

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

Lastverschiebung
in der Industrie

Österreichische
Begleitforschung
zu Smart Grids

A. Kollmann, M. Schmidthaler,
C. Elbe, E. Schmutzner,
A. Kraussler, H. Steinmüller,
F. Frank, L. Rebhandl

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

7e/2015

Impressum:

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

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

www.NachhaltigWirtschaften.at

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

Lastverschiebung in der Industrie

Österreichische Begleitforschung
zu Smart Grids

Michael Schmidthaler, Andrea Kollmann, Horst Steinmüller,
Fabian Frank, Lukas Rebhandl
Energieinstitut an der JKU Linz

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

Alois Kraussler
4ward Energy Research GmbH

Linz und Graz, Juni 2014

Vorbemerkung

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

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

DI Michael Paula

Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorbemerkung zur Smart Grids Begleitforschung

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

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

Michael Hübner

Themenmanagement Smart Grids

Abteilung Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Der Klima- und Energiefonds unterstützt das bmvit bei dieser Strategieentwicklung. Dieses Projekt wurde mit Mitteln des Klima- und Energiefonds finanziert.

VORWORT

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

Der vorliegende Projektbericht 4/9 „Lastverschiebung in der Industrie“ wurde im Rahmen dieses Projektes erstellt. Weitere Projektberichte des Projektes Loadshift sind:

0/9: Überblick und Zusammenfassung: Das Projekt Loadshift

1/9: Loadshift- Rahmenbedingungen

2/9: Netztechnische Betrachtung

3/9: Literaturvergleich

4/9: Lastverschiebung in der Industrie

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

6/9: Lastverschiebung in Haushalten

7/9: Lastverschiebung bei kommunalen Kläranlagen und Wasserversorgungssystemen

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

9/9: Hemmniskatalog



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

INHALT

1	Lastverschiebung in der Industrie	6
1.1	Zielsetzung.....	6
1.2	Lastverschiebungsrelevante Anwendungen in der Industrie.....	7
1.3	Überblick der analysierten Industriesparten	8
2	Lastverschiebung in der Industrie: Einführung und Definitionen	9
2.1	Rahmenbedingungen der Analyse von Lastverschiebung in der Industrie.....	9
2.2	Elektrizitätsverbrauch und Lastverschiebung von Industrieunternehmen in Österreich	10
2.2.1	Motivation und Relevanz von Lastverschiebungsmaßnahmen in Österreich – Lastgangentwicklung und Versorgungssicherheit.....	11
2.2.2	Energetischer Endenergieverbrauch und Strombezug der Industrie	12
2.3	Literaturvergleich nationaler und internationaler Studien.....	14
2.3.1	Lastverschiebung in Österreich.....	14
2.3.2	Internationale Studien zu Lastverschiebung	16
2.3.3	Lastverschiebungspotenziale für Österreich	21
2.3.4	Prozessspezifische Potenziale und Kosten von Lastverschiebungsansätzen	21
3	Chemische Industrie	23
3.1	Chloralkali-Elektrolyse	23
3.1.1	Chloralkali-Elektrolyse International	23
3.1.2	Chloralkali-Elektrolyse in Österreich.....	24
3.1.3	Kenndaten zur Berechnung des Lastverschiebungspotenzials der Chloralkali- Elektrolyse in Österreich	24
3.2	Luftzerlegung.....	27
3.2.1	Überblick Luftzerlegung	27
3.2.2	Luftzerlegung INTERNATIONAL	27
3.2.3	Luftzerlegung in Österreich	27
3.2.4	Kenndaten zur Berechnung des Lastverschiebungspotenzials der Luftzerlegung in Österreich	28
3.3	Zusammenfassung der Lastverschiebungspotenziale und –kosten der chemischen Industrie	30
4	Elektrostahlerzeugung.....	32
4.1	Überblick Elektrostahlerzeugung.....	33
4.2	Technische Charakteristika der Elektrostahlerzeugung.....	33
4.3	Elektrostahlerzeugung INTERNATIONAL.....	35
4.4	Elektrostahlerzeugung in Österreich	35
4.4.1	Kenndaten zur Berechnung des Lastverschiebungspotenzials der Elektrostahlerzeugung in Österreich.....	36
4.4.2	Möglicher Zeitraum für Lastverschiebung.....	38

4.4.3	Lastverschiebungskosten	39
4.5	Zusammenfassung der Lastverschiebungspotenziale und –kosten der Elektrostahlerzeugung in Österreich	40
5	Nichteisen-Metalle.....	42
5.1	Energieverbrauch und Eignung für Lastverschiebung.....	44
5.2	Literatur zur Lastverschiebung im Sektor Nichteisen-Metalle.....	45
5.3	Aluminiumerzeugung.....	45
5.3.1	Aluminiumerzeugung INTERNATIONAL	46
5.3.2	Aluminiumerzeugung in Österreich.....	46
5.3.3	Kenndaten zur Berechnung des Lastverschiebungspotenzials für den Bereich der Aluminiumerzeugung.....	46
5.4	Kupfererzeugung.....	48
5.4.1	Kupfererzeugung INTERNATIONAL	49
5.4.2	Kupfererzeugung in Österreich.....	49
5.5	Zusammenfassung der Lastverschiebungspotenziale und –kosten der Nichteisen- Metalle in Österreich	50
5.5.1	Lastverschiebungspotenziale bei Nichteisen-Metallen.....	50
5.5.2	Möglicher Zeitraum für Lastverschiebung.....	52
5.5.3	Lastverschiebungskosten	52
6	Metallerzeugung und –bearbeitung.....	55
6.1	Überblick.....	55
6.1.1	Energieverbrauch und Branchenstruktur	56
6.1.2	Wertschöpfung und Beschäftigung im Sektor Metallerzeugung und –bearbeitung	58
6.2	Gießereien	58
6.2.1	Überblick	59
6.2.2	Gießereien INTERNATIONAL.....	59
6.2.3	Gießereien in Österreich.....	60
6.2.4	Kenndaten zur Berechnung des Lastverschiebungspotenzials für den Bereich der Gießereien.....	63
6.3	Metallverarbeitung: Oberflächenveredelung und Wärmebehandlung	65
6.3.1	Überblick Oberflächenveredelung und Wärmebehandlung.....	66
6.3.2	Oberflächenveredelung und Wärmebehandlung im internationalen Vergleich	66
6.3.3	Oberflächenveredelung und Wärmebehandlung in Österreich	66
6.3.4	Kenndaten zur Berechnung des Lastverschiebungspotenzials für den Bereich der Oberflächenveredelung und Wärmebehandlung	67
6.4	Zusammenfassung Metallerzeugung und –bearbeitung	69
6.4.1	Lastverschiebungspotenziale in der Metallerzeugung und –bearbeitung.....	69
6.4.2	Möglicher Zeitraum für Lastverschiebung.....	71
6.4.3	Lastverschiebungskosten	71

7	Zellstoff- und Papierindustrie.....	73
7.1	Überblick Zellstoff- und Papierproduktion	73
7.2	Papierindustrie International	74
7.3	Papierindustrie in Österreich	74
7.4	Lastverschiebungspotenzial im Bereich der Papierindustrie in Österreich.....	76
7.5	Energiespezifische Kennzahlen und Berechnung der Lastverschiebungspotenziale	80
7.6	Lastverschiebungskosten.....	80
7.7	Zusammenfassung der Lastverschiebungspotenziale und –kosten der Zellstoff- und Papierindustrie in Österreich	81
8	Zementindustrie.....	82
8.1	Überblick Zementindustrie.....	82
8.1.1	Die Zementherstellung.....	82
8.2	Zementindustrie INTERNATIONAL.....	83
8.3	Zementindustrie in Österreich	84
8.4	Lastverschiebung in der Zementindustrie	85
8.4.1	Lastverschiebung in der Zementindustrie – international.....	85
8.4.2	Lastverschiebung in der Zementindustrie in Österreich.....	86
8.5	Zusammenfassung der Lastverschiebungspotenziale und –kosten der Zementindustrie in Österreich	92
9	Zusammenfassung.....	94
9.1	Ableitung von Handlungsempfehlungen.....	95
9.2	Ausblick	95
9.3	Umsetzung und Anreize	95
9.4	Kostenkurve.....	97
10	Abbildungsverzeichnis	99
11	Tabellenverzeichnis.....	101
12	Literaturverzeichnis.....	105

1 Lastverschiebung in der Industrie

Michael Schmidthaler

Die Industrieunternehmen in Österreich erzielten im Jahr 2012 Umsatzerlöse von 265 Mrd. € und erwirtschafteten eine Bruttowertschöpfung von 79,33 Mrd. €. Dies sind rund 26 % des österreichischen Bruttoinlandsprodukts.¹

Rund 61.600 Unternehmen mit 960.000 Beschäftigten werden dem sekundären Sektor zugeordnet. Alle diese Unternehmen werden in einer international einheitlichen Form klassifiziert (Statistik Austria, 2008). Für den sekundären Sektor umfasst diese sogenannte ÖNACE² Klassifikation die folgenden fünf Hauptsektoren:

1. Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden (Abschnitt B)
2. Herstellung von Waren (Abschnitt C)
3. Energieversorgung (Abschnitt D)
4. Wasserversorgung und Abfallentsorgung (Abschnitt E)
5. Bau (Abschnitt F)

Diese fünf Hauptsektoren werden weiter unterteilt in über 750 Subsektoren (Abteilungen, Gruppen und Klassen), wobei dieses Arbeitspapier ausschließlich die Potenziale und Kosten für Lastverschiebung von Unternehmen des produzierenden Sektors (Abschnitt C, Herstellung von Waren) untersucht. Die Analyse der Lastverschiebungspotenziale dieses sekundären Sektors ist insbesondere aufgrund der Tatsache von Bedeutung, da rund 45 % des Gesamtstrombedarfes Österreichs von diesem Wirtschaftsbereich nachgefragt werden (Statistik Austria, 2012).

Die Bedeutung des produzierenden Sektors für Lastverschiebungsmaßnahmen wurde im Zuge eines ExpertInnenworkshops bestätigt. Lastverschiebungspotenziale, welche von Industrieunternehmen realisiert werden können, können demnach insbesondere gegenüber anderen Bereichen (wie beispielsweise Haushalten) meist kurzfristiger und kostengünstiger ausgeschöpft werden (Expertenworkshop Klima- und Energiefonds, 2013).

Dieses Arbeitspapier beinhaltet daher eine grundlegende Analyse dieses wirtschaftlich, energiepolitisch und gesellschaftlich wichtigen Sektors, stellt die Ergebnisse in Hinblick auf Lastverschiebungspotenziale sowie Kosten dar und leitet Handlungsempfehlungen ab.

1.1 Zielsetzung

Lastverschiebung ermöglicht eine Anpassung der Lasten an die Erzeugung und glättet potenzielle Spitzenlasten. In diesem Arbeitspapier werden prioritär Maßnahmen evaluiert, welche die Nachfrage nach elektrischer Energie in Schwachlastzeiten verschieben können. Die Analyse der technischen und ökonomischen Rahmenbedingungen für eine umfassende Implementierung von Lastverschiebung sowie die Analyse der Auswirkungen für wichtige Stakeholder im Bereich der Industrie stellen die Hauptuntersuchungsgegenstände dieses Arbeitspapiers dar.

¹ Quelle: Statistik Austria; Aggregate berechnet mit laufenden Preisen. Die Bruttowertschöpfung im primären Sektor (Land- und Forstwirtschaft) betrug 4,43 Mrd. € und im tertiären Sektor (Markt- und nichtmarktmäßige Dienstleistungen) 193,83 Mrd. €. Das österreichische Bruttoinlandsprodukt (zu laufenden Preisen) betrug 2013 307,1 Mrd. €. Zur Errechnung des Bruttoinlandsprodukts werden zur Wertschöpfung der drei Sektoren noch Gütersteuern (35,64 Mrd. €) und Gütersubventionen (6,22 Mrd. €) hinzugerechnet.

² NACE steht für „Nomenclature générale des activités économiques dans les communautés européennes“.

Für eine umfassende Definition der Begrifflichkeiten in Hinblick auf Lastverschiebung ist auf das Arbeitspapier 1/9 „Einleitung und Rahmenbedingungen“ verwiesen. Nachfolgend werden ausschließlich einige für den Industriebereich besonders relevante Aspekte von Lastverschiebungen erläutert.

1.2 Lastverschiebungsrelevante Anwendungen in der Industrie

Zuerst gilt es die zur Ausschöpfung der Lastverschiebungspotenziale notwendigen, schaltbaren Verbraucher zu identifizieren. Bei industriellen Prozessen stellt dies eine große Herausforderung dar, da die Leistungsfähigkeit des Produktionsbetriebes nicht unter Lastverschiebungsmaßnahmen leiden darf. Alternativ sind Rahmenbedingungen für finanzielle Kompensationen auszuarbeiten, die Mehrkosten für Produktionsunterbrechungen oder -verschiebungen abgelten.

Zeit- und lastflexible Prozesse in Unternehmen sind speziell für Lastverschiebung geeignet. Darüber hinaus ermöglichen thermische oder stoffliche Speicherfunktionen vielfach die praktische Umsetzung von Lastverschiebungen. In der Literatur werden insbesondere folgende Anwendungen, Prozesse und Anlagen in Industriebetrieben als lastverschiebungstauglich klassifiziert³:

- Lüftungsanlagen, Pumpen- und Druckluftsysteme
- Mühlenanwendungen (bspw. Zement- oder Rohmehlmühlen in der Baustoffindustrie)
- Chlorherstellung in der chemischen Industrie
- Holzschleifer in der Holzstoffproduktion
- Zellstoffherstellung oder Altpapieraufbereitung in der Papierindustrie
- Strombetriebene Wärmeerzeuger (z. B. Öfen)
- Härtereiofen in der metallverarbeitenden Industrie
- Pumpen, Blockheizkraftwerke (BHKW), Druckluftanwendungen
- Weitere Anwendungen mit thermischen Trägheiten oder Speichermöglichkeiten

Die Bedeutung dieser Anwendungen aus energetischer Sicht (im Zuge der Nutzenergieanalyse für elektrische Energie) stellt Abbildung 1-1 dar.

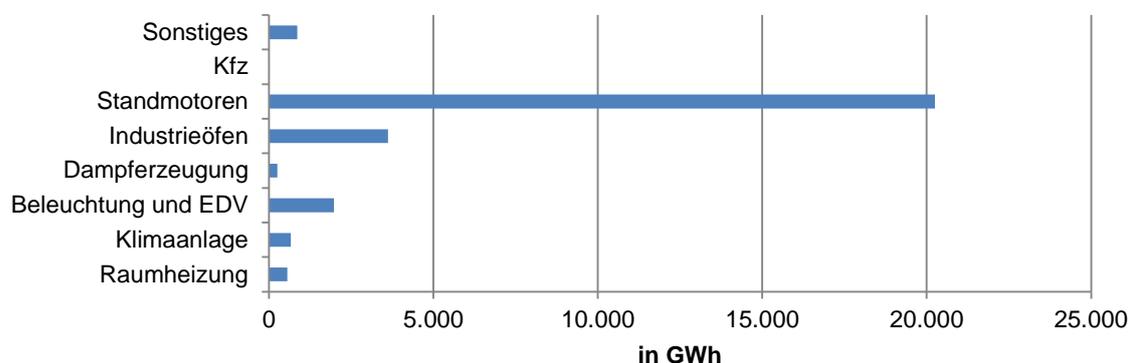


Abbildung 1-1: Nutzenergieanalyse elektrischer Energie im produzierenden Bereich für 2012

Quelle: Statistik Austria (2014)

³ Siehe Pilotprojekt Demand Side Management Bayern, (Deutsche Energie-Agentur, 2014).

Die enorme Bedeutung von Standmotoren für den produzierenden Bereich ist ersichtlich. Nachfolgend erfolgt eine Analyse der behandelten Sektoren und ein Überblick verschiedener Literaturquellen zum Thema Lastverschiebung in der Industrie wird gegeben.

1.3 Überblick der analysierten Industriesparten

Die österreichische Industrie umfasst eine Vielzahl von Sparten und Unternehmen, in denen Lastverschiebungspotenziale vorhanden sind. Gutschi und Stigler (2008) weisen folgenden Branchen ein hohes Potenzial für Lastverschiebungen zu:

- Nichteisen-Metalle
- Papier/Pappe
- Eisen/Stahl
- Bergbau/Steine/Erden
- Chemische Industrie
- Gießereien

Dieser Bewertung wird in diesem Arbeitspapier weitgehend gefolgt, sodass der Schwerpunkt auf der Analyse dieser Wirtschaftsbereiche folgt. Ziel des Arbeitspapiers ist es, jene Sektoren zu analysieren, in denen für Lastverschiebungen besonders relevante Prozesse durchgeführt werden. Ausschließlich für diese Sektoren sind vertiefende Analysen durchzuführen. Auf Basis von Literaturquellen und durch einen im Zuge des Projektes abgehaltenen Workshop wurden folgende – in Tabelle 1-1 dargestellten – Wirtschaftsbereiche aufgrund ihres Potenzials einen Beitrag zur Lastverschiebung zu leisten, ausgewählt (siehe Kapitel 2.2). Eine Klassifizierung und Auflistung relevanter Prozesse, Anwendungen und Technologien, die in weiterer Folge analysiert werden, sind ebenfalls in Tabelle 1-1 dargestellt.

Tabelle 1-1: Für Lastverschiebung analysierte Prozesse und Wirtschaftsbereiche

Prozess Bezeichnung	ÖNACE 2008 Abgrenzung	Bezeichnung der Anwendung	Bezeichnung der Technologie
Chemische Erzeugnisse	Herstellung von Industriegasen	von Luftzerlegung Chloralkali-Elektrolyse	Luftverflüssigung Elektrolyse
Elektrostahlerzeugung	Erzeugung von Roheisen, Stahl und Ferrolegierungen	und Elektro-Stahlherstellung	Lichtbogenöfen
Nichteisen-Metalle (Alu, Kupfer, Zink-Blei)	Erzeugung und erste Bearbeitung von Nichteisen-Metallen	Schmelzflusselektrolyse, Elektrolyseur	Affinierung
Metallerzeugung und bearbeitung	Gießerei - Oberflächenveredlung, Wärmebehandlung	Leichtmetallguss Eisenguss Härten	Induktionsöfen Widerstandsöfen Lichtbogenöfen
Papierherstellung	Herstellung von Holz- und Zellstoff, Papier, Karton und Pappe	Holzstofferzeugung Aufbereitung von Altpapier Papierherstellung und Veredlung	Rohstoffaufbereitung Holzstofferzeugung Papiermaschine Nachbehandlung
Zementindustrie	Zementherstellung	Rohmaterialaufbereitung Mischbettzerkleinerung Klinkerproduktion Abluftventilation	Brecher Rohrmühlen Zementmühlen Abluftventilatoren

Quelle: Statistik Austria (2008)

Die Datenbasis dieses Arbeitspapiers setzt sich zusammen aus Spezialauswertungen der Energiegesamtrechnung, Wertschöpfungs- und Beschäftigtendaten, Gesprächen mit Vertretern der jeweiligen Sparte sowie energiespezifischen Literaturquellen. Als Basisjahr für Wirtschaftsdaten wurde das Jahr 2010 (je nach Verfügbarkeit, sonst 2008) gewählt. Sofern branchenspezifische Daten jüngerer Datums vorhanden sind, wurden diese verwendet.

2 Lastverschiebung in der Industrie: Einführung und Definitionen

Michael Schmidthaler

2.1 Rahmenbedingungen der Analyse von Lastverschiebung in der Industrie

Dieses Arbeitspapier untersucht Maßnahmen, die in der Lage sind, elektrische Lasten zu verschieben. Darüber hinaus müssen weitere Voraussetzungen erfüllt werden, um für Lastverschiebung geeignet zu sein (siehe Kriterien in

Tabelle 2-1). Diese Kriterien und Rahmenbedingungen sind notwendig um ausschließlich Maßnahmen, die für einen Praxiseinsatz tauglich sind, auszuweisen.

Tabelle 2-1: Kriterienkatalog für Lastverschiebungsmaßnahmen

Kriterium	Relevanz (1-5)
Beibehaltung der Produkt- und Prozessstandards	xxx
Beibehaltung sämtlicher Qualitätsstandards von Erzeugnissen und Dienstleistungen	xxxx
Beibehaltung der operativen Wertschöpfung unter Berücksichtigung eines Abgleichs etwaiger Mindereinnahmen durch Lastverschiebungsabgeltungen ⁴	x
Freiwilligkeit der Teilnahme als oberste Maxime ⁵	xxx
Mikroökonomische Optimierung (Kosten/Nutzen auf Individuums- und Unternehmensebene)	xx
Beibehaltung sämtlicher Sicherheitsstandards der Produktion	xxxxx

Quelle: Abschätzung auf Basis von Expertengesprächen und Projektworkshops

Die angeführten Kriterien wurden um die Tatsache erweitert, dass sämtliche Potenziale und Kosten von Lastverschiebungsansätzen unter der Annahme erhoben wurden, keine gesetzgeberischen Interventionen zu benötigen, sondern ausschließlich auf der freiwilligen Teilnahme von Unternehmen zu beruhen.

Das Lastverschiebungspotenzial wird durch die Notwendigkeit, kritische Prozesse aufrecht zu erhalten, eingeschränkt. Da vielfach bereits Vollauslastung besteht, ist es bei Fehlen

⁴ Dies wurde auf Basis Leistungs- und Strukturhebung der Statistik Austria erhoben.

⁵ Gleiches gilt auch für zukünftig zu entwickelnde Businessmodelle, da Beteiligung und *win-win* Situationen ausschließlich bei freiwilliger Teilnahme möglich sind. Die einzelwirtschaftliche Optimierung ist somit Voraussetzung für sämtliche Lastverschiebungsmaßnahmen.

entsprechender Speicher nur möglich, Lastverschiebungsmaßnahmen umzusetzen, wenn gleichzeitig die Produktion deutlich reduziert wird.⁶ Dies gilt es ökonomisch zu bewerten.

Factbox Lastverschiebung

Unter Lastverschiebung wird in diesem Arbeitspapier die Fähigkeit verstanden, die Nachfrage nach elektrischer Energie für Industriekunden angebots- oder netzbezogen steuern zu können, (siehe auch VDE (2013)). Für eine genauere Definition der Begrifflichkeiten wird auf das Arbeitspapier 1/9 „Einleitung und Rahmenbedingungen“ verwiesen.

2.2 Elektrizitätsverbrauch und Lastverschiebung von Industrieunternehmen in Österreich

Zur Abschätzung der Lastverschiebungspotenziale und –kosten ist die exakte Kenntnis der bezogenen elektrischen Energie und nachgefragten Leistung von teilnehmenden Unternehmen von großer Bedeutung. Der Jahreslastgang des österreichischen Stromverbrauchs ist in Abbildung 2-1 dargestellt.

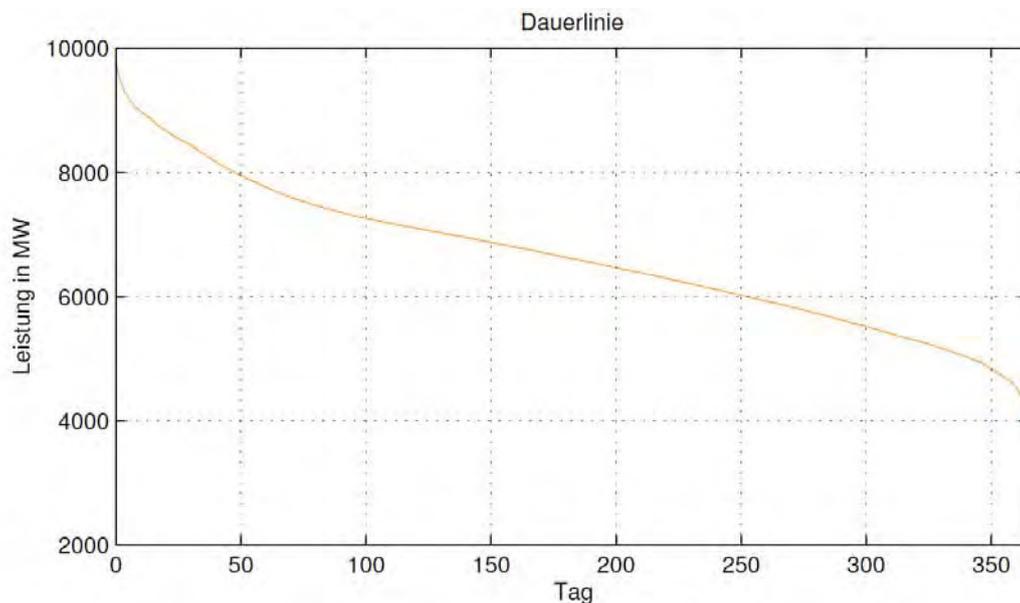


Abbildung 2-1: Dauerlinie des österreichischen Stromverbrauchs 2011, Anzahl der Tage

Quelle: Oberhofer (2013)

Die Höchstlast von rund 10 GW wird nur an wenigen Stunden und der Grenzwert von 8 GW nur an rund 50 Tagen im Jahr überschritten. Die Reduktion der Jahreshöchstlast ist ein wichtiger Anreiz für Lastverschiebung.

⁶ Dies gilt vor allem bei kontinuierlichen Prozessen.

2.2.1 Motivation und Relevanz von Lastverschiebungsmaßnahmen in Österreich – Lastgangentwicklung und Versorgungssicherheit

Wie in Abbildung 2-1 ersichtlich ist für das gesamte österreichische Bundesgebiet eine Lastspitze von knapp über 10 GW dokumentiert⁷. Dies ist einerseits Zeugnis einer dynamischen Verbrauchsentwicklung. Andererseits wird bei steigenden Höchstlasten und konstanten Erzeugungskapazitäten die Notwendigkeit für Lastverschiebungsansätze größer.

Dieses Arbeitspapier untersucht daher die Möglichkeiten, die Lastspitze von rund 400 MW durch Maßnahmen der Industrie zu reduzieren. Diese Arbeitshypothese liegt international betrachtet innerhalb publizierter Potenziale. Eine Abschätzung des gesamtwirtschaftlichen Verlagerungspotenzials für Deutschland gibt eine mögliche Reduktion der Spitzenlast von vier Prozent an (Klobasa, 2007). Wird dies auf Österreich umgelegt, korrespondiert dies mit dem von Gutschi und Stigler (2008) vorgeschlagenen 400 MW-Ziel für Österreich.

Werden Maßnahmen zur Erreichung dieses Ziels zum Zeitpunkt der Jahreshöchstlast in Österreich (rund 10 GW) erreicht, bedeutet dies, dass die Spitzenlast auf rund 9.600 MW verringert werden könnte. Diese Zielvorgabe gilt es aus wissenschaftlicher Sicht im aktuellen Marktumfeld zu analysieren. Technisch stellt allerdings weder die aktuelle Spitze noch die geplante Reduktion ein Problem für die österreichische Versorgungssicherheit dar.⁸

Um die sehr gute Versorgungslage in Österreich abzubilden, stellt Abbildung 2-2 das aktuelle Niveau der Versorgungssicherheit Österreichs im internationalen Vergleich dar.

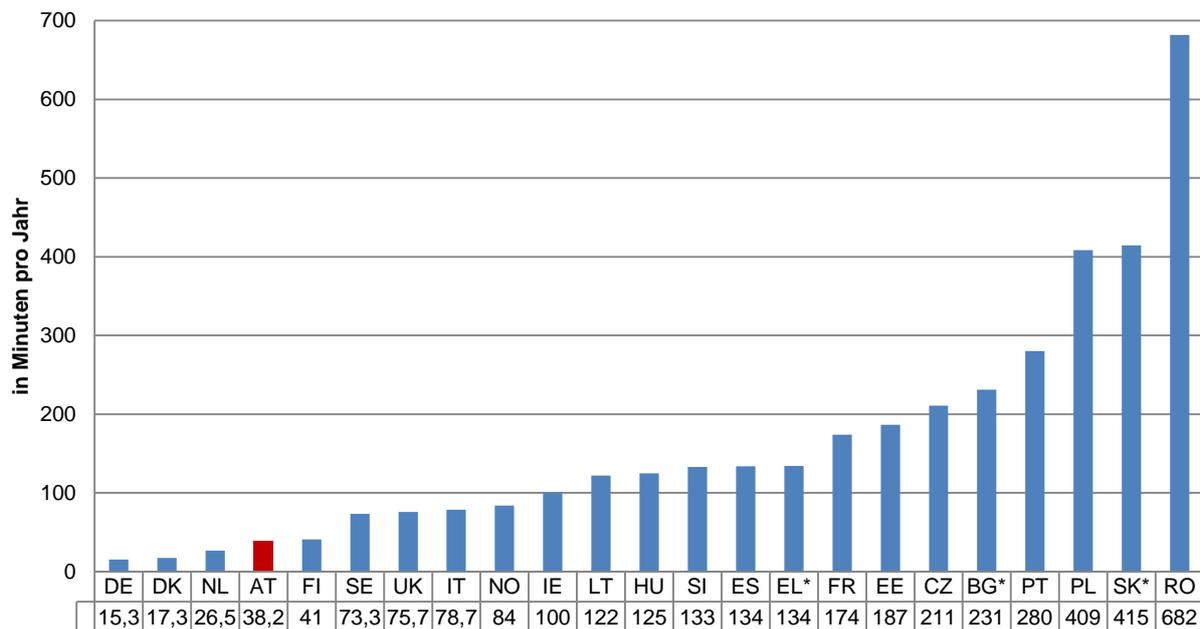


Abbildung 2-2: Ungeplante Versorgungsunterbrechungen in Europa in Minuten (CAIDI, 2009)

Quelle: Council of European Energy Regulators (2012), Alle Werte in Minuten p.a. inklusive aller Ereignisse, *ungeplante Unterbrechungen ohne außergewöhnliche Ereignisse.

⁷ Die historische Höchstlast trat im November 2013 auf (siehe E-Control (2014)). Dies ist um rund 400 MW höher als jene, die noch 2006 von Gutschi und Stigler (2008), welche eine sehr fundierte Analyse von Lastverschiebung in Österreich durchführten, festgehalten wurde.

⁸ In Anbetracht der herrschenden Systemstabilität in Österreich sind Lastverschiebungsansätze primär aus Effizienzgründen anzustreben.

Daraus ist ersichtlich, dass Österreich ein (in der Vergangenheit ebenfalls, im zeitlichen Verlauf) sehr hohes und beständiges Niveau an Versorgungssicherheit aufweist. Die Werte (Österreich: 38 min/Jahr) beziehen sich auf den *Customer Average Interruption Duration Index (CAIDI)*. Dies ist eine zentrale Maßeinheit für die Messung der Ausfallsminuten pro Verbraucher und Jahr. Weitere Analysen zum Thema Versorgungssicherheit und zur Situation in Österreich sind unter anderem in Schmidthaler et al. (2012) zu finden. Über den Beitrag zur Versorgungssicherheit hinausgehende Vorteile von Lastverschiebung sind beispielsweise die Möglichkeit einen Beitrag zum Regel- oder Ausgleichsenergiemarkt zu leisten, bzw. an diesem teilzunehmen.

2.2.2 Energetischer Endenergieverbrauch und Strombezug der Industrie

Der elektrische Gesamtenergieverbrauch des produzierenden Sektors belief sich im Jahr 2012 auf rund 28 TWh (Statistik Austria, 2014). Um eine Einordnung in die gesamt- und energiewirtschaftliche Bedeutung des produzierenden Sektors zu ermöglichen, ist in Abbildung 2-3 der sektorale Endverbrauch mit elektrischer Energie in Österreich 2012 dargestellt.

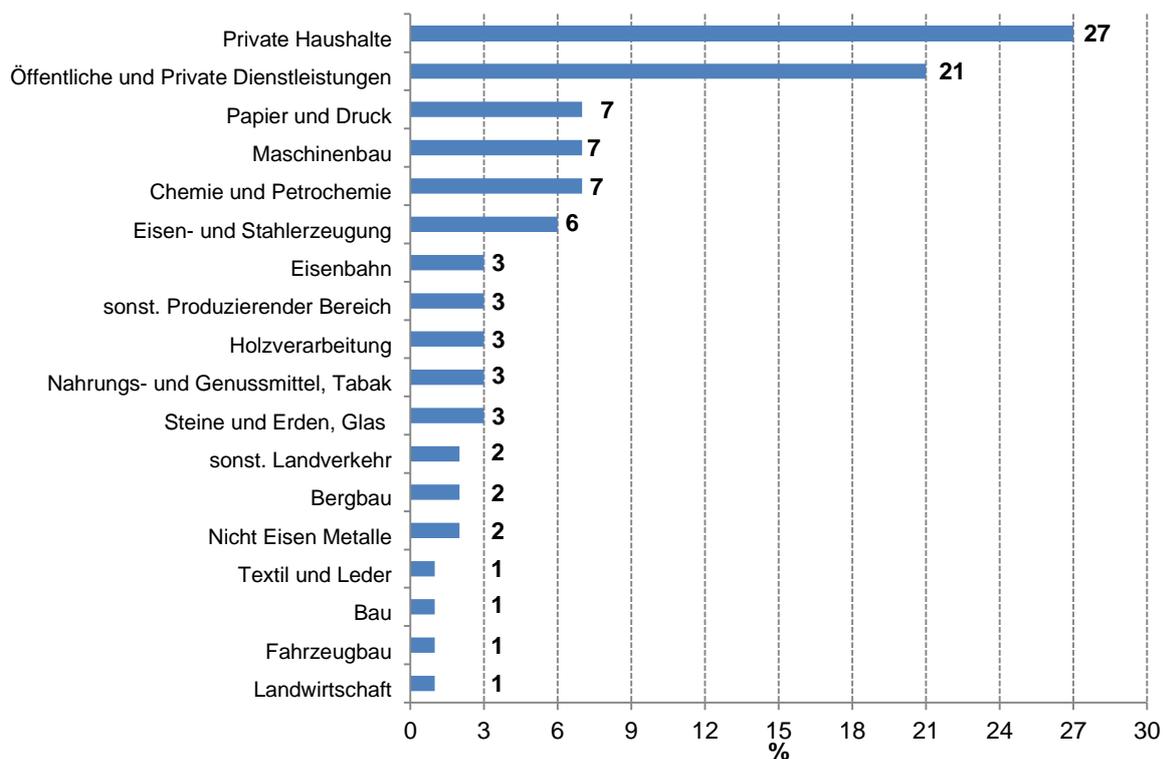


Abbildung 2-3: Sektoraler Stromverbrauch prozentuelle Verteilung Österreich 2012

Daten: Statistik Austria (2014)

Industrieunternehmen sind neben den Privathaushalten die wichtigste Einzelkonsumentengruppe in Österreich. Um eine Einordnung der historischen Entwicklung des Elektrizitätsbedarfs dieser Sektoren zu ermöglichen, veranschaulicht Abbildung 2-4 den Endverbrauch mit elektrischer Energie der in diesem Arbeitspapier analysierten Branchen des produzierenden Sektors von 1999 bis 2008 in Österreich.

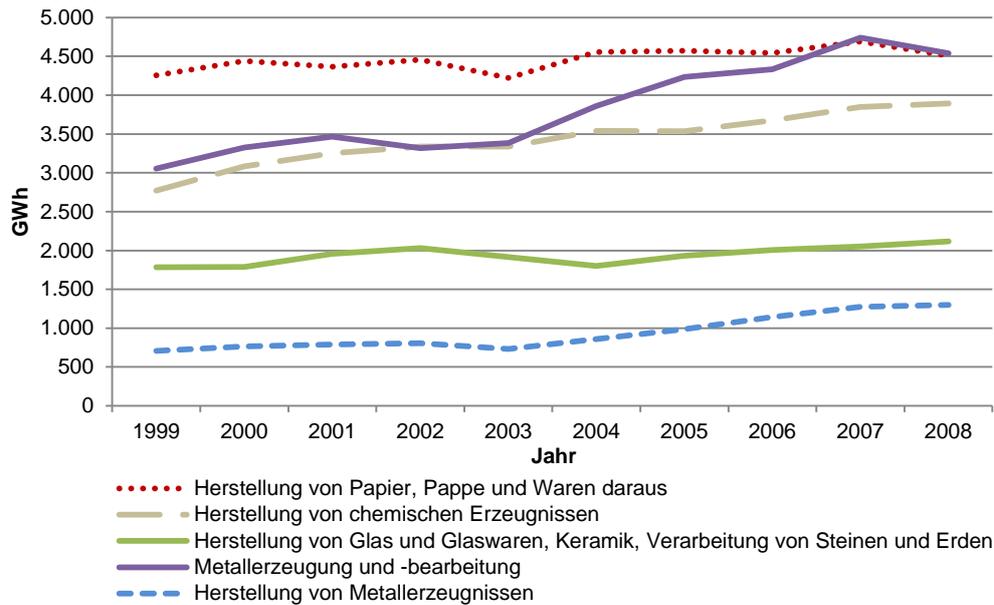


Abbildung 2-4: Entwicklung des jährlichen Endverbrauchs mit elektrischer Energie ausgewählter Wirtschaftsbereiche des produzierenden Sektors

Quelle: Statistik Austria (2010)

Aus Abbildung 2-3 ist ersichtlich, dass diese ausgewählten Sektoren für rund 32 % des österreichischen Gesamtstrombedarfs verantwortlich sind. Abbildung 2-5 stellt den relativen Anteil am sektoraler Stromverbrauch der untersuchten Sektoren dar.

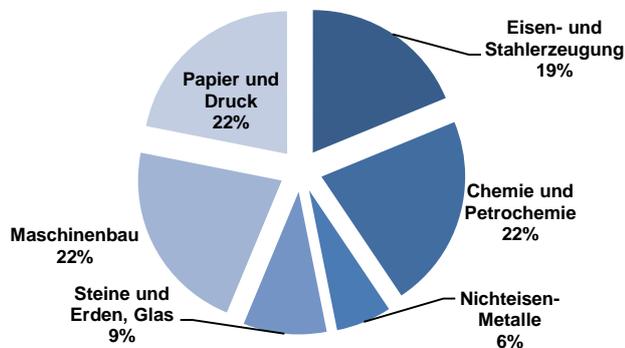


Abbildung 2-5: Verteilung der Endverbrauchs elektrischer Energie der in Loadshift untersuchten Sektoren

Quelle: Statistik Austria (2014)

Der elektrische Gesamtenergieverbrauch der in diesem Arbeitspapier analysierten Wirtschaftsbereiche beträgt 19,8 TWh. Diese werden nachfolgend ausführlich analysiert, um die Dimension der möglichen Lastverschiebungspotenziale und -kosten darzustellen.⁹

⁹ In Anbetracht der verschiedenen für Lastverschiebung geeigneten Sektoren ist die Setzung von Schwerpunkten notwendig. So finden Hinterberger und Polak (2011), dass: „Wirtschaftliches Lastverschiebungspotenzial erwartet [wird]. Dies gilt vor allem für die Grundstoffindustrie, [...] Papier, Metall, Zement, Glas (Keramik), da dort große Einzelverbraucher vorhanden sind. [...] 39 der 50 größten Stromverbraucher im industriellen Bereich kommen

2.3 Literaturvergleich nationaler und internationaler Studien

Lastverschiebungsansätze in der Industrie wurden sowohl national wie auch international in verschiedenen Projekten detailliert erhoben. Die Ergebnisse dieser Studien werden im Folgenden dargestellt.

