduktion wurde dabei durch ein Preissignal, das um etwa 18:20 Uhr gesetzt wurde, eingeleitet. Auch hier muss angemerkt werden, dass der tatsächliche, genaue Verlauf der Leistungsreduktion von der Isolierung der Gebäudehülle, von der genauen Außentemperatur und vor allem auch von der eingesetzten Steuerung zur Realisierung des Lastverschiebungspotenzials abhängt. Zudem ist das genaue Potenzial auch abhängig von der Uhrzeit und hat sein Maximum zwischen 6 und 8 Uhr sowie 16 und 18 Uhr. Angemerkt muss dabei werden, dass der ausgewählte Regler im Modell nach dem Ende des Bereiches, in dem die Gesamtlast reduziert werden soll, eine sehr starke Fluktuation der Leistungskurve aller Wärmepumpen hervorruft. Vereinfachend wurde zur Berechnung des Leistungsreduktionspotenzials angenommen, dass sich der Lastverlauf entsprechend dem angeführten Beispiel verhält.

Aufgrund fehlender Studien zum Lasterhöhungspotenzial von Wärmepumpen in Österreich wurde vereinfachend angenommen, dass sowohl der Leistungsbedarf als auch der zeitliche Verlauf ident zu dem des Lastreduktionspotenzials ist. Somit wird ein Mindestpotenzial für die Lasterhöhung angegeben, das in Wirklichkeit höher liegen wird.

**Tabelle 3-10: Leistungsreduktionspotenzial von 1.000 Wärmepumpen in Haushalten. Anteil am Referenzwert.**

Zeit	18:30	18:40	18:50	19:00	19:10	19:20	19:30	19:40	19:50	20:00
Anteil	34 %	93 %	67 %	88 %	84 %	84 %	79 %	79 %	79 %	0 %

Quelle: Gaehmi (2013)

Zur Abschätzung des zukünftigen, verfügbaren Potenzials zur Lastverschiebung wurden folgende Werte angenommen:

**Tabelle 3-11: Leistungsdaten zu prognostizierten, zusätzlich installierten Wärmepumpen in Österreich bis zum Jahr 2020**

Kennzahl	Wert
<b>Lastverschiebungspotenzial per 1.000 Haushalte (modelliert)</b>	bis 1,3 MW

Quelle: Gaehmi (2013)

Zusammenfassend wird das Lastverlagerungspotenzial einer Wärmepumpe mit einem maximalen Durchschnittswert (mit hoher Varianz für den Einzelhaushalt) von 1,3 kW

angegeben. Steigende Jahresarbeitszahlen könnten das Potenzial senken, höhere Stückzahlen das Potenzial erhöhen. Vereinfachend werden bis zu 5 Minuten 35 %, im Zeitraum 5-15 und 15-60 Minuten 85 % und 0 % für den Zeitraum bis 4 Stunden angenommen. Da die Lastverschiebung für +1 °C und -1 °C Raumtemperatur gerechnet wird, ist das Potenzial zur Lasterhöhung und -senkung gleichermaßen anzuwenden.

## 4 Meta-Analyse von Feldtests zur Lastverschiebung

Simon Moser

Bezüglich des in Abschnitt 6 zu eruiierenden tatsächlichen Lastverschiebungspotenzials ist erstens interessant, wie Endkunden zur Tarifwahl, d.h. zu einer Teilnahme am Feldtest bewegt werden konnten, und zweitens, wie hoch die erzielten Lastverschiebungen waren. In Feldversuchen werden die Lastverschiebungen stets relativ umfangreich analysiert; welche die gesetzten Anreize waren, die den Kunden zur Teilnahme am Feldtest bewegen haben, wird in deutlich geringerem Umfang klargelegt bzw. oftmals weggelassen. Gerade diese Informationen wären interessant, um zu eruieren, wie eine Teilnahme an Tarifmodellen oder Lastverschiebungsprogrammen im realen Umfeld gestaltet sein müsste bzw. die Akzeptanz gesteigert werden könnte.

### 4.1 Feldtests im deutschen E-Energy Programm

E-Energy bezeichnet ein Forschungsförderprogramm unter Federführung des deutschen Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, welches die Optimierung des (elektrischen) Energiesystems (Smart Grids) mittels Möglichkeiten der IKT untersucht.

#### 4.1.1 Überblick

Die Begleitforschung zum Forschungsprogramm „E-Energy“ wurde von der B.A.U.M. Consult GmbH geleitet. Diese hat im Juni 2013 die untenstehende, zusammenfassende Grafik zur Verfügung gestellt. Infos zu Feldtests sind auch in Wedler et al. (2011) zu finden.

	Struktur	Ziel	Idealtypische Grafik	Praxis	Erste Ergebnisse
<b>Einfacher zeitvariabler Tarif</b>	Energiepreis aus 2 Stufen durch Tageszeit, Woche, Monat oder Jahreszeit bestimmt, und in einem bestimmten Intervall (monatlich, day ahead, stündlich etc.) verbindlich festgelegt.	Zeitliche Verlagerung der Last, die zur Anpassung der Lastkurve an die regionale Erzeugung beiträgt. Ggf. kann auch Vermeidung von Lastspitzen und Verbesserung der Grundlast angestrebt werden.		E-DeMa eTelligence Moma	Zwischen 6-12% Lastverschiebung
<b>Komplexer zeitvariabler Tarif</b>	Energiepreis aus 3-5 Stufen durch Tageszeit, Woche, Monat oder Jahreszeit bestimmt, und in einem bestimmten Intervall (monatlich, day ahead, stündlich etc.) verbindlich festgelegt.	Noch stärkere, flexiblere zeitliche Verlagerung der Last		E-DeMa MeRegio Smart Watts	
<b>Verbrauchs variabler Tarif</b>	Energiepreis durch die Menge des Verbrauchs bestimmt: je höher der Verbrauch desto höher der Energiepreis	Energieeinsparung durch Anreiz zur Lastbegrenzung und generelle Absenkung der Last		eTelligence E-DeMa	-13% Verbrauch beim eTelligence Mengentarif
<b>Bonus- und Malus Events (CPR bzw. CPP)</b>	Mischung aus zeitvariablem und dynamischem Tarif: zu einem bestimmten Zeitpunkt kommt es auf Grund externer Größen zu einer extremen positiven oder negativen Preisspreizung	Vermeidung von Lastspitzen oder Lasttälern in kritischen Zeiten.		eTelligence E-DeMa	+6-7% bei Bonus-Events, -2% bei Malus-Events
<b>Volldynamischer Real-Time-Pricing-Tarif</b>	Energiepreis beruht auf externen Größen (Börsenpreis, Prognosen, Residuallast) und wird für bestimmte zeitliche Intervalle festgelegt.	Zeitnahe Verlagerung von Lasten auf Grund spezifischer Gegebenheiten, trägt z.B. zur vereinfachten, effizienteren Einspeisung erneuerbarer Energien (Nachfrage- und Angebotsausgleich in bestimmten Wittersituationen) oder zur starken Vergleichmäßigung der Last bei		E-DeMa Moma RegModHarz SmartWatts	-

Abbildung 4-1: Struktur und Ziele von Tariftests im E-Energy Programm.

Quelle: Grafik übermittelt von Michael Wedler, B.A.U.M. Consult GmbH, E-Energy Begleitforschung

## 4.1.2 Dynamischer stündlicher Tarif

*Hillemacher et al. (2013): Lastverlagerungspotenziale durch variable Stromtarife – Ergebnisse eines Feldtests. e-Energy Programm „MeRegio“. IEWT.*

Im Rahmen des Forschungsprojektes „MeRegio“ wurde die Tauglichkeit eines auf der Aussendung von dynamischen Preissignalen beruhenden, anreizbasierten Lastmanagementkonzepts zur Verbrauchsbeeinflussung von Haushaltskunden getestet. Es gab drei Fixpreisstufen (Hoch-, Nieder-, Superniedertarif), die dynamisch hintereinandergeschaltet wurden. Die Auswertungen der Reaktionen der Testkunden zeigen nicht nur die prinzipielle Eignung der Preissignale als Anreizsystem zur Lastverschiebung, sondern auch, dass das Lastverlagerungspotenzial der Testkunden von einer Vielzahl von Einflussfaktoren abhängt, deren Konstellationen bei einer für das anreizbasierte Lastmanagement notwendigen Prognose der Konsumentenreaktionen Berücksichtigung finden müssen. Wichtige Einflussgrößen sind hierbei der Tagestyp, die Tages- und Jahreszeit sowie die Tarifstufenkombination.

Im Rahmen des Feldversuches konnte gezeigt werden, dass sich das Verbrauchsverhalten der Versuchsteilnehmer durch die Preissignale beeinflussen ließ. Die Testkunden zeigten dabei auch über einen längeren Zeitraum hinweg ein ähnliches Reaktionsverhalten selbst bei fast ausschließlich manuellen Reaktionsmöglichkeiten auf die Preissignale, was den Schluss zulässt, dass dort ein konstantes Interesse an der Versuchsteilnahme bestand.

Im Vergleich zur Referenzgruppe betrug die Einsparung zur Hochtarifzeit 2,6 %, die Lastverschiebung zur Hochtarifzeit (inkl. einer Einsparung) 7,4 %. Auch in der Niedertarifzeit wurden geringe Lastverschiebungen erzielt. In der Hochtarifzeit fielen Mehrverbräuche und Lasterhöhungen an. Dieses Projekt demonstrierte eine klare Reaktion der Endkunden auf Signale auch ohne weiterreichende Automatisierung.

## 4.2 Amerikanische Feldtests

*Faruqui und Sergici (2010): Household response to dynamic pricing of electricity: a survey of 15 experiments. Journal of Regulatory Economics.*

Faruqui und Sergici (2010) haben 15 in den USA durchgeführte Lastverschiebungsexperimente mit Haushalten zusammengefasst.

Schon in den 1970er- und 1980er-Jahren wurden Experimente zur Analyse des Einflusses einfacher/statischer Tarifänderungen (z.B. Tag-Nacht-Tarif) durchgeführt. In der Hochpreisphase wurde Strom eingespart oder in die Tiefpreisphase verschoben. In warmen Gegenden und in Haushalten mit strombasierten Heizsystemen war der Einfluss höher. Faruqui und Sergici (2010) konzentrieren sich auf Experimente, die u.a. in Folge der kalifornischen Energiekrise in den 2000er-Jahren durchgeführt wurden. Die Bedeutung der in amerikanischen Haushalten intensiv verwendeten Klimaanlage ist hervorstreichend: zum einen aufgrund des hohen Verbrauchs der Geräte, zum anderen aufgrund deren manueller und automatisierter Kontrollierbarkeit.

Schnell wird deutlich, dass die amerikanischen Feldtests hinsichtlich ihrer qualitativen Aussagen interessant sind (Bedeutung von Automatisierung und Preisspanne, siehe unten), aber aufgrund der Verbrauchsmengen und -strukturen (z.B. Klimaanlage) nicht auf Österreich übertragbar sind.

## Amerikanische Feldtests nach Faruqui und Sergici (2010)

*Anmerkung: CPP steht für Critical Peak Price (Event-Tarif), TOU für einen tageszeitabhängigen Time-of-Use-Tarif, RTD steht für Real Time Pricing und somit für Echtzeitpreissetzung*

CPP – Spitzenlast-Reduktion 12 %: Zu kritischen Spitzenlastzeiten wurde den Endkunden ein Tarif von 0,35 Dollar pro kWh für jede nicht verbrauchte kWh im Vergleich zu einer Baseline geboten.

TOU – Spitzenlast-Reduktion 32 %: Die Hochlastzeit lag zwischen 14:00 und 19:00 Uhr. Als Grund für die Spitzenlast-Reduktion wird eine Automatisierungstechnologie genannt. Im zweiten Jahr sank der Wert auf 27 %.

CPP – Spitzenlast-Reduktion 51 %: Zusätzlich zum TOU konnte ein Super-Peak-Event ausgerufen werden, zu dem der Preis das Dreifache des üblichen Peak-Preises betrug. Als Grund für die Spitzenlast-Reduktion wird eine Automatisierungstechnologie genannt. Im zweiten Jahr sank der Wert auf 43%.

TOU/CPP – Spitzenlast-Reduktion 13,1 %: Die Endkunden hatten einen Niedertarif von 0,09 Dollar, einen Hochtarif von 0,22 Dollar und einen kritischen Tarif von 0,59 Dollar pro kWh. Der „kritische Zeitraum“ wurde am Vortag bekanntgegeben. An Tagen, an denen nur der TOU galt, wurde eine Einsparung von 4,7 % erzielt.

TOU/CPP – Spitzenlast-Reduktion 16 %: In der zweiten Variante war der Niedertarif 0,10 Dollar und der kritische Tarif 0,65 Dollar pro kWh. Der „kritische Zeitraum“ trat sofort nach Bekanntgabe in Kraft und hatte keine bestimmte Länge. Kunden mit zentraler Klimaanlage und smarten Thermostaten erreichten 27 % Spitzenlast-Reduktion.

TOU – Spitzenlast-Reduktion 10,6 %: In Colorado erhielten Kunden einen TOU-Tarif. Ohne zentrale Klimaanlage sparten sie 10,6 %, mit zentraler Klimaanlage nur 5,2 % zu Hochtarifzeiten. Interessant ist auch die geringe Einsparung zu Niedertarifzeiten, denn bei einer Verlagerung wäre hier eine Steigerung zu erwarten.

