

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

Lastverschiebung bei
gewerblichen Anwendungen:
Lebensmittelkühlung und
Dienstleistungsgebäude

C. Amann

Österreichische
Begleitforschung
zu Smart Grids

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

7f/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

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

Lastverschiebung bei gewerblichen Anwendungen:
Lebensmittelkühlung und Dienstleistungsgebäude

Österreichische Begleitforschung
zu Smart Grids

Christoph Amann
e7 Energie Markt Analyse GmbH

Wien, Juli 2014

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.

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 Potenzialausschöpfung und leitet Kostenkurven für Österreich ab.

Der vorliegende Projektbericht 5/9 „Lastverschiebung bei gewerblichen Anwendungen: Lebensmittelkühlung und Dienstleistungsgebäude“ 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.

INHALT

1	Lastverschiebung bei der Lebensmittelkühlung und bei Dienstleistungsgebäuden.....	4
1.1	Zielsetzung.....	4
1.2	Allgemeine Anforderungen an lastverschiebungsrelevante Anwendungen.....	4
2	Kühlung von Lebensmitteln	5
2.1	Rahmenbedingungen bei der Kühlung von Lebensmitteln	5
2.2	Energieverbrauch bei der Kühlung von Nahrungs- und Lebensmitteln	6
2.2.1	Energieverbrauch von Kühlhäusern.....	6
2.2.2	Energieverbrauch des Lebensmittelhandels	7
2.3	Lastverschiebung bei der Lebensmittelkühlung	7
2.3.1	Lastverschiebung bei Kühlhäusern.....	7
2.3.2	Lastverschiebung beim Lebensmittelhandel	8
2.4	Kosten für die Lastverschiebung für die Lebensmittelkühlung	9
3	Dienstleistungsgebäude	9
3.1	Rahmenbedingungen für die Lastverschiebung bei Dienstleistungsgebäuden	10
3.1.1	Warmwasserbereitung.....	10
3.1.2	Warmwasserheizungen.....	10
3.1.3	Wärmepumpen.....	10
3.1.4	Lüftungsanlagen	10
3.1.5	Klimaanlagen	11
3.2	Energieverbrauch für die Konditionierung von Dienstleistungsgebäuden	11
3.3	Lastverschiebung in Dienstleistungsgebäude.....	14
4	Zusammenfassung Lastverschiebungspotenziale.....	16
5	Quellen und Verweise	18
5.1	Literaturverzeichnis	18
5.2	Tabellenverzeichnis	19
5.3	Abbildungsverzeichnis.....	19

1 Lastverschiebung bei der Lebensmittelkühlung und bei Dienstleistungsgebäuden

Durch das Vorhandensein von (thermischen) Speichern eignen sich sowohl die Kühlung von Lebensmitteln als auch die Konditionierung von Dienstleistungsgebäuden aus technischer Sicht hervorragend zur Lastverschiebung.

1.1 Zielsetzung

In diesem Arbeitspapier wird eine Abschätzung des technisch nutzbaren Lastverschiebungspotenzials sowie der wirtschaftlichen Eckpunkte dieser verbraucherseitigen Maßnahmen erfolgen. Darauf aufbauend werden Rahmenbedingungen abgeleitet, welche auch für eine Nutzung dieses Potenzials notwendig sind. Lastverschiebung – wie in den weiteren Berichtsteilen ersichtlich¹ – ermöglicht eine Anpassung der Lasten an eine fluktuierende Erzeugung und schafft damit den notwendigen Ausgleich zwischen Produktion und Verbrauch.

1.2 Allgemeine Anforderungen an lastverschiebungsrelevante Anwendungen

Zur Ausschöpfung von Lastverschiebungspotenzialen müssen schaltbare Verbraucher vorhanden sein. Das stellt insofern eine große Herausforderung dar, da die Qualitätsanforderungen der Kernprozesse (Kühlung von Lebensmitteln bzw. Konditionierung von Gebäuden) nicht reduziert werden dürfen. In Hinblick auf die Tauglichkeit verschiedener Lastverschiebungsansätze, einen Beitrag zur Reduktion von Spitzenbelastungen zu leisten wurden daher folgende Kriterien festgelegt. Diese sind in Tabelle 1-1: Kriterienkatalog für Lastverschiebungsmaßnahmen dargestellt:

Tabelle 1-1: Kriterienkatalog für Lastverschiebungsmaßnahmen

Kriterium	Relevanz (1-5)
Beibehaltung der Produkt- und Prozessstandards	xxx
Beibehaltung sämtlicher Qualitätsstandards von Erzeugnissen und Dienstleistungen	xxxx
Beibehaltung der operativen Wertschöpfung unter Berücksichtigung eines Abgleichs etwaiger Mindereinnahmen durch Lastverschiebungsabgeltungen (auf Basis Leistungs- und Strukturerhebung der Statistik Austria)	x
Freiwilligkeit der Teilnahme als oberste Maxime ²	xxx
Mikroökonomische Optimierung (Kosten/Nutzen auf Individuums- und Unternehmensebene)	xx
Beibehaltung sämtlicher Sicherheitsstandards der Produktion	xxxxx

Quelle: Arbeitspapier „Lastverschiebung in der Industrie“ des Projekts Loadshift

¹ Diese werden in der der Literatur (Arbeitspapier „Lastverschiebung in der Industrie“ des Projekts Loadshift) unter anderem als ein Teilaspekt von Smart Grids immer wieder in Erwägung gezogen.

² Dies gilt auch für zukünftig zu entwickelnden Businessmodelle, da Beteiligung und *win-win* Situationen ausschließlich bei freiwilliger Teilnahme möglich sind. Die einzelwirtschaftliche Optimierung ist somit Voraussetzung für sämtliche Lastverschiebungsmaßnahmen.

2 Kühlung von Lebensmitteln

Die Kühlung von Lebensmitteln spielt sowohl bei der Herstellung, beim Transport und bei der Lagerung (Großlager, Verkauf) eine bedeutende Rolle. Lastverschiebungspotenziale bei der Herstellung von Lebensmitteln werden hier allerdings ausgeklammert, da die erforderlichen Prozesse sehr enge technische und zeitliche Toleranzen aufweisen (vgl. Stadler 2005, Grau 2011). Ebenfalls ausgeklammert bleiben Kühlprozesse beim Transport, da dieser überwiegend durch LKWs erfolgt, die mit Diesel oder Gas betrieben werden und diese Energie daher für Lastmanagement nicht zur Verfügung steht.

