

Masterarbeit

# **Kosten und Nutzen von verbraucherseitiger Effizienzsteigerung sowie Power Demand Side Management für die Elektrizitätswirtschaft**

durchgeführt an der Technischen Universität Graz  
am Institut für Elektrizitätswirtschaft und Energieinnovation

erstellt von

**Andreas Kager, BSc**

begutachtet von

**Univ.-Prof. Mag. rer. soc. oec. Dipl.-Ing. Dr. techn. Heinrich Stigler**

unter Betreuung von

**Dipl.-Ing Andreas Schüppel**

Eingereicht im Juni 2013

---

## **DANKSAGUNG**

Mein Dank gilt den Mitarbeitern am Institut für Elektrizitätswirtschaft und Energieinnovation, welche mir stets mit Rat zur Seite gestanden sind. Besonderer Dank gilt Herrn Univ.-Prof. Mag. rer. soc. oec. Dipl.-Ing. Dr. techn. Heinrich Stigler für das Ermöglichen und Begutachten meiner Masterarbeit. Ebenso möchte ich mich bei meinem Betreuer Dipl. Ing. Andreas Schüppel bedanken, welcher mir immer mit seiner Unterstützung, Zeit und Geduld zur Seite stand. Abschließend möchte ich noch Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn Lothar Fickert, für die Zweitbegutachtung meiner Arbeit danken.

Ein ganz besonderer Dank gilt meiner Familie. Allen voran möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, welche mir immer zur Seite standen und mich stets in allen Bereichen unterstützt haben. Ebenso gilt mein Dank meinen Großeltern für die jahrelange Unterstützung.

---

## Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtliche und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am .....

.....

(Unterschrift)

---

## Kurzfassung

Diese Masterarbeit beschreibt und untersucht die Kosten und den Nutzen von verbraucherseitigen elektrischen Effizienzsteigerungen sowie Power Demand Side Management (PDSM) für die Elektrizitätswirtschaft.

Zu Beginn wird eine Verbrauchsanalyse des elektrischen Endenergieverbrauchs in Österreich durchgeführt, um die wesentlichen Verbrauchssektoren im Haushaltsbereich und in der energieintensiven Industrie zu ermitteln. Ausgehend davon werden einzelne Verbrauchssektoren hinsichtlich einer möglichen elektrischen Effizienzsteigerung betrachtet, um ihr elektrisches Reduktionspotential, sowie die damit verbundenen Kosten, bewerten zu können. Es wurde festgestellt, dass in allen betrachteten Bereichen durchaus ein elektrisches Reduktionspotential vorhanden ist, welches im besten Fall nur geringe Investitionen voraussetzt. In diesem Fall ist eine Bewusstseinsbildung der verantwortlichen Personen oder der Endverbraucher ein wichtiger Schritt, um das Potential nutzbar zu machen, wie es beispielsweise bei der Druckluftherzeugung der Fall ist. Allerdings gibt es auch betrachtete Bereiche, bei welchen die Reduktionsmaßnahme nicht genug Kosten einspart, um die Investition zu rechtfertigen. Obwohl diese Maßnahmen den elektrischen Energieverbrauch senken, sind sie für den Verbraucher nicht wirtschaftlich, wie es beispielsweise beim Tausch von alten Haushaltsgeräten, wie den Geschirrspüler oder der Waschmaschine, der Fall ist. Gerade in diesen Bereichen sind Förderungen und Anreize besonders wichtig, um das Reduktionspotential nutzbar zu machen.

Im zweiten Abschnitt werden die Aufgaben und Anwendungen von PDSM näher betrachtet und Potentiale aus wissenschaftlichen Arbeiten, vorwiegend für Kontinentaleuropa, erhoben. In weiterer Folge werden PDSM-Anwendungen im Haushaltsbereich und der energieintensiven Industrie hinsichtlich ihrer Eigenschaften und Kostenstruktur untersucht. Hier zeigt sich, dass vor allem im Industriebereich die hohen Opportunitätskosten ein Hemmnis sind um PDSM zu nutzen, während es im Haushaltsbereich hohe Investitionskosten braucht um das PDSM-Potential zu erschließen. Schlussendlich werden der Einsatz zur Reduktion der Spitzenlast, sowie die Einbindung in den Strommarkt und eine zukünftige Entwicklung von PDSM betrachtet. Dabei wird festgestellt, dass der Einsatz zur Spitzenlastreduktion durchaus sinnvoll ist und durch eine verstärkte Investition in PDSM vor allem die Investitionskosten in Gasturbinen-Kraftwerke sinken werden. Durch das derzeitige Strommarktsystem scheint allerdings der Einsatz von PDSM nur in Form einer Minutenreserve möglich und sinnvoll.

Abschließend werden die Auswirkungen von PDSM auf die elektrische Energieeffizienz näher betrachtet. Dabei kann festgestellt werden, dass eine PDSM Nutzung den Wirkungsgrad, bei den verwendeten Anwendungen verschlechtern kann und somit der elektrischen Energieeffizienz entgegenwirkt.

---

## Abstract

This master thesis describes and analyzes the costs and benefits of consumer side electrical power efficiency and Power Demand Side Management (PDSM) for the electricity industry.

First the electrical energy consumption of consumers in Austria is analyzed to identify the key sector of consumption for the households and the energy-intensive industry.

Based on this analyses separate consumption sectors are investigated for their corresponding electrical efficiency improvements and for their electrical reduction potential, as well as the resulting costs. It was found that all sectors show an electric reduction potential, calling only for minimal investment in the best case. In this case, it is necessary to establish an awareness of responsible persons or end users in order to gain access to this potential, as it is the case for example in the production of compressed air. However, there are also areas in which the cost reduction due to saving measures is not big enough to justify the investment. Although these measures reduce the electrical energy consumption, they are not economical for the consumer, as it is the case when replacing old household equipment such as the dishwasher or the washing machine. In these areas promotions and incentives are particularly important in order to make the reduction potential available.

The second part takes a closer look on the tasks and applications of PDSM. Based on scientific papers the potentials of PDSM, mainly for continental Europe, are collected. In further consequence PDSM applications in the household sector and the energy-intensive industries are examined in terms of their characteristics and cost structure. This shows that especially in the industrial sector the high opportunity costs are a barrier to use PDSM, while in the household sector activating the PDSM potential has high investment costs. Finally, the application to reduce the peak load and the integration into the current market and future development of PDSM is considered. It was found that the use of peak load reduction makes sense, where as a consequence of increasing PDSM investments the gas turbine power plant investments will decrease. Due to the current electricity market system it seems that the use of PDSM is only possible and sensible as minute reserve.

Finally, the effects of PDSM on electrical energy efficiency are more detailed consideration of. It can be noted that the PDSM use decreases the level of efficiency in the applications used and therefore working against the overall electrical energy efficiency.

---

## Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	1
2.	Energieeffizienz .....	4
2.1	Nutzungsanalyse der elektrischen Endenergie .....	5
2.1.1	Nutzungsanalyse der privaten Haushalte .....	6
2.1.2	Nutzungsanalyse des produzierenden Bereichs .....	7
2.2	Bereichsauswahl für Effizienzsteigerungen.....	7
2.3	Beleuchtung.....	8
2.3.1	Allgemeines .....	8
2.3.2	Beleuchtung im Haushaltsbereich .....	10
2.3.2.1	Lampenvergleich.....	10
2.3.2.2	Zusammenfassung .....	12
2.3.2.3	Anmerkung zur Leistungsaufnahme .....	13
2.3.3	Beleuchtung im Industriebereich.....	14
2.3.4	Ergänzende Bemerkungen ( <i>Exkurs: Rebound-Effekt</i> ) .....	15
2.4	Elektrische Antriebe und Antriebssysteme .....	16
2.4.1	Nutzungsanalyse von Standmotoren .....	16
2.4.1.1	Einsatz von Standmotoren in der Industrie .....	16
2.4.1.2	Einsatz von Standmotoren in Haushalten.....	18
2.4.2	Das allgemeine industrielle Antriebssystem .....	18
2.4.2.1	Der Elektro-Motor.....	18
2.4.2.2	Das Kern-Motorensystem .....	22
2.4.2.3	Das Gesamtsystem.....	22
2.4.2.4	Schlussfolgerung .....	23
2.4.3	Pumpensysteme .....	23
2.4.3.1	Pumpensysteme im Industriebereich.....	25
2.4.3.2	Umwälzpumpen im Haushaltsbereich .....	27
2.4.3.2.1	Effizienzpotentiale .....	27
2.4.3.2.2	Effizienzsteigerung ohne Pumpentausch .....	29
2.4.3.2.3	Effizienzsteigerung durch Pumpentausch .....	31
2.4.3.2.4	Schlussfolgerung.....	32
2.4.4	Druckluftsysteme .....	33

---

2.4.4.1	Effizienzpotentiale .....	33
2.4.4.2	Verteilung und Nutzung.....	34
2.4.4.3	Druckluftherzeugung.....	36
2.4.4.4	Schlussfolgerung .....	37
2.4.4.5	Wirtschaftlicher Nutzen der Druckluftoptimierung.....	39
2.4.5	Potentiale und Hemmnisse von elektrischen Energieeffizienzmaßnahmen bei elektrischen Antriebssystemen .....	40
2.5	Weißwaren im Haushaltsbereich .....	41
2.5.1	Haushaltskühlgeräte.....	42
2.5.2	Waschmaschinen.....	44
2.5.3	Geschirrspüler .....	46
2.5.4	Elektroöfen .....	46
2.5.5	Zusammenfassung und Schlussfolgerung .....	47
2.6	Raumwärme .....	48
2.6.1	Heizungsvergleich.....	50
2.6.1.1	Gegenüberstellung der Heizungsarten .....	51
2.6.1.2	Berücksichtigung der Strom- und Wärmeerzeugung .....	52
2.6.2	Die Gebäudehülle .....	54
2.6.3	Kosten der Heizungen .....	55
2.6.4	Schlussfolgerung und Zusammenfassung .....	57
2.7	Industrielle Abwärme .....	58
2.7.1	Wärmetauscher.....	58
2.7.2	Stromerzeugung aus Abwärme.....	59
2.7.2.1	ORC-Anlagen in Zementwerken.....	60
2.7.3	Wärmepumpen .....	62
2.7.4	Nutzungskaskaden .....	62
2.7.5	Schlussfolgerung.....	63
2.8	Standby-Verluste im Haushaltsbereich .....	63
2.9	Zusammenfassung.....	65
3.	Power Demand Side Management (PDSM) .....	67
3.1	Der Zweck von DSM.....	67
3.1.1	Klassische Anforderungen .....	68

---

3.1.2	Zukünftige Anforderungen.....	69
3.2	Methoden für DSM.....	70
3.3	DSM im Haushaltsbereich .....	72
3.3.1	Heizungssysteme.....	72
3.3.2	Warmwasserbereitung.....	72
3.3.3	Kühlungssysteme.....	73
3.3.4	Sonstige Haushaltsgeräte.....	73
3.3.5	Zusammenfassung.....	73
3.4	DSM im Industriebereich.....	74
3.4.1	Energiedienstleistungsspeicher.....	74
3.4.2	Variation der Eigenstromproduktion .....	75
3.4.3	Zement-, Stein- und Erdindustrie.....	75
3.4.4	Chemieindustrie .....	76
3.4.5	Stahlindustrie .....	76
3.4.6	Aluminiumindustrie.....	76
3.4.7	Papierindustrie .....	77
3.4.8	Querschnittstechnologien.....	77
3.5	Aktuelle DSM Kapazitäten in Kontinentaleuropa.....	78
3.6	DSM-Potentiale.....	79
3.6.1	Potentiale in Deutschland .....	80
3.6.2	Potentiale in Österreich .....	81
3.6.3	Potentiale in der Schweiz .....	82
3.6.4	Potentiale im europäischen Raum.....	82
3.6.5	Potentiale im europäisch-nordafrikanischen Raum.....	83
3.6.6	Zusammenfassung der betrachteten Studien.....	84
3.7	Kosten von DSM.....	86
3.8	Nutzungsmöglichkeiten von DSM .....	88
3.8.1	Reduktion der Spitzenlast .....	89
3.8.1.1	DSM als Alternative zu Spitzenlastkraftwerken.....	89
3.8.2	Flexibilisierung der Nachfrage.....	94
3.8.3	DSM an den Strommärkten.....	96
3.8.3.1	Grundlagen der Strommärkte.....	96

---

3.8.3.2	Marktzuordnung .....	98
3.8.3.3	Hemmnisse und Erträge.....	99
3.8.4	DSM zum Bilanzgruppenausgleich .....	100
3.8.5	Schlussfolgerung.....	101
3.9	Umsetzungsmöglichkeiten für DSM .....	104
3.9.1	Rundsteuersignale.....	104
3.9.2	Spitzenlastbegrenzung .....	104
3.9.3	Strompreisgestaltung .....	105
3.10	DSM vs. Energieeffizienz.....	105
4.	Zusammenfassung.....	107
5.	Anhang.....	110
5.1	Energieeffizienzindex für Haushaltsgeräte.....	110
6.	Verzeichnisse.....	111
6.1	Literaturverzeichnis .....	111
6.2	Abkürzungsverzeichnis .....	118

## 1. Einleitung

Der stets steigende Energieverbrauch der Weltbevölkerung führt zu einer Reihe von Problemen. Beispielsweise führen die dadurch bedingten steigenden Emissionen zu einer Beschleunigung des Klimawandels, wodurch sich unsere Umwelt zunehmend verändert. Um diesen Problemen entgegen zu wirken, wird versucht fossile und nukleare Energieerzeugungstechnologien durch erneuerbare Energien zu ersetzen oder aber auch den Endenergieverbrauch zu senken. Speziell in Deutschland spricht man dabei von einer Energiewende.

Um das Ziel der Senkung des elektrischen Endenergieverbrauchs zu erreichen, spielt die elektrische Energieeffizienz beim Endverbraucher eine bedeutende Rolle. Durch das Nutzen moderner Technologien kann beim Endverbraucher der Energieverbrauch gesenkt werden, ohne dass der daraus gewonnene Nutzen verringert wird. Sowohl weltweit, als auch national gibt es zahlreiche Pläne, welche die Energieeffizienz erhöhen sollen, um dadurch eine beachtenswerte ungenützte „Energieressource“ freizusetzen<sup>1</sup>. Beispiele wären die europäische Richtlinie zur Energieeffizienz (Europäische Kommission, 2013), sowie der nationale Energieeffizienz-Aktionsplan in Österreich.

In dieser Arbeit wird die elektrische Energieeffizienz beim Endverbraucher betrachtet. Das bedeutet, dass auf der Energienachfrageseite (Verbraucher) das Verhältnis aus der Energie, welche das Bedürfnis durch eine Dienstleistung befriedigt und der eingesetzten elektrischen Energie betrachtet wird (Pehnt, 2010 S. 3). Wird in diesem Zusammenhang von Energieeinsparung gesprochen, so wird dies als Synonym für elektrische Endenergieeffizienz verwendet, obwohl diese eigentlich nur eine Teilmenge des Energiesparens ist (Pehnt, 2010 S. 4). Weiters muss der Begriff Effizienz von der Suffizienz unterschieden werden. Suffizienz ist das Bemühen einen möglichst geringen Energieverbrauch zu erreichen, indem auch der gewünschte Nutzen eingeschränkt wird. Somit erzeugt Suffizienz wesentlich mehr politische Spannungsfelder als Effizienz.

Steigt der Verbrauch elektrischer Energie immer weiter an, kann es zu kritischen Situationen im elektrischen Stromnetz kommen, wodurch die Versorgungssicherheit gegenüber dem Endverbraucher nicht gewährleistet werden kann. Diese Situation wird durch den Ausbau der erneuerbaren Energien verschärft, da diese eine volatile Stromerzeugung aufweisen. Können aktuelle Energiespeicher, wie etwa Pumpspeicherkraftwerke oder andere flexible Erzeugungseinheiten, diese Schwankungen nicht kompensieren, soll die Methode des Power Demand Side Managements (PDSM) Abhilfe schaffen. Dabei soll der Verbrauch der elektrischen Energie beim Endverbraucher gesteuert werden können, wodurch diese unter anderem zum Energiespeicher werden können. Ziel ist es, den Endverbraucher zu bewegen, seinen Energiebezug in einem für das Energiesystem günstigeren Zeitpunkt durchzuführen.

---

<sup>1</sup> Der Begriff Energieressource wird von der Europäischen Kommission in Zusammenhang mit der Energieeffizienz verwendet. Allerdings ist das keine Ressource im klassischen Sinn, sondern diese Formulierung dient eher zur bildlichen Darstellung der eingesparten Energie (Europäische Kommission, 2013).

Die Definition von Power Demand Side Management (PDSM) bzw. Demand Side Management (DSM) gestaltet sich schwierig, da in diesem Zusammenhang in der Literatur viele Begriffe verwendet und vermischt werden. Dennoch wurde versucht den Begriff möglichst genau zu definieren. Die nachfolgende Begriffsdefinition wurde aus den Quellen der International Energy Agency (IEA, 2012), (IEA-DSM, 2008 S. 1,2) und des Karlsruher Institut für Technologie (Paetz, et al., 2012 S. 2,3) erarbeitet.

DSM kann als Oberbegriff für eine Anzahl von Maßnahmen gesehen werden, welche für die Steuerung der elektrischen Endverbraucher eingesetzt werden. In Abbildung 1 werden die wichtigsten Maßnahmen des DSM dargestellt und nachfolgend erklärt.



Abbildung 1: Darstellung der DSM Maßnahmen.

Direct Load Control (DLC), oder auch direktes bzw. zentrales Lastmanagement genannt, ist die ursprünglichste Maßnahme des DSM. Hier wird die Last am Verbraucher direkt durch den Netzbetreiber kontrolliert und beeinflusst. Zur Verbrauchssteuerung ist eine zuvor erhaltene Kundenzustimmung notwendig, aber keine laufende aktive Kundeneinbindung.

Demand Response (DR) ist eine anreizbasierte Maßnahme, um den Stromverbrauch indirekt zu steuern. Dem Verbraucher werden preisbasierte Anreize gegeben, um seinen Verbrauch zu verändern. Anreize können zeitlich abhängige günstige Strompreise oder Vergütungszahlungen sein. Die Last wird somit indirekt über finanzielle Anreize, durch eine aktive Kundeneinbindung beeinflusst. Man spricht somit von indirektem Lastmanagement, weil der Endverbraucher selbst reagiert.

Energieeffizienz wird auch als langfristiges DSM bezeichnet und wird im Abschnitt 2 genauer behandelt. Durch die Maßnahme Energiesubstitution kann elektrische Energie durch eine andere Energieform ersetzt werden. Beispielsweise können elektrische Raumheizungen durch Gasheizungen ersetzt werden. In Abbildung 1 sind noch die Maßnahmen der Dezentralisierung der Stromerzeugung und der Leistungsfaktorkorrektur angeführt, welche den Umfang an Maßnahmen verdeutlichen sollen, hier aber nicht näher beschrieben werden.

Die Ziele dieser Maßnahmen sind beispielsweise die Sicherstellung der Versorgungssicherheit oder die Optimierung des derzeitigen Elektrizitätssystems. Im Abschnitt 3 werden die zwei Maßnahmen DLC und DR näher behandelt und der Begriff DSM stellvertretend dafür verwendet, da diese Begriffsverwendung in der Literatur üblich ist. Abschließend sei noch

erwähnt, dass der Begriff Lastmanagement (engl. load management) sehr oft gleichbedeutend mit DSM verwendet wird.

In dieser Arbeit sollen nun Kosten und Nutzen von verbraucherseitigen elektrischen Energieeffizienzmaßnahmen sowie PDSM für die Elektrizitätswirtschaft untersucht werden. Dazu werden die Bereiche der privaten Haushalte und der energieintensiven Industrie näher betrachtet. Bei den Maßnahmen zur elektrischen Energieeffizienz wird unter anderem deren Reduktionspotential, sowie deren wirtschaftliche Umsetzbarkeit und Sinnhaftigkeit betrachtet. Im Bereich des PDSM werden die Potentiale für diese Technologie, vor allem im kontinentaleuropäischen Raum, näher betrachtet, sowie ihre Einsatzmöglichkeiten an den Elektrizitätsmärkten oder auch ihre Umsetzbarkeit beim Endverbraucher. Abschließend wird untersucht, in wie weit die Steigerung der elektrischen Energieeffizienz mit PDSM-Maßnahmen in Konflikt geraten kann.

## 2. Energieeffizienz

Da elektrische Energie für den Endverbraucher keinen direkten Nutzen erbringt, muss sie erst in die gewünschte Nutzenergie umgewandelt werden, welche dann das Bedürfnis des Endverbrauches befriedigt. Energieeffizienz bedeutet nun, diesen Nutzen mit minimalem Energieeinsatz – also so effizient wie möglich – zu erreichen. In diesem Zusammenhang spricht man auch oft vom Minimalprinzip (Pehnt, 2010 S. 2). Durch die effiziente Nutzung der eingesetzten Energie ergibt sich eine Senkung des Energieverbrauchs, bei gleichem Nutzen für den Endverbraucher. Wie viel elektrische Energie man benötigt um den gewünschten Nutzen zu erhalten, hängt von der Intelligenz und Effizienz ab mit der sie genutzt wird. Beispielsweise erzeugt eine LED mit wesentlich weniger Stromaufnahme denselben Nutzen, in Form von Licht, wie eine Glühbirne. Somit wird die elektrische Energie effizienter genutzt. Dadurch wird die gesamte Leistungsaufnahme und in Folge der Energieverbrauch gesenkt, wobei der Nutzen gleich bleibt. Für die Elektrizitätswirtschaft bedeutet dies eine in Abbildung 2 dargestellte Reduktion des Lastganges, hervorgerufen durch Effizienzsteigerungsmaßnahmen. Die mögliche Reduktion des Lastganges ist in Abbildung 2 zur Verdeutlichung der Auswirkungen einigermaßen übertrieben dargestellt.

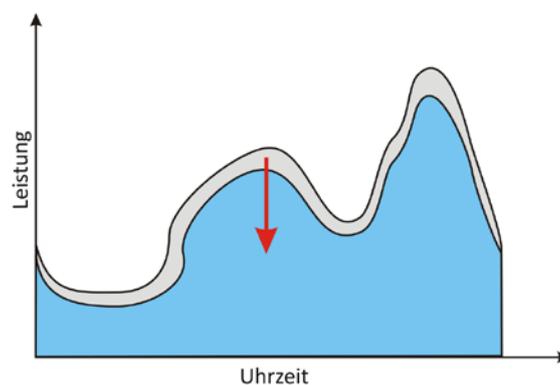


Abbildung 2: Durch eine erhöhte elektrische Energieeffizienz wird der Lastgang reduziert.

Energieeffizienz ist auf europäischer Ebene ein wichtiger Punkt in der Entwicklungsstrategie bis zum Jahr 2020. Das Ziel der Europäischen Union (EU) ist es die Energieeffizienz der EU-27 Länder bis zum Jahr 2020 um 20 % zu erhöhen (Europäische Kommission, 2013). Um die Wettbewerbsfähigkeit, Energieunabhängigkeit und Versorgungssicherheit zu verbessern gilt die Energieeffizienz als eines der wichtigsten Elemente der europäischen Energiepolitik. Energieeffizienz wird sogar als größte „Energieressource“ der EU bezeichnet.<sup>2</sup>

Diese gewünschte Effizienzsteigerung um 20 % betrachtet die gesamte Wertschöpfungskette, das bedeutet von der Energieerzeugung über die Energieverteilung bis zum Endenergieverbrauch. Dieses Ziel kann durch viele Maßnahmen entlang der Wertschöpfungskette erreicht werden. Ein bedeutender Teilbereich in dieser Wertschöpfungskette ist der elektrische Endenergieverbrauch, welcher in Folge näher betrachtet wird.

<sup>2</sup>Zur Definition des Begriffes „Energieressource“ sei auf den Abschnitt 1 verwiesen.

## 2.1 Nutzungsanalyse der elektrischen Endenergie

Um im Folgenden Maßnahmen für die elektrische Endenergieeffizienz von privaten Haushalten und der energieintensiven Industrie betrachten zu können, wird eine Verbrauchsnutzungsanalyse anhand des EU-Landes Österreich durchgeführt. Bei dieser Nutzungsanalyse werden die privaten Haushalte und der produzierende Bereich betrachtet. Die Nutzungsanalyse der Statistik Austria vom Jahr 2010 (Statistik Austria, 2011a) zeigt, dass elektrische Energie zum Großteil in Standmotoren verbraucht wird (59,9 %) gefolgt von Industrieöfen (17,2 %). Alleine diese beiden Sektoren verbrauchen etwa 75 % der elektrischen Endenergie. Der elektrische Endenergieverbrauch von den Standmotoren ist im Industriebereich vor allem durch Drehstrommotoren gekennzeichnet, während in privaten Haushalten vorwiegend Wechselstrom- und Gleichstrommotoren zu Einsatz kommen. Beleuchtung und EDV (11,5 %) bzw. Raumheizungen und Klimaanlage (10,6 %) sind weitere große Verbrauchsbereiche. Abbildung 3 zeigt die prozentuale Verteilung der Verbrauchskategorien.

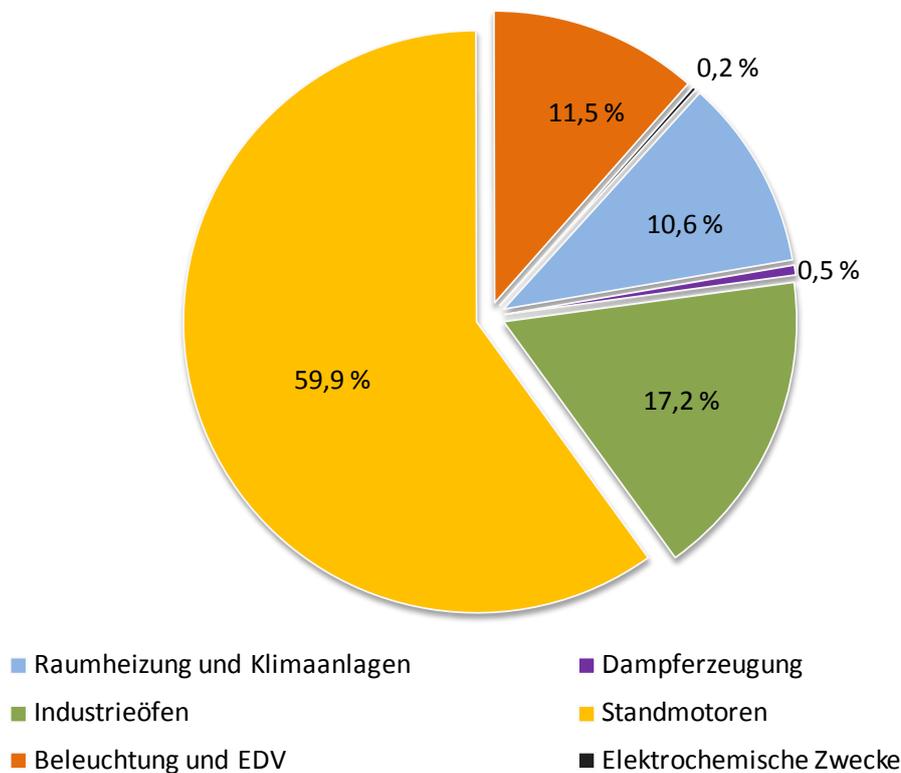


Abbildung 3: Elektrischer Endenergieverbrauch in Österreich der ausgewählten Bereiche im Jahr 2010  
Datenquelle: (Statistik Austria, 2011a).

### 2.1.1 Nutzungsanalyse der privaten Haushalte

Österreichs Haushalte verbrauchen etwa 30 % der gesamten elektrischen Energie, das sind 61.426 TJ bzw. 17.063 GWh im Jahr 2010 (Statistik Austria, 2011a). Die relativ homogene Verbraucherstruktur ist ein Vorteil im Bezug auf eine Effizienzsteigerung (E-Control, 2008 S. 110). Die große Anzahl von Haushalten in Österreich, laut Statistik Austria 3,62 Millionen im Jahr 2010, ist allerdings ein großer Nachteil, da somit eine große Masse zur Veränderung bewegt werden muss.

Tabelle 1 zeigt die Verbrauchsverteilung der elektrischen Energie im Haushaltsbereich. Es zeigt sich, dass Wärmeanwendungen wie Raumwärme (20 %) und Warmwasser (15 %) mit 35 % einen großen Anteil am Gesamtverbrauch haben. Weitere Verbrauchszweige sind Kühlen und Gefrieren (12 %), elektrischen Großgeräte (11 %), Kochen (10 %), Büro und Unterhaltungselektronik (10 %) sowie die Beleuchtung (8 %). Da eine Vielzahl anderer elektrischer Geräte verwendet wird, wurden die restlichen Geräte zu dem Bereich der sonstigen elektrischen Geräte (10 %) zusammengefasst. Zu den Großgeräten werden Geschirrspüler, Waschmaschinen und Wäschetrockner gezählt.

Kategorie	Stromverbrauch		%
	aller privaten HH	eines durchschnittlichen HH	
	GWh/a	kWh/a	
Raumwärme	3.478	960	20,4
Warmwasser	2.460	679	14,4
Kühlen und Gefrieren	2.053	566	12,0
Großgeräte	1.775	490	10,4
Kochen	1.761	486	10,3
Büro- und Unterhaltungselektronik	1.745	481	10,2
Beleuchtung	1.430	394	8,4
Haushaltskleingeräte	615	170	3,6
Sonstiges	1.747	482	10,2
<b>Summe</b>	<b>17.063</b>	<b>4.708</b>	<b>100</b>

Tabelle 1: Aufteilung des Stromverbrauchs in österreichischen Haushalten (Statistik Austria, 2011a).

Der jährliche Gesamtverbrauch eines durchschnittlichen Haushaltes wurde mit Formel 2.1 berechnet und betrug etwa 4.708 kWh im Jahr 2010 in Österreich.

$$GV_{\emptyset H} = \frac{\sum W_{el,HH}}{N_{HH}} = \frac{17.062,77 \text{ GWh}}{3,624 \text{ Mio.}} = 4708 \text{ kWh} \quad 2.1$$

$GV_{\emptyset H}$  ..... durchschnittlicher jährlicher Gesamtverbrauch eines Haushaltes (GWh)

$\sum W_{el,HH}$  .... jährlicher Gesamtverbrauch aller Haushalte (GWh)

$N_{HH}$  ..... Anzahl der Haushalte (Millionen)

### 2.1.2 Nutzungsanalyse des produzierenden Bereichs

Im Jahr 2010 betrug der elektrische Endenergieverbrauch in der Industrie 26.705 GWh und setzt sich laut der Nutzungsanalyse der Statistik Austria, wie in Tabelle 2 dargestellt zusammen (Statistik Austria, 2011a). Der gesamte Industriebereichsverbrauch wird zu fast 75 % durch Standmotoren hervorgerufen. Dem Standmotorenbereich kann man unter anderem die Bereiche Pumpen, Gebläse, Druckluft, Ventilatoren und Raumlufttechnik zuordnen. Erst weit abgeschlagen folgen Industrieöfen (12 %) und Beleuchtung und EDV (6,9 %).

Kategorie	Stromverbrauch	
	GWh/a	%
Standmotoren	19.410	72,6
Industrieöfen	3.294	12,3
Beleuchtung und EDV	1.846	6,9
Klimaanlage	616	2,3
Raumheizung	503	1,9
Kühlung	450	1,7
Dampferzeugung	240	0,9
Warmwasser	62	0,2
Weitere Zwecke	302	1,1
<b>Summe</b>	<b>26.723</b>	<b>100</b>

Tabelle 2: Aufteilung des Stromverbrauch im produzierenden Bereich (Statistik Austria, 2011a)

Betrachtet man nun die Verbrauchsaufteilung auf die einzelnen Branchen, so kann man die besonders energieintensiven Verbrauchsbranchen ermitteln. Diese sind die Bereiche Papier und Druck (18 %), Chemie und Petrochemie (15 %), Eisen und Stahlerzeugung (13 %), Maschinenbau (13 %) und Nahrungs- und Genussmittel (8 %) (Statistik Austria, 2011a).

## 2.2 Bereichsauswahl für Effizienzsteigerungen

Anhand der Endenergienutzungsanalyse werden nun Bereiche ausgewählt, für welche im Folgenden elektrische Effizienzsteigerungsmaßnahmen erarbeitet werden.

Im Industriebereich haben Standmotoren den größten Anteil am Stromverbrauch. Daher werden im Standmotorenbereich das allgemeine elektrische Antriebssystem, Pumpensysteme und Druckluftsysteme näher betrachtet. Der zweitgrößte Verbrauchsbereich sind Industrieöfen, welche große Mengen an Abwärme erzeugen. Aus diesem Grund werden ausgewählte Nutzungsmöglichkeiten der Abwärme näher betrachtet.

Im Haushaltbereich wird der größte Energieanteil für Raumwärme und Warmwasser verwendet. Darum wird hier der Einsatz moderner Heizungstechnologien, wie der Wärmepumpe, sowie der die elektrische Effizienzsteigerung bei Umwälzpumpen näher betrachtet. Die nächsten großen Verbrauchsgruppen Kühlen und Gefrieren, Haushaltsgroßgeräte und Kochen werden unter dem Begriff der "Weißen Ware" zusammengefasst und näher betrachtet. Beleuchtung und EDV haben einen Anteil am Gesamtenergieverbrauch von rund

15 %. Die Beleuchtung alleine hat im Haushaltsbereich aber nur rund 8 % Anteil am Verbrauch. Trotzdem wird dieser Bereich betrachtet, da er derzeit der Populärste und hinsichtlich des Glühbirnen-Verbots einer der meist beachteten ist. Abschließend wird noch der Standby-Verbrauch näher betrachtet.

Um die Maßnahmen hinsichtlich ihrer Sinnhaftigkeit beurteilen zu können, wird versucht das elektrische Verbrauchsreduktionspotential und die dadurch entstehende Energiekostensparnis beim Endverbraucher zu bewerten.

## 2.3 Beleuchtung

Der Beleuchtungsanteil am elektrischen Endenergieverbrauch liegt sowohl im Haushaltsbereich als auch im Industriebereich unter 10 %. Dennoch sollte dieser Bereich nicht vernachlässigt werden, da in diesem Bereich ein hohes nutzbares wirtschaftliches Einsparungspotential vorhanden ist. Das Reduktionspotential am Gesamtverbrauch aller Bereiche ist jedoch als gering einzustufen. Allerdings ist der Beleuchtungsbereich ein wesentlicher Bereich für die Bewusstseinsbildung beim Endverbraucher.

### 2.3.1 Allgemeines

In der Beleuchtungstechnik unterscheidet man zwischen Lampen und Leuchten. Lampen, oder auch Leuchtmittel genannt, sind jene Betriebsmittel, welche Licht erzeugen. Leuchten hingegen sind die Träger der Lampe. Lampen haben somit das Ziel aus der aufgenommenen elektrischen Energie Licht zu erzeugen. Ein wesentliches Maß dafür ist die Lichtausbeute  $\eta$ , welche aus dem Verhältnis des Lichtstromes zur elektrischen Leistungsaufnahme berechnet wird und die Energieeffizienz der Lampe beschreibt. (Wosnitza, et al., 2012 S. 338)

$$\eta = \frac{\Phi_v}{P_{\text{elektr.}}} \quad 2.2$$

$\eta$  ..... Lichtausbeute (lm/W)

$\Phi_v$  ..... Lichtstrom in Lumen (lm)

$P_{\text{elektr}}$  .... elektrische Leistung (W)

Der Lichtstrom in Lumen wird nach (Wosnitza, et al., 2012 S. 333) wie folgt definiert:

*„Pro Sekunde abgestrahlte und mit der Augenempfindlichkeit bewerteten Lichtleistung im Wellenbereich des sichtbaren Lichts.“*

Desto höher die Lichtausbeute einer Lampenart ist, desto energieeffizienter und wirtschaftlicher wandelt sie die aufgenommene elektrische Leistung in Licht um. Die folgende Tabelle 3 zeigt die Lichtausbeute und die Lebensdauer ausgewählter Lampentypen.

Lampentyp	Lichtausbeute	Lebensdauer
	<i>lm/W</i>	<i>1000 h</i>
Glühlampe (GL)	5 - 15	0,5 - 1
Halogenlampe (HL)	15 - 25	1 - 5
IRC - Halogenlampe (IRC-HL)	40 - 100	3 - 5
Leuchtstofflampe (LSL)	40 - 100	5 - 45
Energiesparlampe (ESL)	50 - 90	10 - 15
Halogen-Metall dampflampen (HML)	60 - 100	8 - 16
Natriumdampf-Hochdrucklampen (NHL)	70 - 150	10 - 20
Leuchtdiode (LED)	10 - 120	20 - 80

**Tabelle 3: Gegenüberstellung verschiedener Lampentypen**  
 Datenquellen: (Wosnitza, et al., 2012 S. 338-350), (licht.de, 2013)

Wie man aus der Tabelle 3 erkennt, ist der Einsatz einer Glühlampe der elektrisch ineffizienteste Weg einen Raum zu erhellen, da diese die geringste Lichtausbeute aufweist. Herkömmliche Glühlampen haben einen Wirkungsgrad von 5 bis 9 % und wandeln die elektrische Energie somit größtenteils in Wärme um.

Halogenlampen (HL) sind die Weiterentwicklung der Glühlampen und haben eine etwas höhere Lichtausbeute und Lebensdauer. Halogenlampen, die mit 230 V betrieben werden, sind nicht besonders energieeffizient. Niedervolt-HL werden über einen Transformator mit 12 oder 24 Volt versorgt. Eine neuere Technik sind die Infra-Red-Coated (IRC) Halogenlampen, welche eine höhere Lichtausbeute, eine verbesserte Lebensdauer und eine geringere Wärmeentwicklung aufweisen (Reichl, 2010 S. 227).

Energiesparlampen sind im Prinzip zusammengefaltete Leuchtstofflampen (LSL) und haben somit ähnliche Eigenschaften. Sie haben eine besonders hohe Lebensdauer und einen relativ hohen Wirkungsgrad. Allerdings nimmt der Lichtstrom im Laufe der Lebensdauer ab (Reichl, 2010 S. 227). Bei diesen Lampentypen bleibt aber die Entsorgung und ein mögliches Zerschneiden der Lampe ein Problem, da das Schwermetall Quecksilber darin enthalten ist. Die Lampen sind also Sondermüll und bei einem möglichen Zerschneiden besteht die Gefahr das gesundheitsschädliche Schwermetall einzusatmen. Der Einsatz solcher Lampen ist somit wegen dem Entsorgungsproblem fragwürdig. In Zukunft dürften allerdings quecksilberfreie LSL dieses Problem beseitigen.

Halogen-Metall dampflampen (HML) gehören zu den Gasentladungslampen. Sie zeichnen sich durch eine hohe Lichtausbeute, sowie eine hohe Lebensdauer aus und zählen deshalb neben der LED zu einer der effizientesten Lampentypen (Wosnitza, et al., 2012 S. 347). Durch ihre gute Farbwiedergabeeigenschaften und geringen Abmessungen werden sie beispielsweise in Industriehallen oder Straßenlampen eingesetzt (Wosnitza, et al., 2012 S. 348). Ähnlich verhalten sich Natriumdampf-Hochdrucklampen (NHL), allerdings haben diese eine schlechtere Farbwiedergabe und werden deshalb vorwiegend zur Außenbeleuchtung eingesetzt. Es gibt auch Modelle mit verbesserter Farbwiedergabe, welche jedoch eine

geringere Lichtausbeute aufweisen, aber dafür auch im Innenbereich einsetzbar sind (Wosnitza, et al., 2012 S. 346).

LEDs haben sehr lange Lebensdauern, eine geringe Ausfallsrate und sehr kompakte Ausmaße. Moderne LEDs sind gleich effizient oder sogar effizienter wie Leuchtstofflampen, aber im Vergleich dazu relativ teuer (Reichl, 2010 S. 228). Zudem ist die Entwicklung in diesem Bereich noch nicht abgeschlossen, wodurch sich die Lichtausbeute in Zukunft noch erhöhen dürfte.

Mittlerweile werden die Lampentypen in allen gängigen Aufnahmen angeboten, sodass bei einem Tausch meistens nur die Lampe und nicht die komplette Leuchte getauscht werden muss.

### 2.3.2 Beleuchtung im Haushaltsbereich

Das Energiesparlampenprogramm ist eines der populärsten Programme wenn es um elektrische Energieeffizienz geht. Der Beleuchtungssektor beträgt im österreichischen Haushaltsbereich rund 8 % am Gesamtverbrauch, beziehungsweise 1,4 TWh im Jahr 2010 (Statistik Austria, 2011a). Schätzungen zufolge können 50 % davon durch den Einsatz anderer Leuchtmittel als die Glühbirne eingespart werden (E-Control, 2008 S. 135). Im Vergleich zu anderen Energiesparmaßnahmen ist das Potential gering, dennoch können so rund 0,7 TWh pro Jahr alleine im privaten Haushalten in Österreich durch einen vollständigen Glühbirnenersatz gespart werden.

#### 2.3.2.1 Lampenvergleich

In diesem Beispiel soll der Ersatz einer 60 Watt E27 Glühbirne durch alternative Möglichkeiten untersucht werden. Aufgrund ihrer schlechten Energiebilanz sind Glühbirnen Auslaufmodelle und werden in der EU basierend auf die Verordnung Nr. 244/2009 „Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Haushaltslampen mit ungebündeltem Licht“, stufenweise abgeschafft. Allerdings waren im Jahr 2008 in österreichischen Haushalten noch 51 % Glühbirnen, 31 % Halogenlampen und nur 7 % Energiesparlampen im Einsatz (Statistik Austria, 2009 S. 31). Inwieweit sich diese fünf Jahre alten Zahlen verändert haben kann nicht gesagt werden, denn aktuelle Zahlen liegen nach derzeitigem Stand (Mai 2013) nicht vor.

In der folgenden Tabelle 4 werden die Merkmale ausgewählter Produkte zusammengefasst. Diese werden hinsichtlich ihrer Gesamtkosten und des Energieverbrauchs unter Annahme einer bestimmten Leuchtdauer verglichen. Es wurden Markenprodukte der Firma OSRAM verwendet, somit ist es durchaus möglich, dass es günstigere Leuchtmittel mit gleichen Leistungsdaten am Markt zu kaufen gibt. Es wurde versucht die Glühlampe hinsichtlich des Lichtstromes durch möglichst gleichwertige Lampen zu ersetzen, welche direkt getauscht werden können, ohne dass die Leuchte getauscht werden muss. Es sei angemerkt, dass ein gleicher Lichtstrom nichts über das subjektive Lichtempfinden aussagt.

Typ	Name	Elektr. Leistung	Lichtausbeute	Lichtstrom	Lebensdauer	Preis <sup>3</sup>
		<i>W</i>	<i>lm/W</i>	<i>lm</i>	<i>h</i>	€
GL	OSRAM CLASSIC A60	60	12	720	1000	1
HL	OSRAM CL A HAL ECO PRO	46	15	690	2000	2
ESL	OSRAM DULUX PRO STICK 840	14	55	825	10000	8
LED	OSRAM PARATHOM CLASSIC A 60 ADV	13	62	806	25000	37

Tabelle 4: Produktauswahl in den verschiedenen Kategorien (OSRAM, 2012).

Um die Investition in alternative Lampen beurteilen zu können, wurde die statische Amortisationsdauer sowie der dynamisch berechnete Kapitalwert nach 20 Jahren ermittelt. Um den Kapitalwert zu berechnen, wurde die jährliche Kostenersparnis an Investitionskosten und Stromkosten der alternativen Lampen gegenüber der Glühlampe abgezinst, wie Formel 2.3 darstellt. Am Ende der Lebensdauer eines Lampentyps wurde eine Neuinvestition in gleicher Höhe der Anfangsinvestition durchgeführt. Es wurde ein Zinssatz von 2 % angenommen.

$$KW = \sum_{n=0}^N (K_{GL,n} - K_{aL,n}) \cdot \left(1 + \frac{i}{100}\right)^{-n} \quad 2.3$$

$K_{GL,n}$  ..... Kosten der Glühlampe im Jahr  $n$  (€)

$K_{aL,n}$  ..... Kosten der alternativen Lampe im Jahr  $n$  (€)

$i$  ..... Zinssatz (%)

$N$  ..... betrachtete Jahre ( $a$ )

Will man die Amortisationsdauer der alternativen Produkte ermitteln, setzt man ihre Gesamtkosten mit den Gesamtkosten der Glühlampe gleich und man erhält nach der Formel 2.4 die notwendigen Betriebsstunden für die Amortisationsdauer. Der Strompreis wurde wie zuvor mit 0,2 €/kWh angenommen.

$$t_a = \frac{k_{invest,GL} - k_{invest,aL}}{(P_{aL} - P_{GL}) \cdot p_{Strom}} \quad 2.4$$

$t_a$  ..... Amortisationszeit ( $a$ )

$k_{invest}$  .... Investitionskosten der Lampe (€)

$p_{Strom}$  .... Stromkosten (€/kWh)

$P$  ..... Leistungsaufnahme der Lampe ( $W$ )

<sup>3</sup>Es wurden die günstigsten Preise mittels Online-Preisvergleichen im Dezember 2012 ermittelt.

	<b>Halogen</b>	<b>ESL</b>	<b>LED</b>
Amortisationsdauer (h)	357	761	3617
Amortisationsdauer (a) <sup>4</sup>	0,4	0,8	3,6
Kapitalwert (€) <sup>5</sup>	46,5	155,4	136,5

Tabelle 5: Vergleich der verschiedenen Lampen hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit an der Glühlampe.

Geht man von einer durchschnittlichen Betriebsdauer von 1000 Stunden im Jahr aus, so sieht man in Tabelle 5, dass die Energiesparlampen und die Halogenlampen bereits innerhalb des ersten Jahres ihre Investition gerechtfertigt haben. LEDs benötigen längere Zeit um sich zu amortisieren, was durch die derzeit noch hohen LED-Preise verursacht wird. Betrachtet man den Kapitalwert nach 20 Jahren mit 1000 Betriebsstunden im Jahr erkennt man, dass die ESL gefolgt von der LED den höchsten Kapitalwert hat. Bei allen drei Alternativen ist der Kapitalwert positiv, woraus man schließen kann, dass eine Investition sinnvoll ist.

Setzt man die Leistungsaufnahme der einzelnen Lampentypen in Relation, so ergibt sich beim Ersatz einer 60 Watt Glühlampe durch eine gleichwertige LED oder ESL eine Energieeinsparung von etwa 78 %, wie in Formel 2.5 berechnet wurde. Die Leistungsdaten der Lampen zur Berechnung wurden aus Tabelle 4 entnommen.

$$ES = \left(1 - \frac{P_{LED}}{P_{Glüh}}\right) \cdot 100 \% = \left(1 - \frac{13 W}{60 W}\right) \cdot 100 \% = 78 \% \quad 2.5$$

*ES* ..... Energieeinsparung (%)

*P<sub>LED</sub>* ..... Leistungsaufnahme der LED (W)

*P<sub>Glüh</sub>* ..... Leistungsaufnahme der Glühlampe (W)

### 2.3.2.2 Zusammenfassung

Ein durchschnittlicher österreichischer Haushalt verbraucht, auf Basis des Jahres 2010, pro Jahr 4708 kWh (siehe Formel 2.1 auf Seite 6); davon werden 8 % für Beleuchtung aufgewendet, wobei 50 % Glühlampen im Einsatz sind (Statistik Austria, 2009 S. 31). Würde man nun diese Glühlampen durch LED oder ESL bei angenommener gleicher Leuchtdauer tauschen, würde sich eine elektrische Energieeffizienzsteigerung von 78 % ergeben, welche laut Formel 2.6 eine jährliche Einsparung (ES) von 146 kWh pro Haushalt ergibt.