2.3.1 Lastverschiebung in Österreich

In der Vergangenheit untersuchten verschiedene Studien (siehe auch Arbeitspapier 3/9 „Literaturvergleich“) die Lastverschiebungspotenziale und -kosten von Industrieunternehmen in Österreich. Die evaluierten Potenziale basieren auf teilweise unterschiedlichen Annahmen. Hütter et al. (2013)¹⁰ halten beispielsweise für Österreich fest, dass die gesamte jährlich verschiebbare Menge elektrischer Energie rund 100 bis 200 GWh entspricht. Dies entspricht rund 0,3 % der österreichischen Jahresstromproduktion. Die Autoren gehen von einem Verschiebungspotenzial von insgesamt 320 MW aus, welches mittels Simulationsansatz für Österreich getestet wurde.

Gutschi und Stigler (2008) berichten in ihrer sehr detaillierten Analyse von Lastverschiebungseignung und -kosten der österreichischen Industrie ein Gesamtverschiebungspotenzial von 664 MW, wobei Dienstleistungen und öffentliche Administration mit berücksichtigt wurden. Tabelle 2-2 zeigt diese Aufstellung sowie den Branchenstromverbrauch und eine Abschätzung des maximalen technischen Potenzials für verbraucherseitige Lastreduktion in Österreich.

aus den vier Sektoren Papier, Stahl, Chemie und Steine & Erden.[...]25 Betriebe sind für ca. 50 % des Gesamtstromverbrauchs in der Industrie verantwortlich“.

¹⁰ In dieser Studie wird ebenfalls festgehalten, dass rund 90 % dieses Verschiebepotenzials äquivalent zur Produktion von Gaskraftwerken stehen. Für die ökonomische Bewertung von Lastverschiebungsmaßnahmen ist demnach die Kostenstruktur von Gaskraftwerken ein bestimmender Faktor. Diese Kapazitäten sind üblicherweise als letzte in der *Merit-order* angeordnet und sind für die Abdeckung von Spitzenlasten verantwortlich.

Tabelle 2-2: Abschätzung des maximalen technischen Potenzials für verbraucherseitige Lastreduktion in Österreich

Branche	Branchenstromverbrauch		untersuchte Unternehmen			Gesamtpotenzial, [MW]
	2004 [MWh]	2005 [MWh]	Verbrauch [MWh]	Anteil	[MW]	
Eisen-und Stahlerzeugung	3.094.538	3.153.171	2.308.345	73 %	92	126
Chemie und Petrochemie	3.541.578	3.608.681	2.009.391	56 %	36	64
Nichteisen-Metalle	767.069	781.603	558.156	75 %	20	26
Steine und Erden, Glas	1.800.133	1.834.241	504.341	27 %	29	104
Fahrzeugbau	929.399	939.740	219.006	23 %	0,7	3
Maschinenbau	2.590.305	2.639.384	100.589	3,8 %	1,5	40
Bergbau	666.466	679.094	4.000	0,6 %	0,6	100
Nahrungs- und Genussmittel	1.528.029	1.566.981	53.813	3,5 %	0	4
Papier und Druck	4.908.586	4.879.684	4.258.637	87 %	129	148
Holzverarbeitung	1.198.074	1.441.193	-	-	-	8
Bau	440.119	480.009	8.040	1,7 %	0	0
Textil und Leder	628.236	640.140	-	-	-	4
sonst. produzierender Bereich	1.284.653	1.308.993	306.999	23 %	2,1	9
Eisenbahn	1.930.000	1.366.568	-	-	-	0
sonstiger Landverkehr	1.154.411	1.176.284	452	0,0 %	0	0
Transport in Rohrfernleitungen	174.326	177.629	-	-	-	0
Binnenschifffahrt	0	0	-	-	-	0
Flugverkehr	0	0	-	-	-	0
Öffentliche und private Dienstleistungen	12.995.195	13.241.419	45.881	0,3 %	0,1	28
Private Haushalte	14.429.348	14.661.925	0	-	-	0
Landwirtschaft	1.218.815	1.219.053	0	-	-	0
Summe	55.219.280	56.385.792	10.217.651		310	664

Quelle: Gutschi und Stigler (2008)

Das vorliegende Arbeitspapier folgt dieser Bewertung und analysiert sechs Wirtschaftsbereiche, die besondere Eignung für Lastverschiebung aufweisen. Diese Eignung sowie eine erste Abschätzung des elektrischen Energieverbrauchs je Wertschöpfungseinheit (als Approximation der Stromintensität) sind in Tabelle 2-3 dargestellt.¹¹

¹¹ Zusätzlich wird eine Unterscheidung in Metallerzeugung und –bearbeitung sowie Elektrostahlerzeugung angewandt.

Tabelle 2-3: Stromintensität österreichischer Wirtschaftsbranchen in Relation zur Bruttowertschöpfung (Basisjahr 2002)

Sektor mit hoher Eignung	Eignung für Lastverschiebung laut Gutschi und Stigler (2008)	Verbrauch elektr. Energie (kWh pro 1000 € Bruttowertschöpfung)
Papier & Pappe	Hoch	3.005
Eisen & Stahl	Hoch	1.868
Bergbau, Steine & Erden	Hoch	1.573
Chemie	Hoch	1.512
Nichteisen-Metalle	Hoch	1.129

Quelle: Gutschi und Stigler (2008)

Darüber hinaus analysieren Oberhofer (2013) sowie Berger et al. (2012) verschiedene Aspekte von Lastverschiebungsmaßnahmen in Österreich.

2.3.2 Internationale Studien zu Lastverschiebung

Deutschland gilt als Vorreiter in der Analyse von Lastverschiebung. Klobasa et al. (2007) untersuchen die Potenziale und Kosten sehr detailliert und definieren für Deutschland die in Tabelle 2-4 dargestellten Potenziale.¹²

Tabelle 2-4: Analyse des Lastverschiebungspotenzials in Deutschland

Sektor/Wirtschaftsbereich	Gesamt p.a.
Chemie	580 MW
Papier	810 MW
Eisen/Stahl	400 MW
Nichteisen-Metalle	300 MW
Zementerzeugung	180 MW
SUMME	2270 MW

Quelle: Klobasa et al. (2007)

Es gilt festzuhalten, dass dies in Hinblick auf relative Vergleichbarkeit eng mit den in Gutschi und Stigler (2008) publizierten Werten für Österreich in Verbindung steht.

Ebenfalls für Deutschland wurden in Popp (2013) detailliert die mögliche Maximaldauer, das maximale Verschiebepotenzial, die verschiebbare Energiemenge, die Anzahl der Aktivierungen sowie die lastverschiebungsrelevanten Produktionsanteile dargestellt. Insbesondere die zeitlichen Parameter (Dauer und max. Anzahl der Aktivierungen) ist aufgrund ähnlicher Prozessstrukturen auf Österreich übertragbar. Tabelle 2-5 stellt dies dar.

¹² Diese Potenziale sind als Richtwert für Österreich zu analysieren. Dies ist vor allem aufgrund bedingt vergleichbarer Wirtschafts- und Bevölkerungsstrukturen als relevanter Richtwert einzuordnen.

Tabelle 2-5: Sektorspezifisches Lastverschiebungspotenzial in Deutschland

Anwendung	Load-shifting [in GWh]	Max. Leistungsverschiebung [in MW]	Maximaldauer [in h]	Max. Anzahl an Aktivierungen	DSM relevante Produktionsanteile
Aluminiumelektrolyse	31	198	4	40	25 %
Papierherstellung (wood pulp production)	621	851	2	365	100 %
Elektrostahlherstellung	74	463	4	40	50 %
Stahlwalzanwendungen	43	361	3	40	50 %
Kühlkompressoren, Kühlhäuser	165	227	2	365	15 %
Chlorelektrolyse (Membrane)	146	914	4	40	67 %
Zement	121	111	3	365	50 %
Kupfer/Zink Elektrolyse	5	31	4	40	25 %
GESAMT	386	3.156	-	-	-

Quelle: Eigene Darstellung und Übersetzung, basierend auf Popp (2013)

In Popp und Klobasa (2013) wird auf Basis einer Befragung unter Industrieunternehmen die Sichtweise von potenziellen Teilnehmern hinsichtlich vorhandener Lastverschiebungspotenziale evaluiert. Gegenwärtig weisen einige Produktionsbereiche (bspw. Aluminium, Papier, Chlorerzeugung, u.a.) Lastverschiebungspotenziale auf. Interessanterweise wird dabei für das Jahr 2030 mit einer deutlichen Annäherung von Kosten für die Aktivierung von Lastverschiebungen in den verschiedenen Sektoren mit den Erlösen, die über verschiedene Marktmechanismen¹³ erzielt werden können, gerechnet, sodass (bis auf wenige Bereiche wie bspw. Walzstahl) sämtliche Prozesse für Lastverschiebung aus ökonomischer Sicht geeignet wären. Dazu zählen *real-time-pricing (RTP)*, *time-of-use (TOU)*, sowie *critical-peak pricing (CPP)* welche jeweils verschiedene Modelle zur Bereitstellung verschiebbarer Lasten implizieren. Tabelle 2-6 und Tabelle 2-7 stellen diese ausführlich dar.

Tabelle 2-6: Spezifische Erlöse verschiedener Wirtschaftsbereiche für die Bereitstellung notwendiger Kapazitäten für Lastverschiebung [€/MWh] (Basisjahr 2010)

spezifische Erlöse [€/MWh] 2010				
	Spez. Erlöse RTP	Spez. Erlöse TOU	Spez. Erlöse CPP	Aktivierungskosten
Aluminium	1 - 5	10 - 15	60 - 65	10 - 15
Papier		10 - 15	25 - 30	10 - 15
E-Stahl			40 - 45	70 - 75
Walzstahl				475
Kühlung, Ernährung	1 - 5	15 - 20	20 - 25	5 - 10
Chlor	5 - 10	15 - 20	55 - 60	1 - 5
Zement		10 - 15	15 - 20	10 - 15
Zink & Kupfer	5 - 10	10 - 15	40 - 45	5 - 10

Quelle: (Popp, 2013)

¹³ Dazu zählen *real-time-pricing*, *time-of-use* sowie *critical-peak pricing*.

Dies ist für die Analyse der Lastverschiebungskosten in Österreich relevant, da ähnliche Branchenstrukturen bestehen und die prognostizierte Entwicklung bis 2030 aller Voraussicht nach vergleichbar sein wird.

Tabelle 2-7: Spezifische Erlöse verschiedener Wirtschaftsbereiche für die Bereitstellung notwendiger Kapazitäten für Lastverschiebung [€/MWh] (Basisjahr 2030)

spezifische Erlöse [€/MWh] 2030				
	Spez. Erlöse RTP	Spez. Erlöse TOU	Spez. Erlöse CPP	Aktivierungskosten
Aluminium	210 - 215	40 - 45	70 - 75	10 - 15
Papier	55 - 60	45 - 50	50 - 55	10 - 15
E-Stahl	125 - 130	-	120 - 125	85 - 90
Walzstahl	125 - 130	-	-	574
Kühlung, Ernährung	70 - 75	50 - 55	55 - 60	5 - 10
Chlor	205 - 210	50 - 55	70 - 75	5 - 10
Zement	65 - 70	40 - 45	50 - 55	10 - 15
Zink & Kupfer	235 - 240	50 - 55	105 - 110	5 - 10

Quelle: Popp (2013)

Agora Energiewende (2013) analysiert verfügbare Lastmanagementansätze zur Nutzung im Regelenergiemarkt. Tabelle 2-8 gibt einen Überblick der möglichen Kapazitäten für Lastverschiebungsmaßnahmen in Süddeutschland, bei Gewährung einer Vergütung, wie sie die AbLaV¹⁴ vorsieht (Leistungsvergütung als *flat rate* von 2.500 €/MW pro Monat und einer zusätzlichen Vergütung bei Abruf zwischen 100 und 400 €/MWh). Interessant sind vor allem die flexiblen Anteile, da diese Ergebnisse für Österreich übertragbar sind.

Tabelle 2-8: Verfügbare Lastmanagementansätze zur Nutzung im Regelenergiemarkt beziehungsweise für Redispatch-Maßnahmen bei Anwendung der Vergütung auf Basis der AbLaV für Süddeutschland

Anwendung	max. Leistungsbedarf in MW	flexibler Anteil in %	Ökonom. nach AbLaV in MW	Verlagerungs-dauer in h	Häufigkeit pro Jahr
Zement (Roh- und Zementmühlen)	130	40	ca. 50	bis zu 4, z. T. länger	20- bis 50-mal
Papier (Holzschleifer)	mind. 90	100	ca. 90	2, z. T. länger	20- bis 50-mal
Chlor (Elektrolyse)	250	65	ca. 160	ca.2	20- bis 50-mal
Stahl (Elektrostahlofen)	200	75	ca. 150	ca.2	20- bis 50-mal
Summe	-	-	ca. 450	ca.2	20- bis 50-mal
bisher genutzt im Regelenergiemarkt	-	-	ca. 76	-	-
bisher genutzt für opt. Beschaffung	-	-	geschätzt 300 bis 400	-	-

Quelle: Agora Energiewende (2013)

In Hinblick auf die lastverschiebungsgerechten Prozesse kommen die verschiedenen Studien zu unterschiedlichen Ergebnissen. Agora Energiewende (2013) führte eine Erhebung bei Industriekunden durch.¹⁵ Tabelle 2-9 präsentiert die Ergebnisse dieser Studie, wobei die große Mehrheit die größten Potenziale in der Produktion sieht.

¹⁴ Siehe Arbeitspapier „Rechtliche Aspekte des nachfrageseitigen Lastmanagements in Österreich inkl. eines Ausblicks auf die deutsche Rechtslage“, insbesondere der deutschen Abschaltverordnung.

¹⁵ Dort wurden folgende Fragen gestellt: „Welche Anwendungen sind an Ihrem Standort zur Lastverschiebung/Lastabschaltung geeignet? Größtes und Zweitgrößtes Potenzial?“

Tabelle 2-9: Ergebnis einer Befragung von deutschen Industrieunternehmen zur Eigenabschätzung der Lastverschiebungspotenziale

Anwendungen	Verschiebepotenziale [in % aller Antworten]	
	Größtes	Zweitgrößtes
Prozesswärme	12 - 14	7 - 9
Prozesskälte	9 - 11	5 - 7
Produktion	37 - 39	6 - 8
Klimatisierung	9 - 11	9 - 11
Fördertechnik	1 - 3	1 - 3
Druckluft	3 - 5	18 - 20
Belüftung	16 - 18	6 - 8
Beleuchtung	3 - 5	18 - 20

Quelle: Agora Energiewende (2013)

Tabelle 2-10 stellt die Antworten auf die Erhebung der maximalen Dauer der Lastverschiebung dar. Interessant ist, dass nahezu 99 Prozent der Teilnehmer eine maximale Abrufdauer für Lastmanagementmaßnahmen von bis zu 30 Minuten als einfach realisierbar betrachten. Bei vier Stunden liegt dieser Wert nur mehr bei lediglich 15 Prozent. Diese ursprünglich für Deutschland erhobenen Werte sind aufgrund ähnlicher Prozessstrukturen als Näherungswert auch für Österreich anwendbar.

Tabelle 2-10: Eigenabschätzung der maximalen Abrufdauer für Lastmanagementmaßnahmen gemäß Onlineumfrage unter deutschen Industrieunternehmen

max. Dauer der Lastflexibilisierung [in % aller Antworten]	
bis zu 30 Minuten	97 – 99 %
bis zu 2 Stunden	61 – 64 %
bis zu 4 Stunden	17 – 20 %
über 4 Stunden	15 – 18 %

Quelle: Agora Energiewende (2013), Vorankündigung mindestens 24 Stunden, Bereitstellung notwendiger Anreizstrukturen

Die Produktionsmengen, sowie die spezifischen Energieverbräuche und gegebenenfalls die Nutzungsdauer innerhalb eines Jahres (ähnlich der Volllaststunden) werden in Tabelle 2-11 dargestellt.

Tabelle 2-11: Leistungsbedarf von energieintensiven Prozessen in Süddeutschland

Branche	Anwendung	Produktion in Süd-deutschland	Spezifischer Strombedarf	Strombedarf	Benutzungsdauer	Max Leistungsbedarf
		in kt	in MWh/kt	in GWh	in h	in MW
Zement	Roh- und Zementmühlen	11.000	65	715	5.500	130
Papier	Holzschleifer	340	2.000	680	7.500	90
Metall	Elektrostahlofen	3.100	400	1.240	6.100	200
Chemie	Chlorherstellung	660	2.900	1.914	7.700	250
						670

Quelle: Agora Energiewende (2013)

Tabelle 2-12 zeigt eine Abschätzung der sektoralen Eignung verschiedener Ventilationsprozesse in Deutschland (Klobasa, 2007). Dies ist deshalb von großer Bedeutung, da anhand der Ventilation exemplarisch auf die großen Potenziale von Hilfsprozessen für Lastverschiebungszwecke eingegangen wird.

Tabelle 2-12: Sektorale Eignung für Lastmanagement von Ventilatoren in Industrieunternehmen

Branche	Strom-Bedarf (GWh/a)*	Anteil Ventilation %	Strombedarf Ventilation (GWh/a)	Abschätzung Last-management %	Durchschnittliches Potenzial (MW)
Maschinenbau	9.000	9	810	30	35
Fahrzeugbau	16.806	9	1.513	30	65
sonstige Wirtschaftszweige	22.833	11	2.502	30	107
Metallbearbeitung	11.167	12	1.340	25	48
Gummi und Kunststoff	11.500	9	1.035	15	22
Ernährung	13.861	10	1.386	15	30
Glas, Keramik	4.364	19	829	15	18
Nichteisen-Metalle, Erzeugung	20.111	7	1.408	-	-
Chemie	8.861	8	709	-	-
Grundstoffchemie	40.611	8	3.249	-	-
Eisen- und Stahlerzeugung	20.139	9	1.813	-	-
Zement und Kalk	7.861	10	786	-	-
Papier	16.700	16	2.672	-	-
Summe	203.814	10	20.052	11	325

* Strombedarf für 2002, Laufzeit Ventilatoren 7.000 h/a

Quelle: Klobasa et al. (2011), sowie eigene Berechnungen

Es zeigt sich, dass allein in den Ventilationsprozessen der Industrie großes Lastverschiebungspotenzial steckt, sodass eine weitere Untersuchung hinsichtlich Lastverschiebungsmaßnahmen von Hilfs- und Nebenprozessen auch für Österreich angeregt werden kann.

2.3.3 Lastverschiebungspotenziale für Österreich

Aufgrund der Datenlage und Branchenstruktur ist vielfach eine Vergleichbarkeit mit den in Deutschland durchgeführten Studien gegeben. Tabelle 2-13 stellt daher als Ausgangspunkt der weiteren Analyse eine erste Abschätzung der Lastverschiebungspotenziale für Österreich mit den auf Basis einer sehr umfangreicher Studie für Deutschland gegenüber.

Tabelle 2-13: Indikative Abschätzung des Lastverschiebungspotenzials in Österreich auf Basis der Berechnungen für Deutschland

Sektor	Berger et al. (2013)	Potenzialabschätzung für Österreich auf Basis von Klobasa et al. (2007)
Chemie und Petrochemie	30 MW **	58 MW ¹⁶
Papier und Druck	70 MW **	81 MW
Eisen- und Stahlherzeugung	95 MW **	40 MW
Nichteisen-Metalle	20 MW **	30 MW
Steine und Erden, Glas	85 MW **	18 MW ¹⁷
Summe ¹⁸	300 MW	227 MW

Quelle: Berger et al. (2013); ** die hier angegebenen Werte wurden einer Abbildung dieser Studie entnommen und entsprechen daher nur Schätzwerten. Abschätzung basieren auf Klobasa et al. (2007). Die Angaben gelten für Verschiebungspotenziale von einer Stunde.

Es zeigt sich, dass bei Anwendung einer ersten *top-down* Schätzung, die Potenziale im Aggregat ähnlich bewertet werden. Zwar werden einige Sektoren (so bspw. die Zementproduktion, die dem Bereich „Steine und Erden, Glas“ zugewiesen ist) in Österreich stärker berücksichtigt, dennoch bietet diese Gegenüberstellung einen Ausgangspunkt für die weitere Analyse in diesem Arbeitspapier. Gutschi und Stigler (2008) zeigen darüber hinaus, dass die Sektoren Papier und Druck, Eisen- und Stahlproduktion sowie Chemie und Petrochemie hohe Lastverschiebungspotenziale aufweisen.

2.3.4 Prozessspezifische Potenziale und Kosten von Lastverschiebungsansätzen

Von besonderer Relevanz ist die ökonomische Betrachtung dieser Lastverschiebungsmöglichkeiten, die in diesem Arbeitspapier als Lastverschiebungskosten definiert werden. Diese sind, wie in Tabelle 2-14 dargestellt, in Abhängigkeit des untersuchten Sektors sehr unterschiedlich. So werden beispielsweise für Wirtschaftsbereiche mit hohem Lastverschiebungspotenzial (bspw. Eisen- und Stahlherzeugung) spezifische Opportunitätskosten von 730 €/MWh angegeben, während für Maßnahmen im Bereich der Nichteisen-Metalle Kosten von bis zu 4.000 €/MWh auftreten.

¹⁶ In dieser Studie liegt der Fokus auf den Lastverschiebungspotenzialen der Chlor-Alkali Elektrolyse, als einem Teilbereich des Sektors „Chemische Erzeugnisse“.

¹⁷ Fokus auf Teilbereich Zement, der wiederum zur ÖNACE Abteilung „Steine und Erden, Glas“ zu zählen ist.

¹⁸ Das Aggregat bezieht sich auf die hier untersuchten Sektoren und stellt eine erste Abschätzung der relevanten Sektoren dar.

Tabelle 2-14 zeigt eine Abschätzung der Potenziale und der spezifischen Opportunitätskosten ausgewählter österreichischer Industriebetriebe, die für verbraucherseitiges Lastmanagement geeignet sind. Basis ist das Jahr 2005.

Tabelle 2-14: Abschätzung der spezifischen Opportunitätskosten ausgewählter österreichischer Industriebetriebe für verbraucherseitiges Lastmanagement (Basisjahr 2005)

Betrieb	Leistung [MW]	spezifische Opportunitätskosten [€/MWh]
Papierfabrik A (mit Holzschliffproduktion)	95	190
Papierfabrik B (mit Holzschliffproduktion)	85	200
Papierfabrik C (mit chemischen Aufschluss)	30	470
Papierfabrik D (mit chemischen Aufschluss)	90	400
Zelluloseerzeugung und -verarbeitung	65	550
Zementwerk A	13	510
Zementwerk B	10	580
Stahlwerk A (Baustahl)	35	210
Stahlwerk B (Edelstahl)	57	570
Eisen- und Stahlgusswerk	8,5	730
Kupferhütte (ohne Elektrolyse)	7,8	950
Holzverarbeitung	23	1.340
Aluminiumverarbeitung	6	440
Aluminiumgusswerk A	10	1.370
Aluminiumwalzwerk	16,5	2.330
Aluminiumgusswerk B	1,6	3.970

Quelle: Gutschi und Stigler (2008)

Diese von Gutschi und Stigler (2008) erhobenen Werte werden in diesem Arbeitspapier berücksichtigt. Es erfolgt darüber hinaus eine Aktualisierung sowie Verifizierung in den nachfolgenden Kapiteln.

3 Chemische Industrie

Christian Elbe, Michael Oberhofer

In der chemischen Industrie haben laut Klobasa et al. (2011) zwei Bereiche einen ausreichend großen Energiebedarf, bei dem zudem auch die Prozessverläufe für eine Lastverschiebung geeignet sind. Diese sind zum einen die Chloralkali-Elektrolyse und zum anderen die Luftzerlegung.

3.1 Chloralkali-Elektrolyse

Bei der Chloralkali-Elektrolyse werden die wichtigen Grundchemikalien Chlor, Wasserstoff und Natronlauge aus Natriumchlorid erzeugt. Dabei wird Steinsalz, das aus Kochsalz (Natriumchlorid) besteht, zur Elektrolyse verwendet. Aus 165 kg Natriumchlorid und 51 kg Wasser können 100 kg Chlor und 113 kg Natronlauge erzeugt werden (Festel et al., 2001).

Prinzipiell kann man bei dem Prozess für die Elektrolyse zwischen Amalgam-, Diaphragma- und Membranverfahren unterscheiden, wobei sich jedoch nur letzteres für eine Lastverschiebung eignet. Bei den anderen beiden erwähnten Verfahren wirken sich Leistungsänderungen zu stark auf die Lebensdauer der verwendeten Komponenten aus.

3.1.1 Chloralkali-Elektrolyse International

Weltweit existieren über 650 Produktionsstätten zur Herstellung von Chlor sowie Folgeprodukten mit einer Kapazität von 58 Mio. t Chlor sowie 62 Mio. t Natriumhydroxid („Natronlauge“), (WCC World Chlorine Council, 2011). 85 dieser Anlagen mit einer Kapazität von 12,6 Mio. t befinden sich in Europa und produzierten im Jahr 2011 etwa 10 Mio. t Chlor, wobei in Deutschland mit 4,35 Mio. t knapp die Hälfte der Produktionsmenge hergestellt wird. Der Anteil der Kapazität am verwendeten Elektrolyseverfahren (Stand 2011) teilt sich wie folgt auf: Membranverfahren (51 %), gefolgt vom Amalgamverfahren (31 %) sowie dem Diaphragmaverfahren (14 %) und andere (4 %), (Euro Chlor, 2012).

Tabelle 3-1 zeigt Kennzahlen für das hier betrachtete Verfahren.

Tabelle 3-1: Betrachtete für Lastverschiebung relevante Verfahren in Österreich

Betrachtetes Verfahren: Membranverfahren			
Spezifischer Energiebedarf [in kWh/t]	Bezeichnung nach ÖNACE 2008	Energieverbrauch in Österreich [in MWh/a]	Leistungsbedarf der Anwendung auf Sektorebene [in MW]
2.600	C20.11	200.000	22

Quelle: DonauChem (2012)

3.1.2 Chloralkali-Elektrolyse in Österreich

In Österreich führt nur ein einziges Unternehmen (Donau Chemie Brückl) in Kärnten eine Chloralkali-Elektrolyse durch. Die relevanten Kennzahlen des Betriebes sind in Tabelle 3-2 zusammengefasst.

Tabelle 3-2: Kennzahlen der Chloralkali-Elektrolyse in Österreich

Kennzahl	Durchschnittliche Werte	Quelle
Chlorproduktion / Tag	195 t/d	DonauChem (2012)
Chlorproduktion / Jahr	70.000 t/a	DonauChem (2012)
Natronlauge / Tag	220 t/d	Festel et al. (2001)
Natronlauge / Jahr	79.000 t/a	Festel et al. (2001)
Stromverbrauch / Jahr	200.000 MWh/a	DonauChem (2012)
Spezifischer Strombedarf	2,6 MWh/t _{Chlor}	DonauChem (2012)
Kosten	Durchschnittliche Spotpreise	Literaturquelle
Chlor / Tonne	200-400 EUR/t	ICIS (2013), Chemical Market Associates Inc. (2011)
Natronlauge / Tonne	240-420 EUR/t	

Quelle: Literaturwerte

Abbildung 3-1 stellt die historische Entwicklung des elektrischen Energiebedarfs in der chemischen Industrie dar.

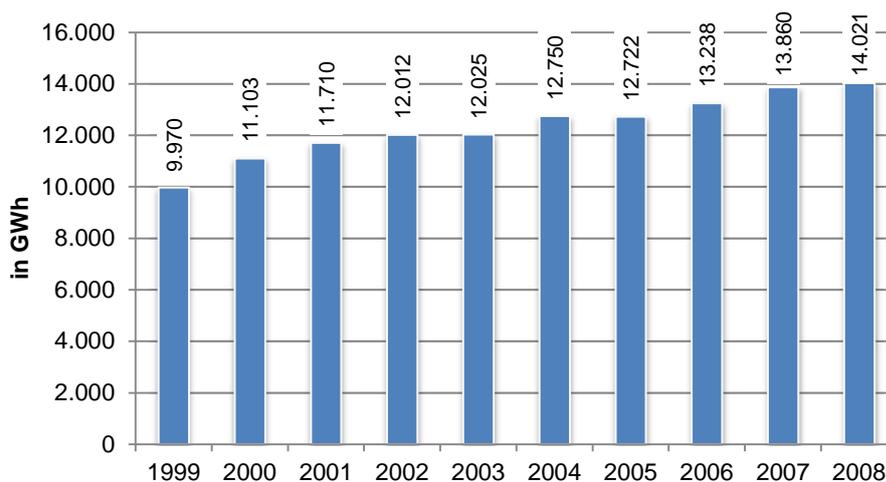


Abbildung 3-1: Entwicklung des Endverbrauchs mit elektrischer Energie des Sektors "Herstellung von chemischen Erzeugnissen" in GWh, Quelle: Statistik Austria (2010)

3.1.3 Kenndaten zur Berechnung des Lastverschiebungspotenzials der Chloralkali-Elektrolyse in Österreich

Bei der Analyse der Lastverschiebungspotenziale bei der Chloralkali-Elektrolyse ist zu beachten, dass die Minimallast zwischen 40 % und 60 % der Spitzenlast beträgt, da eine Totalabschaltung sich negativ auf die Lebensdauer der eingesetzten Membranen auswirken würde. Die Leistung kann zudem auch nicht abrupt reduziert werden, sondern nur kontinuierlich in einem Zeitraum von rund einer Stunde auf die Minimallast gesenkt werden.

3.1.3.1 Energiespezifische Kennzahlen und Berechnung der Lastverschiebungspotenziale

Laut Schmittinger et al. (2000) können die Elektrolysezellen mit einer Stromdichte von 1,5-7 kA pro m² Membranfläche betrieben werden. Der normale Betriebsbereich liegt bei 3-5 kA/m² und ist abhängig vom Produktionsbedarf. Die Stromdichte kann zum Zweck der Lastverschiebung auf bis zu 0,9 kA/m² reduziert werden (O'Brien et al., 2005). Einem Handbuch für eine Membranfolie zufolge sind Laständerungen innerhalb einer Stunde durchführbar (Du Pont, 2000). Das bedeutet bei Reduktion auf 50 % der Spitzenleistung einem Leistungsgradienten von etwa 0,2 MW/min. In Tabelle 3-3 sind die wichtigsten elektrischen Parameter der Chloralkali-Elektrolyse angeführt. Die Chlorproduktion wird durchgehend, ausgenommen zu Wartungszwecken, also an nahezu 365 Tagen im Jahr durchgeführt.

Tabelle 3-3: Elektrische Parameter der Chloralkali-Elektrolyse in Österreich (Basisjahr 2012)

Elektrische Parameter	Wert
Spitzenlast in MW	22 MW
spez. elektrischer Energieverbrauch	2,6 MWh/t _{Chlor}

Quelle: DonauChem (2012)

3.1.3.2 Möglicher Zeitraum für Lastverschiebung

In Österreich besteht nur eine einzige Anlage für die Chlorproduktion und diese ist planmäßig an fast 365 Tagen im Jahr bei maximaler Produktionskapazität in Betrieb. Aufgrund dessen würde eine Lastverschiebung eine Minderproduktion nach sich ziehen, da nur eine Leistungsreduktion durchführbar sowie sinnvoll wäre. Rein technisch bedeutet das, dass ein möglicher Lastverschiebungseinsatz, in Form einer Leistungsreduktion, grundsätzlich jederzeit erfolgen kann. Eine Reduktion auf 50 % der Nennleistung wäre dabei durchführbar und das theoretisch über mehrere Stunden hinweg. Allerdings spielt dabei die wirtschaftliche Betrachtung eine wesentliche Rolle, da zum einen Liefervereinbarungen sowie andere Verbindlichkeiten erfüllt werden müssen und somit eine Lastverschiebung in Form einer Leistungsreduktion nicht ohne weiteres durchgeführt werden kann. Eine solch detaillierte Bewertung auch unter Berücksichtigung von anderen zusätzlichen Kosten, beispielsweise vorzeitigem Verschleiß, kann nur vom Betrieb selbst durchgeführt werden.

3.1.3.3 Lastverschiebungskosten

Angenommene Randbedingungen

Eine Berechnung der tatsächlichen Lastverschiebungskosten kann allgemein nur vom Betrieb selbst durchgeführt werden und zudem ist eine so umfangreiche Detailanalyse im Rahmen dieses Projektes nicht durchführbar. Da im Projekt Loadshift das Ziel gesetzt wurde auch eine monetäre Bewertung der Kosten durchzuführen, wird im Folgenden eine Abschätzung über die Mindestkosten, die für den Betrieb auftreten, gemacht. Es sei hierbei nochmals ausdrücklich erwähnt, dass die tatsächlichen Kosten durchaus stark von den hier abgeschätzten Werten abweichen können. Allerdings bietet diese Abschätzung eine erste Größenordnung für weitere notwendige Detailbetrachtungen.

Aufgrund der fast durchgängigen Produktion ist, wie bereits erwähnt, nur eine Lastreduktion durchführbar. Deshalb wird versucht hier die Kosten bzw. die entgangenen Erträge abzuschätzen, welche durch eine Verringerung der Gesamtproduktionsmenge entstehen würden. Dabei wird eine Kennzahl ermittelt, die den Energieanteil der Lastverschiebung monetär bewertet. Die wirtschaftlichen Auswirkungen der verminderten Produktion werden dabei nicht berücksichtigt. Da die Preise der Rohstoffkosten Schwankungen unterliegen und zudem vertraglich zugesicherte Preise mit den Preisen vom Spotmarkt abweichen, wurde für Chlor als auch Natronlauge ein Erlöswert von 300 €/t als Annahme für die Berechnung herangezogen (siehe auch Tabelle 3-4).

Für eine Abschätzung der Opportunitätskosten (jener Kosten die entstehen, wenn eine Lastverschiebung durchgeführt wird) werden die Produktionsdaten aus Tabelle 3-2 und die elektrischen Parameter aus Tabelle 3-3 herangezogen. Mit der folgenden Vorgangsweise werden die Opportunitätskosten für das Unternehmen ermittelt: Ausgehend von der jährlichen Chlorproduktion von 70.000 t errechnet sich durch die Stöchiometrie ein Rohstoffeinsatz von 102.000 t Salz (NaCl). Die reinen Rohstoffkosten für NaCl können mit Daten der Destatis (2012) abgeschätzt werden und ergeben rund 40 €/t. Der Wareneinsatz (Rohstoffeinkaufskosten inklusive Transport, Zoll und Lagerhaltungskosten) zuzüglich eines Rohaufschlages bewegt sich meist im Bereich von 60 bis 70 €/t. Zieht man den Wert von 65 €/t im Einkauf heran (KOMMZEPT-Ingenieurbüro Hausmann, 2012), ergeben sich Einkaufskosten von 6,63 Mio. €/a. Weitere variable Kosten verursacht der Einsatz elektrischer Energie mit etwa 85 €/MWh (siehe Tabelle 3-4), welche somit in Summe pro Jahr 17 Mio. € verursachen. Zieht man die Einkaufs- und Stromkosten vom erwarteten Erlös von 44,7 Mio. €/a ab, erhält man einen Deckungsbeitrag zur Deckung der Fixkosten in Höhe von 21,07 Mio. €/a. Unter der Annahme einer linearen Erlös- und Kostenfunktion ergeben sich bezogen auf eine Tonne Chlor Opportunitätskosten in Höhe von rund 300 €/t.

Wird als Basis der Opportunitätskosten der Stromverbrauch verwendet, ergeben sich Opportunitätskosten in Höhe von 105,35 €/MWh, die auch mit Dena (2010) übereinstimmen. Das bedeutet nun, dass die bei einer Lastverschiebung (in diesem Fall Leistungsverminderung) entgangene Produktion mit zumindest rund 105 €/MWh Energieeinsparung zu bewerten ist. Unberücksichtigt bleiben etwaige Effizienzeinbußen bei Produktion außerhalb des Nennpunkts. Die Übersicht der Daten zur Durchführung der Berechnung sind Tabelle 3-4 zu entnehmen.

Tabelle 3-4: Kostenerhebung der Lastverschiebung bei Chlor-Alkali-Elektrolyse

Input	Wert	Quelle
NaCl	102.000 t/a	DonauChem (2012)
Kosten je t NaCl	65 €/t	KOMMZEPT (2012)
Elektrische Energie	200.000 MWh/a	DonauChem (2012)
Kosten je MWh (Energie)	55 €/MWh	E-Control (2013)
Kosten je MWh (Netz und Abgaben, Netzebene 5)	30 €/MWh	E-Control (2013)
Output		
Chlor	70.000 t/a	DonauChem (2012)
Erlös je t (Marktpreis 2012)	300 €/t	Annahme
Natronlauge	79.000 t/a	Festel et al. (2001)
Erlös je t (Marktpreis 2012)	300 €/t	Annahme
Summe Erlöse	44,7 Mio. €/a	(berechnet)
Lastverschiebungskosten		
Kosten je verringerter Produktion	> 301 €/t	(berechnet)
Entsprechende Kosten je eingesparter MWh	>105 €/MWh	(berechnet)
Lastverschiebungskosten Literatur	> 100 €/MWh	Dena (2010)

3.2 Luftzerlegung

Die Luftzerlegung ist ein Teilbereich der chemischen Industrie und für die Herstellung technischer sowie medizinischer Gase zuständig.

3.2.1 Überblick Luftzerlegung

Im Prozess der Luftzerlegung werden die chemischen Elemente der Luft großtechnisch mittels Luftverflüssigung getrennt. Mit Hilfe des Linde-Verfahrens wird die Luft in ihre einzelnen Elemente wie Sauerstoff, Stickstoff und Argon zerlegt. Im ersten Schritt wird die Luft mit Hilfe eines Kompressors auf einen Druck von ca. 200 bar verdichtet. Nach Abkühlung und Reinigung der Luft wird diese über eine Turbine entspannt, wobei sie dort stark abkühlt und den Verflüssigungspunkt erreicht. Die flüssige Luft kann mit Hilfe der Fraktionierung, also einer gezielten Ausnutzung der unterschiedlichen Siedepunkte der einzelnen Gase, getrennt werden.

Für die Lastverschiebung eignen sich die Verdichter, die zur Komprimierung der Luft notwendig sind und über eine hohe elektrische Anschlussleistung verfügen.

Tabelle 3-5 zeigt die Produktionsdaten der hergestellten Stoffe.

Tabelle 3-5: Betrachtete für Lastverschiebung relevante Stoffe

Betrachtetes Verfahren: Luftzerlegung (Verdichter zur Komprimierung der Luft)			
Stoff	Spezifischer Energiebedarf [in kWh/m ³]	Produktionsmenge nach ÖNACE 2008 [in Mio. m ³ /a]	Berechneter Energieverbrauch [in MWh/a]
Sauerstoff	0,35-0,57	850	391.000
Stickstoff	0,30	626	187.000

Quelle: Statistik Austria (2013), Beysel (2009), EIGA European Industrial Gases Association (2008), EIGA European Industrial Gases Association (2010), (eigene Abschätzung)

3.2.2 Luftzerlegung INTERNATIONAL

Für den von wenigen Herstellern dominierten Markt der Industriegase werden wenig bis keine Information zu den Produktionsdaten veröffentlicht. Weltweit wird der Bedarf an Industriegasen auf 530 Mrd. m³ für das Jahr 2014 geschätzt, wobei 40 % für chemische Produktionsprozesse sowie Raffinerien verwendet wird, weitere 24 % benötigt die Stahlindustrie, der Rest teilt sich auf die übrigen Bereiche (u.a. Medizin) auf (Market Research, 2010).