2.1 Rahmenbedingungen bei der Kühlung von Lebensmitteln

Geht man von der Annahme aus, dass es bei Lastverschiebungen zu keinen relevanten Einbußen bzgl. Qualität und Wertschöpfung kommen soll, dann setzt eine Lastverschiebung die Möglichkeit voraus, Energie, Produkte oder sonstige Medien (Luft) speichern zu können. Kühlhäuser und Kälteanlagen im Lebensmittelhandel besitzen durch das Kühlgut erhebliche thermische Speicherpotenziale. Es gibt jedoch enge Toleranzen der Temperaturschwankungen, da sich sowohl zu hohe als auch zu tiefe Temperaturen negativ auf die Qualität des Kühlguts auswirken können. Auf diesen Aspekt verweist Becker (2009), der jegliche Nutzung des Kühlguts als thermischer Speicher ablehnt, mit Nachdruck. Als Alternative wird vorgeschlagen, im Lebensmittelhandel verstärkt Eisspeicher – verbunden mit organisatorischen und technischen Energieeffizienzmaßnahmen – einzusetzen.

Die Plattform Energiewende TPEC (2013) schlägt demgegenüber vor, bei Stromüberschuss das Kühlgut bei Kühlhäusern von üblichen -20°C auf -24°C abzukühlen und zu einem späteren Zeitpunkt wieder auf -20°C zu erwärmen. Abhängig von den Rahmenbedingungen (Warenumsatz, Isolierung, Empfindlichkeit der Lebensmittel) lassen sich damit mehrere Stunden überbrücken. Es wird aber von der Plattform Energiewende TPEC klar darauf hingewiesen, dass insbesondere bei der Pluskühlung sehr enge Toleranzen für die Temperatur bestehen und damit kein nutzbares Lastverschiebungspotenzial vorhanden ist. Zur Vermeidung von Temperaturschwankungen beim Kühlgut wird auch hier der Einsatz von Eisspeichern empfohlen.

Bei der Kühlung muss generell zwischen Pluskühlung ($>0^{\circ}\text{C}$, Normalkühlung) und Minuskühlung ($<0^{\circ}\text{C}$) unterschieden werden. Zur Vermeidung der Vermehrung von Mikroorganismen sowie zur Erhaltung gewisser Qualitätsanforderungen müssen bestimmte Temperaturen genau eingehalten werden. Änderungen der Temperatur haben z.T. deutliche Folgen, etwa auf die Haltbarkeit von Lebensmitteln. Bei der Pluskühlung wird davon ausgegangen, dass eine Erhöhung der Temperatur von $+5$ auf $+7^{\circ}\text{C}$ eine Reduktion der Lagerzeiten um 10 bis 15 % nach sich ziehen kann (Stadler 2005), bei der Minuskühlung halbiert sich die Lebensdauer von Lebensmitteln bei einer Erhöhung der Temperatur von -18 auf -12°C um bis zu 70 % (ebd.). Zusätzlich können sehr tiefe Temperaturen unter -18°C zu Vitaminverlusten führen. Wichtig ist, dass sich unter -10°C vermehren Mikroorganismen nicht mehr vermehren. Eisspeicher bieten sich zusätzlich bei solchen Prozessen an, die in sehr kurzer Zeit sehr hohe Kältemengen benötigen, wie etwa bei der Kühlung der Würze in Brauereien, die sehr schnell erfolgen muss. Für die Abschätzung der Potenziale für

Lastverschiebungen wird im Allgemeinen von einer Temperaturspreizung von +2 bis +7°C bei der Pluskühlung bzw. von -12 bis -20°C bei der Minuskühlung ausgegangen (z.B. Stadler 2005, Grau 2011).

Lastmanagement wird bei vielen Kühlanwendungen auch schon gegenwärtig betrieben, da es etwa bei Kühlhäusern üblich ist, den günstigeren Nachttarif für eine verstärkte Kühlung zu nutzen und den Tagverbrauch möglichst gering zu halten.

2.2 Energieverbrauch bei der Kühlung von Nahrungs- und Lebensmitteln

In Deutschland betrug der jährliche Gesamtenergieverbrauch für die Kühlung von Nahrungsmitteln im Jahr 1999 51.121 GWh, davon waren 48.050 GWh, also der weitaus überwiegende Teil elektrische Energie (Stadler 2005). Von diesen 48.050 GWh wurden 18.630 GWh in Haushalten und 19.616 GWh bei der Erzeugung der Nahrungsmittel eingesetzt, bei der Lagerung bzw. Verteilung waren es 9.805 GWh, somit rund 20 % der gesamten elektrischen Energie, die für die Kühlung verwendet wurde.

Sieht man sich den Bereich Lagerung und Verteilung, der gewerblichen Kühlhäuser, welche die Kälteanwendungen des Handels, der Gastronomie, von Tankstellen und weiteren Einrichtungen umfasst an, so zeigt sich klar, dass die Supermärkte diesen Bereich mit knapp 64 % deutlich dominieren. Weitere große Verbraucher sind Gaststätten mit gut 10 % und Kühlhäuser mit 7 %, alle weiteren Verbraucher liegen im Bereich von 5 % oder darunter. Im Folgenden liegt der Fokus auf Kühlhäusern und dem Lebensmittelhandel, da sich bei diesen Bereichen am ehesten realistische Potenziale zur Lastverschiebung erwarten lassen.

2.2.1 Energieverbrauch von Kühlhäusern

Eine Abschätzung für den Energieverbrauch und das Lastverschiebungspotenzial bei Kühlhäusern in Österreich hat Oberhofer (2013) in seiner Diplomarbeit an der TU Graz vorgenommen. Beim gewerblichen und betrieblich genutzten Gefrierlagerraum in Österreich wird von insgesamt 1,24 Mio. m³ ausgegangen, wobei es sich bei knapp einem Viertel davon (0,29 Mio. m³) um gewerbliche Kühlhäuser handelt, die restlichen 0,95 Mio. m³ sind betrieblich genutzte Kühleinrichtungen. Die größten gewerbliche Kühlhäuser in Österreich sind die Wiener Kühlhaus WKF GmbH mit 150.000 m³ bzw. 40.000 Paletten Lagerkapazität, die Vereinigten Eisfabriken und Kühlhallen in Wien reg.Gen.mbH mit 15.000 Palettenplätzen sowie die Beerenfrost Kühlhaus GmbH mit 75.000 m³ Kühlkapazität. Genauere Daten liegen für Österreich nicht vor (Oberhofer 2013). Im Vergleich dazu beträgt das Kühlraumvolumen gewerblicher und industrieller Kühlhäuser in Deutschland 21 Mio. m³ (Focken et al. 2011), also rund das 17-fache.

Zur Berechnung des Lastverschiebungspotenzials ist es erforderlich, sowohl Leistungs- als auch Energieverbrauchsdaten zu kennen. Oberhofer (2013) geht von einer Spitzenleistung der Kälteaggregate von 9 W/m³ und von einem durchschnittlichen Verbrauch von 45 kWh/m³*a aus. Hochgerechnet ergibt sich damit eine Spitzenleistung von 11,2 MW und einem jährlichen Gesamtenergieverbrauch von 55,8 GWh. Die Durchschnittsleistung beträgt 6,4 MW. Die oben genannten Kühlhäuser entsprechen somit einer Spitzenleistung von je rund 500 kW bis 1,35 MW.