Für den gesamten österreichischen Endenergieverbrauch würde sich durch diese Maßnahme eine jährliche Energieeinsparung von etwa 0,5 TWh, wie in Formel 2.7 berechnet, ergeben.

<sup>4</sup> Auf Basis von 1000 Betriebsstunden pro Jahr.

<sup>5</sup> Der Kapitalwert wurde dynamisch über 20 Jahren mit einem angenommenen Zinssatz von 2 % berechnet.

$$ES = E_{v\emptyset} \cdot A_B \cdot A_G \cdot E_R = 4.708 \text{ kWh} \cdot 0,08 \cdot 0,5 \cdot 0,78 = 146 \text{ kWh} \quad 2.6$$

*ES ..... gesamtes Einsparungspotential von elektrischer Energie im Jahr (kWh)*

*E<sub>v∅</sub> ..... Energieverbrauch eines durchschnittlichen Haushaltes im Jahr (kWh)*

*A<sub>B</sub> ..... Verbrauchsanteil der Beleuchtung (-)*

*A<sub>G</sub> ..... Anteil der Glühbirnen (-)*

*E<sub>R</sub> ..... geschätztes Einsparungspotential (-)*

$$ES = E_v \cdot A_B \cdot A_G \cdot E_R = 17.062 \text{ GWh} \cdot 0,08 \cdot 0,5 \cdot 0,78 = 532,3 \text{ GWh} \quad 2.7$$

*ES ..... gesamtes Einsparungspotential von elektrischer Energie im Jahr (GWh)*

*E<sub>v</sub> ..... Energieverbrauch aller Haushalte im Jahr (GWh)*

*A<sub>B</sub> ..... Verbrauchsanteil der Beleuchtung (-)*

*A<sub>G</sub> ..... Anteil der Glühbirnen (-)*

*E<sub>R</sub> ..... geschätztes Einsparungspotential (-)*

Aber nicht nur ein Tausch einer Lampe kann eine Energieeinsparung bringen. Auch das Dimmen<sup>6</sup> oder der Einsatz von Bewegungsmeldern, Dämmerungsschalter oder Zeitschaltuhren können einen wesentlichen Betrag dazu leisten. Ebenso kann durch eine Verbesserung der Leuchtenreflektoren oder durch die Wahl des optimalen Lampeninstallationsorts die Lichtausbeute erhöht und verbessert werden (Wosnitza, et al., 2012 S. 380,387).

Abschließend sei noch erwähnt, dass die Empfindung von Licht etwas Subjektives ist und somit die Beleuchtungswahl für jede Situation individuell abgeklärt werden sollte, da nicht jeder Lampentyp die Anforderungen des jeweiligen Einsatzortes erfüllt.

### 2.3.2.3 Anmerkung zur Leistungsaufnahme

Spricht man von elektrischer Leistung bei Lampen, meint man meistens die Wirkleistung. Diese Wirkleistungsaufnahme wird durch den Ersatz von Glühbirnen deutlich reduziert. Allerdings haben ESL gegenüber Glühlampen den Nachteil, dass ihr Wirkleistungsfaktor schlechter ist und sie damit mehr Blindleistung aufnehmen. Bewertet man die Lampen am Endverbraucher, ist es durchaus richtig, nur die Wirkleistung zu betrachten. Erfolgt aber eine Bewertung auch an der Primärseite, also beim Stromerzeuger, muss die höhere Blindleistungsaufnahme mit berücksichtigt werden (Reichl, 2010 S. 235).

<sup>6</sup> Nicht bei allen LED und ESL besteht die Möglichkeit diese zu dimmen.

### 2.3.3 Beleuchtung im Industriebereich

Im Jahr 2010 betrug der Endenergieanteil an elektrischer Energie für Beleuchtung und EDV im Industriebereich 7 % (Statistik Austria, 2011a). Im Grunde können hier die gleichen Maßnahmen wie in privaten Haushalten angewendet werden. Allerdings ist das Einsparpotential durch einen Wechsel der Technologie nicht so groß wie es im Haushaltsbereich ist, da in der Industrie zu etwa 80 % Leuchtstofflampen (LSL) eingesetzt werden (Wosnitza, et al., 2012 S. 380). Hier sind vor allem das Lichtmanagement sowie ein Generationenwechsel von besonderer Wichtigkeit.

Unter Lichtmanagement werden alle Maßnahmen verstanden, um die Lichtquellen steuern zu können. Diese Steuerung benötigt allerdings Vorschaltgeräte oder Sensoren, wie beispielsweise Bewegungsmelder, um Lampen einzelnen ansteuern zu können (Wosnitza, et al., 2012 S. 379,380). Ein komplettes Lichtmanagementsystem kann in eine bestehende Gebäudetechnik eingebunden werden, wodurch ein vollkommen bedarfsgerechtes Beleuchtungssystem entsteht.

Beim Generationenwechsel geht es darum, dass bestehende Leuchtstofflampensysteme, welche bedingt durch die sehr hohe Lebensdauer zum Teil stark veraltet sind, durch die neuen Leuchtstofflampengenerationen zu ersetzen. Meist werden noch T8-Lampen mit 26 mm Durchmesser verwendet. Ebenso verbrauchen die neuen elektronischen Vorschaltgeräte (EVG) um etwa 25 % weniger Strom als die konventionellen induktiven Vorschaltgeräte (KVG) (Wosnitza, et al., 2012 S. 380).

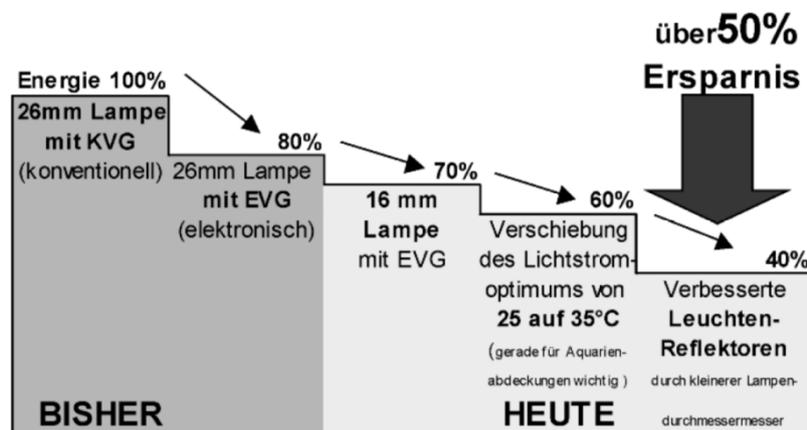


Abbildung 4: Potentielle Einsparungen von einer 26 mm Lampe mit KVG über EVG, bis hin zur heutigen Technik mit einer 16 mm Lampe mit verschiedenen Optimierungmaßnahmen. Bildquelle: (Wosnitza, et al., 2012 S. 380).

Abbildung 4 zeigt, dass alleine durch den Ersatz der 26 mm-Lampen mit KVG durch heutzutage übliche T5-Lampen mit 16 mm Durchmesser bis zu 30 % der elektrischen Energie eingespart werden kann. Durch weitere Systemoptimierungen können im besten Fall bis zu 50 % eingespart werden. Allerdings verlieren auch moderne T5-LSL im Laufe ihrer Lebensdauer etwa 10 % ihres Lichtstromes (Reichl, 2010 S. 224). Durch weitere Maßnahmen wie etwa tageslichtabhängiges Dimmen lassen sich weitere Einsparungen erreichen. Ein Lampentausch sollte somit alleine schon wegen dem Einsparungspotential bei einem Generationen-

wechsel und dem stetig abnehmenden Lichtstrom nicht erst zum Ende der Lebensdauer erfolgen.

### 2.3.4 Ergänzende Bemerkungen (*Exkurs: Rebound-Effekt*)

Die technische Entwicklung der Lampen, besonders der LED-Technologie ist derzeit noch keineswegs abgeschlossen. Somit können in Zukunft die in dieser Arbeit dargestellten Potentiale noch verstärken werden.

Ob durch effiziente Lampen der Energieverbrauch tatsächlich sinkt wird durch den Rebound-Effekt in Frage gestellt. Der Rebound-Effekt wirkt einer Energiesenkung durch Energieeffizienz entgegen (Pehnt, 2010 S. 5). Beispielsweise verbrauchen LED wesentlich weniger elektrische Energie als Glühbirnen bei gleichem Nutzen. Dies kann zu einer intensiveren und sorgloseren Nutzung der LEDs führen, wodurch der Verbrauch, langfristig gesehen, nicht sinkt. Geschichtlich gesehen ist dieser Vorgang schon einmal passiert, nämlich beim Übergang von Glühbirnen mit Kohlenstoffäden zu Wolframfäden (Hänggi, 2009 S. 8). Man unterscheidet zwischen dem direkten und indirekten Rebound-Effekt (Pehnt, 2010 S. 5). Das Beispiel mit der Glühbirne und der LED entspricht dem direkte Rebound, da die Energiedienstleistung sparsamer und damit billiger wird; und was billiger wird, wird stärker nachgefragt (Hänggi, 2009 S. 8). Das bedeutet, dass der Effizienzgewinn durch die stärkere oder sorglosere Nutzung des Produktes verloren geht.

Beim indirekten Rebound geht man davon aus, dass man die Energiekosteneinsparung ebenfalls für etwas ausgibt, was Energie benötigt (Hänggi, 2009 S. 8). Der Rebound Effekt hat viele Wirkungsmechanismen, wie etwa den Energiepreiseffekt, den Struktureffekt oder eine Erhöhung der Ansprüche an die Dienstleistung, welche in dieser Arbeit aber nicht näher betrachtet werden (Pehnt, 2010 S. 6).

Gerade bei den Lampen steht, bedingt durch die niedrigen Investitionskosten, einer Steigerung der Lampenanzahl im Haushalts- oder Industriebereich nichts im Weg. Gerade im Industriebereich kann die Lampenanzahl z.B. durch strengere Vorschriften zur Arbeitsplatzausleuchtung weiter steigen.

Gemäß Pehnt (Pehnt, 2010 S. 6) gehen verschiedene Studien von einer Minderung des Nutzens der Energieeffizienzmaßnahmen durch den Rebound-Effekt von bis 30 % aus.

## 2.4 Elektrische Antriebe und Antriebssysteme

Der Kern eines jeden elektrischen Antriebssystems ist der Elektro-Motor, welcher elektrische Energie aufnimmt und in mechanische Energie umwandelt, wodurch eine Arbeitsmaschine angetrieben werden kann. Der Elektro-Motor ist jedoch nur das treibende Element in einem System. Will man also den Endenergieverbrauch senken, muss man das gesamte System effizienter gestalten. Abbildung 5 zeigt, in welchen Bereichen des elektrischen Antriebssystems die größten Einsparpotentiale bestehen. Die Optimierung des Elektro-Motors bringt eine geringe Einsparung, welche aber nicht unwesentlich ist, wie in Abschnitt 2.4.2.1 erläutert wird. Ebenso erkennt man in Abbildung 5, dass das Kern-Motorsystem ein erhebliches Einsparungspotential aufweist, während im gesamten Antriebssystem große Einsparungen an elektrischer Energie möglich sind (topmotors, 2012 S. 5).

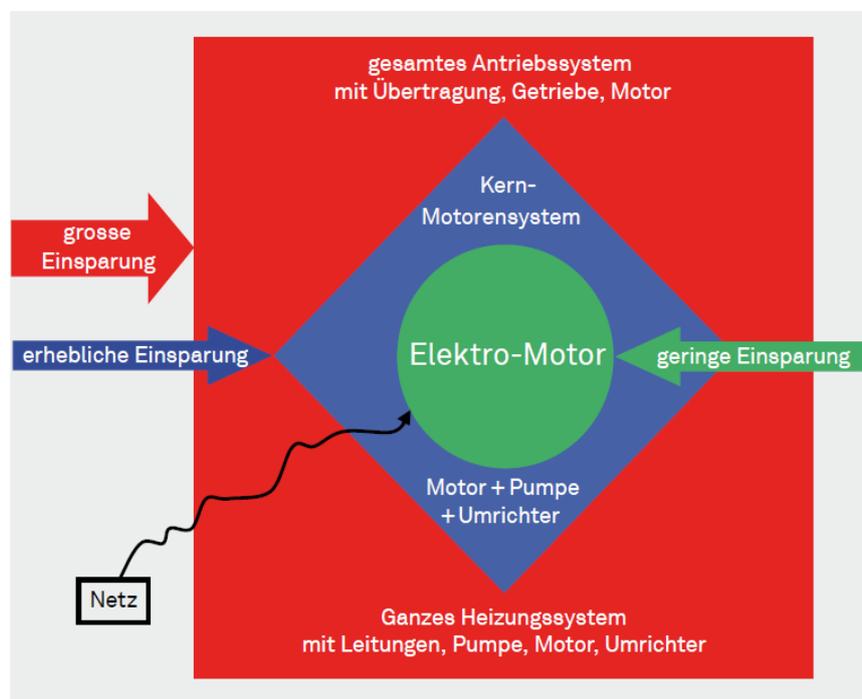


Abbildung 5: Effizienzsteigerungspotentiale im elektrischen Antriebssystem (topmotors, 2012 S. 5).

### 2.4.1 Nutzungsanalyse von Standmotoren

In der nachfolgenden Nutzungsanalyse wird der Einsatz von Standmotoren in den Bereichen Industrie und Haushalte näher betrachtet.

#### 2.4.1.1 Einsatz von Standmotoren in der Industrie

Im produzierenden Bereich wurden in Österreich im Jahr 2010 laut Statistik Austria etwa 75 % der elektrischen Energie durch Standmotoren verbraucht (Statistik Austria, 2011a). Abbildung 6 zeigt die weltweite Stromverbrauchsaufteilung des Standmotorensektors auf die einzelnen Verwendungsbereiche. So ist mit 38 % die mechanische Bewegung der größte Verbraucher, gefolgt von Kompressoren mit 25 %, Pumpen mit 21 % und Ventilatoren mit 16 % (Waide, et al., 2011 S. 39).

Dem Sektor der mechanischen Bewegung kann man unter anderem die Einsatzzwecke Fördern, Mahlen und Transport von Waren und Personen zuordnen. Dem Kompressorsektor werden Kühl- und Gefriersysteme sowie Druckluftsysteme zugeordnet. Dem Ventilatorenbereich werden verschiedenen Gebläsesysteme zugeordnet und dem Pumpenbereich verschiedene Anwendungen von Pumpen. (Waide, et al., 2011 S. 38)

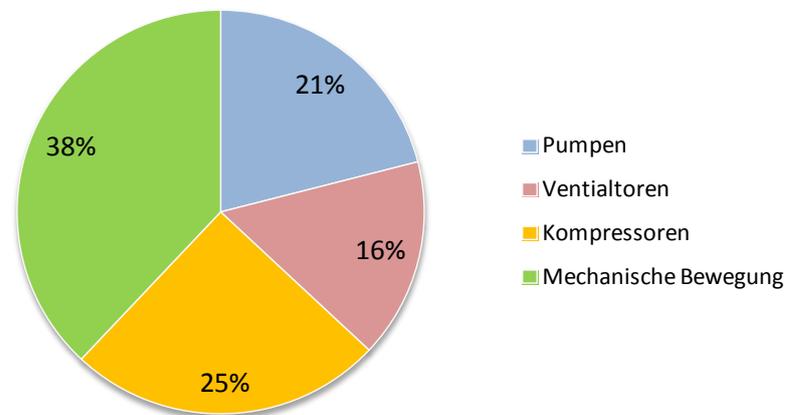


Abbildung 6: Verbrauchsverteilung der Sektoren bei elektrischen Antriebssystemen bzw. Standmotoren nach Stromverbrauch im weltweiten Industriesektor (Waide, et al., 2011 S. 39).

Der Fachverband der Elektro- und Elektronikindustrie schätzt das Potential der Effizienzsteigerung auf 20 bis 30 % (FEEI, 2012 S. 4). Würde man diese abgeschätzten Potentiale umsetzen, würde man mit den in Tabelle 6 zusammengefassten Werten, nach Formel 2.8 auf Basis der Verbrauchswerte von 2010, eine jährliche Verbrauchsreduktion in Österreich um 5.848 GWh erreichen.

Stromverbrauch der Industrie (GWh/a)	26.705
Anteil an Standmotoren am Verbrauch (%)	73
Geschätztes Einsparungspotential (%)	30

Tabelle 6: Zusammenfassung der zuvor erhobenen Werte.

$$ES = E_v \cdot A_S \cdot E_R = 26.705 \text{ GWh} \cdot 0,73 \cdot 0,3 = 5.848 \text{ GWh} \quad 2.8$$

*ES* ..... gesamtes Einsparungspotential von elektrischer Energie im Jahr (GWh)

*E<sub>v</sub>* ..... Energieverbrauch der Industrie im Jahr (GWh)

*A<sub>S</sub>* ..... Verbrauchsanteil der Standmotoren (-)

*E<sub>R</sub>* ..... geschätztes Einsparungspotential (-)

In den Abschnitten 2.4.2 ff. werden Maßnahmen für ausgewählte Bereiche des Standmotorensektors dargestellt, um die elektrische Endenergieeffizienz in diesen Bereichen zu verbessern.

### 2.4.1.2 Einsatz von Standmotoren in Haushalten

Im Haushaltsbereich sind Standmotoren in Waschmaschinen, Kühlgeräten, Wärme-, oder etwa Umwälzpumpen im Einsatz. Umwälzpumpen verursachen etwa 5 % des Stromverbrauchs eines Haushaltes und werden deshalb im Abschnitt 2.4.3.2 genauer betrachtet (Statistik Austria, 2009 S. 38). Alle anderen Einsatzzwecke von Standmotoren im Haushaltsbereich werden in Bezug auf die Effizienz des Motorsystems selbst nicht näher untersucht.

### 2.4.2 Das allgemeine industrielle Antriebssystem

Das treibende Systemelement im elektrischen Antriebssystem ist der Elektro-Motor. Dieser verursacht im Lauf seines Lebenszyklus den Großteil der Systemkosten durch die aufgenommene elektrische Energie. Für Kleinmotoren sind mindestens 95 % der Lebenszykluskosten Energiekosten, wie Abbildung 7 zeigt. Der Anteil der Energiekosten wird bei zunehmender Motorengröße größer und kann bis zu 99 % betragen (Berger, et al., 2005 S. 37). Es gilt also ein Bewusstsein in der Industrie zu schaffen, dass die Beschaffung nur einen kleinen Teil der Gesamtkosten ausmacht, vorausgesetzt der Motor kann getrennt vom gesamten Antriebssystem getauscht werden. Falls dies nicht möglich ist, muss das gesamte Antriebssystem getauscht werden, wodurch die Investitionskosten erheblich steigen dürften.

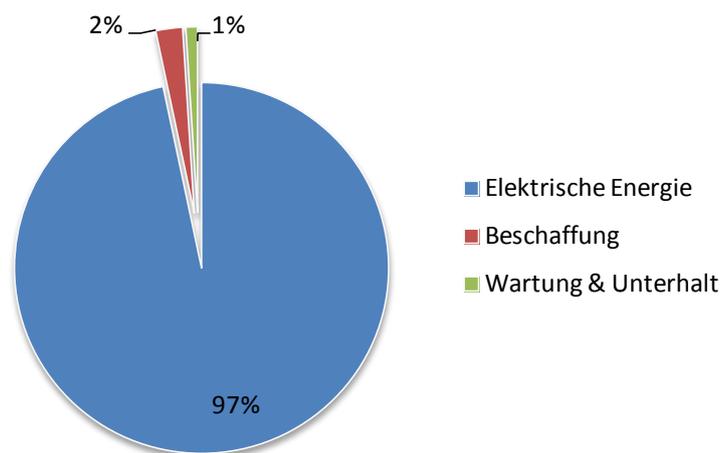


Abbildung 7: Lebenszykluskosten eines 11 kW IE3 Elektromotors mit 4000 Betriebsstunden im Jahr bei 15 Betriebsjahren (topmotors, 2012 S. 1).

#### 2.4.2.1 Der Elektro-Motor

Drehstrom-Elektro-Motoren bleiben meist sehr lange in Betrieb. Ihre reguläre technische Nutzungsdauer von 10 bis 16 Jahren wird in den meisten Fällen überschritten (topmotors, 2012 S. 3). Ein Austausch findet meist erst am Lebensende des Motors statt. Um die elektrische Effizienz von Motoren einheitlich zu beurteilen, wurden diese nach ihrem Wirkungsgrad klassifiziert. Die Klassifizierung der Motoren nach den alten und neuen Klassen ist in Tabelle 7 zusammengefasst dargestellt.

Neue IE-Wirkungsgradklassen		Alte IE-Wirkungsgradklassen	
Wirkungsbezeichnung	IE-Code	Wirkungsgradbezeichnung	Klasse
Super Premium	IE 4	-	-
Premium	IE 3	-	-
Hoch	IE 2	hoch	Eff 1
Standard	IE 1	verbessert	Eff 2
unter Standard	-	normal	Eff 3

Tabelle 7: Gegenüberstellung der Motorenklassifizierung (Volz, 2010 S. 5).

Alte Motoren haben bestenfalls die Effizienzklasse „Eff3“ und sind somit hinsichtlich des Wirkungsgrades wesentlich unterhalb der heutigen Standard-Effizienz IE1. Neue Motoren sollten die Klasse IE2 oder IE3 aufweisen. Im europäischen Raum ist die Marktdurchdringung der IE3-Motoren mit weniger als einem Prozent noch sehr gering (Volz, 2010 S. 3). Dieser Umstand zeigt das elektrische Effizienzpotential im Standmotorenbereich recht deutlich.

Die Abbildung 8 zeigt den Wirkungsgradverlauf verschiedener Effizienzklassen von 4-poligen Drehstrommotoren als Funktion der Motorengröße. Wie man erkennen kann, nehmen die relativen Verluste mit steigender Motorgröße ab, wodurch große Motoren einen besseren Wirkungsgrad haben. Weiters erkennt man bei Motoren kleiner und mittlerer Größe die relativ großen Wirkungsgraddifferenzen zwischen den Effizienzklassen.

#### Wirkungsgrad von Elektromotoren mit 4 Polen (%)

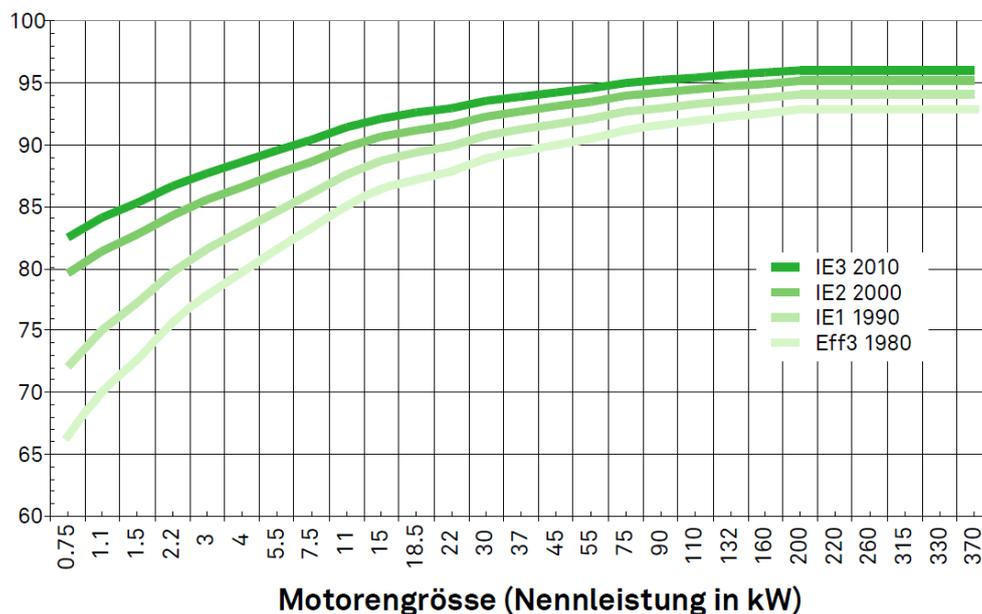


Abbildung 8: Wirkungsgrad von Elektromotoren nach Motorengröße (topmotors, 2012 S. 3)

Das folgende Beispiel soll darstellen, welchen Nutzen ein Motorentausch haben kann. Die Berechnung wurde von einem Beispiel der Energieagentur NRW übernommen und mit aktuellen Zahlen für den Strompreis und anderen Wirkungsgraden neu berechnet und durch eine Amortisationsrechnung erweitert (Kabus, 2010 S. 2).

In einem Betrieb ist alter 4-poliger Drehstrommotor mit 30 kW Wellenleistung und einem Wirkungsgrad  $\eta$  von 85 % im Einsatz. Dieser soll nun durch einen neuen Motor der Effizienzklasse IE3 und einem Wirkungsgrad von 92 % getauscht werden. Der Wirkungsgrad ist definiert als Verhältnis der mechanischen Ausgangsleistung zur elektrischen Eingangsleistung, wie Formel 2.9 zeigt.

$$\eta = \frac{P_{mech.}}{P_{elektr.}} \quad 2.9$$

$P_{mech}$  .... abgegebene mechanische Leistung der Motors (kW)

$P_{elektr.}$  ... aufgenommene elektrische Leistung des Motors (kW)

Durch umformen und einsetzen der zuvor genannten Werte in die Formel 2.9 erhält man die berechneten Werte in Formel 2.10, 2.11 und 2.12.

$$P_{elektr.alt} = \frac{33 \text{ kW}_{mech}}{0,85} = 35,3 \text{ kW}_{elektr.} \quad 2.10$$

$$P_{elektr.neu} = \frac{33 \text{ kW}_{mech}}{0,92} = 32,6 \text{ kW}_{elektr.} \quad 2.11$$

$$P_{Einsparung} = 35,3 \text{ kW} - 32,6 \text{ kW} = 2,7 \text{ kW}_{elektr} \quad 2.12$$

Vergleicht man die aufgenommene elektrische Leistung in Formel 2.10 des alten Motors mit der in Formel 2.11 berechneten des neuen Motors erkennt man, dass durch den Motor-tausch 2,7 kW eingespart werden können. Um das Effizienzsteigerungspotential dieses einzelnen Tausches zu verdeutlichen, wurden drei realistische Szenarien (SZ) für einen Motorbetrieb, mit einem Strompreis von 0,15 €/kWh, berechnet (Kabus, 2010 S. 2).

- SZ 1: 1-Schichtbetrieb, 5-Tageweche zu je 8 Stunden pro Tag
- SZ 2: 2-Schichtbetrieb, 5-Tageweche zu je 8 Stunden pro Tag
- SZ 3: 3-Schichtbetrieb, 6-Tageweche zu je 8 Stunden pro Tag

Szenario	1	2	3
Betriebsstunden (h/a)	2000	4000	7000
Einsparung (kWh/a)	5400	10800	18900
Stromkosteneinsparung (€/a)	810	1620	2835

Tabelle 8: Einsparungspotential bei einem Tausch des Elektro-Motors  
Berechnungsmethode: (Kabus, 2010 S. 2).

Laut dem Merkblatt 10 von topmotors.ch kostet ein Motor im Bereich von 30 kW mechanischer Nennleistung und IE3-Standard ungefähr 200 CHF./kW, was etwa 165 €/kW entspringt (topmotors, 2009 S. Merkblatt 10).<sup>7</sup> Somit würde der im Beispiel berechnete Motor etwa 5000 € Kosten. Kennt man die Investitionskosten kann man sie in Relation zur Kosteneinsparung setzen und erhält die Amortisationsdauer.

<sup>7</sup> Währungskurs 14.Mai.2013, 1 EUR entspricht 1,2494 CHF

Szenarien	1	2	3
Amortisationsdauer (a)	6,17	3,09	1,76

Tabelle 9: Amortisationsdauer der Motortausches in Abhängigkeit der jährlichen Betriebsstunden.

Wie man anhand der Amortisationsdauer in Tabelle 9 sieht, weisen alte Motoren, kleiner Motorengröße mit hohen Betriebsstunden ein großes wirtschaftliches Einsparungspotential auf.

Ebenso ist die richtige Dimensionierung des Motors sehr wichtig. Es kommen oft überdimensionierte Motoren zum Einsatz, wodurch diese größtenteils in Teillast laufen. Allerdings sinkt der Wirkungsgrad im Teillast- im Vergleich zum Volllastbetrieb erheblich ab. Die richtige Dimensionierung spart nicht nur Energie, bedingt durch einen höheren Wirkungsgrad, sondern führt auch zu geringeren Investitionskosten. Allerdings muss man dabei beachten, dass Motoren nicht für jede beliebige Leistung verfügbar sind, wodurch die Annäherung der Motorengröße an die optimale Dimensionierung am sinnvollsten sein dürfte.

Durch die Verordnung Nr. 640/2009 der europäischen Kommission gibt es eine Richtlinie, welche eine verbindliche Regelung für den Verkauf von Motoren und den Einsatz von Frequenzumrichtern vorgibt. Wie in Tabelle 10 dargestellt dürfen Motoren im Bereich von 0,75 bis 375 kW ab Jänner 2017 nur mehr mit IE3 oder IE2 mit Frequenzumrichter (FU) in den Handel gebracht werden.

Leistungsklasse	Frist		
	ab 16.Juni.2011	ab 1.Jänner.2015	ab 1.Jänner.2017
0,75 - 375 kW	min. IE2		min. IE3 oder IE2 mit FU
7,5 - 375 kW		min. IE3 oder IE2 mit FU	

Tabelle 10: Fristen ab welche Effizienzklassen verbindend sind (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2009 S. L 191/28).

Im Rahmen des Easy-Programms, welches seit 2010 in der Schweiz durchgeführt wird, wurden 1518 Motoren in den Schweizer Industriebetrieben untersucht. In Tabelle 11 sind die erhobenen Mittelwerte dieses Programmes zusammengefasst (Brunner, et al., 2012 S. 39).

Nennleistung:	4,5 kW (Median) 24,6 kW (Mittelwert)
Alter:	16 Jahre
Betriebsstunden:	4323 h/a
Motoren mit FU:	14 %

Tabelle 11: Durchschnittswerte der untersuchten Motoren, durch das Easy Programm (Brunner, et al., 2012 S. 39).

Aus diesen Werten folgt, dass die Hälfte aller Motoren kleiner 4,5 kW sind. Die hohen jährlichen Betriebsstunden bilden eine gute Basis, um hier eine wirtschaftliche Effizienzsteigerung durchzuführen. Weiters liegt die mittlere erhobene Auslastung der Motoren unter 50 % (Brunner, et al., 2012 S. 39). Daraus lässt sich eine massive Überdimensionierung ableiten. Somit können neue Motoren, welche von Haus aus einen höhere Effizienzklasse

und somit einen besseren Wirkungsgrad aufweisen, kleiner dimensioniert werden, wodurch sich ein doppelter Energiespareffekt ergibt.

#### **2.4.2.2 Das Kern-Motorensystem**

Einen wesentlichen Beitrag zur Effizienzsteigerung im Kern-Motorensystem leisten Frequenzumrichter (FU). Der FU dient zur kontinuierlichen Anpassung des Drehmomentes und der Drehzahl an die erforderliche mechanische Leistung und sorgt dafür, dass der Motor die Arbeitsmaschine auch bei Teillast im optimalen Betriebspunkt antreibt und somit eine geringere Leistungsaufnahme hat. Schätzungen zufolge können alleine mit der Frequenzregelung 20 bis 70 % der Energie im Vergleich zu unregelmäßig betriebenen Motoren eingespart werden (FEEI, 2012 S. 10).

Der FU erzeugt allerdings auch selbst Verluste. So sind zwischen 2 und 5 % im Nennlastbereich und zwischen 10 und 30 % im Viertellastbetrieb an Verlusten zu erwarten (topmotors, 2009 S. Merkblatt 11). Die wirtschaftliche Sinnhaftigkeit eines FU muss für jede Anwendung geprüft werden, denn der Preis eines FU liegt im Bereich des Motorpreises (topmotors, 2009 S. Merkblatt 11). Als Alternative kann man Motoren verbauen, welche verschiedene Drehzahlstufen beispielsweise durch Polumschaltungen ermöglichen. Laut des Easy-Programms weisen in der Schweiz nur 14 % der untersuchten Motoren eine Frequenzrichtereinheit auf.

Frequenzumrichter mit NetZRückspeisung sind vor allem bei Vorgängen interessant, wo der Motor eine bremsende Wirkung hat. Beispielsweise kann die freiwerdende Energie beim Absenken eines Aufzuges oder beim Auslaufvorgang von Zentrifugen ins Netz rückgespeist werden (FEEI, 2012 S. 11).

#### **2.4.2.3 Das Gesamtsystem**

Da die Gesamtsystemoptimierung vom jeweiligen Einsatzzweck stark abhängig ist, sei hier auf die Abschnitte 2.4.3 und 2.4.4 verwiesen, wo unter anderem Druckluft- und Pumpensysteme genauer betrachtet werden.

#### 2.4.2.4 Schlussfolgerung

Die größten Probleme der elektrischen Antriebssysteme im Bezug auf die effiziente elektrische Energienutzung werden nun zusammenfassend kurz dargestellt:

- Motoren werden meist nicht ein- oder ausgeschaltet und laufen somit durchgehend auch wenn sie nicht benötigt werden (topmotors, 2012 S. 1).
- 90 % der Motoren laufen mit Nenndrehzahl, obwohl die in diesem Arbeitspunkt mögliche Leistungsabgabe nicht benötigt wird (topmotors, 2012 S. 1).
- Da viele Motoren überdimensioniert sind, laufen sie nur mit Teillast, wodurch der Wirkungsgrad wesentlich geringer ist (topmotors, 2012 S. 1).
- Motoren sind oft stark veraltet und werden nur bei einem Defekt getauscht. So ergab eine Untersuchung der Schweizer Energieagentur im Rahmen des Easy Programms ein durchschnittliches Alter der Motoren von 16 Jahren bei den Schweizer Mittel- und Großbetrieben, welche jährlich zwischen 10 und 50 GWh elektrische Energie verbrauchten (Brunner, et al., 2012a S. 38,39).

Durch moderne effiziente Motoren lassen sich also erhebliche Verbrauchsreduktionspotentiale wirtschaftlich realisieren. Der Einsatz eines FU bringt ebenfalls ein erhebliches Reduktionspotential, wobei hier die wirtschaftliche Einsetzbarkeit von Fall zu Fall geprüft werden muss. In Tabelle 12 werden zur Übersicht die vorgeschlagenen Maßnahmen zur Verbesserung der Effizienz aus dem Topmotors-Projekt aufgelistet, welche hinsichtlich ihrer zeitlichen Umsetzbarkeit gegliedert sind (topmotors, 2012 S. 5).

Art	Maßnahme
Sofort	Vermeiden von Leerlauf, durch Installation eines Ein- und Ausschalters.
Kurzfristig	Nachrüstung von Frequenzumrichtern, falls dies beim Alt-System möglich ist.
Langfristig	Optimierung/Erneuerung des gesamten Antriebssystems.

Tabelle 12: Maßnahmen zur Effizienzsteigerung (topmotors, 2012 S. 5).

#### 2.4.3 Pumpensysteme

Pumpen werden in vielen verschiedenen Anwendungen eingesetzt. Ihr Zweck ist das Fördern von flüssigen Medien wie Wasser, Treibstoff, Abwasser, Chemikalien und vielem mehr. Abbildung 9 zeigt einen möglichen Aufbau und die Energienutzung eines Pumpensystems. Der elektrische Antrieb wandelt die elektrische Energie in eine mechanische Drehbewegung um, welche über ein Getriebe an die Pumpe übertragen wird. Die Pumpe wandelt die mechanische Energie nun in hydraulische Energie um, welche ein Medium befördert und somit die Nutzenergie verursacht. Die aufgenommene Energie setzt sich somit aus dem nominalen Energieverbrauch der Pumpe, sowie den Verlusten des Motor-, Getriebe-, Drossel- und Rohrsystems zusammen. Maßnahmen zur Reduktion der Motorverluste wurden bereits im Abschnitt 2.4.2.1 behandelt, daher konzentrieren sich die folgenden Betrachtungen auf die weiteren Bestandteile eines Pumpensystems.

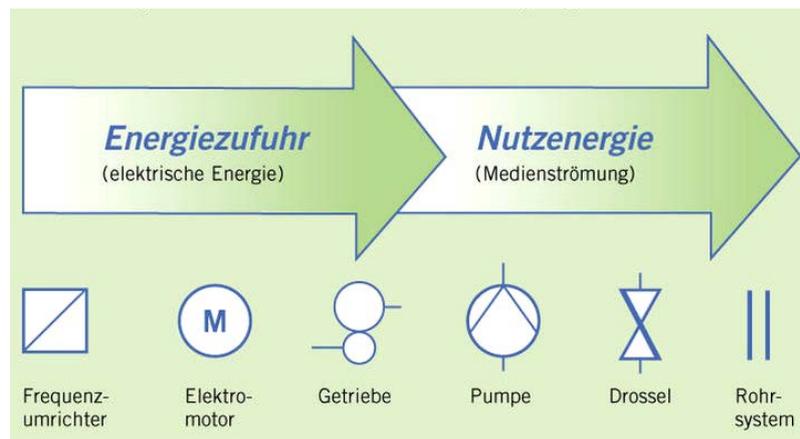


Abbildung 9: Schema möglicher Komponenten eines Pumpensystems (DENA, 2012).

Um die Fördermenge der Pumpe an den Bedarf anzupassen, wird die Pumpe durch verschiedene Methoden geregelt. Die Regelung für schwankende Fördermengen kann mittels einer Drossel oder durch die Anpassung der Drehzahl des Motors erreicht werden. Eine Drosselung besteht im Prinzip aus einem Ventil, welches meistens manuell auf die gewünscht Fördermenge eingestellt wird. Durch eine Drehzahländerung kann ebenso die Fördermenge angepasst werden, welches jedoch auf der Antriebsseite durch einen Frequenzumrichter (FU) erreicht wird. Beide Methoden erreichen eine Anpassung der Fördermenge und eine Reduktion der Leistungsaufnahme. Wie Abbildung 10 allerdings zeigt, ist die Leistungsaufnahme bei verminderter Fördermenge durch die Methode eines FU wesentlich geringer als durch die Drosselung.

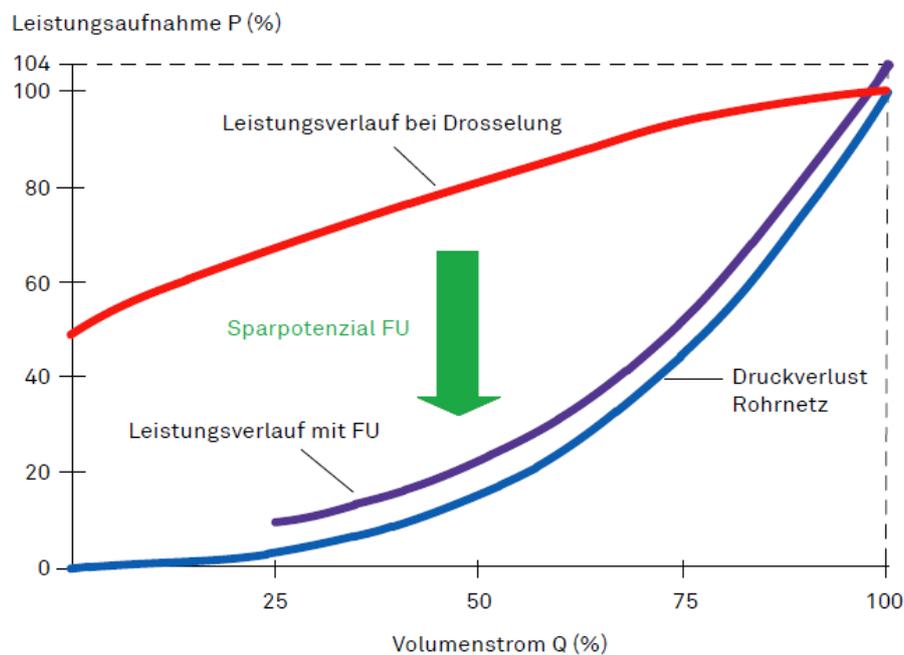


Abbildung 10: Leistungsaufnahme in Abhängigkeit des Volumenstroms in geschlossenen Kreisläufen (topmotors, 2009 S. 6, Merkblatt 23)

Eine Anpassung durch Drosseln verringert zwar die Leistungsaufnahme, jedoch ist sie im Vergleich zu einem FU als energetisch ungünstig einzustufen. Deshalb besteht alleine schon durch die Wahl der richtigen Regelungsart ein Energieeinsparpotential. Eine Regelung der Pumpe sollte immer das Ziel haben, die Pumpe optimal an den Arbeitspunkt des Systems anzupassen, denn genau in diesem Punkt erreicht man den höchsten Wirkungsgrad (DENA, 2012).

#### 2.4.3.1 Pumpensysteme im Industriebereich

Bei Pumpensystem besteht ein Gesamteinsparungspotential von rund 15 % (Lackner, 2012 S. 10), wobei Schätzungen zu folge rund ein Viertel des industriellen Endenergieverbrauchs für Pumpensysteme aufgewendet wird (FEEI, 2012 S. 16). Besonders bei stark schwankenden Fördermengen können bis zu 70 % an Energie eingespart werden (FEEI, 2012 S. 16).

Speziell im Industriesektor sollte jedes Pumpensystem auf die speziellen betrieblichen Anforderungen angepasst werden. Nicht immer ist ein FU von Vorteil, denn falls der optimale Arbeitspunkt durch eine optimale Pumpendimensionierung erreicht werden kann und die Fördermenge relativ konstant ist, erzeugt ein FU nur zusätzliche Verluste und bringt keinen weiteren Nutzen. Beispielsweise wäre dies bei Hebepumpen in Abwasserreinigungsanlagen der Fall. Diese haben eine konstante Fördermenge über die gesamte Betriebsdauer und sind auf ihre Anforderungen optimal angepasst.

Die häufigsten Probleme der Pumpensysteme im Bezug auf die elektrische Energieeffizienz sind in Tabelle 13 dargestellt. So sind Pumpensysteme oft überdimensioniert, können sich an die stark schwankenden Fördermengen nicht anpassen und haben hohe Leerlaufzeiten. Laut einer Abschätzung des Fachverbandes der Elektro- und Elektronikindustrie könnten durch die Behebung dieser Probleme wesentliche Einsparpotentiale realisiert werden, welche in Tabelle 13 angeführt sind.

Problem	Maßnahme	Einsparpotential
Überdimensionierung	Auslegen des Systems auf die tatsächlichen Anforderungen	10 %
Wechselnde Fördermenge und hohe Leerlaufzeiten	Einfache Regelung der Pumpenleistung z.b. mittels Polumschaltungen oder Drosselung	20 %
	Einsatz hoch effizienter drehzahl geregelter Antriebe mittels FU	70 %

Tabelle 13: Einsparpotentiale bei Pumpensystemen (FEEI, 2012 S. 16).

Es kann vorkommen, dass ältere Motoren nicht mit einem FU nachgerüstet werden können, wodurch es sinnvoll sein könnte eine Drosselung, eine Polumsetzung oder ein variables Getriebe einzusetzen, anstatt eine komplette Neuinvestition beim Motor durchzuführen.

Legt man diese Reduktionspotentiale auf Österreich um, erhält man mit Daten in Tabelle 14 eine jährliche Energieersparnis von etwa 877 GWh, wie in Formel 2.13 berechnet.

Stromverbrauch der Industrie (GWh/a)	26.705
Anteil an Standmotoren am Verbrauch (%)	73
Anteil von Pumpen am Standmotorenbestand (%)	21
Geschätztes Einsparungspotential (%)	15

Tabelle 14: Zusammenfassung der zuvor recherchierten Werte.

$$ES = E_v \cdot A_S \cdot A_P \cdot E_R = 26.705 \text{ GWh} \cdot 0,73 \cdot 0,21 \cdot 0,15 = 614 \text{ GWh} \quad 2.13$$

*ES* ..... gesamtes Einsparungspotential elektrischer Energie im Jahr (GWh)

*E<sub>v</sub>* ..... Energieverbrauch der Industrie im Jahr (GWh)

*A<sub>S</sub>* ..... Verbrauchsanteil der Standmotoren (-)

*A<sub>P</sub>* ..... Anteil der Pumpensysteme (-)

*E<sub>R</sub>* ..... geschätztes Einsparungspotential (-)

Da jedes Unternehmen ein individuell angepasstes System im Einsatz hat, kann nur schwer eine pauschale Aussage über die Wirtschaftlichkeit von Optimierungsmaßnahmen gemacht werden. Darum wird im Folgenden ein praktisches Referenzprojekt zur Pumpenoptimierung vorgestellt.

### **Referenzprojekt Pumpenersatz in einem Industriepark** (DENA, 2010a)

Dieses Beispiel der Pumpenoptimierung wurde inhaltlich gänzlich von der Deutschen Energieagentur (DENA) übernommen (DENA, 2010a).

Die Infracor GmbH ist der Betreiber eines Chemieparks in Deutschland. Sie ist für die Instandhaltung der Betriebsstätten und Pumpensysteme zuständig. Um ihren Kunden ein möglichst energie- und kosteneffizientes Pumpensystem bieten zu können, wurden 40 Alt-Pumpen durch 40 neue Pumpen ersetzt. Bei einer Systemüberprüfung wurden als Optimierungsmaßnahmen die Nachrüstung von Drehzahlregelungen, die Verringerung der Reibungsverluste, die Veränderung der Positionierung der Armaturen, sowie Wartungsmaßnahmen in Rohrverteilstück betrachtet. Bei 40 Alt-Pumpen fiel die Entscheidung, diese durch neue, energieeffiziente EC-Motorpumpen zu ersetzen, welche in den Heizungs- und Kühlwasserkreisläufen eingesetzt wurden. Tabelle 15 zeigt, dass durch diese Maßnahme der Stromverbrauch um 130.000 kWh pro Jahr reduziert werden konnte, was einer Reduktion von 59 % entspricht.

	<b>Alt-Anlage</b>	<b>Neu-Anlage</b>
Anzahl Pumpen	40	40
Stromverbrauch (kWh/a)	220.000	90.000
Einsparung Energiekosten <sup>8</sup> (€)		11.700
Investition (€)		40.000
Amortisationsdauer (a)		3,4

Tabelle 15: Gegenüberstellung der alten mit den neuen Pumpen der Infracor GmbH (DENA, 2010a).

Aus dieser Maßnahme gewinnt man die Erkenntnis, dass eine solche Reduktion auf viele Bereiche der Industrie übertragen werden kann, da Pumpen zur Umwälzung von Heiz- und Kühlmedien in jedem Betrieb zum Standard gehören.