CPP – Spitzenlast-Reduktion ~40 %: Zu kritischen Zeiten wurden je nach technischer Ausstattung und zentraler/dezentraler Klimaanlage 32-45% in Hochlastzeiten eingespart.

TOU/CPP – Spitzenlast-Reduktion bis zu 54 %: Eine Kombination der Tarife erbrachte je nach Ausstattung und zentraler/dezentraler Klimaanlage 15-54 % Reduktion in Hochlastzeiten.

TOU/CPP – Spitzenlast-Reduktion: 41 %: Gulf Power stellt einen dreistufigen CPP zur Verfügung (kein Feldtest), für den die Haushalte eine Teilnahmegebühr zahlen müssen. Gegenüber der Standard-Flatrate ergibt sich eine Verbrauchsminderung zu Spitzenlastzeiten von 41 %. Die übliche Spitzenlast beträgt übrigens 6,1 kW.

TOU – Spitzenlast-Reduktion: keine! In Idaho ließen sich keine Einsparungen zwischen Feldtest- und Kontrollgruppe feststellen, was auf den geringen Preisunterschied (Multiplikator 1,83) zurückgeführt wird.

CPP – Spitzenlastreduktion 1,2 kW: 10x wurde im Sommer am Vortag bekanntgegeben, dass zwischen 17:00 und 21:00 ein fiktiver kritischer Zeitraum war. Der Hochtarif lag beim Vierfachen des Normaltarifs. Lastreduktionen von durchschnittlich etwa 1,2 kW pro Haushalt wurden realisiert, leider gibt es keinen in einer Kontrollgruppe ermittelten Vergleichswert.

RTP – Spitzenlastreduktion 15 %: Es wurden Echtzeitpreise angewandt, die den Kunden am Vortag mitgeteilt wurden. Über 0,1 (im ersten Jahr) bzw. 0,13 Dollar (Folgejahre) wurde eine „Preiswarnung“ über das Callcenter bekanntgegeben oder per E-Mail ausgesandt. Der Preis pro kWh war mit 0,5 Dollar gedeckelt. Die Einsparung war *am teuersten Tag* 15 %. Weitere Reduktionen wurden in den Folgejahren durch die Anwendung eines bewusstseinsbildenden Feedback-Systems (Energy Orb) und durch Rundsteueranlagen zu den Klimaanlagen erreicht.

## Amerikanische Feldtests nach Faruqui und Sergici (2010)

TOU – Spitzenlast-Reduktion: keine! In beiden Feldtestjahren erzielte die Gruppe, die nur TOU hatte, keine signifikanten Einsparungen.

TOU/CPP – Spitzenlastreduktion 12/13 % bzw. 35/24 %: Jene Gruppe, die auch ein CPP-Signal erhielt, erzielte Reduktionen von 12 bzw. 13 % im 1./2. Jahr des Tests. Eine weitere Gruppe hatte den gleichen Tarif, wurde aber zusätzlich mit smarten Thermostaten ausgestattet.

TOU – Spitzenlastreduktion 25 %: In New Jersey wurde ein in Hoch-, Mittel- und Niedertarif gestaffelter TOU angeboten, und es kam insbesondere zur mittäglichen Höchstlastzeit zu Reduktionen von 25 %.

TOU/CPP – Spitzenlastreduktion 50 %: Zusätzlich wurde einer anderen Gruppe ein CPP zugeordnet, wodurch es, ebenfalls im Vergleich zur Kontrollgruppe, zu einer Reduktion von 50 % kam.

TOU – Spitzenlastreduktion 21 %: Ebenfalls in New Jersey wurde ein TOU angeboten, dessen interessanteste Komponente ein Nacht-Diskont von 21:00 bis 09:00 ist (d.h. es wurde kein geringerer Preis angeboten, sondern ein Diskont = „Belohnung“).

TOU/CPP – Spitzenlastreduktion 47 %: Zusätzliche 26 % Einsparung wurden an Tagen mit ausgerufenem CPP realisiert. Dies geschah im ersten Sommer 2x, im zweiten Sommer 5x.

AUSTRALIEN: Aufgrund der ähnlichen Voraussetzungen wie in den US-Feldtests und dem im Paper beschriebenen Fokus auf Klimaanlage wird diese Studie in dieser Tabelle angeführt. Beim australischen Feldtest kamen dynamische Hochlastpreise zum Einsatz. Lag der Preis bei 1 australischen Dollar über dem Normalpreis (etwa 70 Eurocent), so wurden 20 % weniger verbraucht, lag der Preis bei 2 australischen Dollar über dem Normalpreis (etwa 1,40 Euro), so wurden 24 % weniger verbraucht. Nicht kausal stimmig scheint, dass diese Events nur 3x ausgerufen wurden (eventuell gab es zwei Testgruppen, jeweils eine für den höheren und eine für den niedrigeren Höchstpreis). Beim zweiten Mal war eine stärkere Einsparung nachzuweisen, beim dritten Mal wieder eine geringere, was die Autoren aber auf den kühleren Tag (weniger Kühlbedarf) zurückführen.

KANADA: Aufgrund der ähnlichen Voraussetzungen wie in den US-Feldtests und dem Ausmaß an Klimaanlage (vgl. Workshop) wird diese Studie in dieser Tabelle angeführt.

Ähnlich den beschriebenen Feldtests gab es auch im kanadischen Feldtest einen TOU-Tarif, einen TOU/CPP-Tarif und einen Tarif, bei dem zu den jeweiligen CPP-Zeiten eine Belohnung bezahlt wurde, wenn ein Minderverbrauch zu einer Baseline erreicht wurde. Es gab 7 CPP-Tage im Sommer, die durchschnittliche Einsparungen über alle Tarife waren 6 %.

TOU – Spitzenlastreduktion 5 %: In Washington unterschieden sich die Preise (nur) um 15 % über bzw. unter dem alternativen Normaltarif.

Smart Home – Energieeinsparung 2 %: In Washington wurde bei 112 Haushalten 2-Wege-Kommunikation installiert, über Displays konnte das Verbrauchsverhalten programmiert werden und die Preise eingesehen werden.

TOU/CPP – Spitzenlastreduktion 30 %: Die Gruppe mit TOU/CPP hatte Preise, bei denen (saisonal schwankend) der Niedertarif bei etwa 0,05 Dollar, der Hochtarif bei 0,13 Dollar und der kritische Tarif bei 0,35 Dollar lag. Die Einsparungen betragen 30 %.

RTP – Spitzenlastreduktion 27 %: Die RTP-Gruppe konnte ihre Präferenzen fernsteuern.

Quelle: Faruqui und Sergici (2010)

Mit wenigen Ausnahmen wenden alle Programme TOU (z.B. Tag- und Nachttarif), Tarife mit CPP-Preisen oder Kombinationen an. Hinzu kommen Möglichkeiten der automatisierten Last- bzw. Verbrauchskontrolle, v.a. im Zusammenhang mit Klimaanlageanlagen. Die Ergebnisse zeigen, dass Konsumenten auf TOU (→ Lerneffekt), besonders stark aber auf CPP (→ nicht alltägliche Situationen) reagieren, und ihnen die Reaktion erleichtert wird, wenn diese automatisch möglich wird (→ Automatisierung, „enabling technology“). Vom Kunden initiierte Einsparungen sind v.a. in CPP-Zeiten eine Möglichkeit der Lastreduktion. Dabei ist ein deutliches Verhältnis von Peak- zu Off-Peak-Preisen notwendig (→ Preisspreizung).

- TOU reduziert den Peak Demand um 4 % (mit enabling technology um 26 %)
- CPP reduziert den Peak Demand um 17 % (mit enabling technology um 36 %)

Neun der zwölf Feldtests, die eine „enabling technology“ anwandten, wurden speziell auf Klimaanlageanlagen zugeschnitten. Faruqui und Sergici (2010) stellen fest, dass die Ergebnisse der einzelnen Studien stark variieren, was auch an unterschiedlichen Messungen bzw. Feldtest-Vorgaben liegt.

**Zentrale Aussagen sind: Endkunden reagieren auf Preisunterschiede sowie auf wenig häufige Situationen und entwickeln Routine. Endkunden können verstärkt partizipieren, wenn sie durch Technologien unterstützt werden.**

## 4.3 Weitere Feldtests

### 4.3.1 Tempo-Programm der EdF (Frankreich, 1996)

*Faruqui und Sergici (2010): Household response to dynamic pricing of electricity: a survey of 15 experiments. Journal of Regulatory Economics. Ebenfalls in Stamminger (2013): Effectiveness of demand side management by variable energy tariffs in the households – results of an experimental design with a fictive tariff model. ECEEE Summer Study.*

Im Jahr 1996 startete EDF einen Feldversuch. Grundsätzlich gab es täglich zwei Preisstufen zwischen 06:00 und 22:00 Uhr bzw. von 22:00 bis 06:00 Uhr. Dazu kam, dass es 300 „normale“ Tage im Jahr gab, 43 „kritischere“ und 22 „kritische“, die jeweils mit höheren Tarifen versehen waren. Die Situation eines Tages wird am Vortag per Web, Callcenter, Displays, Email, etc. mitgeteilt. Die Ergebnisbeschreibungen des EDF-Feldtests unterscheiden sich in den beiden Quellen. Der höchste tagsüber laufende Hochtarif ist als Extreme Day Pricing anzusehen. Stamminger beschreibt, dass von den Teilnehmern auch an normalen Tagen 13 % eingespart wurden; an kritischeren und kritischen Tagen waren es 15 % bzw. 45 % gegenüber normalen Tagen, was auf eine vergleichende Einsparung bzw. **Lastverschiebung von zusätzlich 2 % bzw. 30 %** hinauslaufen würde. Der TOU-Effekt ist damit gar nicht beschrieben. Trotz der zumindest 3 Peak- zu Off-Peak-Unterschiede geben auch Faruqui und Sergici nur 2 Differenzen an, nämlich 41 % und 22 %.

### 4.3.2 TOU-Netztarif, Spotmarktpreise, Remote Load Control (Norwegen)

*Saele und Grande (2011): Demand Response From Household Customers: Experiences From a Pilot Study in Norway. IEEE Transactions on Smart Grid.*

Norwegische Haushalte haben einen sehr hohen durchschnittlichen Stromkonsum (15.200 kWh/a). Der Anteil elektrischer Heizungen ist hoch, und insbesondere hier wird Verschiebungspotenzial gesehen. Die Studie beschreibt einen Feldtest mit Smart Meter-

gemessenen Haushalten, die einen tageszeitabhängigen TOU-Netztarif, einen Energietarif auf Basis von Spotpreisen und Heizungs- bzw. Warmwasser-Boiler als fernsteuerbare Last (*Remote Load Control*) aufwiesen. Die wichtigsten Haushaltsgeräte wurden mit einem magnetisch haftenden Knopf versehen, der die Spitzenlastzeiten von 17:00-19:00 Uhr und von 08:00-10:00 Uhr anzeigt.

Der Test umfasste 40 Haushaltskunden, wobei 10 % mit Elektroboilern heizten (12-15 kW) und der Rest über elektrische Warmwasserbereitung mit 2-3 kW verfügte. Es wurde eine volle Heizperiode aufgezeichnet (1 Jahr). 37 Haushalte wählten den stundenweisen Tarif.

Durch den Einsatz der fernsteuerbaren Last (wie deren Einsatz funktionierte und ob diese umgangen werden konnte etc. wird nicht klar beschrieben) sparten die Haushalte mit Heizungsboiler 2,5 kWh/h (etwa 20 % der Last) und die Haushalte mit Warmwasserboiler 1 kWh/h (33-50 % der Last). Als Ergebnisse früherer Pilotversuche führen die Autoren einen Test mit *Remote Load Control* mit Warmwasserspeichern an, die mit je 2 kW arbeiten. Im Test konnten zur norwegischen Peak-Zeit (08:00-09:00 Uhr) durchschnittlich 0,6 kW (33 % der Last) verschoben werden. Das nunmehr bessere Ergebnis führen die Autoren auf eine kleinere Gruppe zurück, die besser informiert werden konnte und auf den Hinweis (Knopf) auf den Geräten. Sie gehen daher davon aus, dass in dieser Pilotstudie zusätzliche *manuelle* Einsparungen induziert werden konnten. Die Autoren räumen aber auch mehrere Biases ein, die sich positiv auf die Ergebnisse auswirkten.

#### 4.3.3 Smart A-Programm der Uni Bonn (Deutschland, 2011)

*Stamminger (2013): Effectiveness of demand side management by variable energy tariffs in the households – results of an experimental design with a fictive tariff model. ECEEE Summer Study.*

Die Uni Bonn, RWE als Energieversorger und Miele als Hersteller smarter Geräte waren am Projekt „Smart A“ beteiligt. In Deutschland wurden 67 Haushalte zwischen 08/2011 und 07/2012 mit einem dynamischen, stündlichen Tarifmodell mit drei Preisniveaus (0,10, 0,25, 0,40 Euro/kWh) ausgestattet, das auf der tatsächlichen Einspeisung Erneuerbarer Energien basierte. Als Einschränkung wird hervorgehoben, dass unter Beachtung fixer Netzpreise diese Preisstufen in der Praxis unrealistisch bzw. kleiner sind. 41 Haushalte wurden auch mit intelligenten Waschmaschinen und Trocknern ausgestattet (welche Form der „Intelligenz“, d.h. welche Funktionen die Geräte besaßen, ist nicht bekannt). Die Ausstattung mit den Geräten kann als Beteiligungsanreiz für die Feldtestteilnehmer angesehen werden (Ergebnis Expertenworkshop, vgl. Abschnitt 5.2). Die erzielte Lastverschiebung lag bei maximal 10 %.