Der Lebensmittelhandel wird in Österreich von einigen wenigen großen Ketten dominiert (z.B. Spar, Rewe, Hofer, Zielpunkt). Dominant sind Geschäfte mit einer Verkaufsfläche zwischen 500 und 1.000 m², gefolgt von kleineren Einheiten unter 250 m².

2.2.2 Energieverbrauch des Lebensmittelhandels

Für den Lebensmitteleinzelhandel liegt eine umfassende Analyse zum Energieverbrauch, aufbauend auf Daten von Peritsch (2006), vor. Oberhofer (2013) berechnet die gesamte Anschlussleistung und den Energieverbrauch für Kälteanwendungen beim Lebensmitteleinzelhandel, aufgeschlüsselt nach Plus- und Minuskühlung sowie für steckerfertige Geräte, wie folgt (Tabelle 2-1):

Tabelle 2-1: Anschlussleistung und Energieverbrauch für Kühlung im Einzelhandel

	Leistung in kW	Energieverbrauch in MWh
Pluskühlung	49.949	205.691
Minuskühlung	28.453	194.665
Steckerfertige Kühlmöbel	11.885	71.108
Gesamt	90.287	471.464

Quelle: Oberhofer (2013)

Vergleicht man die Daten aus Österreich mit denjenigen aus Deutschland so zeigt sich, dass die Verhältnisse gut vergleichbar sind (z.B. Energieverbrauch Kühlhäuser zu Energieverbrauch Kälteanwendungen beim Handel beträgt in beiden Ländern 1 zu 9) und auch die absoluten Werte, die mangels umfassend erhobener Daten geschätzt werden müssen, durchaus gut plausibilisiert sind.

2.3 Lastverschiebung bei der Lebensmittelkühlung

2.3.1 Lastverschiebung bei Kühlhäusern

Erfahrungen aus Deutschland und Dänemark zeigen, dass sich Kühlhäuser flexibel betreiben lassen, wobei eine Verlagerungsdauer von mehreren Stunden möglich ist (Focken et al. 2011). Dabei wurde bei großen gewerblichen Kühlhäusern (> 25.000 m³) ein aus Fallstudien ermitteltes Verlagerungspotenzial von 22 bis 49 %, bezogen auf die Spitzenleistung, ermittelt.

Übertragen auf Österreich könnten damit die oben genannten Kühlhäuser eine Verlagerungsleistung in Höhe von je 100 kW bis 660 kW realisieren, das technische Potenzial aller gewerblich und betrieblich genutzter Kühlhäuser beträgt unter diesen Annahmen 2,5 bis 5,5 MW. Für Österreich wird in einer umfassenden Studie zu DSM das Potenzial von Kühlhäusern mit 30 bis 40 % der Nennleistung, abhängig von der Dauer, angegeben (Berger et al. 2013), das entspricht einem technischen Potenzial von 3,4 bis 4,5 MW. Das Potenzial wird allerdings maßgeblich von den technischen Rahmenbedingungen mitbestimmt: Moderne Anlagen eignen sich u.a. auf Grund ihrer guten Isolierung besser für das Lastmanagement als alte Anlagen: Alte Anlagen schalten häufiger (etwa alle 1 bis 2 Stunden), während es bei neueren Kühlhäusern im Wesentlichen reicht, in

der Nacht zu kühlen. Dadurch ergibt sich auch, dass in der Nacht überwiegend Lastabschaltungen und tagsüber Zuschaltungen erfolgen können. Es muss aber auch darauf hingewiesen werden, dass je nach Produktionsschwerpunkt nicht alle Kühlhäuser für das Lastmanagement tauglich sind.

In einer Fallstudie an einem großen Kühlhaus in Österreich mit einer Kapazität von 150.000 m³, das 8 Kälteanlagen einsetzt, wird von einer realistischen Lastverschiebung von 1 h pro Tag ausgegangen, wobei jeweils mehrere Kältemaschinen einsetzbar sind (Berger et al. 2013). Bei einer Vorlaufzeit von 1 h sind dabei je nach Dauer der Lastverschiebung 0,75 bis 1,00 MW möglich, ein Wert der deutlich über den oben genannten liegt. Hochgerechnet ergibt sich in dieser Studie für Kühlhäuser ein österreichisches Gesamtpotenzial (für 15 Minuten) von 4,9 MW (in der genannten Studie fehlt jedoch eine detaillierte Darstellung der Berechnungsmethode). Dieses Potenzial ist bei längeren Lastverschiebungsperioden (60 Minuten) etwas reduziert, bei 240 Minuten gibt es keine Potenziale mehr. Das Potenzial für kürzere Verschiebungen ist gleich dem 15-Minuten-Potenzial, allerdings sinkt in vielen Fällen durch die hohen Fixkosten die Rentabilität.

2.3.2 Lastverschiebung beim Lebensmittelhandel

Potenziale für die Kühlung im Lebensmittelhandel sieht Oberhofer (2013) insbesondere bei der Minuskühlung, es fehlen aber jegliche Kostendaten.

An Hand von Versuchen mit Tiefkühltruhen konnte gezeigt werden, dass je nach Ausstattung (Beleuchtung, Wärmedämmung, Abdeckung, Füllgrad etc.) es zwischen 2 und 6 h, z.T. noch erheblich länger dauert, bis ein auf -20 °C vorgekühltes Gut nach Ausschalten eine Temperatur von -10 °C erreicht (vgl. Stadler 2005). Modellrechnungen führen dabei zu einem Temperaturverlauf, der in Abhängigkeit der Zeit zu einer deutlichen Reduktion der schaltbaren Leistung führt. Beim Zuschalten von Leistung (negative Regelleistung) sinkt diese nach ca. 50 bis 60 Minuten drastisch ab, beim Abschalten von Leistung ist der Verlauf deutlich flacher: Die volle Leistung steht für max. 120 Minuten zur Verfügung, danach reduziert sich diese Leistung kontinuierlich, nach ca. 180 Minuten stehen nur noch 50 % zur Verfügung. Somit ergeben sich nach diesem Berechnungsansatz und unter ausschließlicher Berücksichtigung der Minuskühlung:

- Positive Regelleistung: 22,2 MW (entspricht der durchschnittlichen Leistung)
- Negative Regelleistung: 8,6 MW (entspricht der installierten Leistung minus der durchschnittlichen Leistung)

Karg et al. (2014) gehen im Unterschied dazu davon aus, dass durch die hohe Bereitschaft bei Gewerbebetrieben alleine die Lebensmittelfilialen der Firmen Merkur und Billa in Österreich über 30 MW an Lastverschiebungspotenzialen mobilisieren könnten, ein deutlich höherer Wert.