Ebenso hebt sich aus Tabelle 15 die relativ kurze Amortisationsdauer hervor, welche ihre Ursache in den Lebenszykluskosten eines Pumpensystems hat. Je nach den jährlichen Betriebsstunden verursachen die Energiekosten nämlich zwischen 40 und 80 % der Lebenszykluskosten (DENA, 2012). Deshalb haben Investitionen in das Pumpensystem relativ kurze Amortisationsdauern.

#### 2.4.3.2 Umwälzpumpen im Haushaltsbereich

In 53 % der österreichischen Haushalte werden Hauszentralheizungen verwendet. Dabei fällt direkt ein Stromverbrauch für die Umwälzpumpen an (Statistik Austria, 2009 S. 31). Insgesamt verbrauchen Umwälzpumpen 5,4 % des gesamten Stromverbrauchs in einem durchschnittlichen Haushalt (Statistik Austria, 2009 S. 38). Bei Umwälzpumpen können – bedingt durch ihre hohen Laufzeiten im Jahr – beachtliche Mengen an Energie eingespart werden. Oftmals sind noch die händisch zu regelnden drei-stufigen Pumpen vorhanden, welche noch dazu um den Faktor zwei bis drei überdimensioniert sind und auf der höchsten Drehzahlstufe betrieben werden (Reichl, 2010 S. 78).

##### 2.4.3.2.1 Effizienzpotentiale

Derzeit sind drei verschiedene Pumpenarten verfügbar, welche sich hinsichtlich ihrer elektrischen Energieeffizienz stark unterscheiden. Die unregelte Pumpe mit Asynchronmotor verfügt über drei händisch zu verstellende Drehzahlstufen. Da die Lebensdauer sehr hoch ist, ist das auch die Pumpenart welche derzeit am häufigsten eingesetzt wird, obwohl sie die ineffizienteste Lösung ist. Eine Weiterentwicklung im Kern-Motorsystem ergab die elektronisch geregelte Umwälzpumpe, welche effizienter ist und derzeit bei durchschnittlichen neuen Systemen die Standard-Pumpe darstellt. Die nächste Generation sind die hocheffizienten Pumpen, welche auch EC-Motor-Pumpen genannt werden. Hier wird statt einem Asynchronmotor ein permanenterregter bürstenloser Synchronmotor mit Frequenzumrichter verwendet. Der FU kontrolliert die Drehzahl der Pumpe und regelt diese nach Bedarf selbstständig. Während unregelte Pumpen einen Wirkungsgrad von 10 bis 15 %

<sup>8</sup> Zur Berechnung wurde von der DENA ein Strompreis von 0,09 €/kWh verwendet (DENA, 2010a).

haben, erreichen EC-Motor-Pumpen 30 bis 50 % und passen den Stromverbrauch an die Anforderung selbstständig an. (Reichl, 2010 S. 80,81)

Die Faktoren der hohen jährliche Betriebsdauer von 5000 bis 6000 Stunden und die hohe Marktdurchdringung von 80 Watt Alt-Pumpen zeigen das Effizienzpotential recht deutlich (Reichl, 2010 S. 80).<sup>9</sup>

Um den Kunden einen einfachen Überblick über die Effizienz der Pumpen zu geben, wurde vom europäischen Verband der Pumpenhersteller Europump eine unverbindliche Energieeffizienz Kennzeichnung eingeführt, um Transparenz für den Verbraucher zu schaffen, welche in Abbildung 11 dargestellt ist. Diese Definition wurde von Verband der europäischen Pumpenhersteller „Europump“ eingeführt und steht in keinem Zusammenhang mit der Definition des Energie-Effizienz-Index (EEI) im Abschnitt 2.5, welcher von der europäischen Kommission zu Kennzeichnung von Haushaltsgeräten eingeführt wurde.

Energieklasse	Energie Effizienz Index (EEI)
A	$EEI < 0,4$
B	$0,4 \leq EEI < 0,6$
C	$0,6 \leq EEI < 0,8$
D	$0,8 \leq EEI < 1,0$
E	$1,0 \leq EEI < 1,2$
F	$1,2 \leq EEI < 1,4$
G	$1,4 \leq EEI$

Abbildung 11: EEI für Heizungsumwälzpumpen (Kettner, 2005 S. 44).

Die Berechnung des EEI für Pumpen ist in Formel 2.14 dargestellt. Die mittlere Leistungsaufnahme wird als gewichteter Mittelwert der aufgenommenen Leistung aus vier verschiedenen gemessenen Betriebspunkten berechnet. Die Referenzleistungsaufnahme ist die typische Leistungsaufnahme einer Pumpe mit gleicher hydraulischer Leistung. Diese Referenzleistungsaufnahme soll die mittlere elektrische Leistungsaufnahme der am Markt verfügbaren Pumpen mit gleicher hydraulischer Leistung wiedergeben. (Kettner, 2005 S. 44)

$$EEI = \frac{P_{mit}}{P_{ref}} \quad 2.14$$

$P_{mit}$  ..... mittlere Leistungsaufnahme (W)

$P_{ref}$  ..... Referenzleistungsaufnahme (W)

EC-Motor-Pumpen fallen in die Energieklasse A, welche einen EEI von mindesten 0,4 aufweisen. Moderne Standard-Pumpen erreichen Klasse B, während die alten Pumpen meist in den Klassen C und D zu finden sind (Reichl, 2010 S. 81).

<sup>9</sup> Die hohen jährlichen Betriebsstunden kommen durch die Annahme zu Stande, dass die Pumpen in der Heizperiode 24 Stunden am Tag in Betrieb sind.

### 2.4.3.2.2 Effizienzsteigerung ohne Pumpentausch

Die derzeit am häufigsten verwendeten Pumpen sind die unregulierten Asynchronmotorpumpen, welche drei händisch zu verstellende Drehzahlstufen aufweisen. Um die Drehzahl der Pumpe zu verändern, kann man den in Abbildung 12 ersichtlichen Drehknopf verstellen. Durch eine Drehzahländerung wird ebenso der Volumenstrom im Leitungssystem verändert (topmotors, 2009 S. 3, Merkblatt 23).



Abbildung 12: Ungeregelte Pumpe mit Asynchronmotor.

Die Senkung des Volumenstroms in einem Haushaltspumpensystem um 20 % ist bei der Wärmeabgabe kaum bemerkbar (topmotors, 2009 S. 7, Merkblatt 23) und bringt eine nicht unwesentliche Einsparung, wie das folgende Beispiel zeigen soll. Diese Senkung würde einer Umstellung von der höchsten auf die niedrigste Drehzahlstufe entsprechen.

Die hydraulische Leistung einer Pumpe berechnet sich wie in Formel 2.15 dargestellt (topmotors, 2009 S. 3, Merkblatt 23). Will man die Leistungsaufnahme der Pumpe verringern muss man den Volumenstrom reduzieren, wodurch auch automatisch die Förderhöhe sinkt. Dieser Umstand ist im Pumpenkennlinienfeld in Abbildung 13 ersichtlich.

$$P_{hdr} = \rho \cdot Q \cdot g \cdot H_f \quad 2.15$$

$P_{hdr}$ .....hydraulische Leistung (W)

$Q$ .....Volumenstrom ( $m^3/s$ )

$g$ .....Erdbeschleunigung ( $m/s^2$ )

$H_f$ .....Förderhöhe (m)

$\rho$ .....Dichte ( $kg/m^3$ )

Um nun die Senkung der Leistungsaufnahme beurteilen zu können, wurde die in Abbildung 13 markierte Anlagenkennlinie im Kennlinienfeld der Heizungsumwälzpumpe Grundfos UPS 26-60 130 angenommen.

Aus dem Schnittpunkt der Anlagen- mit der Pumpenkennlinie folgt der optimale Arbeitspunkt. Die Werte zur nachfolgenden Berechnung wurden aus der Abbildung 13 entnommen.

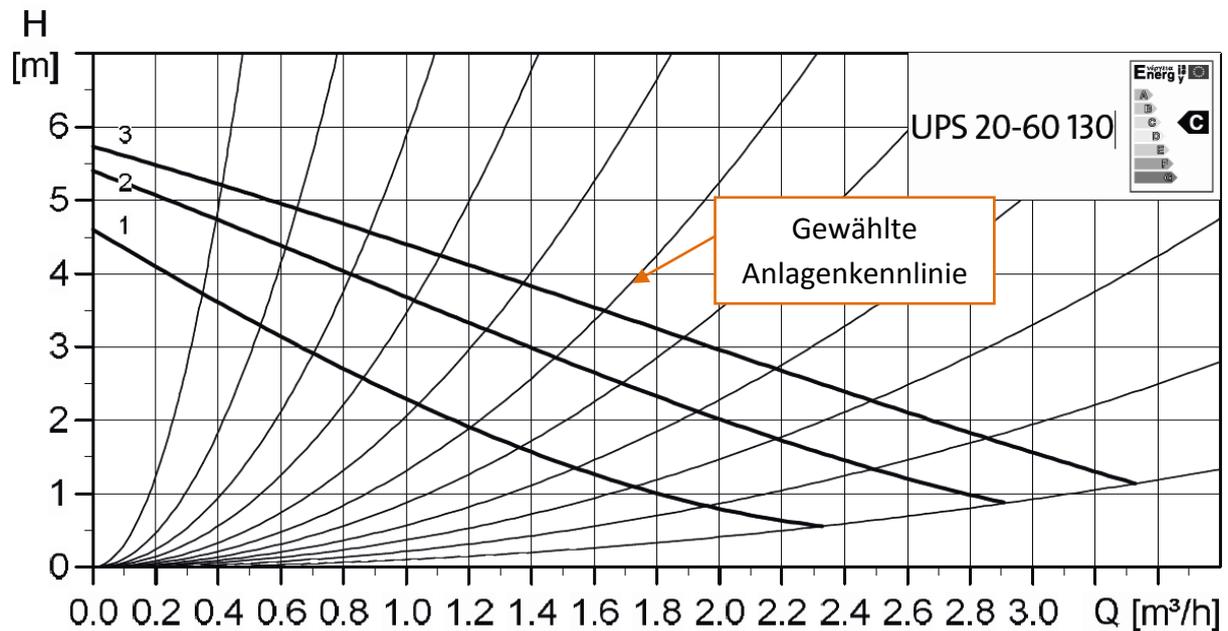


Abbildung 13: Kennlinienfeld der Grundfos UPS 20-60 130 Umwälzpumpe (Grundfos S. 85).

Die Berechnungen in Formel 2.16, 2.18 und 2.18 zeigen die hydraulische Leistungsabgabe für die Drehzahlstufe drei, zwei und eins der Umwälzpumpe.

$$P_{hydr\_3} = 1 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 3,5 m \cdot 1,62 \frac{m^3}{h} = 55,62 W \quad 2.16$$

$$P_{hydr\_2} = 1 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 2,8 m \cdot 1,48 \frac{m^3}{h} = 40,65 W \quad 2.17$$

$$P_{hydr\_1} = 1 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 1,9 m \cdot 1,20 \frac{m^3}{h} = 22,37 W \quad 2.18$$

$P_{hydr\_3}$  ... hydraulische Leistung bei Drehzahlstufe drei

$P_{hydr\_2}$  ... hydraulische Leistung bei Drehzahlstufe zwei

$P_{hydr\_1}$  ... hydraulische Leistung bei Drehzahlstufe eins

Man erkennt, dass durch diese einfache Maßnahme die hydraulische Leistungsabgabe beim Umstellen der Drehzahlstufe von drei auf zwei um etwa 20 % und von drei auf eins um etwa 60 % gesenkt wird. Die Betrachtung der hydraulischen Leistungsabgabe ist ausreichend, da diese nur geringfügig durch den Motor- und Getriebewirkungsgrad von der elektrischen Leistungsaufnahme abweicht (topmotors, 2009 S. 3, Merkblatt 23). Allerdings erkennt man auch, dass beim Umstellen der Drehzahlstufe auch die die Förderhöhe reduziert wird, was mit beachtet werden sollte, um Systemprobleme zu vermeiden.

### 2.4.3.2.3 Effizienzsteigerung durch Pumpentausch

Im Folgenden werden die energetischen und wirtschaftlichen Einsparungspotentiale beim Tausch einer Alt-Pumpe durch eine moderne Pumpe berechnet. Es wird von einer durchschnittlichen Betriebsdauer von 5000 Stunden im Jahr ausgegangen.<sup>10</sup> Abbildung 14 zeigt den relativen Stromverbrauch der Pumpen verschiedener Effizienzklassen anhand der Referenz einer Klasse D-Pumpe. So benötigen die Pumpen der Klasse A bei gleicher hydraulischer Leistung nur 33 % der Energie, welche eine Pumpe mit der Klasse D verbraucht (Kettner, 2005 S. 45).

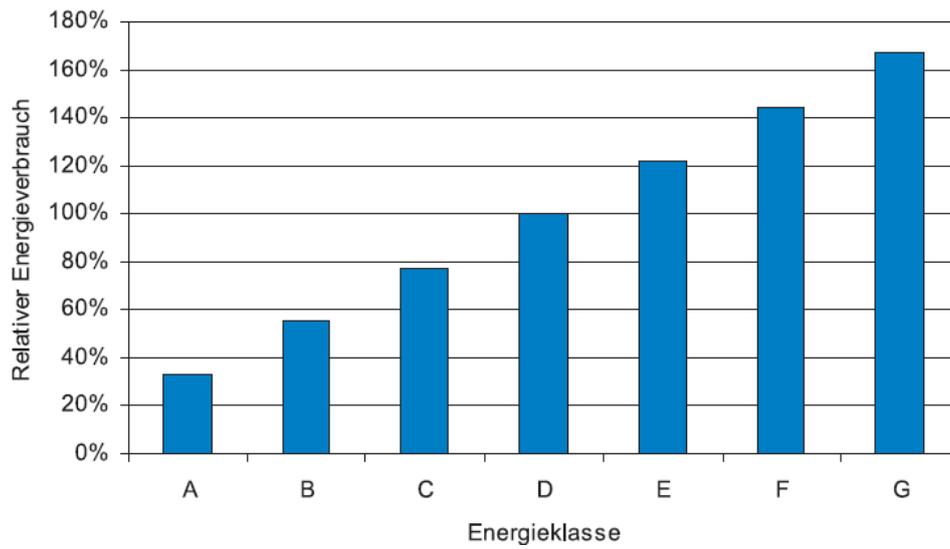


Abbildung 14: Relativer Energieverbrauch nach Energieklassen mit der Referenz an der Klasse D (Kettner, 2005 S. 45).

In Tabelle 16 wird nun die hoch-effiziente EC-Motorpumpe mit einer modernen Standard-Pumpe und einer Alt-Pumpe hinsichtlich des Stromverbrauches, des Reduktionspotentials und der Kosten verglichen. Die durchschnittlichen Listenpreise betragen für Pumpen der Klasse A rund 400 €, während die Pumpen der Klasse B rund 150 € günstiger sind (Reichl, 2010 S. 84,85). Bei den Investitionskosten wurden für die Installation durch einen Handwerker 90 € zu den Listenpreisen hinzugefügt (Reichl, 2010 S. 85).

	Effizienzklasse	Stromverbrauch bei 5000 h <i>kWh/a</i>	Einsparungspotential in Relation zur Alt-Pumpe %	durchschnittliche Listenpreise €	Stromkosten bei 0,2 €/kWh €/a	Investitionskosten €
EC-Motorpumpe	A	132	67	400	26,4	490
Moderne Standard Pumpe	B	240	40	250	48	340
Alt-Pumpe <sup>11</sup>	D	400	-	-	80	-

Tabelle 16: Gegenüberstellung verschiedener Umwälzpumpen hinsichtlich Stromverbrauch und Kosten.

<sup>10</sup> Diese Betriebsdauer gilt vor allem für den zentral- und nordeuropäischen Raum.

<sup>11</sup> Da die Alt-Pumpe die Referenzpumpe ist, sind hier kein Einsparungspotential und keine Investitionskosten angegeben.

Man erkennt, dass die EC-Motorpumpen einen besonders niedrigen jährlichen Stromverbrauch haben, allerdings auch die höchsten Investitionskosten. Ob ein Pumpentausch für einen Haushalt sinnvoll ist, wird im Folgenden mittels einer Amortisationsrechnung bei einer durchschnittlichen Lebensdauer von 15 Jahren abgeklärt.

	Tausch Alt-Pumpe gegen Standard Pumpe	Tausch Alt-Pumpe gegen EC-Pumpe	Tausch Standard Pumpe gegen EC-Pumpe
Amortisationsdauer (a)	10,6	9,1	22,7
Kostensparnis <sup>12</sup> bei einer Lebensdauer von 15 Jahren (€)	140	314	-

Tabelle 17: Investitionsanalyse für verschiedene Szenarien

Man erkennt, dass der Tausch einer Alt-Pumpe der Effizienzklasse D immer sinnvoll ist. Der Tausch einer modernen Standard-Pumpe ist vor dem Lebensende allerdings nicht wirtschaftlich. Ebenso kann festgehalten werden, dass bei einer Neuinvestition unbedingt auf eine EC-Motorpumpe mit der Effizienzklasse A gesetzt werden sollte.

#### 2.4.3.2.4 Schlussfolgerung

Der Umwälzpumpenbereich bietet ein großes Einsparungspotential. Beginnend mit einfachen Maßnahmen wie dem Einstellen der richtigen Drehzahlstufen der unregulierten Pumpen, über einen Generationenwechsel, bis hin zur Optimierung des Gesamtsystems. Hier sollten vor allem undichte Rohrsysteme gewartet werden und der Rohrleitungswiderstand möglichst niedrig gehalten werden. Ebenso sollten undichte Armaturen ersetzt werden, da dies zu einem Druckverlust im System führt. Die richtige Abstimmung aller Komponenten aufeinander ist schließlich ebenso wichtig.

Betrachtet man die oben ermittelten Einsparpotentiale, so könnte man den Energieverbrauch durch Umwälzpumpen wenigstens halbieren. Dennoch sind hier die doch recht langen Amortisationsdauern ein Hemmnis. Ebenso gibt es seitens der EU kein Verkaufsverbot für ineffiziente Pumpen. Allerdings werden für Wohnbauförderungen von einigen Ländern Vorgaben für die Effizienzklasse der Umwälzpumpen vorgeschrieben. So ist in Oberösterreich für den Erhalt der Wohnbauförderung bei Neubauten eine Installation von Pumpen der Energieeffizienzklasse A verpflichtend (ESV, 2012).

<sup>12</sup> Der Ersatz einer Standardpumpe durch eine EC-Pumpe ist teurer als die daraus resultierende Kostensparnis

## 2.4.4 Druckluftsysteme

Druckluft ist in der Industrie sehr beliebt und wird beispielsweise zum Antrieb von Handwerkzeugen genutzt. Obwohl Druckluft als Energieträger wesentlich teurer als elektrische Energie ist, bringt es in bestimmten Bereichen Vorteile. So kann in explosionsgefährdeten Umgebungen ein elektrischer Antrieb nur mit sehr hohem Kostenaufwand betrieben werden. Druckluft kann hinsichtlich der Erzeugung und Nutzung als sicher und einfach eingestuft werden. Leider ist die Erzeugung von Druckluft energetisch betrachtet sehr ineffizient. Denn der weitaus größte Teil, nämlich zwischen 80 und 90 %, der eingesetzten elektrischen Energie zur Druckluftherzeugung wird in Wärme mit niedriger Temperatur umgesetzt (Sattler, 2008 S. 23).

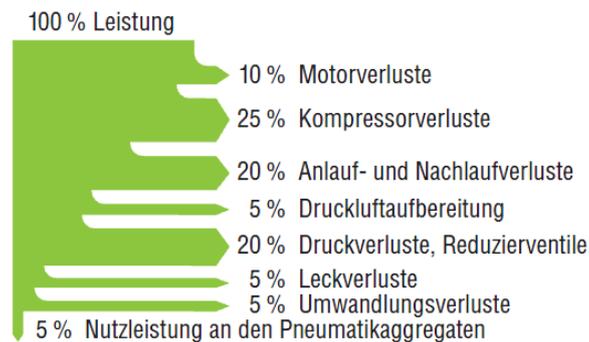


Abbildung 15: Verluste bei der Druckluftherzeugung (Sattler, 2008 S. 4).

Beim Endverbraucher kommen nach allen Netzverteiler- und Umwandlungsverlusten schließlich nur 5 % der eingesetzten Leistung an, wie man in Abbildung 15 erkennen kann. Allerdings gibt es hier wieder Umwandlungsverluste, wodurch schlussendlich 1 bis 3 % der eingesetzten elektrischen Leistung als Nutzleistung zur Verfügung stehen. Bei der Wahl zwischen einem Elektro-Motor und einem Druckluftmotor als Endverbraucher, sollte man bedenken, dass ein 500 W Druckluftmotor einen 10 kW Kompressor benötigt und somit der Verbrauch an elektrischer Leistung um rund das 20-fache höher ist.

### 2.4.4.1 Effizienzpotentiale

In der europäischen Union werden rund 10 % des industriellen Stromverbrauchs von Druckluftsystemen verursacht (Radgen, et al., 2001 S. 5). Bei der Druckluftherzeugung besteht großes Einsparungspotential, welches durch die aktuellen Markt- und Entscheidungsmechanismen nicht genutzt wird. Durchschnittlich besteht in europäischen Raum ein Einsparungspotential von rund 33 %, aller untersuchten Stationen egal welcher Größe und Bauart (Radgen, et al., 2001 S. 16). Da mehr als zwei Drittel der Lebenszykluskosten Energiekosten sind, ist eine Effizienzerhöhungsmaßnahme meist wirtschaftlich. Die Maßnahmen der folgenden Tabelle 18 wurden im Rahmen der Studie „Compressed Air Systemes in the European Union“ erstellt (Radgen, et al., 2001 S. 16). Das darin ermittelte Reduktionspotential ist das Produkt aus dem Effizienzgewinn und dem anwendbaren und rentablen Anteil.

Bereich	Maßnahme	Anwendbar & Rentabel	Effizienz- gewinn	Reduktions- potential
		%	%	%
Erzeugung	hocheffiziente Motoren	25	2	0,5
	drehzahlvariable Antriebe	25	15	3,75
	Technische Kompressoroptimierung	30	7	2,1
	Einsatz effizienter Steuerungen	20	12	2,4
				<b>8,75</b>
Verteilung & Nutzung	Verminderung der Druckverluste	50	3	1,5
	Verminderung der Leckageverlusten	80	20	16
	Optimierung der Druckluftgeräte	5	40	2
	Gesamtanlagenauslegung	50	9	4,5
				<b>24</b>

<b>Gesamtpotential</b>	<b>32,75</b>
------------------------	--------------

Tabelle 18: Einsparpotential durch verschiedene Maßnahmen an Druckluftsystemen (Radgen, et al., 2001 S. 16)

Betrachtet man die Reduktionspotentiale erkennt man deutlich, dass zum einen durch den Einsatz moderner und effizienter Antriebssysteme bei der Druckluftherzeugung hohes Potential besteht, jedoch das höchste Potential bei der Verminderung von Leckageverlusten besteht. Somit kann die Reduktion von Luftverlusten im Gesamtsystem als die wichtigste Maßnahme im Druckluftbereich klassifiziert werden.

#### 2.4.4.2 Verteilung und Nutzung

Im Durchschnitt verliert jeder mit Druckluft arbeitende Betrieb rund 30 % der aufgewendeten Energie im Verteilnetz, wobei auch gut gewartete Netze noch bei 5 bis 10 % an Verlusten aufweisen (Sattler, 2008 S. 13). Leckageverluste können oft einfach lokalisiert werden, indem das Verteilnetz auf Geräusche („pfeifen“) überprüft wird. Bei Umgebungslärm kann mit einem Ultraschallgerät oder mit einem Leckspray die ausströmende Druckluft einfach lokalisiert werden. Zur quantitativen Feststellung der Leckageverluste werden in der produktionsfreien Zeit alle Endverbraucher von Verteilnetz genommen und der Kompressor abgeschaltet. Nun wird am Beginn der Druck über das Manometer des Druckluftsystems<sup>13</sup> notiert und eine Stoppuhr gestartet. Nachdem der Druck im Bereich von 0,5 bis 1 bar abgesunken ist, wird die Stoppuhr angehalten. Mit der ermittelten Zeit kann nun mit der Formel 2.19 die Leckagemenge berechnet werden (Sattler, 2008 S. 13,14).

<sup>13</sup> Das Luftvolumen in Druckluftsystem setzt ist aus dem Volumen im Druckbehälter und in den Leitungen zusammen. Dieses muss eventuell gesondert berechnet oder abgeschätzt werden. Ist die Relation zwischen Verteilnetzvolumen und Druckluftbehältervolumen groß, kann ersteres vernachlässigt werden.

$$\dot{V}_L = \frac{V_B \cdot (p_A - p_E)}{t} \quad 2.19$$

$\dot{V}_L$  ..... Leckagemenge ( $m^3/min$ )

$V_B$  ..... Druckluftbehältervolumen ( $m^3$ )

$p_A$  ..... Anfangsdruck (Pa)

$p_E$  ..... Enddruck (Pa)

$t$  ..... Messzeit (min)

Die so ermittelte Leckagemenge kann ins Verhältnis zur erzeugten Kompressorluftmenge gesetzt werden, um einen prozentualen Richtwert für die Verluste zu erhalten. Es gibt auch Systeme welche diese Messung automatisiert, beispielsweise wöchentlich vor Betriebschluss, durchführen.

Meistens müssen Zylinder, Kupplungen, Dichtungen, Leitungen, Stecker getauscht oder Endverbraucher gewartet werden. Die dafür anfallenden Kosten sind im Vergleich zum Potential der Kostenreduktion als gering einzustufen.

Eine weitere indirekte Möglichkeit ist die maximal mögliche Verminderung des Luftdruckes im System, wodurch sich die Leckageverluste ebenfalls vermindern lassen. Verbraucher benötigen im Schnitt 6 bar. Daraus folgt, dass der erzeugte Druck der Kompressoren im maximalen Optimum nicht mehr als 7,5 bar sein darf, sonst besteht Handlungsbedarf. Durch das Absenken des Luftdrucks am Kompressor können durch 1 bar Absenkung die Energiekosten um 6 bis 10 % reduziert werden. (Hütter, 2008 S. 8)

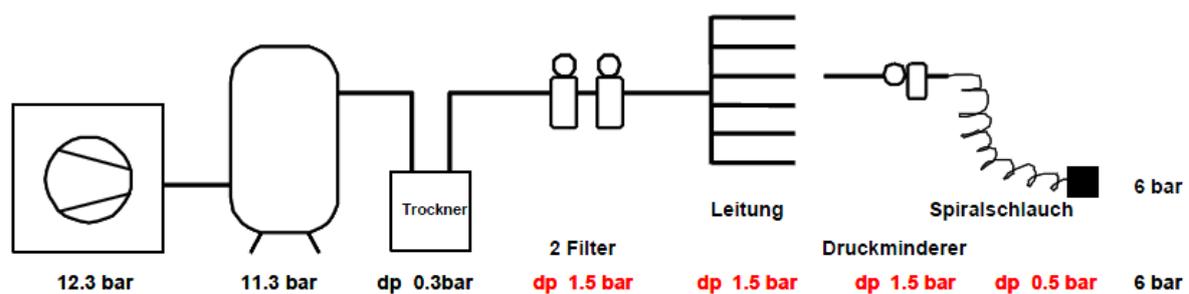


Abbildung 16: Beispiel eines ineffizienten Druckluftsystems (Hütter, 2008 S. 8).

Das in Abbildung 16 dargestellte System ist äußerst ineffizient, denn man hat vom Trockner bis zum Endverbraucher einen Druckabfall von 5 bar. Durch Ersetzen des Spiralschlauchs durch einen geraden Schlauch, Entfernen des Druckminderers, Reduktion der Leckageverluste und Austausch des Filters<sup>14</sup> können die rot markierten Verluste von 5 bar auf etwa 1 bar minimiert werden. Dies führt zu einer deutlichen Reduktion der Kosten.

<sup>14</sup> Filter dienen zur Säuberung der Druckluft und sollten ab einem durch diese Filter erzeugten Differenzdruck von 0,35 bar ausgetauscht werden.

### 2.4.4.3 Drucklufterzeugung

Oft werden Kompressoren auch bei keinem Druckluftbedarf im Lastzustand betrieben, was es unbedingt zu vermeiden gilt. Das Ziel einer Regelung des Kompressors muss es sein, den Energieverbrauch und den Verschleiß zu minimieren und die Verfügbarkeit zu maximieren.

Die einfachste Möglichkeit ist die Last-Leerlauf-Regelung, welche sich auch gut bei alten Systemen nachrüsten lässt. Hat der Kompressor im Druckluftsystem sein oberes Druckluftniveau erreicht, schaltet dieser vom Lastbetrieb in den Leerlauf. Doch Leerlauf bedeutet nicht Stillstand und so findet eine Leistungsaufnahme des Elektro-Motors statt. Man kann von rund einem Drittel Leistungsaufnahme im Leerlauf ausgehen. Weitere Nachteile sind die Druckschwankungen im Verteilnetz, durch das Ein- und Ausschalten, sowie der Energiebedarf der Motoren im Nachlauf, welcher beachtliche Energiemengen ausmachen kann. (Drucklufttechnik, 2012 S. 54)

Eine ähnliche Methode ist die Methode der Aussetzregelung. Hier wird der Kompressor bei Erreichen des oberen Druckniveaus komplett abgeschaltet. In diesem Fall ist es allerdings sinnvoll, einen größeren Druckluftbehälter als Speicher zu verwenden, denn der Kompressor muss beim Erreichen des Mindestdrucks wieder hochgefahren werden. Die Aussetzregelung wird bei Kolbenkompressoren sehr häufig verwendet. Allerdings sollte auf die Schalthäufigkeit des Kompressors geachtet werden, um eventuelle Schäden zu vermeiden.<sup>15</sup> (Drucklufttechnik, 2012 S. 54)

Durch eine Drehzahlregelung mittels eines Frequenzumrichters wird der erzeugte Volumenstrom ständig dem momentanen Bedarf angepasst, wodurch es zu keinen Druckschwankungen im System kommt und sich somit geringe Energiekosten ergeben. Diese Regelung ist bei stark schwankender Drucknachfrage die effizienteste Möglichkeit. Eine Anpassung an den aktuell benötigten Volumenstrom kann man auch mit einer einfachen stufenlosen Leistungsregelung erreichen, welche auf dem Prinzip der Drosselung beruht. Diese ist für alte Systeme einfach und günstig nachrüstbar, aber nur bei bestimmten Liefermengen effizient, wie Abbildung 17 zeigt. Ebenso erkennt man, dass die Regelung durch einem FU der idealen Kennlinie am nächsten kommt. (Drucklufttechnik, 2012 S. 55,56)

---

<sup>15</sup> Im Datenblatt eines Kompressors ist meist die Schalthäufigkeit je Zeiteinheit angegeben.

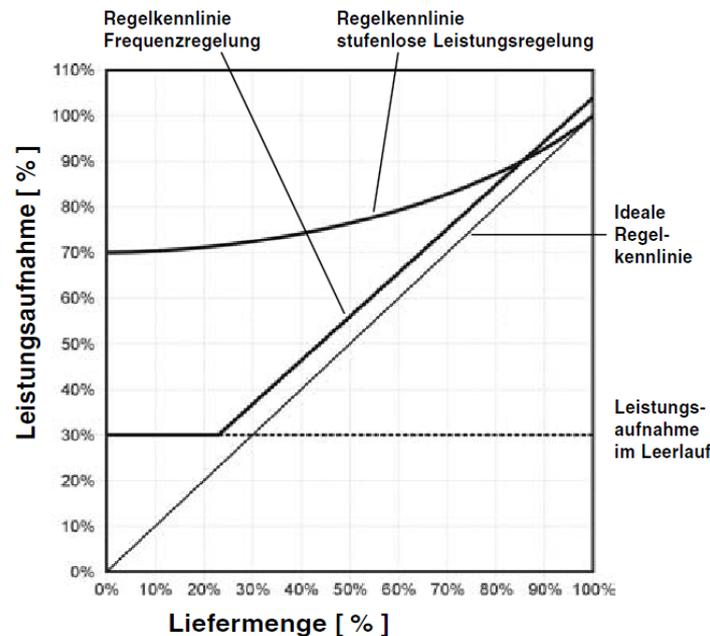


Abbildung 17: Vergleich von zwei Regelungsarten für Kompressoren hinsichtlich ihrer Leistungsaufnahme (Drucklufttechnik, 2012 S. 57).

Da, wie schon anfangs erwähnt, der Großteil der elektrischen Energie bei der Druckluft-erzeugung in Wärme umgewandelt wird, nutzt ein effizientes Druckluftsystem auch die dadurch entstehende Niedrigtemperaturabwärme. Beispielsweise kann der Kühlluftstrom des Kompressors zur Hallenheizung verwendet werden, wie Abbildung 18 zeigt (Hütter, 2008 S. 11). Dies ist die einfachste Methode zur Abwärmenutzung von Kompressoren.

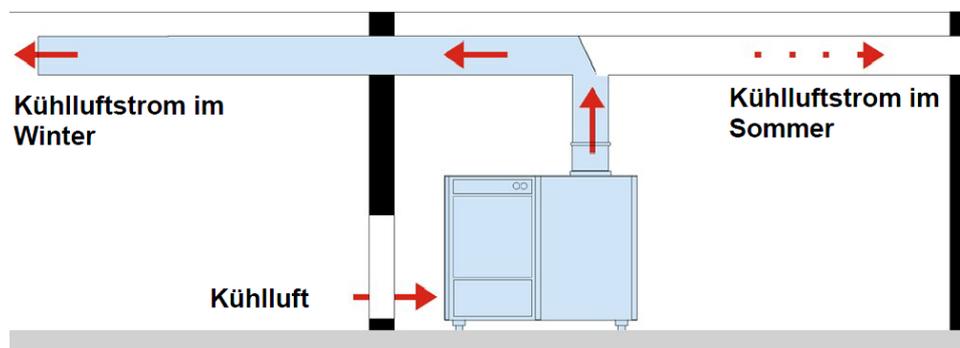


Abbildung 18: Abwärmenutzung eines Kompressors (Hütter, 2008 S. 11).

#### 2.4.4.4 Schlussfolgerung

Die größten Effizienzpotentiale lassen sich durch Maßnahmen in der Instandhaltung realisieren. Ebenso kann durch die Nachrüstung einer entsprechenden Regelung des Kompressors in bestehenden Anlagen Energie gespart werden. Wichtigster Punkt im Druckluftbereich ist aber die Bewusstseinsbildung für die Kosten der Druckluft.

Da die Einsparpotentiale in Tabelle 18 repräsentativ für den europäischen Raum stehen, können sie auch auf Österreich angewendet werden. In Tabelle 19 wurde das Einsparpotential anhand der Formel 2.20 für Österreich abgeschätzt.

Stromverbrauch der Industrie (GWh/a)	26.705
Anteil an Standmotoren am Verbrauch (%)	73
Anteil von Druckluft am Standmotorenbestand (%)	10
Geschätztes Einsparungspotential (%)	33
<b>Energiereduktion (GWh/a)</b>	<b>644</b>

Tabelle 19: Endenergieerduktion durch Umsetzung aller Maßnahmen in Österreich.

$$ES = E_V \cdot A_S \cdot A_D \cdot E_R = 26.705 \text{ GWh} \cdot 0,73 \cdot 0,1 \cdot 0,33 = 644 \text{ GWh} \quad 2.20$$

*ES* ..... gesamtes Einsparungspotential elektrischer Energie im Jahr (GWh)

*E<sub>V</sub>* ..... Energieverbrauch der Industrie im Jahr (GWh)

*A<sub>S</sub>* ..... Verbrauchsanteil der Standmotoren (-)

*A<sub>D</sub>* ..... Anteil der Druckluft (-)

*E<sub>R</sub>* ..... geschätztes Einsparungspotential (-)

Betrachtet man die EU-weiten Einsparpotentiale, bei einem derzeitigen Energieverbrauch von 80 TWh durch Druckluftanlagen (Radgen, et al., 2001 S. 15), ergibt laut Formel 2.21 ein Einsparungspotential von 26,4 TWh im Jahr.

$$ES = E_V \cdot E_R = 80 \text{ TWh} \cdot 0,33 = 26,4 \text{ TWh} \quad 2.21$$

*ES* ..... gesamtes Einsparungspotential elektrischer Energie im Jahr (TWh)

*E<sub>V</sub>* ..... Energieverbrauch der Druckluft im Jahr (TWh)

*E<sub>R</sub>* ..... geschätztes Einsparungspotential (-)

Diese hohe Reduktion ergibt sich vor allem durch die hohe Betriebsstundenanzahl von durchschnittlich 3500 Stunden pro Jahr im europäischen Raum (Radgen, et al., 2001 S. 15). Rund die Hälfte der berechneten Energiereduktion lässt sich durch Verhinderung von Leckageverlusten erreichen.

#### 2.4.4.5 Wirtschaftlicher Nutzen der Druckluftoptimierung

Da jedes Unternehmen ein individuell angepasstes System im Einsatz hat, kann ebenfalls nur schwer eine pauschale Aussage über die Wirtschaftlichkeit von Optimierungsmaßnahmen gemacht werden. Allerdings dürfte in fast jedem Unternehmen das Problem der Leckageverluste bestehen. Darum wird im Folgenden ein Druckluftoptimierungsprojekt vorgestellt, welches im Rahmen des österreichischen „klima:aktiv“-Programmes prämiert wurde.

Die Daten und Berechnungen wurden inhaltlich von der Projektvorstellung durch die Austrian Energy Agency (AEA) und des Lebensministeriums-Österreich übernommen (AEA, 2012).

Die Rondo Ganahl AG in St. Ruprecht/Raab (Steiermark) erzeugt Wellpappe für Verpackungen und auch Rohpapiere selbst. Um die Wellpappe zwischen den einzelnen Produktionsschritten zu transportieren, werden mit Druckluft betriebene pneumatische Kolben verwendet. Da die beiden vorhandenen Kompressoren mit 90 kW und 110 kW Leistung nicht mehr ausreichten, stand eine mögliche Anschaffung eines dritten Kompressors zur Debatte. Bevor diese Investition erfolgen sollte, wurde die Firma „netconnect“ zur Beratung herangezogen.

Nach eingehender Systemuntersuchung wurden zahlreiche Leckagen im kompressornahen Bereich und der Infrastruktur festgestellt. Insgesamt wurden die 55 festgestellten Leckagen nach Dringlichkeit in Angriff genommen und behoben. Ebenso wurden die Schaltzyklen der Kompressoren optimiert, sowie das Druckluftniveau an den tatsächlichen Bedarf angepasst. In Tabelle 20 werden die durch das Projekt ermittelten Werte zusammengefasst dargestellt (AEA, 2012).

<b>Maßnahmenergebnisse</b>	
Energieeinsparung durch die Maßnahmen (kWh/a)	489.200
Kosteneinsparung (€)	48.900
Investitionskosten (€)	10.000
Amortisationsdauer (a)	<b>0,2</b>
Energieeinsparung im Druckluftsektor (%)	<b>39,0</b>
Energieeinsparung am Gesamtverbrauch (%)	9,0

Tabelle 20: Maßnahmenergebnisse durch die Druckluftoptimierung (AEA, 2012).

Man erkennt, dass die Amortisationsdauer sehr kurz ist, was durch die erhebliche Energieeinsparung im Druckluftbereich bedingt ist. Durch die Maßnahmen konnten 39 % an elektrischer Energie im Druckluftsektor eingespart werden, was 9 % des jährlichen Stromverbrauchs entspricht. Ebenso konnte die Investition eines dritten Kompressors abgewendet werden.

Dieses Vorzeigeprojekt veranschaulicht, welches Reduktionspotential durch einfache Maßnahmen umgesetzt werden können, wodurch sich Unternehmen wesentliche Energie- und Investitionskosten ersparen.

### 2.4.5 Potentiale und Hemmnisse von elektrischen Energieeffizienzmaßnahmen bei elektrischen Antriebssystemen

Mit der Analyse­methode der Gegenüberstellung sollen in Tabelle 21 die Potentiale und Hemmnisse der Effizienzmaßnahmen aufgezeigt werden.

Potentiale	Hemmnisse
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enormes Sparpotential an Lebenszykluskosten und elektrischer Energie</li> <li>• Teilweise einfach umsetzbar</li> <li>• Langfristige Nachhaltigkeit für den Betrieb und die Elektrizitätswirtschaft</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Teilweise hohe Investitionskosten und lange Amortisationsdauern (<i>Kapitalmangel in Unternehmen</i>)</li> <li>• Fehlende Anreizsysteme</li> <li>• Fehlende Information und Bewusstsein</li> <li>• Kein klarer Handlungsplan</li> <li>• Alte Systeme sind sehr langlebig</li> </ul>

Tabelle 21: Gegenüberstellung der Potentiale und Hemmnisse der elektrischen Antriebssysteme.

Mangelndes Bewusstsein für Lebenszykluskosten in Verbindung mit den teilweise hohen Investitionskosten kann schon das „Todesurteil“ neuer Anlagen sein. Allerdings können auch ohne hohe Investitionssummen, bereits wesentliche Energiemengen gespart werden, wie die Verminderung von Leckageverlusten in Druckluftsystemen im Abschnitt 2.4.4.5 zeigt. Außerdem werden die Energiekosten nicht transparent genug erfasst und als Gemeinkosten verbucht, wodurch sich keiner dafür zuständig fühlt (Radgen, et al., 2001 S. 17). Um die Hemmnisse zu beseitigen sind Maßnahmenprogramme durchzuführen, welche die folgenden Punkte umfassen könnten, um Anreize zu schaffen und Information und Bewusstsein zu bilden.

- Kampagnen zu Werbe-, Demonstrations- und Informationszwecken
- Vorschriften und Normen
- Steuerliche Vorteile für neue Anlagen

Da die Systeme oft sehr langlebig sind und sehr selten gewartet werden, sind sie im Vergleich zu neuen Systemen oft ineffizient. Die Langlebigkeit führt dazu, dass sich neue Systeme nur sehr schwer am Markt etablieren können.

Sind aber die Hemmnisse überwunden, können für das Unternehmen langfristig Kosten eingespart werden und der Energieverbrauch gesenkt werden. Um dieses nicht unwesentliche Reduktionspotential umsetzen zu können, dürfte die Bewusstseinsbildung ein Schlüsselfaktor sein.

## 2.5 Weißwaren im Haushaltsbereich

Der Begriff Weißwaren ist der Überbegriff für Kühl- und Gefrierschränke, Waschmaschinen, Wäschetrockner, Geschirrspüler und Elektroöfen im Haushaltsbereich. Da diese Geräte hinsichtlich ihrer Bauweise und ihren Eigenschaften stark unterschiedlich sind, wurde zur Bewertung des Effizienzpotentials die im Jahr 1998 eingeführte verpflichtende Kennzeichnung (EU-Label) der Geräte im Bezug auf den Energieverbrauch durch die Europäische Kommission herangezogen. Als Basis für die Vergabe einer Effizienzklasse gilt der Energieeffizienzindex (EEI). Die Berechnung des EEI ist in der Formel 2.22 ersichtlich. Dieser hier behandelte EEI hat nichts mit dem im Abschnitt 2.4.3.2 beschriebenen EEI von Pumpen gemeinsam und darf nicht verwechselt werden.

$$EEI = \frac{AE_c}{SAE_c} \cdot 100 \quad 2.22$$

*EEI ..... Energieeffizienzindex (-)*

*AE<sub>c</sub> ..... jährlicher Energieverbrauch im Testbetrieb (kWh)*

*SAE<sub>c</sub> ..... jährlicher Energieverbrauch durch theoretische Berechnungen (kWh)*

Der Nenner der Formel 2.22 beschreibt den tatsächlichen jährlichen Energieverbrauch bei einem simulierten Testbetrieb, der Zähler den standardmäßigen jährlichen Energieverbrauch, welcher aus einer theoretischen Berechnungsmethode bestimmt wird (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2010b S. L314/61). Die Zusammensetzung der Nenner- und Zählerwerte ist für jeden Gerätetyp unterschiedlich. Für die genaue Berechnung sei auf die einzelnen Amtsblätter der Europäischen Kommission verwiesen, welche bei den betrachteten Bereichen angeführt sind. Es sei noch erwähnt, dass bei der Kennzeichnungsetikette auch der durchschnittliche Stromverbrauch des Gerätes in Kilowattstunden pro Jahr angegeben sein muss.

Weißwaren haben einen wesentlichen Anteil am Gesamtenergieverbrauch in österreichischen Haushalten von insgesamt rund 30 % (Statistik Austria, 2009 S. 38). Die Aufteilung nach Gerätetyp ist in Abbildung 19 dargestellt, wobei man erkennt, dass Kühl- und Gefrierschränke den größten Anteil am Gesamtverbrauch in österreichischen Haushalten haben. Vergleicht man diese Werte aus dem Jahr 2008 mit dem Jahr 2010, haben sich diese nur geringfügig verändert, vgl. (Statistik Austria, 2012).

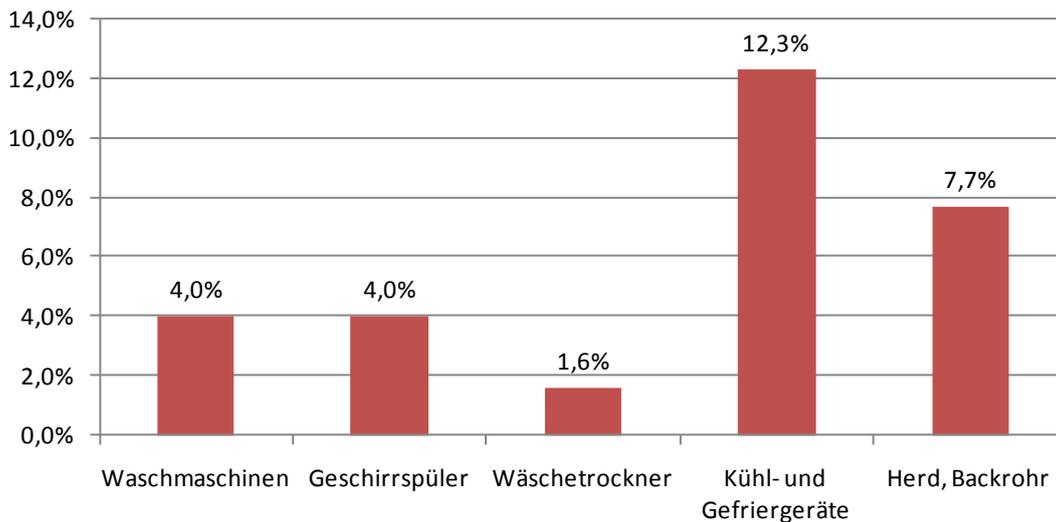


Abbildung 19: Anteil der einzelnen Weißwarenbereiche am Gesamtenergieverbrauch der Haushalte.

Die im Folgenden vorgestellten Maßnahmen setzen immer einen Geräteaustausch voraus, wodurch eine Verbrauchsreduktion mit Sicherheit erreicht wird. Verbrauchsreduktionen können aber auch durch einen bewussten Umgang und Einsatz mit den bestehenden Geräten erreicht werden. Die Vorgehensweise ist bei allen betrachteten Bereichen gleich und wird deshalb in den folgenden Punkten kurz erläutert.