## 4.4 Resümee zu den betrachteten Feldtests

Aus den analysierten Feldtests bzw. Meta-Studien kann folgende Kategorisierung der gewonnenen Erkenntnisse abgeleitet werden:

### Verbindlichkeit und Feldtest-Teilnahme:

- Bedeutend für ein realitätsnahes Ergebnis eines Feldtests aus Sicht der Autoren ist, dass Kunden, die durch die Feldtestteilnahme monetäre Nachteile erlitten, diese auch tragen müssen/sollten. Dennoch wird aus unterschiedlichen Gründen meist eine Garantie gegeben, dass durch die neuen Tarife keine monetären Kosten entstehen, d.h. der Normalpreis gilt, wenn Kosten anfallen bzw. der eingesparte Betrag gutgeschrieben wird, wenn Einsparungen realisiert werden.
- Im Feldtest ergibt sich für die Teilnehmer die Möglichkeit, eine Kostenersparnis zu erzielen (vgl. auch Kollmann et al., 2012).
- In Stamminger (2013) könnte die kostenlose Bereitstellung von Haushaltsgeräten entscheidend zur Teilnahme der Feldtestkunden beigetragen haben.

### Preisspanne:

- Aus den Studien ergibt sich, dass sich die Endkundenreaktion mit zunehmenden Preisunterschieden verstärkt.
- Es finden sich aber auch Hinweise, dass kleine Spreizungen ausreichen können, was eventuell an der Darstellung der Spreizungen liegen kann (z.B. lassen Ampelmodelle keinen Rückschluss auf die dahinterliegenden Preise zu).

### Automatisierung:

- Faruqi und Sergici (2010) stellen für die 15 von ihnen betrachteten Feldtests in den USA, die – der dortigen Stromverbrauchsstruktur entsprechend – von hohen Heizungs- und Kühlungsverbräuchen geprägt sind, fest, dass eine Automatisierung („enabling technology“) zu deutlich höheren Lastverschiebungen/Einsparungen führt.
- Hillemaier et al. (2013) demonstrieren jedoch in ihrem Feldtest, dass Einsparungen auch über primär manuelle Eingriffsmöglichkeiten erzielt werden können.

### Speicherung:

- Jegliche Art von endkundenseitigen Speichern (thermisch, räumlich) ist gegebenenfalls für eine Lastverschiebung einsetzbar.
- Bessere Möglichkeiten der Speicherung vermeiden zu schnelle Komforteinbußen und lassen eine längere bzw. stärkere Lastverschiebung zu.

## 5 Ergebnisse des Experten-Workshops

Simon Moser

### 5.1 Ablauf und Teilnehmer

Im Zuge des Expertenworkshops „Flexible Electricity Prices & Demand Response“ in Gien/ Frankreich anlässlich der eceee 2013 summer study am 5. Juni 2013 15:00 wurde ein Protokoll angefertigt, auf dem die in 5.2 und 5.3 dargestellten Ergebnisse basieren.

Teilnehmer: Simon Moser, Energieinstitut an der JKU Linz, Austria; Gerda Reiter, Energieinstitut an der JKU Linz, Austria; Virve Rouhiainen, Adato Energia Oy, Finnland; Therese Kreitz, ADEME, France; Even Bjornstad, ENOVA, Norwegen; Sylvia Breukers, DuneWorks, The Netherlands; Ruth Mourik, DuneWorks, The Netherlands; Ian H. Rowlands, University of Waterloo, Canada; Iain MacGill, University of New South Wales, Australien; Rainer Stamminger, University of Bonn, Germany; Yvonne Boerakker, DNV KEMA Energy & Sustainability; Félix Dalang, noé21, Schweiz; Jerome Strobel, noé21, Schweiz;

### 5.2 Beitrag der Haushalte zu den Zielen der Lastverschiebung

In Finnland können am Elektrizitätsmarkt nur Großverbraucher partizipieren, wenn sie mehr als 1 MW Lastabwurf anbieten können. Bei Haushalten bedürfte es einer Aggregation, aber diese ist noch nicht marktgängig. Noch sind Haushalte generell keine Marktteilnehmer, da der zum Durchschnittspreis weiterverkaufende Stromvertrieb zwischen Produktion und Verbrauch zwischengeschaltet ist.

In Norwegen sind morgens und nachmittags durch Warmwasser und Heizungen verursachte Spitzenlastzeiten festzustellen. Die Preisspreizungen zwischen Spitzen- und Niederlastzeiten sind jedoch so gering (hohe Verfügbarkeit von Speichern), dass eine Lastverschiebung monetär uninteressant ist. Ähnliches gilt für Finnland, das im Großnetzbereich Norwegens liegt. Dennoch finden in Finnland zeitabhängige (TOU) Tarife schon lange Anwendung. Anfangs seien Probleme aufgetreten, weil sich nach Tarifwechsel sehr viele Boiler gleichzeitig einschalteten. Dies ist durch Rundsteueranlagen bewältigt worden. Das Beispiel zeigt jedoch, dass TOU-Tarife zu signifikanten Lastverlagerungen führen.

In Ontario (Kanada) sind alle Haushalte zu HT/NT-Tarifen verpflichtet, 75 % der Haushalte haben eine Klimaanlage. In Projekten sei getestet worden, wie die Klimaanlagen durch Steuerung zu Spitzenzeiten nacheinander gefahren werden können. Aus einem Projekt wurde von *hydro one* sogar ein Marktmodell mit Automatisierung (ansteuerbarer Thermostat) entwickelt (vgl. *hydro one*, 2009).

In Deutschland ist das vorrangige Problem der Abtransport (Engpassmanagement) der erneuerbaren Energie sowohl im Hochspannungs- (Wind) als auch im Niederspannungsnetz (Photovoltaik). Daher wurde im Feldtest der Uni Bonn (Smart-A und Folgeprojekt) ein Tarif getestet, der den Forecasts für Erneuerbare entsprach. Je nach Einspeisung wurden Preisniveaus von 0,10 Euro, 0,25 Euro und 0,40 Euro pro kWh veranschlagt. Jedoch sind die Preisspreizungen unrealistisch, da die Tarife am Markt auch die Netzkomponente abbilden müssten. Ähnlich wie in Norwegen würden wohl nur geringe Anreize für eine Verschiebung bestehen, wenn das Netz gesetzeskonform mitabgerechnet wird. Haushalte können zu den Lastverschiebungszielen beitragen, es braucht jedoch erstens monetäre Anreize und/oder eine Motivation durch Erklärung, dass sie zur Verwendung der erneuerbaren Energie beitragen können (nichtmonetärer Anreiz). Wichtig ist, dass es zur Einspeisung Erneuerbarer

auch sinnvoll sein kann, Lasten zeitlich vorzuverlegen. Ein technisches Potenzial stehe in Haushalten stets zur Verfügung, aber es bedürfe einer weitreichenden Automatisierung, v.a. wenn eine rasche Reaktionszeit, insbesondere bei hochvolatilen Erneuerbaren (Photovoltaik), zu erzielen ist.

### 5.3 Realisierbares Lastverschiebungspotenzial

**Tarifwahl:** Breukers und Mourik (2013) führten eine Metastudie zu flexiblen Tarifen durch. Ein Ergebnis war, dass mit einem einzelnen Tarifmodell nie mehr als 30 % der Haushalte angesprochen werden können („one size fits all“ gibt es also nicht). Die Autorinnen schlussfolgern aus ihren Ergebnissen, dass jeder Haushalt ein individuelles Angebot braucht, d.h. dass für verschiedene Marktsegmente verschiedene Anreize zu setzen sind, weil Haushalte unterschiedlich auf diese reagieren.

**Anreiz:** Definitiv gibt es nichtmonetäre Motivatoren, die sowohl alleine als auch in Kombination mit monetären Anreizen wirken. Im Verlauf der Feldtests wirken Feedback und Tipps eventuell sogar stimulierender als finanzielle Anreize. Nichtsdestotrotz sind die finanziellen Rahmenbedingungen vorrangig und Feldtests zeigen andere Motivatoren wahrscheinlich deswegen auf, weil niemand „greedy instead of green“ wirken will.

**Realisierung des Potenzials:** Viele Forschungsansätze, die monetäre Anreize unterstellen, verneinen Konsum, der in der Realität indiskutabel ist, wobei gewohnte TV- und Kochzeiten genannt werden (allerdings wird entgegnet, dass motivierte Kunden auch „vorkochten“). Routinegewohnheiten sind schwerer zu ändern als einfache On-Off-Applikationen, die weniger häufig durchgeführt werden.

**Interesse und Persistenz:** Konträr zur Erwartung hat die Intensität der Lastverschiebung in Feldtests sogar erst im Laufe der Zeit zugenommen. Ähnlich der Situation bei der Installation einer eigenen PV-Anlage haben sich in den Feldtests viele Teilnehmer das erste Mal für das Energiethema interessiert und es war eine Erhöhung des Energiebewusstseins festzustellen.

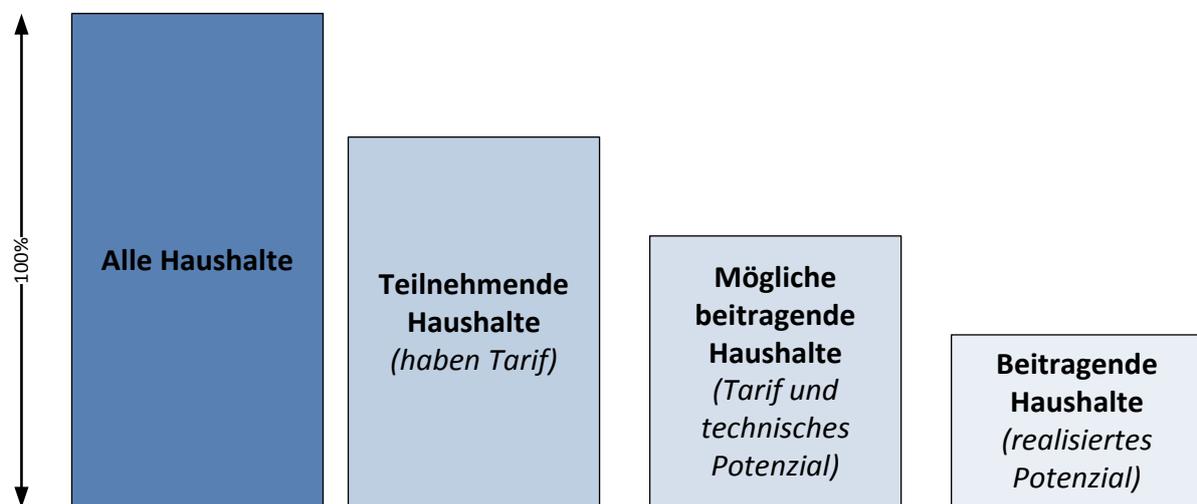
**Automatisierung:** Zur Reaktion auf schnelle Veränderungen aus PV und Wind ist ein automatisiertes System erforderlich. Darüber hinaus trägt Automatisierung sehr viel zur Persistenz des Effekts bei, weil Haushalte laufende Informationskosten (wie sieht der Tarif morgen aus?) und andere Opportunitätskosten (zweites Mal zur Waschmaschine gehen um diese einzuschalten) vermeiden können.

**„Red Button“:** Die Automatisierung trägt zu hohem Komfort bei dennoch persistent realisierter Lastverschiebung bei. Besonders bedeutend ist allerdings, wohl auch um den Komfort in Ausnahmesituationen hochzuhalten, dass Haushalte die Automatisierung gegebenenfalls außer Kraft setzen können („Overruling“, „Red Button“): 15 % der europäischen Haushalte können sich laut Aussage einer Workshopteilnehmerin vorstellen, voll auf eine Automatisierung zu setzen, die restlichen wollen in eine Automatisierung eingreifen können. Dabei wurde nicht diversifiziert, welche Verbraucher an der Automatisierung angeschlossen sind (alle oder z.B. nur Boiler).

## 6 Tatsächliches Lastverschiebungspotenzial in Haushalten

Simon Moser

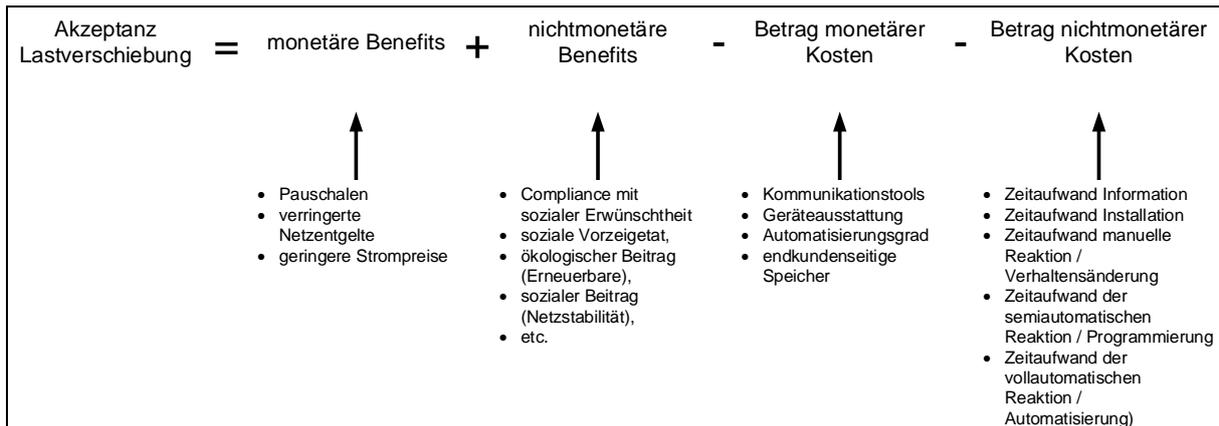
Das technisch-theoretischen Lastverschiebungspotenzials unterliegt Beschränkungen seitens der Haushalte, welche sich aus monetären und nichtmonetären Kosten ergeben. Daher ist es essenziell, diese Restriktionen abzuschätzen, um ein tatsächliches Lastverschiebungspotenzial angeben zu können. Aus Sicht der Endkunden lassen sich vom technischen zum realisierten Potenzial drei Schritte ableiten: zuerst wird das Tarifmodell bewusst gewählt, das die nötigen Informationen und Anreize zur Lastverschiebung bietet. Als zweiter Schritt ist ein tatsächlich umsetzbares Potenzial einzelner Geräte vonnöten (Anwesenheit, Betriebssicherheit, Unsicherheiten). Abschließend muss das verbleibende Potenzial vom Kunden realisiert werden (Abbildung 6-1).