2.4 Kosten für die Lastverschiebung für die Lebensmittelkühlung

Die Verschiebung von Lasten ist mit zusätzlichen Kosten verbunden. Diese Kosten setzen sich zusammen aus:

- An-/Abfahrkosten
- Personalkosten
- Lagerkosten
- Ausfallkosten
- Sonstigen Kosten

Für Kühlhäuser fallen weder Lager- noch Ausfallkosten an, da ja angenommen wird, dass sich das Kühlgut als Energiespeicher eignet und sich daher durch Lastverschiebung weder die Lagerkapazität ändert noch die gelagerte Menge (=Produktion).

Eine Abschätzung der Investitionskosten für die Steuerungs- und Kommunikationstechnik liefern Focken et al. (2011): Je nach Variante ist mit Kosten von 8.000 bis 9.000 EUR für die erste technische Anbindung zu rechnen. Diese Kosten würden sich jedoch bei einer höheren Stückzahl deutlich verringern. Als Betrag für die Aktivierungskosten für Kühlhäuser werden 300 EUR/MWh genannt.

Nach Berger et al. (2013) betragen die Kosten in Österreich für 5 Minuten rd. 280 EUR/MWh. Für 15 Minuten betragen diese Kosten knapp 95 EUR/MWh und liegen damit deutlich unter dem 5- Minuten-Wert. Durch eine weitere Verlängerung der Abschaltdauer sinken die Kosten deutlich: Knapp 25 EUR/MWh fallen bei einer Dauer von 60 Minuten an.

Auch wenn keine Kostendaten für die Lebensmittelkühlung im Handel vorliegen, so ist doch davon auszugehen, dass sich die Investitionskosten und die Aktivierungskosten für den Lebensmittelhandel absolut gesehen in einer ähnlichen Größenordnung bewegen wie für Kühlhäuser, zumindest bei größeren Einrichtungen. Durch die häufig deutlich geringeren Leistungen liegen damit die spezifischen Kosten also die Kosten je MWh bzw. je MW deutlich darüber.

3 Dienstleistungsgebäude

Aus technischer Sicht eignen sich Dienstleistungsgebäude durch das Vorhandensein von Speichern (Wärme, Luft) ebenfalls für Lastverschiebungen. Lüftungen oder Klimaanlage können kurzzeitig deaktiviert werden, ohne, dass die Nutzer einen negativen Effekt wahrnehmen (sollen), das Gebäude kann z.B. in der Früh vorgeheizt werden, um so die Lastspitze von den späten in die frühen Morgenstunden zu verschieben. Nachdem allerdings bei Loadshift insbesondere elektrische Verbraucher angesprochen werden, reduzieren sich die möglichen Prozesse und angesprochenen Aggregate auf folgende Anwendungen:

- Klimatisierung durch Kompressionskälteanlagen
- Lüftung (Ventilatoren)
- Warmwasserbereitung (mit Speicher)
- Warmwasserheizung (Umwälzpumpen)
- Heizung mittels Wärmepumpe
- (Heizung mittels Nachtspeicherheizung)

Im Fokus der Betrachtung sind dabei verschiedene Dienstleistungsgebäude, wobei insbesondere Bürogebäude, Verkaufsgebäude (Einzelhandel) und Hotels die maßgeblichen Verbraucher darstellen (vgl. Klobasa 2007).

3.1 Rahmenbedingungen für die Lastverschiebung bei Dienstleistungsgebäuden

3.1.1 Warmwasserbereitung

Bei der Warmwasserbereitung ist das Vorhandensein eines Speichers Voraussetzung für Lastverschiebungen. Somit eignen sich Durchlauferhitzer, Wasserkocher nicht zur Lastverschiebung. Bei Warmwasserspeicher, die üblicherweise zwischen 5 und 1.000 Liter fassen (Stadler 2005), wird das Potenzial zur Lastverschiebung maßgeblich durch die Isolierung und den Wasserbedarf bestimmt.

3.1.2 Warmwasserheizungen

Heizungen, die die Wärmeenergie mittels Wasserleitungen in die Räume bringen, verfügen sowohl über das zirkulierende Wasser als auch über die Baukonstruktion des Gebäudes selbst über thermische Speicher. Die Wärme stammt jedoch in den allermeisten Fällen von Energieträgern, die sich nicht für Lastverschiebungen eignen (Öl, Gas, Fernwärme). Für Lastverschiebungen kommt jedoch die Hilfsenergie, die das Wärmemedium mit Hilfe von Umwälzpumpen bewegt. Diese Hilfsenergie stellt einen maßgeblichen Anteil des Stromverbrauchs in Gebäude dar. Nur diese Hilfsenergie eignet sich bei Warmwasserheizungen für Lastverschiebungen. Es kann allerdings nur positive Regelleistung angeboten werden. Ist die Heizung in Betrieb, dann können die Umwälzpumpen weggeschaltet werden, bei ausgeschalteten Heizungsanlagen macht eine Zuschaltung keinen Sinn (Stadler 2005).

3.1.3 Wärmepumpen

Eine stark wachsende Anzahl an Gebäuden wird mit elektrisch betriebenen Wärmepumpen versorgt. In Kombination mit einem Pufferspeicher eignen sich diese Heizungen hervorragend für Lastverschiebungen, ohne jeglichen Komfortverlust. Wärmepumpen haben sehr oft einen speziellen Stromtarif und werden auch heute schon zu Schwachlastzeiten betrieben.

3.1.4 Lüftungsanlagen

Das Speichermedium bei Lüftungsanlagen ist die Luft, die bei konditionierten Gebäuden laufend gewechselt wird, um ein maximale Schadstoffkonzentration nicht zu überschreiten. Als elektrischer Verbraucher, der für ein allfälliges Lastmanagement geschaltet werden kann, dienen die Ventilatoren, die die Luft zirkulieren lassen. Durch Abschalten der Ventilatoren

reduziert sich der Luftwechsel und die Schadstoffkonzentration steigt an. Spätestens bei Erreichen von kritischen Luftschadstoffkonzentrationen muss die Lüftungsanlage wieder in Betrieb genommen werden.

3.1.5 Klimaanlage

Nachdem der weitaus überwiegende Teil der Klimaanlage mit elektrischer Energie betrieben wird, bieten Klimaanlage die Möglichkeit, kurzzeitig und kurzfristig Energie zu verschieben. Im Unterschied zu anderen Aggregaten und Prozessen, sind aber Klimaanlage häufig nur wenige hundert Stunden jährlich in Betrieb. Nur in dieser Zeit können sie geschaltet werden.