In Europa werden mit Stand 2008 220.000 t/Tag an Industriegasen produziert, hochgerechnet auf ein Jahr ergibt das etwa 80,3 Mio. t bzw. 56 Mrd. m³ (EIGA European Industrial Gases Association, 2008). Linde Gas installierte bereits über 2.800 Luftzerlegungsanlagen in 80 Ländern (Linde Engineering, 2013), Air Liquide etwa 500 Produktionseinheiten in 60 Ländern (Air Liquide, 2013).

3.2.3 Luftzerlegung in Österreich

Im Jahr 2011 wurden in Österreich 850 Mio. m³ Sauerstoff sowie 626 Mio. m³ Stickstoff produziert (Statistik Austria, 2013). Den österreichischen Markt teilen sich die drei Unternehmen Linde Gas, Air Liquide und Messer. In großem Maßstab produziert wird in

nächster Nähe der Stahlproduzenten in Linz, Donawitz und Graz. Weitere Anlagen stehen in Schwechat und Gumpoldskirchen, wobei noch viele kleine schwer erfassbare Luftzerleger direkt vor Ort (On-Site) beim Kunden existieren.

Um das Potenzial der Lastverschiebung an diesen Anlagen erfassen zu können, muss bekannt sein, welchen Strombedarf diese haben. Aufgrund des kleinen Marktes in Österreich sowie der Wettbewerbssituation, sind die Unternehmen sehr zurückhaltend was die Bekanntgabe von Informationen zu genauen Produktionsdaten betrifft. Deshalb wurde der Stromverbrauch auf Basis der Angaben zum spezifischen Stromverbrauch (siehe Tabelle 3-6) und der Produktionsdaten von Sauerstoff abgeschätzt.

Tabelle 3-6: Kennzahlen zur Luftzerlegung in Österreich (Basisjahr 2012)

Kennzahl	Durchschnittliche Werte	Quelle
Sauerstoffproduktion / Tag	2,3 Mio. m ³ /d	Statistik Austria (2013)
Sauerstoffproduktion / Jahr	850 Mio. m ³ /a	Statistik Austria (2013)
Stickstoff / Tag	1,7 Mio. m ³ /d	Statistik Austria (2013)
Stickstoff / Jahr	626 Mio. m ³ /a	Statistik Austria (2013)
Spez. Strombedarf O₂	245-400 kWh / t = 0,35-0,57 kWh/m ³ *	Beysel (2009), EIGA European Industrial Gases Association (2010)
Spez. Strombedarf N₂	243 kWh / t = 0,30 kWh / m ³ **	EIGA European Industrial Gases Association (2010)
Stromverbrauch / Jahr (O₂)	391.000 MWh/a = 0,46 kWh / m ³	(berechnet, Schätzung)
Anteil elektr. Energie am Gesamtenergiebedarf	90 %	(Schätzung)

* 1 t O₂ entspricht 700 m³ O₂, ** 1 t N₂ entspricht 800 m³ N₂, Quelle: Literaturwerte und eigene Abschätzung

Der abgeschätzte Jahresstromverbrauch ergibt sich aus der Annahme, dass die Anlagen sauerstoffgeführt produzieren (erkennbar an der Menge, bei gleichwertiger Produktion müsste das ausgestoßene Volumen das Verhältnis 78 % N₂ zu 21 % O₂ aufweisen, Anm.) und der spezifische Strombedarf dem Mittelwert der in der Tabelle 3-6 genannten Zahlen entspricht.

3.2.4 Kenndaten zur Berechnung des Lastverschiebungspotenzials der Luftzerlegung in Österreich

Der Information eines Anlagenbetreibers in Österreich zufolge (Messer Austria GmbH, 2012), ist eine Leistungsreduktion auf 70 % der Nennlast möglich, diese wird aber nur zu besonderen Zeiten (Ferien bzw. Urlaubszeit), wenn der Hauptkunde weniger abnimmt, in Anspruch genommen. Die Anlage ist sonst, außer für Wartungszwecke, 24 Stunden am Tag mit Nennlast in Betrieb. Ein weiterer Anlagenbetreiber gibt zudem an, dass der Vorgang der Leistungsänderung aufgrund des trägen Systems im Bereich von Stunden liegt. Außerdem muss bedacht werden, dass der optimale Betriebspunkt der Anlage bei Leistungsreduktion verlassen wird.

3.2.4.1 Energiespezifische Kennzahlen und Berechnung der Lastverschiebungspotenziale

Allgemein gültige Angaben über die Laständerungsgeschwindigkeit sind in der Literatur zum Thema Luftzerlegung nicht angegeben, jedoch ist ein guter Anhaltswert aus einer

Prozesssimulation 4 min/1 % Nennlast (Xu et al., 2011). Das bedeutet für eine Spitzenlast von 47 MW einen effektiven Leistungsgradienten von 0,12 MW/min. Ein Beispiel für die Anpassung des Erzeugungs-Wochenrhythmus an den Strompreis mittels Lastvariation und Abschaltung wird beispielsweise in Mitra (2012) skizziert. Der Hersteller von Luftzerlegungsanlagen AirProducts bietet Zusatzlösungen (hauptsächlich Speicherlösungen) für seine Anlagen an, um elektrisches Lastmanagement betreiben zu können (Air Products, 2013). Tabelle 3-7 zeigt die elektrischen Parameter der Luftzerlegung in Österreich.

Tabelle 3-7: Elektrische Parameter der Luftzerlegung in Österreich

Elektrische Parameter	Wert	Quelle
Spitzenlast in MW	47 MW	Ann. 95 % Auslastung
Durchschnittslast in MW	44,63 MW	(berechnet)

Quelle: eigene Abschätzung

3.2.4.2 Möglicher Zeitraum für Lastverschiebung

Aufgrund der fast durchgehenden Produktion kann, ähnlich wie bei der Chloralkali-Elektrolyse auch im Bereich der Luftzerlegung nur eine Leistungsreduktion durchgeführt werden (siehe auch Abschnitt 3.1.3.1). Durch die begrenzte Speicher- bzw. Lagerfähigkeit ist eine Lastreduktion ohne Produktionseinbußen nur für kurze Zeit möglich. Zusätzlich verringert die langsame Laständerungsgeschwindigkeit der Anlage die effektive Nutzungsdauer der Lastverschiebung.

3.2.4.3 Lastverschiebungskosten

Angenommene Randbedingungen

Bei den Abschätzungen sei auf die Anmerkungen in Abschnitt 3.1.3.3 hingewiesen, da auch bei der Luftzerlegung im Rahmen des Projektes Loadshift keine Kosten-Detailanalyse, die nur vom entsprechenden Betrieb selbst vorgenommen werden kann, zur Berechnung der Opportunitätskosten (jener Kosten, die entstehen, wenn eine Lastverschiebung erfolgt) durchgeführt werden kann.

Bei bestimmten Luftzerlegungsanlagen gibt es die Besonderheit, dass ein Großteil der Produktion vorwiegend an einen einzigen Kunden geliefert wird, der direkt mittels Rohrleitungen angeschlossen ist. Je nach Auslegung der Anlagenkapazität ist es durchaus möglich, mit einem geeigneten Speicher die Prozesse voneinander zu entkoppeln. Ist das nicht möglich, entstünden dem Kunden deutliche Nachteile, wenn die Luftzerlegungsanlage nicht mit voller Leistungsfähigkeit arbeitet und die benötigte Menge nicht zur Verfügung stellen kann. Dies würde auch ungewünschte Auswirkungen auf die nachfolgenden Prozesse haben. Diese Aspekte bleiben bei der Berechnung allerdings unberücksichtigt, da, wie bereits erwähnt, diese Bewertung nur die Unternehmen selbst durchführen können.

Ähnlich wie in Abschnitt 3.1.3.3 erfolgt die Kostenbetrachtung anhand der Produktionsdaten. Die variablen Kosten für die Erzeugung von Sauerstoff und Stickstoff setzen sich hauptsächlich aus den Kosten für die elektrische Energie zusammen. Zur Abschätzung dieser Kosten wird der Stromverbrauch aus Tabelle 3-6 mit den Stromkosten von 85 €/MWh multipliziert. Zu den Verkaufserlösen bzw. Produktionswerten veröffentlicht die Statistik Austria in der Konjunkturstatistik zusätzlich zur Produktionsmenge den zugehörigen

Produktionswert in Euro. Die Summe der Produktionswerte (Verkaufserlöse) für Sauerstoff und Stickstoff betragen für das Jahr 2011 128,2 Mio. €/a. Zieht man hiervon die variablen Kosten für den Strom ab, erhält man einen Deckungsbeitrag in Höhe von rund 95 Mio. €/a, welcher zur Deckung der fixen Kosten zur Verfügung steht. Wird der Deckungsbeitrag durch den gesamten jährlichen elektrischen Energiebedarf dividiert, erhält man rund 243 €/MWh. Aufgrund der Annahme, dass sich der Energiebedarf linear zu der Produktionsmenge verhält sowie, dass den Produktionserlösen eine lineare Erlösfunktion zu Grunde liegt, bedeutet das, dass bei einer Verringerung der Produktion um eine MWh zumindest Opportunitätskosten in Höhe von 243 € entstehen, sodass beide Situationen für das Unternehmen gleichwertig sind. Die 243 €/MWh stellen somit eine untere Schranke bei den verwendeten Energiepreisen, für die Kosten der Lastverschiebung in diesem Sektor dar. Tabelle 3-8 zeigt eine Aufschlüsselung der spezifischen und berechneten Kosten.

Tabelle 3-8: Kostenerhebung der Lastverschiebung bei Luftzerlegung

Input	Wert	Quelle
Elektrische Energie	391.000 MWh	(berechnet, Schätzung)
Kosten je MWh (Energie)	55 €/MWh	E-Control (2013)
Kosten je MWh (Netz und Abgaben, Netzebene 5)	30 €/MWh	E-Control (2013)
Output		
Sauerstoff (O₂)	850 Mio. m ³	Statistik Austria (2013)
Produktionswert O₂	77,4 Mio. €	Statistik Austria (2013)
Spez. Produktionswert O₂	9,1 ct/m ³	(berechnet)
Stickstoff (N₂)	626 Mio. m ³	Statistik Austria (2013)
Produktionswert N₂	50,8 Mio. €	Statistik Austria (2013)
Spez. Produktionswert N₂	8,1 ct/m ³	(berechnet)
Lastverschiebungskosten		
Kosten je eingesparter MWh	>243 €/MWh	(berechnet)

Quelle: Literaturwerte und eigene Abschätzung

3.3 Zusammenfassung der Lastverschiebungspotenziale und – kosten der chemischen Industrie

Im Rahmen des Projektes Loadshift wurden im Bereich der chemischen Industrie die Teilbereiche Chloralkali-Elektrolyse und Luftzerlegung untersucht.

Die Chloralkali-Elektrolyse wird in einem einzigen Betrieb in Österreich durchgeführt. Im Normalbetrieb produziert dieser Betrieb ununterbrochen das gesamte Jahr über, weshalb als Lastverschiebepotenziale nur Leistungsverminderung angegeben wird. Die maximale Leistungsreduktion wurde mit rund -11 MW bei geschätzten Kosten von 105 €/MWh errechnet.

Im Bereich der Luftzerlegung sind mehrere Betriebe für das österreichische Produktionsvolumen verantwortlich. Auch hier ergibt sich durch die grundsätzlich hohe Auslastung im Normalbetrieb ausschließlich eine Leistungsreduktion, welche mit maximal rund -13 MW und geschätzten Kosten von rund 240 €/MWh errechnet wurde.

Einordnung der Ergebnisse in die vorhandene österreichische Literatur:

- Gutschi und Stigler (2008) geben das Lastverlagerungspotenzial der gesamten chemischen Industrie (Chemie und Petrochemie) mit 64 MW an.

- Berger et al. (2013) geben ein top-down berechnetes Lastverschiebungspotenzial, (in MW zu Spitzenlastzeiten) von 8 MW bzw. 1,2 % des gesamten Stromverbrauchs der chemischen Industrie an. Sie erweitern diese Berechnung in ihrer Studie zudem um eine bottom-up Analyse, im Rahmen derer sie ein 15 Minuten- in Höhe von etwa 28,8 MW und ein 60 Minuten- in Höhe von etwa 30 MW errechnen (*Anmerkung: diese Werte entstammen jeweils Grafiken aus dieser Studie und sind damit gerundet*). Gemäß der in dieser Studie auch beschriebenen Cost Curve ergeben sich für das 15 min Verschiebepotenzial spezifische Verschiebungskosten des Sektors Chemie von etwa 1.200 €/MWh.

Weitere Erkenntnisse aus internationalen Studien:

- Popp und Klobasa (2013) geben die maximale Verschiebedauer bei der Chlor-Alkalianalyse mit 4 Stunden an und schätzen die Anzahl der Aktivierungen, die pro Jahr maximal möglich sind, auf 40 Mal.

Factbox Lastverschiebung in der Chemischen Industrie in Österreich

Grundsätzliche Eignung der chemischen Industrie im Allgemeinen und der Chlorerzeugung für DSM im Speziellen ist von 0 bis 24 Stunden gegeben. Diesbezüglich gibt es keine Einschränkung der Verlagerungsmöglichkeit. Es ist jedoch zu beachten dass die Chloralkali-Elektrolyse nur von einem einzigen Hersteller in Kärnten durchgeführt wird. Das relative Verschiebepotenzial liegt dabei zwischen -5 % bei einer Dauer von 5 Minuten bis zu -50 % bei einer Dauer von 24 Stunden. Eine zeitliche Streckung der Verlagerungsmöglichkeit ist eingeschränkt durch die Vorgabe, dass rund eine Stunde Vorlaufzeit benötigt wird, um auf -50 % Teillastbetrieb zu kommen. Das sich aus den quantitativen Lastverschiebungsmöglichkeiten (Summe aller Einzelprozesse in MW) ergebende absolute Verschiebepotenzial beträgt -1,1 MW bei 5 Minuten und bis zu -11 MW bei 24 Stunden.

In Summe mit dem Potenzial der Luftzerlegung welches sich auf maximal -13 MW beläuft ergibt sich ein maximales Verschiebungspotenzial für den gesamten Sektor von -24 MW bei einer Dauer von 24h.

4 Elektrostahlerzeugung

Michael Schmidthaler

Der Werkstoff Stahl ist aus modernen Gesellschaften aufgrund seiner vielfältigen Einsatz- und Anwendungsgebiete nicht mehr wegzudenken. Stahl zählt zu den am häufigsten eingesetzten Materialien in der Industrie. Die Herstellung von Stahl ist darüber hinaus aufgrund der Energieintensivität (im Falle von Elektrostahlerzeugung der Stromintensität) sehr bedeutend für Lastverschiebungsmaßnahmen.

Die globale Stahlindustrie¹⁹ zählt mit einer weltweiten Jahresproduktion von etwa 1.550 Mio. t Stahl (Worldsteel Association, 2012) zu einem der wichtigsten Wirtschaftszweige vieler Länder und ist essentieller Bestandteil der Schwerindustrie.

Die metallverarbeitenden Unternehmen in Österreich sind in der aktuellen Wirtschaftsnomenklatur (ÖNACE 2008) in Abschnitt C, Abteilung 24 zusammengefasst. Es handelt sich um ein Aggregat aus verschiedenen Gruppen.²⁰ Die in Tabelle 4-3 dargestellte Abteilung der ÖNACE betrifft sämtliche Unterkategorien der Stahlerzeugung in Österreich. Tabelle 4-1 stellt die Relevanz der Elektrostahlproduktion, die in diesem Arbeitspapier untersucht wird, für den Gesamtsektor dar.

Tabelle 4-1: Untersuchte Unternehmen in ÖNACE Abteilung 24 Abschnitts C: Metallerzeugung und -bearbeitung

Sektor	Bezeichnung	Anteil der Elektrostahlerzeugung
C 24.1	Erzeugung von Roheisen, Stahl und Ferrolegierungen	9-13 % des Gesamtoutputs

Quelle: Eurofer – The European Steel Association (2014)

Die Einordnung der Produktionsmenge, welche im Zuge von Elektrostahlverfahren hergestellt wird, ist in Tabelle 4-2 dargestellt.

Tabelle 4-2: Jährliche Statistik der Produktion von Stahl und Elektrostahl (Basisjahr 2009)

Code	Bezeichnung	Menge in 1.000 Tonnen
5040	Rohstahl	6.149.000
5041	davon Elektrostahl	711.000

Quelle: Statistik Austria (2009)

Die für Lastverschiebungsansätze in Österreich besonders relevanten Elektrostahlerzeugungsunternehmen produzierten insgesamt rund 711.000 Tonnen Rohstahl.

¹⁹ Dies betrifft nicht ausschließlich elektrostahlbasierte sondern sämtliche Herstellungsverfahren.

²⁰ Ehemals wurde die Wirtschaftsklassifikation in der 4-steller Ebene durchgeführt. Die Einordnung in der nun europaweit einheitlich verwendeten NACE-Nomenklatur, befindet sich in Tabelle 4-1.

4.1 Überblick Elektrostahlerzeugung

Eine Einordnung der Bedeutung der Elektrostahlerzeugung in die Gesamtstahlerzeugung, geben Pulm und Raupenstrauch (2014).²¹ Die Autoren bieten in ihrer sehr fundierten Analyse der technologischen Charakteristika der globalen Stahlerzeugung eine intuitive Zusammenfassung der vier gängigsten Stahlerzeugungsrouten. Diese sind:

- Integrierte Hochofen-Route
- Integrierte Schmelzreduktions-Route (z.B. COREX)
- Integrierte Direktreduktions-Route
- Mini-Mill Route

Grundsätzlich können diese Erzeugungsrouten unterschiedliche Anteile elektrischer Reduktionsverfahren aufweisen. Die Mini-Mill Route sowie der Elektrostahlerzeugungsanteil der integrierten Direktreduktions-Route sind jedoch insbesondere dafür prädestiniert. Letztere ist vor allem in Anbetracht erwarteter Zunahmen der Wiederverwertung von Stahl zukünftig relevant, da sie als einzige dieser vier Produktionsformen hochlegierte und rostfreie Stähle rezyklieren kann.²²

Die mittels Elektroreduktion hergestellten Anteile an der Gesamtstahlproduktion schwanken je nach Land und Nachfrage und liegen im weltweiten Schnitt bei etwa 29 %. In Österreich liegt dieser Anteil historisch zwischen 9 % und 13 % (aktuell 9,3 %). Europaweit werden etwa 41,7 % der Gesamtstahlerzeugung mittels Elektrostahlverfahren hergestellt (Pulm und Raupenstrauch, 2014).

Der Fokus dieses Arbeitspapiers liegt auf dem Produktionsverfahren der Elektrostahlerzeugung. Deshalb wird ausschließlich die Eignung von Unternehmen dieses Sektors, eine Verschiebung elektrischer Lasten zu ermöglichen, analysiert.²³

4.2 Technische Charakteristika der Elektrostahlerzeugung

Elektrostahlverfahren verwenden meist andere Ausgangsstoffe als dies bei anderen Verfahren (wie der Hochofenroute) der Fall ist. Meist werden angereicherte (reiche) Erze, Schrotte oder vorab produzierter Eisenschwamm (Pellets) in speziellen Öfen (meist mittels Lichtbogentechnologie) zu Stahl oder anderen Eisensorten (Guss) verarbeitet. Weltweit ist die Anwendung dieser Produktionsform seit rund 30 Jahren steigend. Neue Technologien²⁴ ermöglichen kontinuierlichere Betriebsweisen bei reduziertem Energie- und Elektrodeneinsatz.

Die Elektrostahlerzeugung weist sehr hohe Stromverbräuche bei – verglichen mit anderen Reduktionsverfahren – geringen Verbräuchen anderer (fossiler) Energieträger²⁵ auf. Abbildung 4-1 stellt die historischen Entwicklungen des elektrischen Endenergiebedarfs aller metallherzeugenden Betriebe in Österreich dar.²⁶

²¹ Darüber hinaus definieren Apel et al. (2012) in einer vereinfachten Variante zwei grundsätzlich unterschiedliche Verfahren zur Rohstahlerzeugung: das Oxygenverfahren und Elektrostahlverfahren.

²² Dies hängt jedoch sehr von der Verfügbarkeit entsprechender Schrottqualitäten ab (Pulm und Raupenstrauch, 2014).

²³ Lastverschiebungsmaßnahmen in der Elektrostahlerzeugung sind für diese Studie insbesondere auch daher von Bedeutung, da die besondere Eignung dieses Sektors zum Zwecke der Lastverschiebung in verschiedenen Studien im In- und Ausland aufgezeigt wurde.

²⁴ Dazu zählt etwa der neuentwickelte Siemens-VAI Ofen, siehe Industriemagazin (2012).

²⁵ Dazu zählt bspw. das Reaktionsmedium Koks, welches im Hochofenprozess zum Einsatz kommt.

²⁶ Dies umfasst auch andere Produktionsformen von Stahl sowie auch Elektrostahlverfahren.

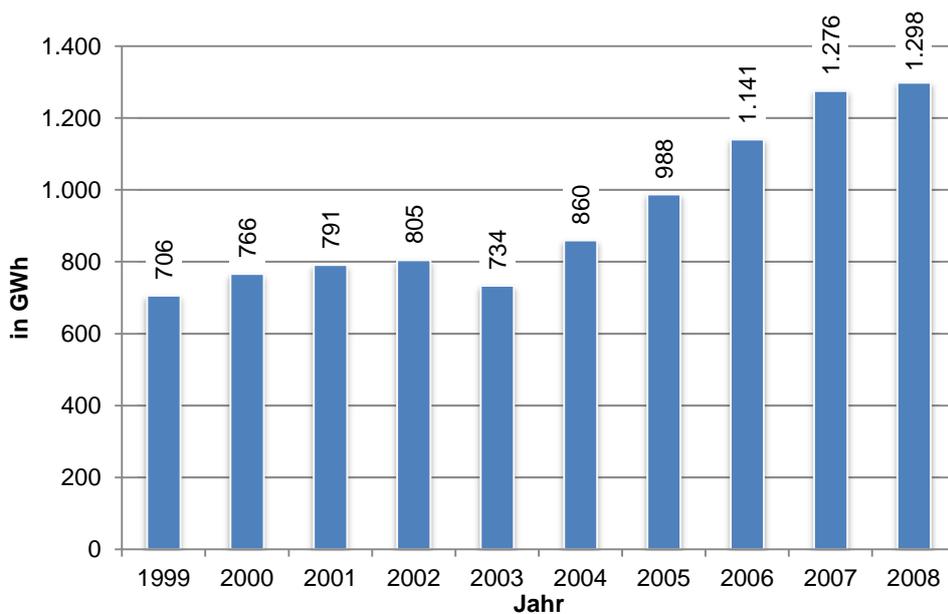


Abbildung 4-1: Entwicklung des elektrischen Endenergieverbrauchs des Sektors "Herstellung von Metallerzeugnissen" in GWh

Quelle: Statistik Austria (2010)

Die für dieses Arbeitspapier relevante Elektrostahlerzeugung beinhaltet Verfahren zur Herstellung von verschiedenen Stahlsorten. Schrott und andere Ausgangsstoffe werden bei Temperaturen von mehr als 3.000 °C eingeschmolzen. Neben Stahlschrott kann auch Eisenschwamm oder Roheisen mit verarbeitet werden. Zum Einsatz kommen dabei sowohl Wechselstrom als auch Gleichstrom-Lichtbogenöfen. Abbildung 4-2 zeigt den Energieverbrauch je Prozessschritt bei der Erzeugung von Warmband im Elektrostahlwerk.

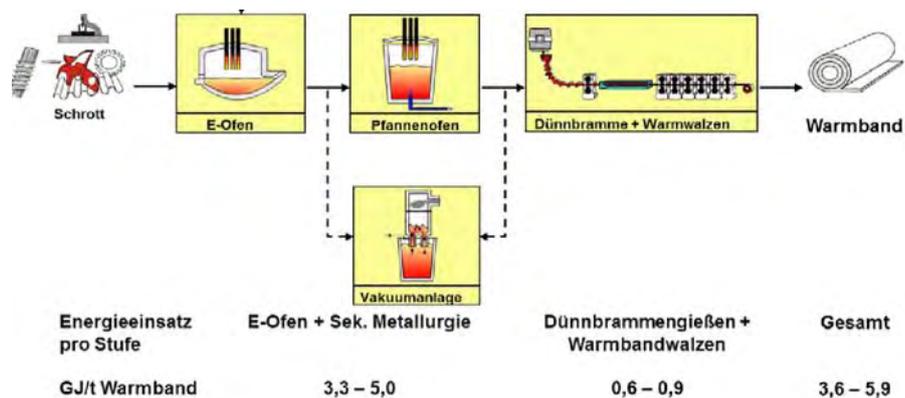


Abbildung 4-2: Energieverbrauch je Prozessschritt bei der Erzeugung von Warmband im Elektrostahlwerk

Quelle: Pulm und Raupenstrauch (2014)

Insbesondere der hohe elektrische Energiebedarf des metallurgischen Prozessschrittes prädestiniert diese Produktionsform für Lastverschiebungsansätze.

4.3 Elektrostahlerzeugung INTERNATIONAL

2010 wurden weltweit rund 400 Mio. t Elektrostahl produziert. Dies entspricht ca. 29 % der gesamten Stahlproduktion (Siemens, 2012). In Deutschland wurde rund ein Drittel der Gesamtproduktionsmenge (von 45 Mio. t) im Elektrostahlverfahren hergestellt. Dies entspricht ca. 15 Mio. t Rohstahl (Apel et al., 2012). Deutschland produziert dabei etwa das 20-fache der österreichischen Elektrostahlproduktion.

In den letzten Jahren wurde die Energieeffizienz in der Stahlherstellung insgesamt und in der Elektrostahlproduktion im Speziellen deutlich gesteigert. Diese Effizienzsteigerungen waren verantwortlich dafür, dass neben Energieeinsparungen auch eine Verringerung der Treibhausgasemissionen in signifikantem Ausmaß ermöglicht wurde. Pulm und Raupenstrauch (2014) analysierten diese Verbesserungen und fanden: „ [Dass es] gelungen [ist] durch Stromeinsparungen beim Elektrolichtbogenofen, den Treibhausgasausstoß von 1990 bis 2010 von 585 auf 439 g CO₂ pro Tonne zu senken. [...]“

In vielen Ländern hat die Elektrostahlerzeugung großen Anteil am Gesamtelektrizitätsverbrauch aller industriellen Sektoren.²⁷

4.4 Elektrostahlerzeugung in Österreich

Die Eisen- und Stahlproduktion hat in Österreich wie auch in vielen anderen europäischen Ländern eine hohe volkswirtschaftliche Bedeutung. Tabelle 4-3 stellt die wirtschaftlichen Eckdaten der Roheisen- und Stahlproduktion in Österreich dar. Die Elektrostahlerzeugung ist darüber hinaus mit einem Anteil von 9,3 % der Gesamterzeugung und unter besonderer Rücksichtnahme auf die überproportional energieintensiven Lichtbogenprozesse in Bezug auf den Jahresenergieverbrauch ein sehr bedeutender Faktor für die österreichische Elektrizitätswirtschaft.

Tabelle 4-3: Auszug der Gütereinsatzstatistik 2012 für Roheisen- und Stahlerzeugung

ÖNACE-Gruppe Jahr 2012	Zahl der meldenden Betriebe	Wirtschaftliche Gesamtproduktion in 1.000 Euro	Gütereinsatz in 1.000 Euro	Gütereinsatz in %	Energieeinsatz in 1.000 Euro	Energieeinsatz in %
C24.1	14	7.593.662	4.102.853	54,0	1.218.374	16,0

Quelle: Statistik Austria (2012)

Die Erzeugung von Elektrostahl verzeichnete in Österreich eine überproportionale Zunahme auf zuletzt rund 750.000 t. Dies entspricht rund einem Zehntel der gesamten Rohstahlproduktion (WKO, 2011/2012).

Tabelle 4-4 stellt den Leistungsbedarf, die Größe der Produktionsanlagen und die Gesamtproduktion dieser drei Hauptproduzenten sowie von zwei weiteren Unternehmen im

²⁷ Gemäß Roon & Gobmaier (2010) beläuft sich der Stromverbrauch in der deutschen Eisen- und Stahlerzeugung auf ca. 30 % des gesamten Industriestromverbrauchs. Eine Abschätzung des Anteils der Elektrostahlerzeugung am Gesamtstromverbrauch ist nicht trennscharf möglich. Ein Indiz für die hohe energiewirtschaftliche Bedeutung der Eisenerzeugung bieten auch Samad und Kiliccote (2012). Sie berichten für die USA, dass der Stromverbrauch im Durchschnitt 320 GWh für jedes der rund 150 amerikanischen Stahlwerke beträgt. Davon wendet ein Großteil Elektrostahlverfahren an.

Bereich der Guss- und Elektrostahlproduktion dar (siehe Pulm und Raupenstrauch (2014), sowie Gara und Schrimpf (1998)).²⁸

Tabelle 4-4: Auflistung der Elektrostahlwerke, Produktionsart und -charakteristika in Österreich

Stahlwerk	Leistungsbedarf	Ofengröße	Stahlproduktion p.a.
Breitenfelder	ca. 40 MW	65 t	130.000 t (2008/09)
Stahlwerk Böhler	ca. 15 MW	55 t	150.773 t
Marienhütte	ca. 30 MW	36 t	365.000 t
Treibach in Kärnten	ca. 5 MW	-	-
Maschinenfabrik Liezen	ca. 2,5 MW	-	ca. 7.000 t Guss (2009)
	ca. 1,5 MW	-	
Summe	ca. 94 MW		ca. 750.000 t

Quellen: TUG (2013)²⁹, DerStandard (2009), Breitenfeld AG (2014), Böhler Edelstahl GmbH & Co KG (2011), Marienhütte Stahl- u. Walzwerk GesmbH (2014), Umweltbundesamt (2012), Maschinenfabrik Liezen und Gießerei Ges.m.b.H. (2014)

4.4.1 Kenndaten zur Berechnung des Lastverschiebungspotenzials der Elektrostahlerzeugung in Österreich

Bei Bereitstellung ausreichender Anreizstrukturen wird die Stahlerzeugung mittels elektrischer Reduktion (Elektrostahlerzeugung) in verschiedenen Literaturquellen als sehr gut geeignet für die Verschiebung elektrischer Lasten gesehen (Klobasa et al., 2011).³⁰

Die Abschätzung des jährlichen Gesamtstromverbrauchs der Elektrostahlproduktion in Österreich erfolgt auf Basis relativer Verbrauchsdaten sowie der Jahresgesamtproduktion. Tabelle 4-5 stellt einen Überblick der spezifischen Energieverbräuche sowie eine erste Schätzung des Gesamtendenergieeinsatzes der österreichischen Elektrostahlerzeugung dar.

²⁸ In Hinblick auf die Zukunftsaussichten der Elektrostahlherstellung hält beispielweise Siemens (2012) die prognostizierte Zunahme der Recyclingaktivitäten sowie die damit einhergehende Effizienzsteigerung bei weiterer Erhöhung des Elektrostahlherstellungsverfahrens hervor: „Im Jahr 2010 wurden weltweit rund 400 Millionen t Elektrostahl erzeugt, das sind knapp 29 Prozent der Stahlproduktion. In Europa liegt der Anteil bei knapp 50 Prozent, in Nordamerika, Afrika, Indien und dem Nahen Osten zum Teil noch deutlich höher. Haupteinsatzmaterialien sind Schrott und direktreduziertes Eisen (DRI), letzteres hauptsächlich in Indien und im Nahen Osten. [...]“. In Tabelle 4-4 sind die österreichischen Elektrostahlwerke, Leistungsbedarf und Größe der Öfen aufgelistet, jedoch sind Triebach und Liezen atypische Produktionsstätten, sodass die verbleibenden drei meist als Elektrostahlhütten genannt werden. Gießereien, welche ebenfalls in Österreich beheimatet sind, betreiben vielfach ebenfalls Schmelzöfen (meist Elektrolichtbogen- und Induktionsöfen). Deren Analyse erfolgt in einem speziellen Kapitel.

²⁹ Persönliche Kommunikation

³⁰ Die Autoren stellen fest, dass „Die Charakteristik der Elektrostahlerzeugung [...] sich auf Grund der Beladung des Ofens sehr gut zur Verlagerung [eignet]. Typischerweise lässt sich bei einer gewissen Vorlaufzeit der Prozessbeginn verschieben oder bei hohen Erlösen den Schmelzvorgang unterbrechen. Unter der Annahme, dass ein Teil der Produktion, z. B. für hochwertige Stähle, nicht für Lastmanagement zur Verfügung steht, sollte das Verlagerungspotenzial dennoch bei über 50 % [in Deutschland entsprechend bei 400 MW, Anm.] liegen.“

Tabelle 4-5: Spezifischer Energiebedarf und Abschätzung des prozessspezifischen Gesamtenergiebedarfs der Elektrostahlerzeugung in Österreich

Produktionsmenge 2011 [in t]	Spezifischer Strombedarf [in kWh/t]	Endenergiebedarf elektrischer Energie [in GWh]	Quelle
750.000	533	400	Hassan (2011) ³¹
750.000	792	594	Apel et al. (2012)
750.000	525	393	Gils (2013)
750.000	525	393	Paulus und Borggrefe (2009) ³²
750.000	490	367	Küchler (2012)
750.000	1.000	750	Pulm und Raupenstrauch (2014). <i>Eigene Berechnung, Untergrenze</i> ³³
750.000	1.638	1.229	Pulm und Raupenstrauch (2014). <i>Eigene Berechnung, Obergrenze</i>
750.000	600	450	Eigene Abschätzung

Quelle: Literaturwerte und eigene Abschätzung

Auf Basis der Produktionsmenge und des spezifischen Energiebedarfs wird der gesamte in der Elektrostahlerzeugung anfallende Verbrauch elektrischer Energie unter Verwendung des Mittelwerts für die weiteren Analyseschritte mit 450 GWh angenommen.³⁴

Dies geschieht unter der Annahme, dass die österreichische Elektrostahlerzeugung energetisch betrachtet effizienter als der internationale Wettbewerb ist. Bestätigung findet diese Annahme auch in der Literatur.³⁵

Unter der Annahme, einer kontinuierlichen Produktionsweise ergibt sich ein jährlicher Durchschnittsleistungsbedarf von 62,5 MW/Mio. t Stahl, was in Anbetracht der Chargenproduktion als Untergrenze zu werten ist. Dies wird anhand der in Tabelle 4-4 dargestellten Anschlusswerte der österreichischen Hauptproduzenten bestätigt. Diese Unternehmen weisen für den Hauptprozess Anschlussleistungen von rund 85 MW auf.

Dies deckt sich mit einer weiteren Abschätzung auf Basis der für Deutschland berechneten jährlichen Energiemenge, die maximal verschoben werden kann. Popp und Klobasa (2013) beziffern diese für Deutschland mit 74 GWh. Österreich, das sehr ähnliche Charakteristika in Hinblick auf die Elektrostahlerzeugung aufweist, verfügt demnach umgerechnet³⁶ über ein Verlagerungspotenzial von etwa 3,7 GWh.

³¹ Dieser elektrischer Energiebedarf von 533 kWh je t Elektrostahl wird für Deutschland angegeben. Umgerechnet für Österreich entspricht dies einem Gesamtstromverbrauch von rund 400 GWh.

³² Paulus und Borggrefe (2009) definieren einen spezifischen Energiebedarf von 0,525 MWh/t Stahl, bei dem der Schmelzprozess 45 min und das Nachfüllen 15 min Zeit in Anspruch nimmt.

³³ Eine Vergleichbarkeit ist nur bedingt gegeben, da teilweise weitere (sekundärmetallurgische) Verfahrensschritte in die Berechnung miteinbezogen werden. Die Autoren finden: „Das Schmelzen des Stahlschrottes im Elektrolichtbogenofen verursacht einen Energieaufwand von ungefähr 3 – 4 GJ / t. [...] Hinzugerechnet wurden die sekundärmetallurgischen Verfahrensschritte im Pfannenofen, bzw. eine Vakuumbehandlung, die wie bei der integrierten Route mit ca. 0,3 – 1 GJ / t zu Buche schlagen. Geht man, wie in Elektrostahlwerken üblich, von einer Dünnbramme aus, ergibt sich im Vergleich zum Strangguss und späterem Warmwalzen ein geringerer Energieaufwand von 0,6 – 0,9 GJ / t. Gesamt ergibt sich somit ein Energieaufwand zwischen 3,6 und 5,9 GJ / t Warmband.“

³⁴ Dies wird von der jährlich erscheinende „Statistik über die Elektroenergiebilanz der Stahlwerke“ in der Letztfassung aus 2009 (Statistik Austria, 2009) bestätigt. Elektrostahlwerke und Stranggussanlagen verbrauchten demnach im Jahr 2009 elektrische Energie im Ausmaß von 451.799 MWh (Statistik Austria, 2009).

³⁵ Pulm und Raupenstrauch (2014) befinden, dass „Durch vielfältige Maßnahmen [] auch die Elektrolichtbogenofenroute in den letzten Jahrzehnten wesentlich effizienter geworden [ist]. So konnte der Stromverbrauch um etwa 20 % gesenkt werden. Auch die österreichischen Betreiber [...] gehören bereits jetzt zu den weltweiten Top-Performern.“

³⁶ Dies basiert auf der Annahme, dass Österreich etwa 5 % der Produktionsmenge Deutschlands mit vergleichbaren Produktionscharakteristika aufweist.

4.4.2 Möglicher Zeitraum für Lastverschiebung

Elektrostahl wird meist im Chargen-Verfahren produziert. Da Effizienz und Wärmeaufrechterhaltung großen Einfluss auf die Gesamtkosten haben, sind Anreize für Lastverschiebungsmaßnahmen entsprechend auszugestalten. Werden Abschaltungen allerdings in die Produktionsplanung eingebunden, ist ein Unterbrechen einer Charge möglich. Dies betrifft den Zeitraum von 30 Minuten bis zu 4 Stunden, sodass nur in diesem Zeitraum Lastverschiebung möglich ist (Agora Energiewende, 2013).³⁷ Darüber hinaus können diese Lastverschiebungspotenziale höchstens 40-mal jährlich aktiviert werden.

Dena (2010), Agora Energiewende (2013) und Popp und Klobasa (2013) kommen zum Schluss, dass rund 70 % des insgesamt vorhandenen Lastverschiebungspotenzials genutzt werden können, da nur dieser Teil flexibel genug sei, um für verbraucherseitige Maßnahmen geeignet zu sein. Somit ergibt sich durch zeitliche Verlagerung der Schmelzprozesse eine mögliche Nutzung der vollen 70 % des gesamten Potenzials in einem Zeitraum von 1 h bis 4 h. Dies ist in Tabelle 4-6 dargestellt.

Tabelle 4-6: Übersicht möglicher Lastverschiebungszeiträume in der Elektrostahlerzeugung

Anwendung	Lastverschiebungszeitraum [in h]	Lastverschiebungshäufigkeit p.a.	Lastverschiebung [in % der Leistung]	Quelle
Elektrostahlerzeugung	-	-	33%	Eigene Berechnung der verschiebbaren (generischen) Jahresdauerlast auf Basis von Gutschi und Stigler (2008)
	0-4	40	-	Popp und Klobasa (2013)
	2	-	-	Agora Energiewende (2013)
	1-4	-	20-70%	Dena (2010)

Quelle: Literaturwerte und eigene Abschätzung

In Hinblick auf die verschiebbaren Anteile der regulär benötigten elektrischen Leistung geben Gutschi und Stigler (2008) eine verschiebbare Last von 33 % der (generischen) Jahresdauerlast³⁸ an. Hinterberger und Polak (2011) weisen im Gegensatz dazu das Verschiebepotenzial in der Stahlindustrie sehr konzentriert bis einschließlich 30 Minuten aus. Tabelle 4-7 enthält eine Abschätzung des zeitlichen Verlaufs der verschiebbaren Leistung.