**Abbildung 6-1: Reduktionsgründe zum Beitrag von Endkunden nach Stadium der Beteiligung.**

Quelle: Eigene Zusammenstellung auf Basis von Experteninterviews

Die den einzelnen Schritten zuteilbaren Beschränkungen bzw. Reduktionsgründe, welche sich auf die schlussendliche Durchführung einer Lastverschiebung durch den Endkunden auswirken, sind in Abbildung 6-2 hinsichtlich monetären und nichtmonetären Kosten aufgeteilt. Zusätzlich sind die monetären und nichtmonetären Nutzen angegeben, welche die Realisierung der Lastverschiebung wahrscheinlicher machen.



**Abbildung 6-2: Reduktionsgründe zum Beitrag von Endkunden nach Kosten-Nutzen-Kategorie.**

Quelle: Eigene Zusammenstellung auf Basis der analysierten Literatur (vgl. Abschnitt 4), des Expertenworkshops (vgl. Abschnitt 5) sowie Nabe et al., (2009).

## 6.1 Schritt 1: Aktive Wahl des Tarifs durch den Kunden

Erster Ausschlussgrund ist die aktive Wahl eines flexiblen Tarifs: Nur jene Haushalte, die einen flexiblen Tarif wählen und damit über die Informationen und Anreize verfügen, eine Lastverschiebung einzuleiten, können dies auch tun. Alle anderen Haushalte werden sich nicht mit dem Thema auseinandersetzen bzw. können keinen Nutzen aus einer Lastverschiebung bzw. Verhaltensänderung ziehen.

Für die Niederlande wurde gemäß Expertenworkshop (vgl. Abschnitt 5) eruiert, dass mit einem Tarif 30 % aller Haushalte angesprochen werden können. Der Argumentation folgend können mit zielgruppenspezifischen Tarifen mehr Haushalte erreicht werden – um wie viel mehr, bleibt unklar. Es wird per Annahme davon ausgegangen, dass durch individualisierte Tarife 40% der Haushalte zur Teilnahme angeregt werden können. Dieser Wert ist nur für den Hauptstromzähler anzuwenden, für Zweitähler werden (aufgrund der möglichen ferngesteuerten Eingriffe, meist ohne Komfortverlust) vereinfachend 100 % angenommen.

## 6.2 Schritt 2: Realistisches technisches Potenzial

Es ist nicht davon auszugehen, dass das Lastverschiebungspotenzial über alle Haushalte, Geräte und Zeitdauern gleich ist. Es handelt sich entsprechend um eine Durchschnittsbetrachtung.

Bei Haushalten sind unterbrechbare (d.h. ferngesteuerte) Tarife beim Hauptstromzähler nicht anwendbar (Komfortverluste, Erfordernis des Overtappings, Red Button, vgl. Expertenworkshop in Abschnitt 5). Als anwendbar werden von Albadi und El-Saadany (2007) insbesondere Endkunden-geführte dynamische Tarife (Varianten des Real Time Pricing) und Event-Tarife (Critical Peak Pricing, Extreme Day Pricing) angesehen. Es kann generalisiert werden, dass unterbrechbare Tarife bei Haushalten ohne signifikanten Nutzenverlust am Zweitstromzähler anwendbar sind.

Für die folgende Bewertung wird angenommen, dass alle elektrischen Hauptheizsysteme (Nachtspeicherheizungen, Elektrodirektheizung, Wärmepumpen) und zwei Drittel (nach Leistung; in Haushalten) der elektrischen Warmwasserbereitung über den Zweitstromzähler anschließbar und damit schaltbar wären (d.h. ein Umbau der Installation wäre möglich).

**Tabelle 6-1: Realistisch einsetzbares technisches Potenzial**

Gerät	Lastverschiebungspotenzial
<b>Waschmaschine, Wäschetrockner, Geschirrspüler</b>	Das Lastverschiebungspotenzial unterliegt direkt den Gewohnheiten und Bedürfnissen der Nutzer (vgl. Abbildung 6-2). Diese können die Nutzung dieser Geräte manuell oder semiautomatisch (Programmierung mittels Zeiteinstellung) steuern. Dieses Potenzial steht beim realistisch nutzbaren Potenzial <u>voll</u> zur Verfügung.
<b>Kühl- und Gefriergeräte</b>	Diese Geräte sind mit dem Hauptstromzähler verbunden. Weil nach manuellem Abstellen auch das manuelle Anstellen erforderlich ist, wird hier von einem <b>Nullpotenzial</b> ausgegangen, da ein Vergessen des Anstellens zu erheblichen monetären (Verderben von Lebensmitteln) und ev. nichtmonetären Kosten (Reinigung, Entsorgen) führt (vgl. Abbildung 6-2). Bei entsprechender Automatisierung ( <b>Smart Home</b> ) ist von einer Anwendbarkeit der Kühl- und Gefriergeräte auszugehen.
<b>Warmwasser</b>	Wie unter 6.2 beschrieben, wird angenommen, dass zwei Drittel der installierten Leistung (in allen Haushalten) nicht aus wirtschaftlich-technischen Gründen am Hauptstromzähler angeschlossen sein muss. Da diese Leistung, wenn abgeschaltet, über eine gewisse Zeitdauer nicht mit Komfortverlusten verbunden ist, stehen diese zwei Drittel voll als Lastverschiebungspotenzial zur Verfügung. Das Potenzial des restlichen Drittels der installierten Leistung wird vereinfachend mit null angenommen, weil (i) für den teilnehmende Haushalt nicht auf den ersten Blick klar ist, wann der Boiler Leistung bezieht und (ii) viele Kleinboiler relativ unzugänglich montiert sind.
<b>Elektro-Einzelöfen</b>	Kein Potenzial. Details in 3.4.4.
<b>Elektrodirektheizung</b>	Das technische Potenzial, wie in 3.4.4. beschrieben, ist voll verfügbar, weil es mit keinen signifikanten Komforteinbußen verbunden ist. (Anschluss am eigenen Stromzähler.)
<b>Nachtspeicherheizung</b>	Das technische Potenzial, wie in 3.4.4. beschrieben, ist voll verfügbar, weil es mit keinen signifikanten Komforteinbußen verbunden ist. (Anschluss am eigenen Stromzähler.)
<b>Wärmepumpe</b>	Das technische Potenzial, wie in 3.4.4. beschrieben, ist voll verfügbar, weil es mit keinen signifikanten Komforteinbußen verbunden ist. (Anschluss am eigenen Stromzähler.)

Quelle: Eigene Zusammenstellung aus Annahmen und Ergebnissen aus den angehenden Vorkapiteln.

### 6.3 Schritt 3: Tatsächlicher endkundenseitiger Beitrag

Flexible Tarife bieten Vorteile für bestimmte Haushaltsgruppen. Beispiel: Ein Time-of-Use-Tarif, dessen Hochtarifzeit zwischen 08:00 und 18:00 und die Niedertarifzeit zwischen 18:00 und 08:00 liegen, bringt beispielhaft einem zu Bürozeiten arbeitenden Paar klare Vorteile. Im Vergleich zu einem Standardtarif liegt sein Verbrauch nur in der Niedertarifzeit, die finanziellen Vorteile sind damit gegeben. Monetäre oder nichtmonetäre Opportunitätskosten (siehe Hemmniskatalog) fallen nicht an, da es zu einem Benefit und dennoch zu keiner Verhaltensänderung kommt (Free-Rider). Je komplexer der Tarif, umso weniger ist ein Benefit ohne Verhaltensanpassung möglich.

Beispielhaft würde durch den gleichen Time-of-Use-Tarif eine Familie mit Kindern schlechter gestellt, da ihr Konsum primär in der Hochtarifzeit liegt (Kochen und Anwesenheit während der Hochtarifzeit, Schlafzeit der Kinder in Niedertarifzeit). Eine Abwägung der Kosten und Nutzen einer Verhaltensanpassung (Lastverschiebung in die Niedertarifzeit) wird daher erfolgen (dabei sind z.B. Streitigkeiten hinsichtlich Fernsehzeiten o.Ä. als nichtmonetäre Opportunitätskosten anzusehen) und führt (zumindest im Durchschnitt der betroffenen Haushalte) zu teilweisen Verhaltensanpassungen.

Im Durchschnitt und in Abhängigkeit von der Tarifkomplexität erfolgt bei Haushalten somit eine (mehr oder minder) freiwillige Anpassung als Reaktion auf den Tarif. Diese durchschnittliche Anpassung ist jene Einsparung bzw. Lastverschiebung, die in Feldtests erhoben wird. Zur Berechnung des realisierten Potenzials (**dritter Schritt**) wird auf Basis von Feldtestergebnissen und Abschätzungen folgender endkundenseitiger Beitrag angenommen:

Reaktion beim Hauptzähler ohne Smart Home: Selten (in Feldtests etwa 10x jährlich) auftretende Event-Tarife einerseits und stetig anzuwendende Echtzeittarife andererseits lassen sich methodisch kaum in eine gemeinsame Aussage zwingen. Da Event-Tarife primär für amerikanische, skandinavische oder französische Feldtests vorliegen, werden diese vernachlässigt und es wird aufgrund der österreichischen Verbrauchsstruktur auf Ergebnisse für dynamische bzw. zeitvariable Tarife in Deutschland zurückgegriffen. Hier haben sich Werte zwischen 5 % und 15 % herausgestellt, womit auf den ungewichteten Mittelwert von 10 % zurückgegriffen wird (vgl. Abschnitt 4). Bei Kühl- und Gefriergeräten liegt schon gemäß Schritt 2 (vgl. 6.2) kein Potenzial vor. Das Potenzial für Waschmaschine, Wäschetrockner und Geschirrspüler ist damit auf 40 % Beteiligung (vgl. 6.1 zur Tarifwahl) mal 10 % Lastverschiebung limitiert. Das heißt, dass 4 % des technischen Potenzials tatsächlich verschoben werden können. Aufgrund des daraus abzuleitenden geringen Potenzials von kumuliert maximal 8 MW in der ersten Stunde über alle österreichischen Haushalte werden nunmehr auch Waschmaschine, Wäschetrockner und Geschirrspüler ohne die Verfügbarkeit eines Smart Home nicht weiter betrachtet.

Reaktion beim Hauptzähler mit Smart Home: Auch hier wird auf den Wert einer Beteiligung von 40 % zurückgegriffen. Für Waschmaschine, Wäschetrockner und Geschirrspüler wird in Folge eine Lastverschiebung von 30 % angenommen, wobei als Basis die 10 % laut vorigen Absatz einerseits und Restriktionen hinsichtlich eines willkürlichen Einschaltzeitpunkts der Automatik z.B. im verdichteten Wohnbau (grob 50 % der Wohnungen) andererseits angewandt werden. Das Potenzial für Waschmaschine, Wäschetrockner und Geschirrspüler ist damit auf 40 % Beteiligung mal 30 % Lastverschiebung limitiert. Ein Smart Home, das auf einzelne Geräte zugreifen und automatisiert wieder einschalten kann, macht Kühl- und Gefriergeräte für Lastverschiebung zugänglich. Es wird angenommen, dass die Lastverschiebung unterbrochen wird, sobald z.B. durch Öffnen ein Kühlbedarf entsteht. Da es die gleichen Kunden sind, die auch Waschmaschine, Trockner und Geschirrspüler im Smart Home zur Lastverschiebung nutzen, werden die gleichen Prozentwerte angenommen.

Reaktion beim Zweitzähler mit unterbrechbarem Tarif: 100% - damit sind für die Warmwasserbereitung zwei Drittel des technischen Potenzials verfügbar. Es wird angenommen, dass zwei Drittel der Energie (661 kWh) in Hochlastzeiten anfallen, da in diesen gekocht und gespült wird (morgens, mittags, abends) und sich nicht regulierte Boiler sofort wieder aufheizen.