Im vorliegenden Arbeitspapier liegt der Fokus auf Lastverschiebungspotenziale bei Klima- und Lüftungsanlagen in Dienstleistungsgebäuden.

3.2 Energieverbrauch für die Konditionierung von Dienstleistungsgebäuden

Im Dienstleistungssektor wurden laut Hochrechnung der Statistik Austria im Jahr 2008 121.219 TJ an Energie verbraucht, was einem Neuntel des österreichischen Endenergieverbrauchs entspricht (Statistik Austria 2011). Der größte Anteil davon, nämlich 46.486 TJ (12.913 GWh) oder 38,4 % entfielen auf elektrische Energie (vgl. Abbildung 3-1):

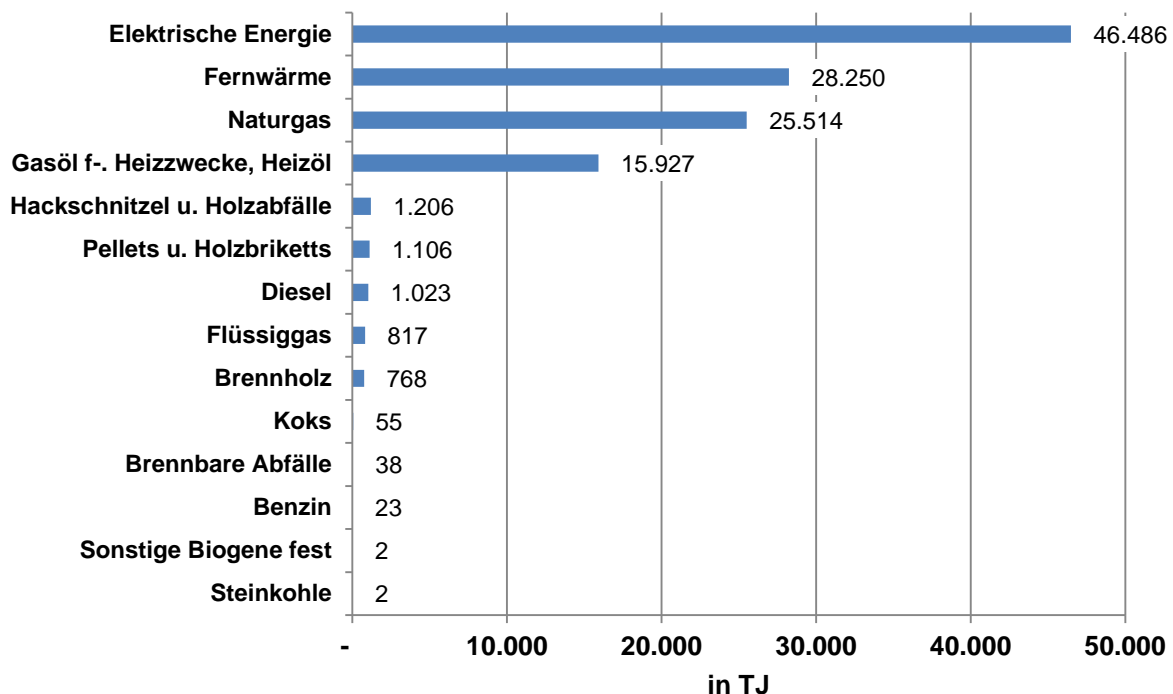


Abbildung 3-1: Energieverbrauch im Dienstleistungssektor 2008, Quelle: Statistik Austria (2011)

Dabei waren der Handel (ÖNACE-Abschnitt G) mit 22,3 %, die Beherbergung und Gastronomie (Abschn. I) mit 19 % sowie die öffentliche Verwaltung, Verteidigung und Sozialversicherung (Abschn. O) mit 13 % die größten Verbraucher, alle anderen Abteilungen lagen unter 10 % (Abbildung 3-2).

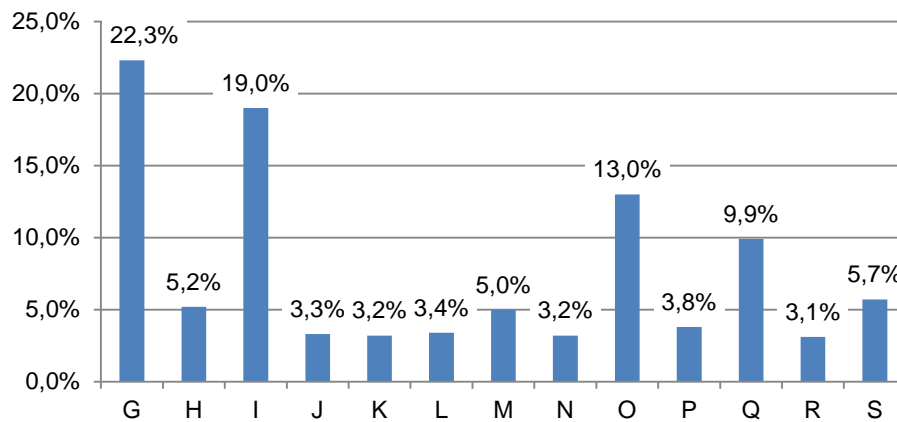


Abbildung 3-2: Anteil der ÖNACE-Abschnitte am Energieverbrauch 2008, Quelle: Statistik Austria (2011)

Abkürzungserklärung: G - Handel, Instandhaltung und Reparatur von KfZ; H - Verkehr und Lagerei; I - Beherbergung und Gastronomie; J - Information und Kommunikation; K - Erbringung von Finanz- und Versicherungsdienstleistungen; L - Grundstücks- und Wohnungswesen; M - Erbringung von freiberuflichen, wissenschaftlichen und technischen Dienstleistungen; N - Erbringung von sonstigen wirtschaftlichen Dienstleistungen; O - Öffentliche Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung; P - Erziehung und Unterricht; Q - Gesundheitswesen und Sozialwesen; R - Kunst, Unterhaltung und Erholung; S - Erbringung von sonstigen Dienstleistungen.

Für die weitere Analyse wurde von der Statistik Austria eine neue Kategorie „Büro“ eingeführt, die eine Sammelkategorie alle Unternehmen umfasst, die mehr als 80 % Büroarbeitsplätze haben (ausgenommen öffentliche Verwaltung, Handel, Gesundheitswesen u.a.). „Büros“ haben insgesamt einen Anteil am Endenergieverbrauch von rund 11,2 % (Abbildung 3-3).