³⁷ Popp und Klobasa (2013) geben die maximale Dauer der Lastverschiebung im Bereich der Elektrostahlproduktion für Deutschland ebenfalls mit 4 Stunden an.

³⁸ Umlegung des jährlichen Gesamtstrombedarfs unter Annahme eines kontinuierlichen Betriebs.

Tabelle 4-7: Relatives Verschiebepotenzial, Eignung für Lastverschiebung in Prozent des typischen sektoralen Leistungsbedarfs (Verschiebepotenzial relativ von 0-100 %)

Sektor	0-5 min	6-15 min	16-59 min	1 h- 3 h 59 min	4 h- 11 h 59 min	12 h- 23 h 59 min	Durchschnitt
C 24.5	15%	33 %	70 %	33 %	0%	0 %	20 %

Quelle: Eigene Abschätzung

Diese Werte sind als Obergrenze zu interpretieren, sodass über den gesamten Zeitraum von einem Potenzial zwischen 15 und 20 % ausgegangen werden kann. Konservativ wird daher ein durchschnittliches Lastverschiebungspotenzial von 20 % mit Spitzen bis 70 % angenommen. Dies resultiert in Spitzenlastverschiebung von maximal 60 MW.

4.4.3 Lastverschiebungskosten

Küchler (2012) weist die Energiekosten mit einem Anteil von 7 % am Produktionsprozess aus. Die gebotenen finanziellen Anreize müssten somit signifikant sein, um tatsächliche Produktionsablaufänderungen zu rechtfertigen. Dies ist in Hinblick auf mögliche Interaktionen von Lastverschiebungsansätzen mit dem Ausgleichs- und Regelenergiemarkt zu sehen, der einen Benchmark für mögliche Obergrenzen von Anreizstrukturen setzt.

In der Literatur finden sich für Österreich einige approximative Angaben, jedoch teilweise für den Gesamtsektor Eisen- und Stahlerzeugung, ohne explizit auf die sehr stromintensive Elektrostahlerzeugung einzugehen. Tabelle 4-8 stellt einen Überblick verschiedener Literaturwerte und die in diesem Arbeitspapier erhobenen Lastverschiebungskosten dar.

Tabelle 4-8: Lastverschiebungskosten der Elektrostahlherstellung in Österreich

Lastverschiebungskosten in €/MWH	Quelle
31	Hinterberger und Polak (2011)
570 (Erzeugung von Edelstahl als Näherungswert)	Gutschi und Stigler (2008)
210 (Erzeugung von Baustahl als Näherungswert)	Gutschi und Stigler (2008)
304³⁹	Oberhofer (2013)
~200	Eigene Abschätzung/Gesamtsektor

Quelle: Literaturwerte und eigene Abschätzung

³⁹ Dies ist in Hinblick auf die Ausfallkosten der Leistungs- bzw. Energiebereitstellung als Obergrenze des Gesamtsektors der Stahlindustrie zu interpretieren, unterstreicht allerdings die im Vergleich zu anderen Sektoren moderaten Kosten im Bereich der Elektrostahlerzeugung.

4.5 Zusammenfassung der Lastverschiebungspotenziale und –kosten der Elektrostahlerzeugung in Österreich

Dieses Kapitel analysiert Lastverschiebungspotenziale und –kosten in der Elektrostahlproduktion. In diesem Sektor sind elektrothermische Anwendungen (insbesondere Lichtbogenöfen) für einen Großteil der elektrischen Leistungserfordernisse verantwortlich. Auf Grund der hohen Anforderungen bei guter Planbarkeit ist die Elektrostahlproduktion in Hinblick auf Lastverschiebungsmaßnahmen gut geeignet. Tabelle 4-9 stellt die Analyse der Lastverschiebungspotenziale in der Elektrostahlerzeugung dar.

Tabelle 4-9: Zusammenfassung der Last- und Energieverschiebungspotenziale der Elektrostahlerzeugung in Österreich

Standort/Produktion	Sektornachfrage nach elektrischer Energie/Leistung	Energieverschiebungspotenzial [in MWh]	Lastverschiebungspotenzial in MW	Quelle
Elektrostahlerzeugung	-	7.000	~70	Hinterberger und Polak (2011)
Österreich/ Eisen -& Stahlindustrie insgesamt	-	-	120	Hütter et al. (2013) ⁴⁰
Elektrostahlwerke und Stranggussanlagen	-	18.000	2,6	Eigene Berechnung auf Basis von Klobasa (2007) ⁴¹
Eisen- und Stahlerzeugung	3.094.538 MWh	-	126	Gesamte Eisen- und Stahlerzeugung Gutschi und Stigler (2008)
Elektrostahlerzeugung (Hauptproduzenten)	85 MW	29.800	3,4	Kontinuierliche Imputation der drei Hauptbetriebe <i>Untergrenze</i> ⁴²
Elektrostahlerzeugung (Hauptproduzenten)		3.700	23	Interpolation des Potenzials auf Basis der Produktion in Deutschland ⁴³
Stahlindustrie⁴⁴	111 MW	-	-	Oberhofer (2013)
Eigene Abschätzung /GESAMTSEKTOR	85 MW	-	~60	

Quelle: Literaturwerte und eigene Abschätzung

⁴⁰ Eine gesonderte Auswertung des Elektrostahlanteils ist nicht vorgesehen.

⁴¹ Unter Anwendung linearer Faktoren in Bezug auf die Jahresarbeitsleistung (8.760 Volllaststunden p.a.) sowie der in Klobasa (2007) verwendeten Approximationsmethoden (4 % Verschiebungspotenzial) erhält man als erste Näherung für das approximative Volumen der Verschiebepotenziale ein Dauerlastverschiebungspotenzial von 2,06 MW. Die maximal verschiebbare Jahresenergie beläuft sich auf 18 GWh.

⁴² Diese Abschätzung wird auf Basis der Anschlussleistung dreier Hauptunternehmen und eines 4% Potenzial, bei einer im Jahres-, Wochen- und Tagesdurchschnitt konstanten Produktion durchgeführt.

⁴³ Wie im Text beschrieben auf Basis von Popp und Klobasa (2013) unter der Annahme von 5 % der Produktion Deutschlands.

⁴⁴ Die notwendige Leistungs- bzw. Energiebereitstellung in der Elektrostahlindustrie ist geringer als die hier definierte Obergrenze des Gesamtsektors der Stahlindustrie und basiert auf einer Produktion von 90 t Stahl pro Stunde zu Kosten von je 375€/t.

Das Gesamtlastverschiebungspotenzial dieses Sektors beträgt somit rund 60 MW zu Kosten von etwa 200 €/MWh.

Elektrostahl wird weiterhin an Bedeutung gewinnen, da vor allem die Möglichkeit großteils Schrott als Rohstoff einzusetzen, sowie der um bis zu 55 % niedrigeren Energieverbrauch, diese Form der Stahlerzeugung zukünftig besonders interessant machen. Auxilliärprozesse wurden in diesem Arbeitspapier nicht analysiert. Deren Verlagerungspotenzial ist, in Anbetracht des enormen Leistungsbedarfs des Kernprozesses, als untergeordnet zu betrachten.

Factbox Lastverschiebung in der Elektrostahlerzeugung in Österreich

In der Elektrostahlerzeugung bestehen österreichweit bedeutende Lastverschiebungspotenziale von rund 60 MW. Dies ist allerdings vor allem in Hinblick auf die hohe Wertschöpfung in diesem Sektor nur unter Bereitstellung adäquater Anreizstrukturen möglich. Eine Ausschöpfung eines Teils des österreichischen Verlagerungspotenzials im Bereich Elektrostahlzeugung ist zu Kosten von unter 200 €/MWh möglich. Im Durchschnitt sind jedoch Anreizstrukturen um 200 €/MWh notwendig, um ausreichende Kapazitäten bereitstellen zu können. Die Bedeutung dieser Methode zur Stahlproduktion ist durch die erwartete Zunahme des mittels Elektrostahlherstellungsverfahrens hergestellten Stahl insbesondere in der Zukunft hoch relevant.⁴⁵

⁴⁵ Pulm und Raupenstrauch (2014) stellen beispielsweise fest, dass: „Der Anteil der Stahlproduktion über die Elektrolichtbogenofenroute in den EU27 kontinuierlich an[steigt]. Weltweit ist er durch die stark gestiegenen Kapazitäten der chinesischen integrierten Stahlwerke stagniert. Es ist jedoch anzunehmen, dass sobald die chinesische Stahlproduktion auf ein Plateau stößt, der Anteil der Stahlproduktion über die Elektrolichtbogenofenroute auch global weiter steigen wird. [...]“

5 Nichteisen-Metalle

Michael Schmidthaler

Zu den Nichteisen-Metallen zählen sämtliche Metalle bei denen Eisen nicht als Hauptelement (Anteil < 50 %) vorkommt. Dabei stellen Aluminium und Kupfer zwei der quantitativ wichtigsten Nichteisen-Metalle dar. Durch die hohe elektrische Leitfähigkeit beider Metalle zählen diese zu den am häufigsten verwendeten Materialien bei der Herstellung von elektrischen Leitern und anderen Komponenten. Während Kupfer eines der ersten vom Menschen verwendeten Metalle ist⁴⁶, hat vor allem Aluminium in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts deutlich an Bedeutung gewonnen. Viele Anwendungen sind heute ohne diese beiden Materialien nicht denkbar.

Für Lastverschiebungsmaßnahmen kommen Herstellungsverfahren für beide Metalle in Frage⁴⁷, da sowohl Aluminium als auch Kupfer durch einen sehr energie- und insbesondere stromintensiven Erzeugungs- und Aufbereitungsprozess gekennzeichnet sind. Bei Aluminium machen die Energiekosten beispielsweise etwa 40 % der Gesamtherstellungsaufwendungen aus (Pulm und Raupenstrauch, 2014).⁴⁸ Vielfach sind aufgrund dieser hohen Energieintensität bereits Lastmanagementsysteme eingeführt, sodass für Lastverschiebungsmaßnahmen günstige Voraussetzungen herrschen.

Die volkswirtschaftliche Bedeutung des Sektors Nichteisen-Metalle wird in Tabelle 5-1 dargelegt. Diese zeigt einen Ausschnitt der Gütereinsatzstatistik 2012 der Nichteisen-Metallerzeugung in Österreich nach ÖNACE Klassifikation.

Tabelle 5-1: Gütereinsatzstatistik der Nichteisen-Metalle im Jahr 2012

ÖNACE-Gruppe	Zahl der meldenden Betriebe	Wirtschaftliche Gesamtproduktion in 1.000 Euro	Güter-einsatz 1) in 1.000 Euro	Güter-einsatz in % 2)	Energie-einsatz in 1.000 Euro	Energie-einsatz in % 3)
Erzeugung v. Nichteisen-Metallen (c24.4)	31	4.068.158	3.172.212	77,5	91.705	2,2

Quelle: Statistik Austria (2012)

Ersichtlich ist die hohe energie- wie auch volkswirtschaftliche Bedeutung dieses Wirtschaftsbereichs. Auch in Hinblick auf die zukünftige Entwicklung wird beiden Produktionsbereichen hohe Bedeutung vorhergesagt. Vor allem durch die Möglichkeit des Materialeinsatz von Recyclingmaterialien wird eine weitere Zunahme prognostiziert.

Nichteisen-Metalle zeichnen sich bereits jetzt durch hohe Anteile von Sekundärmaterialien als Ausgangsstoffe aus. In Deutschland wurden rund 60 Prozent des Aluminiums sowie rund 40 Prozent des Kupfers aus wiederverwerteten Ausgangsmaterialien produziert

⁴⁶ Dazu zählen auch die Legierungen Bronze und Messing.

⁴⁷ Apel et al. (2012) weisen Nichteisen-Metallen (insbesondere Aluminium) in einer Studie für Deutschland signifikante Potenziale für Demand Side Management zu.

⁴⁸ Bei Kupfer hat insbesondere der Gewinnungs- und Konditionierungsprozess großen Anteil am Gesamtenergieverbrauch.

(Statista, 2014). Für Österreich, das gänzlich auf importierte Vorprodukte angewiesen ist, ist dieser Anteil noch höher. Die Produzenten in Österreich sind meist hochspezialisierte Unternehmen. Tabelle 5-2 listet die wichtigsten Produktionsbetriebe der Nichteisen-Metallbranche in Österreich auf.

Tabelle 5-2: Überblick der Produktion von Nichteisen-Metalle in Österreich

Produktionsbetrieb	Ort	Art der Produktion	Menge/Anmerkungen
Montanwerke Brixlegg	Brixlegg	Sekundärmaterial, Kupfer und Silber	130.000 t (2008/09)
Austria Buntmetall GesmbH	Amstetten	Kupfer und Kupferlegierungen	150.773 t
AMAG Metall AG	Ranshofen	Aluminium-Halbzeug- und Gießereiprodukte	365.000 t
Salzburger Aluminium AG	Salzburg	Aluminium-Komponenten	-
Hütte Klein-Reichenbach GesmbH.	Kleinreichenbach	Aluminium-Schmelzwerk	-
Neuman Aluminium GesmbH.	Marktl	Aluminiumbutzen, Strang- und Fließpressprodukte	-
BMG Metall und Recycling GesmbH.	Arnoldstein	Sekundär-Bleihütte zum Recycling von Bleiakumulatoren und bleihaltigen Reststoffen.	-
Plansee AG	Reutte	Refraktärmetallen Produkte aus Molybdän, Wolfram, Tantal, Niob und Chrom	-
Wolfram Bergbau und Hütten AG	St Martin im Sulmtal	Herstellung hochreiner und extrem feiner Wolframoxid-, Metall- und Carbidpulver für die pulvermetallurgische (PM) Industrie.	-
Treibacher AG	Althofen	Hochleistungskeramik, Hartmetallen, seltenen Erden und Legierungselementen für die Eisen- und Stahlindustrie. Recycling von Sekundärrohstoffen, metallhaltiger Katalysatoren aus Erdölraffinerien.	ca. 7.000 t Spezialguss (2009)
Summe			ca. 750.000 t

Quelle: Pulm und Raupenstrauch (2014)

Der Produktionswert der Nichteisen-Metallindustrie in Österreich im Jahr 2012 betrug rund 3,9 Mrd. € (WKO, 2012). Abbildung 5-1 stellt die Entwicklung der Anzahl der Betriebe und der abgesetzten Produktion im historischen Kontext dar.

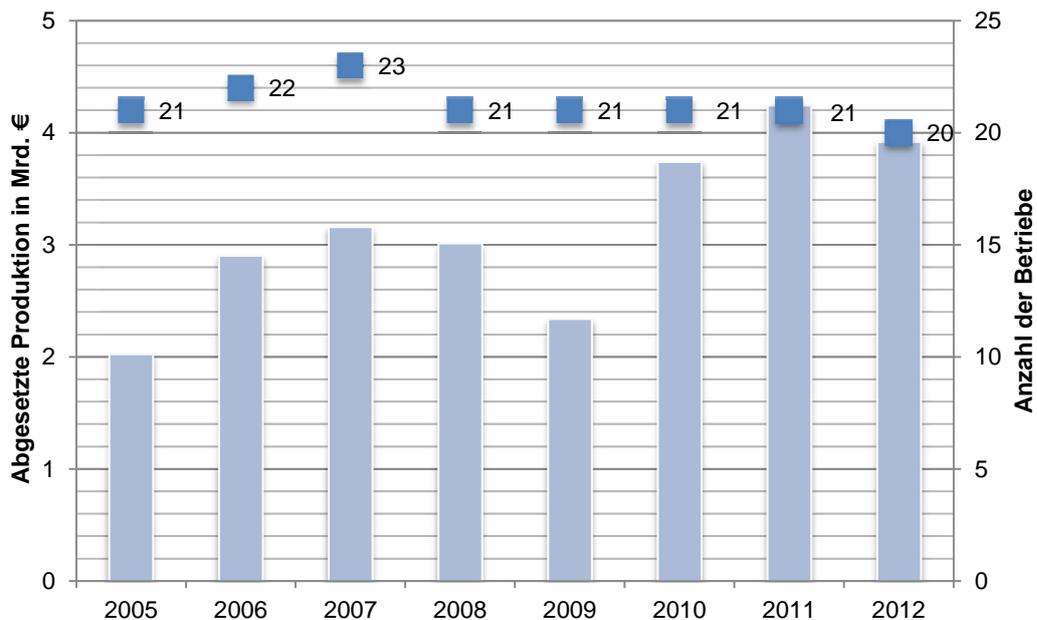


Abbildung 5-1: Anzahl der Betriebe und abgesetzte Produktion (in Mrd. €) der Nichteisen-Metallindustrie in Österreich

Quelle: WKO (2012)

In Hinblick auf die Bedeutung der Kupfer- und Aluminiumindustrie sowie als Ausblick auf die zukünftigen Entwicklung ist die in jüngsten Jahren zunehmend volkswirtschaftliche Relevanz (abgesetzten Produktion) gut erkennbar.

5.1 Energieverbrauch und Eignung für Lastverschiebung

Aus energiewirtschaftlicher Sicht ist die Nichteisen-Metallindustrie ein bedeutender Abnehmer. Tabelle 5-3 stellt den Branchenstromverbrauch der Nichteisen-Metallindustrie für die Jahre 2011 und 2012 dar.

Tabelle 5-3: Branchenstromverbrauch der Nichteisen-Metallindustrie

Stromverbrauch	2011	2012
Gesamt [MWh/a]	1.062.260	978.839

Quelle: Statistik Austria (2012)

Der Branchenstromverbrauch des Sektors Nichteisen-Metalle belief sich im Jahr 2012 auf 978.839 MWh (Statistik Austria, 2012). Dies entspricht rund 1,6 % des Gesamtstromverbrauchs in Österreich.

Pulm und Raupenstrauch (2014) analysieren den spezifischen Energieverbrauch bei der Herstellung von Nichteisen-Metallen. Aluminium weist einen spezifischen Energieverbrauch von etwa 55,5 MWh/t (200 GJ/t) auf, wobei mehr als 44 MWh/t (160 GJ/t) auf die Reduktion⁴⁹ an sich zurückzuführen sind. Bei Kupfer wird ein Großteil der elektrischen Energie für vorbereitende Schritte aufgewendet. Wie für die Stahlherstellung, gilt auch für Nichteisen-Metalle, dass die Verwendung von Recycling-Ausgangsstoffen positiv für die Energiebilanz

⁴⁹ Dies gilt insbesondere für die Elektrolyse, die für die Anwendung größtenteils elektrische Energie benötigt.

ist. Bei Aluminium reduziert sich in diesem Falle der allgemeine Energieverbrauch um bis zu 91 %, bei Kupfer um bis zu 39 %. Dies ist insbesondere für die in Europa erwartete Zunahme der Produktion aus Sekundärausgangsstoffen relevant. Auch für Lastverschiebungsmaßnahmen ist dies von Bedeutung, da geringere Potenziale durch die Verwendung von Recyclingmaterialien resultieren.

5.2 Literatur zur Lastverschiebung im Sektor Nichteisen-Metalle

Gutschi und Stigler (2008) analysieren Möglichkeiten für Lastverschiebung im Bereich der Nichteisen-Metalle. Bei einem Branchenstromverbrauch von 770.000 MWh (Wert aus 2005) im Nichteisen-Metall-Sektor, wurden 26 MW als Potenzial für Lastverschiebung definiert.

Hinterberger und Polak (2011) geben das Lastverschiebungspotenzial im Sektor Nichteisen-Metalle mit jährlich 2 GWh an. Eine direkte Umrechnung dieses Energieverschiebungspotenzials auf die verschiebbare Leistung erfolgte nicht. Da verschiedene Produktionsauslastungen bestehen, ist diese nur bei Annahme spezifischer Volllaststunden möglich. Hütter et al. (2013) weisen hingegen das Lastverschiebungspotenzial für diesen Bereich mit 14 MW und somit deutlich niedriger als Gutschi und Stigler (2008) aus. Diesem ersten Überblick folgend werden in den weiteren Kapiteln die Prozesscharakteristika sowie die Gegebenheiten in Österreich analysiert.

5.3 Aluminiumerzeugung

Aluminium zählt mit seinem geringen Gewicht und seiner Langlebigkeit zu einem wichtigen Werkstoff im Bereich des Automobilbaus, der Verpackungsindustrie und in vielen anderen Einsatzgebieten. Er lässt sich im Vergleich zu Stahl auch bei niedrigeren Temperaturen gut gießen und leicht umformen. Die Rohstoffgewinnung kann einerseits durch Minengewinnung mit entsprechender Umwandlung/Bearbeitung und andererseits durch das Recyceln von Aluminiumschrott erfolgen.

Da der Elektrolysevorgang äußerst energieintensiv ist, haben die Kosten für elektrische Energie einen wesentlichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Aluminium-produzierenden Betriebe. Beim Recyceln von Aluminium zur Herstellung von Sekundäraluminium sind rund 5 % der Energie nötig⁵⁰, die bei der Herstellung von Primäraluminium verbraucht wird (Hydro, 2013).

Die Gewinnung von Aluminium erfolgt durch die Aufbereitung des Bauxit-Erzes welches überwiegend in Tagebau-Minen abgebaut wird. Australien besitzt gefolgt von China die größten Abbaukapazitäten und Reserven.⁵¹ Danach erfolgen weitere Prozessschritte bis im letzten Schritt das Endprodukt Aluminium durch Elektrolyse hergestellt wird. Da der Elektrolysevorgang äußerst energieintensiv ist, haben die Kosten für elektrische Energie einen wesentlichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Aluminium-produzierenden Betriebe. International wird der Aluminiumproduktion großes Lastverschiebungspotenzial eingeräumt (siehe Klobasa et al. (2011).

⁵⁰ Der Energiebedarf für Sekundäraluminium bzw. Recycling-Aluminium ist vergleichsweise gering, weshalb diese Prozesskette nachfolgend nicht betrachtet wird (Küchler, 2012).

⁵¹ In weiteren Prozessschritten wird das gewonnene Bauxit in einem Druckbehälter bei einer Temperatur von ca. 150 °C und einem Druck von ca. 5-7 bar mit 35%-iger Natronlauge gerührt. Es folgt eine Abtrennung des gebildeten Rotschlammes

5.3.1 Aluminiumerzeugung INTERNATIONAL

Im Jahre 2010 wurden weltweit 41,2 Mio. t Primäraluminium sowie 8,4 Mio. t Sekundäraluminium produziert (Aluinfo, 2011). Deutschland lag 2011 bei einer Jahresproduktion von 0,43 Mio. t Primäraluminium und 0,63 Mio. t Sekundäraluminium (Aluinfo, 2011). Die deutschen Hersteller und Verarbeiter von Aluminium setzten im Jahr 2011 etwa 14,7 Mrd. € mit 74.000 Beschäftigten um. Popp (2013) weist für Deutschland ein Lastverschiebungspotenzial der Aluminiumproduktion von 198 MW aus. Dies betrifft vor allem die Möglichkeit der Verlagerung von Spitzenlasten. Als mögliche Anreizstruktur für Lastverschiebung wird ein Regime vorgeschlagen, dass dieses Potenzial für den gesamten Sektor für eine Dauer von bis zu 4 h während 40 Tagen im Jahr finanziell abgilt.

5.3.2 Aluminiumerzeugung in Österreich

Österreichs führender Hersteller von Aluminium-Halbzeug- und Gießereiprodukten befindet sich in Ranshofen. Dieser Verarbeitungsbetrieb (Austria Metall AG Ranshofen) bietet durch die vertikale Integration u.a. mit einer kanadischen Produktionsstätte eine Vielzahl an Produktionsformen und Spezialprodukte an.

Die Aluminiumherstellung in Österreich hat einen großen volks- und energiewirtschaftlichen Stellenwert. Die Produktion in Ranshofen erwirtschaftet mit rund 1.550 Mitarbeitern einen Umsatz von rund 800 Mio. € (AMAG, 2014) und stellte dabei 329.600 t Aluminium her.

In Hinblick auf die Lastverschiebungsrelevanz sei auf die energiewirtschaftliche Bedeutung des Hauptprozesses (Elektrolyse) verwiesen. Die Anbindung an die höchste Spannungsebene des österreichischen Verbundnetzes ist die logische Folge dieser Stromintensität.

5.3.3 Kenndaten zur Berechnung des Lastverschiebungspotenzials für den Bereich der Aluminiumerzeugung.

Der Verfahrensschritt der Elektrolyse stellt bei der Aluminiumproduktion mit Abstand den größten elektrischen Verbraucher dar.⁵² Dennoch konnte die Aluminiumproduktion den Energieeinsatz während der letzten 100 Jahre um etwa den Faktor 2-2,5 reduzieren. Aktuell wird von einem Energiebedarf von 45 MWh/t (163 GJ/t) Primäraluminium ausgegangen. Dies ist in der folgenden Tabelle detailliert dargestellt.

Tabelle 5-4: Relativer Energiebedarf der Primäraluminiumproduktion

Prozessschritt	Menge	Gesamtenergiebedarf (in MWh/t)	Anteil am Gesamtbedarf in %
Tonerdeherstellung	1,94	7,7	16,9
Schmelzflusselektrolyse	1,02	36,0	79,2
Schmelzereinigung	1,02	1,2	2,7
Vergießen	1,00	0,5	1,2
Summe (1 t Primäraluminium)		45,5	100,0

Quelle: Eigene Berechnung auf Basis von Pulm und Raupenstrauch (2014)

⁵² Bedingt durch das Fehlen einer Rohstoffgewinnung in Österreich (Abbau von Bauxit) wird auf den anfallenden (jedoch vergleichsweise geringe) Stromverbrauch von 2 kWh/t (Umweltbundesamt, 2014) nicht eingegangen.

Andere Literaturquellen geben einen davon abweichenden spezifischen Energiebedarf an. Die Dena Netzstudie (Dena, 2010) weist den Strombedarf für die Aluminiumelektrolyse mit 15 MWh/t aus. Gils (2013) beziffert den elektrischen Energieverbrauch in der Aluminiumelektrolyse in Europa und Nordafrika mit 14 MWh/t. Laut Küchler (2012) benötigt die Primäraluminiumgewinnung ebenfalls etwa 14 MWh/t Strom. Paulus und Borggrefe (2009) wiederum geben 15 MWh/t elektrischen Energiebedarf für die Aluminiumelektrolyse an. Aus dem von Apel et al. (2012)⁵³ angegebenen Strombedarf und der Produktionsmenge wurde auf den spezifischen elektrischen Energieverbrauch der Elektrolyse und des Gesamtprozesses rückgeschlossen.

Tabelle 5-5 zeigt typische energiespezifische Kennzahlen der Aluminiumherstellung aus Deutschland, wobei in verschiedenen Studien auf die energiewirtschaftliche Bedeutung der Aluminiumproduktion hingewiesen wird.

Tabelle 5-5: Spezifischer elektrischer Energiebedarf in der Aluminiumherstellung

Spitzenlast [MW]	spez. elektrischer Energieverbrauch [kWh/t]	Quelle
1.000 (Deutschland)	14.000	Apel et al. (2012)
1.240 (Deutschland)*	13.000-15.000	Institut für ZukunftsEnergy Systeme (2011)
-	14.000	Küchler (2012)
-	14.000	Paulus und Borggrefe (2009)
-	15.000	Gils (2013)

* Die angegebene elektrische Anschlussleistung von 200 Megawatt einer Hütte mit 100.000 Tonnen Aluminium Jahreskapazität wurde auf die Deutsche Produktionskapazität von 620.000 t von Apel et al. (2012) hochgerechnet.

Der Anteil der elektrischen Energie an den geschätzten durchschnittlichen Produktionskosten für Primäraluminium wird in Deutschland mit rund 40 % der Gesamtkosten angegeben (Institut für ZukunftsEnergy Systeme, 2011). Dies entspricht rund 800 €/t (Stand 2011), bei einem Strompreis von ca. 0,05-0,06 €/kWh.

Abbildung 5-2 zeigt die Anteile der verschiedenen Produktionsfaktoren für Primäraluminium. Aus diesen Überlegungen sind nicht produktionseinschränkende Verlagerungspotenziale in der Aluminiumerzeugung prozesstechnisch anspruchsvoll. Bedingt durch weitreichende Effizienzsteigerungen sind beim Hauptprozess (Schmelzflusselektrolyse) keine nennenswerten Verschiebepotenziale bei weiter aufrechterhaltener Produktion möglich. Die Verschiebung von Chargen ist bei entsprechender Vorwarnzeit und finanzieller Abgeltung zwar möglich, allerdings ist die damit gesicherte Leistungsreserve als sehr eingeschränkt anzusetzen.

⁵³ Quelle: „Aluminium [stellt] die größte Gruppe an Nichteisen-Metallen dar[...]. Aluminium wird in zwei Produktionsstufen gewonnen. Zunächst wird im Bayer-Verfahren Aluminiumoxid mittels Natronlauge abgetrennt. Anschließend wird es durch Schmelzflusselektrolyse zu reinem Rohaluminium aufbereitet. Eine Hütte von 100.000 Tonnen Aluminium Jahreskapazität benötigt rund 200 Megawatt elektrische Anschlussleistung und etwa 13 bis 15 MWh Strom pro Tonne Aluminium, weshalb die Primäraluminiumgewinnung zur stromintensiven Industrie zählt. [...]Die neun deutschen Produktionsreihen mit 1.178 Elektrolysezellen haben in Summe eine installierte Leistung von 1 GW und einem jährlichen Strombedarf von 5,6 TWh. Insgesamt beträgt der jährliche Strombedarf der Primäraluminiumherstellung (komplette Produktionskette) 6,3 TWh“ (Institut für ZukunftsEnergy Systeme, 2011)

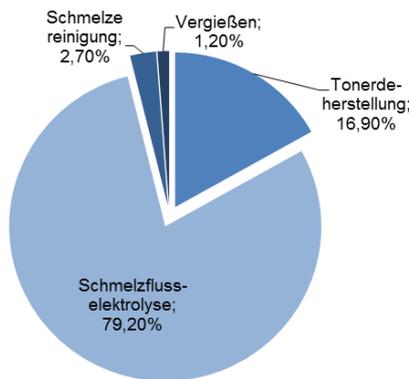


Abbildung 5-2: Energieverbrauch und relative Produktionsfaktoren für Primäraluminium

Quelle: Apel et al. (2012)

5.4 Kupfererzeugung

Kupfer kann einerseits aus Primärrohstoffen durch den Abbau von Kupfererz sowie andererseits aus Sekundärrohstoffen durch das Recycling von Kupferschrott gewonnen werden. Die wichtigste Erzquelle stellt der kupferhaltige Kupferkies dar.

Österreich verfügt aktuell über keinen aktiven Kupferabbau. Allerdings bestehen hochqualitative Sekundär- und Verarbeitungskapazitäten. Die österreichische Kupferproduktion unterscheidet sich wesentlich von der Produktion aus Erzen in Kupferminen.⁵⁴ Je nach Qualität des Sekundärmaterials wird dieses im entsprechenden Prozessschritt zur Aufbereitung zugeführt. Abbildung 5-3 zeigt die einzelnen Prozessschritte in Abhängigkeit der Rohmaterialqualität.

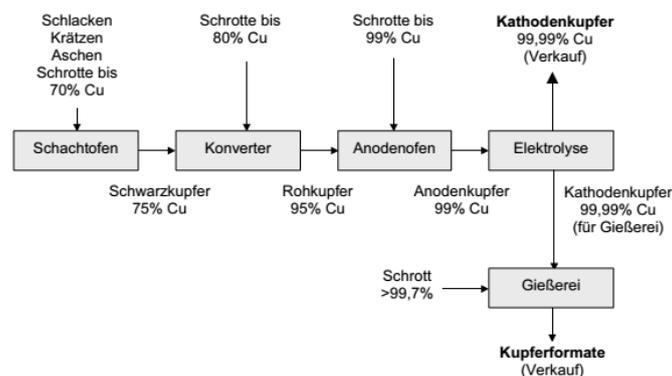


Abbildung 5-3: Aufbereitungsschritte von Kupfer in Abhängigkeit der Ausgangsmaterialqualität

Quelle: Umweltbundesamt (2004)

In den nachfolgenden Kapiteln wird auf die Eigenschaften der Kupferproduktion und deren Eignung für Lastverschiebung eingegangen.

⁵⁴ Die Produktion und Verarbeitung in Kupfer basiert zu 100 % auf der Verwendung von Sekundärmaterialien. Aufgrund dieser Tatsache wird auf eine Untersuchung der Prozessschritte bei der Produktion aus Primärmaterialien (Erzen) verzichtet. Die energieintensiven Prozessschritte welche bei der Aufbereitung der Sekundärmaterialien stehen daher im Fokus dieser Analyse, wobei die Potenziale geringer ausfallen als dies bei der Primärproduktion der Fall wäre.

5.4.1 Kupfererzeugung INTERNATIONAL

Weltweit werden jährlich etwa 16 Mio. t Kupfer aus Erz gewonnen. Die wichtigsten Länder in denen Kupfererz gefördert wird, sind Chile, Peru, USA, Indonesien, China und Australien. Tabelle 5-6 zeigt die weltweite Kupferproduktion und Nachfrage im Jahr 2010.

Tabelle 5-6: Kennzahlen der globalen Kupferproduktion (Basisjahr 2010)

Minenproduktion [in Mio. t]	Kupferproduktion raffiniert [in Mio. t]	Kupfernachfrage [in Mio. t]
16,1	18,9	19,4

Quelle: ICSG – International Copper Study Group (2013)

Die weltweite Nachfrage lag bei fast 20 Mio. t. Im Jahr 2010 wurden darüber hinaus rund 1,8 Mio. t Halbzeug (inkl. Leitmaterial) und Metallguss produziert (Kupferinstitut, 2010).

Die Herstellung von Kupfer hat auch in Europa hohen Stellenwert. Die Produktion von raffiniertem Kupfer in Deutschland betrug 2013 rund 711.000 t. Dieser Produktionszweig erwirtschaftet im benachbarten Deutschland einen Umsatz von 13,8 Mrd. € (Wirtschaftsvereinigung Metalle, 2013). Aufgrund dieser energie- wie volkswirtschaftlichen Bedeutung wurde das Lastverschiebungspotenzial der Kupferproduktion für Deutschland eingehend analysiert. Die verschiebbare elektrische Energiemenge für die Kupferproduktion wurde mit bis zu 31 GWh angegeben (siehe Popp und Klobasa, 2013). Dies ist bedeutsam und wird nachfolgend für Österreich analysiert.

5.4.2 Kupfererzeugung in Österreich

Mit einer Kupferproduktion von rund 113.500 t im Jahr 2012 hergestellt aus 100 % recycelten Kupferschrott ist die Kupferhütte Montanwerke Brixlegg (Montanwerke Brixlegg, 2014) der einzige Erzeuger von Kupfer in Österreich. Die Potenzialerhebung gestaltet sich für die Kupferproduktion schwierig. Bedingt durch eine große Verarbeitungsstätte ist auf die ökonomischen Charakteristika und Auslastung der Produktion höchsten Wert zu legen. Für den Bereich der Kupferherstellung besteht darüber hinaus eine sehr hohe Auslastung des österreichischen Hauptwerkes (Brixlegg) von rund 95 % (Oberhofer, 2013). Diese hohe Auslastung impliziert, dass sämtliche Potenziale nahezu ausschließlich mittels reduzierter Produktion zu heben sind. Gemeinsam mit der hohen sektorspezifischen Wertschöpfungstätigkeit ist das verfügbare Potenzial für Lastverschiebung deutlich reduziert.

Eine monetäre Bewertung der potentiellen Höhe eines Produktionsausfalls wird auf Basis der in Tabelle 5-7 dargestellten Eckdaten der österreichischen Produktion von Kupfer vorgenommen. Unter Verwendung der in der Tabelle gezeigten Produktionsdaten sowie der dem durchschnittlichen Kupferpreis ergeben sich (prohibitiv hohe) Opportunitätskosten von rund 5.800 €/MWh.

Tabelle 5-7: Struktur der Kupferproduktion in Österreich und Opportunitätskosten in der Kupferproduktion

Input	Wert	Quelle
Kupferproduktion 2012	113.578 t/a	Nachhaltigkeitsbericht Montanwerk Brixlegg 2012
Gesamter Einsatz Elektrischer Energie	80,8 GWh/a	Nachhaltigkeitsbericht Montanwerk Brixlegg 2012
Durchschnittliche Leistung	4,5 MW**	Eigene Berechnung
Opportunitätskosten	Bis 5.780€/MWh ⁵⁵	Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz (2013)

*unter der Annahme eines spezifischen Stromverbrauchs von 350 kWh/t (Quelle: Oberndorfer); **bei äußerst konservativer Annahme durchlaufender Produktion (kein Chargenbetrieb, daher 8760 Jahresproduktionsstunden); Kupfer wird an der London Metal Exchange gehandelt, der Preis für eine Tonne Kupfer bewegte sich in den Jahren 2012 und 2013 zwischen rund 7.000-8.500 US\$ und betrug im Jahr 2013 im Durchschnitt 7.300 US\$ (Quelle: westmetall.com). Die Umrechnung erfolgt hier bei einem angenommenen Wechselkurs von 1,35 €/US\$. *** nicht berücksichtigt ist hierbei, dass bei einer Nichtproduktion auch keine (teuren) Rohstoffe eingesetzt werden müssten.

5.5 Zusammenfassung der Lastverschiebungspotenziale und –kosten der Nichteisen-Metalle in Österreich

Eine lineare Umlegung der Lastverschiebungscharakteristika, die für den wichtigen Leitmarkt der deutschen Aluminiumproduktion berechnet wurden, (siehe Popp, 2013) ist für Österreich bedingt durch die Unterschiede der Produktionsstruktur nicht möglich. Nachfolgend wird auf die wichtigsten Parameter zur Berechnung der Lastverschiebungspotenziale und –kosten eingegangen.

5.5.1 Lastverschiebungspotenziale bei Nichteisen-Metallen

Das gesamte sektorspezifische Lastverschiebungspotenzial wird in diesem Arbeitspapier mit 28 MW angenommen. Diese Abschätzung der Lastverschiebungspotenziale der beiden Hauptproduktionsketten von Nichteisen-Metallen in Österreich erfordert eine Einordnung in bestehende Literaturdaten. Das Lastverschiebungspotenzial für den gesamten Bereich der Nichteisen-Metalle in Österreich wird von Hütter et al. (2013) mit 14 MW angegeben. Die Aluminiumproduktion ist aufgrund der höheren Wertschöpfungsrelevanz der volkswirtschaftlich bedeutendere Sektor, jedoch gilt es sämtliche Möglichkeiten auszuloten, um einfach erreichbare Lastverschiebungspotenziale sowohl in der Kupfer-, als auch in der Aluminiumproduktion heben zu können. Gutschl und Stigler (2008) analysieren Möglichkeiten für Lastverschiebung im Bereich der Nichteisen-Metalle. 2005 betrug der Branchenstromverbrauch demnach 767.069 MWh im Nichteisen-Metall Sektor, wovon rund 26 MW als Potenzial für Lastverschiebung gesehen werden können.