- Es wurde in den jeweiligen veröffentlichten Amtsblättern der Europäischen Kommission der aktuelle Energieeffizienzindex (EEI) für jede Effizienzklasse erhoben, siehe Abschnitt 5.1. Aus diesen Werten wurde für den Bereich einer Effizienzklasse (EK) der Mittelwert aus Ober- und Untergrenze dieser zugeordnet. In der Realität werden viele Geräte an der Obergrenze des EEI einer EK zu finden sein, da dies für den Hersteller einen geringeren Geräteaufwand bedeutet.
- Anschließend wurde aus diesen Werten durch eine Verhältnisrechnung eine Einsparmatrix berechnet, welche zeigen soll, wie viel Energie man sich erspart, wenn man das aktuell verwendete Gerät durch ein Effizienteres ersetzt.

### 2.5.1 Haushaltskühlgeräte

Haushaltskühlgeräte sind Geräte, welche für das Kühlen oder Einfrieren von Lebensmitteln bestimmt sind (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2010 S. L 314/18). Im Vergleich zu den anderen weißen Waren sind Kühlgeräte rund um die Uhr im Einsatz und haben somit trotz der vergleichsweise niedrigen Leistungsaufnahme einen beachtlichen Anteil am Jahresstromverbrauch.

Die effizientesten Geräte am Markt sind die der Klasse A+++ , während die Klasse G die niedrigste Effizienz aufweist. Die Einsparmatrix in Tabelle 22 zeigt, wie viel Prozent des aktuell im Einsatz befindlichen Gerätes durch ein neues Gerät der höheren Effizienzklasse eingespart werden kann. Hat man beispielsweise eine Kühlgerät der Klasse B im Einsatz,

könnte man durch einen Gerätetausch auf die Klasse A+++ etwa 69 % und durch einen Tausch auf die Klasse A++ etwa 58 % an Energie einsparen.

Einsparmatrix (%)		Substitution durch folgende Klasse				
		A+++	A++	A+	A	B
Aktuelle Klasse im Einsatz	A+++	-	-	-	-	-
	A++	25,9	-	-	-	-
	A+	47,4	29	-	-	-
	A	59,2	45	22	-	-
	B	69	58	41	24	-
	C	76,3	68	55	42	24
	D	80,4	74	63	52	37
	E	82,9	77	68	58	45
	F	85,4	80	72	64	53
	G	87,5	83	76	69	60

Tabelle 22: Einsparmatrix für Kühlgeräte im Haushalt.

Im Strom- und Gastagebuch der Statistik Austria wurde bei einer Verbraucherbefragung festgestellt, dass jeder Haushalt mindestens einen Kühlschrank hat, wobei 15 % der Befragten angegeben haben, ein Zweitgerät zu besitzen (Statistik Austria, 2009 S. 10). Die Hälfte der Verbraucher gab an ein Gefriergerät zu besitzen, wobei 9 % mindestens zwei Geräte haben (Statistik Austria, 2009 S. 10). Diese Marktdurchdringungsraten in österreichischen Haushalten lassen darauf schließen, dass in Österreich über 4 Mio. Kühlschränke und 1,8 Mio. Gefriergeräte im Einsatz sein dürften.<sup>16</sup> Zudem ist die Lebensdauer dieser Geräte mit 15 bis 25 Jahren sehr hoch (Reichl, 2010 S. 168). Laut Strom- und Gastagebuch sind etwa 73 % der Haushaltskühlgeräte in Österreich älter als 5 Jahre (Statistik Austria, 2009 S. 22). Anhand des Alters kann man davon ausgehen, dass diese Geräte bestenfalls die Klasse A aufweisen, wahrscheinlicher aber die in Klasse B oder schlechter fallen.

Laut der Einsparmatrix in Tabelle 22, könnte durch den Tausch jener Geräte, welche älter als 5 Jahre sind, eine Energieeinsparung von mindestens 69 % des gesamten Energieverbrauchs erfolgen. Um bewerten zu können, ob ein Tausch für den Endverbraucher sinnvoll ist, wurde ein modernes eintüriges Stand-Kühl-Gefrier-Kombigerät der Klasse A+++ mit älteren Geräten verglichen. Dieses Neugerät verbraucht rund 100 kWh im Jahr und kostet 450 € (topprodukte, 2013). Bei einem Strompreis von 0,2 €/kWh ergeben sich die in Abbildung 20 dargestellten Amortisationsdauern.

<sup>16</sup> Ausgehend von 3,624 Millionen Haushalten in Österreich.

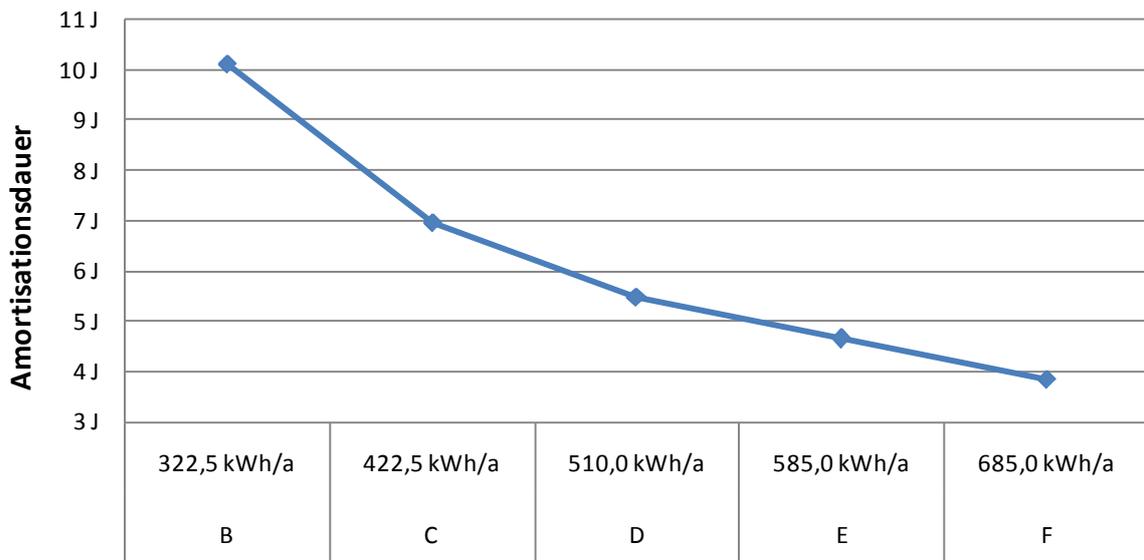


Abbildung 20: Amortisationsdauer beim Ersatz verschiedener alter Geräte durch ein Gerät der EK A+++.

Desto älter die Geräte werden, desto schlechter ist ihre EK und somit ist auch der Stromverbrauch höher. Allerdings sind trotzdem relativ hohe Amortisationsdauern von über vier Jahren zu erwarten. Obwohl aus energetischer Sicht ein Gerätetausch auch bereits bei der Klasse B sinnvoll wäre, ist dies für den Endverbraucher nicht wirtschaftlich. Dieser Umstand zeigt, wie wichtig es ist, Rahmenbedingungen zu schaffen, welche den Gerätetausch beim Endverbraucher interessant machen, wie etwa durch Förderungen. Beispielsweise konnten im Jahr 2006 in Oberösterreich im Rahmen der Weißwaren-Kampagne der Energie AG 374 alte Kühlgeräte und 325 alte Gefriergeräte durch neue Geräte der Klasse A++ ersetzt werden, wodurch ein jährliche Einsparung von 94 MWh bei Kühlgeräten und 89 MWh bei Gefriergeräten nachgewiesen wurde (Reichl, 2010 S. 166,167).

## 2.5.2 Waschmaschinen

Bei Waschmaschinen ist vor allem beim Tausch der alten Geräte mit den niedrigsten Effizienzklassen ein nennenswertes Potential vorhanden. Hier ist durch neue Techniken der Wassereinsatz pro Waschgang vermindert worden, wodurch Strom gespart werden konnte (Pehnt, 2010 S. 187). Bei neueren Modellen kann eine Effizienzsteigerung nur mehr durch kleine Verbesserungen, wie einer intelligenten Regelung oder neuen Waschprogrammen erreicht werden, wodurch die Einsparpotentiale geringer ausfallen, wie Tabelle 23 zeigt.

Einsparmatrix (%)		Substitution durch folgende Klasse				
		A+++	A++	A+	A	B
Aktuelle Klasse im Einsatz	A+++	-	-	-	-	-
	A++	7,2	-	-	-	-
	A+	18,2	11,8	-	-	-
	A	28,6	23,0	12,7	-	-
	B	37,5	32,6	23,6	12,5	-
	C	44,8	40,5	32,5	22,7	11,7
	D	50,0	46,1	38,9	30,0	20,0

Tabelle 23: Einsparmatrix für Waschmaschinen im Haushalt.

Laut Strom- und Gastagebuch sind etwa 64 % der Waschmaschinen in Österreich älter als 5 Jahre (Statistik Austria, 2009 S. 22). Geht man davon aus, dass diese Geräte bedingt durch ihr Alter wahrscheinlich die Klasse B oder schlechter aufweisen, erkennt man anhand der Einsparmatrix in Tabelle 23, dass eine Energieeinsparung von mindestens 37 % des gesamten Energieverbrauchs bei einem Gerätetausch erfolgen könnte.

Waschmaschinen haben eine Marktdurchdringung von 95 %, wobei der Standard-Frontlader mit 5 bis 6 kg Fassvermögen der meist verwendete Typ ist und deshalb als Verbrauchsreferenz herangezogen wurde (Statistik Austria, 2009 S. 25). Geht man davon aus das ein neues Gerät der höchsten EK A+++ rund 162 kWh im Jahr verbraucht (topprodukte, 2013), so erhält man durch einen Altgerätetausch die in Tabelle 24 angeführten Energie- und Kosteneinsparungen.

	<i>Neu-Gerät</i>	<i>Alt-Gerät</i>		
Effizienzklasse	A+++	B	C	D
Energieverbrauch (kWh/a)	162	260,0	293,4	324,0
Energieeinsparung (kWh/a)		97,2	131,4	162,0
Stromkostensparnis (€/a)		19,4	26,3	32,4

Tabelle 24: Energie- und Kostensparnis der Alt-Geräte durch ein Neugerät.

Man erkennt, dass die Stromkostensparnis für den Endverbraucher gering ist. Will man also in diesem Bereich die Energienutzung effizienter gestalten, muss man auf Rahmenbedingungen setzen, um einen Gerätetausch vor dem Lebensende des Alt-Gerätes zu erreichen. Bei keinem anderen Gerät im Bereich der weißen Ware, kann so viel Energie durch richtiges Nutzungsverhalten eingespart werden, wie bei Waschmaschinen. So ergab eine deutsche Studie, dass der Gesamtenergiebedarf um 37 % reduziert werden könnte, wenn bei jedem Waschgang eine Temperaturstufe niedriger als bisher gewählt wird (Reichl, 2010 S. 185).

Wäschetrockner wurden nicht betrachtet, da hier die Marktdurchdringung mit nur 14 % gering ist und zudem 52 % der Geräte jünger als 5 Jahre sind und ein Ersatz somit höchstwahrscheinlich nicht sinnvoll ist (Statistik Austria, 2009 S. 25).

### 2.5.3 Geschirrspüler

Bei Geschirrspüler gilt Ähnliches wie bei Waschmaschinen. So ist vor allem der Ersatz besonders alter Geräte der Klassen B, C und D hinsichtlich des Reduktionspotentials sinnvoll, wie Tabelle 25 zeigt.

Einsparmatrix (%)		Substitution durch folgende Klasse				
Aktuelle Klasse im Einsatz		A+++	A++	A+	A	B
	A+++	-	-	-	-	-
	A++	8,6	-	-	-	-
	A+	18,6	11	-	-	-
	A	27,8	21	11	-	-
	B	36,0	30	21	11	-
	C	43,2	38	30	21	11
	D	49,5	45	38	30	21

Tabelle 25: Einsparmatrix für Geschirrspüler im Haushalt.

Geschirrspüler haben eine Marktdurchdringung von 71 % (Statistik Austria, 2009 S. 26). Hinsichtlich der Energieeinsparungsmöglichkeiten gilt analoges wie bei Waschmaschinen.

### 2.5.4 Elektroöfen

Für Herde gibt es keine verpflichtende Energiekennzeichnung, während es für Backrohre seit dem Jahr 2003 eine Kennzeichnungspflicht gibt. Der Energieverbrauch dieser beiden Gerätetypen betrug im Jahr 2008 rund 7,7 % am jährlichen Gesamtstromverbrauch (Statistik Austria, 2009 S. 38), wobei davon rund 80 % auf die Nutzung der Kochstellen entfallen und 20 % auf die Backrohrnutzung (Pehnt, 2010 S. 189). An den elektrischen Kochstellen unterscheidet man zwischen gusseisernen Kochplatten, Glaskeramik und Induktions-Kochfeldern, wobei grob abgeschätzt erstere die ineffizienteste und letztere die effizienteste Technik ist (Pehnt, 2010 S. 190). In Österreich sind rund 75 % der Herde Glaskeramik-, 18 % Gusseisen-, 7 % Gas- und 1 % Induktionsbauart (Statistik Austria, 2009 S. 24).<sup>17</sup> Somit werden 93 % der Kochstellen mit Strom betrieben. Eine Gusseisenplatte verbraucht für die Bereitstellung der gleichen Energiemenge bis zu 20 % mehr Energie als eine Glaskeramik-Platte, während ein Induktionsherd bis zu 40 % weniger Energie als ein die Gussplatte verbraucht (VZ-RLP, 2012 S. 2). Schätzungen zu folge dürfte durch die großflächige Einführung der Glaskeramik-Herde der gesamte Stromverbrauch im Herdbereich um etwa 2,5 % gesenkt worden sein (Pehnt, 2010 S. 189). Da der Großteil Glaskeramik-Kochstellen sind und eine großflächige Substitution auf Induktionsplatten fragwürdig erscheint, besteht im Bereich der Elektroöfen das größte Einsparpotential durch ein richtiges Nutzungsverhalten.

<sup>17</sup> Werte für Erstgeräte. 11 % geben ein Zweitgerät an. Es wird davon ausgegangen, dass der Großteil des jährlichen Stromverbrauchs vom Erstgerät verursacht wird.

### 2.5.5 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Da die Kühlgeräte ständig in Betrieb sind und das Reduktionspotential hoch ist, lohnt sich ein Geräteersatz aus energetischer und größtenteils auch aus wirtschaftlicher Sicht. Bei den anderen Geräten ist ein Tausch hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit genauer zu prüfen. Diese Überprüfung wird mit einer statischen Amortisationsrechnung durchgeführt. Für einen neuen Geschirrspüler werden Investitionskosten in der Höhe von 650 € und für eine Waschmaschine in der Höhe von 350 € verwendet (topprodukte, 2013). Es wird von Standard-Geräten ausgegangen, wobei die günstigsten Geräte ausgewählt wurden. Die so berechneten Amortisationsdauern in Abbildung 21 zeigen, dass der Ersatz der alten Geräte mit niedriger Effizienzklasse auf Geräte der höchsten EK A+++, nur bei Kühl und Gefrierschränken sinnvoll ist, welche eine niedrigere EK als B aufweisen. Es wurde hier die statische Berechnung gewählt, da dies für diesen Zweck ausreichend erscheint.

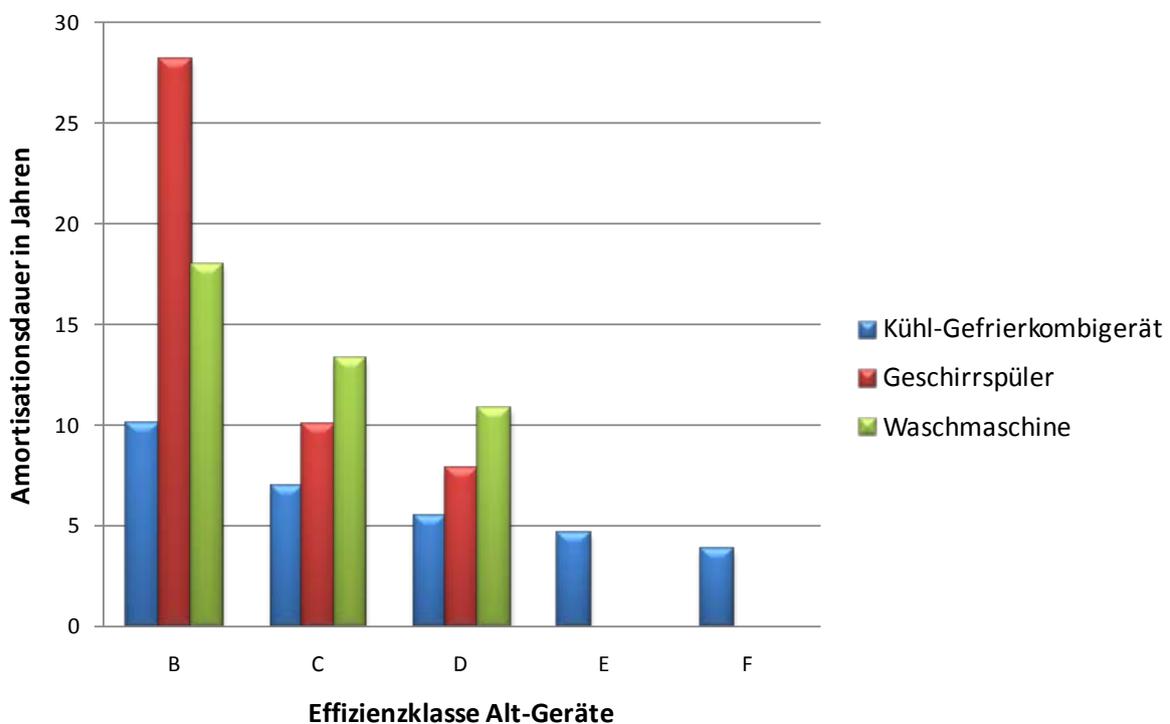


Abbildung 21: Vergleich der Amortisationsdauern beim Tausch von alten Geräten auf Geräte der EK A+++.

Im Rahmen der Erhebung der Daten für das Strom- und Gastagebuches im Jahr 2008 wurde auch festgestellt, dass neuere Geräte vermehrt einen Standby-Verbrauch haben, welcher nicht unterschätzt werden sollte, wie im Abschnitt 2.8 näher beschrieben wird.

## 2.6 Raumwärme

In Österreich erzeugen 53 % der Haushalte ihre Raumwärme durch Heizungssysteme, welche einen direkten Stromverbrauch nur durch Umwälzpumpen und ihre Hilfssysteme verursachen (Statistik Austria, 2009 S. 31). Hierzu gehören beispielsweise verschiedene Hauszentralheizungsarten mit Öl und Gas oder aber auch die Fernwärme. Laut dem Strom- und Gastagebuch der Statistik Austria hatten im Jahr 2008 30 % der Haushalte einen Gasanschluss (Statistik Austria, 2009 S. 32). Nur 7 % der Haushalte erzeugten ihre Raumwärme durch eine Elektro- oder Nachtspeicherheizung (Statistik Austria, 2009 S. 31). Ebenfalls im Jahr 2008 waren rund 22 % der Haushalte mit einem Fernwärmeanschluss ausgestattet (Statistik Austria, 2011b).

Die häufigsten Systeme zur Erzeugung von Raumwärme mit elektrischer Energie sind die Elektro-Direktheizung, die Nachtspeicherheizung und die elektrische Speicherheizung. Die Elektro-Direktheizung setzt die elektrische Energie durch Heizstäbe oder –register direkt in Wärme um. Die Nachtspeicherheizung hat einen Speicherkern, welcher größtenteils durch günstigen Nachtstrom aufgeheizt wird. Die so gespeicherte Energie wird in Form von Wärme im Laufe des Tages an die Umgebung abgegeben. Hier treten jedoch im Vergleich zur Elektro-Direktheizung Speicherverluste auf, da die Energie im Kern zwischengespeichert wird, bis sie genutzt werden kann. Die elektrische Speicherheizung erwärmt eine Flüssigkeit eines zentralen Behälters, meist das Wasser im Boiler, welches mit Umwälzpumpen im Wärmeverteilsystem des Gebäudes verteilt wird. Auch hier entstehen durch die Speicherung des Wärmemediums Verluste. Diese Speicherverluste werden allerdings an die innere Umgebung des Gebäudes abgegeben, weshalb angenommen wird, dass sie den Gesamtwirkungsgrad nicht vermindern.

Fernwärme und Gas werden über ein Verteilsystem dem Haushalt zugeführt. Die Fernwärme wird beispielsweise von einem Kraftwerk, welches nach dem Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) arbeitet, ausgeleitet (Gutschi, 2009). Diese wird dann direkt über eine Übergabestation in das Wärmeverteilsystem des Haushaltes eingespeist. Diese Methodik ist in Abbildung 22 dargestellt, wobei das in KWK betriebene Kraftwerk beispielsweise ein Gas- und Dampfkraftwerk (GuD) ist. Es könnte auch ein Gaskraftwerk ohne Dampfturbine betrachtet werden, allerdings erreichen GuD-Kraftwerke eine wesentliche höhere Brennstoffausnutzung und werden im Sinne einer hohen Energieeffizienz verwendet.

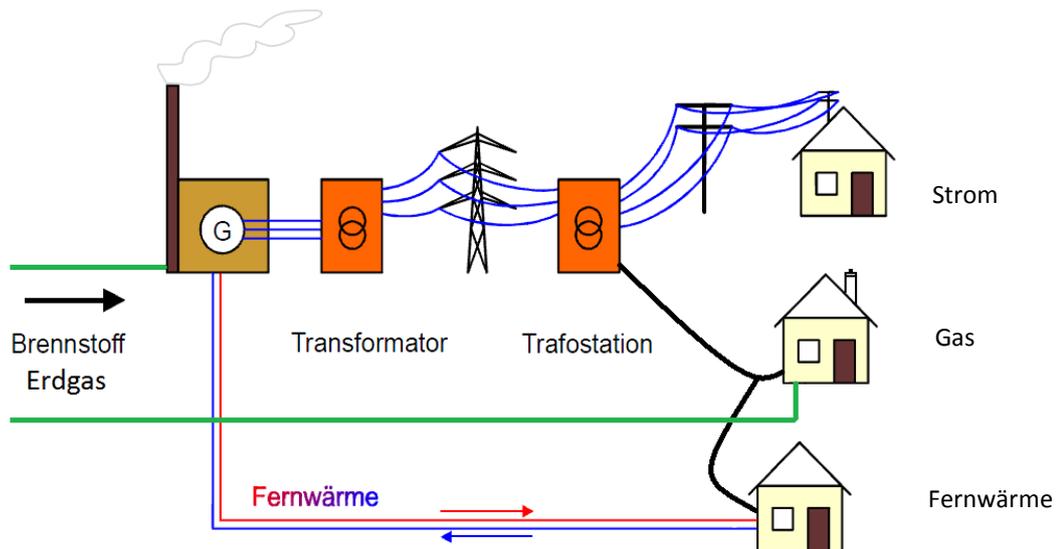


Abbildung 22 : Infrastruktur für verschiedene Heizungsarten nach (Gutschi, 2009 S. 2).

Um den Brennstoff Erdgas im Haushalt in Raumwärme umwandeln zu können wird ein Heizkessel benötigt. Brennwertheizkessel können den Energieinhalt des verwendeten Brennstoffs besser ausnutzen als herkömmliche Heizkessel. Durch die Verwendung der Kondensationswärme des Wasserdampfes im Abgas wird diese als zusätzliche Wärme dem Heizungssystem zugeführt, wodurch ein höherer Wirkungsgrad erreicht wird (Reichl, 2010 S. 69).

Die Wärmepumpe (WP) ist eine Heizungsmöglichkeit, welche ihrer Umgebung Wärme entzieht und unter dem Einsatz einer Zusatzenergie auf ein höheres Temperaturniveau bringt. Die Zusatzenergie wird über einen Verdichter (Kompressor) erzeugt, welcher mit Strom oder Gas betrieben werden kann. Im Haushaltsbereich werden vorwiegend elektrisch angetriebene Kompressions-WP verwendet. Wie effizient dieses System Wärme erzeugt, kann durch verschiedene Kenngrößen beschrieben werden, wobei die Jahresarbeitszahl (JAZ) die aussagekräftigste ist. Die JAZ ist als Verhältnis zwischen der abgegebenen Wärmemenge und der im Gesamtsystem eingesetzten elektrischen Energie über ein Jahr definiert (Wosnitza, et al., 2012 S. 236). Der Stromverbrauch des Gesamtsystems beinhaltet den Stromverbrauch der Wärmepumpe selbst, ihren Standby-Verbrauch, die Regelung, sowie alle Pumpen für Grundwasser oder Erde. Heizungsumwälzpumpen werden oft nicht hinzugezählt.

$$JAZ = \frac{Q_H}{E_{\text{elektr}}} \quad 2.23$$

*JAZ* ..... Jahresarbeitszahl

*Q<sub>H</sub>* ..... abgegebene Wärmemenge (kWh)

*E<sub>elektr</sub>* .... gesamter elektrischer Energieverbrauch (kWh)

Hat eine Wärmepumpe eine JAZ von 4 bedeutet dies, dass sich die abgegebene Wärmemenge aus drei Teilen Umweltenergie und einem Teil elektrischer Energie zusammensetzt

und dieses im Verhältnis zu dem einen Anteil der elektrischen Energie gesetzt wird. Mit anderen Worten gesagt, setzen sich die 100 % Nutzenergie aus 75 % Umweltenergie und 25 % elektrischer Energie zusammen.

Wärmepumpenanlagen verwenden zur Gebäudebeheizung im Wesentlichen die drei Wärmequellen Luft (L), Erdwärme (E) und Grundwasser (G) (Wosnitza, et al., 2012 S. 238). Die Erdwärme- und Grundwassersysteme benötigen Pumpen, um das Wärmeträgermedium zur Wärmequelle zu bringen. Die durch die WP erzeugte Wärme wird über ein Zentralheizungssystem, welches mit Wasser gefüllt ist, verteilt oder im Boiler als Warmwasser zwischengespeichert. Damit die Wärmepumpen keine „Stromfresser“ werden, sollten folgende Punkte beachtet werden.

- Geringe Vorlauftemperaturen durch eine Fußbodenheizung.
- Möglichst hohe Temperatur der Wärmequelle.
- Geringer Stromverbrauch des Gesamtsystems (Umwälzpumpe, WP-Antrieb, Regelung, Grundwasserhebepumpe).
- Der Einsatz von Luft-WP zur Raumheizung ist nur in Sonderfällen sinnvoll, denn bei einer JAZ von 2, muss die Hälfte der benötigten Energie durch Strom erzeugt werden. Diese Sonderfälle wären beispielsweise Passivhäuser oder Niedrigenergiehäuser (Agenda 21, 2011). Einen weiteren Sonderfall stellt auch die WP dar, welche vorgewärmte Luft, wie etwa Abluft, verwendet.

Zum Transport von Fernwärme wird vorwiegend Wasser verwendet, welches im Kraftwerk auf eine Vorlauftemperatur von 80 bis 130°C erhitzt wird und zum Endverbraucher transportiert wird (Reichl, 2010 S. 45). Nach der Abgabe der Wärmemenge im Haushalt über einen Wärmetauscher (Übergabestation) an das Zentralheizungssystem des Haushaltes, wird die Flüssigkeit wieder zum Kraftwerk zurück transportiert. Im Vergleich zu den anderen Systemen ist der Aufwand der Heizanlage im Haushalt gering, da das Kernelement ein platzsparender Wärmetauscher ist.

Da in Österreich, wie zuvor erwähnt, größtenteils Hauszentralheizungen vorhanden sind wird in weiterer Folge die elektrische Speicherheizung, die Fernwärme, ein Gas-Brennwertkessel, sowie die Wärmepumpe näher betrachtet.

### 2.6.1 Heizungsvergleich

Bei der Erzeugung von Raumwärme wird eine Energieform in Wärme umgewandelt. Um die elektrische Effizienz dieser Umwandlung bewerten zu können wird der Wirkungsgrad verwendet. Inwieweit dieser Energieeinsatz effizient und/oder sinnvoll ist, dürfte sich am besten durch eine energetische und eine exergetische Bewertung überprüfen lassen. Energie besteht aus Exergie und Anergie, wobei die Exergie die Arbeitsfähigkeit beschreibt und die Anergie der verbleibende Rest ist, der nicht weiter umgewandelt werden kann (Baehr, et al., 2009 S. 152,153). Elektrische und mechanische Energie sind zu 100 % Exergie, während man die Exergie der Wärme mit der Formel 2.24 berechnet (Baehr, et al., 2009 S. 164, 165).

$$E_x = Q \cdot \left(1 - \frac{T_u}{\bar{T}}\right) \quad 2.24$$

$E_x$  ..... Exergie der Wärme (kWh)

$Q$  ..... Wärmemenge (kWh)

$T_u$  ..... Umgebungstemperatur (K)

$\bar{T}$  ..... mittlere Temperatur des Wärmestromes (K)

Der exergetische Wirkungsgrad wird wie in Formel 2.25 dargestellt definiert (Baehr, et al., 2009 S. 169, 173).

$$\zeta = \frac{\sum E_{x,ab}}{\sum E_{x,zu}} \quad 2.25$$

$\zeta$  ..... exergetischer Wirkungsgrad

$\sum E_{x,ab}$  ..... Summe der abgegebenen / nutzbaren Exergieströme (kWh)

$\sum E_{x,zu}$  ..... Summe der zugeführten / aufgewendeten Exergieströme (kWh)

Der energetische Wirkungsgrad wird wie in Formel 2.26 dargestellt definiert (Pehnt, 2010 S. 25).

$$\eta = \frac{\sum P_{ab}}{\sum P_{zu}} \quad 2.26$$

$\eta$  ..... energetischer Wirkungsgrad

$\sum P_{ab}$  ..... Summe der abgegebenen / nutzbaren Leistung (W)

$\sum P_{zu}$  ..... Summe der zugeführten / aufgenommenen Leistung (W)

### 2.6.1.1 Gegenüberstellung der Heizungsarten

Es werden der Erdgasbrennwertkessel, die Fernwärme, eine elektrische Speicherheizung und eine Wärmepumpe energetisch und exergetisch verglichen. Beim Erdgasbrennwertkessel wird ein Wirkungsgrad von 96 %<sub>Ho</sub> verwendet und bei der WP E-W eine JAZ von 3,8 verwendet (Reichl, 2010 S. 16,17). Bei der Fernwärme wird ein Wirkungsgrad von 95 % angenommen. Diese Annahme ist damit begründet, dass bei der Übergabestation Verluste auftreten. Bei der elektrischen Speicherheizung wird ein Wirkungsgrad von 100 % angenommen, da die Speicherverluste zur Gebäudeerwärmung beitragen.

Alle Systeme transportieren die Wärme im Haushalt über ein Wasserwärmeverteilsystem, welches eine angenommene Vorlauftemperatur von 60 °C und eine Rücklauftemperatur von 40 °C hat. Die Exergie der Wärme wird mit einer daraus gemittelten Temperatur von 50 °C

berechnet. Bei der Fernwärmeauskopplung wird von einer mittleren Temperatur von 105 °C ausgegangen.

Zur Berechnung des Erdgaskessels wurde von reinem Methan  $\text{CH}_4$ , mit dem unteren Heizwert ( $H_u$ ) von etwa 803 kJ/mol, dem molaren Exergieinhalt von etwa 830 kJ/mol und dem Brennwert ( $H_o$ ) von 890 kJ/mol ausgegangen (Baehr, et al., 2009 S. 628).

In Tabelle 26 sind die berechneten und angenommenen elektrischen und exergetischen Wirkungsgrade der einzelnen Heizungsarten zusammengefasst dargestellt.

	<b>Elektro- speicherheizung</b>	<b>Gas Brenn- wertkessel<sup>18</sup></b>	<b>WP E-W</b>	<b>Fernwärme</b>
<b><math>\eta</math></b>	100,0 %	96 % <sub>H<sub>o</sub></sub>	380,0 %	95,0 %
<b><math>\zeta</math></b>	15,5 %	14,4 %	58,8 %	52,9 %

**Tabelle 26: Gegenüberstellung der betrachteten Heizungsarten hinsichtlich exergetischen und elektrischen Wirkungsgrad.**

Das System mit den höchsten Wirkungsgraden ist die Wärmepumpe. Der energetische Wirkungsgrad über 100 % ist damit zu begründen, dass die WP ihrer Umwelt Wärme entzieht und dieser Anteil in dieser Betrachtungsweise mit berücksichtigt wird. Bei dem Brennwertkessel und der Elektrospeicherheizung erkennt man, dass diese einen niedrigen exergetischen Wirkungsgrad aufweisen und somit die Arbeitsfähigkeit der Eingangsenergie nur mit etwa 15 % in der Wärme bestehen bleibt. Dieser Umstand zeigt, dass die Exergie des Brennstoffes besser ausgenutzt werden könnte. Für den Raumwärmebedarf ist jedoch die Arbeitsfähigkeit der Energie nicht bedeutend. Die Betrachtung der Fernwärme erfolgt im nächsten Schritt.

### **2.6.1.2 Berücksichtigung der Strom- und Wärmeerzeugung**

Um die Heizungssysteme nicht nur am Endverbraucher sondern im Gesamten bewerten zu können, wird die Strom- und Wärmeerzeugung durch ein GuD-Kraftwerk betrachtet. Hierzu wird das Kraftwerk Simmering in Österreich verwendet. Das Kraftwerk wird in einem gewählten Betriebspunkt mit zwei Gasturbinen und einer Dampfturbine einmal mit Fernwärmeauskopplung (KWK-Betrieb) und einmal ohne betrachtet. In Tabelle 27 werden die Daten der beiden Betriebsarten zusammengefasst.

<sup>18</sup> Wirkungsgrad vom Brennwertkessel der Marke Hoval und der Type UltraGas 250 bei 30 % Teillast.

Daten		Beschreibung
$P_{el}$	820 MW <sub>el</sub>	elektrische Leistung ohne Fernwärmeauskopplung
$P_{el}$	700 MW <sub>el</sub>	elektrische Leistung im KWK-Betrieb
$P_{heiz}$	450 MW <sub>th</sub>	Fernwärmeleistung im KWK-Betrieb
$P_{ges}$	1.150 MW	Gesamtleistung im KWK-Betrieb
BS	80 %	Brennstoffausnutzung

Tabelle 27: Daten zum GuD Kraftwerk Simmering für einen gewählten Betriebspunkt (Heinrici, 2009 S. 12,16).

Betrachtet man die berechneten Werte der Wirkungsgrade in Tabelle 28, so erkennt man, dass der energetische Wirkungsgrad durch die Wärmeauskopplung klar erhöht wird. Ebenso wird der exergetische Wirkungsgrad geringfügig erhöht, obwohl im GuD-Betrieb mit KWK 120 MW weniger an elektrischer Leistung zur Verfügung stehen. Das wiederum zeigt, dass der GuD-Betrieb mit KWK auch exergetisch sinnvoll ist und zudem noch eine beachtliche Menge an Fernwärmeleistung zur Verfügung stellt.

	GuD mit KWK	GuD ohne KWK
$\eta_{el}$	48,70 %	57,04 %
$\eta_{Heiz}$	31,30 %	-
$\eta_{ges}$	80,00 %	57,04 %
$\zeta_{el}$	48,70 %	57,04 %
$\zeta_{Heiz}$	8,93 %	-
$\zeta_{ges}$	57,39 %	57,04 %

Tabelle 28: Energetische und exergetische Wirkungsgrade des Kraftwerks Simmering mit und ohne KWK.

Für die Bewertung der Fernwärme auf der Verbraucherseite sollte somit das GuD-Kraftwerk mit berücksichtigt werden. Denn durch die Verwendung der sonst verloren gegangenen Wärme im Kraftwerk wird der energetische und exergetische Gesamtwirkungsgrad erhöht.

## 2.6.2 Die Gebäudehülle

Bei diesem Abschnitt handelt es sich um einen Exkurs, da die Sanierung der Gebäudehülle nicht zum Thema der elektrischen Endenergieeffizienz gehört. Um den Energieeinsatz zur Raumerwärmung zu senken, spielt eine gut gedämmte Gebäudehülle jedoch eine nicht zu vernachlässigende Rolle. Ist diese in nicht ausreichendem Umfang vorhanden, kann durch eine Sanierung der Energieeinsatz zur Raumerwärmung gesenkt werden. Maßnahmen für Sanierungen wären beispielsweise die Dämmung der Kellerdecke, der Außenwände, der obersten Decke oder aber auch der Austausch von alten Fenstern und Außentüren (Reichl, 2010 S. 101).

Der Sanierungsumfang ist von vielen Faktoren abhängig, wie beispielsweise vom Baujahr des Gebäudes. Um dennoch das vorhandene Reduktionpotential zu betrachten wird ein Einfamilienhaus betrachtet, welches im Jahr 1970 errichtet wurde und ein Keller, Erd- und Obergeschoß hat (Reichl, 2010 S. 103). Einfamilienhäuser haben die größten Energieeinsparpotentiale im Bereich der Raumwärme und werden deshalb betrachtet (Reichl, 2010 S. 101).

In der Tabelle 29 sind die Ergebnisse der Untersuchung des Energieinstitutes an der Johannes Kepler Universität in Linz zusammengefasst dargestellt. Hierbei handelt es sich um Durchschnittswerte für Gebäudearten mit dem Baujahr 1970.

Sanierungsbereich	Jährliches Heizwärmeeinsparpotential	
	in % des Ausgangs- verbrauchs	in kWh (absolut)
<i>Verbrauch vor der Sanierung</i>		43700 kWh
Fenster- und Außentürentausch	12 %	5400 kWh
Dämmung der Kellerdecke	10 %	4500 kWh
Dämmung der obersten Decke	12 %	5200 kWh
Dämmung der Außenwände	44 %	19300 kWh
Thermische Sanierung	65 %	28500 kWh
Gesamtsanierung	76 %	33400 kWh

**Tabelle 29: Jährliches Heizwärmereduktionspotential durch verschiedene Sanierungsmaßnahmen für Einfamilienhäuser mit 200 m<sup>2</sup> und dem Baujahr 1970 (Reichl, 2010 S. 117).**

Durch thermische Sanierungen können etwa 65 % an Heizwärme eingespart werden und bei einer Gesamtsanierung bis zu 76 %. Diese Zahlen in Tabelle 29 zeigen, dass die Sanierung von Altbauten ein hohes Heizenergieeinsparpotential ermöglicht. Dennoch ist das Reduktionspotential von Fall zu Fall verschieden und ist letztendlich auch vom individuellen Nutzverhalten abhängig und sollte deshalb für jedes Gebäude individuell berechnet werden (Reichl, 2010 S. 118).

### 2.6.3 Kosten der Heizungen

Um die zuvor betrachteten Heizungssysteme hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit zu bewerten, werden in diesem Abschnitt die Investitionskosten (IK), sowie die jährlichen Energiekosten (EK) näher betrachtet. Dabei wird davon ausgegangen, dass ein entsprechendes Zentralheizungssystem bereits vorhanden ist. Die IK beim Gas-Brennwertkessel, den Wärmepumpen und der Elektrospeicherheizung beinhalten eventuelle Anschluss- und Erschließungskosten, sowie die Kosten für einen Wasserspeicher (Reichl, 2010 S. 20). Bei den Wärmepumpen wird zusätzlich ein wasserführender Kachelofen installiert, der die WP in den besonders kalten Tagen unterstützen soll. Bei der Fernwärme sind bei den Investitionskosten ebenfalls die Anschlusspauschale, sowie die Anschlusskosten je KW beinhaltet, wobei hier von einem nahezu maximalen Wert ausgegangen wird (Reichl, 2010 S. 56,57).

Um die jährlichen Energiekosten zu ermitteln wurde von einem ähnlichen Gebäudetyp wie im Abschnitt 2.6.2 ausgegangen, wobei auch hier ein sanierter und ein unsanierter Altbau betrachtet wird, um den Vorteil einer zuvor behandelten Sanierung zu verdeutlichen. Bei den Wärmepumpen wird ein Erde-Wasser (E-W) und Luft-Wasser (L-W) System verwendet. In Tabelle 30 ist die benötigte Jahreswärmemenge für einen sanierten und einen unsanierten Altbau mit 200 m<sup>2</sup> dargestellt.

	Spezifische Wärmemenge	Wärmemenge im Jahr
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/a
Altbau mit 200 m <sup>2</sup>	160	<b>32.000</b>
Altbau Saniert mit 200 m <sup>2</sup>	65	<b>13.000</b>

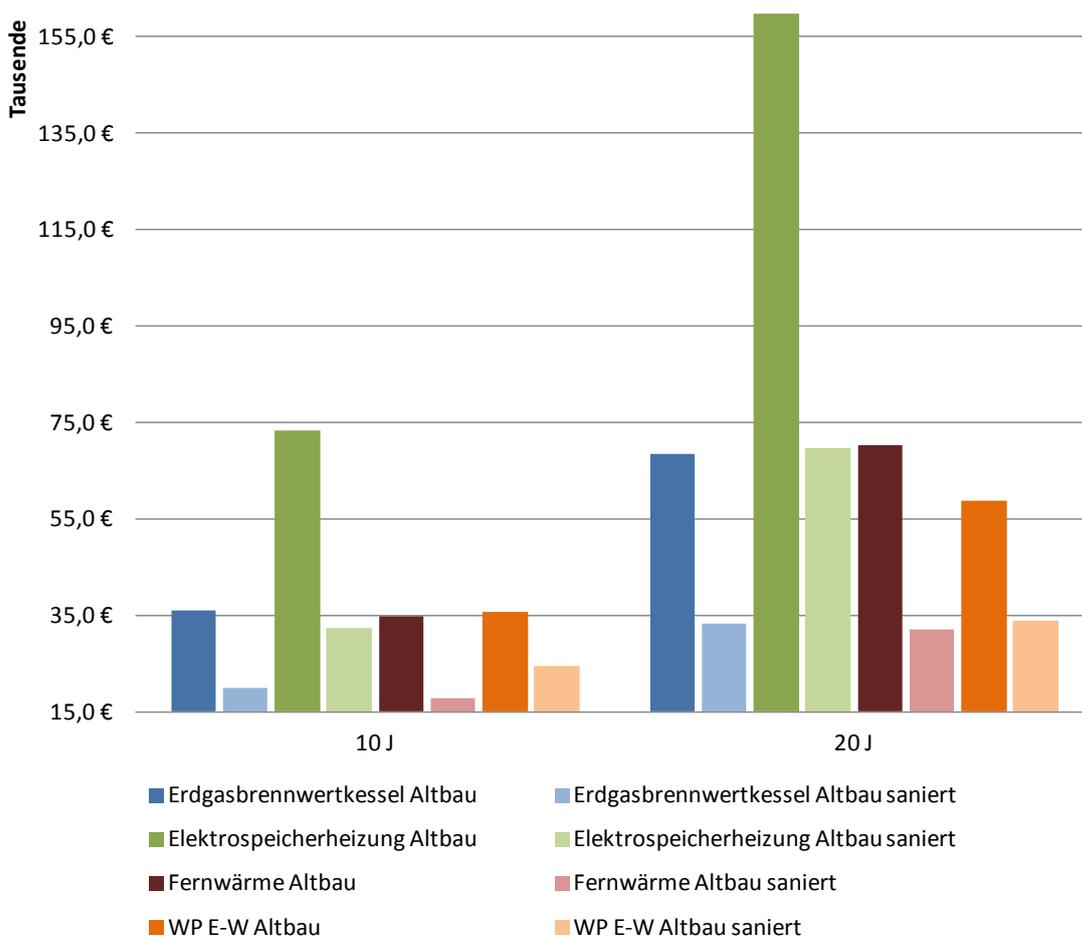
**Tabelle 30: Raumwärme für einen sanierten und unsanierten Altbau.**  
Datenquelle: (Reichl, 2010 S. 62)-

Beim Erdgasbrennwertkessel wird von einem Wirkungsgrad von 96 %<sub>H<sub>0</sub></sub> bei der WP E-W von 380 %, bei der WP L-W von 280 %, bei der Fernwärme von 95 % und beim Elektrospeicher von 100 % ausgegangen (Reichl, 2010 S. 16,17). Bei den Energieträgerkosten werden die Jahresdurchschnittspreise im Jahr 2011 verwendet. Diese betragen bei Strom von 0,2 €/kWh und bei Erdgas 0,07 €/kWh<sub>H<sub>0</sub></sub> (Statistik Austria, 2011). Bei der Fernwärme wird von EK in der Höhe von 0,08 €/kWh ausgegangen (Reichl, 2010 S. 58). In Tabelle 31 sind die mit diesem Werten berechneten Ergebnisse dargestellt.

Heizungsart	IK	EK	Energiekosten (EK) pro Jahr	
			Altbau	Altbau Saniert
			€/a	€/a
	€	€/kWh		
Erdgasbrennwertkessel	9.150	0,07	2.400,0	957,0
WP E-W	15.030	0,20	1.684,2	684,2
WP L-W	13.210	0,20	2.285,7	928,6
Elektrospeicherheizung	2.000	0,20	6400,0	2.736,8
Fernwärme	6.000	0,081	2.592,0	1.053,0
Wasserführender Kachelofen zur Unterstützung der WP <sup>19</sup>	2.000			

**Tabelle 31: Investitionskosten und Energiekosten für verschiedene Heizungsarten im sanierten und unsanierten Altbau.**  
Datenquellen für IK (Reichl, 2010 S. 20,39,56,57), und für EK (Statistik Austria, 2011), (Reichl, 2010 S. 58).

Man erkennt, dass bis auf die Elektrospeicherheizung alle Heizungsarten die etwa gleich hohen jährlichen Energiekosten haben. Um die Heizungsarten hinsichtlich ihrer langfristigen Kosten zu beurteilen, wird bei den Energiepreisen von einer Steigerung von 2 % pro Jahr ausgegangen und diese Kosten dynamisch aufsummiert. In Abbildung 23 sind die berechneten Gesamtkosten dargestellt.



**Abbildung 23: Gesamtkostenvergleich der verschiedenen Heizungssysteme.**

<sup>19</sup> Online Preiserhebung

Es wird noch einmal verdeutlicht, dass die Elektrospeicherheizung zwar die niedrigsten IK aufweist und somit die Investition verlockend erscheint, aber die höchsten EK aufweist und bereits nach 10 Jahren ähnlich hohe Gesamtkosten wie ein Gas-Brennwertkessel oder ein Fernwärmesystem nach 20 Jahren aufweist. Weiters wird die Einsparung der Gesamtkosten durch eine Sanierung des Gebäudes noch einmal verdeutlicht.