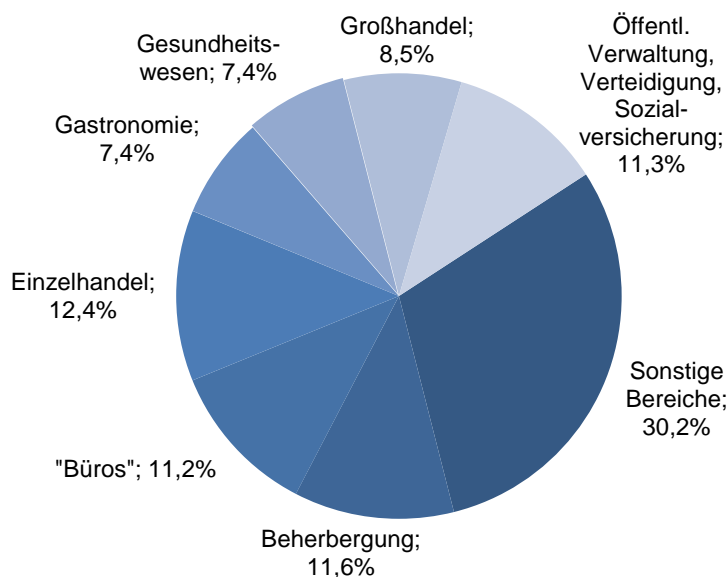


Abbildung 3-3: Anteil ausgewählter Bereiche am Endenergieverbrauch, Quelle: Statistik Austria (2011)

Eine bereichsübergreifende Auswertung kommt zu dem Ergebnis, dass 22,3 % der gesamten Nutzfläche klimatisiert wird. Dabei haben Büros mit 35,0 % klimatisierter Nutzfläche den höchsten Anteil, gefolgt vom Einzelhandel mit 25,9 % und der Gastronomie sowie dem Großhandel (je 23,4 %). Ganz generell steigt mit der Größe der Unternehmen auch der Klimatisierungsgrad (Statistik Austria 2011).

Die Gesellschaft für Markt- und Absatzforschung geht für 2005 von einer Gesamtbürofläche von 36 Mio. m² aus. Eine Auswertung des Energieinstituts der Wirtschaft schätzt die gesamte Bürofläche mit 16 bis 17,5 Mio. m², diese Daten umfassen allerdings nur den Dienstleistungssektor und auch dabei sind einige Bereiche nicht enthalten (u.a. Büros im Handel, Krankenhäusern; öffentliche Verwaltung).

Sieht man sich die ausgewählte Dienstleistungsgebäude hinsichtlich ihres Energieverbrauchs mit Fokus auf potenzielle Lastverschiebungsmöglichkeiten genauer an, so zeigt sich folgendes Bild (Benke et al. 2012; Tabelle 3-1):

Tabelle 3-1: Energiebenchmarks ausgewählter Dienstleistungsgebäude

	Energieverbrauch gesamt [kWh/m ² *a]	Stromverbrauch gesamt [kWh/m ² *a]	Stromverbrauch für Kühlung und Lüftung [kWh/m ² *a]	Anmerkungen
Büros	225	106	21 (19,8 % des Strom- verbrauchs)	22 kWh/m ² *a an Strom werden für Wärme (Heizung und Warmwasser) verwendet
Einzelhandel Lebensmittel	410	326	168 (51,5 %)	inkl. Kälteanwendungen für Lebensmittel; Lüftungsanlagen 3 - 5 kW (bei ca. 1.000 m ²)
Einzelhandel ohne Lebensmittel	212	137	18 (13,4 %)	10 Klimaanlage, 8 Lüftung
Großhandel Lebensmittel	230	131	49 (37,4 %)	nur Kälteanwendungen
Großhandel ohne Lebensmittel	176	57	10 (17,5 %)	inkl. Antriebe
Gastronomie Restaurants und Gaststätten	377	100 - 135	16 - 22 (16 %)	3/4 davon Lüftung, 1/4 Klimaanlagen; eigene Berechnungen
Hotels (3-4 Sterne)	139	93	37 (39,8 %)	15 für Kühlung (inkl. Lebensmittelkühlung, 22 für Lüftung; ca. 2 für Heizungsantriebe

Quelle: Benke et al. (2012); eigene Berechnungen

Lässt man die Kälteanwendungen beim Handel mit Lebensmitteln außer Betracht, so liegen die spezifischen Verbrauchswerte für Kühlung und Lüftung zwischen 10 und 22 kWh/m²*a. Der Anteil am Stromverbrauch liegt bei 13 bis 20 %.

3.3 Lastverschiebung in Dienstleistungsgebäude

Der gesamte Leistungsbedarf für die Klimatisierung im Dienstleistungssektor in Deutschland betrug 2004 rd. 7.000 MW, für 2030 liegen Hochrechnungen vor, die einen Anstieg auf über 16.000 MW erwarten (Klobasa 2007). Übertragen aus Erfahrungen aus den USA, wo fernregelbare Thermostate für Lastmanagement weit verbreitet sind, wird angenommen, dass 75 % der in Betrieb befindlichen Leistung abgeschaltet werden können. Es muss aber beachtet werden, dass Klimaanlage in Abhängigkeit der Außentemperatur und der jeweiligen Gebäudetypologie nur für relativ kurze Zeit in Betrieb sind, bei den oben genannten Abschätzungen sind das weniger als 500 h/a. Als maximale Verschiebungsdauer wird für Klimaanlage 1 h genannt, pro Jahr sind durch die geringen Betriebsstunden max. 30 Aktivierungen möglich.

Nicht unterschätzt werden darf auch der Leistungsbedarf für Lüftungsanlagen, der im GHD-Sektor (Gewerbe, Handel, Dienstleistungen) in Deutschland mit 1.500 bis 1.800 MW abgeschätzt wird, wobei angenommen wird, dass diese Lüftungsanlagen dauerhaft in Betrieb sind und damit auch für Lastverschiebungen (Abwurf) zur Verfügung stehen (Klobasa 2007). Lüftungsanlagen können täglich (365 Tage/a) für max. 1 h abgeschaltet werden.

Für Österreich liegen nur wenige Hochrechnungen bzw. Abschätzungen zum Lastverschiebungspotenzial vor. Berger et al. (2013) stellen eine Hochrechnung für die Klimatisierung (und Lüftung) von Bürogebäuden an. Dabei ermitteln sie einen Gesamtenergieverbrauch für die Klimatisierung von 389,3 GWh.

Dieser Wert lässt sich auch aus den oben genannten Zahlen ableiten: Bei einem Stromverbrauch in Höhe von rd. 1.700 GWh (Statistik Austria 2011) und einem Anteil von 20 % für Kühlung und Lüftung (Benke et al. 2012) ergibt sich für Büros ein Energieverbrauch in Höhe von 340 GWh. Geht man von 500 Volllaststunden aus, so ergäbe sich eine Leistung in Höhe von 780 MW, die das theoretische Potenzial für Lastverschiebungen darstellen würde und die auch bei Berger et al. (2013) ermittelt wurde. Da jedoch in den verwendeten Daten auch die Lüftungsanlagen inkludiert sind und diese Anlagen deutlich höhere Betriebsstunden aufweisen, wird hier für die Abschätzung von 1.000 Volllaststunden ausgegangen, was einem theoretischen Lastverschiebungspotenzial bei Büros von 340 MW entspricht.