Tabelle 5-8 stellt das in diesem Arbeitspapier erhobene Lastverschiebungspotenzial der Nichteisen-Metalle gemeinsam mit verschiedenen Literaturquellen dar.⁵⁶

⁵⁵ Wird auf Opportunitätskostenansatz zurückgegriffen, kann der Wert der Produktion abgeschätzt und somit eine Obergrenze der Lastverschiebungskosten (Ausfall der Gesamtproduktion) evaluiert werden. Dieser *worst case* (einem Ausfall sämtlicher Produktionsmöglichkeiten) weist für diesen Sektor einen Wert von 5,78 €/kWh zu.

Tabelle 5-8: Zusammenfassung der Lastverschiebungspotenziale der Nichteisen-Metalle

Standort/Produktion	Gesamtnachfrage nach elektrischer Energie (MWh)	Energieverschiebungspotenzial [in MWh]	Lastverschiebungspotenzial [in MW]	Quelle
Nichteisen-Metalle	767.069 (2005)	-	26	Gesamte Nichteisen-Metallbranche aus Gutschki und Stigler (2008)
Nichteisen-Metalle	978.839 (2012) Statistik Austria (2012)	-	33 (Aktuell anzusetzender Wert)	Fortschreibung der Werte aus Gutschki und Stigler (2008) mit aktuellen Verbrauchsdaten (2012)
Kupfer	-	-	11	Eigene Schätzung auf Basis von Gutschki und Stigler (2008) ⁵⁷
Nichteisen-Metalle	-	-	14	Hütter et al. (2013)
Nichteisen-Metalle	-	2.000	-	Hinterberger und Polak (2011)
Aluminiumproduktion ⁵⁸	-	-	34,1	Gutschki und Stigler (2008)
Kupfer	-	7.200 ⁵⁹	-	Eigene Abschätzung auf Basis von Popp und Klobasa (2013)
Nichteisen-Metallindustrie	-	-	4,5 ⁶⁰	Oberhofer (2013)
Eigene Abschätzung /GESAMTSEKTOR	-	-	~28	

Quelle: Literaturwerte und eigene Abschätzung

Im Vergleich zur Studie von Gutschki und Stigler (2008) wurde im Jahr 2012 rund ein Viertel mehr Strom nachgefragt.

⁵⁶ Der Großteil des Gesamtpotenzials ist im Bereich der Aluminiumproduktion verfügbar. Für Kupfer wird das Verlagerungspotenzial in Deutschland bei der Kupfer- und Zinkelektrolyse von Popp und Klobasa (2013) auf 5 GWh bei einer Spitzenlast von 31 MW angegeben.

Für den österreichischen Standort welcher bei einer Jahresproduktion von 113.500 t Kupfer ca. 16 % der deutschen Menge mit 711.000 t aufweist bedeutet dies ein Verlagerungspotenzial von 800 MWh bei einer Spitzenlast von jedenfalls kleiner 5 MW.

⁵⁷ Es wird angenommen, dass rund 40 % der gesamten Wertschöpfung im Bereich Nichteisen-Metalle mit Kupfer und dessen Legierungen erwirtschaftet wird. Die Berechnung des Lastverschiebungspotenzials erfolgt unter Berücksichtigung der Kupferproduktion und Zuweisung dieses Wertes.

⁵⁸ Aggregat aus Aluminiumverarbeitung, Guss- und Walzwerken.

⁵⁹ Diese beziffern Popp und Klobasa (2013) mit 31 GWh. In Anbetracht der sehr ähnlichen Charakteristika in Hinblick auf die Elektrostahlerzeugung, deren Wertschöpfungszusammensetzung, Prozesstechnik und der etwa 4,2 fachen Größe (gemessen am Umsatz) von Deutschland im Vergleich zu Österreich wird von einem Verlagerungspotenzial von etwa 7,2 GWh für Österreich ausgegangen.

⁶⁰ Dies sind typische Leistungs- bzw. Energienachfrage der Nichteisen-Metallindustrie bei einer durchschnittlichen Produktion von rund 12,9 t je Stunde (Oberhofer, 2013).

5.5.2 Möglicher Zeitraum für Lastverschiebung

Tabelle 5-9 stellt den Zeitraum, welcher für Lastverschiebung geeignet ist dar. Dies basiert auf verschiedenen Expertengesprächen sowie einer qualitativen Analyse und Synopsis bestehender Literaturquellen und dient der konservativen Abschätzung des (zeitabhängigen) Lastverschiebungspotenzials.

Tabelle 5-9: Relatives Verschiebepotenzial, Eignung für Lastverschiebung in Prozent des typischen sektoralen Leistungsbedarfs (Verschiebepotenzial relativ von 0-100 %)

Sektor	0-5 min	6-15 min	16-59 min	1 h-3 h 59 min	4 h-11 h 59 min	12 h-23 h 59 min
Nichteisen-Metalle	0%	15%	25%	25%	0%	0%

Quelle: Eigene Abschätzung

Für Aluminium wird eine zeitliche Verlagerung des Elektrolyseprozesses in einem Zeitraum von 6 min bis 4 h in der Literatur angeführt. Das nutzbare Lastverschiebungspotenzial beläuft sich in diesem Zeitraum dabei auf 25 % (Popp und Klobasa, 2013).

Für Kupfer ist die Ausgangslage der Lastverschiebungspotenziale heterogener. Die gesamte Kapazität des Werkes in Brixlegg wird mit 118.000 t/a angegeben (Montanwerke Brixlegg, 2014). Diese grundsätzlich hohe Auslastung ist bei der Beurteilung des tatsächlichen Lastverschiebungspotenzials jedenfalls ausschlaggebend. Popp und Klobasa (2013) zeigen, dass aus technischer Sicht die maximale Dauer der Lastverschiebung im Bereich von bis zu 4 Stunden liegen kann. Darüber hinaus können diese Lastverschiebungspotenziale maximal 40 Mal jährlich aktiviert werden. Der für Lastverschiebung relevante Produktionsanteil ist mit ca. 25 % begrenzt.

Sämtliche Werte sind als Obergrenze zu interpretieren, sodass über den gesamten Zeitraum ein aggregiertes Potenzial von rund 15 % vorhanden ist.

5.5.3 Lastverschiebungskosten

Für die Produktion von Nichteisen-Metallen (insbesondere von Aluminium) ist der Inputfaktor Elektrizität sowohl prozesstechnisch wie auch wirtschaftlich sehr bedeutsam. Dies wird anhand des Anteils von Strom an der Gesamtwertschöpfung von etwa 40 %⁶¹ verdeutlicht (siehe Abbildung 5-2). Die Stromintensität beträgt etwa 14 kWh Elektrizität je kg Aluminium (Hydro Aluminium, 2007). Daher ist der Einfluss von Preisänderungen der elektrischen Energie sehr bedeutend. Tabelle 5-10 stellt Szenarien zu den Auswirkungen sich verändernder Strompreise für die Produktionskosten von Primäraluminium dar.

⁶¹ Dies bezieht sich auf die energieintensive Primäraluminiumproduktion.

Tabelle 5-10: Aufbereitungsschritte in Abhängigkeit der Schrottqualität

Strompreisentwicklung	Strombezugspreis (netto) in ct/kWh	Produktionskosten Primäraluminium	Auswirkungen der Stromkosten auf Produktionskosten
+15 %	5,95	1.895 €	106,1 %
+10 %	5,69	1.859 €	104,1 %
+5 %	5,43	1.823 €	102,0 %
0	5,17	1.787 €	100 %
-5 %	4,91	1.751 €	98,0 %
-10 %	4,66	1.714 €	95,9 %
-15 %	4,4	1.678 €	93,9 %

Quelle: Institut für ZukunftsEnergieSysteme (2011)

Die Auswirkung erhöhter Strompreise sowie der Nichtverfügbarkeit elektrischer Energie sind für die Aluminiumproduktion signifikant, was wiederum auf die hohen Kosten für Lastverschiebungsansätze schließen lässt. Tabelle 5-11 stellt die Lastverschiebungskosten der österreichischen Nichteisen-Metallindustrie im Aggregat dar.

Tabelle 5-11: Lastverschiebungskosten der Nichteisen-Metalle in Österreich

Lastverschiebungskosten [in €/MWh]	Quelle
3.000	Hinterberger und Polak (2011)
5.780	Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz (2013) blackout-simulator.com , Obergrenze, Verwendung eines Opportunitätskostenansatzes
2.670	Arithmetisches Mittel zweier Aluminiumgusswerke in Gutschi und Stigler (2008)
2.330	Aluminiumwalzwerk Gutschi und Stigler (2008)
19.109	Oberhofer (2013)
~2.850	Eigene Abschätzung/Gesamtsektor

Quelle: Literaturwerte und eigene Abschätzung

Hinterberger und Polak (2011) geben für das 15-min Potenzial spezifische Verschiebungskosten des Sektors der Nichteisen-Metalle in Höhe von etwa 3.000 €/MWh an. Unter Verwendung des gesamten österreichischen Verlagerungspotenzials von 7,2 GWh würde dies Verschiebungskosten in der Höhe von 21,6 Mio. € p.a. entsprechen.

Dies wird auch bei Betrachtung der Schadenskosten im Falle von Stromausfällen verdeutlicht. Unter Annahme des schlechtesten Zeitpunkts zur Berechnung des Kostenmaximums würde „The value of lost load“ für einen vierstündigen Stromausfall in ganz Österreich um 12:00 Uhr etwa 5.780 €/MWh betragen. Dieser Wert ergibt sich unter Verwendung des Tools blackout-simulator.com (Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz, 2013).

Factbox Lastverschiebung in der Nichteisen-Metallindustrie in Österreich

In Anbetracht der Heterogenität dieses Sektors und der Branchenstruktur wird von einem Lastverschiebungspotenzial von 28 MW ausgegangen. Es wird ein gesamtstaatliches Verschiebepotenzial von 800 bis 7.200 MWh p.a. identifiziert. Je nach Ausgestaltung des Anreizsystems steht dieses Potenzial zu Kosten von rund 2.850 €/je MWh zur Verfügung.

6 Metallerzeugung und –bearbeitung

Michael Schmidthaler

Lastverschiebungsansätze im Wirtschaftsbereich der „Metallerzeugung und –bearbeitung“ weisen im Vergleich zu anderen Sektoren sehr heterogenere Voraussetzungen auf. Dies betrifft sowohl die Branchenstruktur, die Anzahl der Volllaststunden in den verschiedenen Produktionsbereichen, die Größe der Unternehmen, die Energieintensität der Produktion sowie andere Charakteristika.

Die Analyse der Potenziale und Kosten von Lastverschiebungsmaßnahmen dieses volks- wie auch energiewirtschaftlich wichtigen Sektors ist Gegenstand dieses Arbeitspapiers. Nicht zuletzt werden diesem Bereich – trotz teils sehr unterschiedlicher Angaben aus der Literatur – Lastverschiebungspotenziale bei vergleichsweise geringen Kosten beschieden.⁶² In diesem Arbeitspapier werden verschiedene (oft nomenklaturübergreifende) Prozesse und Anwendungen im Sektor „Metallerzeugung und -bearbeitung“ zusammengefasst und hinsichtlich ihrer Eignung für Lastverschiebung analysiert. Des Weiteren werden anhand von Fallbeispielen der wichtigen Subsektoren *Gießereien* sowie *Oberflächenveredelung und Wärmebehandlung* die Charakteristika und Problemstellungen von Lastverschiebungsmaßnahmen dargestellt.

6.1 Überblick

Metallverarbeitenden Unternehmen in Österreich werden in der Wirtschaftsnomenklatur ÖNACE 2008 in Abschnitt C, Abteilung 24 zusammengefasst. Es handelt sich hierbei um ein Aggregat aus verschiedenen Subsektoren⁶³. Tabelle 6-1 sowie Tabelle 6-2 fassen die enthaltenen Gruppen des Abschnitts der Metallerzeugung und -bearbeitung zusammen.

Tabelle 6-1: Gruppen der Abteilung 24 Abschnitt C: Metallerzeugung und -bearbeitung

ÖNACE 2008	Sektor Bezeichnung
C 24.1	Erzeugung von Roheisen, Stahl und Ferrolegierungen
C 24.2	Herstellung von Stahlrohren, Rohrform-, Rohrverschluss- und Rohrverbindungsstücken aus Stahl
C 24.3	Sonstige erste Bearbeitung von Eisen und Stahl
C 24.4	Erzeugung und erste Bearbeitung von Nichteisen-Metallen
C 24.5	Gießereien

Quelle: Statistik Austria (2008)

⁶² Metallerzeugung und -bearbeitung ist neben der Stahlerzeugung, die in diesem Arbeitspapier in einem eigenständigen Kapitels behandelt wird, als zweiter wichtiger Wirtschaftsbereich in der Eisen- und Stahlindustrie zu nennen und bedeutsam für die Analyse der Lastverschiebungseignung.

⁶³ Abschnitte und Abteilungen in der ÖNACE Nomenklatur ersetzen die ehemalige 4-steller Ebene in der nun europaweit einheitlich verwendeten NACE-Nomenklatur.

Tabelle 6-2: Übersicht des Sektors in ÖNACE der Abteilung 25 Abschnitt C: Herstellung von Metallerzeugnissen

ÖNACE 2008	Sektor Bezeichnung
C 25.1	Stahl- u. Leichtmetallbau
C 25.2	Herstellung von Metalltanks u. Heizkörpern
C 25.3	Herstellung von Dampfkesseln
C 25.4	Herstellung von Waffen u. Munition
C 25.5	Herstellung von Schmiede- u. Stanzteilen
C 25.61	Oberflächenveredlung und Wärmebehandlung
C 25.7	Herstellung von Schneidwaren u. Werkzeugen
C 25.9	Herstellung von sonstigen Metallwaren

Quelle: Statistik Austria (2008)

Die Unternehmen dieser Sektoren sind neben der energiewirtschaftlichen Bedeutung (hohe nachgefragten Menge elektrischer Energie) vor allem aufgrund ihrer Prozessstruktur für Lastverschiebung zu analysieren. In einer aktuellen Studie von Agora Energiewende (2013) wurde im Rahmen einer Onlinebefragung die Eigeneinschätzung für Lastmanagementansätze von Unternehmen abgefragt. Die selbstgenannten Potenziale wurden mit 10 bis 20 % der nachgefragten Last angegeben, wobei hauptsächlich Warmhalte- sowie Schmelzöfen für Lastmanagement genutzt werden könnten.⁶⁴ Nachfolgend wird auf Energie- und Branchenstruktur dieses Wirtschaftsbereichs eingegangen.

6.1.1 Energieverbrauch und Branchenstruktur

Unternehmen der Metallerzeugung und –bearbeitung haben eine hohe energiewirtschaftliche Bedeutung. Wie in Tabelle 6-3 dargestellt, weist der Gesamtsektor einen Jahresbedarf an elektrischer Energie von etwa 4,8 TWh auf. Die hier analysierten Unternehmen im Sektor „Gießereien“ benötigen jährlich rund 441 GWh an elektrischer Energie

Tabelle 6-3: Nachfrage nach elektrischer Energie von Unternehmen im Sektor Metallerzeugung- und bearbeitung sowie von Gießereien in Österreich (Basisjahr 2010)

Intermediärverbrauch	ÖNACE 2008	in MWh
Metallerzeugung und -bearbeitung	C 24	4.748.964
davon Gießereien	C 24.5	441.595

Quelle: Statistik Austria (2014)

Ersichtlich ist darüber hinaus ein Anteil der Gießereien von etwa zehn Prozent. Auch die historische Entwicklung des sektoralen Bedarfs nimmt zu. Der Bezug elektrischer Energie ist in Tabelle 6-1 dargestellt.

⁶⁴ Die Studie befindet weiters, dass. „Die Auswertung des Onlinefragebogens zur Metallindustrie zeigt, dass hier ein sehr interessanter Bereich für ein zusätzliches Lastmanagement zur Verfügung steht. Aufgrund der geringen Anzahl an antwortenden Unternehmen konnte hieraus keine Hochrechnung auf Baden-Württemberg und Bayern vorgenommen werden, allerdings weisen die Angaben der Unternehmen darauf hin, dass hier weitere Potenziale im mindestens zweistelligen MW-Bereich zur Verfügung stehen.“

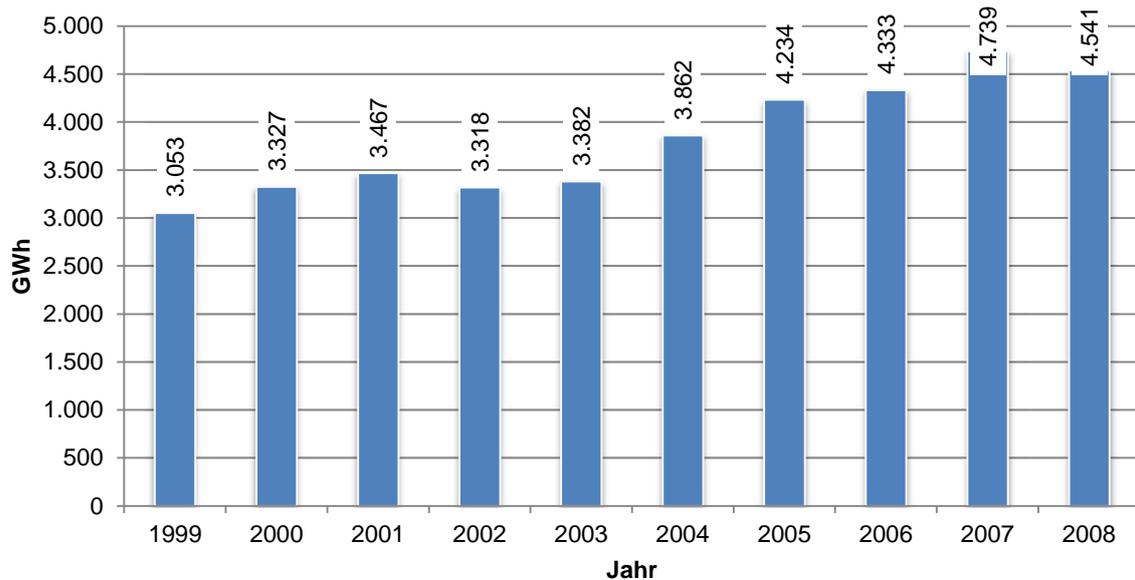


Abbildung 6-1: Entwicklung des Endverbrauchs mit elektrischer Energie des Sektors "Metallerzeugung und –bearbeitung“ in GWh

Quelle: Statistik Austria (2010)

Die Zunahmen des elektrischen Endenergieverbrauchs spiegeln einerseits eine allgemeine Zunahme der Produktion und damit einhergehend des Energiebedarfs wider. Andererseits deutet diese Trendentwicklung vor allem bei Berücksichtigung des Gesamtenergiebedarfs auf eine Verlagerung in Richtung elektrischer Anwendungen hin.

Der Gesamtstromverbrauch des Sektors *Herstellung von Metallerzeugnissen* sowie der hier analysierte Bereich der Oberflächenveredelung werden in Tabelle 6-4 dargestellt.

Tabelle 6-4: Nachfrage nach elektrischer Energie von Unternehmen im Sektor Herstellung von Metallerzeugnissen sowie Oberflächenveredelung und Wärmebehandlung in Österreich (Basisjahr 2010)

Intermediärverbrauch	ÖNACE 2008	in MWh
Herstellung von Metallerzeugnissen	C 25	1.327.247
davon Mechanik	Oberflächenveredelung, C25.6	395.858

Quelle: Statistik Austria (2014)

Unternehmen dieses Sektors sind in ÖNACE Gruppe C25.6. zusammengefasst und weisen einen Gesamtstrombedarfs von rund 400 GWh p.a. (oder rund 30 % des Gesamtsektors) auf. Im Aggregat weisen die beiden analysierten Sektoren demnach einen Jahresstromverbrauch von 837.453 MWh auf. Dies entspricht für sich rund 1,3 % der Gesamtstromnachfrage in Österreich.

6.1.2 Wertschöpfung und Beschäftigung im Sektor Metallerzeugung und -bearbeitung

Darüber hinaus ist die Bedeutung der analysierten Sektoren für die österreichische Volkswirtschaft hoch. Wie in Tabelle 6-5 dargestellt, weisen die relevanten Bereiche (C 24.5 sowie C 25.6) eine Gesamtproduktion von rund 2,6 Mrd. € bei einem Gütereinsatz von 1,5 Mrd. € auf. Dies ist ein Indiz für eine besonders hohe Wertschöpfung in diesen Wirtschaftsbereichen. Diese hohe Wertschöpfungsintensität schränkt jedoch die Potenziale für in Hinblick auf Lastverschiebungseignung deutlich ein. Die Gesamtstromintensität beträgt 317 kWh/1.000 € Bruttoproduktion.

Tabelle 6-5: Volkswirtschaftliche Bedeutung des Sektors Metallerzeugung und -bearbeitung in Österreich

ÖNACE-Gruppen	# Betriebe in der Konjunkturstatistik	# Betriebe in der Gütereinsatzstatistik	Gesamtproduktion in 1.000 Euro	Gütereinsatz ¹⁾ in 1.000 Euro	Energieeinsatz in 1.000 Euro
Gießereien (C24.5)	33	23	1.146.268	376.282	53.502
Oberflächenveredlung (25.6)	284	25	1.489.966	1.104.604	20.285
SUMME	317	48	2.636.234	1.480.886	73.787

Quelle: Statistik Austria (2012)

Apel et al. (2012) sowie Gutschi und Stigler (2008) weisen darüber hinaus einen spezifischen Stromverbrauch speziell für die Gießereiindustrie von bis zu 1.112 kWh/1.000 € Bruttowertschöpfung aus.⁶⁵

Diese hohen Stromnachfrage je € erwirtschafteter Wertschöpfung ist als Indiz für das vorhandene Lastverschiebungspotenzial zu interpretieren. In den folgenden Kapiteln wird speziell auf die analysierten Subsektoren eingegangen.

6.2 Gießereien

Gießereien repräsentieren einen wichtigen Teil der Metallindustrie. Es werden Eisen- und Nichteisen-Metalle sowie Legierungen geschmolzen um diese in Gießformen zur endgültigen Form erstarren zu lassen. Der spätere Einsatzzweck und die Anforderungen an das Gussteil, meist in Form von Halbzeug, bestimmen dabei über die Metallzusammensetzung, Gussform, Einsatzmenge, Seriengröße, Gusstemperatur und über weitere Schritte der Nachbearbeitung, welche oft extern erfolgt. Die Standorte der Gießereien befinden sich daher oftmals in der Nähe von weiterverarbeitenden Betrieben.

Je nach eingesetztem Metall gliedert sich der Wirtschaftszweig im Wesentlichen in Eisen- und Nichteisen-Gießereien. Typische Hauptabnehmer solcher Guss-Erzeugnisse sind die Automobilindustrie (Anteil von rund 50 %), der allgemeine Maschinenbau (30 %) und das Baugewerbe (10 %) (Umweltbundesamt, 2004).

⁶⁵ Dies ist eine Darstellung der Energieintensität eines Sektors und gibt neben der absoluten Produktionsmenge Aufschluss über die Wertschöpfung eines Sektors.

6.2.1 Überblick

Das Gießen zählt als eines der ältesten Formgebungsverfahren und dient der Herstellung von Metallprodukten in verschiedenster Gestalt und Form. Bei Gussanwendungen wird zwischen verschiedenen Verfahrensschritten unterschieden. Diese gliedern sich gemäß Svehla et al. (2012) in:

- Formenherstellung
- Schmelzbehandlung und Gießen
- Ausschlagen und Nachbearbeitung
- Sandaufbereitung

Der Fokus dieses Arbeitspapiers liegt auf Leichtmetallguss- (diese sind in der ÖNACE Klassifikation C24.53 inkludiert) und Eisengussverfahren (C24.51). Dies ergibt sich aufgrund der großen Anzahl der Unternehmen in diesem Bereich sowie der hohen Elektrizitätsverbräuche dieser beiden Hauptwirtschaftszweige des ÖNACE Gießereisektors C.24.5. In Hinblick auf Lastverschiebung stellen Klobasa et al. (2011) fest, dass die Gießereibranche grundsätzlich für Lastverschiebung geeignet ist. Es bedarf jedoch spezieller Anreizstrukturen, um die logistischen und prozesstechnischen Herausforderungen dieses Wirtschaftsbereichs für den Fall einer unterbrechbaren Produktionskette meistern zu können. Tabelle 6-6 stellt verschiedene Anwendungen, Öfen und Charakteristika von Gussprozessen dar.

Tabelle 6-6: Metalle und ihre Schmelzaggregate zur Verflüssigung

Verwendetes Material	Induktions-ofen	Elektrolicht-bogenofen	Kuppel-ofen	Dreh-trommel ofen	Schacht-schmelzofen	Tiegel-ofen	Wannen-schmelz ofen
Gusseisen	x	x	x				
Stahl		x					
Aluminium	x				x	x	x
Magnesium						x	
Kupfer-legierungen				x		x	
Blei						x	

Quelle: Svehla et al. (2012)

Die Möglichkeiten der Lastverschiebung sind insbesondere deswegen von Relevanz, da die aufgrund der Größenordnungen typischerweise eingesetzten Induktions-, Lichtbogen- und Widerstandsöfen Anschlussleistungen bis zu Größenordnungen von mehreren MW aufweisen können.

6.2.2 Gießereien INTERNATIONAL

China ist im internationalen Vergleich mit einer Gussmenge von über 40 Mio. t pro Jahr der mit Abstand größte Produzent gefolgt von den USA und Indien. An vierter Stelle reiht sich Deutschland als größter europäischer Produzent ein. Abbildung 6-2 zeigt die Produktion von Guss nach Ländern weltweit im Jahr 2011.

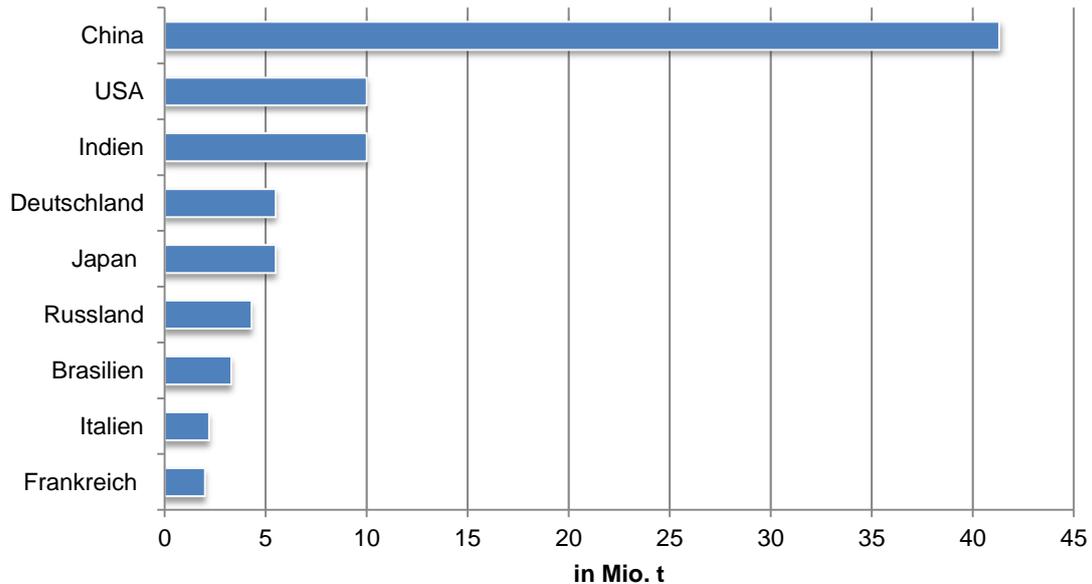


Abbildung 6-2: Produktion von Guss nach Ländern weltweit in Mio. t (Basisjahr 2011)

Quelle: Statista (2011)

Mit einem Jahresproduktionsvolumen von 5,5 Mio. t Guss (Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie, 2011) befindet sich Deutschland auf Platz 4 der Weltrangliste. Der für diese Produktion eingesetzte Strombedarf beläuft sich auf 4,3 TWh. Die spezifische Menge elektrischer Energie je t Gussproduktion beträgt in Deutschland 781 kWh/t Gussproduktion. Die ausschließlich mengenbezogene Betrachtung ist insbesondere in Hinblick auf die volkswirtschaftliche Bedeutung der österreichischen Gießereien nicht zielführend. Nachfolgend wird daher die besonders hohe Spezialisierung und Wertschöpfungsrelevanz der österreichischen Gießereiunternehmen dargestellt und die Eignung des Sektors für Lastverschiebung analysiert.

6.2.3 Gießereien in Österreich

Österreich beheimatet im internationalen Vergleich sehr spezialisierte Gießereibetriebe mit einer sehr wertschöpfungsorientierten Produktion. Für Lastverschiebungsansätze bedeutet dies, dass die teilweise sehr hochwertigen (und komplexen) Gießereiprodukte und -prozesse nur bedingt für verbraucherseitige Lastverschiebungsmaßnahmen geeignet sind. Tabelle 6-7 zeigt den für Gießereien relevanten Auszug aus der Gütereinsatzstatistik 2011.⁶⁶

Tabelle 6-7: Auszug der Gießereien aus der Gütereinsatzstatistik (Basisjahr 2011)

ÖNACE-Gruppen (3-Steller)	Zahl der meldenden Betriebe	Wirtschaftliche Gesamtproduktion in 1.000 Euro	Gütereinsatz 1) in 1.000 Euro	Gütereinsatz in % 2)	Energieeinsatz in 1.000 Euro	Energieeinsatz in % 3)
Gießereien (C24.5)	22	1.142.668	373.825	32,7	51.956	4,5

Quelle: Statistik Austria (2012)

⁶⁶ Ein Blick auf die Gütereinsatzstatistik spiegelt die Branchenstruktur der österreichischen Gießereien sowie die Spezialisierung wider. In Österreich sind es größtenteils kleine und mittlere Unternehmen, die Produkte des Eisen- und Leichtmetallgusses herstellen.

Österreichweit waren 2011 etwa 7.023 Arbeitnehmer in 46 Gießereien beschäftigt (WKO, 2011). Die mengenmäßige Produktion der Metallgießereien ist etwas geringer als die der Eisengießereien, mit 150.899 t gegenüber 173.012 t p.a. im Bereich des Eisengusses.

In Hinblick auf den Umsatz dieser Unternehmen ist das Verhältnis umgekehrt mit etwa 911 Mio. € im Bereich der Aluminium- und Magnesiumgießereien (inkl. Zink-Druckguss und Schwermetallguss) beziehungsweise von 444 Mio. € bei den Unternehmen, die Grauguss, Gusseisen und Stahlguss herstellen (WKO, 2011). Tabelle 6-8 gibt einen Überblick der österreichischen Produktion in den Gießereien (WKO, 2011/2012).

Tabelle 6-8: Produktion von Eisenguss, Schwer- und Leichtmetallguss in Österreich (Basisjahr 2011/2012)

Eisenguss	2011 [in Tonnen]	2012 [in Tonnen]	Veränderung in %
Grauguss	40.583	39.700	-2,2
Duktiles Gusseisen (inkl. Temperguss)	113.854	104.527	-8,2
Stahlguss	18.575	17.258	-7,1
Eisenguss gesamt	173.012	161.485	-6,7
Zink-Druckguss und Schwermetallguss	2011 [in Tonnen]	2012 [in Tonnen]	Veränderung in %
Zink-Druckguss und Schwermetallguss	15.524	15.441	-0,5
Leichtmetallguss	2011 [in Tonnen]	2012 [in Tonnen]	Veränderung in %
davon Al-Druckguss	58.588	58.293	-0,5
davon Al-Kokillenguss	69.652	64.566	-7,3
davon Al-Sandguss	1.198	1.006	-16
davon Mg-Guss	5.937	5.687	-4,2
Leichtmetallguss gesamt	135.375	129.552	-4,3
Gesamte Gussproduktion	2011 [in Tonnen]	2012 [in Tonnen]	Veränderung in %
Gesamte Gussproduktion	323.911	306.478	-5,4

Quelle: WKO (2011/2012)

Die gesamten produzierten Mengen an Gussprodukten (in Leichtmetall- und Eisengussproduktionsbetrieben) erreichten im Jahr 2012 323.911 t, was einer Reduktion um -5,4 % im Vergleich zum Vorjahr entspricht.⁶⁷

In der nachfolgenden Tabelle 6-9 sind die wichtigsten Gießereien in Österreich aufgelistet. Eine Beschreibung der Beschäftigten und Produktionscharakteristika dient dem besseren Verständnis der österreichischen Gussproduktion.

⁶⁷ Dies entspricht etwa 5,9 % der Produktion in Deutschland.

Tabelle 6-9: Übersicht der Gießereien in Österreich

Unternehmen	Beschreibung
Austria Druckguss GmbH & Co KG	Beschäftigte: 260 (2010) Verarbeitete Produktmenge: 4000 t/a Produktionskapazität: 8.000 t/a Umsatz: 32 Mio. Euro Standort: Gleisdorf, Steiermark
Gruber & Kaja High Tech Metals GmbH	Beschäftigte: 349 (2013) Produktionskapazität: 8.500t /a Energiebedarf: 804,3 kW- Anschlussleistung Umsatz: 51 Mio. Euro Standort: St. Marien, Oberösterreich
Nemak Linz GmbH	Beschäftigte: 450 Verarbeitete Produktmenge: 1,3 Mio. Zylinderköpfe (2011) Standort: Linz, Oberösterreich
Georg Fischer GmbH & Co KG	Beschäftigte: 510 Produktionskapazität: 11.700 t/a (2011) Umsatz: k.A Standort: Altenmarkt, Salzburg
Borbet Austria GmbH	Beschäftigte: 750 Produktionskapazität: 47.690 t/a (2011) Umsatz: 165 Mio. Euro (Schätzung) Standort: Braunau-Ranshofen, Oberösterreich
Banner GmbH	Beschäftigte: 480 Verarbeitete Produktmenge: 4.000.000 Starterbatterien Umsatz: 225 Mio. Euro (2010) Standort: Leonding, Oberösterreich
Eisenwerk Sulzau-Werfen R. & E. Weinberger AG	Beschäftigte: 260 (2011) Produktionskapazität: 24.000 t/a Umsatz: 79 Mio. Euro Standort: Tenneck, Salzburg
Duktus Tiroler Rohrsysteme GmbH	Beschäftigte: 200 Verarbeitete Produktmenge: 30.000 t/a Umsatz: 60 Mio. Euro Standort: Hall in Tirol, Tirol
Wagner Schmelztechnik GmbH & Co KG	Beschäftigte: 120 Verarbeitete Produktmenge: 6.000 t/a Grau bzw. Spähguss Umsatz: 10,10 Mio. Euro (Schätzung) Standort: Enns, Oberösterreich
SLR Gusswerk II Betriebsgesellschaft mbH	Beschäftigte: 240 (2012) Produktionskapazität: 30.000 t/a Umsatz: 60 Mio. Euro Standort: Steyr, Oberösterreich
voestalpine Gießerei Linz GmbH	Beschäftigte: 400 Verarbeitete Produktmenge: 10.000 t/a (2010) Umsatz: 99,89 Mio. Euro (Schätzung) Standort: Linz, Oberösterreich
Johann Nemetz & Co GmbH	Beschäftigte: 100 Verarbeitete Produktmenge: 3.000 t/a Umsatz: 16,7 Mio. Euro (Schätzung) Standort: Wr. Neustadt, Niederösterreich
Georg Fischer Fittings GmbH	Beschäftigte: 460 Produktionskapazität: 14.600 t/a (2008) Umsatz: k.A. Standort: Traisen, Niederösterreich
Dipl.Ing. Ernst Ehrlich & Co	Beschäftigte: 460 (gesamter Betrieb Inkl. Gießerei) Verarbeitete Produktmenge: 4-12 t/a Umsatz: 53,54 Mio. Euro (Schätzung) Standort: Wien, Wien
Grassmayr Glockengießerei GmbH	Beschäftigte: 40 (2011) Verarbeitete Produktmenge: 80-100 t/a Umsatz: 3,1 Mio. Euro Standort: Innsbruck, Tirol
Maschinenfabrik Liezen und Gießerei GesmbH	Beschäftigte: 800 Verarbeitete Produktmenge: 7.000 t/a (2009) Umsatz: 114 Mio. Euro Standort: Liezen, Steiermark

Quellen: Umweltbundesamt (2014), Gruber & Kaja High Tech Metals GmbH (2013), SLR Steyr (2012), Georg Fischer Fittings GmbH (2014), FirmenABC Marketing GmbH (2014)

Es zeigt sich, dass im Gegensatz zu anderen Sektoren (bspw. den Nichteisen-Metallen) keine nennenswerten Konzentrationen an einigen wenigen Standorten auftreten. Ein etwaiges Anreizmodell zur Lastverschiebung muss daher insbesondere im Sektor Gießereien dem Umstand vieler heterogener Einheiten Rechnung tragen.

6.2.4 Kenndaten zur Berechnung des Lastverschiebungspotenzials für den Bereich der Gießereien

Die im Bereich Gießereien für Lastverschiebung geeigneten Anwendungen sind bei Berücksichtigung der angeführten Einschränkungen vor allem Prozesse unter Verwendung von Induktions-, Lichtbogen- und Widerstandsöfen. Diese thermischen Anwendungen und deren elektrischer Leistungsbedarf hängen vom zu schmelzenden Material ab. Energetisch sehr effizient sind in diesem Sektor eingesetzte Induktionsrinnenöfen, da vergleichsweise niedrige Verluste durch Kühlwasser, Außenverluste, Abwärme und Abgase entstehen.

Heutzutage verfügen viele Gießereiunternehmen bereits über ein integriertes betriebliches Lastmanagement, sodass meist überproportional netzbelastende Anforderungen vermieden werden können.⁶⁸ Dies stellt bereits einen ersten Lastverschiebungsansatz dar.

Behrens und Baake (2002) sowie Bosse (2014) analysieren verschiedene Energiemanagementsysteme sowie Lastverschiebungspotenziale im Gießerei-Sektor und stellen fest, dass dies aus betriebswirtschaftlicher Sicht jedenfalls anzustreben ist. Um die spezielle Ausgangslage in Österreich zu analysieren wird nachfolgend auf die energiespezifischen Charakteristika der Gießereien eingegangen.

6.2.4.1 Energiespezifische Kennzahlen und Berechnung der Lastverschiebungspotenziale

Mit 40 % bis 60 % der verbrauchten Energie (500 kWh/t bis 1.200 kWh/t in Abhängigkeit vom verwendeten Ofen und Metall⁶⁹) zählt der Schmelzvorgang zu den energieintensivsten Prozessen im Gießereibetrieb (Umweltbundesamt, 2004). Bei Aufrechterhaltung dieses kritischen Prozessschrittes ist dieser Teil des Gesamtenergiebedarfs nur bedingt in der Lage einen Beitrag zur Lastverschiebung⁷⁰ zu leisten.⁷¹ Im Vergleich mit anderen Sektoren sind darüber hinaus noch verschiedene qualitätsbedingte Kriterien von entscheidender Bedeutung, sodass Lastverschiebungsmaßnahmen nur bei speziellen Voraussetzungen und in geringem Umfang möglich sind.

Dichtl (1994) stellt die spezifische Energieintensität (Primärenergieverbrauch je Tonne Gussproduktion) der Produktion von Gusseisen in Österreich und Europa fest. Diese sind in Tabelle 6-10 sowie in Tabelle 6-11 angeführt.