**Tabelle 6-2: Lastverschiebungspotenzial nach Haushaltsgeräten**

Gerät						
[in MW]	0-5 min	5-15 min	16-59 min	1-4h	4-12h	12-24h
<b>Waschmaschine, Wäschetrockner, Geschirrspüler (Status Quo)</b>	+0/-9	+0/-9	+0/-8	+/- 0	+/- 0	+/- 0
<i>Waschmaschine, Wäschetrockner und Geschirrspüler <u>ohne</u> Smart Home werden aufgrund des geringen Potenzials in der ersten Stunde über die Gesamtheit der österreichischen Haushalte nicht weiter betrachtet.</i>						
<b>Waschmaschine, Wäschetrockner, Geschirrspüler (Smart Home)</b>	+0/-26	+0/-26	+0/-24	+/- 0	+/- 0	+/- 0
<b>Kühl- und Gefriergeräte (Status Quo)</b>	+/- 0	+/- 0	+/- 0	+/- 0	+/- 0	+/- 0
<i>Kühl- und Gefriergeräte <u>ohne</u> Smart Home werden mangels Potenzial nicht weiter betrachtet.</i>						
<b>Kühl- und Gefriergeräte (Smart Home)</b>	+38/-23	+24/-15	+4/-8	+0/-2	+/- 0	+/- 0
<b>Warmwasser</b>	+481/-30	+380/-30	+233/-30	+35/-30	+/-0	+/- 0
<b>Elektro-Einzelofen</b>	+/- 0	+/- 0	+/- 0	+/- 0	+/- 0	+/- 0
<i>Elektro-Einzelöfen werden mangels technischen Potenzials nicht weiter betrachtet.</i>						
<b>E-Direktheizung</b>	+0/-53	+0/-53	+0/-45	+/- 0	+/- 0	+/- 0
<b>Nachtspeicher</b>	+500/-0	+500/-0	+100/-0	+/- 0	+/- 0	+/- 0
<b>Wärmepumpe</b>	+105/-105	+255/-255	+255/-255	+/- 0	+/- 0	+/- 0

Quelle: Eigene Zusammenstellung aus vorangegangenem Text

**Veränderung des Potenzials:** Das Potenzial ändert sich mit den Verbreitungszahlen und der Energieeffizienz der betrachteten Geräte. Aus dem Strom- und Gastagebuch von Strasser (2013) kann verallgemeinernd gesagt werden, dass klassische Haushaltsgeräte eine hohe Durchdringungsrate aufweisen. Aufgrund fortschreitender Effizienzsteigerungen ist davon auszugehen, dass sich der österreichweite Stromverbrauch dieser Haushaltsgeräte nicht steigern wird.

## 7 Kosten der Lastverschiebung in Haushalten

In einem Wettbewerbsmarkt ist der an den Endkunden zu entrichtende Preis für die Durchführung der Lastverschiebung gleich den Kosten (z.B. Automatisierung, neue Stromzähler, Visualisierung, etc.), die dem Endkunden für die Ermöglichung der Lastverschiebung anfallen. Auch eventuelle Opportunitätskosten sind zu decken.

### 7.1 Vollkosten der Lastverschiebung

In Tabelle 7-1 wird eine Kostenschätzung für die Lastverschiebung von Großgeräten im Haushaltsbereich durchgeführt.

**Tabelle 7-1: Vollkostenschätzung für die Lastverschiebung von Großgeräten im Haushaltsbereich**

Gerät	Begründung	Zusätzliche Kosten pro Haushalt und Jahr
<b>Waschmaschine, Wäschetrockner, Geschirrspüler (Smart Home)</b>	<p>Eine Webrecherche (<a href="http://www.smarthome-austria.at">www.smarthome-austria.at</a>, <a href="http://www.loxone.com">http://www.loxone.com</a>) zeigt Kosten für ein Smart Home von etwa 800,- Euro (500,- Euro tatsächliche Technikkosten, wenn über das „Startpaket“ hinausgegangen wird, 180,- Euro Neueinbau, zzgl. 120,- Euro für eventuelle Neuverdrahtung). Es wird eine Lebensdauer des digitalen Systems von 10 Jahren unterstellt. Aufgrund der wahrscheinlichen Schwankungsbreite der Kosten wird auf eine Abzinsung verzichtet.</p> <p>Achtung: es werden die gesamten Kosten des Smart Home der Ermöglichung der Lastverschiebung zugerechnet, andere Funktionen des Smart Home bleiben unbeachtet.</p>	80,- Euro
<b>Kühl- und Gefriergeräte (Smart Home)</b>	Das Smart Home für Kühl- und Gefriergeräte geht mit dem Smart Home für Waschmaschine, Wäschetrockner und Geschirrspüler einher! Der angegebene Betrag ist daher nicht zusätzlich zum Smart Home für Waschmaschine, Wäschetrockner und Geschirrspüler zu betrachten.	80,- Euro
<b>Warmwasser</b>	<p>Die Zusatzkosten für die <b>Abschaltung</b> durch den Netzbetreiber belaufen sich zumindest auf die zusätzlichen Messentgelte für einen Zweitstromzähler (nach SNE-VO 2012 24,- Euro pro Jahr) und die Kosten der zählerabhängigen Ökostrompauschale von 11,- Euro pro Jahr (§ 45 Abs. 2 Ökostromgesetz 2012). Gemäß SNE-VO 2012 ergeben sich Entgeltreduktionen von 0,017 Euro pro kWh, das sind bei einem Verbrauch von 992 kWh/a etwa 17,- Euro. Außerdem entfällt der Leistungspreis von durchschnittlich etwa 18,- Euro pro Jahr. → Zwischensumme: 0,- Euro / Jahr</p> <p>Zur Wahl eines zusätzlichen Tarifs brauchen Haushalte gemäß Paetz und Dütschke (2011) Anreize von 65,- bis 120,- Euro, also etwa 92,5 Euro. Diese werden nach Koopmans und Velde (2001, S.60) auf 4 Jahre verteilt und vereinfachend mit 25,- Euro</p>	25,- Euro

Gerät	Begründung	Zusätzliche Kosten pro Haushalt und Jahr
	<p>angenommen.</p> <p>Die Zusatzkosten für eine <b>Zuschaltung</b> ergeben sich ausschließlich durch eine Automatisierung. Eine kontrollierte Steuerbarkeit, d.h. auch eine kontrollierte <b>Zuschaltung</b> ist dann möglich, wenn eine Automatisierung installiert ist. Aufgrund der hohen Verbräuche der Warmwasserbereitung im Vergleich zu anderen Haushaltsgeräten und in Folge leichter möglichen Einsparungen werden Realisierungskosten von 60,- Euro angenommen. Es wird eine individuelle Automatisierung der Warmwasserbereitung ohne ein im gesamten Haushalt verfügbares Smart Home unterstellt.</p>	60,- Euro
<b>E-Direktheizung</b>	<p>Wird beim Einbau schon jetzt standardmäßig am Zweitzähler installiert, über den üblicherweise günstigere Tarife gerechnet werden. Daher Zusatzkosten für <b>Abschaltung</b> durch den Netzbetreiber: null.</p> <p>Zusätzliche Verbräuche durch <b>Zuschaltung</b> sind nicht möglich.</p>	0,- Euro
<b>Nachtspeicherheizung</b>	<p>Wird beim Einbau schon jetzt standardmäßig am Zweitzähler installiert, über den üblicherweise günstigere Tarife gerechnet werden. Daher Zusatzkosten für <b>Abschaltung</b> durch den Netzbetreiber: null.</p> <p>Bei <b>Zuschaltung</b> durch den Netzbetreiber gelten die gleichen Kosten, weil die Nachtspeicherheizung zum kontinuierlich gültigen Tarif nachlädt. Das Potenzial ist aufgrund der wahrscheinlich vorhandenen Ladung zeitlich stark begrenzt.</p>	0,- Euro
<b>Wärmepumpe</b>	<p>Wärmepumpen werden beim Einbau schon jetzt standardmäßig am Zweitzähler installiert, über den üblicherweise günstigere Tarife gerechnet werden. Daher Zusatzkosten für <b>Abschaltung</b> durch den Netzbetreiber: null.</p> <p>Eine kontrollierte Steuerbarkeit, d.h. auch eine kontrollierte <b>Zuschaltung</b> ist dann möglich, wenn eine Automatisierung installiert ist. Aufgrund der hohen Verbräuche einer Wärmepumpe im Vergleich zu anderen Haushaltsgeräten und in Folge leichter möglichen Einsparungen werden Realisierungskosten von 30,- Euro angenommen. Es wird eine Automatisierung allein der Wärmepumpe (ohne ein im gesamten Haushalt verfügbares Smart Home) unterstellt.</p>	0,- Euro  30,- Euro

Quellen: Siehe Quellenangaben in der Tabelle.

**Durchschnittsbetrachtung:** Es ist bedeutend, klarzustellen, dass es sich bei den Angaben um Durchschnittsbetrachtungen handelt. Im Vergleich zu Unternehmen können Haushalte zwar als relativ homogene Gruppe bezeichnet werden, jedoch sind auch hier individuelle Einstellungen (Technik- bzw. Umweltaffinität), Potenziale (z.B. 5 kW-Boiler im einen Haushalt und 1 kW-Boiler im anderen), etc. zu beachten.

## 7.2 Kosten der Lastverschiebung pro kW

Die Kosten pro verschobene kW werden in Tabelle 7-2 hergeleitet. Dabei fanden die folgenden Vorgehensweisen und Annahmen Berücksichtigung:

Schaltheufigkeiten: Für die Abschaltung von Lasten wurde die Übereinstimmung der Gerätenutzungszeit mit üblichen Hochlastzeiten (z.B. 1x täglich) betrachtet, die quasi bei allen unregelmäßig genutzten Geräten gegeben ist. Bei Heizungsanwendungen ist zu beachten, dass diese nur im Winter anzuwenden sind. Für die Zuschaltung von Geräten wurde betrachtet, wie oft günstiger (oder ansonsten abzuschaltender) Windstrom zur Verfügung steht und eine Häufigkeit einer Zuschaltung von 50x jährlich angenommen. Diese sollen sich jeweils zur Hälfte auf Tag und Nacht sowie auf Sommer und Winter verteilen.

Berechnungsmethode: Die Kosten werden als Kosten pro Schaltung berechnet und anschließend durch die geschalteten kW dividiert. Beispiel: Im Bereich Warmwasser werden 365 Abschaltungen pro Jahr durchgeführt, bei jährlichen Kosten pro Haushalt von 25 Euro. Daraus errechnen sich Kosten von 0,068 Euro pro Schaltung. Mit einer Schaltung können 2 kW angesteuert werden, also fallen Kosten von 0,034 Euro pro kW an.

Lasten von Haushaltsgeräten: Für Kühl- bzw. Gefriergeräte werden in Kapitel 3.4.1 bzw. 3.4.2 Durchschnittslasten von 70 W bzw. 90 W angegeben. Um der schnell steigenden Effizienz des Bestands dieser Gerätekategorien Rechnung zu tragen, wird eine geringe Last von je 60 W angesetzt. 3.3.1, 3.3.2 und 3.3.3 zeigen, dass Waschmaschine, Wäschetrockner und Geschirrspüler tageszeitabhängig eine Durchschnittlast (über alle drei Gerätekategorien) von minimal 40 W und maximal 180 W aufweisen. Um zur weiteren Berechnung eine tageszeitunabhängige Durchschnittlast zu generieren, wird der summierte Verbrauch der drei Gerätekategorien von etwa 500 kWh pro Haushalt und Jahr (vgl. Strasser, 2013) auf 4.380 h verteilt, woraus sich etwa 120 W ergeben. Die Kosten für ein Smart Home fallen sowohl für die Gruppe Waschmaschine, Wäschetrockner und Geschirrspüler als auch für die Gruppe Kühl- und Gefriergeräte an. Solange die beiden Potenziale zur Verfügung stehen, verteilen sich die Kosten auf beide Gruppen und die Kosten pro kW sind daher geringer.

Der Status Quo für Kühl- und Gefriergeräte wird mangels Kosteneffektivität nicht betrachtet. Das Potenzial von Waschmaschine, Wäschetrockner, Geschirrspüler dürfte ohne Automatisierung über ein Smart Home vergleichsweise deutlich niedriger liegen und die Kosten dürften ungleich höher sein, daher wird auch hier nur auf die Verfügbarkeit eines Smart Home Bezug genommen.