Für die Gastronomie lässt sich der Stromverbrauch für Kühlung und Lüftung aus dem Stromverbrauch, der 2008 rd. 1.000 GWh betrug und dem Anteil für Kühlung und Lüftung in Höhe von 16 % mit 160 GWh berechnen und damit ergibt sich unter der Annahme von 1.000 Volllaststunden ein Lastverschiebungspotenzial von 160 MW.

Beim Einzelhandel muss generell zwischen Lebensmittel- und Nicht-Lebensmittelhandel unterschieden werden. Da jedoch detaillierte Zahlen nicht vorhanden sind, wird der Wert für Kühlung und Lüftung für den Nicht-Lebensmittelhandel für den gesamten Einzelhandel verwendet. Bei einer gesamten Einzelhandelsfläche von rd. 14,4 Mio. m² und einem spezifischen Verbrauch von 15 kWh/m²*a beträgt der Verbrauch für Kühlung und Lüftung (ohne Lebensmittelkühlung) 216 GWh. Das Lastverschiebungspotenzial beträgt somit 216 MW.

Beim Großhandel fehlen jegliche Flächendaten, sodass der Verbrauch und das Lastverschiebungspotenzial aus den Anteilen des Stromverbrauchs geschätzt werden. Da der gesamte Stromverbrauch auch die Kühlung der Lebensmittel umfasst, muss zur Vermeidung einer Überschätzung ein verringerter spezifischer Anteil des Verbrauchs für Kühlung und Lüftung herangezogen werden. Nimmt man vorsichtshalber 10 % als Anteil der

Kühlung und Lüftung am gesamten Stromverbrauch, so ergibt sich bei einem Gesamtverbrauch von 1.041 GWh ein Verbrauch für Kühlung und Lüftung in Höhe von 104 GWh, was einem Lastverschiebungspotenzial von 104 MW entspricht.

Eine vorsichtige Schätzung wird auch bei der Beherbergung vorgenommen. Bei einem Gesamtstromverbrauch in Höhe von rd. 1.300 GWh und einem geschätzten Anteil von 20 % ergibt sich ein Stromverbrauch für Kühlung und Lüftung von 260 GWh und damit ein maximales Potenzial in Höhe von 260 MW.

Zusammengefasst ergeben sich somit für die ausgewählten Dienstleistungsgebäuden folgende Lastverschiebungspotenziale (Tabelle 3-2):

Tabelle 3-2: Stromverbrauch und Lastverschiebungspotenziale für ausgewählte Dienstleistungsgebäude

	Stromverbrauch gesamt [GWh]	Stromverbrauch für Kühlung und Lüftung [GWh]	theoretisches Last- verschiebungs- potenzial [MW]
Büros	1.700	340	340
Einzelhandel	2.039	216	216
Großhandel	1.041	104	104
Gastronomie	1.000	160	160
Beherbergung	1.300	260	260
Gesamt	7.080	1.080	1.080

Quelle: Statistik Austria (2011), Benke et al. (2012), eigene Berechnungen

Dieser Wert scheint hoch zu sein, es ist aber zu bedenken, dass es sich um das theoretische Maximalpotenzial handelt, das in einer Vielzahl an Aggregaten steckt und somit sehr schwer für tatsächliche Lastverschiebungen zu erschließen ist. Der gesamte Dienstleistungssektor umfasst knapp 250.000 Unternehmen.

Zur Frage der Häufigkeit und Dauer von Lastverschiebungen bei Kühlung und Lüftung existieren verschiedene Daten. Klobasa (2007) geht sowohl für die Kühlung als auch für die Lüftung von einer maximalen Dauer von 1 Stunde aus (Klobasa 2007), Berger et al. (2013) sind da etwas vorsichtiger. Sie sehen eine maximale Abschaltdauer von 15 Minuten, diese kann aber zweimal täglich aktiviert werden. Alternativ sind 6 mal 5 Minuten möglich. In Summe also je 30 Minuten täglich. Zeiten über 1 Stunde halten sie jedenfalls für unrealistisch, da dies jedenfalls Auswirkungen auf die Nutzung hätte. Stadler (2005) berechnet in einem Modellraum, der 400 Personen fasst und der mit 100 Personen besetzt ist, die Entladedauer in Abhängigkeit der Toleranz bzgl. der Luftqualität mit 45 Minuten bis 2 Stunden. Diese Zeit nimmt klarerweise bei höherer Belegung deutlich ab. Insbesondere bei Lüftungsanlagen ließen sich beim Einsatz von drehzahlgesteuerten Ventilatoren diese einfach mit reduzierter Leistung betreiben, was die Schaltdauer erhöhen und gleichzeitig den Energieverbrauch überproportional verringern würde. Eto et al. (2007) konnten in Kalifornien zeigen, dass eine automatisierte Abschaltung der Klimatisierung für eine Dauer von 5 bis 20 Minuten zu keinerlei Beschwerden der Nutzer führte. Zudem war die Vorlaufzeit mit 20 Sekunden sehr kurz und es wurden weitere Beschleunigungsmöglichkeiten identifiziert.

4 Zusammenfassung Lastverschiebungspotenziale

In den folgenden Tabelle 4-1 und Tabelle 4-2 werden die theoretischen Lastverschiebungspotenziale zusammengefasst. Dabei ist zu beachten, dass die Erschließung dieser Potenziale von vielfältigen Rahmenbedingungen abhängt. Insbesondere die Lastverschiebung bei Dienstleistungsgebäuden ist durch die große Zahl an Gebäuden und Aggregaten mit großen Hürden verbunden. Zu den Hemmnissen wurde jedoch im Projekt Loadshift ein eigener Berichtsteil verfasst.

Tabelle 4-1: Zusammenfassung der Lastverschiebungspotenziale bei der Lebensmittelkühlung und bei Kühlung und Lüftung von Dienstleistungsgebäuden

Sektor	Jahresstromverbrauch [GWh]	Verschiebungszeitraum	DSM-Eignung	Verschiebbare Leistung, technisches Potenzial [MW]	Kosten [EUR/MWh]
Kühlhäuser	55,8 ³	mehrere Stunden möglich, realistisch: bis zu 1 Stunde ⁴	30 - 40 % ⁵	3,4 - 4,5 ⁶	25 - 280 ⁷
Lebensmittelkühlung – Pluskühlung	205,7 ⁸	n.v.	gering ⁹	n.v.	n.v.
Lebensmittelkühlung Minuskühlung	194,7 ¹⁰	mehrere Stunden möglich	50 %	positiv: 22,2 negativ: 8,6 ¹¹	n.v. ¹²
Kühlung und Lüftung von ausgewählten Dienstleistungsgebäuden	1.080 ¹³	15 Minuten, 2 x täglich ¹⁴	gering	1.080	hoch ¹⁵

³ vgl. Oberhofer (2013).