⁶⁸ Auch in Hinblick auf die Energieintensität sind österreichische Gießereibetriebe weltweit im Spitzenfeld. Allerdings ist aus Sicht der Lastverschiebungseignung festzuhalten, dass hohe Auslastungen der Anlagen sowie kurze Standzeiten die Energieeffizienz der Anlagen deutlich erhöhen. Obwohl in diesem Projekt primär auf die zu verschiebenden Lasten eingegangen wird, gilt festzuhalten, dass weitere Energieeffizienzmaßnahmen möglich sind und nicht in Konkurrenz (oder Widerspruch) zu Lastverschiebungsansätzen stehen sollten.

⁶⁹ Die Technologien sind oft speziell an die Bedürfnisse angepasst, jedoch sind elektrische Anwendungen in Induktions-, Lichtbogen- und Widerstandsöfen die Bereiche, welche die größten Elektrizitätsverbräuche aufweisen.

⁷⁰ Wiederum ohne Reduktion der spezifikationsgerechten Produktionsweise.

⁷¹ Über die für die Normalproduktion notwendigen thermischen Trägheiten hinausgehende Wärmespeicher oder bedeutende Speichermedien wie dies beispielsweise bei der Vorhaltung in Silos der Falls ist, sind im Gießerei-Sektor meist nicht vorhanden

Tabelle 6-10: Spezifischer Energieverbrauch der Gießereien in Österreich

	Verbrauch in GJ/t	Verbrauch in kWh/t
Gusseisen mit Lamellengraphit	4,2–12,6	1.200-3.500
Gusseisen mit Kugelgraphit	10,8–25,2	3.000-7.000
Stahlguss	12,6–25,2	3.500-7.000

Quelle: Dichtl (1994), eigene Abschätzung

Tabelle 6-11: Spezifischer Energieverbrauch der Gießereien in Europa

	Verbrauch in GJ	Verbrauch in kWh/t
Eisengießereien	7–17	1.900-4.700
Nichteisen-Metallgießereien	16–29	4.400-8.100

Quelle Dichtl (1994)

Klobasa et al. (2011) geben an, dass die typische elektrische Anschlussleistung eines sektortypischen Induktionsofens zwischen 100 kW und mehreren MW liegt und für Lastmanagement geeignet sind. Hasse (2006) und Muras (2010) bieten eine fundierte Übersicht der Form- und Gießverfahren. In Tabelle 6-12 sind die Unterschiede in der Produktion verschiedener Metallgussprodukte angegeben. Von besonderem Interesse ist hierbei der für das Schmelzen notwendige elektrische Energiebedarf. Dieser wird in kWh je t Schmelzprodukt angegeben (Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, 2005).

Tabelle 6-12: Unterschiede in der Prozesskette von Gießereien und Leistungsbedarf verschiedener Anwendungen

Metall	Schmelztemperatur [°C]	Schmelzenthalpie und Überhitzungswärme [kWh/t]	Wirkungsgrad [%]	Energiebedarf elektrisch [kWh/t]
Stahl	1700	395	65 – 75	525 – 610
Gusseisen	1.550	368	60 – 70	535 – 620
Kupferlegierung	1.200	205	60 – 70	290 – 340
Aluminiumlegierung	750	329	60 – 70	440 – 550

Quelle: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (2005)

Es wird daher ein spezifischer elektrischer Energiebedarf von 600 kWh je Tonne Stahl- und Gusseisenproduktion sowie von 400 kWh je Tonne Kupfer- und Aluminiumlegierung angenommen.

Legt man die in Österreich für das Jahr 2011 verfügbaren Produktionsdaten der Gießereien auf den Energie- und Leistungsbedarf um, so ergibt sich ein durchschnittlicher Energiebedarf von rund 100 GWh im Bereich des Eisengusses, von etwa 80 GWh im Bereich Nichteisen-Metallguss sowie ein kontinuierlicher Leistungsbedarf von rund 11,5 MW, bzw. 9,2 MW (siehe Tabelle 6-13).⁷²

⁷² Approximativ wurden für den Eisenguss der Leistungsbedarf für Gusseisen, für den Bereich Metallguss der Leistungsbedarf für Aluminium (arithmetisches Mittel) verwendet. Für diese erste Abschätzung des Lastverschiebungspotenzials wurde ein Dauerlastbetrieb unterstellt. Dies ist jedenfalls als Untergrenze anzusehen, da primär im Chargenbetrieb gearbeitet wird und die Berechnung mittels Dauerlast einen kontinuierlichen Betrieb voraussetzt.

Tabelle 6-13: Energie- und Leistungsbedarfs sowie eine Abschätzung des Lastverschiebungspotenzial von Gießereien in Österreich

Produktion/Quelle	Jährliche Produktionsmenge in t	Energieverbrauch p.a. in GWh	Konstantleistungsbedarf in MW	Abschätzung des Lastverschiebungspotenzials
Eisengießereien	173.012	103 ⁷³	11,5	460 kW (Untergrenze, 4 % Regel, Basis Dauerlastannahme)
Nichteisen-Metallgießereien	135.375	54	9,2	250 kW (Untergrenze 4 % Regel, Basis Dauerlastannahme)
SUMME	308.387	157	17,8	710 kW

Quelle: Dichtl (1994), Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (2005) sowie Klobasa et al. (2011)

Dieses Lastverschiebungspotenzial von kleiner 1 MW ist als Untergrenze⁷⁴ anzusetzen. Als Abgleich wird auf Basis des sektoralen Gesamtenergieverbrauchs sowie des in der Literatur vielfach zitierten Gesamtverschiebepotenzials von vier Prozent des jährlichen Elektrizitätsbezugs (Klobasa, 2007) ein Verschiebungspotenzial der Metallerzeugung und -bearbeitung von maximal 53 GWh pro Jahr angegeben. Dies entspricht einer Leistung von 6 MW (bei linearer Leistungsannahme).⁷⁵

6.3 Metallverarbeitung: Oberflächenveredelung und Wärmebehandlung

Bei der Metallverarbeitung werden Werkstücke durch verschiedenste Bearbeitungsverfahren geformt und verarbeitet. Man unterscheidet dabei im Wesentlichen zwischen spanabhebenden (Bohren, Drehen Fräßen, Schleifen), nicht spanabhebenden (Hämmern, Biegen) und verbindenden (Schweißen, Löten, Kleben) Bearbeitungen. Bei der Wärmebehandlung hingegen werden meist die Materialeigenschaften des gesamten Werkstücks durch verschiedene Erhitzungs- und Abkühlprozesse verbessert bzw. angepasst, um diese je nach Anforderung widerstandsfähiger, fester oder biegsamer zu machen.

In diesem Arbeitspapier werden ausschließlich Unternehmen in Österreich berücksichtigt, die dem Sektor Oberflächenveredelung und Wärmebehandlung in ÖNACE Gruppe 25.61 angehören.

⁷³ Eigene Berechnung auf Basis von Dichtl (1994).

⁷⁴ Dies ist bedingt durch die Annahme eines durchschnittlichen Jahreslastgang, welcher nur näherungsweise den typischerweise angewandten Chargenbetrieb abbildet.

⁷⁵ Bedingt durch die teilweise suboptimale Datengrundlage ist es möglich einen Opportunitätskostenansatz (Kosten für den Sektor im Falle einer Versorgungsunterbrechung) anzuwenden. Unter Annahme des schlechtesten Zeitpunkts zur Berechnung des Kostenmaximums würde „The value of lost load“ für einen einstündigen Stromausfall in ganz Österreich um 12:00 im Falle eines einstündigen Stromausfalls etwa 7,90 €/kWh und bei 4 h etwa 5,78 €/kWh betragen. Dieser Wert ergibt sich unter Verwendung des Tools (blackout-simulator.com, 2013).

6.3.1 Überblick Oberflächenveredelung und Wärmebehandlung

Bedingt durch die notwendigen Prozesstemperaturen stellen Anwendungen der Wärmebehandlung meist sehr energieintensive Behandlungsstufen der Metallverarbeitung⁷⁶ dar. Ähnlich den Gießereien gilt für viele Prozesse der Oberflächenbearbeitung und Wärmebehandlung, dass oftmals Induktions- und Widerstandsöfen verwendet werden (Klobasa et al., 2011).⁷⁷

Die elektrischen Anschlussleistungen der Öfen welche zum Erhitzen der Werkstoffe dienen befinden sich im Bereich bis zu 400 kW. Klobasa et al (2011) definieren hier zwei zentrale Technologien, die hauptsächlich Verwendung finden: Kammer- bzw. Rollenherdwagenöfen, sowie Durchlauföfen.

Betriebe im Bereich Lohnhärtereien weisen in Deutschland im Schnitt ca. 1 bis 1,5 MW Leistungsbedarf für Wärmebehandlungsöfen auf (Klobasa et al, 2011).

Insbesondere für Österreich sind in Hinblick auf thermischen Trägheiten und für Lastverschiebung geeignete Anwendungen vergleichsweise geringe Potenziale anzunehmen. Nicht zuletzt deshalb sind weitere Forschungsanstrengungen notwendig, um mögliche Umsetzungsstrategien bestmöglich unterstützen zu können.

6.3.2 Oberflächenveredelung und Wärmebehandlung im internationalen Vergleich

International gibt es bedeutende Kapazitäten in der Oberflächenveredelung und Wärmebehandlung, die oftmals sehr eng in Verbindung mit Maschinen- oder Fahrzeugbau stehen. Hinsichtlich der Abgrenzung der berücksichtigten Sektoren sind länderübergreifende Unterschiede zu berücksichtigen. Klobasa et al. (2011) stellen beispielsweise in ihrer Analyse für Deutschland fest: *„Der Großteil der Wärmebehandlungsöfen wird in Betriebshärtereien z. B. bei den Automobilherstellern betrieben. Einen begrenzten Anteil an Wärmebehandlungsöfen haben jedoch sogenannte Lohnhärtereien, die sich als Dienstleister für die Wärmebehandlung etabliert haben. Hiervon existieren ca. 170 Unternehmen in Deutschland, die in der Regel nicht mehr als 40 Mitarbeiter haben. Für 50 Unternehmen des Industrieverbandes Härtetechnik, in dem die Lohnhärtereien organisiert sind, stehen detaillierte Zahlen zur Mitarbeiterstruktur zur Verfügung. Hier zeigt sich, dass kleine Unternehmen dominieren.“*

6.3.3 Oberflächenveredelung und Wärmebehandlung in Österreich

In Hinblick auf die sektoralen Charakteristika und Gegebenheiten sind insbesondere die sehr spezialisierten österreichischen Unternehmen zu nennen. Die in der ÖNACE Abteilung 24 zusammengefassten Unternehmen beinhalten neben Betrieben der Wärmebehandlungs-Branche verschiedene andere Unternehmen, sodass eine Abgrenzung zu diesen notwendig ist.

⁷⁶ Für eine exakte Darstellung der technischen Eigenschaften von Wärmebehandlungsanwendungen sei auf (Klobasa, Focken und Bümmerstede, Kurz- bis mittelfristig realisierbare Marktpotenziale für die Anwendung von Demand Response im gewerblichen Sektor 2011) verwiesen

⁷⁷ Wiederum ist auf die hohe Wertschöpfungsrelevanz des Sektors der Metallverarbeitung und Wärmebehandlung hinzuweisen. Die damit einhergehende tendenzielle Reduktion der Potenziale einen Beitrag zu Lastverschiebungsmaßnahmen bereitzustellen ergibt sich aus der hohen Qualität der Produktion bei tendenziell geringen Potenzialen verschiebbarer Lasten (in den Hauptprozessen).

Tabelle 6-14 zeigt einen Auszug aus der Gütereinsatzstatistik mit besonderem Augenmerk auf Oberflächenveredelungs- und Wärmebehandlungsunternehmen (C-25.6).

Tabelle 6-14: Gütereinsatzstatistik der Metallverarbeitung in Österreich (Basisjahr 2012)

ÖNACE-Gruppen (3-Steller)	Zahl der meldenden Betriebe	Wirtschaftliche Gesamtproduktion in 1.000 Euro	Gütereinsatz 1) in 1.000 Euro	Gütereinsatz in % 2)	Energieeinsatz in 1.000 Euro	Energieeinsatz in % 3)
Oberflächenveredelung, Mechanik a.n.g. (25.6)	25	1.489.966	1.104.604	74,1	20.285	1,4

Quelle: Statistik Austria (2012)

Die (volks-)wirtschaftliche Bedeutung dieses Sektors spiegelt sich in der Bruttowertschöpfung, der Anzahl der Betriebe sowie der Gesamtproduktion wider. Im Jahr 2011 waren österreichweit 4.345 Mitarbeiter in diesem Sektor beschäftigt. Für 2012 lag darüber hinaus eine im Vergleich zum Vorjahr positive Geschäftsentwicklung vor (FMMI, 2012).

6.3.4 Kenndaten zur Berechnung des Lastverschiebungspotenzials für den Bereich der Oberflächenveredelung und Wärmebehandlung

Die höchsten elektrischen Anschlussleistungen im Bereich der Metallverarbeitung und Wärmebehandlung weisen Industrieöfen auf. Die Phase des Aufheizens stellt dabei die größten Herausforderungen hinsichtlich des Leistungsbedarfs dar. Allerdings sind bereits vielfach durch Effizienzbestrebungen Lastmanagementsysteme im Einsatz, wodurch auch der Leistungsbedarf individuell, lastabhängig⁷⁸ gesteuert werden kann.⁷⁹

Klobasa et al. (2011) bewerten den Spitzenleistungsbedarf mit elektrischer Energie von wärmebehandelnden Unternehmen in Deutschland mit 260 MW. Die Autoren leiten daraus einen mittleren Leistungsbedarf von 117 MW ab, wobei eine verschiebbare Anschlussleistung von 30 bis 40 MW für das gesamte deutsche Bundesgebiet zur Verfügung stünde. Klobasa et al. (2009) geben die verschiebbare Energiemenge dieses in Deutschland wichtigen Sektors mit 11.167 GWh an.

Die Lastmanagementfähigkeit von Nicht-Kernprozessen, wie der Ventilation, wird mit 25 % angegeben. Dies resultiert in einem 12 % Anteil des Gesamtstromverbrauch (oder 1.340 GWh im Jahr 2002), der *a priori* für Deutschland als verschiebbare Last angesehen werden kann.⁸⁰ Dies würde in Deutschland einer verlagerbaren Strommenge von umgerechnet 335 GWh/a und einer entsprechenden Lastverschiebung (unter der Laufzeitannahme von 7.000 h/a) im Bereich von 48 MW bedeuten.

Für Österreich bedeutet dies in einer ersten Annäherung, dass etwa 5 MW an verschiebbaren Lasten mit einer verlagerbaren Strommenge von 33,5 GWh/a bestehen. Aus einer Unternehmensbefragung ergibt sich, dass bis zu einem Drittel der aktuellen Last für Lastmanagement genutzt werden können. Die Unternehmen schätzen, dass sie circa 10 bis 20 Prozent ihrer Last als zusätzliches Lastmanagement anbieten können. Auf dieser

⁷⁸ Bei geeigneten Anreizstrukturen ist dies für das Unternehmen ökonomisch optimierend möglich.

⁷⁹ Dies wiederum reduziert die Potenziale für Lastverschiebung.

⁸⁰ Dies ist für dieses Arbeitspapier von großer Bedeutung, da aufgrund der strukturellen Ähnlichkeit diese Annahme sehr gut auf Österreich übertragbar ist.

Grundlage ergibt sich daraus ein Potenzial für Deutschland von bis zu 15 MW (Agora Energiewende, 2013).

In Österreich gibt es vielfach Klein- und Mittelunternehmen, mit sehr hoher Wertschöpfung pro eingesetzter Energieeinheit. Dies reduziert tendenziell die Möglichkeit der Lastverschiebung, da höhere Deckungsbeiträge je eingesetzter Energiemenge erwirtschaftet werden und entsprechend höhere Opportunitätskosten bei Nichtproduktion bestehen.⁸¹ Hinsichtlich der Unterschiede der österreichischen Produktion im internationalen Vergleich besteht weiterer Forschungsbedarf.

6.3.4.1 Energiespezifische Kennzahlen und Berechnung der Lastverschiebungspotenziale

Horn (2009) untersucht die im Bereich der verschiedenen Wärmebehandlungen auftretenden Temperaturen, die Zeitdauer, die Empfindlichkeit und die Eignung für Lastmanagement. Diese sind in Tabelle 6-15 dargestellt.

Tabelle 6-15: Temperaturbereich und Zeitdauer von Wärmebehandlungsverfahren

Wärmebehandlung	Temp. In °C	Zeitdauer in Stunden	Empfindlichkeit	Lastmanagement geeignet
Härten	800 – 900	Bis Werkstück gleichmäßig erwärmt	Über-/ Unterhitze, Überzeiten	O
Anlassen	Bis 400	2 h		+
Glühen				+
Spannungsarmglühen	480-680	4h		+
Diffusionsglühen	1.050-1.300	<40h		+
Rekristallisationsglühen	550-700	Bis zu 2h		+
Normalglühen	800-950	1h je 25mm		+
Weichglühen	680-780	mehrere		+

Quelle: Horn (2009)

Der Fokus von Lastverschiebung im Bereich der Wärmebehandlung ist demnach auf die Anwendungen Glühen, Spannungsarmglühen, Diffusionsglühen, Rekristallisationsglühen, Normalglühen und Weichglühen zu legen.

Thermischen Prozesse lassen sich im Erwärmungszeitraum gegebenenfalls verschieben bzw. abschalten. Nicht geeignet sind allerdings Abschreckprozesse sowie thermochemische Anwendungen.

Klobasa et al. (2011) legen die Bandbreite der möglichen Lastverschiebungsoptionen fest: *„Die größten eingesetzten Öfen haben einen Leistungsbedarf von bis zu 300 kW. In der Regel sind ein Großteil der eingesetzten Öfen elektrisch betrieben und laufen im Dreischichtbetrieb kontinuierlich rund um die Uhr. Der größte Leistungsbedarf besteht in der Aufheizphase, die von einer Viertelstunde bis zu einigen Stunden dauern kann. [...] Nach Einschätzung des Unternehmens lassen sich ca. ein Drittel des Leistungsbezugs reduzieren. Dies entspricht einer Reduktion von ca. 500 kW pro Standort. Eine gewisse Verschiebung des Strombezugs in Niedertarifzeiten findet heute bereits statt.“*

In Österreich wird eine ähnliche Ausgangssituation wie in Deutschland angenommen.

⁸¹ Siehe hierzu auch die empirische Untersuchung von Stromausfallkosten von (Schmidthaler, Reichl und Schneider 2012).

6.4 Zusammenfassung Metallerzeugung und –bearbeitung

In diesem Kapitel werden Lastverschiebungspotenziale und –kosten von Unternehmen im Wirtschaftsbereich der Metallerzeugung und -verarbeitung untersucht. Dies beinhaltet Anwendungen wie Gießereien, sowie die sektorübergreifenden Prozesse der Oberflächenveredelung und Wärmebehandlung.

Die volkswirtschaftliche Relevanz dieser Wirtschaftsbereiche ist hoch. Die Gesamtproduktion von Gussprodukten betrug im Jahr 2012 306.478 Tonnen. Diese wurde von 22 Unternehmen produziert. Die Bruttowertschöpfung lag bei rund 1,15 Mrd. € Der maximale Gesamtenergiebedarf der Gießereibranche wird mit 200 GWh elektrischer Energie angenommen. Demgegenüber erwirtschafteten 25 Unternehmen der Oberflächenveredelung und Wärmebehandlung österreichweit rund 1,5 Mrd. € an Bruttowertschöpfung. Der jährliche elektrische Energiebedarf beträgt rund 400 GWh. Die Abschätzung von Lastverschiebungspotenzialen und –kosten berücksichtigt diese hohe volkswirtschaftliche Bedeutung von Unternehmen in diesem Wirtschaftsbereich.

6.4.1 Lastverschiebungspotenziale in der Metallerzeugung und –bearbeitung

Das gesamte Lastverschiebungspotenzial dieses Wirtschaftsbereichs beträgt im Mittel 5 MW. Diese konservative Schätzung beruht auf gesicherten Potenzialen, die aufgrund der sehr hohen Wertschöpfungsrelevanz vergleichsweise gering ausfallen. Im Falle sich ändernder Vergütungs- und Abgeltungsschemata ist eine Erhöhung dieses Potenzials möglich. Das Gesamtpotenzial von Unternehmen im Bereich Metallerzeugung und -verarbeitung beträgt rund 5 MW. Dies ist eine konservative Untergrenze, jedoch sind die logistischen und administrativen Herausforderungen Lastverschiebungspotenziale zu heben aufgrund der prozesstypischen Anforderungen besonders groß.

Tabelle 6-16: Zusammenfassung der Lastverschiebungspotenziale im Sektor Metallerzeugung und -bearbeitung

Standort/ Produktion	Gesamtnachfrage nach elektrischer Energie (MWh)/ Leistung (MW)	Energie- verschiebungs- potenzial [in GWh]	Lastverschiebungs- potenzial in MW	Quelle
Gießereien		53.	6	Klobasa (2007)
Gießereien	100.000 MWh ⁸²	4	0,5	4 % (Klobasa) auf Basis einer bottom-up Analyse Umweltbundesamt (2004)
Gießereien	200.000 MWh ⁸³	8	1	
Gießereien	441.595 MWh ⁸⁴			
Gießereien (Eisenguss)	328.700 MWh (Jahresproduktion Eisenguss* Untergrenze spezifischer Energiebedarf 1,9MWh/t)	13,12	4,5 (Auf Basis des Jahresverbrauchs und der Annahme, dass 12% der Jahreskonstantlast verschoben werden kann (aus Gutschi für Maschinenbau)	Eigene Abschätzung auf Basis von Gutschi und Stigler (2008), realistischer Wert /Untergrenze
Gießereien (Eisenguss)	813.100 MWh (Jahresproduktion Eisenguss* Untergrenze spezifischer Energiebedarf 4,7 MWh/t)	32,5	11,1 (Auf Basis des Jahresverbrauchs und der Annahme, dass 12% der Jahreskonstantlast verschoben werden kann (aus Gutschi für Maschinenbau)	Eigene Abschätzung auf Basis von Gutschi und Stigler (2008), absolute Obergrenze
Wärmebehandlung	11,7 MW (Leistung)	--	3-4 ⁸⁵	Eigene Berechnung (1/10) auf Basis von Klobasa et al. (2011)
Oberflächenveredelung und Wärmebehandlung	395.858 MWh ⁸⁶	48 ⁸⁷	--	Eigene Berechnung auf Basis von Klobasa et al. (2009)
Wärmebehandlung	--	33,5	5	1/10 des von Klobasa et al. (2009) für Deutschland berechneten Potenzials
Eigene Abschätzung/ GESAMTSEKTOR			~5	

Quelle: Literaturwerte und eigene Abschätzung

⁸² Bottom-up Berechnung des elektrischen Energiebedarfs, Untergrenze

⁸³ Bottom-up Berechnung des elektrischen Energiebedarfs, Obergrenze

⁸⁴ Elektrischer Energiebedarf gemäß Energiebilanz der Statistik Austria (2012)

⁸⁵ Bei einem Spitzenbedarf von 260 MW entsprechender Unternehmen in Deutschland ergeben sich 30 bis 40 MW an verlagerbarer Leistung. Für Österreich mit dem typischerweise verwendeten Reduktionsfaktor (1/10) bedeutet diese eine verlagerbare Leistung von 3 bis 4 MW.

⁸⁶ Elektrischer Energiebedarf gemäß Energiebilanz der Statistik Austria (2012)

⁸⁷ 12 % des Gesamtstrombedarfs auf Basis der Energiegesamtrechnung des Sektors wird von Klobasa et al. (2009) als einfach verschiebbare Leistung von Auxiliärprozessen definiert (z.B. Ventilation)

6.4.2 Möglicher Zeitraum für Lastverschiebung

In der Metallerzeugung und -verarbeitung laufen viele der eingesetzten Prozesse kontinuierlich (Klobasa et al., 2011), während andere sehr spezielle Vor- und Nachbereitung benötigen.

Potenziale zur Lastverschiebung können daher nur individuell, und auf die einzelnen Anwendungen abgestimmt, ermittelt werden. Allgemeine Aussagen über den möglichen Zeitraum für Lastverschiebung sind somit schwer möglich (Klobasa et al., 2011). Unter Bereitstellung adäquater Anreizstrukturen erscheint österreichweit eine Verschiebung von Lasten für den Zeitraum von bis zu 12 Stunden möglich. Die Aktivierungszeit wird mit mindestens fünf Minuten angegeben. Tabelle 6-17 stellt dies detailliert dar und zeigt einen Überblick der Gesamtverschiebezeiträume in Österreich

Tabelle 6-17: Relatives Verschiebepotenzial, Eignung für Lastverschiebung in Prozent des typischen sektoralen Leistungsbedarfs (Verschiebepotenzial relativ von 0-100%)

	0-5 min	6- 15 min	16- 59 min	1 h- 3 h 59 min	4 h- 11 h 59 min	12 h- 23 h 59 min
C 24.5	0%	30 %	50 %	70 %	20 %	0%
C 25.6	0%	0%	25 %	50 %	0%	0%
Summe/Aggregat	0 %	15 %	25 %	25 %	25 %	0%

Quelle: Eigene Abschätzung

In den Gießereien zeigen viele für Lastmanagement geeigneten Anwendungen (wie beispielsweise) Schmelzöfen zeitliche Lastverschiebungsmöglichkeiten von 20-70 % (abhängig von der Zeit). Für den Gesamtsektor wird von einem - über das bereits bestehende Energiemanagement hinausgehenden - Potenzial von 15-20 % der Höchstlast⁸⁸ ausgegangen (Siehe auch Klobasa et al., 2011)

6.4.3 Lastverschiebungskosten

Die Kosten von Lastverschiebungsmaßnahmen in der Metallerzeugung und -verarbeitung können unter Verwendung eines Opportunitätskostenansatzes zur Definition der Kostenobergrenzen berechnet werden. Diese werden unter Annahme des schlechtesten Zeitpunkts mittels Berechnung des Kostenmaximums (*Value of lost load*)⁸⁹ berechnet.

Daraus resultieren maximale Kosten (an einem Werktag zur Mittagszeit) von 7.900 €/MWh (Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz, 2013). Wird dies in eine leistungs- und arbeitsbezogene Komponente unterteilt (wie bspw. in der deutschen Abschaltverordnung, AbLaV) reduziert sich die Arbeitskomponenten je nach Häufigkeit des Abrufens deutlich. Ob allerdings ähnlich kostengünstige Niveaus wie in Deutschland erreicht werden können⁹⁰, ist anzuzweifeln.⁹¹

⁸⁸ Diese Werte sind als Obergrenze zu interpretieren, sodass über den gesamten Zeitraum von einem Potenzial zwischen 15 und 20 % ausgegangen werden kann, was wiederum mit dem angeführten Literaturwerten vergleichbar ist.

⁸⁹ Siehe dazu Schmidthaler et al. (2012).

⁹⁰ Bei einem monatlichen Fixum von 2.500 €/MW und einer Abgeltung der nicht bezogenen elektrischen Energie von bis zu 400 €/MWh.

⁹¹ Auch unter der Annahme dass dies Höchstgrenzen sind, ist eine weitere Kostenreduktion nur unter Einbeziehung aller Stakeholder bei Anwendung effizienter Kommunikations- und Logistikstrukturen möglich.

Die Lastverschiebungskosten für den Gesamtsektor belaufen sich auf rund 1.500 €/je MWh. Tabelle 6-18 stellt die Lastverschiebungskosten von Unternehmen dieses Sektors in Österreich dar.

Tabelle 6-18: Lastverschiebungskosten der Metallerzeugung und -bearbeitung in Österreich

Lastverschiebungskosten in €/MWh	Lastverschiebungskosten in €/MW	Quelle
7.900	-	Eigene Schätzung auf Basis des Opportunitätskostenansatzes basierend auf Stromausfallskosten von Reichl et al. (2013)
730	-	Wert für Eisen- und Stahlgusswerk Gutschi und Stigler (2008)
~1500		Eigene Abschätzung/ Gesamtsektor

Quelle: Literaturwerte und eigene Abschätzung

Die Bereitstellung von ausreichend Lastverschiebungskapazitäten in diesem Sektor ist jedenfalls als anspruchsvoll zu bezeichnen. Es gilt für den Bedarfsfall geeignete Rahmenbedingungen und Vergütungsmechanismen bereitzustellen um Unternehmen in diesem Bereich wirtschaftliche Handlungsoptionen in Hinblick auf eine Lastverschiebungsbereitstellung anzubieten.

Factbox Lastverschiebung in der Metallerzeugung und -bearbeitung in Österreich

Die analysierten Produktionsbereiche (Metallerzeugung und -verarbeitung) sind vielfach eng mit anderen bedeutenden Wirtschaftssektoren verbunden. Die Kosten für Lastverschiebung sind aufgrund der sektoralen Heterogenität sowie der Strukturgröße hoch. Auch aus energiepolitischer Sicht sind diese Produktionsbereiche von großer Relevanz.

Die verschiebbare konstante Leistung der typischerweise im Chargenbetrieb betriebenen Sektoren beträgt rund 5 MW. Die Kosten für Lastverschiebungsmaßnahmen in diese Bereich sind mit rund 1.500 €/MWh außerhalb des aktuell wirtschaftlich darstellbaren Rahmens für Lastverschiebungsansätze.

Das ausgewiesene Potenzial ist als Untergrenze anzusehen. Jedoch ist die Abrufung dieses Lastverschiebungspotenzials nur unter Gewährleistung adäquater Anreize möglich, welche aus aktueller Sicht nicht gegeben sind.

7 Zellstoff- und Papierindustrie

Andrea Kollmann, Horst Steinmüller

Das Zusammenspiel der einzelnen Prozesse, die zur Herstellung von Zellstoff und Papier notwendig sind, ist hochkomplex und umfasst eine Vielzahl verschiedener Verfahrensschritte. Insbesondere jene Prozesse, die der Papiermaschine vorgeschaltet sind, wurden in der Literatur als (zumindest teilweise) für Lastverschiebungszwecke geeignet identifiziert und werden im Folgenden besprochen.

7.1 Überblick Zellstoff- und Papierproduktion

Zur Herstellung von Papier werden aufbereitetes Altpapier, Zellstoff oder Holzstoff in einer Papiermaschine verarbeitet. Wie aus Abbildung 7-1 ersichtlich wird, ist die Papierherstellung ein kontinuierlicher Prozess in dem verschiedene Verfahrensschritte ineinandergreifen bzw. nacheinander ablaufen, weshalb die jeweiligen Bereiche nur bedingt getrennt betrachtet werden können.

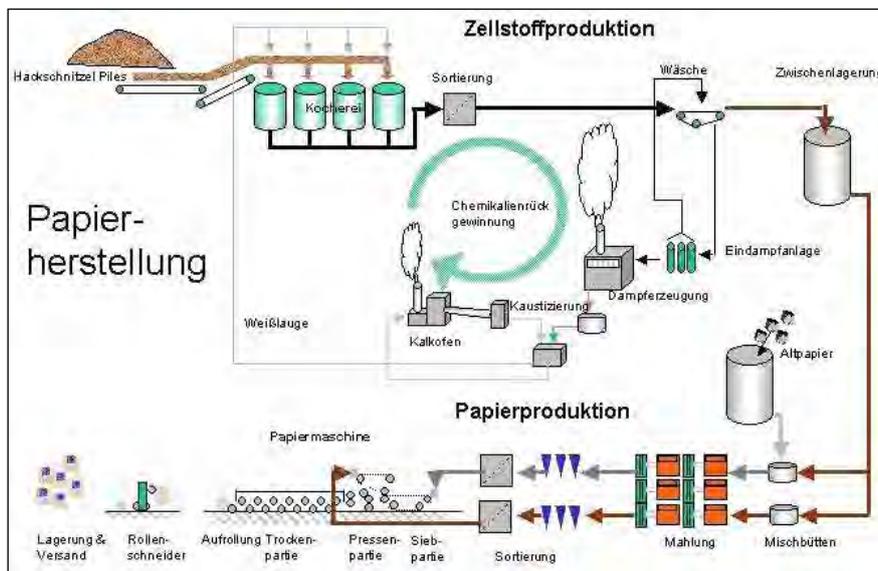


Abbildung 7-1: Papierherstellung

Quelle: Nettingsdorfer Papierfabrik AG & Co KG

Die Herstellung von Zellstoff und Papier erfolgt in Österreich sowohl in integrierten Fabriken als auch separat mit ver- oder zukaufbaren Zwischenprodukten. Papier und Pappe werden in verschiedenen Qualitäten erzeugt, die je nach ihren Eigenschaften unterschiedliche Einsatzstoffe benötigen. Neben dem Zellstoff (Primärstoff) und Altpapier (Sekundärstoff) werden Füllstoffe als Rohstoffe für die Produktion eingesetzt. Zusätzlich werden Wasser, Dampf und Strom für den Betrieb der Papiermaschine und der Zellstoffproduktion benötigt.

Die wesentlichen Verfahrensschritte in der Papierherstellung können wie folgt zusammengefasst werden:

- **Rohstoffaufbereitung**
 - Primärfaserrohstoff – Holz
 - Sekundärfaserrohstoff – Altpapier

- **Zellstofferzeugung**
 - Holzhaltig – Holzschliff
 - Holzfrei – Zellstoff ungebleicht, gebleicht
 - Chemikalienrückgewinnung
- **Papiermaschine**
 - Nasspartie
 - Trockenpartie
- **Nachbehandlung, Konfektionierung**

Nach der Rohstoffaufbereitung bei der Holz und Altpapier angeliefert, klassifiziert und zerkleinert werden, kommt es in der Zellstoffaufbereitung zum Aufschluss (Zerfaserung) des Holzes. Der daraus resultierende wässrige Brei wird anschließend bei Bedarf gebleicht und über die Stoffaufgabe mit Füllstoffen, Hilfsstoffen und Bindemitteln der Papiermaschine zugeführt. Zunächst wird die Suspension dieser Einsatzstoffe auf der Papiermaschine gleichmäßig verteilt. Bei Papieren bei denen Altpapier eingesetzt wird, wird bei Bedarf dieses ebenfalls zugegeben. Die Blattbildung erfolgt in der Siebpartie. Anschließend wird das Blatt entwässert (Pressenpartie), getrocknet, geglättet und gestrichen (Veredelung).

Lastverschiebungspotenziale werden in der Literatur hauptsächlich in den, der Papiermaschine vorgelagerten Prozessschritten identifiziert. Hierzu gehören die Rohstoffaufbereitung bzw. die Holz- und Zellstofferzeugung. Bei diesen können Stillstände aufgrund vorherrschender Lagerkapazitäten oder prozessbedingter Verweilzeiten zumindest zum Teil abgefedert werden. Dies ist bedingt durch den Umstand, dass diese Prozesse entweder grundsätzlich diskontinuierlich betrieben werden (können), längere Verweilzeiten (Aufheizvorgang usw.) aufweisen oder auf Vorrat produzieren.

7.2 Papierindustrie International

Die weltweite Papierproduktion lag im Jahre 2012 bei knapp 400 Mio. t (Austropapier, 2012). Deutschland ist mit einem Produktionsvolumen von 22,6 Mio. t der größte europäische Produzent, steht im europäischen Vergleich an erster Stelle und im internationalen Vergleich an vierter Stelle hinter China (102,5 Mio. t), den USA (74,3 Mio. t) und Japan (26,0 Mio. t).

7.3 Papierindustrie in Österreich

In Österreich gibt es 25 Papierfabriken, deren Gesamtproduktionsmenge an Papier und Pappe im Jahr 2012 ca. 5 Mio. t betrug. Mehr als die Hälfte davon wird in Österreich an 12 Standorten in der Steiermark, Oberösterreich, Niederösterreich und Kärnten hergestellt. Die Zellstoffherstellung erfolgt dabei größtenteils am Standort in integrierten Papierfabriken (Austropapier, 2012). Abbildung 7-2 zeigt eine Übersichtskarte der österreichischer Standorte der Papierindustrie. Für die spezifische österreichische Situation ist festzustellen, dass es nicht *die* typische Papierfabrik gibt. Aktuell (2013) setzen sich die 25 Betriebe, die der Zellstoff- und Papierindustrie zugeordnet werden, aus Papierfabriken mit (12 Betriebe) und ohne (13 Betriebe) integrierter Produktion zusammen, wobei von 4 dieser Betriebe wiederum auch Zellstoff produziert wird.



Abbildung 7-2: Standorte der österreichischen Papierindustrie

Quelle: Austropapier (2012)⁹²

Der elektrische Energieverbrauch des Sektors (siehe Tabelle 7-1) betrug im Jahr 2012 laut Gesamtenergiebilanz (Statistik Austria, 2012) 4,6 TWh; dies entspricht 16,4 % des elektrischen Gesamtenergiebedarfs im Produzierenden Bereich (28.155 GWh). Damit ist dieser Sektor einer der energieintensivsten in Österreich (Statistik Austria, 2012).

Tabelle 7-1: Elektrischer Energieverbrauch der Papierindustrie

ÖNACE-Gruppen (3-Steller)	Zahl der meldenden Betriebe in der Gütereinsatzstatistik	Wirtschaftliche Gesamtproduktion in 1.000 Euro	Gütereinsatz in 1.000 Euro	Gütereinsatz in % ²⁾	Energieeinsatz in 1.000 Euro	Energieeinsatz in % ³⁾
17.1 H.v. Holz-/Zellstoff, Papier, Karton	25	3.973.321	1.846.338	46,5	386.441	9,7

Quelle: Statistik Austria, Anmerkungen: ²⁾ Gütereinsatz: Anteil in Prozent an der wirtschaftlichen Gesamtproduktion. ³⁾ Energieeinsatz: Anteil in Prozent an der wirtschaftlichen Gesamtproduktion.

Abbildung 7-3 zeigt die Entwicklung des Endverbrauchs elektrischer Energie, der in Österreich zu Herstellung von Papier, Pappe und daraus hergestellten Waren, eingesetzt wird.

⁹² Vgl. Austropapier (2012), Seite 88

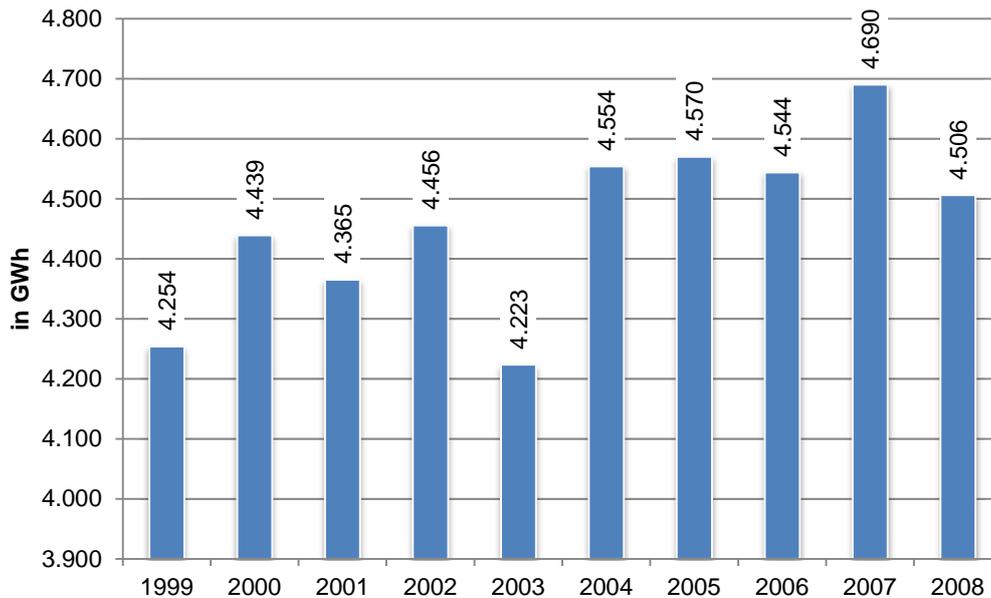


Abbildung 7-3: Entwicklung des Endverbrauchs mit elektrischer Energie des Sektors „Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus“ in GWh

Quelle: Statistik Austria

7.4 Lastverschiebungspotenzial im Bereich der Papierindustrie in Österreich

In der zuvor skizzierten Produktionskette eignen sich grundsätzlich jene Prozesse, bei denen Lager vorhandenen sind bzw. bei denen auf Vorrat gearbeitet werden kann. In der Literatur werden hierzu die Holzaufbereitung, die Holzstoffherstellung, die Verarbeitung von Altpapier im Pulper sowie die Kläranlage gezählt (siehe bspw. Klobasa et al. (2009) und Berger et al. (2012)).