**Tabelle 7-2: Darstellung der Kosten pro kW**

Gerät	Kosten pro Haushalt und Jahr	kW pro Gerät	Angenommene Schalt-Häufigkeit pro Jahr	Zusätzliche Kosten in Euro pro kW
<b>Waschmaschine, Wäschetrockner, Geschirrspüler (Smart Home)</b>	80,- Euro	0,12 kW (Summe)	Abschaltung zu Zeiten hoher Netzlasten: täglich = 365x Zuschaltung: keine	1,83 Euro / kW
<b>Kühl- und Gefriergeräte (Smart Home)</b>	80,- Euro	0,06 kW (Summe)	Abschaltung zu Zeiten hoher Netzlasten: täglich = 365x Zuschaltung zu windstarken Tageszeiten: 50x Summe: 415 Schaltungen	3,21 Euro / kW

Gerät	Kosten pro Haushalt und Jahr	kW pro Gerät	Angenommene Schalt-Häufigkeit pro Jahr	Zusätzliche Kosten in Euro pro kW
<b>Kühl- und Gefriergeräte, Waschmaschine, Wäschetrockner, Geschirrspüler (Smart Home)</b>	80,- Euro	0,18 kW (Summe)	Abschaltung zu Zeiten hoher Netzlasten: täglich = 365x Zuschaltung zu windstarken Tageszeiten: 50x bzw. 0x Summe: ca. 400 Schaltungen	1,11 Euro / kW
<b>Warmwasser</b>	Abschaltung 25,- Euro Zuschaltung 60,- Euro	2 kW	Abschaltung zu Zeiten hoher Netzlasten: täglich = 365x Zuschaltung zu windstarken Tageszeiten: 50x	0,034 Euro / kW 0,60 Euro / kW
<b>E-Direktheizung</b>	0,- Euro	2,5 kW	Abschaltung zu Zeiten hoher Netzlasten (nur Winter): täglich, nur Winter = 182x	0,00 Euro / kW
<b>Nachtspeicherheizung</b>	0,- Euro	10 kW	Zuschaltung zu windstarken Tageszeiten (nur Winter, nur tagsüber): 12x	0,00 Euro / kW
<b>Wärmepumpe</b>	Abschaltung 0,- Euro Zuschaltung 30,- Euro	1,3 kW	Abschaltung zu Zeiten hoher Netzlasten: täglich, nur Winter = 182x Zuschaltung zu windstarken Tageszeiten (nur Winter): 25x	0,00 Euro / kW 0,92 Euro / kW

Quelle: Eigene Zusammenstellung aus Annahmen und Ergebnissen aus Vorkapiteln

### Anmerkung zu den getroffenen Annahmen

Zum realen Potenzial: Es ist anzunehmen, dass sich ohne Smart Home ein beschränktes realisierbares Potenzial bei Waschmaschinen, Wäschetrocknern und Geschirrspülern ergibt. Das tatsächliche Potenzial für Kühl- und Gefriergeräte ist ohne Smart Home überhaupt vernachlässigbar. Trotz wachsender Durchdringungsrate und sinkenden Kosten wird ein Smart Home auch zukünftig nur in einem Teil der Haushalte zur Verfügung stehen, d.h. es wurde für Kühl- und Gefriergeräte ein optimistisches, zukünftiges Potenzial angegeben. Für Waschmaschinen, Wäschetrocknern und Geschirrspüler gilt hinsichtlich eines Smart Home die gleiche Argumentation, jedoch ist anzumerken, dass tageszeitabhängig höhere Potenziale vorhanden sind (vgl. 3.3.1, 3.3.2, 3.3.3).

Zu den Kosten: Die Kosten sind Durchschnittswerte, die nicht gemäß dem ökonomischen Erwartungen (günstige, einfach realisierbare und/oder große Potenziale zuerst) funktionieren. Hinzu kommt, dass es sich um Fixkosten handelt, das heißt es müssen Annahmen getroffen werden, wie oft das Potenzial genutzt wird, denn angesichts der regressiv wirkenden Fixkosten ist z.B. eine geringe Nutzung deutlich teurer als eine häufige. Werden die notwendigen Technologien über andere Produkte (z.B. Einbruchschutz im Fall von Smart Homes) verkauft, sinken die Erweiterungskosten signifikant. Auch wenn mehrere Gerätegruppen gleichzeitig angesprochen werden, können die Kosten signifikant sinken. So ist auch von einer Integration der elektrischen Warmwasserbereitung bzw. Heiztechnik in ein Smart Home auszugehen.

## 8 Resümee zur Lastverschiebung in Haushalten

Es wurden für die Thematik der Lastverschiebung in Haushalten nur die Geräte betrachtet, die in Relation zum durchschnittlichen jährlichen Gesamtstromverbrauch relevant erscheinen. Gerade wenn es um die sehr kurzfristige und nur kurzzeitige Vermeidung von Lastspitzen geht, z.B. mittels Event-Tarifen, so ist aber auch die Verwendung anderer Geräte verschiebbar, dazu zählen E-Herd, Wasserkocher, TV, Staubsauger, Beleuchtung und PC.

Potenziale: Bei den Potenzialen ist klar ersichtlich, dass **thermische Anwendungen** wie Heizung und Warmwasser die höchsten Potenziale aufweisen. Hier ist des Weiteren festzustellen, dass Komforteinbußen bereits bei der Potenzialberechnung vermieden wurden und folglich eine Lastverschiebung keine weiteren Änderungen von Lebensstil oder Verhalten benötigt. Auch andere Haushaltsgeräte sind nicht zu vernachlässigen, speziell dann, wenn diese über ein bestehendes Smart Home automatisch und optimal geschaltet werden können.

Kosten: Aufgrund der stark von Fixkosten geprägten Kostensituation ist es für die Kosten pro verschobener kW maßgeblich, **wie oft (nicht wie lange)** das Gerät zur Lastverschiebung angesteuert wird. Es kann unter der Annahme reiner Fixkosten sogar geschlussfolgert werden, dass eine doppelte Nutzungshäufigkeit zu einer Halbierung der Kosten führt. Dagegen ist – innerhalb des Zeitraums, in dem ein Lastverschiebungspotenzial des Geräts zur Verfügung steht – die Dauer der Schaltung vernachlässigbar. Bei der Feststellung der Kosten wurde ein Einfluss auf die Lebensdauer der Geräte vernachlässigt.

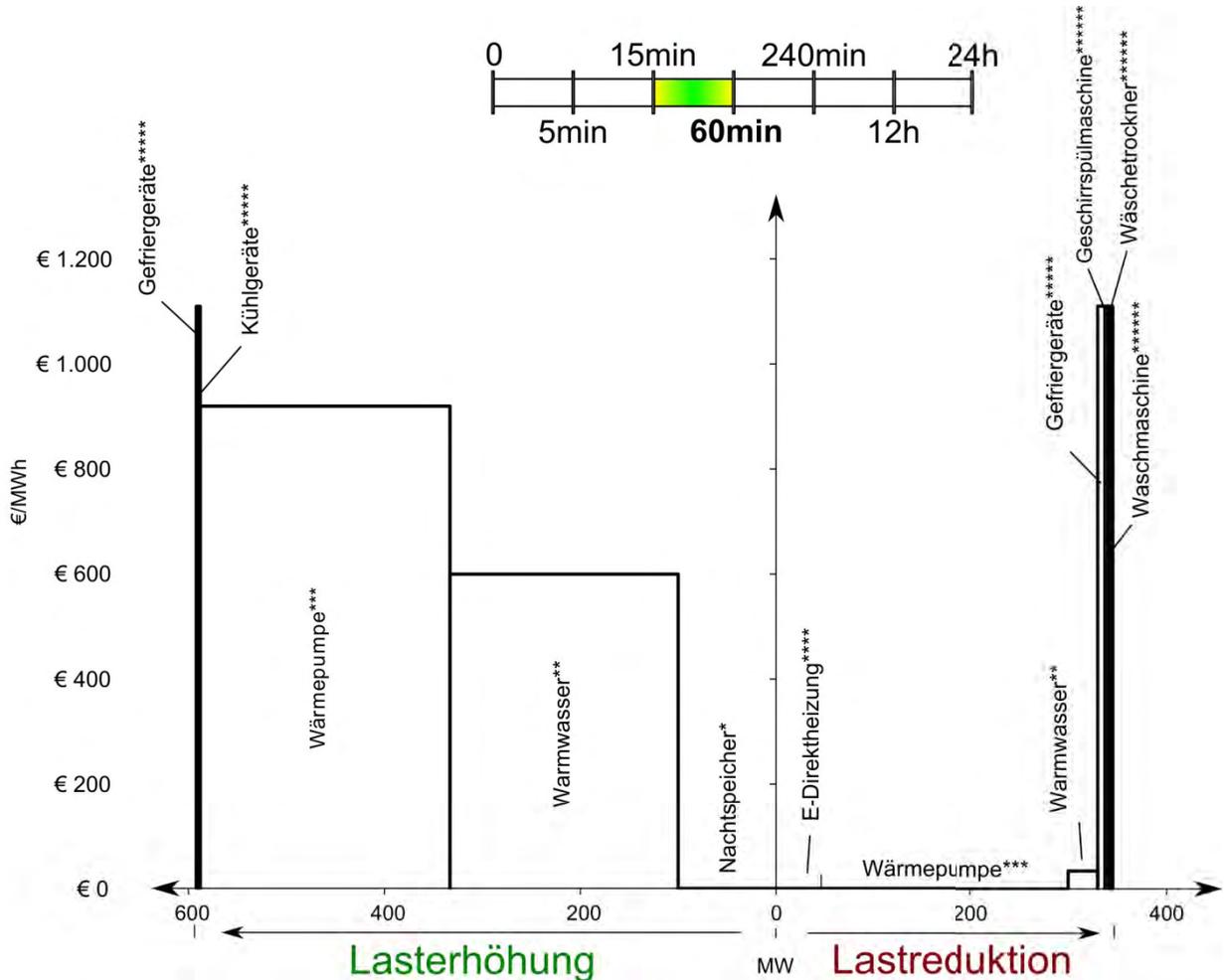
Zielsetzung: Die Geräte des Haushalts befinden sich im Gegensatz zu den günstigsten z.B. industriellen Potenzialen im Niederspannungs- bzw. Verteilnetz. Gilt es nicht, generell Windenergie zu integrieren oder das Gesamtnetz zu stabilisieren (Frequenz), sondern geht es um die Power Quality im Verteilnetz, so sind eventuell auch andere Lasten, insbesondere z.B. fernsteuerbare Boiler von Interesse. Sind die Technologien des Smart Homes etabliert und Alltagsanwendungen, so sind die Potenziale zu geringen Kosten nutzbar (Fixpreise sind auszuklammern).

### Handlungsempfehlungen:

- Zur Realisierung von Geschäftsmodellen, mit denen die Lastverschiebungspotentiale im Haushaltsbereich genutzt werden können ist eine weiterreichende Kundensegmentierung empfehlenswert, um interessante und interessierte Kundenschichten gezielt ansprechen zu können.
- Weiters gilt es Kundenängste hinsichtlich Lastverschiebung generierender Tarife bzw. eines Eingriffs durch einen Dritten (z.B. ein EVU) abzubauen.
- Aus Netzbetreibersicht erscheint es empfehlenswert, eine direkte Kontaktaufnahme mit Kunden zur Erzielung einer Schaltbarkeit am Zweitähler bzw. einer Verlagerung von nicht komfortrelevanten Verbräuchen auf einen neu zu installierenden Zweitähler zu erwägen.
- Hinsichtlich der Bauordnung ist zu empfehlen, dass bei Neubauten oder grundlegenden Sanierungen Möglichkeiten für eine (nachträgliche) Installation eines Smart Home oder einer anderweitigen Automatisierung vorzusehen sind.
- Aus regulatorischer Sicht gilt es einen Rahmen festzulegen, in dem die Möglichkeit Lastverschiebungsmaßnahmen zu setzen nicht durch die Art der Festsetzung der Netzentgelte (vgl. z.B. 4.3.3) oder andere (z.B. technische) Regeln negativ beeinflusst werden.

Die folgende Abbildung stellt die in diesem Arbeitspapier gefundenen Ergebnisse hinsichtlich der Kosten und Nutzen von Lastverschiebungsmaßnahmen in Form einer Kostenkurve dar. Die Kostenkurve gilt für Lastverschiebungen, die zwischen 15 und 60 min lang andauern.

Abbildung 8-1: Kostenkurve für den Zeitraum zwischen 15 und 60 min.



Quelle: Werte gemäß Abschnitte 6 und 7.

\* Nachtspeicherheizungen werden definitionsgemäß primär nachts geladen. Da es sich nachts um einen Zeitraum mit schwachen Lasten und geringen Energiepreisen handelt, wird hier kein Erfordernis zur Last- oder Verbrauchsreduktion angenommen. Eine (beschränkte) Lasterhöhung kann tagsüber durch Freischaltung des Zählers und entsprechendes, teilweises Nachladen der Geräte erfolgen.

\*\* Die Warmwasserbereitung kann zu einer Lastreduktion nur in dem Ausmaß beitragen, in dem Boiler zum jeweiligen Zeitpunkt betrieben werden. Eine Abschaltung wäre nach Installation eines Zweitzählers möglich. Ist der Zähler freigeschaltet, ist eine Aufheizung aller nicht sowieso in Betrieb befindlichen Warmwasser-Boiler möglich. Zur Aktivierung ist eine reine Freischaltung nicht ausreichend und es bedarf einer Ansteuerung über IKT.

\*\*\* Wärmepumpen werden schon aktuell am schaltbaren Zweitstromzähler installiert. Eine Lastreduktion kann durch Abschaltung des Zählers erfolgen. Ist dieser freigeschaltet, ist eine Aufheizung aller nicht sowieso in Betrieb befindlichen Wärmepumpen möglich. Zur Aktivierung ist jedoch eine reine Freischaltung des Zählers nicht ausreichend und es bedarf einer Ansteuerung über IKT.

\*\*\*\* Elektrodirektheizungen haben keinen integrierten Wärmespeicher. Aufgrund eines angenommenen Dauerbetriebs wird kein Lasterhöhungspotenzial attestiert. Eine (begrenzte) Lastreduktion ist jedoch über einen schaltbaren Zweitstromzähler möglich.

\*\*\*\*\* Kühl- und Gefriergeräte eignen sich nur bei Verfügbarkeit ausreichender IKT (Smart Home) zur Lasterhöhung und -reduktion, da manuelle Schaltungen mit Unsicherheiten (z.B. Verderb von Lebensmitteln) verbunden sind. Für Kühlgeräte liegt nach einer Stunde kein Lastreduktionspotenzial vor.