#### 2.6.4 Schlussfolgerung und Zusammenfassung

Aus der in diesem Abschnitt durchgeführten Betrachtungsweise kommt man zu folgenden Schlüssen:

- Elektrospeicherheizungen wandeln Strom (100 % Exergie) in Wärme mit einem geringen exergetischen Wirkungsgrad um und sind deshalb am schlechtesten einzustufen.
- Der Gasbrennwertkessel verwendet direkt den Energieträger Gas zur Erzeugung von Wärme. Dadurch wird der Umwandelungsschritt in einem Kraftwerk von Gas zu Strom umgangen, wodurch die gesamt betrachtete Brennstoffausnutzung höher als bei einem Elektrospeicher ist.
- Exergetisch betrachtet ist die Elektrospeicherheizung bzw. der Gasbrennwertkessel am schlechtesten und die Wärmepumpen bzw. die Fernwärme am besten zu bewerten.
- Die Nutzung der Fernwärme steigert die Brennstoffausnutzung im GuD Kraftwerk und ist somit auf der Erzeuger- und auf der Verbraucherseite als sinnvoll einzustufen.
- Die Wärmepumpe ist ein Sonderfall. Zum einem verwendet sie Strom, um Wärme zu erzeugen, aber aufgrund ihrer Arbeitsweise verwendet sie nur einen geringeren Anteil an Strom verglichen mit der Wärmeabgabe. Ebenso weist sie einen hohen exergetischen Wirkungsgrad auf.

Aus dieser Vorgehensweise kann man zum Schluss kommen, dass die Nutzung der Wärmepumpe und der Fernwärme, als die von den betrachteten Heizungsarten am besten zu beurteilen sind.

Bei der Wärmepumpe gilt es allerdings auf die genannten Randbedingungen bei der Installation zu achten. Hier gilt den Rat eines Fachmanns einzuholen, damit eine hohe JAZ erreicht werden kann. Ebenso sollte beachtet werden, dass Fernwärme nicht nur aus KWK kommen kann, sondern auch aus industrieller Abwärme. Als Beispiel sei hier der Stahlproduktionsbetrieb Marienhütte in Graz genannt, welche direkt in das Grazer Fernwärmenetz einspeist und in Zukunft zusätzlich die angrenzenden Baugründe direkt versorgen soll (Schlemmer, 2011).

Ebenso sind die Heizungsarten, welche energetisch und exergetisch am besten zu bewerten sind auch hinsichtlich ihrer mittel- und langfristigen Gesamtkosten wirtschaftlicher. Abschließend sollte das Reduktionspotential, welche eine Sanierung einer alten Gebäudehülle mit sich bringt, nicht vernachlässigt werden. Eine mögliche Sanierung sollte jedoch für jedes Wohnobjekt individuell abgeklärt werden.

## 2.7 Industrielle Abwärme

Als Abwärme bezeichnet man jene Energiemenge, welche durch Energieumwandlungen entsteht und meist an die Umgebung abgegeben wird und somit keinen Nutzen mehr erbringt. Da vor allem in der energieintensiven Industrie beachtliche Mengen an Abwärme entstehen, gilt es diese zu nutzen, denn nur dadurch ist es möglich den gesamten Energieeinsatz zu minimieren, den Wirkungsgrad zu optimieren und letztendlich die Energieeffizienz zu erhöhen.

Prinzipiell sollte Abwärme nach dem Vermeidungsprinzip von Beginn an, so weit wie möglich vermieden oder minimiert werden. Die Grundprinzipien beim Umgang mit Abwärme besagen, dass diese so lange wie möglich dem verursachenden Prozess rückgeführt werden soll. Erst wenn dies nicht mehr möglich ist, soll sie in einem Prozess mit niedrigerem Temperaturniveau eingebracht werden, wobei eine Energieumwandlung stattfindet (Hesselbach, 2012 S. 245). Betrachtet man die Formel 2.27 (Pehnt, 2010 S. 292), erkennt man die Parameter, welche für eine effizient nutzbare Wärmemenge ausschlaggebend sind. Ein geeignetes Medium mit entsprechend hoher Wärmekapazität sollte einen möglichst großen Massenstrom, bei einer hohen nutzbaren Temperaturdifferenz der Wärme, in Verbindung mit einer hohen jährlichen Verfügbarkeit haben. Die Temperaturdifferenz beschreibt den Unterschied zwischen der Abwärmtemperatur des verursachenden Prozesses und der Arbeitstemperatur der Abwärmenutzungstechnologie.

$$Q = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta T \cdot t \quad 2.27$$

$Q$  ..... Wärmemenge (kWh/a)

$\dot{m}$  ..... Massenstrom (kg/s)

$c$  ..... Spezifische Wärmekapazität (kJ/kgK)

$\Delta T$  ..... nutzbare Temperaturdifferenz der Abwärme (K)

$t$  ..... Betriebsstunden(h/a)

Sind Prozessrückführungen nicht mehr möglich, sollte die Abwärme anderweitig nutzbar gemacht werden. Dazu gibt es eine große Anzahl von Möglichkeiten, wovon im Folgenden eine Auswahl zur innerbetrieblichen Abwärmenutzung beschrieben wird.

### 2.7.1 Wärmetauscher

Wärmetauscher gibt es in vielen verschiedenen Ausführungen, auf welche hier nicht näher eingegangen wird. Vielmehr soll das dahinterstehende Prinzip kurz dargestellt werden. Passive Wärmetauscher übertragen die Wärme von Gasen, Flüssigkeiten oder festen Stoffen des abführenden Kreislaufs auf einen Nutzkreislauf, welcher beispielsweise das Warmwasser oder die Raumluft erwärmt. Es wird also Wärme von einem auf das andere Medium übertragen, wobei bis auf eine Umwälzpumpe oder den Lüfter keine zusätzliche elektrische Energie zugeführt wird. Es wird zwischen rekuperativen und regenerativen Wärmetauschern

unterschieden. Bei Ersteren sind die beiden Medien fest voneinander getrennt, bei Zweiteren ist eine geringfügige Vermischung erlaubt (Pehnt, 2010 S. 295). Abbildung 24 zeigt die technische Realisierung für eine Abluftnutzung. Wärmetauscher sind relativ kostengünstig und lassen sich einfach in einem bestehenden Prozess einbauen.

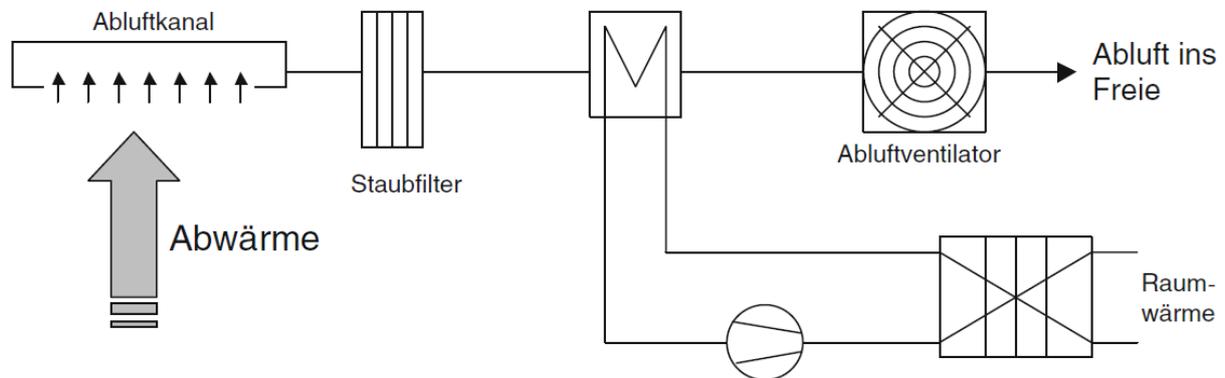


Abbildung 24: Prinzip einer Abluft-/ Abwassernutzung mittels Wärmetauscher (Pehnt, 2010 S. 229).

Die spezifischen Investitionskosten reichen von 10 €/kW<sub>th</sub> bei einfachen Wasser/Wasser-Rohrbündel-Wärmetauschern, bis zu 200 €/kW<sub>th</sub> für aufwendige Luft/Wasser-Rippenrohr-Wärmetauscher (Allplan, 2008 S. 10).

## 2.7.2 Stromerzeugung aus Abwärme

Eine besondere interessante Möglichkeit, Hochtemperaturabwärme zu nutzen bieten ORC (Organic Rankine Cycle) Systeme. Prinzipiell ähnelt der ORC-Kreisprozess dem eines Dampfkreislaufes, nur das anstelle von Wasserdampf ein organisches Medium wie beispielsweise Butan, Pentan oder Silikonöle eingesetzt wird, welches eine wesentlich niedrigere Verdampfungstemperatur hat und somit mit Abwärme arbeiten kann. Die zugeführte Abwärme verdampft im Verdampfer das Arbeitsmedium, welches dadurch eine Turbine antreibt. Der Dampf entspannt sich bei der Energieabgabe in der Turbine und wird im Regenerator, durch Abgabe der restlichen Energie an den Kühlkreislauf, wieder verflüssigt. (Allplan, 2008)

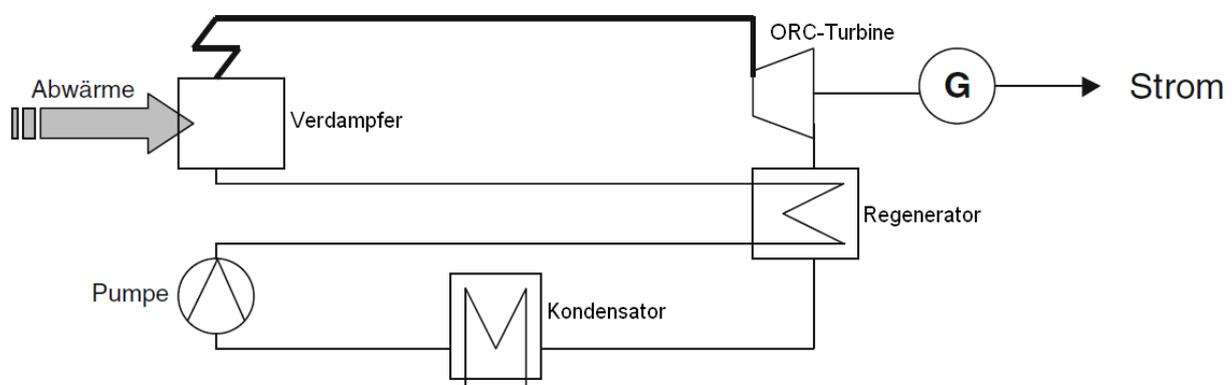


Abbildung 25: Schema eines ORC-Kreislaufes bei Abwärmenutzung (Pehnt, 2010 S. 229).

Da diese Technik mit vergleichsweise niedrigen Temperaturen arbeitet, ist der Wirkungsgrad im Vergleich zu Wasserdampfkreisläufen wesentlich niedriger, wie Abbildung 26 zeigt. Um den ORC-Prozess effizient zu betreiben, sollte bei der Abwärme von flüssigen Medien eine

Temperatur von 100 °C und bei gasförmigen Medien von 300 °C vorhanden sein, wobei dann elektrische Wirkungsgrade von 10 bis 20 % erreicht werden (Allplan, 2008 S. 16). Bei höheren Abwärmemperaturen sollte man einen Dampfprozess erwägen. Die Abwärme des ORC-Prozesses kann beispielsweise an eine Wärmepumpe weitergegeben werden, wodurch eine Nutzungskaskade entsteht.

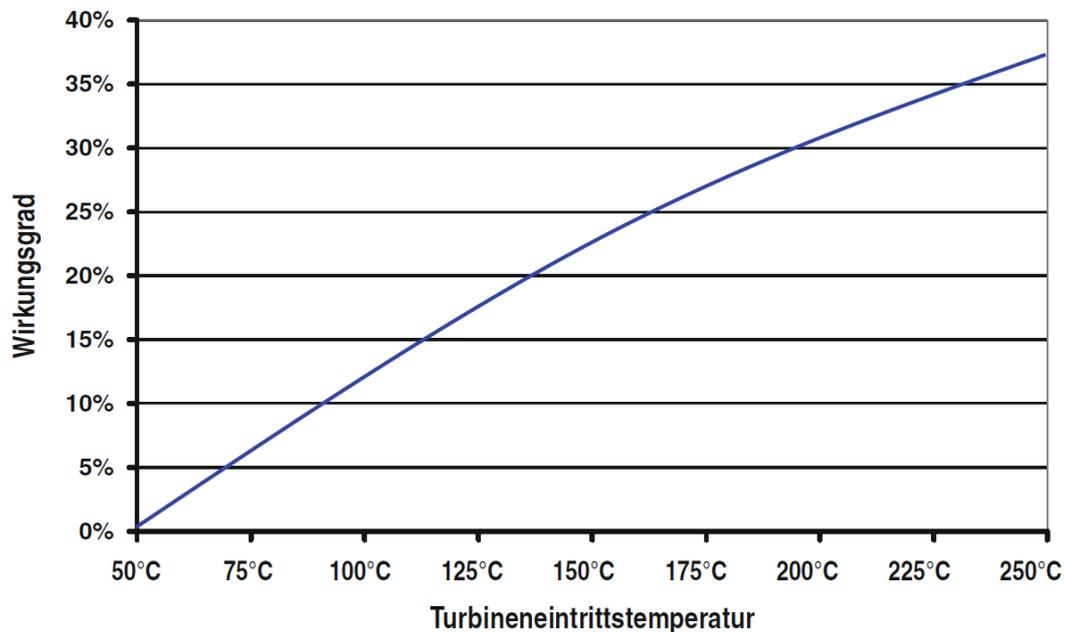


Abbildung 26: Elektrischer Wirkungsgrad einer ORC-Anlage in Abhängigkeit der Turbineneintrittstemperatur (Pehnt, 2010 S. 301).

Ob ORC-Anlagen wirtschaftlich sinnvoll sind, hängt stark von den jeweiligen betrieblichen Faktoren ab. Die Anlagengröße reicht von Kleinanlagen mit einigen Kilowatt elektrischer Leistung bis zu Großanlagen im Megawattbereich. Die spezifischen Anlagenkosten liegen zwischen 1000 und 3000 €/kW<sub>el</sub>, wobei Großanlagen günstiger sind als Kleinanlagen (saena, 2010). Bei diesen Kosten müssen allerdings noch die Kosten für Wärmetauscher, Leitungssysteme und Installationen hinzugerechnet werden, wodurch sich die Gesamtinvestitionskosten erheblich erhöhen können. ORC-Systeme haben aufgrund des geschlossenen Kreislaufs nur geringe Arbeitsmittelverluste und Instandhaltungskosten, wodurch die Betriebskosten einer solchen Anlage gering sind.

### 2.7.2.1 ORC-Anlagen in Zementwerken

Die Daten dieses Praxisbeispiels wurden vollständig aus der Projektbeschreibung des Bayerischen Landesamts für Umweltschutz entnommen (LfU, 2001).

In Zementwerken werden oft Ziegelsteine mit sehr hohen Temperaturen gebrannt, welche Klinker genannt werden. Hierbei entstehen im Klinkerofen große Mengen an Hochtemperaturabwärme, durch die Ofenabgase und durch die Klinkerkühler. Da die Staubbelastung der Ofenabgase hoch ist, sind diese aufgrund der kostenintensiven staubunempfindlichen Wärmetauscher oft nicht wirtschaftlich nutzbar. Die Abwärme des Klinkerkühlers kann jedoch sehr gut genutzt werden.

Im deutschen Zementwerk Lengfurt wurde eine ORC-Anlage installiert, welche die Abwärme des Klinkerkühlers nutzt (LfU, 2001). Der Klinkerkühler erzeugt einen Abwärmestrom von  $60 \text{ MW}_{th}$  bei  $275 \text{ °C}$ , wobei davon 70 % als Ofenvorerwärmung in den Prozess rückgeführt werden. Die restlichen 30 % werden mittels eines Wärmetauschers über einen Thermoöl-Kreislauf dem ORC-System zugeführt, wie Abbildung 27 zeigt. Nach dem Verdampfer stehen im Pentan-Kreislauf  $8,2 \text{ MW}_{th}$  mit  $160 \text{ °C}$  zur Verfügung, welche die Turbine antreiben (LfU, 2001 S. 25,26). Der Generator erzeugte eine Bruttoleistung von  $1206 \text{ kW}_{el}$ , das Gesamtsystem eine durchschnittliche Nettoleistung von  $1117 \text{ kW}_{el}$  im Jahr 2000, welche direkt im Werksnetz zur Verfügung steht. Bedingt durch die hohe Ofenlaufzeit von rund 7000 Betriebsstunden im Jahr konnten somit  $8000 \text{ MWh}$  pro Jahr im Werksnetz genutzt werden, welches rund 10 % des gesamten Strombedarfs im Jahr sind (LfU, 2001 S. 75,88). Im Anlagentest zeigte sich, dass die Anlage auch bei schwankenden Abwärmeströmen eine effiziente Methode ist um Abwärme zu nutzen (LfU, 2001 S. 83). Um die Anlage hinsichtlich der Effizienz im ORC-Kreislauf beurteilen zu können, wurde mit der Formel 2.28 der elektrische Bruttowirkungsgrad berechnet, welcher bei rund 15 % liegt.

$$\eta_{el,ORC,Brutto} = \frac{P_{el,Brutto}}{P_{th,ORC}} = \frac{1,206 \text{ MW}_{el}}{8,2 \text{ MW}_{th}} = 0,146 \quad 2.28$$

$\eta_{el,ORC,Brutto}$  · elektrische Bruttowirkungsgrad der ORC-Anlage

$P_{el,Brutto}$  · ..... elektrische Bruttoleistung ( $\text{MW}_{el}$ )

$P_{th,ORC}$  · ..... thermische Leistung im ORC-Kreislauf ( $\text{MW}_{th}$ )

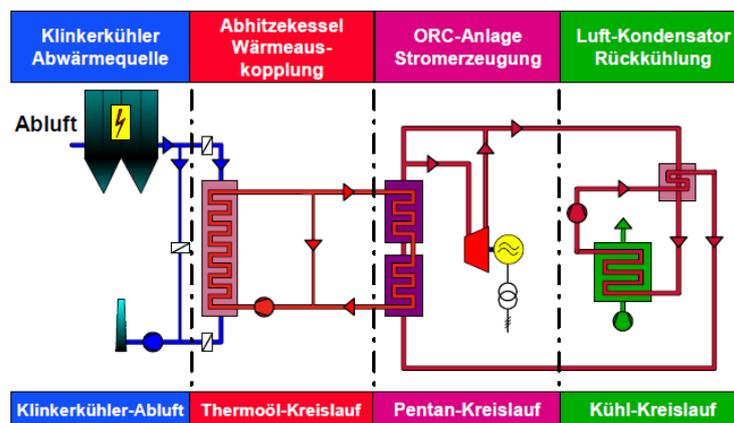


Abbildung 27: Schema der ORC-Anlage im Zementwerk Lengfurt (LfU, 2001 S. 18).

Die Gesamtinvestition im Jahr 1998 betrug rund 4 Millionen Euro<sup>20</sup>, wobei rund 1 Million Euro vom deutschen Bund gefördert wurde. Mit den jährlichen Betriebskosten von rund 60.000 Euro und einer Laufzeit von 300 Tagen im Jahr wurde eine Amortisationsdauer von 8 bis 10 Jahren berechnet (LfU, 2001 S. 78). Betrachtet man diese Amortisationsdauer, darf man die in dieser Zeit noch höheren spezifischen Anlagenkosten und den niedrigeren Strompreis nicht außer Acht lassen. Somit sind heute bei den richtigen Rahmenbedingungen kürzere Amortisationsdauern möglich.

<sup>20</sup> DM auf Euro im Verhältnis 1:2 umgerechnet.

### 2.7.3 Wärmepumpen

Hat die Abwärme eine zu niedrige Temperatur ist der Einsatz von Wärmetauschern und ORC-Systemen nicht mehr wirtschaftlich sinnvoll. In diesem Fall bietet die Wärmepumpe eine gute Lösungsmöglichkeit, um die Abwärme dennoch zu nutzen.

Das Prinzip der Kompressions-WP im Industriebereich ist mit jenem im Haushaltsbereich identisch. Lediglich der Antriebsmotor des Verdichters wird öfters mit dem Brennstoff Gas betrieben, als im Haushaltsbereich. Für die Abwärmenutzung ist die WP vor allem für die Niedrigtemperaturabwärme bis maximal 50 °C einsetzbar. Derzeit stehen Systeme mit einer thermischen Leistung von bis zu 34 MW und 75 °C Heiztemperatur zur Verfügung (Pehnt, 2010 S. 302). Allerdings nehmen für eine große thermische Leistung im Megawattbereich die Investitionskosten stark zu, denn der derzeitige Stand der Technik sind Anlagen im Kilowattbereich.

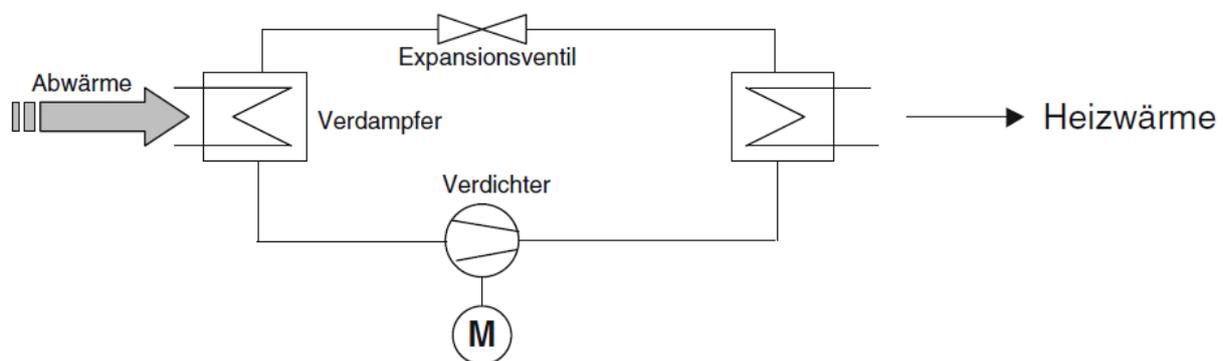


Abbildung 28: Schema eine Kompression-WP zur Abwärmenutzung (Pehnt, 2010 S. 229).

### 2.7.4 Nutzungskaskaden

Da die zuvor beschriebenen Systeme unterschiedliche Temperaturniveaus verwenden um die Abwärme weiter zu nutzen, kann es durchaus sinnvoll sein die Abwärme einer Abwärmemethodenmethode noch weiter zu nutzen. Daraus entstehen dann Nutzungskaskaden, welche das Ziel haben, die Abwärme möglichst vollständig zu nutzen. Anhand des folgenden fiktiven Beispiels wird eine Nutzungskaskade erklärt.

Die Abwärme des Klinkerkühlers in einem Zementwerk wird so gut wie möglich dem Klinkerofen zugeführt. Der nicht verwendbare Anteil wird einem ORC-Prozess zugeführt. Der daraus nicht verwendbare Anteil wird anschließend einer Wärmepumpe oder dem Fernwärmenetz zugeführt. Somit entsteht eine Nutzungskaskade, die die Abwärme des Zementwerkes bis auf ein Temperaturniveau absenkt, bei dem keine weitere sinnvolle Nutzung möglich ist.

### 2.7.5 Schlussfolgerung

ORC-Anlagen bieten für Abwärme mit mittlerem Temperaturniveau, welche im Betrieb nicht weiterverwendet werden kann, ein großes Potential um elektrische Energie zu erzeugen. Allerdings kann man durch die Prozessvielfalt in den einzelnen Industriebereichen keine pauschale Aussage über die Wirtschaftlichkeit machen. Hier gilt es individuelle Machbarkeitsstudien durchzuführen.

Die Möglichkeiten zur Abwärmenutzung sind vielfältig und bei konventionellen Technologien wie dem Wärmetauscher meistens einfach und wirtschaftlich realisierbar. Das größte Potential liegt in den energieintensiven Bereichen, wie Stahlerzeugung, Papier und Druck, Zementwerke, oder der Petrochemie. Allerdings ist im Einzelnen auch bereits die Nutzung der Abwärme aus kleineren Systemen, wie z.B. Kompressoren im Druckluftsystem, wirtschaftlich sinnvoll; vgl. (Allplan, 2008 S. 36ff).

## 2.8 Standby-Verluste im Haushaltsbereich

Die Reduzierung des Standby-Verbrauchs ist nicht direkt der elektrischen Energieeffizienz zuzuordnen, da im Standby elektrische Energie verbraucht wird, welche oftmals keinen oder nur einen geringen resultierenden Nutzen erzeugt.

Der Standby Verbrauch von Haushaltsgeräten ist nicht zu vernachlässigen. Laut Statistik Austria werden rund 4,2 % der Elektrizität für Standby verbraucht (Statistik Austria, 2009 S. 7). Der oberösterreichische Energiesparverband (OÖ-ESV) spricht sogar von 10 % (ESV, 2012). Die europäische Kommission definiert den Begriff Standby in der VERORDNUNG (EG) Nr. 1275/2008 vom 17. Dezember 2008 wie folgt:

*„Bereitschaftszustand“ (Standby) bezeichnet einen Zustand, in dem das Gerät mit dem öffentlichen Stromnetz verbunden ist, auf die Energiezufuhr aus dem öffentlichen Stromnetz angewiesen ist, um bestimmungsgemäß zu funktionieren, und nur folgende Funktionen zeitlich unbegrenzt bereitstellt:*

- *die Reaktivierungsfunktion oder die Reaktivierungsfunktion zusammen mit lediglich einer Anzeige, dass die Reaktivierungsfunktion aktiv ist, und/oder*
- *Information oder Statusanzeige.*

Das heißt im Standby ist die Leistungsaufnahme des Gerätes nicht null, wie es im komplett ausgeschalteten Zustand der Fall ist. Es gibt Geräte, welche im Standby einen Status oder Informationen anzeigen, wie beispielsweise die Uhrzeit am Herd. Allerdings gibt es auch Geräte, welche im Standby nur Energie verbrauchen und keinerlei Nutzen erbringen, wie beispielsweise PC-Monitore oder Drucker. Im Folgenden werden Maßnahmen vorgestellt, um den Standby-Verbrauch zu reduzieren (Zehnder, 2006).

- **Netztrennung**

Die komplette Unterbrechung vom Netz kann durch das direkte Abstecken des Netzsteckers erfolgen, durch Installation einer schaltbaren Steckdosenleiste oder Netzfreeschaltern.

- **Stromsparboxen**

Diese erkennen den Standby-Betrieb des Gerätes und trennen dieses automatisch von Netz. Die Stromsparbox wird zwischen Netz und Verbraucher seriell eingebaut.

- **Gerätetausch**

Neue Geräte dürfen laut EU Verordnung seit 2010 nur noch maximal 1 Watt ohne Informationsanzeige und 2 Watt mit Anzeige an Standby Verbrauch haben. Im Jahr 2013 wird dieser Wert noch auf 0,5 Watt ohne und 1 Watt mit Informationsanzeige gesenkt.

Für die Bewertung der Maßnahmen wird eine Standby-Zeit von 20 Stunden am Tag und ein Strompreis von 0,2 €/kWh angenommen. Es wird untersucht ob sich der Ersatz eines alten Gerätes im Bereich Unterhaltungselektronik und der Einsatz von einer Stromsparbox, dem Ecoman multi, lohnt. Die Standby-Leistung des Alt-Gerätes und des Computer, Monitor und Druckers sind Durchschnittsdaten des OÖ-ESV (ESV, 2012). Die Investitionskosten für ein neues Gerät im Bereich der Unterhaltungselektronik sind ebenfalls Durchschnittskosten für ein Geräte dieser Anwendung (ESV, 2012). Die Daten des Ecoman stammen direkt vom Hersteller (Getatron, 2012). Das Beispiel soll lediglich eine Orientierung hinsichtlich der wirtschaftlichen Sinnhaftigkeit darstellen.

Maßnahme	Gerätetausch		Installation eines Ecoman	
	Unterhaltungselektronik		Ecoman multi	Computer, Monitor, Drucker
	Altgerät	Neugerät		
Standby-Leistung [W]	10	1	0,3	20
Verbrauch [kWh/a]	73	7,3	2,19	146
Kosten [€/a]	14,6	1,46	0,44	29,2
Einsparung [€/a]	-	13,14	-	28,76
Investition [€]	-	150	50	-
Amortisationsdauer [a]	-	11,4	-	1,7

Tabelle 32: Bewertung der Maßnahmen eines Gerätetausches und der Installation eines Ecoman zur Standby-Reduktion (ESV, 2012), (Getatron, 2012).

In Tabelle 32 erkennt man, dass der Gerätetausch im Bereich der Unterhaltungselektronik nur um Standby-Verluste zu vermeiden, nicht sinnvoll ist. Die Amortisationsdauer des Ecoman ist als günstig einzustufen, besonders wenn mehrere Geräte damit abgeschaltet werden können, welche in Summe einen hohen Standby-Verbrauch haben. Investitionen sind hier aufgrund der kurzen Lebensdauer und des oftmaligen Gerätetausches generell zu hinterfragen.

Auch wenn ein Haushalt mit modernen 1 Watt-Geräten ausgestattet ist, verbraucht dieses Gerät im Jahr etwa 6,9 kWh für den Standby-Betrieb. In einer schweizerischen Studie fand

man heraus, dass in der kleinsten Haushaltsform, dem Single-Haushalt, durchschnittlich acht Geräte vorkommen, welche einen Standby-Verbrauch haben (Zehnder, 2006 S. 4). Legt man dieses Ergebnis auf alle österreichischen Haushalte um und geht im absolut besten Fall davon aus das alle Geräte modern sind und 1 Watt Standby-Leistung haben, erhält man bei 3,624 Millionen Haushalten noch immer einen Energieverbrauch von 200 GWh pro Jahr.

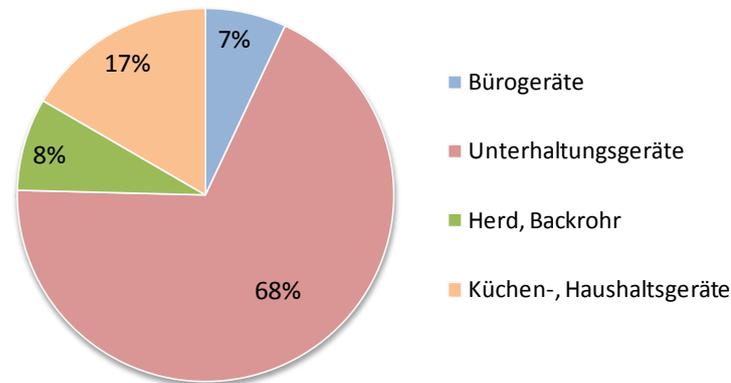


Abbildung 29: Aufteilung des Standby Verbrauch (Statistik Austria, 2009 S. 37).

Betrachtet man die Verteilung des Stand-by Verbrauchs im Jahr 2008 in Abbildung 29, so kann man davon auszugehen, dass der Standby Verbrauch für Unterhaltungselektronik durch die Marktdurchdringung der neuen Geräte langsam zurückgehen wird. Allerdings wird der Bereich von Herd, Backrohr und Küchen-, Haushaltsgeräte wachsen, da alte Geräte gar keinen Standby Verbrauch aufweisen, neue Geräte aber sehr wohl.

## 2.9 Zusammenfassung

Die Bedeutung der elektrischen Energieeffizienz wurde im letzten Abschnitt erläutert und ist unumstritten. In Tabelle 33 werden die zuvor beschriebenen Maßnahmen mit deren Reduktionspotential und wirtschaftlicher Sinnhaftigkeit, welche anhand der Amortisationsdauer gut bewertet werden kann, stark zusammengefasst und vereinfacht dargestellt.

Bereich	Maßnahmenbeschreibung	Energieeinsparung elektrisch	Wirtschaftliche Bewertung Amortisationsdauer
Beleuchtung	Tausch von Glühbirnen durch LED / ESL	≈ 78 %	Kurz, <2 J
	Generationenwechsel bei LSL von 26 mm T8 mit KVG durch 16 mm T5 mit EVG	≈ 30 %	Kurz, <2 J
Elektrische Antriebssysteme	Tausch kleiner bis mittlerer Motoren mit hohen Betriebsstunden durch Effizienzklasse IE3	≈ 2 - 10 %*	Kurz, <2 J
	Einsatz von Frequenzumrichtern, falls diese notwendig sind	≈ 20 - 70 %	Kurz, <2 J
Pumpensysteme	Verhindern von Überdimensionierung	≈ 10 %	Kurz, <2 J
	Pumpenregelung mit Drosselung oder falls möglich Polumschaltung	≈ 20% - 50 %	Kurz, <2 J
	Einsatz von FU mit effizienten Motoren in der Industrie	≈ 70 %	Mittel, 2 – 5 J
	Tausch von alten Umwälzpumpen durch EC Motorpumpen im Haushaltsbereich	≈ 50 - 65 %	Lang, 5 – 10 J
Druckluft-erzeugung	Tausch durch moderne Kompressorsysteme	≈ 9 %	k.A.
	Vermindern von Leckageverlusten	≈ 16 %	Kurz, <2 J
	Gesamtsystemtausch	≈ 33 %	Mittel, 2 – 5 J
Weiße Ware	Tausch von sehr alten Geräten durch Geräte der höchsten Effizienzklasse	k.A.	Mittel, 2 – 5 J
	Tausch von älteren Geräten durch Geräte der höchsten Effizienzklasse	k.A.	Lang, 5 – 15 J
Räumwärme	Ersatz einer Elektrospeicherheizung durch eine Wärmepumpe	≈ 65 % - 75 %**	Lang, 5 – 10 J
	Gesamtsanierung der Gebäudehülle für ein Altbau-Einfamilienhaus	≈ 75 %	k.A.
Industrielle Abwärme	Installation von Wärmetauschern	k.A.	Kurz, <2 J
	Installation einer ORC - Anlage	≈ 10 %***	Lang, 5 – 15 J

\* Je nach Motorengröße

\*\* Je nach der Qualität der Wärmequelle der Wärmepumpe

\*\*\* Reduktion der Gesamtstromaufnahme aus dem Netz im Zementwerk Lengfurt

**Tabelle 33: Zusammenfassung der Maßnahmen zur Effizienzsteigerung, sowie der wirtschaftliche Bewertung und Reduktionspotential.**

Zusammenfassend kann man sagen, dass ein Reduktionspotential überall vorhanden ist, aber die Umsetzung in manchen Bereichen durch lange Amortisationsdauern gehemmt wird. Weiters gibt es zahlreiche Maßnahmen, welche keinerlei Investition erfordern, sondern lediglich einen bewussten Umgang mit dem Gut der Elektrizität.

### 3. Power Demand Side Management (PDSM)

Die Definition des Begriffs PDSM bzw. Demand Side Management (DSM) wird im Abschnitt 1 genau erklärt. Zur Wiederholung sei erwähnt, dass der Begriff DSM stellvertretend für die zwei Maßnahmen Direct Load Control (DLC) und Demand Response (DR) verwendet wird.

#### 3.1 Der Zweck von DSM

Der Stromverbrauch der Endverbraucher unterliegt über den Tag und übers Jahr gesehen zeitlichen und saisonalen Schwankungen. So fällt die Tagesspitzenlast in Österreich bzw. in Zentraleuropa im Sommer zur Mittagszeit und im Winter in den Abendstunden an, während in den Nachtstunden eine deutlich geringe Nachfrage vorhanden ist.

Eine Eigenschaft der elektrischen Energie ist es, dass diese bedarfsgerecht produziert werden muss, da derzeit wirtschaftliche Speichermöglichkeiten für große Energiemengen fehlen. Um das ständige Gleichgewicht zwischen Energieerzeugung und Energieverbrauch zu sichern, müssen neben der planmäßigen Energiebereitstellung zusätzliche Kraftwerkskapazitäten, so genannte Reservekapazitäten, bereitgestellt werden. Diese sollen als Primär-, Sekundär- und Minutenreserve das Gleichgewicht zwischen Erzeugung und Verbrauch sicherstellen. Um dieses Gleichgewicht zu halten gibt es prinzipiell zwei Möglichkeiten. Man passt die Erzeugung dem Verbrauch an, oder den Verbrauch an die Erzeugung. Eine verbraucherseitige Anpassung kann durch DSM erfolgen. In Tabelle 34 sind die dadurch entstehenden Handlungsmaßnahmen für eine Leistungsknappheit und einen Leistungsüberschuss dargestellt.

Fall	Leistungsknappheit		>	Leistungsüberschuss				
	Nachfrage	Angebot		Nachfrage	Angebot			
Maßnahmen	DSM ↓↓	oder		Erzeugung ↑↑	oder	DSM ↑↑	oder	Erzeugung ↓↓
Effekt	Verbrauchs- senkung			Erzeugungs- anstieg		Verbrauchs- anstieg		Erzeugungs- rückgang

Tabelle 34: DSM Einsatz bei Ungleichgewicht zwischen Erzeugung und Verbrauch.

Herrscht zwischen Angebot und Nachfrage ein Ungleichgewicht, welches nicht kompensiert wird, entsteht eine kritische Situation für die Energieversorgung. Engpässe können beispielsweise durch einen Kraftwerks- oder Leitungsausfall auftreten oder aber auch zu Zeitpunkten besonders großer Nachfrage (Spitzenlastzeitpunkt). Mit DSM kann nun trotz dieser Umstände ein sicheres und stabiles Stromversorgungssystem erhalten bleiben, ohne dass eine zusätzliche Kraftwerkskapazität in Anspruch genommen werden muss. Das soll erreicht werden, indem in diesen kritischen Zeitpunkten bestimmte Endverbraucher gedrosselt werden. Beispielsweise wird diese Drosselung erreicht, indem Geräte im Haushalt oder Prozesse in der Industrie zeitverzögert zum Engpass ablaufen und somit die Last temporär reduziert wird. Besteht allerdings ein Leistungsüberschuss, wie beispielsweise durch eine starke Produktion der erneuerbaren Energien in der Schwachlastzeit, soll es mit Hilfe von

DSM möglich sein, diese derzeit vorhandene Leistung zu nutzen, indem beispielsweise Prozesse in der Industrie vorgezogen werden.

Durch diese Verschiebung der Nachfrage ergibt sich die Möglichkeit, von einer unelastischen zu einer elastischen Nachfrage zu wechseln. Als Resultat wird die Nutzung der vorhandenen Energieversorgung optimiert. Allerdings kann man beispielsweise die benötigte Energiemenge, um Licht in den Abendstunden zu erzeugen nicht verschieben, da das Licht in genau diesem Moment benötigt wird. Die Elastizität der Nachfrage und damit das Potential von DSM sind somit begrenzt.

### 3.1.1 Klassische Anforderungen

Die klassischen Anforderungen an DSM sind vor allem die Reduktion von Lastspitzen, wodurch ein gleichmäßiger Energieverbrauch erreicht werden soll. Anhand des fiktiven Beispiels in Abbildung 30 links erkennt man, dass die Lastspitze am Abend, durch die Steuerung des Energieverbrauchs der Verbraucher, auf den frühen Morgen bzw. in den Vormittag verschoben wird. Dadurch werden Verbrauchsspitzen entfernt und es wird ein gleichmäßigerer Energieverbrauch erreicht, wie man anhand der Jahresdauerlinie<sup>21</sup> in Abbildung 30 rechts erkennt.

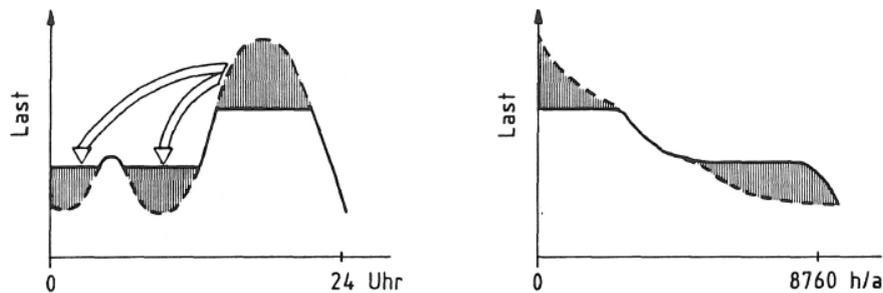


Abbildung 30: Prinzip von DSM. [Links: Lastverschiebung innerhalb eines Tages.](#) [Rechts: Auswirkungen auf die Dauerlinie eines Jahres \(Wagner, 1989\).](#)

Ebenso erkennt man anhand der Jahresdauerlinie, dass die jährliche Spitzenlast nur wenige Stunden im Jahr auftritt. In Österreich trat im Jahr 2006 die maximale Lastspitze von 9480 MW auf, wobei eine Leistung höher als 9080 MW nur 35 Stunden im Jahr auftrat (Stigler, et al., 2013 S. 7), vgl. Seite 90 Abbildung 37.

Da aber das Angebot an Kraftwerkskapazitäten an die maximal mögliche Nachfrage angepasst sein muss, gilt es diese Spitzenlast zu vermeiden um Ressourcen zu schonen und Spitzenlastkraftwerke nicht bauen zu müssen. Um ein Energiegleichgewicht zu erhalten kann man somit in Spitzenlastzeiten Kraftwerkskapazitäten bereitstellen oder die verbraucherseitige Last beeinflussen.

Es ist wichtig anzumerken, dass dadurch keine Energie eingespart wird, sondern die vorhandene Energie zeitversetzt genutzt wird, wodurch es zu einer optimierten Ressourcen-

<sup>21</sup> Die Jahresdauerlinie zeigt, welche Energiemenge für wie viele Stunden im Jahr nachgefragt wurde.

nutzung kommt. Diese Vergleichmäßigung des Lastprofils hat für die Elektrizitätsunternehmen entscheidende Vorteile (Gutschi, et al., 2008 S. 4):

- Der Kraftwerkspark wird besser ausgelastet.
- Verringern von Reservekraftwerkskapazitäten.
- Die ohmschen Leitungsverluste ( $i^2R$ ) im Netz können theoretisch gesenkt werden.
- Auf der Verbraucherseite besteht die Möglichkeit, einen günstigeren Strompreis zu erhalten, wenn man seinen Verbrauch in die Schwachlastzeit verschiebt.

Durch DSM kann positive und negative Reserveleistung bereitgestellt werden (FfE, 2010 S. 2). Positive Reserveleistung kann durch Abschalten oder Minimieren der Nachfrage der laufenden Stromverbraucher bereitgestellt werden. Negative Reserveleistung kann durch Einschalten oder Erhöhen der Nachfrage der Stromverbraucher bereitgestellt werden.

### 3.1.2 Zukünftige Anforderungen

Die klassischen Anforderungen gehen von einer Stromproduktion aus, welche bedarfsgerecht aus Öl, Gas oder auch Kohle erfolgt. Durch den wachsenden Anteil an erneuerbaren Energien in der Stromerzeugung wird elektrische Energie mehr und mehr dargebotsabhängig. Dadurch weist die Stromerzeugung einen wachsenden fluktuierenden Anteil auf.

So erzeugen Windkraftwerke bei Starkwind viel Strom und müssten, wenn nicht kurzfristig der Stromverbrauch angehoben wird, abgeschaltet werden. Steht nun bei Starkwind eine negative Reserveleistung zur Verfügung, kann man die aktuell verfügbare Leistung nutzen, wenn man Verbraucher mit negativer Reserveleistung aktiviert.

Bei den zukünftigen Anforderungen stehen weniger die Reduzierung von Lastspitzen und das Auffüllen von Lasttälern im Vordergrund, sondern eine flexible kurzfristige Reaktion der Verbraucher auf das Einspeiseverhalten der erneuerbaren Energien. In diesem Zusammenhang wird auch von einer flexiblen Lastgangkurve auf der Verbraucherseite gesprochen und somit von einer elastischen Nachfrage. (Stadler, 2003 S. 7-9)

### 3.2 Methoden für DSM

Beim DSM gibt es verschiedene Möglichkeiten, die bereits in den vorherigen Abschnitten erwähnten, gewünschten Effekte zu erreichen. Nachfolgend werden verschiedene Methoden basierend auf (Charles River Associates, 2005 S. 6,7) beschrieben.

Beim **Peak Clipping** werden die Lastspitzen aus dem Lastgang entfernt, indem beispielsweise nicht benötigte Lasten kurzfristig abgeschaltet oder reduziert werden. Man spricht von Lastabwurf oder Lastreduktion. Der Energiebedarf wird nicht nachgeholt. Peak Clipping kann auch durch Maßnahmen hinsichtlich der Energieeffizienz langfristig erreicht werden.

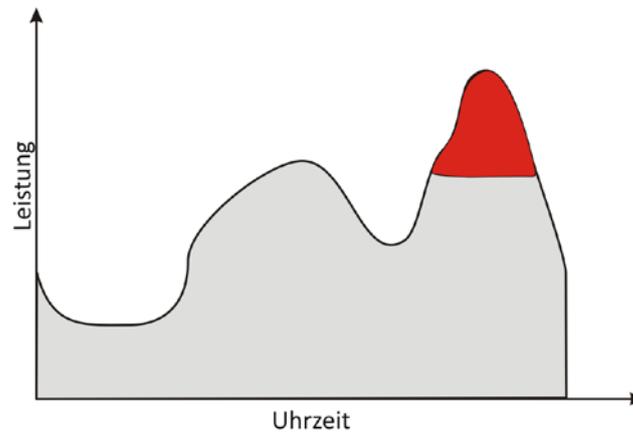


Abbildung 31: Peak Clipping

Das **Valley Filling** versucht die Lasttäler durch zuschalten von Lasten zu füllen. Beispielsweise könnten verschiedene Prozesse vorwiegend in der Nachtzeit eingeschaltet werden, wie Abbildung 32 zeigt.

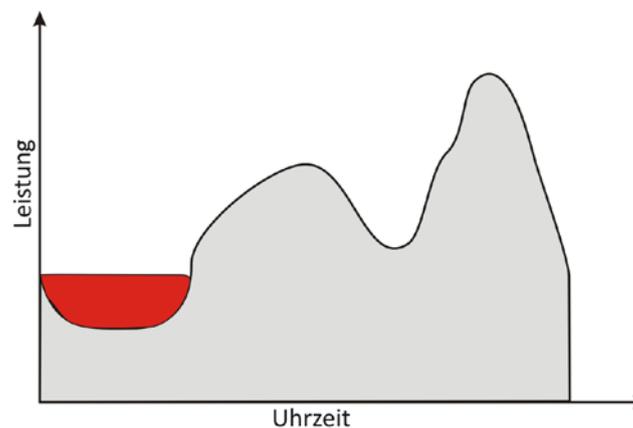


Abbildung 32: Valley Filling

Beim **Load Shifting** (Lastverschiebung) geht es um die zeitliche Verschiebung von Lasten, beispielsweise von Spitzen- zu Schwachlastzeiten. Der zeitliche Abruf der nachgefragten Energie ist variabel, aber die nachgefragte Gesamtmenge bleibt konstant. Die benötigte Energiemenge wird entweder an einem früheren oder einem späteren Zeitpunkt abgerufen. Es wird dadurch keine Energie eingespart sondern nur zeitlich verschoben, wie Abbildung 33 zeigt.