Wesentliche Faktoren zur Nutzung von Lastverschiebungspotenzialen sind die Auslastung der Produktionsanlage (insbesondere im Hinblick auf Volllaststunden), die Dauer der gewünschten Lastverschiebung und der Aufwand zur Realisierung des Potenzials (einfache Abschaltung oder konzeptionelle Änderungen in der Anlage). Wesentliche Unterschiede ergeben sich beim Potenzial in der Dauer der Abschaltung und bedingt durch den Umstand, dass der größte Verbraucher am Standort – die kontinuierlich arbeitende Papiermaschine - erst sinnvoll bei Stillständen ab mehreren Stunden abgeschaltet werden kann. Einzelne kleine Anlagengruppen könnten bereits nach 5 min oder 15 min einen wesentlichen Beitrag leisten. Da die jeweiligen Standorte der Papierindustrie historisch gewachsen und gemäß ihrer unterschiedlichen Produkte eigenständig organisiert bzw. konzeptioniert sind, ist eine Ausweisung allgemein gültiger, standortübergreifend anwendbarer Potenziale aus wissenschaftlicher Sicht nicht seriös machbar. Daher wird nachfolgend speziell auf Potenziale von (Teil-)Prozessen der Papierherstellung eingegangen.

1. Lastverschiebungspotenzial in der Holzaufbereitung

Holz wird als Rundholz oder Hackschnitzel für die Papiererzeugung angeliefert. Nach der Klassifizierung in Größe und Reinheit des Rundholzes erfolgt die Entrindung. Über mechanische Fördereinrichtungen wird es zum Hacker transportiert und auf gleich große Stücke gehackt. Je nach örtlicher Gegebenheit kann dieser Bearbeitungsschritt lastunabhängig auch auf Vorrat erfolgen, wobei die praktische Realisierung derartiger Verschiebungen von der Größe des Lagerplatzes und dem Förderanlagenkonzept ebenso abhängig ist, wie von organisatorischen Faktoren (bspw. Vermeidung von Lärm am Wochenende).

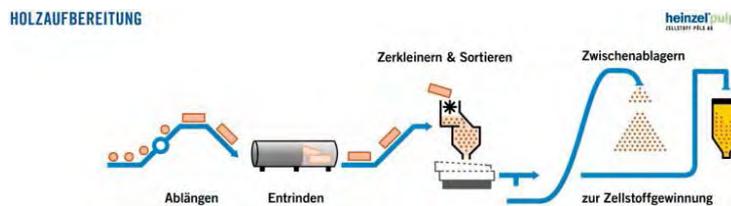


Abbildung 7-4: Holzaufbereitung

Quelle: Zellstoff Pöls AG

Als relevant für Lastverschiebung werden von Hinterberger und Polak (2011) die für diesen Arbeitsschritt nötigen Entrinder und Hackmaschinen identifiziert, deren Antriebe einen mittleren bis höheren el. Leistungsbedarf haben und gemäß der Studienautoren auch relativ einfach abschaltbar sind. Gemäß Klobasa et al. (2009) liegt der Leistungsbedarf dieser Anlagen zwischen 5 und 15 MW.

Der Hacker wird in der Studie von Berger et al. (2012) ca. 3.000 h/a betrieben, der Holzlagerplatz sieht zudem einen Lagersilo vor und kann somit als Beispiel für eine betriebsorganisatorische Maßnahme für Lastverschiebungen dienen.

In Österreich wurden im Jahr 2013 wurden 4,59 Mio. Festmeter Holz eingesetzt (Austropapier, 2014). Der spezifische Einsatz elektrischer Energie am Holzplatz wird im (European Commission, 2013) mit 50 kWh/t angesetzt. Hieraus ergibt sich ein geschätzter Gesamteinsatz elektrischer Energie von 230 GWh pro Jahr. Unter Verwendung der oben referenzierten 3.000 Volllaststunden pro Jahr, entspricht dies einer durchschnittlichen Leistungsaufnahme von rund 75 MW, die für Lastverschiebung zur Verfügung stünden.

2. Lastverschiebungspotenzial bei der Altpapieraufbereitung

Wird Altpapier als Sekundärrohstoff in der Produktion eingesetzt, so wird dieses mit Hilfe von Pulpern zerfasert, bevor es in der weiteren Produktion eingesetzt werden kann. Gemäß Hinterberger und Polak (2011) wird die Altpapieraufbereitungsanlage ca. 4.000 h/Jahr eingesetzt, woraus sich freie Kapazitäten ergeben.

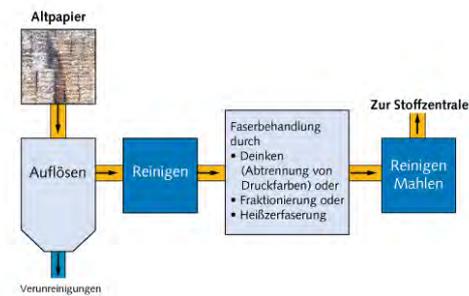


Abbildung 7-5: Aufbereitung von Altpapier,

Quelle: VDP – Verband deutscher Papierfabriken (2014)

Der spezifischer Stromverbrauch für die Altpapieraufbereitung wird mit 200-300 kWh je Tonne Altpapier (Klobasa et al., 2011) angegeben. Bei einem Altpapiereinsatz von 2,3 Mio. t im Jahr 2013 in Österreich (Austropapier, 2014) entspricht dies einem Strombedarf von 460 – 690 GWh. Bei angenommenen 4.000 Betriebsstunden pro Jahr somit einer durchschnittlichen Leistung von 115 – 170 MW. Klobasa (2007) gibt das Lastmanagementpotenzial mit > 50 % an. Dies würde für Österreich einem Verschiebepotenzial von etwa 50-100 MW entsprechen.

3. Lastverschiebungspotenzial bei der Holzstoffherzeugung

Gemäß Klobasa et al. (2009) eignet sich insbesondere die mechanische Holzstoffherstellung für Lastverschiebungen, da die zugehörigen Prozesse sehr stromintensiv sind. Gemäß Apel et al. (2012) können Holzschleifer in Teillast betrieben werden wobei die Last in MW-Schritten reduziert werden kann. Für Deutschland wird bei Holzschleifern ein Lastmanagementpotenzial von 208 MW errechnet (Apel et al., 2012). Gutschi (2007) gibt den Leistungsbedarf einer Schleiferei mit 30-40 MW an, wobei ein einzelner Schleifer dabei eine Leistung von etwa 3-5 MW hat.

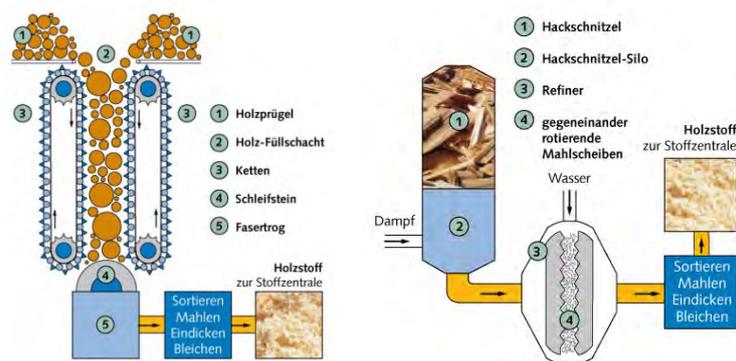


Abbildung 7-6: Mechanische Holzstoffherstellung (links) und thermochemische Holzstoffherstellung (rechts)

Quelle: VDP – Verband deutscher Papierfabriken (2014)

Klobasa (2007) gibt den Leistungsbedarf aller Holzstoffherstellungsanlagen in Deutschland mit 400 MW an und stellt fest, dass hiervon ein Großteil für Lastmanagement genutzt werden kann, wobei er die maximale Dauer der Verschiebung mit 2 Stunden ansetzt.

In Österreich wurden 2013 rund 365.000 Tonnen Holzstoff mechanisch gewonnen (Austropapier, 2014). Unter der Annahme eines Energieeinsatz von 2.200 kWh/t (Klobasa et al., 2011) ergibt sich ein geschätzter Energieeinsatz von 803 GWh. Bei angenommenen 8.600 Volllaststunden ergibt sich ein durchschnittlicher Leistungsbedarf von rund 90 MW von denen gemäß Klobasa (2007) ein Großteil für kurzfristiges Lastmanagement verwendet werden kann.

Lastverschiebungspotenziale bei der Zellstofferzeugung werden nicht betrachtet, da aufgrund des chemischen Prozesses und der weitestgehend kontinuierlichen Prozessgestaltung entlang der Erzeugungskette vom Hackschnitzel bis zum finalen Zellstoff kaum ein Potenzial sinnvoll berechenbar ist.

4. Lastverschiebungspotenzial in den Nebenanlagen

Die Energieversorgung an den Standorten der Papierindustrie wird zu ca. 95 % mit Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen sichergestellt (Austropapier, 2014). Durch ein in das Prozessleitsystem integriertes *Demand Side Management* ist es möglich Erzeugungsleistungen zu erhöhen oder zu reduzieren. Eine Erhöhung der Stromerzeugung ist jedoch nur möglich, wenn der Wärmebedarf in der Papierfabrik geringer ist und die Turbine mit einem hohen Kondensationsanteil betrieben werden kann. Die Energiezentrale kann aber nicht komplett während der Produktion abgeschaltet werden. Zudem benötigt das Kraftwerk bis ca. 30 min zum Kaltstart. Die Berechnung eines Lastverschiebepotenzials, das unter Verwendung der Stromerzeugungsanlagen an den Standorten der Papierfabriken vorhanden wäre, ist nicht pauschal möglich, sondern bedürfte detaillierter, standortspezifischer Betrachtungen. Dies ist insbesondere auch deshalb der Fall, als aus den Stromerzeugungsstatistiken der Papierindustrie ersichtlich wird, dass der Eigenversorgungsanteil bei rund 68 % (Stand: 2013) liegt. Tabelle 7-2 zeigt Stromerzeugung- und verbrauch der Papierindustrie der Jahre 1990, 2000, 2010, 2011 und 2012.

Tabelle 7-2: Stromerzeugung- und verbrauch der Papierindustrie (GWh)

	2013	2012	2011	2000	1990
Gasturbinen	666,2	1.211,0	1.291,3	1.068,8	191,1
Dampfgegendruckturbine	2.213,1	2.232,5	2.234,8	2.026,6	1.641,2
Entnahme-Kondensationsturbine	117,6	168,5	180,8	263,1	169,7
Anteil KWK	94,0%	94,6%	94,8%	94,1%	90,8%
Wasserkraft	190,0	205,7	203,9	201,4	202,9
sonstige Anlagen	0,2	0,2	0,3	9,3	0
Anteil sonstige	6,0%	5,4 %	5,2%	5,9%	9,2%
Erzeugung gesamt	3.187,1	3.817,9	3.911,1	3.569,2	2.204,9
minus Einspeisung	285,6	404,2	350,3	118,9	-
plus Fremdstromverbrauch	1.792,5	1.236,3	1249,9	1139,1	1.384,5
Verbrauch gesamt	4.694,0	4.650,0	4.810,7	4.589,4	3.589,4

Quelle: Austropapier (2014) eigene Darstellung (gekürzt)

Aufgrund der großen Mengen an Abwasser betreiben größere Standorte eine Kläranlage für die betriebsinternen Abwässer. Neben Pump- und Rührwerken sind insbesondere Ventilatoren für die Belüftung der Belebungsbecken als nennenswerte Verbraucher anzuführen. Da viele dieser Prozesse nicht unbedingt zeitkritisch sind, kann hier ein *Demand Side Management* eingesetzt werden. Die Verschiebmöglichkeiten werden an dieser Stelle

nicht explizit betrachtet, es sei auf das Arbeitspapier 7/9 „Kommunale Infrastruktur“ verwiesen.

7.5 Energiespezifische Kennzahlen und Berechnung der Lastverschiebungspotenziale

Auf Basis der obigen Berechnungen ergibt sich ein Lastverschiebepotenzial am Holzplatz, bei der Altpapieraufbereitung sowie bei der Holzstoffherstellung für den gesamten Sektor in Höhe zwischen 215 und 265 MW.

Gutschi und Stigler (2008) geben ein Lastverschiebepotenzial einer Papierfabrik mit Holzschliffproduktion mit 85 - 95 MW an, für eine Papierfabrik, die ein chemisches Aufschlussverfahren verwendet, liegt das Potenzial ihrer Berechnung nach bei 30 - 90 MW. Das maximale technische Potenzial des Sektors beziffern sie mit 148 MW. Beiden Werten liegen Schätzung über je zwei Papierfabriken zugrunde. Hütter et al. (2013) beziffern das Lastverschiebepotenzial der österreichischen Papierindustrie mit 100 MW. Berger et al. (2012) geben ein 15 min Verschiebepotenzial von etwa 80 MW an.

Somit kann festgestellt werden, dass das Lastverschiebepotenzial in der Papierindustrie gemäß der vorhandenen Literatur im Bereich zwischen 30 und 265 MW liegt. Hierzu muss angemerkt werden, dass die genannten Studien unterschiedliche Herangehensweisen wählten, wodurch ihre Vergleichbarkeit nur sehr eingeschränkt gegeben ist.

7.6 Lastverschiebungskosten

Gutschi und Stigler (2008) geben die spezifischen Opportunitätskosten zweier Papierfabriken mit Holzschliffproduktion mit rund 200 €/MWh an. Für zwei weitere Papierfabriken, die chemische Aufschlussverfahren verwenden, liegen die Opportunitätskosten deutlich höher bei durchschnittlich 435 €/MWh. Klobasa et al. (2011) beziffern die Aktivierungskosten mit 160 €/MWh, wenn durch das Lastmanagement auch Personalkosten gedeckt werden müssen und 400 €/MWh, wenn sämtliche Produktionskosten gedeckt werden müssen. Laut der von Hinterberger und Polak (2011) beschriebenen Cost Curve ergeben sich für das 15 min Potenzial spezifische Verschiebungskosten des Sektors Papier und Druck von in etwa 20 €/MWh.

Somit kann festgestellt werden, dass die Lastverschiebungskosten in der Papierindustrie gemäß der vorhandenen Literatur im Bereich zwischen 20 und 435 €/MWh liegen. Hierzu muss angemerkt werden, dass die genannten Studien unterschiedliche Herangehensweisen an die Preisberechnung legten, wodurch ihre Vergleichbarkeit nur sehr eingeschränkt gegeben ist. Auf Basis der vorhandenen Daten wird in der Folge von indikativen Lastverschiebungskosten von rund 200 €/MWh ausgegangen.

In Tabelle 7-3 werden die Verschiebepotenziale zusammenfassend dargestellt. In dieser Darstellung wurde angenommen, dass im Bereich der Holzstoffherstellung ein maximal 2-stündiges Verschiebepotenzial vorliegt (Klobasa et al., 2009), dass feingestuft in MW Schritten in Teillast (Apel et al., 2012) für Lastverschiebung genutzt werden kann. Für den Holzplatz wurde angenommen, dass eine bis zu 24-stündige Verschiebung möglich sein könnte, die von der Größe des Holzplatzes sowie den organisatorischen

Rahmenbedingungen abhängt. Für die Altpapieraufbereitung wird von einem maximal 4-stündigen Verschiebepotenzial ausgegangen, das abhängig vom Vorhandensein von Zwischenlagern ist. Das in der folgenden Tabelle angegebene relative Verschiebepotenzial entspricht einer konservativen Schätzung der Autoren unter Berücksichtigung der oben genannten Literatur.

Tabelle 7-3: Relatives Verschiebepotenzial, Eignung für Lastverschiebung in Prozent des typischen sektoralen Leistungsbedarfs (DSM Eignung, Verschiebepotenzial relativ von 0-100 % in Zehnerschritten)

	0-5 min	6-15 min	16-59 min	1 h-3 h 59 min	4 h-11 h 59 min	12 h-23 h 59 min
Holzplatz	50%	50%	50%	50%	50%	50%
Altpapieraufbereitung	50%	50%	50%	50%	-	-
Holzstoffherstellung	50%	50%	50%	50%	-	-

Quelle: eigene Darstellung

7.7 Zusammenfassung der Lastverschiebungspotenziale und – kosten der Zellstoff- und Papierindustrie in Österreich

Mit einem Jahresverbrauch von 4.614 GWh stellt die Papierindustrie den größten Energieverbraucher des produzierenden Bereiches und somit einen für mögliche Lastverschiebung nicht zu vernachlässigenden Sektor dar. Aufgrund der Komplexität des Produktionsprozesses und der von Unternehmen zu Unternehmen unterschiedlicher Struktureller und organisatorischer Aufbau können wie schon zuvor erwähnt nur schwer generelle Potenziale ausgewiesen werden. Das genaue Verschiebungspotenzial kann nur vom einzelnen Unternehmen ermittelt werden und dann durch eventuell notwendige strukturelle und organisatorische Veränderungen genutzt werden.

Auf Basis der obigen Berechnungen ergibt sich ein Lastverschiebepotenzial am Holzplatz, bei der Altpapieraufbereitung sowie bei der Holzstoffherstellung für den gesamten Sektor in Höhe zwischen 215 und 265 MW. In der relevanten Literatur wird eine Bandbreite von 30 bis 265 MW angegeben. Unter Verwendung der in Tabelle 7-3 gezeigten Werte, wird im Rahmen dieser Studie ein – konservativ geschätztes und sich an den Untergrenzen der Potentiale orientiertes – Lastverschiebepotential von 70 MW angenommen. Die Kosten der Verschiebung werden indikativ mit 200 €/MW geschätzt.

Factbox Lastverschiebung in der Zellstoff- und Papierindustrie in Österreich

Auf Basis der Analyse dreier Produktionsschritte in der österreichischen Zellstoff- und Papierindustrie, Rohstoffaufbereitung am Holzplatz, Altpapieraufbereitung und Holzstoffherstellung, wurde eine maximal verschiebbare Leistung von 70 MW identifiziert. Je nach Ausgestaltung des Anreizsystems steht dieses Potenzial zu Kosten von rund 220 € je MWh zur Verfügung.

8 Zementindustrie

Alois Kraussler

8.1 Überblick Zementindustrie

Da Österreichs Zementindustrie mit ca. 490 GWh/a (Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie, 2012) insgesamt 0,8 % des elektrischen Energiebedarfes Österreichs konsumiert, könnte dieser Industriezweig ein geeignetes Lastverschiebungspotenzial aufweisen. Im Vergleich zu anderen europäischen Ländern besteht in Österreich geringes Wissen über dieses Potenzial und mögliche Nutzungsmöglichkeiten (Hinterberger und Polak, 2011), (Klobasa et al., 2011). Es bedarf daher einer näheren Betrachtung, damit das österreichische Lastverschiebungspotenzial in der Zementindustrie festgestellt werden kann.

8.1.1 Die Zementherstellung

Ausgangsmaterialien für die Herstellung von Portlandzement sind Kalkstein, Ton und Mergel. Das Rohmaterial wird mit Vor- und Nachbrechern zerkleinert, ins Zementwerk transportiert und im sogenannten Mischbett zwischengelagert. Das Material aus dem Mischbett wird mit Abwärme aus dem Ofenprozess getrocknet und gleichzeitig gemahlen. Das entstandene Rohmehl wird zwischengelagert. Der anschließende Brennprozess besteht aus zwei Stufen (Entsäuerung und Sinterprozess). Der dabei produzierte Klinker wird gekühlt und anschließend gelagert. Zusammen mit Hüttensand, Flugasche, Kalkstein und Sulfatträgern wird der Klinker in Zementmühlen gemahlen und kann direkt aus den Lagersilos heraus transportiert werden (Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie, 2012). Der Prozess zur Zementherstellung ist in Abbildung 8-1 dargestellt.

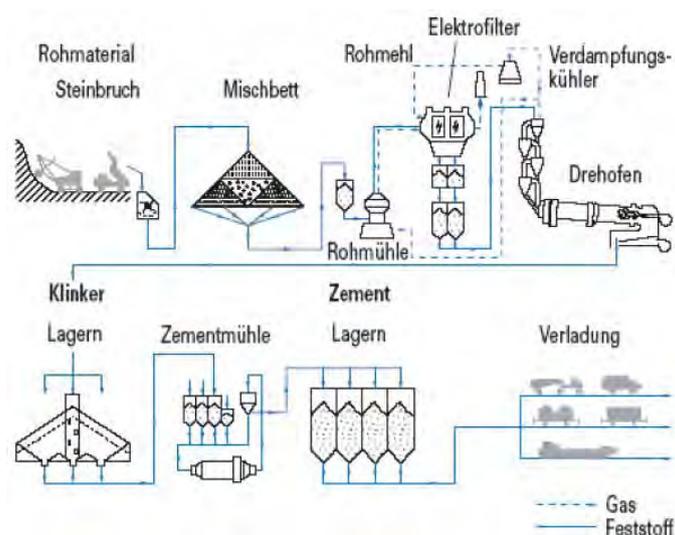


Abbildung 8-1: Prozesse zur Zementherstellung

Quelle: Klobasa et al. (2011)

Klobasa et al. (2011) identifiziert in einer für Deutschland relevanten Studie Motorenanwendungen bei Mühlen, Brechern und Mahlwerken, sowie Abluftventilatoren der Mühlen als für Lastmanagement geeignet. Insbesondere die Rohmaterialaufbereitung und

die Zementmahlung sind für eine potenzielle Lastverschiebung relevant, da stromintensive Brecher und Mühlen zum Einsatz kommen. Die Materialzwischenlagerung, die zur optimalen Auslastung des Drehrohrofens benötigt wird, könnte für *Demand Side Management* genutzt werden.

Zusammenfassend könnten daher folgende Verbraucher in der Zementindustrie zur Lastverschiebung verwendet werden:

- Brecher zur Rohmaterialaufbereitung im Steinbruch
- Rohmühlen zur Mischbettzerkleinerung im Zementwerk
- Zementmühlen für produzierten Klinker
- Abluftventilatoren der Mühlen

Abbildung 8-2 stellt die Entwicklung des Endverbrauchs mit elektrischer Energie des Sektors Herstellung von Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden dar. Dieser umfasst unter anderem den Bereich der Zementherstellung und bietet einen ersten Überblick über die Dimension und den historischen Verlauf des sektorspezifischen Bedarfs an elektrischer Energie.

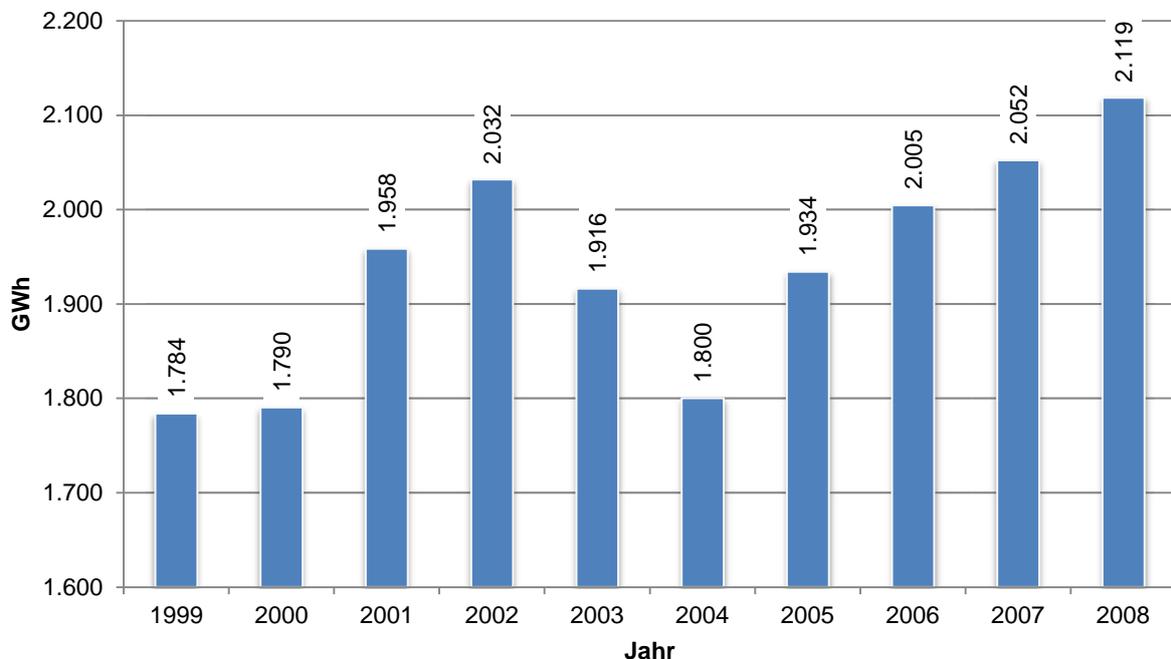


Abbildung 8-2: Entwicklung des Endverbrauchs mit elektrischer Energie des Sektors "Herstellung von Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden" in GWh

Quelle: Statistik Austria (2010)

8.2 Zementindustrie INTERNATIONAL

Die weltweite Jahresproduktion an Zement liegt bei über 3,3 Mrd. t (VDZ – Verein Deutscher Zementwerke, 2010) was einem elektrischen Jahresgesamtenergieverbrauch hochgerechnet aus dem spezifischen Energieverbrauch von 114 kWh/t Zement (Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie, 2012) von etwa 376,2 TWh entsprechen würde und damit etwa 2 % des weltweiten Stromverbrauchs von 18.466,46 TWh pro Jahr darstellt.

8.3 Zementindustrie in Österreich

Die Zementindustrie in Österreich umfasst Zementwerke mit Klinkerproduktion, Mahlwerke für Zement sowie eine Umladestation. Eine Produktionskapazität von etwa 4,6 Mio. t Klinker (Stand 2007) wird zu ca. 87 % ausgeschöpft (Berger und Hoenig, kein Datum).

Folgende Anlagen sind in Österreich in Betrieb (Stand: 2012):

1. Zementwerk Leube Ges.m.b.H. (Gartenau / Salzburg)
2. Gmundner Zementwerke Hans Hatschek AG (Gmunden / Oberösterreich)
3. Kirchdorfer Zementwerk Hofmann Ges.m.b.H. (Kirchdorf an der Krems / Oberösterreich)
4. Lafarge Perlmooser AG (Betriebsstandort: Mannersdorf am Leithagebirge / Niederösterreich)
5. Lafarge Perlmooser AG (Betriebsstandort: Retznei, Ehrenhausen / Steiermark)
6. Schretter & Cie (Vils / Tirol)
7. Schretter & Cie (Kirchbichl / Tirol)
8. Wietersdorfer & Peggauer Zementwerke GmbH (Peggau / Steiermark)
9. Wietersdorfer & Peggauer Zementwerke GmbH (Wietersdorf, Klein St. Paul / Kärnten)
10. Wopfinger Baustoffindustrie GmbH (Waldegg / Niederösterreich)
11. Holcim (Vorarlberg) GmbH (Lorüns, Vorarlberg)
12. Holcim (Wien) GmbH (Kaltenleutgeben, Wien)
13. SPZ Zementwerk (Eiberg / Tirol)

Die für das Projekt Loadshift relevanten Daten der österreichischen Zementindustrie sind in Tabelle 8-1 zusammengefasst. Daraus ist ersichtlich, dass in Österreich 4,25 Mio. t Zement mit einem spezifischen Gesamtenergieeinsatz von 114 kWh pro Tonne Zement produziert wurden. Rund 14 % des Gesamtenergiebedarfes wurden dabei durch elektrische Energie gedeckt.

Tabelle 8-1: Kennzahlen der Zementindustrie in Österreich (2010)

Kennzahl	Mittelwert der genannten Quellen	Literaturquellen
Zementproduktion [Mio. t]	4,25	Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie (2012), Mauschitz (2011)
Klinkerproduktion [Mio. t]	3,097	Mauschitz (2011)
Jahresumsatz [Mio. €]	378	Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie (2012),
Mitarbeiteranzahl	1193	Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie (2012)
Spez. elektrischer Energieeinsatz [kWh/t_{ZE}]	114	Berger und Hoenig (kein Datum), Mauschitz (2011), Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie (2012)
Anteil elektr. Energie am Gesamtenergiebedarf (Jahr 2007) [%]	14	Berger und Hoenig (kein Datum)

Quelle: Literaturwerte und eigene Abschätzung

Tabelle 8-2 zeigt wesentliche Kennzahlen der Gütereinsatzstatistik 2012 zu den österreichischen Unternehmen, die der Zementindustrie zugeordnet werden.

Tabelle 8-2: Zementindustrie: Ergebnisse im Überblick: Gütereinsatzstatistik 2012

ÖNACE-Gruppen (3-Steller)	Zahl der meldenden Betriebe in der Güterstatistik	Wirtschaftliche Gesamtproduktion in 1.000 Euro	Gütereinsatz 1) in 1.000 Euro	Gütereinsatz in % 2)	Energieeinsatz in 1.000 Euro	Energieeinsatz in % 3)
H.v. Zement, Kalk u. gebrannte m Gips (25.5)	11	373.146	57.814	15,5	17.923	19,3
H.v. Beton-, Zement- u. Gips-erzeugung. (25.6)	57	1.356.986	423.624	31,2	92.952	6.8

Quelle: Statistik Austria (2012)

8.4 Lastverschiebung in der Zementindustrie

8.4.1 Lastverschiebung in der Zementindustrie – international

Kurzfristig sind die Lastverschiebungspotenziale der Zementwerke für Stromnetzbetreiber besonders interessant / sinnvoll, doch für eine nachhaltige Integration von Erneuerbaren eignen sich diese Potenziale nur bedingt (lokal befindet sich keine Industrie), da sich diese nicht gleichverteilt auf der Verteilnetzebene befinden (andere Netzebene) und Erneuerbare (insbesondere PV) jedoch dezentral und gleichverteilt sind. Daher sind vor Ort (auf Verteilnetzebene) schaltbare Lasten notwendig. Für das Abrufen des Lastverschiebungspotenzials in der Zementindustrie ist jedoch eine Umverteilung der Aggregatorenverantwortlichkeiten notwendig.

8.4.1.1 Fallbeispiel zur Lastverschiebung in einer südafrikanischen Zementmühle

Da die Zementproduktion in Südafrika rund 5 % der gesamten elektrischen Energie konsumiert, wird in Lidbetter und Liebenberg (2011) am Beispiel einer Anlage das Potenzial zur Reduzierung von Lastspitzen und gleichzeitiger Kosteneinsparung untersucht. In Simulationen und Versuchsstudien konnte eine Lastverschiebung von sechs Stunden ohne negative Beeinflussung der Zementproduktion erreicht werden.

Da die Kapazität der Rohmehlmühlen der untersuchten Anlage die des Drehrohrens übersteigt und das weiter zu verarbeitende Material daher in Silos zwischengespeichert wird, lassen sich die Motoren der Mühlen innerhalb von Minuten zum Zwecke des Lastmanagements an- bzw. abschalten. Dabei müssen die minimalen und maximalen Füllstände des Silos beachtet werden, um den Ofenprozess nicht zu unterbrechen. Probleme durch das Absinken der Temperatur in Zementmühlen, das im weiteren Verlauf die Qualität des fertigen Produktes beeinträchtigen kann, sind ebenso zu berücksichtigen. Durch eine Analyse der Leistung innerhalb eines Tages über einen Beobachtungszeitraum von mehreren Monaten konnte das Potenzial für eine mögliche Lastverschiebung festgestellt werden. Messungen an einer der Rohmehlmühlen ergaben, dass diese durchschnittlich zu

72 % genutzt wird und daher Potenzial besteht, den Betrieb hinsichtlich Lastverschiebungen zu verbessern. Durch eine Simulation des Silo-Füllstandes bei variablem Betrieb der Rohmehlmühle, wurden die Auswirkungen einer Lastverschiebung und die Möglichkeiten, den Betrieb der Mühle von Lastspitzenzeiten zu Lasttälern zu verschieben, im Projekt evaluiert.

Eine Versuchsstudie an der simulierten Rohmehlmühle über die Dauer von einer Woche führte zu einer erfolgreichen Reduzierung der Lastspitzen um 1,4 MW (Anschlussleistung: 4 MW) zwischen 18:00 – 20:00 Uhr. Zusätzlich wurde eine Reduzierung der Energiekosten der Anlage ermittelt, da ein Teil des Energieverbrauches von hochpreisigen Lastspitzenzeiten zu günstigere Lasttälern verschoben wurde. Eine Implementierung einer Lastmanagement-Strategie sollte allerdings Flexibilität zulassen, um auf die variable Nachfrage oder etwaige Störfälle in der Anlage reagieren zu können.

8.4.1.2 Lastverschiebungspotenzial in der deutschen Zementindustrie

In Paulus und Borggrefe (2009) werden langfristige Investitionen in *Demand Side Management* in Deutschland analysiert. Im Bereich der Zementindustrie werden Zementmühlen als flexible Lasten genannt, die innerhalb weniger Minuten zwischen Betrieb und Stillstand wechseln können. Interviews mit Vertretern der Zementindustrie allerdings zeigen, dass die Zwischenlagerung des Materials der Lastverschiebung Grenzen setzt. So benötigt die Lagerung des Zementes in den Fertiggutsilos einerseits ausreichend Vorratsvolumen und andererseits ist eine entsprechend hohe Produktionskapazität erforderlich um in der „verbleibenden“ Betriebszeit die notwendige Menge an Zement herzustellen und zu lagern. Durch die Anforderungen und Abhängigkeiten der vorherigen und darauf folgender Prozesse bei der Zementherstellung wird das Load Shedding, also der Lastabwurf durch den Netzbetreiber, als einzige Alternative zur Nutzung des *Demand Side Management* Potenzials von rund 314 MW in der deutschen Zementindustrie angegeben.

8.4.2 Lastverschiebung in der Zementindustrie in Österreich

8.4.2.1 Fallstudie zum Lastverschiebungspotenzial eines österreichischen Zementwerkes

Beschreibung des Industriebetriebes: In Österreich wurde ein Lastverschiebungsprojekt mit einem Zementhersteller von Anfang Oktober 2012 bis Ende November 2012 durchgeführt. Der Zementhersteller wird über eine höhere Netzebene versorgt und daher besteht für den Probebetrieb auch kein Spannungsproblem. Der Industriebetrieb befindet sich in keiner Lärmschutzgegend und es kann daher rund um die Uhr geschaltet/gedahren werden. Die Zementmühlen und Rohsteinbrecher werden im Regelbetrieb von Montag bis Freitag betrieben (dies galt nicht für das Lastverschiebungsprojekt). Der Ofenprozess mit der zugehörigen Rohmühle wird angepasst zur Bausaison (März - Dezember) rund um die Uhr betrieben (7 Tage in der Woche).

Durchführung der Lastverschiebung aus technischen Gesichtspunkten: Der Lastverschiebungsvorgang erfolgte teilautomatisch. Der Zementhersteller musste hierbei die Regeltechnik anpassen. Es waren keine elektrotechnischen Änderungen notwendig. Die entsprechenden Zeitfenster wurden manuell vom Netzbetreiber am Vortag (bis 19 Uhr)

eingetragen und über eine Datenschnittstelle an die Anlage übermittelt. Es erfolgte somit eine Voranmeldung des Lastabwurfs und des Zeitfensters (Beginn und Abschaltdauer; z. B. von 7 bis 9 Uhr oder von 12 bis 14 Uhr). Somit wurde am Vortag ein Fahrplan erstellt (day-ahead-Fahrplan), wobei der Industriebetrieb die jeweilige zu schaltende Maschine manuell frei geben oder auch sperren konnte. Die Freigabe war stets vom Lagerstand in den Silos und der Lieferprognose für den Folgetag abhängig. Damit entschied der Industriebetrieb stets über die Zurverfügungstellung der Last (Letztentscheidung liegt beim Industriebetrieb).

Bei dem Probetrieb erfolgte eine reine Lastreduktion (keine Steigerung), da es bislang für den Netzbetreiber keinen Bedarf für Lasterhöhungen gab (beispielsweise ist der Photovoltaik-Anteil noch überschaubar). Abgerufen wurde die Leistung von 2 Zementmühlen. Andere Verbraucher, wie der Brecher im Steinbruch oder die Rohmühle blieben unberücksichtigt. Technisch wäre jedoch der Einbezug der Rohmühle möglich gewesen. Auch die Brecher könnten theoretisch einbezogen werden, wobei für den Probetrieb deren Leistung im Verhältnis zur Leistung der Zementmühlen vernachlässigbar war.

Im Rahmen der Lastverschiebung wurden bis zu 2 Zeitblöcke pro Werktag am Vortag bekannt gegeben. Am Wochenende erfolgte keine Lastverschiebung. Diese Zeitfenster beliefen sich auf bis zu 4 Stunden, in welchen die Zementmühlen vom Netzbetreiber ausgehend abgeschaltet wurden. Mit dem Lastverschiebungsprojekt konnten bis zu 50 % der Spitzenleistung reduziert werden.

Durchführung der Lastverschiebung aus organisatorischen und finanziellen Gesichtspunkten: Gemeinschaftlich mit dem Stromlieferanten und dem Netzbetreiber wurde der finanzielle Vorteil analysiert. Der organisatorische und finanzielle Mehraufwand des Industriebetriebes besteht in den Mehrkosten des Personals, da zur Aufrechterhaltung der Produktivität die Arbeitszeiten des Personals an den Mühlen zum Wochenende hin verschoben werden mussten. Demnach wurde am Wochenende die entgangene Produktionsmenge durch Lastverschiebung aufgeholt / kompensiert. Wochenendarbeit ist stets mit Zuschlägen durch den Arbeitgeber behaftet. Dies führte zu wesentlichen Mehrkosten, welche den finanziellen Anreiz durch die Lastverschiebung kompensierten bzw. sogar überschritten.

Weiters muss für einen nachhaltigen wirtschaftlichen Ausgleich ein Risikoaufschlag erfolgen, welcher die höhere Ausfallwahrscheinlichkeit durch einen häufigeren „Stop and Go“-Betrieb sowie die verkürzte Nutzungsdauer der Mühlen berücksichtigt. Dieser Risikoaufschlag blieb im Rahmen des Probetriebes unberücksichtigt.

Unter diesen Gesichtspunkten ist daher die Lastverschiebung durch die aktuellen Rahmenbedingungen für den Industriebetrieb nicht wirtschaftlich interessant. Es müssen sich daher die finanziellen Anreize wesentlich ändern, damit es zu einer Win-Win-Situation für alle führt. Dafür sind geeignete Rahmenbedingungen zu schaffen.