⁴ vgl. Focken et al. (2011), Berger et al. (2013).

⁵ vgl. Berger et al. (2013).

⁶ eigene Berechnung.

⁷ je nach Dauer; Berger et al. (2013).

⁸ vgl. Oberhofer (2013).

⁹ vgl. Oberhofer (2013).

¹⁰ vgl. Oberhofer (2013).

¹¹ vgl. Stadler (2005).

¹² dürfte bei größeren Einheiten eine ähnliche Größenordnung wie bei Kühlhäusern sein.

¹³ ausschließlich Kühlung und Lüftung (ohne Lebensmittelkühlung) der Gebäude, eigene Berechnung.

¹⁴ Berger et al. (2013).

¹⁵ sehr viele verteilte Verbraucher; technische Anbindung unklar.

Tabelle 4-2: Zusammenfassung der Lastverschiebungspotenziale in Abhängigkeit der Schaltdauern

Sektor	MW ¹⁶	0-5 min	5 - 15 min	15 - 60 min	60 - 240 min	> 240 min
Kühlhäuser	4,5	4,5	4,5	3,5 ¹⁷	stark fallend ¹⁸	0
Lebensmittelkühlung – Pluskühlung (positiv)	22,2	22,2	22,2	22,2	stark fallend ¹⁹	0
Lebensmittelkühlung – Minuskühlung (negativ)	8,6	8,6	8,6	8,6	gering ²⁰	0
Kühlung und Lüftung von ausgewählten Dienstleistungsgebäuden	1.080	1.080	1.080	0 ²¹	0	0

¹⁶ vgl. Tabelle 4-1.

¹⁷ eigene Berechnung auf Basis Berger et al. (2013).

¹⁸ vgl. Berger et al. (2013).

¹⁹ vgl. Stadler (2005).

²⁰ vgl. Stadler (2005).

²¹ Klobasa (2007) geht von höheren Schaltdauern aus. Auf der Basis der Angaben von Berger et al. (2013), Stadler (2005) und Eto et al. (2007) wird hier von einer maximalen Schaltdauer von 15 Minuten ausgegangen.

5 Quellen und Verweise

5.1 Literaturverzeichnis

Becker, Gernot 2009: Elektrischer Spitzenlastausgleich in Lebensmittelketten – Strategien zur Verbesserung der Energieeffizienz. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 63/2009.

Benke, Georg; Leutgöb, Klemens; Jandrokovic, Mario; Mandl, Doris; Bayer, Gerhard; Baumgarten, Daniel; Auer, Monika; Mayer, Barbara 2012: Energieverbrauch im Dienstleistungssektor. Kennwerte und Hochrechnung. Endbericht. Wien.

Berger, H., T. Eisenhut, S. Polak, und R. Hinterberger. „Demand Response Potential of the Austrian industrial and commerce sector. Endbericht.“ Wien, 2013.

Eto, Joseph H.; Nelson-Hoffman, Janine; Torres, Carlos; Hirth, Scott; Yinger, Bob; Kueck, John; Kirby, Brendan; Bernier, Clark; Wright, Roger; Barat, A.; Watson, David S. 2007: Demand Response Spinning Reserve Demonstration. Berkeley.

Focken, Ulrich; Bümmerstede, Jens; Klobasa, Marian 2011: Kurz- bis Mittelfristig realisierbare Marktpotenziale für die Anwendung von Demand Response im gewerblichen Sektor. Oldenburg und Karlsruhe.

Grau, Christian 2011: Entwicklung einer Simulationsplattform für Demand Side Management Systeme. Lastmanagement mit Kühl- und Gefriergeräten. Diplomarbeit.

Karg, Ludwig, Alexander, von Jagwitz; Baumgartner, Georg; Wedler, Michael; Kleine-Hegermann, Kerstin; „Lastverschiebungspotenziale in kleinen und mittleren Unternehmen und Erfolgsfaktoren zur Hebung dieser Potenziale“, 2014

Klobasa, Marian 2007: Dynamische Simulation eines Lastmanagements und Integration von Windenergie in ein Elektrizitätsnetz auf Landesebene unter regelungstechnischen und Kostengesichtspunkten. Dissertation ETH Zürich.

Klobasa, Marian 2009: Analysis of demand response and wind integration in Germany's electricity market. IET Renew. Power Gener., 2010, Vol. 4, Iss. 1, 55-63.

Oberhofer, Michael; „Demand-Side Management“, Masterarbeit 2013

Paulus, Moritz; Borggreffe, Frieder 2009: Economic Potential of Demand Side Management in an Industrialized Country – The Case of Germany.

Peritsch, Manfred; „Supermärkte als Energiezentralen“, 2006

Stadler, Ingo 2005: Demand Response. Nichtelektrische Speicher für Elektrizitätsversorgungssysteme mit hohem Anteil erneuerbarer Energien. Habilitation.

Statistik Austria 2011: Energieeinsatz im Dienstleistungssektor. Wien.

Transdisciplinary Panel on Energy Change (TPEC) 2013: Das Potenzial von Lastmanagement am Beispiel der Kältetechnik. Newsletter Juni 2013. Download: http://ftp02.iass-potsdam.de/tpec/2013.06/Online_DE_Kurzbeitrag_Lastmanagement.pdf

5.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1: Kriterienkatalog für Lastverschiebungsmaßnahmen	4
Tabelle 2-1: Anschlussleistung und Energieverbrauch für Kühlung im Einzelhandel.....	7
Tabelle 3-1: Energiebenchmarks ausgewählter Dienstleistungsgebäude	13
Tabelle 3-2: Stromverbrauch und Lastverschiebungspotenziale für ausgewählte Dienstleistungsgebäude	15
Tabelle 4-1: Zusammenfassung der Lastverschiebungspotenziale bei der Lebensmittelkühlung und bei Kühlung und Lüftung von Dienstleistungsgebäuden.....	16
Tabelle 4-2: Zusammenfassung der Lastverschiebungspotenziale in Abhängigkeit der Schaltdauern	17

5.3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1: Energieverbrauch im Dienstleistungssektor 2008, Quelle: Statistik Austria (2011)	11
Abbildung 3-2: Anteil der ÖNACE-Abschnitte am Energieverbrauch 2008, Quelle: Statistik Austria (2011)	12
Abbildung 3-3: Anteil ausgewählter Bereiche am Endenergieverbrauch, Quelle: Statistik Austria (2011)	12