\*\*\*\*\* Ungeladene Waschmaschinen, Wäschetrockner und Geschirrspüler stehen nicht für eine Einschaltung zur Verfügung (kein Lasterhöhungspotenzial). Tageszeitabhängig können zur Lastreduktion deutlich höhere Potenziale zur Verfügung stehen. Es ist anzunehmen, dass über ein Smart Home auch Waschmaschinen, Wäschetrockner und Geschirrspüler, elektrische Heizsysteme bzw. Wärmepumpen oder die Warmwasserbereitung angesteuert werden können, womit die Kosten pro MWh sinken würden und ein umfassender Zugang zu allen relevanten Haushaltsgeräten möglich ist.

## 9 E-Cars: Lastverschiebungspotenzial

*Fabian Frank, Simon Moser, Gerold Muggenheimer*

Trotz noch geringer Stückzahlen weisen gesetzliche Vorgaben (z.B. das CO<sub>2</sub>-Abgas-Ziel für PKW, das 2009 im Rahmen des EU-Klimapakets fixiert wurde) und auch die wachsende E-Car-Modellpalette auf eine zunehmende Bedeutung der Elektromobilität hin. Vor diesem Hintergrund sind E-Cars sowohl als Verbraucher als auch als Zwischenspeicher für eine Lastverschiebung interessant.

PKW mit (rein) elektrischem Antrieb (E-Cars) verfügen heute meist über Lithium-Ionen-Akkus, deren Eigenschaften sich nicht nur als Energiequelle zur Fortbewegung eignen: Eine geregelte Ladung der Akkus kann Vorteile für das gesamte Energiesystem schaffen und der Akku kann als Medium zur klassischen Energiespeicherung genützt werden.

Weltweit zählen die USA gefolgt von Japan absolut gesehen zu den Ländern mit den meisten zugelassenen Elektroautos. In Europa zeigt sich Norwegen als Vorreiter bei der absoluten und relativen Anzahl von reinen Elektrofahrzeugen. Im Bereich der Hybridwagen liegt Deutschland an der Spitze (vgl. Tabelle 9-1).

**Tabelle 9-1: Bestandszahlen im europäischen Vergleich (Auswahl)**

Land	Anzahl Elektrofahrzeuge	Anzahl Hybridfahrzeuge	Gesamtzahl
Belgien	823	347	1.170
Deutschland	7.114	64.995	72.109
Estland	683		683
Finnland	137	200	337
Italien	3.100		3.100
Niederlande	1.910	4.348	6.258
Norwegen	13.613	339	13.952
Österreich	2.070	9.955	12.025
Schweden	1.242	1.273	2.515
Schweiz	2.683	34.834	37.517
Spanien	874	61	935

Quelle: Pillei (2014)

Um Abschätzungen für mögliche Lastverschiebungspotenziale der E-Mobilität in Österreich treffen zu können, werden die Daten aus den entsprechenden Akkukapazitäten und Zulassungszahlen hochgerechnet. Auf die technische Umsetzbarkeit und benötigte Aufrüstung entsprechender Lade-, Netzwerk- und Zählertechnik wird in dieser Studie nicht näher eingegangen, hier ist auf andere Studien zu verweisen (vgl. bspw. Adegbite et al., 2011).

## 9.1 Theoretisches Lastverschiebungspotenzial von E-Cars

**Stückzahlen:** Die Berechnung des Lastverschiebungspotenzials beschränkt sich auf rein elektrisch betriebene Personenkraftwagen. Hybridfahrzeuge werden in dieser Studie nicht beachtet, da diese meist wesentlich kleinere Akkus besitzen, und aus den Zahlen keine klare Unterscheidung zwischen Plug-In-Hybridfahrzeugen, welche auch per Steckdose geladen werden können, und konventionellen Hybridfahrzeugen ersichtlich ist. Laut Statistik Austria (2014) waren Mitte 2014 österreichweit 2.737 rein elektrisch betriebene Fahrzeuge zugelassen (Tabelle 9-2).

**Tabelle 9-2: Vorläufiger Pkw-Bestand nach Kraftstoffarten bzw. Energiequelle**

Kraftstoffarten	Juni 2014	Anteile in %
Benzin inkl. Flex-Fuel	2.014.177	43
Diesel	2.648.434	56,6
<b>Elektro</b>	<b>2.737</b>	<b>0,1</b>
<b>Benzin/Elektro (hybrid)</b>	<b>11.208</b>	<b>0,2</b>
<b>Diesel/Elektro (hybrid)</b>	<b>537</b>	<b>0</b>
Andere	4.259	0,1
Insgesamt	4.681.352	100

Quelle: Statistik Austria (2014)

**Potenzielle Leistungsaufnahme:** Andersson et al. (2010) und Rezania (2011) geben die maximale Ladeleistung eines E-Cars mit etwa 3,5 kW an. Selbstredend eignen sich E-Cars nur dann zur Lastverschiebung, wenn eine Verbindung zum Stromnetz besteht: Andersson et al. (2010) leiten in ihrem Artikel daraus, dass 80 % der E-Car-Flotte stets geparkt sind, ab, dass dieser Anteil jederzeit ans Stromnetz angeschlossen ist. Dieser Wert erscheint hoch, und auch Babrowski et al. (2014) gehen von einem Wert von 45 % in ihrem optimistischen Szenario und einem Wert von 24 % in ihrem pessimistischen Szenario aus. Es wird daher ein Durchschnittswert von 35 % für den Anteil der jederzeit ans Stromnetz angeschlossenen E-Cars angenommen. Würden alle E-Cars *gleichzeitig* geladen, ergäbe sich eine Gesamtlast von 3,4 MW (3,5 kW, 2.737 E-Cars, 35 % Netzanschluss).

Nissan (2014) gibt eine Ladedauer von etwa 8 Stunden an. Eine dreiphasige Ladung bedeutet eine Gesamtlast von 10,2 MW und eine Ladedauer von adäquat kürzeren 2,5 Stunden Rezania (2011). Auch von 50 kW Gleichstromladestationen wird gesprochen, folglich mit Ladezeiten von etwa 30 Minuten. Hier wäre eine Gesamtlast von etwa 50 MW gegeben – nochmals sei darauf hingewiesen, dass es sich um die rein fiktive gleichzeitige Ladung handelt, die nur ein hypothetisches Potenzial wiedergibt.

## 9.2 Varianten der Lastverschiebung

Aus Sicht des Netzes sind folgende Interaktionen mit dem E-Car möglich:

- Keine Interaktion (Warten / Speicherung)
- Ladung (Leistungsbezug) → Lastverschiebungsszenario 1
- Entladung (Leistungsabgabe) → Lastverschiebungsszenario 2



**Nutzung der E-Cars:** Andersson et al. (2010) nimmt eine primäre Nutzung der E-Cars vom Arbeitsplatz und zurück an. Alternativ wird aktuell häufig von einer Rolle des E-Cars als Zweitauto gesprochen. Es wird angenommen, dass ein privates E-Car mit 200 km Reichweite täglich weniger als 50 km benutzt wird und daher maximal jeden zweiten Tag geladen wird.

**Gleichzeitigkeit der Ladung:** Wie oben angemerkt ist die Gleichzeitigkeit der Ladung aller E-Cars unwahrscheinlich. Babrowski et al. (2014) analysierten das Lastverschiebungspotenzial von Elektroautos in Europa. Die Autoren verwendeten hierbei diverse Mobilitätsdaten anderer internationaler Studien, um Rückschlüsse auf die Lastverschiebungspotenziale von E-Mobilität zu ziehen. Mithilfe dieser Daten erhielten die Autoren Aufschluss über das Ladeverhalten einzelner Individuen und somit drei mögliche Szenarios (optimistisch, pessimistisch, realistisch). Da zwischen den betrachteten Ländern jedoch nur geringe Unterschiede im Ladungsverhalten festgestellt werden konnten, fokussierten sich die Autoren auf Deutschland. Die größten Unterschiede im Ladeverhalten ergaben sich zwischen ländlichen Gegenden und Zentren. So ist die Ladenachfrage in Zentren morgens am größten, wogegen im ländlichen Raum die Nachfrage abends ihr Maximum erreicht.

**Akkukapazität (Energienmenge) und Akkukosten:** Aus den Leistungen und Dauern leitet sich eine Akkukapazität von etwa 25 kWh in den aktuell meist verbreiteten E-Cars ab. Am Beispiel des Nissan Leaf werden Akkukosten von etwa 6.000 Euro abgeleitet (Nissan, 2014).

### 9.3.1 Szenario 1: Gesteuertes Laden

Potenzial: Es ist anzunehmen, dass sich für E-Cars Tarifangebote bzgl. einer Nachtladung entwickeln werden. Wie bei der Nachtspeicherheizung wird für die Nachtstunden kein Lastverschiebungsbedarf angenommen. Für die Ladung tagsüber wird das Maximalpotenzial von 10,2 MW über 2 Stunden angenommen. Wird ein Auto jeden zweiten Tag geladen (siehe Annahmen oben), so reduziert sich das Potenzial auf 5,1 MW. Es wird angenommen, dass die Ladung zwischen 08:00 und 12:00 Uhr und 14:00 und 16:00 Uhr erfolgt, also 2 Stunden Ladung innerhalb von 6 Stunden. Das gleichverteilte, resultierende **Potenzial liegt folglich bei 1,7 MW.**

Kosten: Wenngleich das Potenzial gegeben ist, sind die Unsicherheiten, die mit einer verzögerten Ladung verbunden sind, signifikant: Besitzer können ihre E-Cars eventuell nicht spontan in Anspruch nehmen. Bei einer Ladungsdauer von zwei Stunden ist jedoch anzunehmen, dass eine Unterbrechung von bis zu 15 Minuten (schaltbarer Zähler) problemlos möglich ist. Eine entsprechende Möglichkeit ist bei öffentlichen Ladesäulen zu integrieren. Längere Unterbrechungen (bis 1 Stunde) können mit Komforteinbußen verbunden sein.

### 9.3.2 Szenario 2: Entladen

Potenzial: Nach obiger Darstellung liegt das gleichverteilte Potenzial bei 1,7 MW. Einschränkend ist die Bereitschaft der Nutzer, das E-Car für eine Entladung überhaupt zur Verfügung zu stellen bzw. anzuschließen, zu erwähnen. Aufgrund des geringen aktuellen Potenzials wird dieses nicht angegeben.

Kosten: Neben einer Erstattung der Stromkosten für das erneute Laden fallen auch Kosten für einen Batteriezyklus an: Bei Batteriekosten von 6.000 Euro und einer angenommenen

Entladung von etwa 10 kWh (nicht immer steht der volle Akku zur Entladung zur Verfügung, und wenn, dann wird nicht immer gänzlich entladen) errechnen sich die Kosten pro kWh über die Zyklenfestigkeit der Batterie als  $6.000 / (\text{Zyklusanzahl} * 10)$ .

## 9.4 Zusammenfassung und Zukunftsaussicht

Im Vergleich zu anderen Sektoren, welche bereits länger als fixer Bestandteil im Stromnetz eingebunden sind und über die Jahre einen annähernd konstanten Energiebedarf aufweisen, zeigt sich der Strombedarf der E-Cars als stark wachsend. E-Cars können als neue zusätzliche Verbraucher betrachtet werden. Das für Österreich ermittelte Potenzial dieses Sektors spielt derzeit für Lastverschiebung eine untergeordnete Rolle. Weiters ergeben sich Einschränkungen durch das Benutzerverhalten und durch eine Verkürzung der Akkulebensdauer durch oftmaliges Auf- und Entladen. Gegebenenfalls sind zur Realisierung des Verschiebungspotenzials dieses Sektors vereinheitlichte, klarere Standards vonnöten.

**Stückzahlen:** Pötscher et al. (2010) halten in einer „optimistischen“ Szenarienabschätzung für das Jahr 2020 bis zu 50.000 Neuzulassungen von Elektro- und Plug-In-Hybridfahrzeugen pro Jahr in Österreich für möglich; im Jahr 2011 gaben in einer Pressekonferenz die Minister Mitterlehner, Berlakovich und Bures 250.000 Elektrofahrzeuge bis 2020 „als Maßstab gemäß Energiestrategie“ an. Angesichts dieser Aussagen ist eine signifikante Erweiterung des theoretischen Potenzials (d.h. des E-Car-Bestands) wahrscheinlich, auch wenn diese Zahlen nur zu Bruchteilen erreicht würden. Bei ansonsten gleichen Rahmenbedingungen (Leistungsaufnahme, Akkukapazität, Gewohnheiten, etc.) würden 250.000 E-Cars ein Potenzial von 155 MW bieten (Hochrechnung der aktuell 1,7 MW für 2.737 E-Cars).

**Infrastruktur:** Der Einsatz von flächendeckenden Gleichstromschnellladestationen würde eine Lastverschiebung durch zeitgesteuerten Mehr- oder Wenigerverbrauch in Abhängigkeit von Einspeisungs- oder Lastspitzen stark begünstigen.

**Kosten:** Wie schon oben dargestellt, sind insbesondere bei öffentlichen 3-phasigen Ladestationen (10,2 kW) und auch bei häuslichen Ladestationen mit zweitem, schaltbarem Zähler kurze Unterbrechungen zu enorm geringen Mehrkosten möglich. Wie auch Pötscher et al. (2010) vorwegnehmen, sind bei der Akkutechnologie hohe Lerneffekte gegeben, d.h. die Kosten sinken, während sich die Zyklenfestigkeit erhöht. Die einer Entladung zuordenbaren Kosten sinken damit signifikant.