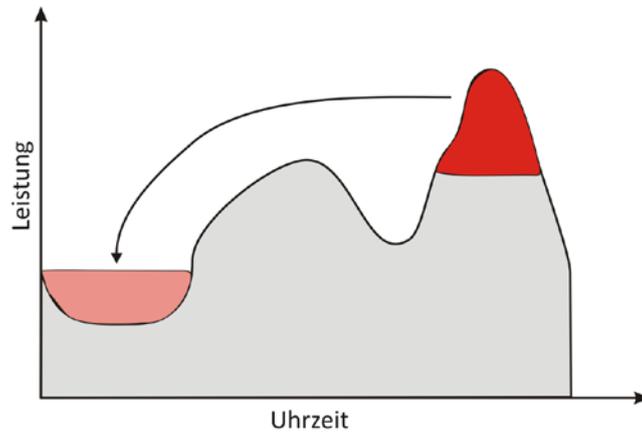


Abbildung 33: Load Shifting

Beim **Flexible Load Shaping** will man eine maximal mögliche flexible Last erreichen, welche sich vollkommen an die fluktuierende Erzeugung anpasst. Dies kann zu deutlichen Lastspitzen im Netz führen. Diese Methode dürfte für die zukünftigen Anforderungen an die Stromproduktion einer der wichtigsten DSM Methoden sein, wie im Abschnitt 3.1.2 beschrieben wurde.

### 3.3 DSM im Haushaltsbereich

Der Haushaltsbereich liefert einen wesentlichen Betrag zur DSM-Nutzung. Deswegen werden nachfolgend ausgewählte Gebiete im Haushaltsbereich vorgestellt, welche sich für DSM eignen.

#### 3.3.1 Heizungssysteme

Insgesamt bieten Heizungssysteme ein großes Potential für DSM, da durch verschiedene Wärmespeicher eine Lastverschiebung nicht direkt auffällt. **Elektrische Speicherheizungen** wie der Nachtspeicher wandeln elektrische Energie in Wärme um und speichern diese in einem Medium, wie beispielsweise Magnesit oder Wasser. Ursprünglich sollten Nachtspeicher nur in der Niedriglast aufgeheizt werden. Doch nun fördert der deutsche Energiekonzern RWE ein Comeback der alten Technik, um sie als Energiespeicher für schwankende Strommengen aus Windkraft zu nutzen, welche als „Windheizung“ vermarktet wird (RWE, 2012). In Deutschland waren 1996 rund 2,4 Millionen Nachtspeicherheizungen mit etwa 35 GW installiert (DENA, 2010 S. 414). Da bei Neubauten diese Technik nicht mehr sehr oft verwendet wurde und alte Systeme teilweise getauscht wurden, kann man von einer heute konstanten Anzahl sprechen, welche schon zum Teil mit Rundsteuersignalen gesteuert werden (DENA, 2010 S. 414). In Frankreich ist dieses Potential wesentlich größer, da sehr viele elektrische Heizungssysteme im Einsatz sind. Bei elektrischen Speicherheizungen kann der Leistungsbedarf um bis zu zwölf Stunden vorgezogen oder nachgeholt werden (Gils, 2013 S. 8).

Bei Gas- und Ölheizungen wird das aufgewärmte Wasser mit einer **Umwälzpumpe** im Wärmekreislauf verteilt. Da dieser Wärmekreislauf und seine Umgebung ein thermisches Speicherpotential besitzen, führt ein Ausschalten der Pumpen für eine bestimmte Zeit, je nach Gebäudestandard, nicht sofort zu einem Absinken der Raumtemperatur. Allerdings haben Umwälzpumpen nur ein positives DSM-Potential, da nur das Abschalten wirtschaftlich einsetzbar ist. (DENA, 2010 S. 415) Der Zeitraum für die Verzögerung des Einsatzes der Heizungsumwälzpumpe beträgt bis zu zwei Stunden (Gils, 2013 S. 8). **Wärmepumpen** sind ähnlich den Umwälzpumpen, da der beheizte Raum als Speicher angesehen werden kann (DENA, 2010 S. 415).

Das DSM-Potential von Heizungssystemen ist stark von der Jahreszeit abhängig. So ist im Allgemeinen im Winter mehr und im Sommer weniger Nutzungspotential vorhanden. Beispielsweise sind bei Nachtspeicherheizungen, wegen der Überhitzungsgefahr, im Sommer so gut wie keine Speicherpotentiale vorhanden (DENA, 2010 S. 414).

#### 3.3.2 Warmwasserbereitung

Das elektrische Aufheizen eines **Warmwasserspeichers** kann den Warmwasserbedarf für längere Zeit decken. Bei ausreichend aufgeheiztem Warmwasser kann somit auf eine Stromaufnahme für längere Zeit verzichtet werden, während bei nicht vollständig aufgeheiztem Speicher eine Stromaufnahme erfolgen kann. (DENA, 2010 S. 416) Hinsichtlich

der zeitlichen Verzögerung des Einsatzes verhalten sich Warmwasserspeicher gleich wie elektrische Speicherheizungen (Gils, 2013 S. 8).

### 3.3.3 Kühlungssysteme

**Kühlschränke** und **Gefriertruhen** bieten durch den gekühlten oder gefrorenen Inhalt eine Wärmekapazität, wodurch das Gerät für einen bestimmten Zeitraum außer Betrieb genommen werden kann. Die Temperatur des Inhaltes ändert sich darauf nicht unmittelbar, somit kann der Strombedarf vorgezogen oder nachgeholt werden. Negative Regelleistung steht kürzer als positive Regelleistung zur Verfügung, da die Kühlung wesentlich schneller erfolgt als die Erwärmung. (DENA, 2010 S. 416,417) **Klimaanlagen** nehmen immer mehr zu. Sie sind technologisch ähnlich zu den Wärmepumpen und stellen somit ein gut steuerbares DSM Potential dar. Die Verzögerung der Leistungsaufnahme zum Kühlen, Gefrieren und Klimatisieren kann bis zu zwei Stunden betragen (Gils, 2013 S. 8).

### 3.3.4 Sonstige Haushaltsgeräte

Haushaltsgeräte wie **Wäschetrockner** oder **Waschmaschinen**, weisen keine Speichermöglichkeit auf. Um dennoch ein Potential zu erzeugen, kann die Nutzung beeinflusst werden, indem ein Prozess unterbrochen oder zeitlich verschoben wird. Dadurch entsteht ein möglicher direkt bemerkbarer Komfortverlust beim Endverbraucher. (DENA, 2010 S. 417) Die zeitliche Verschiebbarkeit der Anwendung ist vorwiegend vom Verhalten des Endverbrauchers abhängig.

Andere Haushaltsanwendungen wie beispielsweise die Raumbeleuchtung oder die Nutzung von Unterhaltungselektronik können zeitlich nicht verschoben werden, da der Endverbraucher die Dienstleistung in diesem Moment benötigt. Somit haben diese Anwendungen kein nutzbares DSM-Potential.

### 3.3.5 Zusammenfassung

Die technischen DSM-Potentiale im Haushaltsektor sind stark durch Jahreszeiten und Tageszeiten geprägt. Den größten Anteil am Gesamtpotential haben elektrische Wärmeanwendungen, welche ihre Leistungsaufnahme für bis zu zwölf Stunden verschieben können. Das ist vor allem dadurch bedingt, dass Benutzer aufgrund der Energiespeicherfähigkeit dieser Systeme keine oder nur geringe Auswirkungen durch eine Leistungsaufnahmeverlagerung bemerken und somit nicht direkt als störend empfinden und keinen Komfortverlust erleiden. Das Potential von den anderen Haushaltsgeräten ist als gering einzustufen, wobei Kühl- und Gefriergeräte hier noch am besten geeignet scheinen (Brauner, 2006 S. 57,58), wobei ihre Zeitspanne zur DSM-Nutzung ebenfalls gering ist.

Zudem müssen Systeme welche keine Energiespeicherfähigkeit aufweisen, wie beispielsweise Waschmaschinen, aufwendiger angesteuert werden, als Systeme mit Speicherfähigkeit, um ihr DSM-Potential abrufen zu können. Die Umwälzpumpe ist bedingt

durch ihre hohen Betriebsstunden die einzige Anwendung von den oben beschriebenen, welche eine nur eine Lastreduktion erlaubt.

Man kann davon ausgehen das sich die DSM Potentiale in Zukunft etwas anders zusammensetzen werden als heute, da die Energieeffizienz von Haushaltsgeräten zunimmt und somit das Potential in den beschriebenen Bereichen abnimmt<sup>22</sup>. Neue Potentiale werden sich vor allem durch Klimageräte und Wärmepumpen erschließen, welche hervorragend zum Lastmanagement geeignet sind (FHNW/ETH, 2012).

### **3.4 DSM im Industriebereich**

Im Jahr 2010 verbrauchte die Industrie in Österreich 44 % der elektrischen Endenergie und ist damit der größte und interessanteste Bereich um DSM einzusetzen. In energieintensiven Industriebranchen kann man sich durch einzelne Unternehmen beachtliche Kapazitäten sichern. Vergleichbare Kapazitäten im kleinen Gewerbe oder in Haushalten sind nur durch erheblichen Mehrkostenaufwand erreichbar, wie im Abschnitt 3.6.6 genauer ausgeführt wird.

Doch nicht alle Prozesse sind für DSM geeignet. In Deutschland werden lediglich 24 % des industriellen Stromverbrauchs durch Anwendungen hervorgerufen, welche sich besonders gut für DSM eignen (DENA, 2010 S. 419). Besonders interessant sind die Industriebereiche Stahl, Papier, Zement, Steine, Erden, Aluminium, und Chemie. Wendet man DSM in Industriebetrieben an, ist der wichtigste Punkt, dass die betriebliche Wertschöpfung dadurch nicht beeinträchtigt wird.

In den nächsten Punkten werden zuerst der Energiedienstleistungsspeicher, sowie die Variation der Eigenstromproduktion erklärt. Danach werden die wichtigsten technischen Möglichkeiten zum DSM-Einsatz in den zuvor erwähnten Industriebranchen beschrieben. Abschließend werden Querschnittstechnologien kurz angerissen. Da die Produktionsschritte in jedem Betrieb unterschiedlich ausgeführt sind, können nur ausgewählte Bereiche für jeden Industriesektor dargestellt werden.

#### **3.4.1 Energiedienstleistungsspeicher**

Gerade im Industriebereich besteht das Problem, dass ein mögliches Abschalten der kompletten Produktionskette hohe Kosten verursacht. Die elektrische Energie treibt hier Produktionsschritte an, welche ein Zwischenprodukt erzeugen. Dieses wird in den nachgelagerten Prozessen weiterverarbeitet bis zum fertigen Produkt. Besteht nun die Möglichkeit, dass ein Prozess mehr Ausbringungsmenge erzeugt als der nachgelagerte Teilprozess aufnehmen kann, so können dazwischen Speicher eingefügt werden. Dadurch wird es ermöglicht, einzelne Prozesse, bis auf den limitierenden Prozess, abzuschalten, ohne das die Produktionskette unterbrochen wird. Die zuvor erwähnten Speicher werden

---

<sup>22</sup> Ohne Betrachtung einer möglichen Zweitgerätsanschaffung.

Energiedienstleistungsspeicher (EDLS) genannt (Gutschi, et al., 2008 S. 4,5). Somit wird eine Entkopplung zwischen dem Stromverbrauchs- und Dienstleistungszeitpunkt erreicht.

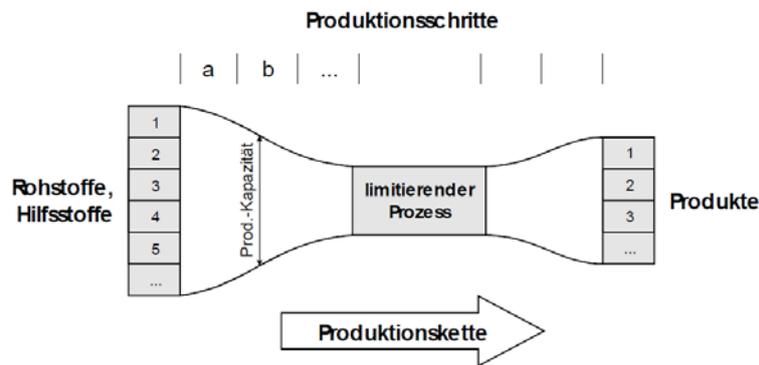


Abbildung 34: Produktionskapazitäten in der Produktionskette (Gutschi, et al., 2008 S. 5).

In Abbildung 34 ist der zuvor beschriebene Vorgang schematisch dargestellt. Der limitierende Prozess wird nicht unterbrochen, die vor- bzw. nachgelagerten Prozesse können unterbrochen werden, ohne einen Wertschöpfungsverlust zu erleiden.

Beispiele von EDLS sind auf Lager gelegte Vorproduktionen, Bunker oder Tanks. Diese sind oft kurzfristig und kostengünstig realisierbar. Als Nachteil sind eventuelle Verluste in der Zwischenspeicherung der Dienstleistung zu erwähnen. EDLS bedeuten aber auch Investitionen in Speicherkapazitäten, zusätzlichen logistischen Aufwand oder zusätzliches Personal. (Gutschi, et al., 2008 S. 4,5)

### 3.4.2 Variation der Eigenstromproduktion

Viele Industriebetriebe betreiben eigene Generatoren, um Strom zu produzieren, oder haben Notstromaggregate im Einsatz, um bei einem netzseitigen Stromausfall die Produktion nicht zu gefährden. Durch DSM könnten diese Erzeugungseinheiten von außerhalb des Betriebs gesteuert werden, und so in den Netzbetrieb eingebunden werden. Speziell bei Notstromaggregaten ergibt sich der Vorteil, dass diese dadurch regelmäßig betrieben werden und somit auf Funktionsfähigkeit geprüft werden. (Stigler, et al., 2013 S. 13)

### 3.4.3 Zement-, Stein- und Erdindustrie

In diesen Industriebranchen wird der Stromverbrauch durch verschiedene Mahlprozesse, Abscheider, Siebe oder Fördereinrichtungen geprägt. In der Zementindustrie ist der limitierende Prozess der Klinkerprozess. Sonst sind keine nennenswerten limitierenden Prozesse vorhanden. Somit lassen sich durch den Einsatz von EDLS, wie Halden oder Silos, die restlichen Produktionsschritte zeitlich nahezu beliebig ab- oder zuschalten. Ein Vorteil ist es, dass diese Geräte oft sehr einfach aufgebaut sind und ihre Ansteuerung einfach und kostengünstig erfolgen kann. Ebenso ist die Errichtung der EDLS kostengünstig und wirtschaftlich, da die Stromkosten einen der wesentlichsten Kostenanteile in diesen Branchen darstellen. (Stigler, et al., 2013 S. 16,17)

### 3.4.4 Chemieindustrie

Ein wesentliches Gut in der Chemieindustrie ist Chlor. Zur Herstellung von Chlor mittels der Chloralkalielektrolyse werden drei Verfahren eingesetzt, welche mit rund 7400 Jahresbetriebsstunden eine hohe Auslastung aufweisen und sehr energieintensiv sind. Chlor kann nicht gelagert werden, wodurch die Reduktion des Strombedarfs nur in einem begrenzten Zeitraum möglich ist. Die hohe Auslastung und die mangelnde Speicherfähigkeit senken das DSM Potential erheblich. Dennoch kann der Strombedarf für einen kurzen Zeitraum von ein bis zwei Stunden um bis zu 40 % reduziert werden (DENA, 2010 S. 422). Ein weiterer energieintensiver Prozess ist die Herstellung von Calciumcarbid. Dieses wird in Schmelz-Reduktionsöfen gewonnen, welche ebenfalls für DSM verwendet werden können. (Stigler, et al., 2013 S. 18)

### 3.4.5 Stahlindustrie

In der Stahlindustrie ist das Elektrostahlverfahren besonders energieintensiv. Hier wird das Alteisen mittels Wärme, welche durch Induktion aus elektrischer Energie erzeugt wird, zum Schmelzen gebracht. Der Schmelzprozess im Lichtbogenofen ist zu 100 % flexibel und kann theoretisch jederzeit unterbrochen werden (DENA, 2010 S. 423). Durch das Abschalten verlängert sich aber die Schmelzdauer und somit erhöht sich die gesamte Energieaufnahme. Der Schmelzvorgang muss nach einer 30-minütigen Unterbrechung komplett neu gestartet werden (DENA, 2010 S. 423). Da ein einziger Schmelzofen eine Leistungsaufnahme von 30 bis 40 MW hat, sind diese zur DSM-Nutzung besonders interessant (Stigler, et al., 2013 S. 18).

### 3.4.6 Aluminiumindustrie

Ein wesentlicher und stromintensiver Prozess in der Herstellung von Aluminium ist die Elektrolyse. Diese erfolgt nahezu ununterbrochen in Volllast im Jahr und ist der stromintensivste Prozess in der Aluminiumproduktion. Die Lastganglinie dieses Prozesses ist nahezu horizontal. Die Lagerung von Aluminium ist durch die hohen Kosten des dadurch gebundenen Kapitals und den entgangenen Zinsen nicht wirtschaftlich. Eine vollständige Prozessunterbrechung ist sehr zeit- und kostenintensiv und kommt somit nicht in Frage. Eine mögliche Lastreduktion ist um bis zu 60 % möglich, wird aber aus Sicherheitsgründen nur mit 25 % Lastreduktion realisiert. Dieser Anteil kann aber bis zu vier Stunden genutzt werden. (DENA, 2010 S. 423)

### 3.4.7 Papierindustrie

In der Papierindustrie werden verschiedene Technologien verwendet, um das Produkt Papier herzustellen. Für DSM ist die Stoffaufbereitung, welche durch Refiner<sup>23</sup> und Holzschleifmaschinen erfolgt, besonders interessant. Die einzelnen Mahlwerke lassen ähnlich gut wie in der Zementindustrie steuern. Nicht geeignet sind Papiermaschinen aufgrund ihrer langen Aktivierungsdauer, sowie Streichanlagen und Kalander aufgrund ihres niedrigen Energieverbrauchs (DENA, 2010 S. 424). Alleine eine Holzschleifmaschine hat eine Leistung von 3 bis 5 MW und ein papiererzeugender Betrieb hat im Schnitt fünf Stück im Einsatz (Stigler, et al., 2013 S. 17).

### 3.4.8 Querschnittstechnologien

Das Anwendungsgebiet dieser Technologien ist nicht auf eine bestimmte Branche beschränkt. Beispiele sind Druckluft-, Kälteerzeugungssysteme oder Ventilatoren. Bei Druckluftsystemen kann ein EDLS sehr einfach durch eine Installation eines Druckluftbehälters oder durch Vergrößerung eines bestehenden Behälters realisiert werden. Viele dieser Systeme sind jedoch speziell auf die Unternehmen abgestimmt, wodurch eine einzelne Systembetrachtung vor der DSM-Nutzung durchzuführen ist.

---

<sup>23</sup> Als Refiner bezeichnet man Maschinen, welche für das Mahlen der Fasern für die Papierherstellung eingesetzt werden.

### 3.5 Aktuelle DSM Kapazitäten in Kontinentaleuropa

Die ENTSO-E (European Network of Transmission System Operators for Electricity) ist der Verband der europäischen Übertragungsnetzbetreiber. Diese Übertragungsnetzbetreiber sind für den zuverlässigen Betrieb des Übertragungsnetzes im jeweiligen Netzgebiet verantwortlich. Der Zusammenschluss der ENTSO-E ist kein rein technischer Zusammenschluss zu einem großen Verbundnetz, da das ehemalige kontinentaleuropäische UCTE-Netz mit den anderen Verbundnetzen, wie beispielsweise dem NORDEL-Netz, zueinander asynchron sind. Diese Netzteile sind mit Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungen (HGÜ) verbunden.

Im Zuge der jährlichen Prognosen der ENTSO-E wurden auch Prognosen für DSM-Kapazitäten anhand der gemeldeten und erhobenen Werte erstellt. In Tabelle 35 sind die Werte dieser Prognose aus dem Jahr 2012 für das ehemalige UCTE-Netz enthalten (ENTSOE, 2012).

Land	Lastmanagement-Maßnahmen (MW)			
	2012	2015	2016	2020
Belgien	410	430	440	460
Deutschland	300	300	300	300
Frankreich	3000	3000	3000	3000
Griechenland	500	700	800	1000
Italien	4000	4000	4000	4000
Luxemburg	200	200	200	200
Niederlande	1000	1000	1000	1000
Serbien	150	150	150	150
Spanien	2300	2700	2700	3000
Ungarn	400	500	500	500
<b>UCTE (Summe)</b>	<b>12260</b>	<b>12980</b>	<b>13090</b>	<b>13610</b>

Tabelle 35: Kapazitäten der Lastmanagement-Maßnahmen, die in den jeweiligen Ländern eingesetzt und an die ENTSO-E gemeldet wurden, sowie deren Prognose (ENTSOE, 2012).

Ausgehend von den erhobenen und gemeldeten Werten wurde von der ENTSO-E eine Prognose für die Entwicklung der DSM-Kapazitäten simuliert (ENTSOE, 2012). Es wurden jeweils die maximal möglichen Kapazitäten zur Lastreduktion für jedes Jahr, unabhängig von der Tageszeit dargestellt. In Tabelle 35 wurden nur UCTE Länder angeführt, für welche Werte vorliegen. Bei dieser Auswertung bleibt jedoch zu beachten, dass Länder wie Polen, Rumänien, Schweiz und Slowenien ebenfalls Lastmanagement betreiben diese Kapazitäten jedoch anscheinend nicht an die ENTSO-E gemeldet wurden (Gutschi, et al., 2008 S. 12).

Die erhobenen Kapazitäten und Prognosen geben jedoch nur einen Richtwert vor, da zum einen nicht alle Länder ihre verwendeten DSM gemeldet haben und zum anderen keine tiefgehenden Potentialerhebungen bei der Kapazitätsentwicklung, wie bei den folgend vorgestellten Studien im nächsten Abschnitt, durchgeführt wurden.

### 3.6 DSM-Potentiale

Da sich DSM im europäischen Bereich noch im Anfangsstadium befindet, soll in diesem Abschnitt anhand einer Literaturrecherche bestehender Studien abgeschätzt werden, wie hoch die für DSM einsetzbaren Potentiale sind. Die Definition der verschiedenen Potentialbegriffe wurde in Anlehnung an (Piot, 2006) und (Gobmaier, et al., 2010 S. 10, 11) erarbeitet. Die für diese Arbeit relevanten Potentialbegriffe sind das theoretische, das technische, das wirtschaftliche, das praktische und das realisierte Potential.

Das **theoretische Potential** beschreibt das physikalisch nutzbare Energieangebot, welches durch DSM entsteht. Das **technische Potential** ist jenes theoretische Potential, welches unter Berücksichtigung von technischen Restriktionen der Anwendungen nutzbar ist. Das **wirtschaftliche Potential** ist der Anteil am technischen Potential, den man erhält wenn man die Gesamtkosten für das Energieangebot durch DSM berechnet und diese Gesamtkosten in der gleichen Bandbreite mit alternativen Systemen liegen, also mit ihnen konkurrieren können. Das **praktische Potential** ist jenes, welches zum einem durch den Stand der Technik umsetzbar ist und eine entsprechende Akzeptanz des Endverbrauchers erhält. Durch Hemmnisse und die begrenzte Ausbaugeschwindigkeit entsteht dadurch das **realisierte Potential**, welches nun bereits tatsächlich verwendet wird. Abbildung 35 stellt die Potentialbegriffe grafisch dar.

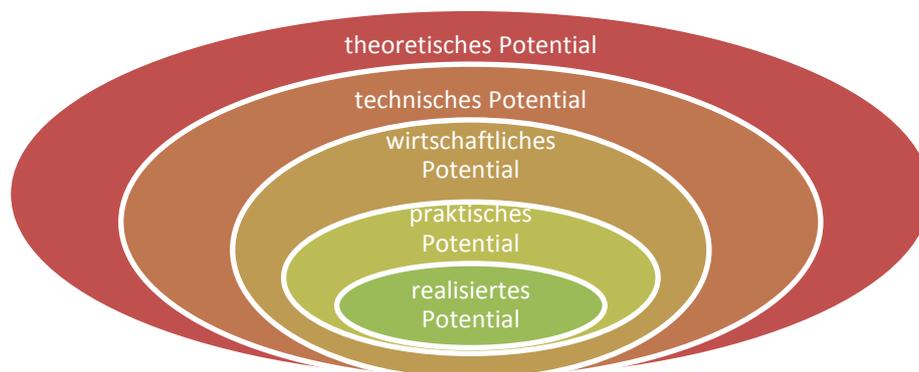


Abbildung 35: Darstellung der Potentialbegriffe.

Um die Potentialbegriff besser verständlich zu machen werden diese in Tabelle 36 anhand des Beispiels eines Kühlschranks erklärt.

Potential	Beschreibung
Theoretisch	Anzahl der Kühlschränke
Technisch	Einschränkungen der Steuerbarkeit und z.B. fehlende Infrastruktur
Wirtschaftlich	Die Investitionen in neue DSM-Kapazitäten müssen rentabel sein.
Praktisch	Hemmnisse, wie befürchtete Komfortverluste, verhindern den Einsatz durch den Endverbraucher.
Realisiert	Aktuell nutzbare DSM-Kapazität bei Kühlschränken.

Tabelle 36: Potentialbegriffe anhand eines Kühlschranks erklärt.

Abschließend muss noch angemerkt werden, dass in machen Studien nur von Potential ohne genauere Definition gesprochen wird bzw. eine eigene, abweichende Definition gewählt wurde.

### 3.6.1 Potentiale in Deutschland

Die Deutsche Energieagentur (DENA) hat in Kooperation mit dem Energiewirtschaftlichen Institut (EWI) der Universität Köln im Rahmen der Netzstudie 2 eine umfangreiche Analyse der DSM-Potentiale in Deutschland im Jahr 2010 durchgeführt.

Da der Stromverbrauch relevanter Prozesse im Haushaltsbereich keine hinreichenden Rückschlüsse auf das Potential zulässt, wurden Daten über die Speicherkapazität, Leistungen der verfügbaren Prozesse, sowie vereinfachte Zeit-, Last- und Nutzungsprofile herangezogen, um ein Potential zu erheben.<sup>24</sup> Mit dieser Vorgehensweise wurden im Haushaltsektor ein durchschnittliches technisches positives DSM-Potential von 7.029 MW und ein negatives Potential von 32.049 MW ermittelt. (DENA, 2010 S. 515).

Im energieintensiven Industriesektor wurde ein Bottom-Up Ansatz gewählt, welcher Unternehmensbefragungen, Stromintensitätserhebungen in Produktionsprozessen, Vollnutzungsstunden und flexible nutzbare Anteile berücksichtigte. Es wurden vorwiegend die im Abschnitt 3.4 beschriebenen Branchen und Prozesse betrachtet. Mit dieser Vorgehensweise wurden ein durchschnittliches technisches positives DSM-Potential von 2.143 MW und ein negatives von 485 MW ermittelt. Laut dieser Studie sind 24 % der industriellen stromverbrauchenden Anwendungen für DSM sehr gut geeignet (DENA, 2010 S. 421). In der Tabelle 37 werden diese Werte zusammengefasst dargestellt.

	<b>Positives Potential (MW)</b>	<b>Negatives Potential (MW)</b>	<b>Gesamtpotential (MW)</b>
Haushalte	7.029	32.049	39.078
Industrie	2.143	485	2.628
			44.638

**Tabelle 37: Zusammenfassung der ermittelten Werte.**

Bei den Werten in der Tabelle 37 gilt es zu beachten (DENA, 2010), dass

- sie die Summe der durchschnittlichen technischen Potentiale der betrachteten Technologien und Bereiche sind und somit das positive und negative Potential beinhalten.
- man durch diese Werte keine Aussage über das wirtschaftlich nutzbare Potential erhält.
- es maximal mögliche durchschnittliche Potentiale sind. Das bedeutet, dass die Potentiale anhand der durchschnittlichen Last ermittelt wurden. Die durchschnittliche Last unterliegt aber saisonalen, täglichen und stündlichen Schwankungen, wodurch es auch zu stark abweichenden DSM Potentialen kommen kann.

<sup>24</sup> Zur genauen Vorgehensweise sei auf die gesamte Studie verwiesen (DENA, 2010 S. 412-425,514,515).

Nach sehr ähnlicher Vorgehensweise ermittelte Martin Klobasa in seiner Doktorarbeit im Jahr 2009 die maximal möglichen DSM-Potentiale für Deutschland. Er ermittelte ein technisches Potential von 2.800 MW im Industriesektor und 20.585 MW im Haushaltssektor (Klobasa, 2009 S. 69,85). Es wurde nicht zwischen positiven und negativen Potential unterschieden. Interessant ist die Erkenntnis, dass von diesen 20.585 MW im Haushaltssektor nur 3.700 MW übrigbleiben, wenn man das Wärmepumpen- und Nachtspeicherpotential abzieht, was nur rund 15 % sind (Klobasa, 2009 S. 189,190). Die Abweichungen der einzelnen Studien untereinander sind damit zu begründen, dass bei der Ermittlung der Potentiale, keine ausreichende Datenbasis zu Verfügung steht und somit größere Ermittlungsunsicherheiten vorhanden sind.

### 3.6.2 Potentiale in Österreich

Von der TU Graz wurde das DSM-Potential in der österreichischen Industrie erhoben. Veröffentlichte Unternehmensdaten wurden ermittelt, Unternehmen telefonisch kontaktiert und Produktionsprozesse und interne Abläufe analysiert. Es wurde das Potential einzelner energieintensiven Betriebe (Eisen und Stahl, Papier und Zellstoff, Steine und Erden, Nichteisenmetalle, u.a.) abgeschätzt und dieses dadurch erhaltene Potential wurde für die ganze Branche linear extrapoliert. Allerdings wurde nur jenes Potential erhoben, wodurch keine langfristigen Stilllegungen von Betriebsstandorten entstehen und welches für mindestens eine Stunde zur Verfügung steht. Potentiale welche der gesteuerten Wärmeend-anwendung zugeordnet werden konnten, wurden nicht berücksichtigt, da man davon ausgeht, dass diese schon umfangreich genutzt werden.

Das durch lineare Extrapolation abgeschätzte technische positive Potential beträgt **664 MW**. Davon wurden 300 MW in den detailliert betrachteten Unternehmen im Jahr 2006 erhoben (Gutschi, et al., 2008 S. 14). Für das Jahr 2012 wurde mit der gleichen Vorgehensweise ein positives technisches Potential von 320 MW in den detailliert betrachteten Unternehmen ermittelt (Stigler, et al., 2013 S. 31).

An der TU Wien wurde im Jahr 2006 das Potential im Haushaltsbereich anhand von Lastganganalysen der Haushaltsanwendungen in der Regelzone APG ermittelt<sup>25</sup>. Es wurde ein durchschnittliches theoretisches positives Tagespotential aller elektrischen Anwendungen von **757 MW im Winter, 436 MW in der Übergangszeit und 328 MW im Sommer** ermittelt (Brauner, 2006 S. 57). Der technisch umsetzbare Anteil wurde mit etwa 20 bis 50 % je nach Anwendungstyp abgeschätzt (Brauner, 2006 S. 58).

---

<sup>25</sup> Im Jahr 2006 gehörten die Bundesländer Tirol und Vorarlberg noch nicht zur Regelzone APG und wurden somit nicht betrachtet.

### 3.6.3 Potentiale in der Schweiz

Die ETH Zürich erstellte in einem Kooperationsprojekt mit der Fachhochschule Nordwestschweiz eine Potentialanalyse der abschaltbaren Leistung durch DSM. Die Leistung wurde als Funktion der zulässigen Abschaltzeit und unter Berücksichtigung des täglichen Lastganges in den Schweizer Haushalten ermittelt. Es wurde die Abschaltung aller im **Haushalt** befindlichen Geräte untersucht. Das Ergebnis zeigt ein theoretisches positives Potential von etwa **300 MW**, welches über mehrere Stunden ohne Komfortverlust abgeschaltet werden kann (FHNW/ETH, 2012). Da das Abwurfpotential stark Tageszeitenabhängig ist, wurden mehrere Tageszeiten analysiert. Es ergab ein maximal mögliches Potential von über 2 GW um die Mittagszeit, welches bis zu 10 Sekunden lang ohne Komfortverlust abgeschaltet werden kann, wie Abbildung 36 zeigt.

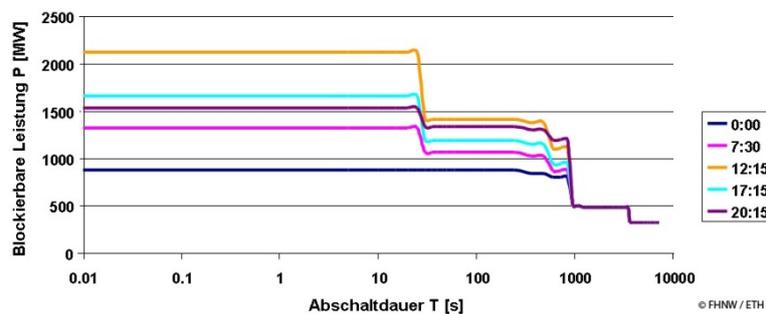


Bild: Blockierbare Leistung in den Schweizer Haushalten ohne Komfortverlust, zu verschiedenen Tageszeiten

Abbildung 36: Mögliche Lastabwurfpotentiale in Abhängigkeit der Tageszeit und als Funktion der Abschaltdauer (FHNW/ETH, 2012).

### 3.6.4 Potentiale im europäischen Raum

Das EWI der Universität Köln hat im Auftrag der International Energy Agency (IEA) eine Studie über die Flexibilisierung der Energienachfrage im europäischen Raum erstellt. Im Rahmen der Studie bzw. im Simulationsmodell wurde auch eine Potentialprognose für DSM erstellt.

Die Vorgehensweise zur Datenermittlung wurde von der DENA Netzstudie 2 (DENA, 2010) übernommen und an die strukturellen Gegebenheiten der jeweiligen Länder angepasst. Es wurden die Potentiale in den Kategorien Industrie, Dienstleistungen, Haushalt, Verkehr (Elektro-Automobile) und in Städten erhoben (EWI, 2012 S. 20). Größtenteils wurden Anwendungsbereiche betrachtet, welche bereits im Abschnitt 2.4 und 2.5 dargestellt wurden<sup>26</sup>.

Bei der Analyse wurden die Länder Ungarn, Bulgarien, Rumänien, Slowakei und Slowenien zur Region Eastern Europe (EE) zusammengefasst. Spanien und Portugal wurden zu Iberian Peninsula (IP) und Belgien, Niederlande, Luxemburg zu BeNeLux zusammengefasst. Die ermittelten Werte beinhalten Kapazitäten zur Lastreduktion und Lasterhöhung und sind somit die Summe aus positiven und negativen Potential.

<sup>26</sup> Näheres auf zu den Bereichen siehe (EWI, 2012 S. 20).

Land	Installierte DSM Kapazitäten (GW)			
	2020	2030	2040	2050
BeNeLux	3,44	6,97	11,78	18,56
Deutschland	10,82	20,60	35,24	57,17
Dänemark	0,82	1,75	3,28	5,56
EE	3,12	6,49	11,07	17,33
Frankreich	14,97	29,20	54,54	93,03
Italien	7,05	14,94	26,40	42,80
IP	9,21	19,39	37,75	65,66
Österreich	1,90	3,52	6,47	10,97
Polen	2,30	4,67	8,24	13,38
Schweiz	0,68	1,38	2,42	3,93
Tschechische Republik	0,86	1,67	2,92	4,73
<b>UCTE (Summe)</b>	<b>51,73</b>	<b>103,61</b>	<b>188,33</b>	<b>314,56</b>

Tabelle 38: Prognose der DSM Potentiale von 2020 bis 2050  
Datenquelle: (EWI, 2012 S. X-XXII)

Leider liegt für die Werte in Tabelle 38 keine Aufspaltung in den jeweiligen Kategorien vor. Da man hier von installierter Kapazität spricht, kann davon ausgegangen werden dass es sich um realisiertes Potential handelt. Dafür scheinen diese Werte im Vergleich mit den anderen Studien allerdings sehr hoch zu sein und nur dann erreichbar, wenn die Dienstleistungs-, Haushalts- und Stadtbereiche ihr theoretische Potential sehr schnell realisieren.

### 3.6.5 Potentiale im europäisch-nordafrikanischen Raum

Am Institut für Technische Thermodynamik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR), wurde für den europäischen und nordafrikanischen Raum<sup>27</sup> eine Potentialanalyse durchgeführt. Es wurden, wie bei fast allen Studien die energieintensiven Industriebereiche, wie etwa die Zementherstellung und die typischen Haushaltsbereiche, wie etwa Kühlgeräte, Umwälzpumpen und Speicherheizungen betrachtet. Es wurde das Lastverschiebungs- und das Lastreduktionspotential betrachtet. Die erhobenen theoretischen Potentiale wurden in Tabelle 39 zusammengefasst (Gils, 2013 S. 11,12).

Bereich		Theoretisches Potential (MW)	
		<i>positiv</i>	<i>negativ</i>
Industrie	Maximal	27.000	9.000
	Mittel	25.300	5.100
	Minimal	22.700	3.450
Haushalte	Maximal	122.000	490.000
	Mittel	36.780	209.000
	Minimal	16.180	28.300

Tabelle 39: Zusammengefasste DSM-Potentiale für den EUNA Raum (Gils, 2013).

<sup>27</sup> Gebiet: Ägypten, Albanien, Algerien, Belgien, Bosnien und Herzegowina, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Italien, Kosovo, Kroatien, Lettland, Libyen, Liechtenstein, Litauen, Luxemburg, Malta, Mazedonien, Marokko, Moldau, Montenegro, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Serbien, Slowenien, Slowakische Republik, Spanien, Tschechische Republik, Tunesien, Türkei, Ungarn, Ukraine, Vereinigtes Königreich, Weißrussland, Zypern.

Die summierten Maximalpotentiale stehen nur dann zur Verfügung, wenn alle DSM-Anwendungen gleichzeitig aktiviert werden würden. Dieser Umstand ist aber durch die starke Variation der zeitlichen Verfügbarkeiten der Anwendungen so gut wie nie vorhanden. Während dessen berücksichtigen die Minimalwerte alle möglichen Einschränkungen und stehen zu jeder Stunde des Jahres zur Verfügung stehen. (Gils, 2013 S. 11)

Aus den ermittelten Potentialen erkennt man, dass im Industriebereich weniger Potential zur Verfügung steht, dieses aber dafür über das Jahr gesehen gleichmäßiger verteilt ist als das Potential im Haushaltsbereich.

### **3.6.6 Zusammenfassung der betrachteten Studien**

In der nachfolgenden Tabelle 40 werden die aus den Studien erhobenen Werte zusammenfassend dargestellt. Bei den Potentialen sei noch angemerkt, dass bei der Berechnung des technischen Potentials in den Studien das theoretische Potential mit einem Flexibilitätsfaktor (DENA) oder mit einem Lastmanagementfaktor (Klobasa) eingeschränkt wurde. Ebenso wird in vielen Studien das theoretische Potential berechnet und in weiterer Folge dem technischen gleichgesetzt, da davon ausgegangen wird, dass alle betrachteten Geräte prinzipiell am DSM teilnehmen können.

Region/Land	Bereich	Jahr		Potentialkapazität (MW)			Potentialart	Bereitstellung	Ersteller
		Erstellt	Prognose	positiv	negativ	Summe			
Deutschland	Industrie	2010	-	2.143	485	2.628	technisch	Maximale Durchschnittswerte	DENA
	Haushalte	2010	-	7.029	32.049	39.078	technisch	Maximale Durchschnittswerte	DENA
	Industrie	2007	-	-	-	2.800	technisch	Maximal möglicher Wert	Klobasa
	Haushalte	2007	-	-	-	20.585	technisch	Maximal möglicher Wert	Klobasa
Österreich	Industrie	2006	-	664	-	664	technisch	Durchschnittswerte	TU Graz
Österreich*	Haushalte	2006	-	328	-	328	theoretisch	Durchschnittswert im Sommer	TU Wien
			-	757	-	757	theoretisch	Durchschnittswert im Winter	TU Wien
			-	436	-	436	theoretisch	Durchschnittswert i.d. Übergangszeit	TU Wien
Schweiz	Haushalte	2010	-	300	-	300	theoretisch	Durchschnittswert 24 h verfügbar	ETH Zürich
EUNA	Industrie	2012	-	27.000	9.000	36.000	theoretisch	Maximalwerte	DLR
	Industrie	2012	-	25.300	5.100	30.400	theoretisch	Mittelwerte	DLR
	Industrie	2012	-	22.700	3.450	26.150	theoretisch	Minimalwerte	DLR
	Haushalte	2012	-	122.000	490.000	612.000	theoretisch	Maximalwerte	DLR
	Haushalte	2012	-	36.780	209.000	245.780	theoretisch	Mittelwerte	DLR
	Haushalte	2012	-	16.180	28.300	44.480	theoretisch	Minimalwerte	DLR
BeNeLux	Alle**	2012	2020	-	-	3.440	realisiert	Maximalwerte	EWI
Deutschland	Alle**	2012	2020	-	-	10.820	realisiert	Maximalwerte	EWI
Dänemark	Alle**	2012	2020	-	-	820	realisiert	Maximalwerte	EWI
EE	Alle**	2012	2020	-	-	3.120	realisiert	Maximalwerte	EWI
Frankreich	Alle**	2012	2020	-	-	14.970	realisiert	Maximalwerte	EWI
Italien	Alle**	2012	2020	-	-	7.050	realisiert	Maximalwerte	EWI
IP	Alle**	2012	2020	-	-	9.210	realisiert	Maximalwerte	EWI
Österreich	Alle**	2012	2020	-	-	1.900	realisiert	Maximalwerte	EWI
Polen	Alle**	2012	2020	-	-	2.300	realisiert	Maximalwerte	EWI
Schweiz	Alle**	2012	2020	-	-	680	realisiert	Maximalwerte	EWI
Tschechien	Alle**	2012	2020	-	-	860	realisiert	Maximalwerte	EWI
Skandinavien	Alle**	2012	2020	-	-	6.620	realisiert	Maximalwerte	EWI
UK	Alle**	2012	2020	-	-	23.310	realisiert	Maximalwerte	EWI

\* Ohne Vorarlberg und Tirol

\*\* Industrie, Dienstleistungen, Haushalt, Verkehr (Elektro-Automobile) und Städte

Tabelle 40: Zusammenfassung der recherchierten Potentiale.

### 3.7 Kosten von DSM

Um das wirtschaftliches Potential von DSM abschätzen zu können, ist es notwendig die Kosten der einzelnen Maßnahmen zu ermitteln. Grundsätzlich unterscheidet man Investitionskosten, variable und fixe Kosten, welche nachfolgend im Hinblick auf DSM erklärt werden (DENA, 2010 S. 425).

- **Investitionskosten** fallen dadurch an, falls das DSM Potential erst technisch erschlossen werden muss. Hierzu zählen etwa Kosten für Smart Meter, Steuerungssysteme, Installationskosten für die Datenübertragungstechnik, verschiedene Energiemanagementsysteme und Schulungen der Endkunden.
- **Fixe Kosten** fallen regelmäßig an und sind unabhängig von der Nutzung. Hierzu zählen vor allem Kosten für den Datenaustausch von Smart Metern mit der Leitzentrale, sowie Kosten welche durch den Steuerungsaufwand der Verbraucher entstehen. Ebenso müssen eventuelle Zahlungen an den Kunden beachtet werden, welche einen Komfort- oder Effizienzverlust abdecken sollen oder Anreize bieten sollen.
- **Variable Kosten** sind die Kosten welche durch die Nutzung von DSM entstehen. Hierzu zählen Opportunitätskosten im Falle eines Lastabwurfs oder einer zeitlichen Lastverschiebung. Weiters fallen bei der Nutzung von Speichern gegebenenfalls Speicherverluste an, welche ersetzt werden müssen.

In der DENA Netzstudie 2 wurde versucht, den einzelnen Bereichen möglichst realistische Kosten zuzuordnen. Für die Investitionskosten im Haushaltsbereich wurde eine Lernrate von 15 % bis zum Jahr 2020 angenommen. Die Lernrate ist ein wesentlicher Faktor der die Entwicklung der Investitionskosten beschreibt. Bei entsprechend höheren Lernraten könnten die Investitionskosten in Zukunft deutlich sinken, wodurch DSM intensiver genutzt werden könnte. Allerdings ist davon aus derzeitiger Sicht vor allem im Haushaltsbereich nicht auszugehen (DENA, 2010 S. 463).

Der Haushaltsbereich ist durch besonders hohe Investitionskosten gekennzeichnet. Das liegt daran, dass hier die notwendige Infrastruktur erst aufgebaut werden muss. In den fixen Kosten wurden auch jährliche Kompensationen pro Haushalt eingerechnet, welche für einen entgangenen Nutzen oder Mehraufwand entstehen. So treten beispielsweise durch die Nutzung des Temperaturbandes im Kühlschrank Wirkungsgradverluste auf, welche zu einem erhöhten Kühlaufwand als bei kontinuierlicher Kühlung führen (DENA, 2010 S. 530).

Betrachtet man die Kostenstruktur in der Tabelle 41, ist ersichtlich, dass die Nachtspeicheröfen im Vergleich zu den anderen Prozessen niedrige Kosten aufweisen. Deshalb will auch der deutsche Energiekonzern RWE diese wiederbeleben (RWE, 2012). Die variablen Kosten sind nahezu Null, was bedeutet, dass die Nutzung der DSM Potentiale nahezu kostenlos ist.

Vergleicht man die Kosten der Prozesse mit Speicherpotential, mit den Prozessen ohne Speicherpotential (Waschmaschine, Trockner,...) so sind diese hinsichtlich der fixen Kosten wesentlich günstiger, da der Steuerungsaufwand deutlich geringer ist.

Im Vergleich zum Haushaltsbereich sind die Investitionskosten in der Industrie relativ gering, da man von einem bereits bestehenden Energiemanagementsystem und Smart Metern ausgeht, welche nur noch adaptiert werden müssen.<sup>28</sup> Da diese Systeminvestitionen bereits am Markt gut etabliert sind, hat die Lernrate keinen Einfluss mehr auf die zukünftigen Investitionskosten. Allerdings sind hier meist die variablen Kosten, bedingt durch die hohen Opportunitätskosten, sehr hoch. Beim den meisten Prozessen wo eine Lastreduktion stattfindet, treten hohe Opportunitätskosten aufgrund des dadurch entgangenen Ertrages auf. Aber auch bei Lastverschiebungen können durch die zeitliche Verschiebung hohe Opportunitätskosten auftreten.

	Prozess	Variable Kosten	Fixe Kosten	Investitionskosten	
		(€/MWh)	(€/kWa)	(€/kW) Lernrate 15 % <sup>29</sup>	
		2010 / 2020	2010 / 2020	2010	2020
Lastverschiebe- prozesse	Nachtspeicheröfen	≈ 0	25,4	38	13
	Elektrische Warmwasserbereitung	≈ 0	53,7	450	150
	Kühl- und Gefriergeräte	≈ 0	63,2	1190	280
	Wasch-, Spülmaschine, Trockner	≈ 0	90,9	740	176
	Schleifer, Refiner	< 10	< 1	5 - 20	5 - 20
	Chloralkalielektrolyse	> 100	< 1	< 1	< 1
Lastreduktions- prozesse	Heizungsumwälzpumpe	≈ 0	68	7070	2360
	Roh- und Zementmühlen	500 - 1000	< 1	10 - 20	10 - 20
	Aluminiumelektrolyse	500 - 1500	< 1	< 1	< 1
	Elektrolichtbogenofen	> 1000	< 1	< 1	< 1

Tabelle 41: Kostenstruktur der einzelnen DSM-Maßnahmen (DENA, 2010 S. 427), (Paulus, et al., 2010 S. 436).

Werden Energiedienstleistungsspeicher eingesetzt, müssen eventuelle Kosten, bedingt durch die Speicherung, ebenso unter den Opportunitätskosten berücksichtigt werden. Allerdings sind diese in den meisten Fällen vernachlässigbar (Paulus, et al., 2010 S. 436).

Eine Lastverschiebung ist theoretisch bei allen Prozessen möglich. Allerdings werden in Tabelle 41 die Heizungsumwälzpumpen, die Aluminiumelektrolyse, der Elektrolichtbogenofen, sowie Roh- und Zementmühlen der Lastreduktion zugeordnet. Dies ist damit zu begründen, dass Heizungsumwälzpumpen und die Aluminiumelektrolyse eine hohe jährliche Betriebsdauer im Vollastbetrieb aufweisen und somit eine Lastverschiebung nicht möglich ist. Der Elektrolichtbogenofen weist zwar nicht so hohe Vollaststunden auf, allerdings ist

<sup>28</sup> Dies ergab eine Expertenbefragung der relevanten Industriebereiche, vgl. auch (Paulus, et al., 2010 S. 436).

<sup>29</sup> Die Investitionskosten verringern sich um 15 %, bei einer Verdopplung der kumulierten Ausbringungsmenge (DENA, 2010 S. 426).

eine Lasterhöhung technisch nicht möglich, wodurch nur eine Lastreduktion in Frage kommt. Roh- und Zementmühlen eignen sich sehr gut zur Lastverschiebung, da sehr einfach EDLS installiert werden können. Allerdings wird bei der Zuordnung davon ausgegangen, dass diese Prozesse bereits in der Nachtzeit ablaufen und somit schon maximal verschoben wurden, wodurch zur Tageszeit nur mehr eine Lastreduktion in Frage kommt. (DENA, 2010 S. 426,427)

### 3.8 Nutzungsmöglichkeiten von DSM

DSM kann vielfältig genutzt werden, um das Energieversorgungssystem zu unterstützen. So sind der Einsatz im Spitzenlastmanagement, der Ausgleich von Prognosefehlern oder die Netzstabilisierung nur ein Auszug der denkbaren Einsatzmöglichkeiten. Es gilt aber zu beachten, dass DSM nur dann wirtschaftlich und sinnvoll sein kann, wenn alle für DSM anfallenden Kosten kleiner sind als die Kosten der konkurrierenden Kraftwerkskapazitäten am Elektrizitätsmarkt. In Tabelle 42 werden die von der DENA erarbeiteten Interessen der wichtigsten Marktteilnehmer zusammengefasst dargestellt (DENA, 2011 S. 16).

	Marktteilnehmer			
	Energilieferanten	Netzbetreiber	Endverbraucher	
			Haushalte	Industrie
Interessen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimierung der Energiebeschaffung</li> <li>• Vermarktung von Regelleistung</li> <li>• Gleichmäßige Fahrweise konventioneller Erzeugung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erhöhung der Zuverlässigkeit</li> <li>• Günstige Regelennergiebeschaffung</li> <li>• Optimierte Integration erneuerbarer Energien</li> <li>• Verbesserte Netzauslastung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kosteneinsparungen</li> <li>• Transparenz beim Stromverbrauch</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erlöse aus der Vermarktung und Anwendung von DSM</li> <li>• Kosteneinsparungen</li> <li>• Optimierte Koordination der Eigenerzeugung</li> </ul>

Tabelle 42: Interessen der Marktteilnehmer am DSM (DENA, 2011 S. 16).

Die Kosteneinsparungen beim Endverbraucher bzw. beim Industriekunden können zum einen durch die Nutzung der täglichen Preisspreads<sup>30</sup> am Strommarkt und zum anderen durch Bonuszahlungen seitens des Elektrizitätsunternehmens erreicht werden.

<sup>30</sup> Preisdifferenzen zwischen verschiedenen Verbrauchszeiten.

### 3.8.1 Reduktion der Spitzenlast

In Spitzenbedarfszeiten ist ein hoher Leistungsbedarf vorhanden. In der in Abbildung 39 auf Seite 94 dargestellten Merit Order verschiebt sich somit die Nachfragefunktion nach rechts. Hier befindet sich das Angebot der Spitzenlastkraftwerke, wie etwa Öl- und ältere Gaskraftwerke, welche wesentlich höhere Grenzkosten aufweisen, als die Grund- und Mittellastkraftwerke. Als Folge steigt der Markträumungspreis<sup>31</sup> (MCP). In besonders kritischen Zeiträumen, wie in den Wintermonaten wo zusätzlich die Stromproduktion aus Wasserkraft gering ist, kann der Strompreis sehr hoch werden. Dies stellt vor allem für die energieintensive Industrie ein Problem dar, da sich ihr Strompreis nahe am aktuellen Marktpreis liegt (Stigler, et al., 2013 S. 9). Könnte man zu dieser Zeit eine Nachfrage-reduktion erreichen, wird die Spitzenlast verringert. Inwieweit eine Flexibilisierung der Nachfrage möglich ist, wird im Abschnitt 3.8.2 näher betrachtet. Für den Endverbraucher könnten somit hohe Strompreise vermieden werden und seitens der Elektrizitäts-unternehmen könnten teure Grenzkraftwerkskapazitäten minimiert werden. Diese Reservekapazitäten sind nur wenige Stunden im Jahr im Einsatz und dienen als Back-Up Funktion für das Versorgungssystem (EWI, 2012a S. 32). Allerdings muss DSM in der Lage sein, den Spitzenbedarf über Stunden hinweg decken zu können, denn auf die Stunde der Spitzenlast folgen in der Regel Stunden erhöhter Nachfrage (EWI, 2012a S. 38).

Gerade beim privaten Endverbraucher besteht ein wesentliches Problem, da dieser nur einen Durchschnittspreis für Strom bezahlt und den aktuellen Preis nicht ablesen kann. So ist es dem Verbraucher nicht bekannt ob eine Spitzenlast vorhanden ist oder wie der aktuelle Strompreis ist. Dadurch erfolgt keine Reaktion, die Nachfrage bleibt gleich. (EWI, 2012a S. 8) Als mögliche Lösung könnten Smart Meter dem Verbraucher ein Preissignal geben und zur aktiven Handlung führen. Im Folgenden wird untersucht, welche der zuvor beschriebenen DSM-Anwendungen hinsichtlich der Kosten mit einem etablierten Spitzenlastkraftwerkstyp konkurrieren können.

#### 3.8.1.1 DSM als Alternative zu Spitzenlastkraftwerken

Wie Abbildung 37 zeigt, tritt die jährliche Spitzenlast nur wenige Stunden im Jahr auf. In Österreich war im Jahr 2006 die maximale Lastspitze von 9480 MW vorhanden, wobei eine Leistung höher als 9080 MW nur 35 Stunden im Jahr benötigt wurde. Im Jahr 2009 betrug dieser Spitzenlastanstieg etwa 450 MW für 40 Stunden im Jahr (Stigler, et al., 2013 S. 7).

Es müssen also etwa 400 MW Kraftwerkskapazitäten für 35 bis 40 Stunden im Jahr zur Verfügung stehen. Die aktuell größten Konkurrenten von DSM im Bereich der Spitzenlastkraftwerke sind die Gasturbinenkraftwerk der OCGT-Technik<sup>32</sup>, Druckluftenergiespeicher (CAES<sup>33</sup>), sowie Speicher- und Pumpspeicherkraftwerke (Paulus, et al., 2010 S. 437). Der Ausbau der Speicherkraftwerke ist aufgrund geografischer Bedingungen limitiert und die

---

<sup>31</sup> Der Markträumungspreis oder Market Clearing Price (MCP) ist jener Preis bei dem sich die Angebots- mit der Nachfragekurve schneidet.

<sup>32</sup> Open Cycle Gas Turbine

<sup>33</sup> Compressed Air Energy Storages

Investitionskosten für Druckluftenergiespeicher sind sehr hoch. Somit bleiben nur die Gaskraftwerke als erst zunehmender Konkurrent übrig. Deren Eigenschaften sind schnelle Hochlaufzeiten, hohe Zuverlässigkeit und geringe Investitionskosten.

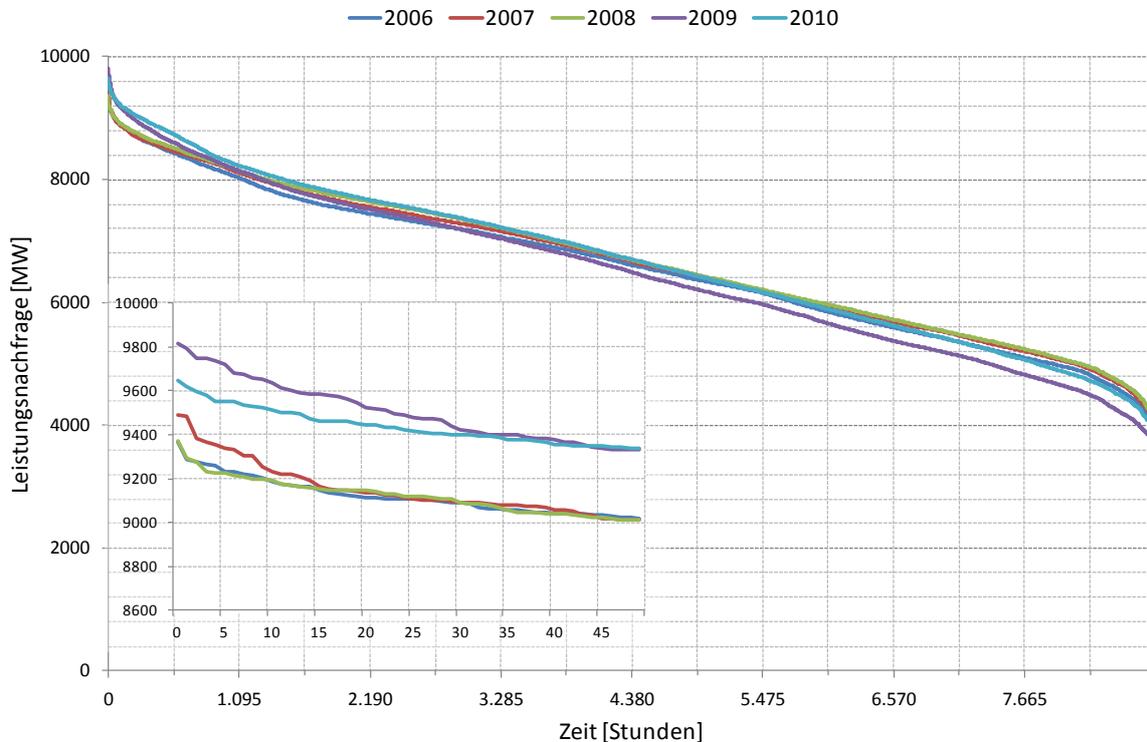


Abbildung 37: Jahresdauerlinie in Österreich vom Jahr 2006 bis 2010 (Stigler, et al., 2013 S. 7).

Es wird nun untersucht, ob sich verschiedene DSM-Anwendungen hinsichtlich der Kosten zur Spitzenlastreduktion wirtschaftlich verwenden lassen. Dazu wird als Referenz ein exemplarisches OCGT - Kraftwerk verwendet, welches typischerweise die in Tabelle 43 angeführten Kostenstrukturen aufweist (Panos, 2009 S. 288,292,293)<sup>34</sup>.

Variable Kosten (€/MWh)	Fixe Kosten (€/kWa)	Investitionskosten (€/kW)
100	50	400

Tabelle 43: Kostenstruktur eines Gasturbinenkraftwerks (Panos, 2009 S. 288,292,293).

Eine DSM-Maßnahme kann nur dann langfristig wirtschaftlicher sein, wenn ihre Gesamtkosten günstiger als die des Gaskraftwerkes sind. Es wurden die Kosten aus Tabelle 41 für DSM übernommen<sup>35</sup> und mit der Formel 3.1 über 20 Jahre zu den Gesamtkosten aufsummiert. Dieser Zeitraum wurde gewählt, da dies die theoretische Lebensdauer einer Gasturbine ist.

<sup>34</sup> Kostenstruktur für eine Gasturbine mit einer elektrischen Bruttoleistung von 150 MW.

<sup>35</sup> Bei den Bereichswerten wurde der arithmetische Mittelwert gewählt. Für Werte „ungefähr null“ wurde 0,01 und für „Wert kleiner eins“ wurde 0,5 gewählt.

$$k_{ges} = k_{invest} + k_{fix} \cdot J + k_{var} \cdot BD \cdot J \quad 3.1$$

$k_{ges}$  ..... Gesamtkosten (€/kW)

$k_{invest}$  .... Investitionskosten (€/kW)

$k_{fix}$  ..... fixe Kosten (€/kWa)

$J$  ..... Jahre (a)

$k_{var}$  ..... variable Kosten (€/kWh)

$BD$  ..... jährliche Betriebsdauer (h/a)

Es wird eine Betriebsdauer (BD) von 10 h, 50 h, 100 h, 150 h und 200 h im Jahr über die Jahre (1, 2, 3,... 20) aufsummiert. Für die DSM-Maßnahmen im Haushaltssektor wurden der arithmetische Mittelwert der Investitionskosten für 2010 und 2020 mit einer Lernrate von 15 % gemittelt. Der Grund dafür ist, dass die Werte aus 2010 meist Prototypenkosten sind und somit keine klaren Aussagen ermöglichen.

Die so erhaltenen Gesamtkosten der DSM-Anwendungen wurden in Relation zur den Gesamtkosten der Gasturbine gesetzt. Abbildung 38 zeigt die grafische Auswertung, wobei die fett eingezeichnete 100 %-Linie die Gesamtkosten des Gaskraftwerkes darstellt.

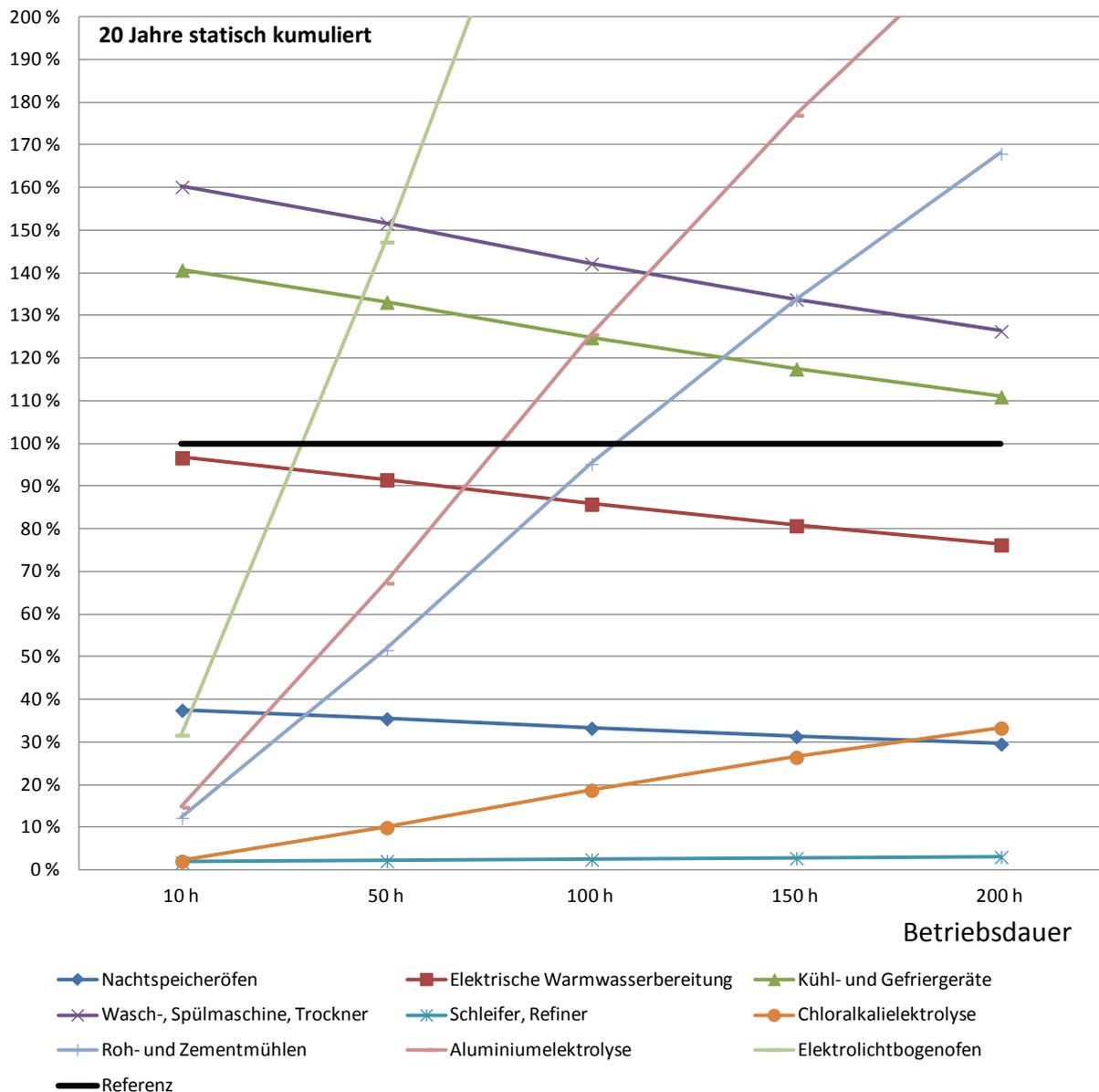


Abbildung 38: Gesamtkostenvergleich von DSM-Anwendungen im Vergleich zu einem Gasturbinenkraftwerk, über eine Laufzeit von 20 Jahren statisch berechnet.

Alle Werte, welche in Abbildung 38 unterhalb der 100 %-Linie liegen sind hinsichtlich der Gesamtkosten günstiger als die Gasturbine. So erkennt man, dass Nachtspeicheröfen, Schleifer und Refiner, und die Chloralkalielektrolyse über längere jährliche Betriebsstunden sehr kosteneffizient genutzt werden können. Sie verursachen nur rund 30 % der Gesamtkosten einer Gasturbine. Ebenso ist die Nutzung der Warmwasseraufbereitung hinsichtlich der Kosten effizienter als eine Gasturbine.

In der Industrie sind der Elektrolichtbogenofen, die Aluminiumelektrolyse und Roh- und Zementmühlen, bedingt durch ihre hohen Opportunitätskosten, nur für wenige Betriebsstunden im Jahr kostengünstiger als die Gasturbine und somit nur zur Deckung der höchsten Spitzenlast wirtschaftlich nutzbar. Die Kühl- und Gefriergeräte, sowie die Wasch- und

Spülmaschinen sind aktuell nicht wirtschaftlich nutzbar. Dies ist vor allem auf die hohen Investitionskosten zurückzuführen.

Es sei noch angemerkt, dass die Heizungspumpen grafisch nicht dargestellt wurden, da ihre Investitionskosten sehr hoch sind und ihre wirtschaftliche Nutzbarkeit somit in dieser Betrachtung keine Rolle spielt. Aus dieser Berechnung lassen sich die in Tabelle 44 zusammengefassten Schlussfolgerungen hinsichtlich der wirtschaftlichen Substitution einer Gasturbine ziehen.

Anwendung	Bewertung	Kommentar
Nachtspeicheröfen	+++	Im Haushaltsbereich derzeit am besten geeignet, da sehr kostengünstig.
Elektrische Warmwasserbereitung	++	Trotz relativ hohen Investitions- und Fixkosten konkurrenzfähig.
Kühl- und Gefriergeräte	-	Aus dem derzeit hohen Erschließungsaufwand folgen hohe Investitionskosten.
Wasch-, Spülmaschine, Trockner	-	
Heizungspumpe	---	Zu hohe Investitionskosten, somit nicht wirtschaftlich.
Schleifer, Refiner	+++	Sehr niedrige Gesamtkosten machen diese Anwendung interessant.
Chloralkalielektrolyse	++	Niedrige Gesamtkosten machen diese Anwendung interessant.
Roh- und Zementmühlen	++	Kosteneffizient um vor allem wenige Spitzenlaststunden zu ersetzen.
Aluminiumelektrolyse	++	
Elektrolichtbogenofen	+	Die variablen Kosten sind sehr hoch, dennoch zur kurzfristigen Spitzenlast effizient einsetzbar.

Tabelle 44: Bewertung der einzelnen DSM-Anwendungen.

Somit wäre die Deckung der Spitzenlast durch DSM-Maßnahmen aus der Kostenperspektive durch alle Anwendungen außer der Weißen Ware sinnvoll. Die Nachtspeicherheizung im Haushaltsbereich muss allerdings kritisch betrachtet werden, da hier seitens der EU ein Verbot geplant ist (vgl. Abschnitt 2.6). Ebenso muss die Aluminiumelektrolyse kritisch betrachtet werden, da die Lagerung von Aluminium durch die hohen Kosten, bedingt durch das gebundene Kapital und den entgangenen Zinsen, nicht wirtschaftlich ist und eine vollständige Prozessunterbrechung sehr zeit- und kostenintensiv ist (DENA, 2010 S. 423). Somit kommt nur eine Lastreduktion in Frage. Im Haushaltsbereich stellen die hohen Investitionskosten und teilweise hohen Fixkosten ein Hindernis zur wirtschaftlichen Substitution dar.

Die Bewertung der einzelnen Anwendungen ist rein aus der Investitionssicht der Elektrizitätswirtschaft zu verstehen. Die Vorteile oder Nachteile der Anwendungen für den Endverbraucher wurden hier nicht näher beachtet.

Das EWI der Universität Köln untersuchte im DIME Simulationsmodell zwei verschiedene Szenarien, um die Entwicklung der DSM- und OCGT-Kapazitäten bis zum Jahr 2020 zu untersuchen (Paulus, et al., 2010 S. 438). Beim ersten Szenario wurden zusätzliche Investitionen in DSM-Potentiale angenommen, während beim zweiten Szenario keine zusätzlichen DSM-Investitionen angenommen wurden. Als Differenzergebnis wurde festgestellt, dass im Zeitraum von 2007 bis 2020 bei der Investition in DSM-Potentiale, zusätzlich DSM-Kapazitäten von 1230 MW in Auftrag gegeben werden und parallel dazu 834 MW OCGT-Kraftwerke weniger zugebaut werden. Dennoch werden Gaskraftwerke eine beachtliche Kapazität von 15 GW im Jahr 2020 und 39 GW im Jahr 2030 zur Verfügung stellen. (Paulus, et al., 2010 S. 438 ff.)

Zu einem ähnlichen Ergebnis kam die DENA Netzstudie 2. Die entlang der Wertschöpfungskette anfallende Kostenersparnis ist vor allem auf die Reduktion der Neuinvestitionen in Spitzenkraftwerkskapazitäten zurückzuführen (DENA, 2010 S. 541). Diese Ergebnisse verstärken die zuvor getätigte Aussage, dass DSM eine ernst zu nehmende Möglichkeit ist, um Gaskraftwerke in der Spitzenlastzeit zu ersetzen.

### 3.8.2 Flexibilisierung der Nachfrage

Eine Flexibilisierung der Nachfrage bedeutet, dass sich die nachgefragte Menge an elektrischer Energie angebotsabhängig verändert kann. In Abbildung 39 ist die Nachfrage in der Merit Order eingezeichnet. Der Schnittpunkt aus der Angebotskurve, welche sich aus den Grenzkosten der Energieerzeugungstechnik ergibt, und der Nachfragemenge ergeben den Market Clearing Price (MCP). Die Produzentenrente (PR) ist der Betrag unter der horizontalen Linie des MCP und deckt die Fix- und Investitionskosten der Kraftwerke.

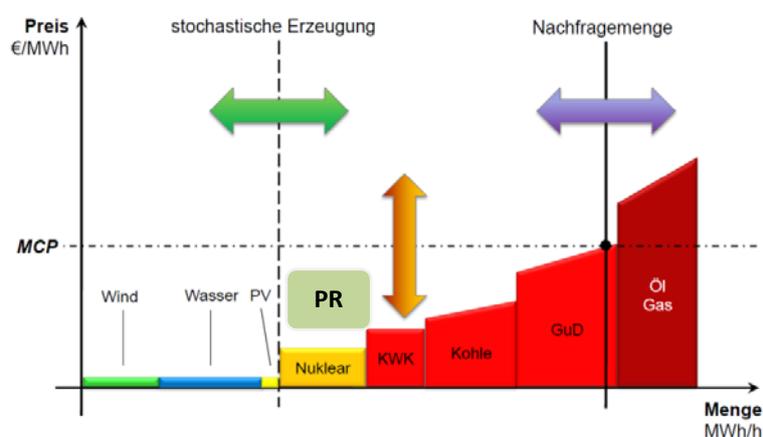


Abbildung 39: Schematisches Beispiel der Merit Order (Schüppel, 2011 S. 3)

Da die Einspeisung der erneuerbaren Energien starken Schwankungen unterliegt, verschiebt sich die Angebotskurve nach links oder nach rechts. DSM soll nun das Gleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage aufrechterhalten, ohne das teure Kraftwerkskapazitäten

benötigt werden. Als Beispiel für die volatile Energieerzeugung der erneuerbaren Energien, sei die schwankende Winderzeugung in Deutschland genannt. Hier stand im November 2011 eine maximale Kapazität von bis zu 20 GW zur Verfügung. Im Minimum lag die Windeinspeisungskapazität für mehr als 30 % der Monatsstunden bzw. einmalig drei Tage am Stück unter 2 GW (EWI, 2012a S. 21,38). Diese Schwankungen sind zwar durch stochastische Prognosen vorhersehbar, stellen aber für das Energieversorgungssystem eine Herausforderung dar.

Eine Anpassung dieses Angebotsrückganges alleine durch DSM-Maßnahmen über eine Periode von mehr als drei Tage scheint bedingt durch das erschöpfende zeitlich begrenzte Potential der DSM-Prozesse nicht möglich zu sein, wie in Abbildung 40 ersichtlich ist. Bei der Lastverschiebung ist in den ersten Stunden eine große Reduktion der Last möglich. In den weiteren Stunden müssen Prozesse ihren Strombedarf mehr und mehr nachholen und die nutzbaren DSM-Potentiale werden immer geringer.

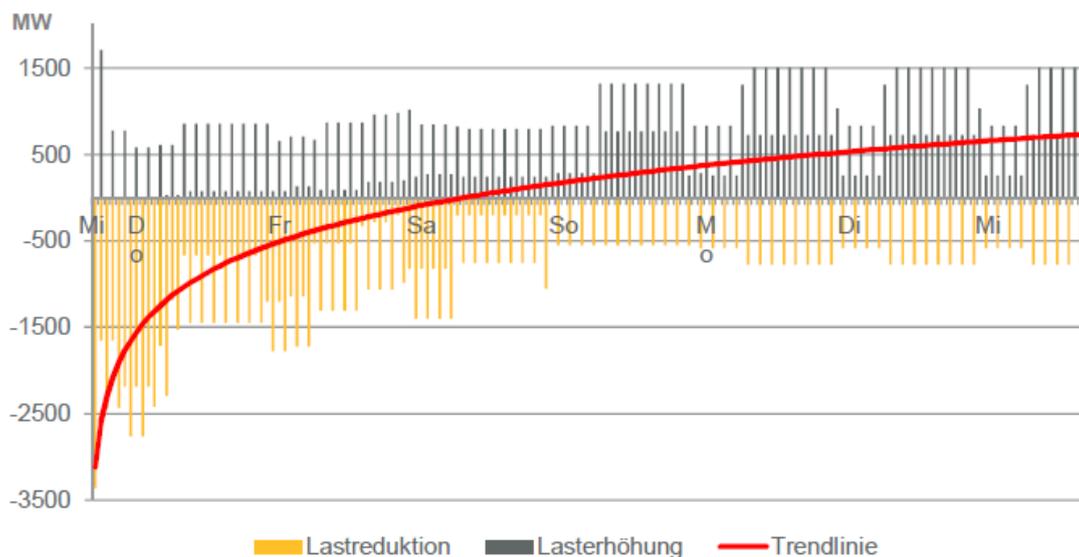


Abbildung 40: Simulierte Lastverschiebungspotentiale der Industrie in Deutschland für eine Woche ab dem 8.12.2010 (EWI, 2012a S. 39).

Im Gegensatz dazu steht bei einem Lastabwurf zu jeder Stunde die volle DSM-Kapazität zur Verfügung, da die Stromnachfrage nicht nachgeholt werden muss. Zudem tragen Maßnahmen zur Lastreduktion in einem größeren Ausmaß zur Versorgungssicherheit bei als Lastverschiebungen. Somit kann man festhalten, dass DSM Reservekapazitäten nicht ersetzen, aber den Bedarf an diesen Reserven verringern kann (EWI, 2012a S. 39).

Erneuerbare Energien haben aber nicht nur Erzeugungstäler sondern auch Erzeugungsspitzen. In diesen Erzeugungsspitzen kommt es zu einem Überangebot, wodurch der Strompreis sinkt, da für das Angebot kein Käufer gefunden werden kann (Stigler, et al., 2013 S. 9). Kann der industrielle Verbraucher in diesem Zeitbereich seine Nachfrage erhöhen und Produktionsschritte vorziehen, profitiert er von den niedrigen Strompreisen.

### 3.8.3 DSM an den Strommärkten

Im letzten Abschnitt wurden DSM-Kapazitäten bereits in die Merit Order aufgenommen bzw. in den Strommarkt eingebunden. Die Teilnahme der Lastverlagerungspotentiale bzw. -reduktionspotentiale am Großhandelsstrommarkt werden auch als „Demand Bidding“ bezeichnet (Klobasa, 2009 S. 103).

Nun stellt sich die Frage, welche Kapazitäten sich überhaupt für welchen Markteinsatz eignen. Dazu werden im Folgenden die wesentlichen Strommärkte und deren Eigenschaften kurz dargestellt.

#### 3.8.3.1 Grundlagen der Strommärkte

Man unterscheidet zwischen Spotmärkten und Terminmärkten. Bei beiden treffen Angebot und Nachfrage aufeinander, wobei beim Spotmarkt im Gegensatz zum Terminmarkt eine kurze Erfüllungsfrist von maximal zwei Tagen üblich ist. Durch die längeren Erfüllungsfristen ist der Terminmarkt für schaltbare Verbraucher, wie es DSM-Kapazitäten sind, wegen der dazu notwendigen langfristigen Planbarkeit, uninteressant (Grobmaier, et al., 2012 S. 2). Spotmärkte teilen sich in Day-Ahead-Markt und Intradayhandel auf. Bei Day-Ahead wird der Kauf bzw. Verkauf von Strom in Stundenblöcken am Vortag vollzogen. Bei Intraday wird der Kauf und Verkauf von Strom sehr kurzfristig bis zu 45 Minuten vor Leistungserbringung, vollzogen. Ein Großteil der Stromlieferungen wird allerdings über bilaterale und längerfristige Verträge abgesichert (Grobmaier, et al., 2010 S. 25). Man spricht vom Over the Counter (OTC)-Handel. Man kann aber davon ausgehen, dass der Strompreis beim OTC-Handel nahe am Strompreis an der Börse liegt. Bei den erwähnten Marktformen wird nur für die „erzeugte“ oder „nachgefragte“ Energiemenge bezahlt, deshalb spricht man Energiemärkten.

Neben diesen Märkten gibt es noch Märkte, bei denen für eine Leistungsvorhaltung und teilweise für den Energieabruf bezahlt wird, welche nur im Bedarfsfall eingesetzt werden. In diesem sogenannten Regelleistungsmarkt unterscheidet man zwischen Primär-, Sekundärregelleistung und Minutenreserve, welche das elektrische Netz nach einem ungeplanten Ereignis wieder auf die 50 Hz Netzfrequenz zurückführen sollen.

Die Primärregelleistung (PRL) stabilisiert innerhalb weniger Sekunden nach Eintreten der Fahrplanabweichung die Netzfrequenz. Sie wird wöchentlich für die nächste Woche auktioniert und muss sofort zur Verfügung stehen. Die Leistung muss stufenlos zuschaltbar sein und reduziert werden können. Für Sekundärregelleistung (SRL) gelten ähnliche Vorgaben, nur muss diese nicht sofort sondern erst nach 30 Sekunden zur Verfügung stehen und eine diskrete Schaltfähigkeit ist ausreichend. Sie führt das Netz auf die Sollfrequenz zurück und stabilisiert diese und stellt somit das Gleichgewicht aus Angebot und Nachfrage wieder her. Die Minutenreserveleistung (MRL) wird täglich in sechs Stunden-Blöcken für den nächsten Tag auktioniert. Sie löst die Sekundärreserve ab und wird üblicherweise manuell aktiviert. Abbildung 41 stellt den zeitlichen Einsatz der beschriebenen Regelungsarten grafisch dar. (Grobmaier, et al., 2012 S. 3,4)

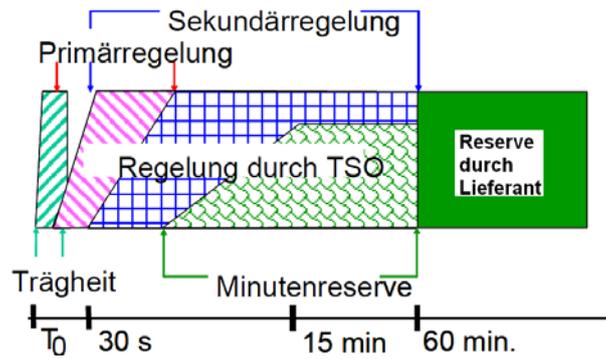


Abbildung 41: Regelungssystem im Verbundnetz zur Wirkleistungsregelung (Hodurek, 2011 S. 13).

Jegliche Regelleistung muss im gesamten zugeordneten Zeitblock im Stande sein ihre zugesagte Leistung zu erbringen. Dafür gibt es zahlreiche Präqualifikationen<sup>36</sup> seitens der Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB), welche wesentlich strenger sind als am Energiemarkt (DENA, 2010 S. 407). Wird die zu Verfügung gestellte Leistung tatsächlich abgerufen wird meistens ein zusätzlicher Arbeitspreis bezahlt. In Tabelle 45 werden die Strommärkte und ihre speziellen Anforderungen zusammenfassend dargestellt. (Grobmaier, et al., 2012 S. 3,4)

		Einspeisung	Reaktions- geschwindigkeit	Max. Abrufdauer	Abrufaufwand
Leistungs- märkte	PRL	positiv & negativ	15 s	Max. 1 Woche	sehr gering
	SRL	positiv oder negativ	30 s bis 15 min.	12 - 60 Stunden	gering
	MRL	positiv oder negativ	> 15 min.	4 Stunden	moderat
Energie- märkte	Day- Ahead	Kauf oder Verkauf positiv	nach Fahrplan	Produktdauer (z.b. 1 Stunde)	gering
	Intraday	Kauf oder Verkauf positiv	nach Fahrplan	Produktdauer (z.b. 1 Stunde)	gering

Tabelle 45: Wesentliche Eigenschaften der Energie- und Leistungsmärkte hinsichtlich DSM (Grobmaier, et al., 2012 S. 4).

<sup>36</sup> Unter einer Präqualifikation versteht man eine vorwettbewerbliche Prüfung, bei der der potenzielle Lieferant nach speziellen Vorgaben bzw. Anforderungen seine Leistungsfähigkeit vorab nachweisen muss.

### 3.8.3.2 Marktzuordnung

Kennt man nun die Eigenschaften und Anforderungen der Märkte und die Eigenschaften der DSM Anwendungen kann man eine Marktzuordnung vornehmen. Diese Zuordnung wurde von der Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. erstellt und ist als starke Verallgemeinerung zu sehen, denn im Einzelfall können andere Märkte besser geeignet sein (Grobmaier, et al., 2012 S. 8).

	DSM Anwendung	PRL	SRL	MR	Day-Ahead / Intraday
Lastverschiebungsprozesse	Nachtspeicheröfen				x
	Wärmepumpe			x	x
	Elektrische Warmwasserbereitung				x
	Kühl- und Gefriergeräte	x			
	Wasch-, Spülmaschine, Trockner			x	
	Heizungsumwälzpumpe	x			
	Schleifer, Refiner		x	x	
	Chloralkalielektrolyse		x	x	
	Roh- und Zementmühlen	x	x	x	
	Aluminiumelektrolyse	x	x	x	
	Elektrolichtbogenofen	x	x	x	
	Lastabschaltungen in der Industrie			x	

Tabelle 46: Eine mögliche Zuordnung der DSM Maßnahmen zu den Märkten (Grobmaier, et al., 2012 S. 9)

Man erkennt, dass der Einsatz als Primärregelleistung wegen der geforderten Reaktionsgeschwindigkeit und der Forderung positive und negative Leistung zur Verfügung stellen zu können, vor allem für jene Anlagen geeignet sind, die lange oder permanente Betriebszeiten haben und somit die aufgenommene Leistung sehr kurzfristig variieren können. Dazu gehören Kühlanwendungen, Heizungsumwälzpumpen, sowie einige industrielle Prozesse.

Im Haushaltsbereich sind die Anwendungen, bei welchen man den täglichen Verbrauch über wenige Stunden genau bestimmen kann, für den Day-Ahead- und Intraday-Energiemarkt geeignet. Dies wären Nachtspeicheröfen, elektrische Warmwasseraufbereitung oder Wärmepumpen. Für Industriebetriebe wurden die Energiemärkte nicht näher betrachtet, da man davon ausgehen kann, dass diese ihren Verbrauch selbst soweit optimiert steuern, dass es keinen Vorteil beim Stromeinkauf mehr gibt. Somit sind in diesem Bereich besonders die Leistungsmärkte (PRL / SRL) interessant, um Erträge zu erzielen.

### 3.8.3.3 Hemmnisse und Erträge

Für Industrieanwendungen kann das Anbieten von Regelleistung durchaus sinnvoll sein. Besonders interessant ist die Minutenreserve, da diese einen moderaten Abrufaufwand und eine Vorlaufzeit von 15 Minuten erlaubt, wodurch Anwendungen kontrolliert gedrosselt werden können, was für Industriebetriebe sehr wichtig ist. Diese Zeitdauer ermöglicht den Unternehmen die Kontrolle über ihre Prozesse zu behalten. Ein weiterer Vorteil ist, dass ein Leistungspreis für den gesamten Ausschreibungszeitraum bezahlt wird, auch wenn keine Schaltung stattfindet. Die Schaltdauer wird durch den Abrufgrad definiert, welcher der Quotient aus abgerufener und vorgehaltener Leistung ist und in Deutschland in den Jahren 2008 bis 2012 zwischen 1 und 6 % lag (IHK, 2012 S. 45).

Dem theoretischen Markteintritt stehen jedoch einige Hemmnisse gegenüber. Beispiele sind die langen Ausschreibungszeiten, die hohen Verfügbarkeitsanforderungen, sowie Unklarheiten seitens des Verbrauchers über mögliche Strafen bei Nichterbringung der zugesagten Kapazitäten. So kann die maximale Abrufdauer bei der Primärregelleistung theoretisch bis zu einer Woche und bei der Sekundärregelleistung zwischen 12 und 16 Stunden andauern, wobei in diesem Zeitraum eine 100 %ige Verfügbarkeit vorausgesetzt wird (Grobmaier, et al., 2012 S. 4). Für Industriebetriebe ist es vermutlich nicht sinnvoll, eine permanente Vorhaltung potentiell genutzter Leistung zur Verfügung zu stellen. Weiters stellt der Ausschreibungszeitraum für Sekundärregelleistung ein Teilnahmehindernis für Industriebetriebe dar und ebenso kann der direkte Eingriff über Leistungs-Frequenzregler in den Industrieprozess unerwünscht sein (DENA, 2010 S. 408).

Für das Bereitstellen von Regelleistung gibt es außerdem umfangreiche Anforderungen seitens des ÜNB. Die Einhaltung dieser muss mit einer Präqualifikation bewiesen werden. Die wesentlichen Anforderungen sind die technische und zeitliche Verfügbarkeit, sowie die benötigten Regelleistungsbänder bzw. Kapazitätsmindestgrößen. In der Regelzone APG wird für die Marktteilnahme bei der Minutenreserve in einem Zeitblock eine Kapazität zwischen 10 MW und 50 MW gefordert. (APG, 2013)

Können diese Anforderungen von einem DSM-Anbieter alleine nicht wirtschaftlich erbracht werden, ist es zu empfehlen ein Pooling zu betreiben. Im Pool werden verschiedene Verbraucher zusammengeschaltet und gemeinsam durch einen Aggregator in den Markt gebracht. In Deutschland werden beispielsweise schaltbare Verbraucher durch die Entelios AG als Minutenreserve präqualifiziert.<sup>37</sup> Ebenso werden derzeit Nachtspeicherheizungen durch Netzbetreiber in Deutschland als Regelleistungspool mit Rundsteuersignalen betrieben (Klobasa, 2009 S. 104).

Es bleibt auch zu beachten, dass durch die Bereitstellung von Kapazitäten am Regelleistungsmarkt ebenso Opportunitätskosten entstehen können. Dies geschieht dann, wenn die Grenzkosten unterhalb des erzielbaren Preises am Spotmarkt liegen (Klobasa, 2009 S. 43). Eine völlige Unterbrechung der Produktion ist nur dann sinnvoll, wenn der Spotmarkt-

---

<sup>37</sup> Näheres dazu auf <http://www.entelios.de/>.

strompreis höher ist, als die durch den DSM-Abruf entstandenen Opportunitätskosten. In der Potentialstudie der TU Graz wurden die Opportunitätskosten für einen Lastabwurf für verschiedene Industriebetriebe abgeschätzt und man kam zu dem Schluss, dass diese – wenn überhaupt – nur an wenigen Stunden im Jahr geringer sind als der Spotmarktpreis (Gutschi, et al., 2008 S. 16). Somit ist eine nicht nachholbare Produktionsunterbrechung, beispielsweise durch einen Lastabwurf, im Allgemeinen aufgrund der hohen Opportunitätskosten als nicht sinnvoll einzustufen.

Eine Berechnung der Erträge durch Lastverschiebungen gestaltet sich schwierig. Zum einen sind Leistungs- und Arbeitspreis stark schwankend und zum anderen muss man bei der Auktion erst einen Zuschlag erhalten. Hierzu sei an dieser Stelle auf die EDRC-Studie der TU Graz verwiesen (Stigler, et al., 2013 S. 44 ff.).

### 3.8.4 DSM zum Bilanzgruppenausgleich

Innerhalb einer Bilanzgruppe (BG)<sup>38</sup> werden alle Marktteilnehmer, von Erzeuger über Händler, Lieferant und Verbraucher zusammengefasst. Jeder dieser Marktteilnehmer ist verpflichtet sich einer beliebigen Bilanzgruppe anzuschließen oder eine eigene BG zu gründen. Innerhalb dieser virtuellen Gruppen erfolgt ein Ausgleich zwischen Aufbringung (Fährpläne, Einspeisung) und Abgabe (Lieferpläne, Ausspeisung) von elektrischer Energie. (E-Control, 2011 S. 7,8)

Ist die Prognose für den Energiebedarf in einer Bilanzgruppe zu gering, so besteht für den Bilanzgruppenverantwortlichen (BGV) die Möglichkeit, von einer anderen Bilanzgruppe Ausgleichsenergie<sup>39</sup> anzufordern oder auf interne Maßnahmen, wie beispielsweise DSM, zurückzugreifen. DSM ist aber nur dann für den BGV interessant, wenn die Kosten dafür geringer sind als die Kosten für die anfallende Ausgleichsenergie von einer anderen Bilanzgruppe. (DENA, 2010 S. 409)

Die Nutzung von DSM zum Bilanzgruppenausgleich ist wesentlich weniger aufwendig als die zuvor beschriebenen. Grund dafür ist, dass informationstechnische Anbindungen, Messungen, Echtzeit-Datenübermittlung sowie Präqualifikationsbedingungen entfallen. Lediglich ein Informationsaustausch unter den BGV bezüglich der Preise und eine Ansteuerung des Abrufs sind nötig. (DENA, 2010 S. 409)

---

<sup>38</sup> Die Begriffe Bilanzgruppe und Bilanzkreis sind gleichwertig.

<sup>39</sup> Ausgleichsenergie ist nicht gleich Regelenergie. Regelenergie ist die Summe aller Ausgleichsenergien in den Bilanzgruppen, für welche der Regelzonenführer verantwortlich ist.

### 3.8.5 Schlussfolgerung

Für Industriebetriebe liegt das größte Potential am Markt in der Minutenreserve. Grund hierfür sind die moderaten Präqualifikationen, sowie kürzere Ausschreibungszeiträume und den flexiblen Gebotsmöglichkeiten von täglich sechs Zeitscheiben zu je vier Stunden. Weiters erlaubt die Minutenreserve eine längere Aktivierungsdauer, wodurch Prozesse kontrolliert heruntergefahren werden können. Durch die Möglichkeit des Pooling sollte das Problem einer Mindestangebotsgröße lösbar sein. Für die Primär- und Sekundärregelreserve rechnen die deutschen ÜNB mittelfristig mit keinen bzw. eingeschränkten Präqualifikationen industrieller Anbieter (DENA, 2010 S. 408).

Die Erlösmöglichkeiten scheinen am Leistungsmarkt besser zu sein, da verlagerbare Lasten besser geeignet sind Leistung vorzuhalten, anstatt Energie bereitzustellen (Klobasa, 2009 S. 192). Die meisten energieintensiven Industrieprozesse können zwar viel Leistung als Reserve zur Verfügung stellen, aber diese wird aufgrund der hohen variablen Kosten sehr wenig abgerufen werden. Aufgrund der Eigenschaften der beschriebenen Anwendungen kann davon ausgegangen werden, dass das größte Potential in der positiven Regelleistung, speziell in der Minutenreserve liegt.

Betrachtet man Länder wie die USA oder Norwegen, so war der Grund DSM einzusetzen, vor allem jener die Systemsicherheit durch alternative Maßnahmen, als Ersatz für den Bau von neuen Kraftwerkskapazitäten, zu erhöhen. Ist jedoch ausreichend Erzeugungskapazität und ein gut ausgebautes Netz vorhanden, wird sich DSM nur schwer etablieren können. (Klobasa, 2009 S. 192)

Weiters ist es durchaus sinnvoll DSM einzusetzen, um zumindest eine mögliche Verringerung der wenigen besonders hohen Spitzenlastzeiten im Jahr zu erreichen, um so die bestehenden Kraftwerksparks optimal auszunutzen.

Betrachtet man den Haushalts- und Industriebereich, so ist in nächster Zeit nur der Minutenreservemarkt für die Implementierung von DSM in den Strommarkt sinnvoll. Während der Industriebereich geringe Investitionskosten und hohe Opportunitätskosten aufweist, ist es im Haushaltsbereich genau umgekehrt. Die wesentlichen Parameter der Kostenstrukturen sind in Tabelle 47 dargestellt.