### Factbox Lastverschiebungspotenzial von Elektroautos in Österreich

Das derzeit vorhandene Lastverschiebungspotenzial von 1,7 MW zeigt sich als zu gering um einen relevanten Beitrag zum gesamten österreichischen Lastverschiebungspotenzial leisten zu können. Eine weiterhin steigende Anzahl an E-Cars oder Weiterentwicklungen in der Akkutechnologie könnten diesen Sektor in wenigen Jahren zu einer durchaus relevanten Größe heranwachsen lassen.

## 10 Literaturverzeichnis

- Adegbite D., Bacher H., Faschang M., Glatz M., Kupzog F., Nauck E., Prüggl W. (2011) Smart Grids Modellregion Salzburg – Erstellung eines Umsetzungsplans zur Vehicle-to-Grid Interfaceentwicklung. Endbericht.
- Albadi M.H., El-Saadany E.F. (2007): Demand Response in Electricity Markets – An Overview. Conference Publication, Power Engineering Society General Meeting, 2007. IEEE. Web: [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=4275494&tag=1](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4275494&tag=1) (2012-12-04).
- Andersson, S.-L. et al., 2010. Plug-in hybrid electric vehicles as regulating power providers: Case studies of Sweden and Germany, Göteborg, Sweden; Zürich, Switzerland: Elsevier.
- AustrianPowerGrid, 2014. Lastprognose für den Folgetag (11.08.2014). [Online] Available at: <http://www.apg.at/de/markt/last/lastprognose> [Zugriff am 14.08.2014].
- Babrowski, S., Heinrichs, H., Jochem, P. und Fichtner, W., 2014. Load shift potential of electric vehicles in Europe, Karlsruhe, Germany; Jülich, Germany: Elsevier.
- Bendel, C., Nestle, D. und Ringelstein, J., 2006. BEMI - Energiemanagement-Interface zur dezentralen Stromeinspeisung in Niederspannungsnetze, Kassel: Institut für Solare Energieversorgungstechnik.
- Biermayr, P. et al., 2013. Innovative Energietechnologien in Österreich Marktentwicklung 2012, Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.
- Bigler, T., Gaderer, G., Loschmidt, P. und Sauter, T., 2011. SmartFridge: Demand Side Management for the Device Level, Wiener Neustadt: Institute for Integrated Sensor Systems.
- Brauner, G., Pöpl, G. und Tiefgraber, D., 2006. Verbraucher als virtuelles Kraftwerk - Potentiale für Demand Side Management in Österreich im Hinblick auf die Integration von Windenergie. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.
- Breukers S., Mourik R. (2013): The end-users as starting point for designing dynamic pricing approaches to change household energy consumption behaviours. DuneWorks, Netherlands, 2013.
- E-Control (2013): Systemnutzungsentgelte-Verordnung 2012 Novelle 2013.
- Einfalt, A., et al., 2012. Konzeptentwicklung für ADRES - Autonome Dezentrale Erneuerbare Energie Systeme, FFG-Forschungsprojekt, Wien: Energie der Zukunft.
- Elbe, C. und Schmutzner, E., 2013. Appliance-Specific Usage Patterns for Load Disaggregation Methods. Wien, Graz University of Technology, Institute of Electrical Power Systems.
- Essl, N., 2012. Flexibles Lastmanagement unter Einbindung von dezentralen Stromerzeugungsanlagen in Österreich mittels neuer Tarifmodelle, s.l.: Institut für Elektrische Anlage, Technische Universität Graz.
- Faruqi, A. und Sergici, S. (2010): Household Response to dynamic pricing of electricity – a survey of the empirical evidence. [Online] Available at: <http://ssrn.com/abstract=1134132> [Zugriff am 22.08.2014].

- Gaehmi, S., 2013. Potential analysis of Residential Demand Response using GridLAB-D. IECON, Wien: s.n.
- Grein, A. und Pehnt, M., 2011. Load management for refrigeration systems: Potentials and barriers. s.l.:s.n.
- Groiß, C., 2008. Power Demand Side Management - Potentiale und technische Realisierbarkeit im Haushalt. Wien: s.n.
- Hillemacher L., Nolden C., Bertsch V., Fichtner W. (2013): Lastverlagerungspotenziale durch variable Stromtarife – Ergebnisse eines Feldtests. e-Energy Programm „MeRegio“. IEWT.
- Hinrichs, C., 2008. Untersuchung und Entwicklung von Verfahren zur Desynchronisation adaptiver Kühlgeräte. Oldenburg: Universität Oldenburg.
- Hinrichs, C., Vogel, U. und Sonnenschein, M., 2009. Modelling and Evaluation of Desynchronization Strategies for Controllable Cooling Devices, Oldenburg: Dept. of Computing Science.
- hydroone (2009). peaksaver PLUS. [Online] Available at: <http://www.hydroone.com/MyHome/SaveEnergy/Pages/Peaksaver.aspx> [Zugriff am 18.02.2014].
- Kamper, A., 2009. Dezentrales Lastmanagement zum Ausgleich kurzfristiger Abweichungen im Stromnetz. s.l.:KIT Scientific Publishing.
- Klobasa, M., 2007. Dynamische Simulation eines Lastmanagements und Integration von Windenergie in ein Elektrizitätsnetz auf Landesebene unter regelungstechnischen und Kostengesichtspunkten. Zürich: s.n.
- Kollmann, Moser, Markl, Friedl, Goers, Greibl, Schäffler, Ripfl, Cieczynski, Sametinger, Wohlfarth (2012): Energieabrechnungs-Optimierung zur Endverbraucher motivation. Endbericht.
- Koopmans C.C., Velde D.W.t. (2001): Bridging the energy efficiency gap: using bottom-up information in a top-down energy demand model. Energy Economics 23/1, S. 57-75.
- Kremers, E., González de Durana, J. M. und Barambones, O., 2012. Emergent synchronisation properties of a refrigerator demand side management system, Vitoria: Elsevier ScienceDirect.
- Nabe C., Beyer C., Brodersen N., Schäffler H., Adam D., Heinemann C., Tusch T., Eder J., de Wyl C., vom Wege J., Mühe S. (2009): Einführung von lastvariablen und zeitvariablen Tarifen. Dezember 2009, Ecofys, EnCT, Becker Büttner Held im Auftrag der Bundesnetzagentur.
- Nissan, 2014. Aufladen Des Nissan Leaf. [Online] Available at: <http://www.nissan.at/AT/de/vehicle/electric-vehicles/leaf/charging-and-battery/charging-nissan-leaf-and-battery.html> [Zugriff am 14.08.2014].
- Paetz A., Dütschke E.. Dynamische Stromtarife – nur gesetzliche Pflicht oder Kundenwunsch? SIV.NEWS 1/2011, Web: [http://www.meregio.de/pdf/SIV\\_News\\_01-2011.pdf](http://www.meregio.de/pdf/SIV_News_01-2011.pdf) (2012-11-30).
- Pillei, M., April 2014. Elektromobilität 2013, s.l.: AustriaTech.
- Pötscher F., Winter R., Lichtblau G. (2010): Elektromobilität in Österreich. Szenario 2020 und 2050. Umweltbundesamt, Report REP-0257, Wien, 2010. Web: <http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0257.pdf>

Rezania R. (2011) Integration von Elektrofahrzeugen in das österreichische Energiesystem unter Analyse der Auswirkungen auf ausgewählte Mittel- und Niederspannungsnetze

Ringelstein, J., Bendel, C. und Nestle, D., 2008. Netz- und marktkonformes bidirektionales Energiemanagement für Lasten und dezentrale Erzeuger im Niederspannungsnetz, Kassel: Institut für Solare Energieversorgungstechnik.

Saele H. und Grande O. (2011): Demand Response From Household Customers: Experiences From a Pilot Study in Norway. IEEE Transactions on Smart Grid.

Sonnenschein, M. und Lünsdorf, O., 2009. Lastadaption von Haushaltsgeräten durch Verbundsteuerung, Oldenburg: OFFIS - Institut für Informatik.

Stadler, M., Krause, W., Sonnenschein, M. und Vogel, U., 2008. Modelling and evaluation of control schemes for enhancing load shift of electricity demand for cooling devices, Oldenburg: Elsevier ScienceDirect.

Stamminger, R., 2013. Effectiveness of demand side management by variable energy tariffs in the households – results of an experimental design with a fictive tariff model, Bonn: University of Bonn Household and Appliance Technology Section, Institute for Agricultural Engineering.

Statistik Austria, 2014. Kraftfahrzeuge - Bestand. [Online] Available at: [http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/verkehr/strasse/kraftfahrzeuge\\_-\\_bestand/index.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/verkehr/strasse/kraftfahrzeuge_-_bestand/index.html) [Zugriff am 12 08 2014].

Strasser, M., 2013. Strom- und Gastagebuch 2012, Strom- und Gaseinsatz sowie Energieeffizienz, österreichischer Haushalte, Wien: STATISTIK AUSTRIA.

Wedler, M., Schäffler, H., Janssen, R., Stadler, M., Koch, M., Funke, S., Speckmann, M., Ritter, P., Filzek, D., Steunenberg, J., Conrads R., 2011. Beteiligung verschiedener Kunden am Energiemarkt der Zukunft in E-Energy mit Beispielen aus den Modellregionen RegModHarz und eTelligence. [Online] Available at: <http://www.energiesystemtechnik.iwes.fraunhofer.de/de/presse-fothek/publikationen/uebersicht/2011/beteiligung-verschiedener-kunden-am-energiemarkt-der-zukunft-in-.html> [Zugriff am 28 08 2014].

Wegscheider-Pichler, A., 2008. Projektbericht Strom- und Gastagebuch 2008, Statistik Austria, s.l.: s.n.

Wik-Consult und Fraunhofer, 2006. Potenziale der Informations- und Kommunikations-Technologien zur Optimierung der Energieversorgung und des Energieverbrauchs (eEnergy). Bad Honnef: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi).

Zeilinger, F. X. und Einfalt, A., 2011. Simulation der Auswirkung von Demand Side Management auf die Leistungsaufnahme von Haushalten. Wien: s.n.

## 11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Maximale Verschiebezeitdauern in Stunden .....	8
Tabelle 3-1: Leistungsdaten zur Waschmaschinennutzung in Österreich (2012) .....	12
Tabelle 3-2: Leistungsdaten zur Wäschetrocknernutzung in Österreich (2012) .....	13
Tabelle 3-3: Leistungsdaten zur Spülmaschinennutzung in Österreich (2012) .....	14
Tabelle 3-4: Leistungsdaten zu Kühlschränken in Österreich (2012) .....	16
Tabelle 3-5: Zeitdauer für bestimmte Lastreduktion in Abhängigkeit vom Spread – Direct Storage Control .....	17
Tabelle 3-6: Zeitdauer für bestimmte Lastreduktion in Abhängigkeit der Lead Time – Timed Load Reduction .....	17
Tabelle 3-7: Leistungsdaten zu Gefriergeräten in Österreich (2012) .....	19
Tabelle 3-8: Leistungsdaten zur elektrischen Warmwasserbereitung in Österreich (2012) .....	19
Tabelle 3-9: Lasterhöhungspotenzial bei elektrischer Warmwasserbereitung .....	20
Tabelle 3-10: Leistungsreduktionspotenzial von 1.000 Wärmepumpen in Haushalten. Anteil am Referenzwert .....	22
Tabelle 3-11: Leistungsdaten zu prognostizierten, zusätzlich installierten Wärmepumpen in Österreich bis zum Jahr 2020 .....	22
Tabelle 6-1: Realistisch einsetzbares technisches Potenzial .....	35
Tabelle 6-2: Lastverschiebungspotenzial nach Haushaltsgeräten .....	37
Tabelle 7-1: Vollkostenschätzung für die Lastverschiebung von Großgeräten im Hausbereich .....	38
Tabelle 7-2: Darstellung der Kosten pro kW .....	40
Tabelle 9-1: Bestandszahlen im europäischen Vergleich (Auswahl) .....	44
Tabelle 9-2: Vorläufiger Pkw-Bestand am 30.06.2014 nach Kraftstoffarten bzw. Energiequelle .....	45

## 12 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Verbrauch einer durchschnittlichen Waschmaschine eines österreichischen Haushaltes .....	9
Abbildung 2-2:	Verbrauch eines durchschnittlichen Wäschetrockners eines österreichischen Haushaltes .....	9
Abbildung 2-3:	Verbrauch einer durchschnittlichen Geschirrspülmaschine eines österreichischen Haushaltes .....	9
Abbildung 2-4:	Verbrauch einer durchschnittlichen elektrischen Warmwasserbereitung eines österreichischen Haushaltes.....	9
Abbildung 3-1:	Verteilung der Anzahl der Waschgänge (typische Einsatzzeiten) an einem Durchschnittstag.....	12
Abbildung 3-2:	Verteilung der Anzahl der Trockengänge (typische Einsatzzeiten) an einem Durchschnittstag.....	14
Abbildung 3-3:	Verteilung der Anzahl der Geschirrspülgänge (typische Einsatzzeiten) an einem Durchschnittstag.....	15
Abbildung 4-1:	Struktur und Ziele von Tariftests im E-Energy Programm.....	24
Abbildung 6-1:	Reduktionsgründe zum Beitrag von Endkunden nach Stadium der Beteiligung. ....	33
Abbildung 6-2:	Reduktionsgründe zum Beitrag von Endkunden nach Kosten-Nutzen-Kategorie. ....	34
Abbildung 9-1:	Mögliche Lastverschiebungsbereiche eines Arbeitstages.....	46