	<b>Haushalte</b>	<b>Energieintensive Prozesse</b>
Investitionskosten	hoch	vernachlässigbar
Opportunitätskosten	vernachlässigbar	hoch

Tabelle 47: Kostenvergleich zwischen Industrie- und Haushaltsbereich.

Durch die geringen Investitionskosten in der Industrie dürften die wirtschaftlich nutzbaren Potentiale in diesem Bereich schnell erschlossen werden, oder bereits erschlossen sein (DENA, 2010 S. 459). Ob das erschlossene Potential aber auch umfassend genutzt wird, ist aufgrund der hohen Opportunitätskosten fraglich. So ist ein Lastabwurf für den Industriebetrieb bei den derzeitigen Strompreisen, wenn überhaupt nur in wenigen Stunden des

Jahres wirtschaftlich sinnvoll und sollte daher nur in kritischen Situationen für das Versorgungssystem durchgeführt werden.

Der Haushaltsbereich bietet ein insgesamt höheres technisches Potential, welches aber nur durch viel Aufwand nutzbar gemacht werden kann. Hier könnten höhere Lernraten, sowie die geplante flächendeckende Einführung von Smart Meter die Investitionskosten wesentlich senken. Laut EU-Richtlinien sollen Smart Meter erst bis zum Jahr 2020 in einem großen Teil europäischen Haushalte vorhanden sein. Somit ist davon auszugehen, dass die Potentiale im Haushaltsbereich bis zum Jahr 2020 nur geringfügig, durch Nachtspeicheröfen und Warmwasseraufbereitung, erschlossen werden (DENA, 2010 S. 459). Umwälzpumpen sind die einzige Anwendung im Haushalt, welche eine Lastreduktion erlauben und so werden diese, obwohl hohe Investitionskosten notwendig sind, in Maßen erschlossen werden (DENA, 2010 S. 459).

Der Weg von der verbrauchsorientierten Erzeugung zum erzeugungsorientierten Verbrauch ist größtenteils kein Kundenwunsch (DENA, 2011). Dennoch können Endverbraucher durch den Vertrieb von DSM-Kapazitäten monetär profitieren. Ob nun DSM für einen Endverbraucher wirtschaftlich einsetzbar ist, kann im Allgemeinen nicht gesagt werden. Hier gilt es die individuellen technischen Randbedingungen und die konjunkturellen Einflüsse der Strom-bezugskosten zu beachten (Klobasa, 2009 S. 29). Den wesentlichen Anteil an der Kosten-ersparnis für die Elektrizitätswirtschaft machen die vermiedenen Investitionskosten in neue Gasturbinenkraftwerke zur Spitzenlastdeckung aus.

In Tabelle 48 und Tabelle 49 werden die Stärken, Schwächen, Möglichkeiten und Gefahren von DSM für den Haushalts- und Industriebereich noch einmal zusammengefasst mit Hilfe einer SWOT-Analyse<sup>40</sup> dargestellt, welche eine Situationsanalyse darstellen soll. Die Chancen und Risiken ergeben sich aus dem externen Umfeld, welches durch konkurrierende Technologien gestaltet wird (Pelz, 2012 S. 3). Die Stärken und die Schwächen stellen die DSM-Technologie nach außen hin dar. Das bedeutet, dass die Stärken der Technologie einen Wettbewerbsvorteil gegenüber der konkurrierenden Technologien und die Schwächen einen Nachteil darstellen (Pelz, 2012 S. 3).

---

<sup>40</sup> Strengths (Stärken), Weaknesses (Schwächen), Opportunities (Chancen), Threats (Risiken)

Stärken (Strengths)	Schwächen (Weaknesses)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Großes ungenutztes Potential</li> <li>• Geringe variable Kosten (keine Opportunitätskosten)</li> <li>• Flächendeckend</li> <li>• Günstigere Strompreise</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Viele Endverbraucher</li> <li>• Hoher Steuerungsaufwand</li> <li>• Hohe Investitionskosten</li> <li>• Viele kleine Anwendungen</li> <li>• Zeitlich sehr eingeschränkt</li> </ul>
Chancen (Opportunities)	Risiken (Threats)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Lernraten und neue Technologien (Smart Meter)</li> <li>• Neue Strompreismodelle</li> <li>• Pooling für größere Leistungsmengen</li> <li>• Information und Ausbildung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kundenablehnung</li> <li>• Komfortverlust</li> <li>• Fehlender Anreiz</li> </ul>

Tabelle 48: SWOT Analyse von DSM im Haushaltsbereich.

Stärken (Strengths)	Schwächen (Weaknesses)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geringe Investitionskosten</li> <li>• Einfach abrufbar</li> <li>• Große Kapazitäten durch einen Kunden</li> <li>• Kostensenkung / zusätzliche Erlöse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Opportunitätskosten</li> <li>• Begrenztes Potential</li> <li>• Zentral / geographisch konzentriert</li> <li>• Erlösschmälerung in der Produktion</li> <li>• Nur ausgewählte Prozesse geeignet</li> </ul>
Chancen (Opportunities)	Risiken (Threats)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• EDLS erhöhen nutzbare Kapazitäten</li> <li>• Pooling für größere Leistungsmengen</li> <li>• Neue Märkte / Marktgestaltung</li> <li>• Förderungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fehlender Anreiz</li> <li>• Angst vor Produktionsausfall</li> <li>• „Just in Time“ – Konflikt</li> <li>• Präqualifikationsbedingungen</li> </ul>

Tabelle 49: SWOT Analyse von DSM im Industriebereich.

### 3.9 Umsetzungsmöglichkeiten für DSM

Für die Umsetzung der direkten oder indirekten Steuerung des Verbrauchers gibt es verschiedene Möglichkeiten und Zugänge. Nachfolgend werden zuerst die Möglichkeiten der Rundsteuerung und Spitzenlastbegrenzung dargestellt, welche schon längere Zeit im Einsatz sind. Danach wird die Möglichkeit der anreizbasierten Verbrauchssteuerung durch Strompreise kurz dargestellt.

#### 3.9.1 Rundsteuersignale

Die Rundsteuertechnik ist die derzeit am meisten genützte Form der Verbrauchersteuerung durch die Elektrizitätsunternehmen. Im Haushaltsbereich werden mit Rundsteuersignalen größtenteils Nachtspeicheröfen und Warmwasserspeicher, aber von einigen Stadtwerken auch Kühlgeräte oder Straßenlampen gesteuert (Gobmaier, et al., 2010 S. 5).

Der Grund der weiten Verbreitung ist, dass die technische Umsetzung recht einfach ist. Der normalen Netzfrequenz von 50 Hz werden höherfrequente Impulsraster überlagert, welche durch das Elektrizitätsunternehmen von einem Sender aus in das Netz gelangen. Der Empfänger ist meist in Verbindung mit dem Stromzähler beim Verbraucher installiert und erkennt die entsprechenden Impulsraster und führt eine entsprechende Schaltung des Verbrauchers durch.

Ein klassisches Beispiel für die Rundsteuertechnik ist die Warmwasseraufbereitung, welche in der Nachtzeit aktiviert wird. Für das Elektrizitätsunternehmen ergibt sich der Vorteil, dass die nächtliche Schwachlast erhöht wird und somit das Lastprofil geglättet wird, wodurch der Kraftwerkspark optimiert genutzt wird. Für den Verbraucher ergibt sich der Vorteil eines günstigeren Strompreises in der Nachtzeit.

#### 3.9.2 Spitzenlastbegrenzung

Ein System, welches schon seit längerer Zeit als preisbasierende Spitzenlastreduktionsmethode im Einsatz ist, ist das Spitzenlastmanagementsystem. Hier wird für gewerbliche Kunden zusätzlich zum Arbeitspreis für die verbrauchte Energiemenge ein Leistungspreis addiert. Dieser ist nicht von der verbrauchten Energiemenge abhängig, sondern von der maximalen Leistungsspitze (MW), welche der Kunde im Abrechnungszeitraum benötigt hat. Basis ist meist die höchste durchschnittliche Viertelstunde im Abrechnungszeitraum. Dieses Modell soll dem Kunden Anreiz bieten seinen Stromverbrauch möglichst gleichmäßig zu verteilen, um Lastspitzen zu vermeiden. Um dies zu ermöglichen werden hier von der Endkunden Maximumwächter eingesetzt, welche ein automatisches priorisiertes Zu- und Abschalten der einzelnen Verbraucher beim Endkunden ermöglichen. (Sonnenschein, et al., 2010 S. 8,9)

### 3.9.3 Strompreisgestaltung

Strompreise gibt es in verschiedenen Varianten. Beispielsweise werden dem Verbraucher in Abhängigkeit der Tageszeit oder des aktuellen Lastzustandes verschiedene Strompreise mitgeteilt. Ziel ist es seitens der Elektrizitätsunternehmen, dass der Verbraucher, durch einen günstigen Strompreis einen Anreiz erhält seinen Verbrauch zu verlagern. Ein Schlüsselfaktor für eine großflächige erfolgreiche Umsetzung der dynamischen Strombepreisung ist die flächendeckende Einführung von Smart Metern. Durch Smart Meter erfolgt die Übermittlung der aktuellen Strompreise an den Kunden und macht diese für diesen erkennbar. Ob eine Reaktion auf die sich ändernden Preise seitens des Verbrauchers erfolgt, liegt bei ihm selbst. (Hütter, 2010 S. 57 ff.) Zur weiterführenden Betrachtung der Strompreisgestaltung mittels Smart Meter sei auf (Hütter, 2010) verwiesen.

### 3.10 DSM vs. Energieeffizienz

Bei der Steuerung der Lasten mit DSM entsteht die Gefahr, dass sich die Energieeffizienz verschlechtert. Wie bereits im Abschnitt 3.6.6 erwähnt wurde, treten durch die Nutzung des Temperaturbandes für DSM im Kühlschrank Wirkungsgradverluste auf, welche zu einem erhöhten Kühlaufwand als bei kontinuierlicher Kühlung führen. Im Industriebereich werden etwa 70 % des Stromverbrauchs von Standmotoren verursacht. Im Abschnitt 2.4.2 wurden der Teillastbetrieb und die Überdimensionierung der Elektro-Motoren als Faktoren für eine Senkung des Wirkungsgrades beschrieben. In Abbildung 42 sind die Auswirkungen von DSM auf den Wirkungsgrad erkennbar.

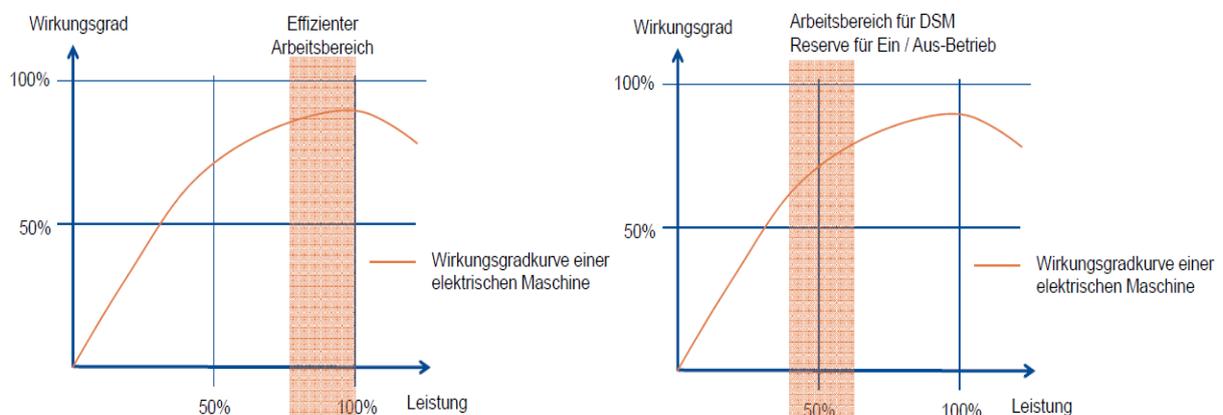


Abbildung 42: Veränderung des Arbeitsbereiches elektrischer Maschinen und des Wirkungsgrades durch DSM (Küng, 2012 S. 7).

Durch Lastreduktionen und -erhöhungen werden Motoren im Teillastbetrieb betrieben und verlassen somit den effizienten Arbeitsbereich, wodurch der Wirkungsgrad sinkt und der Stromverbrauch steigt.

Die Auswirkungen von DSM auf die Energieeffizienz müssen zweifelsohne noch genauer untersucht werden. Beim Energieversorger EWZ der Stadt Zürich geht man davon aus, dass DSM-Maßnahmen zur Steuerung von Lasten der Energieeffizienz in der Regel entgegenwirkt (Küng, 2012 S. 9).

Wird im Gegenzug die Energieeffizienz verbessert, ist davon auszugehen, dass sich die verfügbaren DSM-Potentiale verändern werden (Gruber, et al., 2013). Dazu werden im Folgenden beispielhaft die Auswirkungen von Effizienzmaßnahmen im industriellen elektrischen Antriebssystem beschrieben.

Werden alte Motoren durch neue hocheffiziente Motoren getauscht, wird die maximale Leistungsaufnahme gesenkt. Dadurch wird ebenso das maximale positive Potential gesenkt. Bei der Reduktion der Leerlaufzeiten und Installation von Frequenzumrichtern (FU) wird zwar die durchschnittliche Leistungsaufnahme vermindert, aber nicht die maximale Leistungsaufnahme, wodurch das maximale positive DSM-Potential unverändert bleibt. Die Installation eines FU ermöglicht einen effizienten Teillastbetrieb, wodurch das positive und das negative Potential zunehmen dürften. (Gruber, et al., 2013 S. 11,12)

Dieser Sachverhalt wurde ebenso von der Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft in München untersucht. Diese kam in einer umfangreich durchgeführten Studie zum zusammengefassten Ergebnis, das sich das positive Potential durch Effizienzsteigerungen vermindert und das negative Potential durch die erhöhte Regelbarkeit von Anlagen zunehmen wird (Gruber, et al., 2013 S. 13).

## 4. Zusammenfassung

Im Bereich der verbraucherseitigen **elektrischen Energieeffizienz** können ausgehend von einer Verbrauchsanalyse des elektrischen Endenergieverbrauchs im Haushaltsbereich und in der energieintensiven Industrie die wesentlichen Verbrauchssektoren ermittelt werden, welche in weiterer Folge hinsichtlich der elektrischen Effizienzsteigerung betrachtet werden sollten.

Im **Beleuchtungsbereich** ist vor allem der Ersatz der Glühbirnen durch moderne Leuchtmittel wie LED oder Energiesparlampen energetisch und wirtschaftlich sinnvoll. Ebenso kann durch einen Generationenwechsel bei Leuchtstofflampen mit wesentlich weniger Einsatz von elektrischer Energie der gleiche Nutzen erbracht werden. Die Anwendung von Bewegungsmeldern und Dämmerungsschaltern oder Zeitschaltuhren ist ein wichtiger Faktor, um die Beleuchtung bedarfsgerecht zu nutzen und optimal in ein bestehendes Lichtmanagementsystem zu integrieren.

**Standmotoren** haben den größten Anteil am elektrischen Energieverbrauch und sind zudem ein besonderer relevanter Bereich zur elektrischen Effizienzsteigerung. So kann bei älteren Elektro-Motoren mit kleiner bis mittlerer Leistung und hohen jährlichen Betriebsstunden der Energieverbrauch in großem Ausmaße gesenkt werden. Hier gilt es vor allem auf die Lebenszykluskosten zu achten, welche vorwiegend durch die Energiekosten bestimmt sind, wodurch sich die Investitionen in neue hocheffiziente Motoren im Regelfall schnell amortisieren. Der Einsatz von Frequenzumrichtern kann bei einem schwankenden Leistungsbedarf durchaus sinnvoll sein. Allerdings muss darauf geachtet werden, dass ein Frequenzumrichter selbst auch Verluste erzeugt und seine Investitionskosten in etwa gleich hoch wie die des Elektro-Motors sind. Der Einsatz eines Frequenzumrichters ist somit individuell zu klären und bei konstantem Leistungsbedarf eher abzulehnen.

Im Bereich der **Pumpensysteme** ist vor allem der Tausch durch moderne EC-Motorpumpen mit einer Frequenzumrichtereinheit – falls notwendig – zu empfehlen. Allerdings kann durch eine manuelle Drehzahlانpassung der Pumpe an die tatsächlich benötigte hydraulische Leistung die elektrische Leistungsaufnahme ebenfalls gesenkt werden. Dies ist speziell bei der unregelmäßig betriebenen Asynchronmotorpumpe der Fall, welche als Heizungsumwälzpumpe im Haushaltsbereich sehr zahlreich im Einsatz ist.

Bei **Druckluftsystemen** sind die Leckageverluste jener Bereich, bei welchem die größten Effizienzsteigerungen möglich sind. Der Aufwand zur Beseitigung dieser Leckagen ist gering und kostengünstig, weshalb sich Investitionen nach sehr kurzer Zeit amortisieren. Hier ist vor allem eine Bewusstseinsbildung der verantwortlichen Personen notwendig, um diese Leckageverluste zu verhindern. Ebenso kann durch eine entsprechende Regelung des Kompressors, wie beispielsweise durch einen Frequenzumrichter oder eine Drosselung, die Leistungsaufnahme des Kompressors minimiert und an den tatsächlichen Bedarf angepasst werden.

Im Bereich der „**Weißen Ware**“ ist der Tausch jedes Geräts auf die höchste Effizienzklasse energetisch sinnvoll. Allerdings ist nur der Tausch von alten Kühl- und Gefrierschränken auch wirtschaftlich für den Endverbraucher sinnvoll. Dies liegt an der verhältnismäßig geringen Energiekosteneinsparung im Vergleich zu den relativ hohen Investitionskosten. Somit können Förderungen und Anreize ein Schlüsselfaktor sein, um dieses Reduktionspotential zu realisieren.

Im Bereich der **Raumwärme** kann durch eine umfassende thermische Sanierung der Gebäudehülle der Energieverbrauch drastisch gesenkt werden. Der Einsatz von Fernwärme oder einer Wärmepumpe ist nicht nur energetisch und exergetisch sinnvoll, sondern auch in Bezug auf die Gesamtkosten für die Raumheizung, speziell im Vergleich zur elektrischen Speicherheizung. Zudem ist die Fernwärme als besonders effizient einzustufen, da diese zum einen aus industriellen Abwärme stammen kann und zum anderen die Fernwärmeauskopplung in einem GuD-Kraftwerk für dieses hinsichtlich der erhöhten Brennstoffausnutzung ebenso sinnvoll ist.

Bei den zuvor erwähnten Druckluftsystemen wird bei der Druckluftzeugung der Großteil der eingesetzten Energie in Wärme umgewandelt. Diese **Abwärme** sollte ebenfalls so weit wie möglich genutzt werden. Hierzu können Wärmetauscher, ORC-Anlagen, Wärmepumpen oder auch eine Fernwärmeauskopplung verwendet werden. Während Wärmetauscher geringe Investitionskosten aufweisen, deren Einsatz einfach umzusetzen und meist sinnvoll ist, gilt es bei den restlichen Systemen die Sinnhaftigkeit ihres Einsatzes genauer zu prüfen. Im optimalen Fall entstehen Nutzungskaskaden, welche die Abwärme bis auf ein nicht mehr weiter verwertbares Temperaturniveau ausnutzen.

Im Bereich der **Demand Side Management (DSM)**-Anwendungen sind im **Haushaltsbereich** die Wärmeanwendungen, wie beispielsweise die elektrischen Speicherheizungen, Umwälzpumpen, Wärmepumpen oder Warmwasserspeicher aufgrund ihrer Speicherkapazität sehr gut nutzbar. Der Komfortverlust für den Endverbraucher hält sich in Grenzen und die zeitliche Verschiebbarkeit der Anwendungen ist mit etwa zwölf Stunden gut für den längerfristigen DSM-Einsatz geeignet. Bei den restlichen Haushaltsgeräten eignen sich Kühl- und Gefriergeräte noch am besten zur DSM-Anwendung, obwohl hier ähnlich wie etwa bei Waschmaschinen der Steuerungsaufwand höher ist und ebenso der Komfortverlust beim Endverbraucher. Die Haushaltsanwendungen bestehen aus vielen kleinen DSM-Kapazitäten, die es zu erschließen gilt. Dazu muss allerdings zuerst eine Infrastruktur aufgebaut werden, wodurch die Investitionskosten der wesentliche Kostenfaktor sind, wenn man dieses Potential realisieren will.

In der **Industrie** können durch einzelne Prozesse DSM-Kapazitäten im Megawatt-Bereich genutzt werden. Allerdings besteht hier die Gefahr, dass ein Wertschöpfungsverlust für das Unternehmen auftreten kann. Dieses Problem führt zu hohen Opportunitätskosten. Ein möglicher Lösungsansatz sind **Energiedienstleistungsspeicher**, welche den Dienstleistungszeitpunkt vom Strombezugszeitpunkt entkoppeln und somit den limitierenden Prozess nicht unterbrechen und einen Wertschöpfungsverlust vermeiden.

Die **Potentialerhebung** anhand der Recherche von wissenschaftlichen Arbeiten zeigt, dass im kontinentaleuropäischen Raum durchaus ein nutzbares Potential vorhanden ist. Inwieweit diese theoretischen bzw. technischen Potentiale wirtschaftlich realisierbar sind, bleibt allerdings ungeklärt. Jedoch wird klar, dass die maximalen Potentiale zahlreichen Restriktionen unterliegen, wie beispielsweise der zeitlichen Verfügbarkeit oder der tatsächlichen Teilnahme der Endverbraucher.

Der derzeit wichtigste Einsatz von DSM ist die **Reduktion der Spitzenlast**. Hier sind DSM-Anwendungen vor allem als Konkurrenz für neue Gasturbinen-Kraftwerke oder bestehende Spitzenlasteinheiten zu sehen, da sie hinsichtlich der Gesamtkosten teilweise günstiger sind. Der Einsatz von DSM am Strommarkt ist, bedingt durch den derzeitigen Marktmechanismus, größtenteils nur am Regelenenergiemarkt sinnvoll. Hier ist für Unternehmen die **Minutenreserve** die derzeit interessanteste Möglichkeit, ihre DSM-Kapazitäten am Strommarkt anzubieten. Um Hemmnisse bedingt durch strenge Präqualifikationen zu beseitigen, kann vor allem das Pooling eine gute Möglichkeit darstellen.

In **Zukunft** dürfte die Hauptaufgabe von DSM vor allem darin bestehen, eine maximal flexible Nachfrage zu erzeugen. Dies bedeutet einen Übergang von einer verbrauchsorientierten Erzeugung zu einem erzeugungsorientierten Verbrauch, um auf schwankende Erzeugung aus erneuerbaren Quellen entsprechend reagieren zu können.

Schlussendlich kann festgestellt werden, dass die **DSM-Nutzung** der elektrischen **Energieeffizienz** teilweise entgegenwirkt. Beispielsweise wird durch einen möglichen Teillastbetrieb der elektrischen Antriebssysteme oder der Nutzung eines größeren Temperaturbandes bei Kühlgeräten deren Wirkungsgrad verschlechtert.

## 5. Anhang

### 5.1 Energieeffizienzindex für Haushaltsgeräte

Energieeffizienzklassen der Haushaltskühlgeräte bis 2014	
A+++	EEI < 22
A++	22 ≤ EEI < 33
A+	33 ≤ EEI < 44
A	44 ≤ EEI < 55
B	55 ≤ EEI < 75
C	75 ≤ EEI < 95
D	95 ≤ EEI < 110
E	110 ≤ EEI < 125
F	125 ≤ EEI < 150
G	EEI ≥ 150

Tabelle 50: Bereich des EEI für die jeweilige Energieeffizienzklasse der Haushaltskühlgeräte (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2010 S. L314/46).

Energieeffizienzklassen der Geschirrspüler bis 2014	
A+++	EEI < 50
A++	50 ≤ EEI < 56
A+	56 ≤ EEI < 63
A	63 ≤ EEI < 71
B	71 ≤ EEI < 80
C	80 ≤ EEI < 90
D	EEI ≥ 90

Tabelle 51: Bereich des EEI für die jeweilige Energieeffizienzklasse der Geschirrspüler (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2010b S. L314/60).

Energieeffizienzklassen der Waschmaschinen bis 2014	
A+++	EEI < 46
A++	46 ≤ EEI < 52
A+	52 ≤ EEI < 59
A	59 ≤ EEI < 68
B	68 ≤ EEI < 77
C	77 ≤ EEI < 87
D	EEI ≥ 87

Tabelle 52: Bereich des EEI für die jeweilige Energieeffizienzklasse der Waschmaschinen (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2010b S. L314/60).

---

## 6. Verzeichnisse

### 6.1 Literaturverzeichnis

**AEA. 2012.** klimaaktiv.at. [Online] 2012. [Zitat vom: 28. Mai 2013.] [http://www.klimaaktiv.at/dms/klimaaktiv/energiesparen/betriebe\\_prozesse/vorzeigebetriebe/druckluftsystemopt/Rondo-Ganahl-AG-2012/Rondo%20Ganahl%20AG\\_12.pdf](http://www.klimaaktiv.at/dms/klimaaktiv/energiesparen/betriebe_prozesse/vorzeigebetriebe/druckluftsystemopt/Rondo-Ganahl-AG-2012/Rondo%20Ganahl%20AG_12.pdf).

**AEA, Austrian-Energy-Agency. 2012.** klimaaktiv.at. [Online] 26. November 2012. [Zitat vom: 28. Jänner 2013.] [www.klimaaktiv.at/filemanager/download/83352](http://www.klimaaktiv.at/filemanager/download/83352).

**Agenda 21. 2011.** Agenda-Energie-Lahr. [Online] 2011. [Zitat vom: 15. Jänner 2013.] <http://www.agenda-energie-lahr.de/Phase2-Berichte.html>.

**Allplan. 2008.** *Nutzung der Abwärmepotentiale in Wien*. Wien : MA27, EU-Strategie- und Wirtschaftsentwicklung Energie- und SEP Koordination, 2008.

**APG. 2013.** Austria Power Grid. [www.apg.at](http://www.apg.at). [Online] 2013. [Zitat vom: 4. März 2013.] <http://www.apg.at/de/markt/netzregelung/tertiaerregelung/ausschreibungen>.

**Baehr, Hans und Kabelac, Stephan. 2009.** *Thermodynamik - Grundlagen und technische Anwendungen*. Berlin : Springer-Verlag, 2009. 978-3-642-00556-5.

**Berger, Helmut und Jamek, Karl. 2005.** *ENERGIEEFFIZIENTE TECHNOLOGIEN UND EFFIZIENZSTEIGERENDE MASSNAHMEN, Praxiserprobte Anwendungen und Innovationen*. Wien : Umweltbundesamt GmbH, 2005.

**bmwfi, Bundesministerium für Wirtschaft Familie und Jugend in Österreich. 2012.** *Energieeffizienz: Die Entwicklung des Bereichs "Energieeffizienz" in der Europäischen Union*. Wien : s.n., Juli 2012.

**Brauner, G. 2006.** *Verbraucher als virtuelles Kraftwerk - Potentiale für Demand Side Management in Österreich im Hinblick auf die Integration von Windenergie*. Wien : TU Wien - Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft, 2006.

**Brunner, Conrad und Werle, Rita. 2012.** Energieeffiziente Antriebssysteme - Förderprogramm Easy, Produktionskosten optimieren. *Umwelt Perspektiven*. Feber 2012, S. 38-41.

—. **2012a.** Produktionskosten. *Umwelt Perspektiven*. Feber 2012a, S. 38-41.

**Charles River Associates. 2005.** *Primer on Demand-Side Management - With an emphasis on price-responsive programs*. Oakland, California 94618 : s.n., Feber 2005.

---

**DENA. 2010.** *dena-Netzstudie II - Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung im Zeitraum 2015 – 2020 mit Ausblick 2025.* Berlin : Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), 2010.

—. **2011.** Einführung: Demand-Side-Management im Kontext energiepolitischer Rahmenbedingungen und Zielsetzungen. [Online] 7. Dezember 2011. [Zitat vom: 11. Feber 2013.]

[http://www.dena.de/fileadmin/user\\_upload/Veranstaltungen/2011/Vortraege\\_DSM/1\\_dena\\_Agricola.pdf](http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Veranstaltungen/2011/Vortraege_DSM/1_dena_Agricola.pdf).

—. **2012.** stromeffizienz.de. [Online] Deutsche Energie-Agentur GmbH, 2012. [Zitat vom: 5. Dezember 2012.] <http://www.stromeffizienz.de/industrie-gewerbe/effiziente-technologien/pumpensysteme/ratgeber.html>.

—. **2010a.** www.stromeffizienz.de. *Deutsche Energieagentur GmbH (dena).* [Online] Dezember 2010a. [Zitat vom: 25. Jänner 2013.] [http://www.stromeffizienz.de/industrie-gewerbe/dena-referenzprojekte.html?tx\\_sbproref\\_pi1%5BshowUid%5D=26&tx\\_sbproref\\_pi1%5Bview%5D=pdf](http://www.stromeffizienz.de/industrie-gewerbe/dena-referenzprojekte.html?tx_sbproref_pi1%5BshowUid%5D=26&tx_sbproref_pi1%5Bview%5D=pdf).

**Drucklufttechnik. 2012.** drucklufttechnik.de. *Kapitel 4: Regelung von Kompressoren.* [Online] 2012. [Zitat vom: 18. Jänner 2013.] [http://www.drucklufttechnik.de/www/temp/Dlrepos.nsf/LookupHTML/KompendiumPDF\\_d/\\$File/Kapitel04.pdf](http://www.drucklufttechnik.de/www/temp/Dlrepos.nsf/LookupHTML/KompendiumPDF_d/$File/Kapitel04.pdf).

**E-Control. 2011.** *Das österreichische Strommarktmodell.* Wien : E-Control, 2011.

—. **2008.** *Grünbuch Energieeffizienz Maßnahmenvorschläge zur Steigerung der Energieeffizienz.* Wien, Österreich : s.n., Oktober 2008.

**ENTSOE. 2012.** Scenario Outlook & Adequacy Forecast 2012-2030. [Online] 5. July 2012. [Zitat vom: 7. Dezember 2012.] <https://www.entsoe.eu/system-development/system-adequacy-and-market-modeling/soaf-2012-2030/>.

**ESV. 2012.** Oberösterreichischer Energiesparverband. [Online] 2012. [Zitat vom: 4. Jänner 2013.] <http://www.esv.or.at/privathaushalte/energiespartipps/>.

**EUROPÄISCHE KOMMISSION. 2010a.** *DELEGIERTE VERORDNUNG (EU) Nr. 1059/2010 DER KOMMISSION zur Ergänzung der Richtlinie 2010/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Kennzeichnung von Haushaltsgeschirrspülern in Bezug auf den Energieverbrauch.* Brüssel : Europäischen Union, 2010a.

—. **2010.** *DELEGIERTE VERORDNUNG (EU) Nr. 1060/2010 DER KOMMISSION zur Ergänzung der Richtlinie 2010/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Kennzeichnung von Haushaltskühlgeräten in Bezug auf den Energieverbrauch.* Brüssel : Europäischen Union, 2010.

---

—. **2010b.** *DELEGIERTE VERORDNUNG (EU) Nr. 1061/2010 DER KOMMISSION zur Ergänzung der Richtlinie 2010/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Kennzeichnung von Haushaltswaschmaschinen in Bezug auf den Energieverbrauch.* Brüssel : Europäische Union, 2010b.

**Europäische Kommission. 2013.** [http://ec.europa.eu/energy/efficiency/eed/eed\\_de.htm](http://ec.europa.eu/energy/efficiency/eed/eed_de.htm). [Online] Europäische Kommission, 2013. [Zitat vom: 17. Mai 2013.] [http://ec.europa.eu/energy/efficiency/eed/eed\\_de.htm](http://ec.europa.eu/energy/efficiency/eed/eed_de.htm).

**EUROPÄISCHE KOMMISSION. 2009.** *VERORDNUNG (EG) Nr. 640/2009 DER KOMMISSION zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Elektromotoren.* Brüssel : Amtsblatt der Europäische Kommission, 2009.

**EWI. 2012.** *Flexibility options in European electricity markets in high RES-E scenarios - Study on behalf of the International Energy Agency (IEA).* Köln : EWI - Energie-Wirtschaftsinstitut der Universität Köln, 2012.

—. **2012a.** *Untersuchungen zu einem zukunftsfähigen Strommarktdesign - Endbericht.* Köln : Energiewirtschaftliches Institut Universität Köln, 2012a.

**FEEI, Fachverband der Elektro- und Elektronikindustrie. 2012.** [www.feei.at](http://www.feei.at). *Kostensparen mit energieeffizienten Standmotoren.* [Online] 2012. [Zitat vom: 28. November 2012.] <http://www.feei.at/img/db/docs/4018.pdf>.

**FfE, Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. 2010.** *Demand Side Management in Haushalten.* April 2010.

**FHNW/ETH. 2012.** [Lastmanagement.ch](http://www.iast.ch/lastmanagement_ch/). [Online] 13. Jänner 2012. [Zitat vom: 11. Dezember 2012.] [http://www.iast.ch/lastmanagement\\_ch/](http://www.iast.ch/lastmanagement_ch/).

**Getatron. 2012.** <http://www.ecoman.org/>. [Online] Getatron GmbH, 2012. [Zitat vom: 2. Jänner 2013.] <http://www.ecoman.org/>.

**Gils, Hans Christian. 2013.** *Abschätzung des möglichen Lastmanagementesinsatzes in Europa.* 8. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien : Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Technische Thermodynamik, 2013.

**Gobmaier, Thomas und von Roon, Serafin. 2010.** *Demand Response in der Industrie - Status und Potenziale in Deutschland.* München : Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE), 2010.

**Grobmaier, Thomas und Bernhard, Dominik. 2012.** *Märkte für Demand Side Management.* 12. Energiesymposium Graz : Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. München, 2012.

**Gruber, Anna, von Roon, Serafin, Peraus, Sebastian, Buber, Tim und Gobmaier, Thomas. 2013.** *Lastflexibilisierungspotentiale industrieller Querschnittstechnologien unter*

---

*Berücksichtigung zunehmender Energieeffizienz.* 8. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien : Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH, Am Blütenanger 71, D-80995 München, 2013.

**Grundfos.** Heizungsumwälzpumpen. [Online] [Zitat vom: 27. Mai 2013.] <http://net.grundfos.com/Appl/WebCAPS/Grundfosliterature-2785601.pdf>.

**Gutschi, Christoph. 2009.** Kraft-Wärme-Kopplung. [Präsentation ]. TU Graz : s.n., 20. November 2009.

**Gutschi, Christoph und Stigler, Heinz. 2008.** *Potenziale und Hemmnisse für Power Demand Side Management in Österreich.* Graz, Österreich : TU Graz, Feber 2008.

**Hänggi, Marcel. 2009.** Energieeffizienz mit Haken. *Umwelt Aktuell.* 2009, 02.

**Heinrici, Michael. 2009.** *Repowering Simmering BKW 1/2.* [Präsentation] s.l. : Wien Energie , 2009.

**Hesselbach, Jens. 2012.** Energieeffizienzmaßnahmen für Querschnittstechnologien. *Energie- und klimaeffiziente Produktion.* s.l. : Springer Verlag, 2012.

**Hodurek, Claus. 2011.** Demand Side Management; Tauglich für die Systemführung?; Nutzen und Auswirkungen für das Übertragungsnetz. Berlin : 50Hertz Transmission GmbH, 2011.

**Hütter, Daniel. 2010.** Spitzenlastbepreisung und intelligente Zähler. *Diplomarbeit.* Graz : Institut für Elektrizitätswirtschaft und Energieinnovation der Technischen Universität Graz, 2010.

**Hütter, Jürgen. 2008.** Fachvortrag; Vortragsgruppe: Energieeffizienz bei Kompressoren und Druckluftsystemen. *Vortrag: 22-3, Effiziente Druckluftproduktion.* Düsseldorf : BOGE Kompressoren Bielefeld, 2008.

**IEA. 2012.** [Online] 2012. [Zitat vom: 10. Dezember 2012.] [http://www.iea.org/techno/iaresults.asp?id\\_ia=8](http://www.iea.org/techno/iaresults.asp?id_ia=8).

**IEA-DSM. 2008.** *Research Report No 2 Task XV of the International Energy Agency Demand Side Management Programme.* s.l. : Energy Futures Australia Pty Ltd, 2008.

**IHK. 2012.** *Energiewende im Strommarkt, Chancen nutzen - Risiken vermeiden.* München : Bayerischer Industrie- und Handelskammertag, 2012.

**Kabus, Matthias. 2010.** *Wirkungsgradklassen für Elektromotoren.* [Informationsblatt] Wuppertal : EnergieAgentur NRW, 2010.

**Kettner, Thorsten. 2005.** Energie-Label für Heizungspumpen, Vergleichbarkeit durch einheitliche Klassifizierung. *Fachzeitschrift für Erneuerbare Energien und Technische Gebäudeausrüstung.* Juni 2005, S. 40-45.

---

**Klobasa, Martin. 2009.** *Dynamische Simulation eines Lastmanagements und Integration von Windenergie in ein Elektrizitätsnetz.* Karlsruhe : Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, IRB Verlag, 2009.

**Küng, Lukas. 2012.** Demand Side Management aus Sicht eines Elektrizitätsverteilunternehmens: Erfahrungen und Einschätzungen von ewz. ETH Zürich : Conference 2012, „Demand Side Management: Potenziale und Erfahrungen“, ETH Zürich, 21. November 2012. S. 9.

**Lackner, Petra. 2012.** klima:aktiv energieeffiziente betriebe Energiemanagement nach ÖNORM EN 1600. [Online] 13. Jänner 2012. [Zitat vom: 15. Mai 2013.] <http://www.klimaaktiv.at/dms/klimaaktiv/publikationen/energiesparen/lfeebetriebe/Schritte-zur-Verbesserung-der-Energieeffizienz-in-Betrieben/Schritte%20zur%20Verbesserung%20der%20Energieeffizienz%20in%20Betrieben.pdf?1=1>.

**LfU. 2001.** *Niedertemperaturverstromung mittels einer ORC-Analge im Werk Lengfurt der Heidelberger Zement AG.* Augsburg : Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, 2001.

**licht.de. 2013.** licht.de. [Online] 2013. [Zitat vom: 15. Mai 2013.] <http://www.licht.de/de/info-und-service/licht-specials/led-das-licht-der-zukunft/die-lichtquelle-led/leds-effizienz-und-lichtausbeute/>.

**OSRAM. 2012.** <http://www.osram.de>. [Online] 2012. [Zitat vom: 3. Dezember 2012.] <http://www.osram.de>.

**Paetz, Alexandra-Gwyn, Jochem, Partick und Fichter, Wolf. 2012.** *Demand Side Management mit Elektrofahrzeugen.* Karlsruhe, Karlsruher Institut für Technologie, Lehrstuhl für Energiewirtschaft, Symposium Energieinnovation 2012 Graz/Austria : Karlsruher Institut für Technologie , 15-17. Feber 2012.

**Panos, Konstantin. 2009.** *Praxisbuch Energiewirtschaft (Energieumwandlung, -transport und -beschaffung im liberalisierten Markt).* Berlin : Springer Berlin Heidelberg, 2009. 978-3-540-78592-7.

**Paulus, Moritz und Borggreffe, Frieder. 2010.** The potential of demand-side management in energy-intensive industries for electricity markets in Germany. *Applied Energy* 88 (2). 2010, S. 432-441.

**Pehnt, Martin. 2010.** *Energieeffizienz, Ein Lehr- und Handbuch.* s.l. : Springer Verlag, 2010.

**Pelz, Waldemar. 2012.** wpelz.de. *SWOT Analyse.* [Online] 2012. [Zitat vom: 18. Mai 2013.] <http://www.wpelz.de/ress/swot.pdf>.

**Piot, Michael. 2006.** *Exkurs: Potenzialbegriffe.* Warstein : Bundesamt für Energie, 2006.

---

**Radgen, Peter und Blaustein, Edgar. 2001.** *Compressed Air Systems in the European Union - Final Report - Summary.* Karlsruhe : LOG\_X Verlag GmbH, 2001. S. 172.

**Reichl, Johannes. 2010.** *Analyse der Wirkungsmechanismen von Endenergieeffizienz-Maßnahmen und Entwicklung geeigneter Strategien für die Selektion ökonomisch-effizienter Maßnahmenpakete.* Linz : Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität , 2010.

**RWE. 2012.** Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk AG. [Online] 4. Dezember 2012. [Zitat vom: 10. Dezember 2012.] <http://www.rwe.com/web/cms/de/1136046/rwe/innovation/projekte-technologien/energieanwendung/windheizung/>.

**saena. 2010.** Wärmeatlas Sachsen. *Sächsischen Energieagentur SAENA GmbH* . [Online] 2010. [Zitat vom: 18. Jänner 2013.] [http://www.abwaermeatlas-sachsen.de/Technologien/Technologien/Stromerzeugung/Wirtschaftlichkeitsrechnung\\_2.html](http://www.abwaermeatlas-sachsen.de/Technologien/Technologien/Stromerzeugung/Wirtschaftlichkeitsrechnung_2.html).

**Sattler, Peter. 2008.** *Energieeffiziente Druckluftanwendung.* Wien : MA 27, EU-Strategie und Wirtschaftsentwicklung, Energie und SEP-Koordination, 2008.

**Schlemmer, Peter. 2011.** *Wärmeaufbringung und Wärmeverteilung in Graz.* [Präsentation] Graz : Energie Graz, 2011.

**Schüppel, Andreas. 2011.** Einfluss dargebotsabhängiger Stromerzeugung auf die Strommärkte. 7. Internationale Energiewirtschaftstagung Wien : s.n., 23. März 2011. Präsentation.

**Sonnenschein, Michael, Rapp, Barbara und Bremer, Jörg. 2010.** *Demand Side Management und Demand Response - Auszug aus dem Handbuch Energiemanagement.* Frankfurt am Main : EW Medien, 2010.

**Stadler, Michael. 2003.** *The relevance of demand-side-measures and elastic demand curves to increase market performance in liberalized electricity markets: The case of Austria.* 3680 Priel : Technischen Universität Wien - Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik - Dissertation, 2003.

**Statistik Austria. 2012.** Endenergienutzungsanalyse Österreich 2010. [Online] 2012. [http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/energie\\_und\\_umwelt/energie/nutzenergieanalyse/index.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_und_umwelt/energie/nutzenergieanalyse/index.html).

— **2011b.** Energieeinsatz der Haushalte im Jahr 2007/2008. [Online] Statistik Austria, 2011b. [Zitat vom: 10. Mai 2013.] <http://statcube.at/superwebguest/login.do?guest=guest&db=deeehh>.

— **2011a.** *Energiestatistik: Energetischer Endverbrauch 1993 bis 2011 nach Energieträgern und Nutzenergiekategorien für Österreich.* Wien, Austria : s.n., 11. April 2011a.

---

—. **2011.** *Jahresdurchschnittspreise und -steuern für die wichtigsten Energieträger 2011.* Wien : Statistik Austria, 2011.

—. **2009.** *Strom- und Gastagebuch 2008.* Wien : s.n., 2009.

**Stigler, Heinz, Hütter, Daniel, Schüppel, Andreas, Gutschi, Christoph und Huber, Christoph. 2013.** *European Demand Response Center (ERDC) - Final Report.* Graz : Institute of Electricity Economies and Energy Innovation, TU Graz, 2013.

**topmotors. 2009.** topmotors.ch. [Online] 2009. [Zitat vom: 5. 12 2012.] <http://www.topmotors.ch/Download/>.

—. **2012.** topmotors.ch - Effiziente Antriebe. [Online] 2012. [Zitat vom: 28. November 2012.] [http://www.topmotors.ch/\\_data/Topmotors.pdf](http://www.topmotors.ch/_data/Topmotors.pdf).

**topprodukte. 2013.** topprodukte.at. [Online] 2013. [Zitat vom: 11. April 2013.] Entnommen aus Excel Datenblatt. [www.topprodukte.at](http://www.topprodukte.at).

**Volz, Günther. 2010.** *Elektrische Motoren in Industrie und Gewerbe: Energieeffizienz und Ökodesign-Richtlinie.* Berlin : Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), 2010.

**VZ-RLP. 2012.** *Energieverbrauch von Backofen und Herd.* Mainz, Freiburg : Verbraucherzentrale Rheinland-Pfalz e.V, Ökoinstitut e. V. Freiburg, 2012.

**Wagner, U. 1989.** *Leistungs- und Lastbedarfssteuerung.* München : FfE Schriftenreihe, 1989.

**Waide, Paul und Brunner, Conrad. 2011.** Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems. [Online] 2011. [Zitat vom: 28. Mai 2013.] [http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EE\\_for\\_ElectricSystems.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EE_for_ElectricSystems.pdf).

**Wosnitza, Franz und Hilgers, Hans Gerd. 2012.** *Energieeffizienz und Energiemanagement - Ein Überblick heutiger Möglichkeiten und Notwendigkeiten.* s.l. : Vieweg+Teubner Verlag, 2012.

**Zehnder, Urs. 2006.** STANDBY-VERBRAUCH IM HAUSHALT Schlussbericht. [Online] 2006. [Zitat vom: 10. April 2013.] <http://www.bfe.admin.ch/php/modules/enet/streamfile.php?file=000000009113.pdf&name=000000260053.pdf>.

---

## 6.2 Abkürzungsverzeichnis

<b>Abkürzung</b>	<b>Beschreibung</b>
a	anno
APG	Austria Power Grid
BG	Bilanzgruppe
BGV	Bilanzgruppenverantwortlicher
DENA	Deutsche Energie Agentur
DR	Demand Response
DRC	Direct Load Control
DSM	Demand Side Management
EC-Motor	Electronially commutated Motor
EDLS	Energiedienstleistungsspeicher
EEl	Energie Effizienz Index
EK	Effizienzklasse
ENTSO-E	European Network of Transmission System Operators for Electricity
ES	Einsparung
ES	Einsparung
ESL	Energiesparlampe
EU	Europäische Union
EVG	Elektronische Vorschaltgeräte
E-W	Erde-Wasser
EWI	Energiewirtschaftliches Institut Köln
FU	Frequenzumrichter
GL	Glühlampe
GuD	Gas und Dampf
GW	Gigawatt
GWh	Gigawattstunde
HGÜ	Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung
HL	Halogenlampe
HML	Halogen-Metaldampf Lampe
IK	Investitionskosten
IRC	Infra-Red-Coated
JAZ	Jahresarbeitszahl
KVG	Konventionelle Vorschaltgeräte
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft Wärme Kopplung
LED	Light Emitting Diode
LSL	Leuchtstofflampe
L-W	Luft-Wasser
MCP	Market Clearing Price
MRL	Minutenreserve
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunde
NHL	Natriumdampf Hochdrucklampe
OCGT	Open Cycle Gas Turbine
OÖ-ESV	Oberösterreichische Energiesparverband
ORC	Organic Rankine Cycle

---

OTC	Over the Counter
PDSM	Power Demand Side Management
PR	Produzentenrente
PRL	Primärregelleistung
PV	Photovoltaik
RWE	Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk AG
SRL	Sekundärregelleistung
SWOT	Strength Weakness Opportunities Threats
TJ	Terra Joule
UCTE	Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity
ÜNB	Übertragungsnetzbetreiber
W	Watt
WP	Wärmepumpe