Erkenntnisse aus dem Lastverschiebungsprojekt:

Auswirkungen auf die mechanische Beanspruchung und Nutzungsdauer der Mühlen: Eine Quantifizierung der Auswirkungen ist nicht möglich. Bislang wurden die Mühlen 2 – 3 Mal pro Woche abgestellt. Im Lastverschiebungsprojekt wurden die Mühlen 1 – 2 Mal pro Tag abgestellt. Es bestehen sicherlich Auswirkungen auf die Nutzungsdauer. Doch diese können erst in einem Langzeitversuch festgestellt werden. Zu betonen ist, dass ein Gebrechen der Mühlen zu einem Produktionsstillstand führt und somit den Industriebetrieb in große finanzielle Schwierigkeiten bringen kann. Auch eine Verkürzung der Nutzungsdauer ist besonders kostenintensiv und muss mit Aufschlägen kompensiert werden.

Einfluss der Mühl- auf die Drehrohrkapazität auf das Lastverschiebungspotenzial: Die Ofenkapazität dieses Zementwerkes ist über einen weiten Bereich regelbar. Bei entsprechend geringer Ofenleistung ist die Kapazität der Rohmühle so groß, dass die Mahltrocknung des Klinkers auch bei einer etwaigen Lastverschiebung noch durchgeführt werden kann (Anmerkung: Die Kapazitäts-Verhältnismäßigkeiten zwischen Öfen und Mühlen wurden bei den anderen österreichischen Zementherstellern nicht untersucht. Nach Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie (2012) sind die Kapazitäten der Rohmehlmühlen in Österreich idR auf die Kapazitäten der Drehrohröfen abgestimmt.).

Einfluss der Zwischenlager: Der größte Zement-Lagersilo des Unternehmens weist idR eine Kapazität für 2 Liefertage auf. Die bestehenden Lagerkapazitäten waren im Zeitraum des Probetriebes auf Grund saisonal bedingter, geringerer, Absatzmengen daher nicht der begrenzende Faktor zumal die fehlenden Produktionsmengen stets am Wochenende kompensiert werden konnten. Somit haben die Füllstände der Lager einen wesentlichen Einfluss auf die Freigabe der Lastverschiebung. Diese Freigabe / Feststellung erfolgte stets manuell.

Einfluss der Temperaturabsenkung in den Zementmühlen durch die Lastverschiebung (Stichwort: Wärmerückgewinnung): Aus prozesstechnischer Sichtweise ist es grundsätzlich sinnvoll, wenn die Prozesstemperatur stets auf gleichem Niveau gehalten wird. In der Zementmühle kommt es auf Grund der aus dem Mahlprozess entstandenen Wärme zu einer gezielten Trocknung der Rohstoffe sowie einer teilweisen Entwässerung des Sulfatträgers (Gips). Der hier notwendige stationäre Betriebszustand wird erst nach einigen Betriebsstunden erreicht.

Einfluss der Auslastung des Zementwerks auf die Lastverschiebungspotenziale: Zementwerke arbeiten idR stets nachfrageorientiert. Bei einer hohen Auslastung (gute Wirtschaftslage oder „Bauhochsaison“) kann kein Lastverschiebungspotenzial zur Verfügung gestellt werden (sofern keine anlagentechnischen Anpassungen / Investitionen erfolgen).

Lastverschiebungsaktivitäten bei Zementwerken haben daher wesentliche Einflüsse auf den Produktionsbetrieb (z. B. auf die Produktivität, die Effizienz des Prozesses, die mech. Beanspruchung etc.).

8.4.2.2 Darstellung des Lastverschiebungspotenzials in der österreichischen Zementindustrie

In Tabelle 8-3 sind ausgewählte Kennzahlen, welche für die Abschätzung des österreichischen Lastverschiebungspotenzials in der Zementindustrie essentiell sind, zusammengefasst.

Tabelle 8-3: Ausgewählte Kennzahlen der österreichischen Zementindustrie

Gesamt	Wert	Quelle(n)
Elektr. Energieeinsatz in österreichischen Zementwerken [GWh]	487	Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie (2012)
Mittlerer spez. elektr. Energieeinsatz je Tonne Zement [kWh/t_{ZE}]	114	Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie (2012)
Rohmaterialaufbereitung (ohne Brecher)		
Spitzenlast Rohmühle (Abb. 5) [MW]	Wert	Quelle(n)
	2	Klobasa et al. (2011)
Spez. elektr. Energieverbrauch Rohmühle (Abb. 5) [kWh/t_{ZE}]	26	Klobasa et al. (2011)
Spez. elektr. Energiebedarf Rohmehlmahlung [kWh/t_{RM}]	14-21 (*)	Berger und Hoenig (kein Datum), Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie (2012)
Spez. elektr. Energieverbrauch Trocknen und Mahlen [kWh/t_{ZE}]	30,32	KEMA Inc. (2005)
Zementmahlen		
Spitzenlast [MW]	Wert	Quelle(n)
	3	Klobasa et al. (2011)
Spez. elektrischer Energieverbrauch [kWh/t_{ZE}]	45	Klobasa et al. (2011)
Spez. elektrischer Energieverbrauch [kWh/t_{ZE}]	34,7	KEMA Inc. (2005)

Anmerkung zu (*): Für die Berechnung des tatsächlichen el. Energiebedarfs der Rohmehlmahlung ist eine Gewichtung der spezifischen Bedarfswerte entsprechend der Produktionsmengen des jeweiligen Werkes notwendig. Da diese Gewichtungsfaktoren den Autoren nicht verfügbar sind (sensible Unternehmensdaten) wurde für Berechnung des österreichischen Lastverschiebungspotenzials vereinfacht ein Mittelwert von 17,5 kWh/t verwendet.

Quelle: Literaturwerte

In Tabelle 8-4 erfolgt eine Darstellung des prozentuellen Anteils des elektrischen Energieverbrauches einzelner Prozesse am gesamten elektrischen Energieverbrauch einer Zementanlage.

Tabelle 8-4: Anteils des el. Energieverbrauches einzelner Prozesse am gesamten el. Energieverbrauch einer Zementanlage

Anteils des el. Energieverbrauches einzelner Prozesse am gesamten el. Energieverbrauch einer Zementanlage	[%]	Quellen
Rohmehlaufbereitung	35	Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie (2012)
Brennen und Kühlen des Klinkers	22	Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie (2012)
Zementmahlen, Verpacken, Verladen	38	Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie (2012)
Roh- und Zementmühlen insgesamt	65	Klobasa et al. (2011)

Quelle: Literaturwerte

Zusätzlich zur kurzfristigen Betrachtung ist es von Bedeutung, dass für die Feststellung des Lastverschiebungspotenzials auch die mittleren saisonalen Schwankungen der Zementproduktion beachtet werden. Klobasa et al. (2011) beziffern in der deutschen Zementindustrie die Auslastung zwischen 50 % und 130 % in Bezug auf die verfügbaren Produktionskapazitäten. Die durchschnittliche Auslastung der Mühlen wird mit 90 % angegeben.

Die Angaben und Vereinfachungen in Klobasa et al. (2011) führen mit den entsprechenden Werten aus Tabelle 2 und 3 und einer Jahres-Produktionsdauer von 8.760 Stunden zu folgendem theoretisch durchschnittlich verfügbaren technischen Lastverschiebungspotenzial für Österreichs Zementindustrie:

$$\frac{\text{jährliche Produktion} * \text{spez. elektr. Energiebedarf} * \text{Anteil Roh – und Zementmühlen}}{\text{jährliche Produktionsdauer}} = 36 \text{ MW}$$

Die saisonalen Produktions-Schwankungen von 50 % bis 130 % ergeben letztendlich ein theoretisches Potenzial zwischen ca. 18 MW und ca. 47 MW.

Anmerkung: Das Berechnungsergebnis nach der deutschen Klobasa-Formel (2011) (Klobasa, et al., 2011) (Klobasa et al., 2011) ist für Österreich nur bedingt geeignet, da sich die österreichische Zementindustrie in den Produktions- Lagerkapazitäten wesentlich von Deutschland unterscheidet. Dadurch ergibt sich insbesondere durch die Rohmehlmahlung in Deutschland ein im Verhältnis größeres Lastverschiebungspotenzial. In Österreich ist das Lastverschiebungspotenzial bei Rohmühlen daher geringer einzuschätzen, da nach Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie (2012) die Kapazitäten der Rohmehlmühlen in Österreich idR auf die Kapazitäten der Drehrohröfen abgestimmt sind.

Für die Feststellung des tatsächlich / wirtschaftlich nutzbaren Potenzial zur Verschiebung der Elektrizitätsnachfrage in der österreichischen Zementindustrie sind jedoch verschiedene Limitierungen und Rahmenbedingungen zu berücksichtigen, damit entweder die Leistungsfähigkeit auf gleichem Niveau bleibt oder durch den etwaigen entgangenen Gewinn Kompensationsleistungen erfolgen (sofern nicht andere regulatorische Maßnahmen vorgegeben werden).

8.4.2.3 Diskussion des österreichischen Lastverschiebungspotenzials der Zementindustrie aus Sichtweise der Produktionsbetriebe

In Österreich ist der Ofenprozess zur Zementklinkerherstellung ein Hochtemperaturprozess. Die Öfen sollten idealerweise durchgehend in Betrieb sein, damit keine Produktionseinbußen entstehen (ein Runter- oder Hochfahren der Öfen kann mehrere Tage dauern). Daher wird der Ofenprozess bei der Zementherstellung in Österreich idR kontinuierlich betrieben. Die Kapazitäten der Rohmehlmühlen sind grundsätzlich auf die Kapazitäten der Drehrohröfen abgestimmt (Anmerkung: Dies trifft auf den untersuchten Betrieb der Fallstudie in Abschnitt 5.2.1 nicht zu.). Von wesentlicher Bedeutung ist daher, dass der Ofenprozess mit ausreichend Rohstoff versorgt wird (Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie, 2012).

Bei den Zementmühlen ist das Lastverschiebungspotenzial wesentlich von der (variablen) Nachfrage abhängig. Grundsätzlich wäre es möglich „in Zeiten schwacher Nachfrage und bei aufrehtem Betrieb des Drehrohröfens (...) einzelne Zementmühlen mit einer Vorwarnzeit

von 15 Minuten für einen Zeitraum ab einer Stunde außer Betrieb zu nehmen.“ (Papsch, 2012) Allerdings ist dabei zu beachten, dass das Rohmaterial auf Grund seiner natürlichen Feuchte während des Mahlprozesses getrocknet werden muss, um das Verkleben an den Mahlkugeln oder Walztellern zu verhindern. Dazu wird meist Heißgas aus dem Brennprozess verwendet (Berger und Hoenig, kein Datum) Ebenso werden Zumahlstoffe, wie Hüttensand oder Kalkstein, mit Abgas aus der Ofenanlage getrocknet. Daher ist es sinnvoll, dass Zementmühlen in der Regel gemeinsam mit dem Ofenprozess betrieben werden, damit ein zusätzlicher Brennstoffeinsatz für die Trocknung des Rohmaterials und der Zumahlstoffe vermieden wird. Dies könnte ansonsten auch zu einer Verschlechterung der Energieeffizienz und erhöhten Kosten führen (Papsch, 2012).

Aus technischer Betrachtung sind die Auslastung, die (Zwischen)lagerkapazitäten, das Anlagen- und Prozessdesign daher entscheidend für die Lastverschiebung. Aus wirtschaftlicher Betrachtung sind die Kompensation der Mehrausgaben und der Risikoaufschlag der höheren Ausfallwahrscheinlichkeit entscheidend. Generell ist daher das Lastverschiebungspotenzial unter den Zementwerken stets individuell zu betrachten:

- Bei kleineren Werken mit kleineren Zwischenlagern ist das Potenzial verhältnismäßig geringer, da größere Reservemengen bevorratet werden müssen.
- Die Anlagentechnik ist stets unterschiedlich. Bei allen Zementwerken gibt es andere limitierende Faktoren (z. B. Ofen- vs. Mühlenkapazität).
- Die Herstellungsmethode ist stets unterschiedlich (z. B. Wahl der Additive und der sich dadurch ergebenden sinnvollen Temperaturniveaus für die Dihydrate).
- Die Nachfrage nach Zement hat einen großen Einfluss auf das Lastverschiebungspotenzial und ist abhängig von der Wirtschaftslage und der Jahreszeit. Zu Zeiten der Hochkonjunktur (z. B. 2008 und 2009) kann daher keine Lastverschiebung ermöglicht werden. Diese Erkenntnis stellt in Frage, ob durch die Zementindustrie eine nachhaltige Lastverschiebungsmaßnahme ermöglicht werden kann, da der Stromnetzbetrieb längerfristig und der Industriebetrieb marktorientiert handelt. Für eine nachhaltig betriebene Lastverschiebung sind daher nur Industriebetriebe von Relevanz, welche eine wesentliche Überkapazität insbesondere beim Zwischenlager und dem Ofenprozess aufweisen. Je kleiner die Betriebe sind, umso häufiger wird „just in time“ produziert. Davon leitet sich ab, dass Industriebetriebe nur dann als nachhaltiger Lastverschiebungsakteur fungieren können, wenn insbesondere bei „just-in-time“-produzierenden Betrieben anlagenseitige Anpassungen erfolgen (z. B. größere Zwischenlager und größere Mühlen, damit längere Stillstandzeiten ermöglicht werden können). Dafür sind Planungs- und Investitionssicherheiten zu schaffen zumal diese Investitionen sich finanziell tragen und abgesichert sein müssen.
- Hinzu kommt, dass auch die Rahmenbedingungen des übergeordneten Netzes stets verschieden sind (z. B. besteht bereits ein Engpass oder nicht).

Aus diesen Gegebenheiten lässt sich schlussfolgern, dass zur tatsächlichen Ausschöpfung des theoretisch festgestellten technischen Lastverschiebungspotenzials für Mühlen der Zementindustrie in Österreich entsprechende Rahmenbedingungen geschaffen werden müssen, damit auch wirtschaftlich realisierbares Verschiebepotenzial entsteht, weshalb das Lastverschiebungspotenzial der Mühlen in der österreichischen Zementindustrie von den Rahmenbedingungen abhängig ist.

Ähnliche Bedenken konnten auch in Interviews mit Anlagenbetreibern aus Deutschland festgestellt werden, wie in Paulus und Borggrefe (2009) und Kapitel 8.4.1.2 erwähnt wurde.

8.4.2.4 Diskussion des österreichischen Lastverschiebungspotenzials der Zementindustrie aus Sichtweise der Netzbetreiber

Neben regulatorischen Anpassungen sind für die Realisierung der Lastverschiebungspotenziale der Zementindustrie auch geeignete Geschäftsmodelle notwendig. Relevant für das jeweilige Geschäftsmodell ist die Auslastung des korrespondierenden Netzes. Es muss daher stets lokal betrachtet werden, wie ausgelastet das Netz ist und ob dadurch Netzausbaumaßnahmen vermieden werden können. Der Netzausbau ist stets von der Gesamtlast und der Netzcharakteristik abhängig. Wenn durch Lastverschiebung in den Zementwerken beispielsweise Lastspitzen (z. B. am Abend) vermieden werden können, stellt Lastverschiebung eine gute Alternative zum Netzausbau dar. Weiters ist Lastverschiebung dann eine interessante Alternative, wenn mehr Leistung nachgefragt werden müsste (z.B. durch Ausbaumaßnahmen des Industriebetriebes) und man dadurch den Netzausbau vermeiden kann. Finanzielle Anreize für die Zementhersteller könnten in Analogie zu den bereits schaltbaren (zeitvariablen) Tarifen ermöglicht werden. Aus Sichtweise der Netzbetreiber könnten diese finanziellen Anreize für alle Marktteilnehmer besonders lukrativ gestaltet werden (wirtschaftlich nutzbares Potenzial wäre vorhanden), sofern eine neue Kostenwahrheit über neue Rahmenbedingungen ermöglicht wird und netzseitige Kostenvorteile auf alle Akteure aufgeteilt werden.

8.5 Zusammenfassung der Lastverschiebungspotenziale und – kosten der Zementindustrie in Österreich

Simulationen und Berechnungen des Lastverschiebungspotenzials in Zementwerken ergeben ein technisches / theoretisches Lastverschiebungspotenzial. Obwohl abgeschätzt wird, dass die Zementindustrie einen zukünftigen Beitrag in der Merit-Order der Lastverschiebungspotenziale leisten könnte, bestehen viele noch zu lösende Einschränkungen, welche das wirtschaftlich nutzbare Potenzial begrenzen:

- Direkte Mehrkosten der Lastverschiebung (z. B. höherer Personalkostenaufwand für Wochenendarbeiten)
- Indirekte Mehrkosten (z. B. Risikoaufschläge für höhere Maschinenbeanspruchung durch häufigeres Abschalten, Verkürzung der Nutzungsdauer)
- Marktbedingte Probleme:
 - Kein Lastverschiebungspotenzial bei hoher Nachfrage (durch 100 %ige Auslastung in der Produktion)
 - Zu geringe finanzielle Anreize
- Prozesstechnische Probleme:
 - Kapazitäten der Mühlen
 - Auslastung der Materialzwischenlager
 - Benötigte Temperaturen zur Trocknung des Materials

Diese Erfahrungen decken sich mit nationalen und internationalen Praxiserkenntnissen zur Implementierung von Lastverschiebungsmaßnahmen in der Zementindustrie. Die aktuellen Rahmenbedingungen lassen daher eine wirtschaftliche Nutzung des vorhandenen

technischen Lastverschiebungspotenzials nur dann zu, wenn die Mehraufwendungen der österreichischen Zementindustrie finanziell kompensiert werden können.

Für konkrete Aussagen zum Lastverschiebungspotenzial der österreichischen Zementindustrie sind jedoch weitere Untersuchungen notwendig, indem sämtliche Einflussfaktoren (Lastgänge, Lastspitzen und -täler, Auslastungen der Mühlen, Füllstände der Materialzwischenlager, Kosten und Preise, usw.) in eine konkrete Berechnungen der notwendigen wirtschaftlichen Kompensation einfließen. Dies erfordert stets eine individuelle Betrachtung der österreichischen Zementwerke zumal sich die Produktionsstätten voneinander wesentlich unterscheiden (z. B. Unterschiede in den Kapazitätsverhältnismäßigkeiten zwischen Rohmehlmühlen und Drehrohröfen).

Die finanziellen Vorteile, welcher der Netzbetreiber weiter geben kann, sind aktuell in Österreich nicht / kaum ausreichend, damit das technische Lastverschiebungspotenzial der österreichischen Zementindustrie ausgeschöpft werden kann. Dies erfordert die Schaffung eines geeigneten institutionellen Rahmens. Letztlich ist es vom politischen Willen abhängig, ob die Rahmenbedingungen für Lastverschiebung entsprechen geschaffen werden.

9 Zusammenfassung

Michael Schmidthaler

Das Projekt „Loadshift“ untersucht die mögliche Dauer und die Kosten für Lastverschiebung in Österreich. Dieses Arbeitspapier analysiert ausgewählte Sektoren des produzierenden Bereichs um diesen historisch, gesellschaftlich sowie auch volkswirtschaftlich besonders relevanten Produktionsbereich hinsichtlich seiner Tauglichkeit für Lastverschiebungsmaßnahmen zu untersuchen.

Dieses Arbeitspapier stellt die Eckpunkte dieser Analyse vor und präsentiert technische wie auch wirtschaftliche Charakteristika von Lastverschiebungsansätzen in den Sektoren:

- Chemische Industrie
- Elektrostahlerzeugung
- Nichteisen-Metalle
 - Aluminiumherstellung
 - Kupferproduktion
- Metallerzeugung und -bearbeitung
 - Gießereien
 - Metallverarbeitung und Wärmebehandlung)
- Zellstoff- und Papierindustrie

Zentrales Ergebnis ist die Erkenntnis, dass übergreifend über alle Sektoren insbesondere Prozesse die als „zeitunkritisch“ klassifiziert werden können, für Lastverschiebungsmaßnahmen geeignet sind (Wirtschaftskammer, 2012). Gleichzeitig sind den aktuellen Marktherausforderungen zum Trotz die Anreize, diese Potenziale zu heben im letzten Jahrzehnt rückläufig.⁹³ Festzuhalten ist, dass für die Sektoren Zementindustrie, Chemische Industrie, Zellstoff- und Papierindustrie sowie Stahlerzeugung das höchste Potenzial ausgewiesen wird.

In Hinblick auf die Branchen mit den relevantesten Potenzialen wird auf ähnliche Ergebnisse in der einschlägigen Literatur verwiesen. Zwar sind die Projektergebnisse nicht deckungsgleich, doch ist ein allgemeiner Trend erkennbar (siehe auch Berger et al. (2013) sowie Klobasa et al. (2011) und Popp und Klobasa (2013) für Deutschland).

Ein Standardwerk der österreichischen Literatur zum Thema Lastverschiebung von Gutschi und Stigler (2008) findet folgende Gesamtpotenziale der hier ebenfalls untersuchten Sektoren (siehe auch Tabelle 2-2):

- | | | |
|-------------------------------|-----|----|
| • Chemie und Petrochemie: | 64 | MW |
| • Papier und Druck: | 148 | MW |
| • Eisen- und Stahlproduktion: | 126 | MW |
| • Nichteisen-Metalle: | 26 | MW |

⁹³ Dies wird von Experten teilweise auf die sehr geringen (und rückläufigen) leistungsgebundene Preiskomponenten zurückgeführt. Grundsätzlich ist für Österreich festzuhalten, dass die im Zuge der Elektrizitätsmarktregulierung (beginnend ab 2001) auftretenden Reduktionen des Leistungspreises von rund 200 €/kW auf unter 20 €/kW p.a. einen signifikant negativen Anreiz für Unternehmen mit energieintensiven Prozessen darstellen, die technischen und organisatorisch/logistischen Möglichkeiten des demand side managements (DSM) umfangreich in Anspruch zu nehmen.

9.1 Ableitung von Handlungsempfehlungen

Eine gewisse Interaktion, wenn nicht gar Konkurrenz von Lastverschiebungsmaßnahmen ist im Vergleich zu Regelenergiebereitstellung vorhanden. Da die Märkte für Regel- und Ausgleichsenergie vergleichsweise gut entwickelt sind, und eine technische Verknappung der benötigten Bereitstellungskapazitäten nicht absehbar ist, ist ein Abgleich der nachgefragten Regelenergie und der erzielten Auktionsergebnisse als Ankergröße für die wirtschaftlichen Charakteristika von Lastverschiebungsmaßnahmen zielführend. Vor allem in Hinblick auf die Sekundär- und Tertiärregelenergiebereitstellung besteht eine bedeutende Schnittmenge, wobei in diesem Bericht ausschließlich auf die verbraucherseitigen Lastmanagementmaßnahmen eingegangen wird.

Maßnahmen zur Lastverschiebung werden in ihrer Umsetzung deutlich erleichtert, wenn vordefinierte Lastreduktionsmechanismen⁹⁴ vorgesehen sind.

9.2 Ausblick

Die Im Zuge des Ausbaus erneuerbarer Energien entstehende Zunahme von Produktionsspitzen werden in den nächsten Jahren wesentliche Auswirkungen auf die Stromnetze haben. Dies ist von verbraucherinduzierten Bedarfsspitzen zu trennen (Siehe Diskurs Höchstlast in Kapitel 2.2.1.

Lastverschiebungsansätze sind in keiner direkten Konkurrenz zu Netzausbaumaßnahmen zu sehen. Aus Sicht der Versorgungssicherheit ist eine Weiterentwicklung der bestehenden Transport- und Verteilnetzkapazitäten regional zu bewerten. Dennoch können durch Lastverschiebung potenziell hohe Netzausbaukosten und in weiterer Folge entstehende Wartungskosten vermindert werden. Lokale Produktionsspitzen könnten dann auch von lokalen Betrieben aufgenommen werden und müssten somit nicht über weite Distanzen mit entsprechenden Leitungsverlusten übertragen werden.

Um einspeisebedingten Herausforderungen (beispielsweise durch die Zunahme der Produktion mittels intermittierender, erneuerbarer Energieträger) gegenzusteuern können Lastverschiebungsansätze in der Industrie neben dem Netzausbau, weitreichender Implementierung moderner Mess-, Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) sowie die Weiterentwicklung von potenziellen Speichertechnologien dazu beitragen auch in Zukunft ein hohes Niveau an Versorgungssicherheit und Systemeffizienz gewährleisten zu können.

9.3 Umsetzung und Anreize

Die verschiedensten Anwendungsgebiete und Einsatzbereiche von elektrischer Energie in den einzelnen Sektoren der Industrie erfordern sowohl in technischer als auch in wirtschaftlicher Hinsicht individuell angepasste Ansätze zur Lastverschiebung beispielsweise in Verbindung mit speziellen (nicht statischen) Netz- und Arbeitskomponenten des Stromtarifs. Die Ermittlung des tatsächlichen Potenzials und der entsprechenden Verschiebungszeiten ist individuell von teilnehmenden Betrieben durch betriebswirtschaftliche Optimierung zu ermitteln und sollte unter Absprache mit dem jeweiligen Energieversorger erfolgen.

⁹⁴ Wie jene, die in der deutschen Abschaltverordnung (AbLaV) vorgesehen sind.

Im Sinne der Wirtschaftlichkeit sind die Sektoren zu bevorzugen welche große Verschiebungspotenziale bei vergleichsweise geringen Kosten aufweisen. In Hinblick auf anfallende Investitionen und den technischen Aufwand stellen die Sektoren mit Großverbrauchern (welche keine 24 h 365 Tage/Jahr in Betrieb sind) wie Industrieöfen oder Mahlwerke gute Ausgangspunkte für eine entsprechende Umsetzung von Lastverschiebungsansätzen dar. Durch Vereinheitlichung/Standardisierung von Systemteilen wie Ventilatoren oder Beleuchtungsgruppen welche sehr ähnliche Potenziale und Verschiebungszeiten aufweisen können in weiterer Folge auch kleinere Verbraucher zu entsprechenden Gruppen und somit effizient auf Lastverteilung umgestellt werden.

In Hinblick auf den diskutierten Änderungsbedarf der Markt- und Tarifstruktur im Übertragungs- und Verteilnetz ist auf die Notwendigkeit der geänderten Rahmenbedingungen hinzuweisen. Die seit den späten 1990er Jahren (mit Veränderungen) geltenden Marktregeln sind insbesondere aufgrund der sehr dynamischen Entwicklung zu adaptieren. Vor allem die geringen Leistungskomponenten werden von Netzbetreibern vielfach als suboptimal angesehen. Grundsätzlich ist für Österreich festzuhalten, dass die im Zuge der Elektrizitätsmarktregulierung (beginnend ab 2001) auftretenden Reduktionen des Leistungspreises von rund 200 €/kW auf mittlerweile unter 20 €/kW p.a. einen negativen Anreiz für Unternehmen mit energieintensiven Prozessen darstellt, die technischen und organisatorisch/logistischen Möglichkeiten der Verbrauchsglättung umfangreich in Anspruch zu nehmen.

Es gilt unter Einbeziehung sämtlicher *stakeholder* Adaptionen für das Marktmodell zu skizzieren und auf ihre Tauglichkeit zu innovativen verbraucherseitigen Maßnahmen beizutragen zu analysieren.

Die Einbindung moderner Mess-, Kommunikations- und Informationstechnologien, wird zumindest im Haushaltsbereich als ein zentraler Eckpunkt einer tiefgründigen Reform hin zu *smarten grids* gesehen. Auch hier gilt es Möglichkeiten und Rahmenbedingungen zu analysieren und gegebenenfalls regulatorisch zu unterstützen.

Forschungsbedarf besteht hinsichtlich der Abschätzung der Effekte moderner Technologien und verbesserter Informationsmöglichkeiten (Stichwort Smart Metering) in Hinblick auf Lastverschiebung. Neue, unabhängige, Marktteilnehmer können durch Bereitstellung neuer Serviceleistungen unter Verwendung präziser Kundendaten und flexibler Lastgestaltung zu einer insgesamt höheren Gesamtsystemeffizienz beitragen.

9.4 Kostenkurve

Die in Abbildung 9-1 ersichtliche Kostenkurve basiert auf den Werte der einzelnen Sektoren. Die Zementindustrie zeigt sich dabei als der kostengünstigste Sektor mit unter 100 €/MWh wobei klar ersichtlich ist, dass der überwiegende Teil an verlagerbarer Leistung und somit das größte Potenzial in den Sektoren Elektrostahlerzeugung, Papierindustrie und Chemische Industrie im Preisniveau von etwa 200 €/MWh liegt. Dem gegenüber stehen Sektoren wie Metallerzeugung und Bearbeitung als auch Nicht-Eisen Metalle mit vergleichsweise hohen Verlagerungskosten mit über 1.000 €/MWh und geringerem Potenzial.

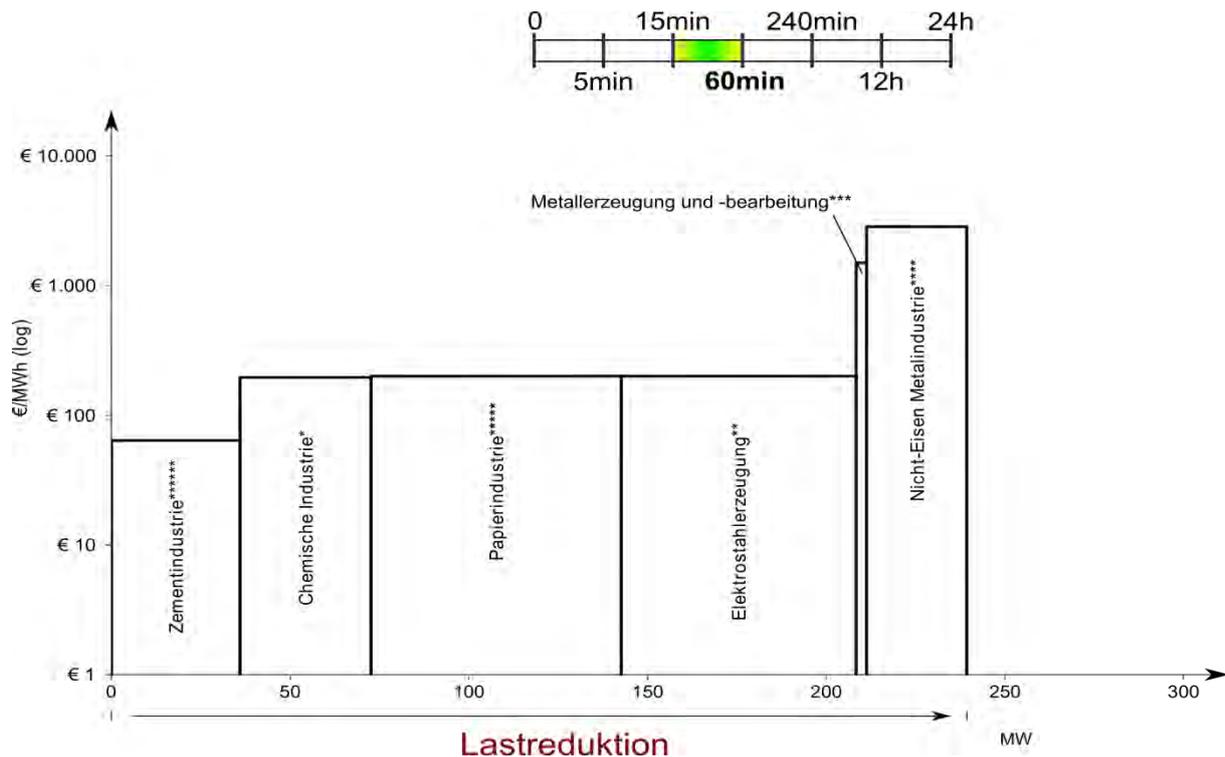


Abbildung 9-1: Cost Curve Sektor Industrie (16-59 min), Quelle: Werte aus den Sektoren

*Chemische Industrie: Über den Jahresstromverbrauch gewichtete durchschnittliche Kosten berechnet aus den Kosten pro MW.

**Elektrostahl: Die österreichweit erhobenen Lastverschiebungspotenziale von rund 60 MW sind vor allem in Hinblick auf die hohe Wertschöpfung in diesem Sektor nur unter Bereitstellung adäquater Anreizstrukturen möglich. Eine Ausschöpfung eines Teils des Verlagerungspotenzials ist zu Kosten von rund 200 €/MWh möglich. Es wird davon ausgegangen, dass die Elektrostahlproduktion in der Zukunft steigen wird.

***Metallerzeugung und -bearbeitung: Die verschiebbare Leistung wurde unter der Annahme eines konstanten Leistungsbedarfs berechnet. Das ausgewiesene Potenzial ist als Untergrenze anzusehen, da vielfach Chargenbetrieb vorherrscht, der jedoch aus Datensicht nicht erhoben werden konnte. Die Kosten für Lastverschiebungsmaßnahmen stellen mit 1.500 €/MWh aus aktueller Sicht kaum realisierbare ökonomischen Grenzen der Anreizbereitstellung dar.

****Nichteisenmetalle: Unternehmen im Sektor Nichteisen-Metalle weisen eine große Heterogenität auf. Aufgrund dieser Branchenstruktur wird von einem Lastverschiebungspotenzial von 28 MW ausgegangen. Es wird ein gesamtstaatliches Verschiebepotenzial von 800 bis 7.200 MWh p.a. identifiziert. Je nach Ausgestaltung des Anreizsystems steht dieses Potenzial zu Kosten von rund 2.850 €/je MWh zur Verfügung. Auf die eingeschränkte Vergleichbarkeit der Kostenstruktur sei beispielsweise im Vergleich zum Leitmarkt Deutschland hingewiesen.

*****Papierindustrie: Betrachtet wurden Prozesse am Holzplatz, in der Altpapieraufbereitung und bei der Holzstoffherstellung.

*****Zementindustrie: Annahme der Verschiebbarkeit von 12 % (Verlagerbare Energie/Strombedarf) des Jahresstromverbrauchs berechnet aus den deutschen Werten für Zement und Rohrmöhlen (Klobasa et al., 2009). Wert für Steine, Erden, Glas aus der Cost Curve von Berger et al. (2012).

Factbox Lastverschiebung in der Industrie

Die analysierten Produktionsbereiche weisen unterschiedlich geeignete Voraussetzungen für Lastverschiebung auf. Die Sektoren Zementindustrie, Erzeugung chemischer Produkte, die Zellstoff- und Papierindustrie sowie Stahlerzeugung weisen das höchste Potenzial auf. Gleichzeitig ist festzuhalten, dass die diesem Arbeitspapier zugrunde gelegte Arbeitshypothese, die Lastspitze um rund 400 MW⁹⁵ durch Maßnahmen der Industrie zu reduzieren, nur unter größtmöglichen Anstrengungen realisierbar ist.

Die Kosten für Lastverschiebung sind aufgrund der sektoralen Heterogenität sowie der Strukturgröße ebenfalls unterschiedlich hoch. Jedenfalls ist die Wirtschaftlichkeit von bilateralen Lastverschiebungskontrakten im aktuellen Marktumfeld schwer darstellbar.

⁹⁵ Dies entspricht einer Höchstlast von rund 9.600 MW, wie dies noch im Jahr 2006 der Fall war.

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Nutzenergieanalyse elektrischer Energie im produzierenden Bereich	7
Abbildung 2-1:	Dauerlinie des österreichischen Stromverbrauchs 2011, Anzahl der Tage	10
Abbildung 2-2:	Ungeplante Versorgungsunterbrechungen in Europa in Minuten	11
Abbildung 2-3:	Sektoraler Stromverbrauch prozentuelle Verteilung Österreich 2012.....	12
Abbildung 2-4:	Entwicklung des jährlichen Endverbrauchs mit elektrischer Energie ausgewählter Wirtschaftsbereiche des produzierenden Sektors.....	13
Abbildung 2-5:	Verteilung der Endverbrauchs elektrischer Energie der in Loadshift untersuchten Sektoren.....	13
Abbildung 3-1:	Entwicklung des Endverbrauchs mit elektrischer Energie des Sektors "Herstellung von chemischen Erzeugnissen" in GWh, Quelle: Statistik Austria (2010).....	24
Abbildung 4-1:	Entwicklung des elektrischen Endenergieverbrauchs des Sektors "Herstellung von Metallerzeugnissen" in GWh.....	34
Abbildung 4-2:	Energieverbrauch je Prozessschritt bei der Erzeugung von Warmband im Elektrostahlwerk.....	34
Abbildung 5-1:	Anzahl der Betriebe und abgesetzte Produktion (in Mrd. €) der Nichteisen-Metallindustrie in Österreich	44
Abbildung 5-2:	Energieverbrauch und relative Produktionsfaktoren für Primäraluminium	48
Abbildung 5-3:	Aufbereitungsschritte von Kupfer in Abhängigkeit der Ausgangsmaterialqualität.....	48
Abbildung 6-1:	Entwicklung des Endverbrauchs mit elektrischer Energie des Sektors "Metallerzeugung und –bearbeitung“ in GWh.....	57
Abbildung 6-2:	Produktion von Guss nach Ländern weltweit in Mio. t (Basisjahr 2011).....	60
Abbildung 7-1:	Papierherstellung	73
Abbildung 7-2:	Standorte der österreichischen Papierindustrie	75
Abbildung 7-3:	Entwicklung des Endverbrauchs mit elektrischer Energie des Sektors „Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus“ in GWh.....	76
Abbildung 7-4:	Holzaufbereitung.....	77
Abbildung 7-5:	Aufbereitung von Altpapier,	78

Abbildung 7-6:	Mechanische Holzstoffherstellung (links) und thermochemische Holzstoffherstellung (rechts).....	78
Abbildung 8-1:	Prozesse zur Zementherstellung.....	82
Abbildung 8-2:	Entwicklung des Endverbrauchs mit elektrischer Energie des Sektors "Herstellung von Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden" in GWh.....	83
Abbildung 9-1:	Cost Curve Sektor Industrie (16-59 min), Quelle: Werte aus den Sektoren	97

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1:	Für Lastverschiebung analysierte Prozesse und Wirtschaftsbereiche.....	8
Tabelle 2-1:	Kriterienkatalog für Lastverschiebungsmaßnahmen.....	9
Tabelle 2-2:	Abschätzung des maximalen technischen Potenzials für verbraucherseitige Lastreduktion in Österreich	15
Tabelle 2-3:	Stromintensität österreichischer Wirtschaftsbranchen in Relation zur Bruttowertschöpfung (Basisjahr 2002).....	16
Tabelle 2-4:	Analyse des Lastverschiebungspotenzials in Deutschland.....	16
Tabelle 2-5:	Sektorspezifisches Lastverschiebungspotenzial in Deutschland	17
Tabelle 2-6:	Spezifische Erlöse verschiedener Wirtschaftsbereiche für die Bereitstellung notwendiger Kapazitäten für Lastverschiebung [€/MWh] (Basisjahr 2010).....	17
Tabelle 2-7:	Spezifische Erlöse verschiedener Wirtschaftsbereiche für die Bereitstellung notwendiger Kapazitäten für Lastverschiebung [€/MWh] (Basisjahr 2030).....	18
Tabelle 2-8:	Verfügbare Lastmanagementansätze zur Nutzung im Regelenergiemarkt beziehungsweise für Redispatch-Maßnahmen bei Anwendung der Vergütung auf Basis der AbLaV für Süddeutschland.....	18
Tabelle 2-9:	Ergebnis einer Befragung von deutschen Industrieunternehmen zur Eigenabschätzung der Lastverschiebungspotenziale	19
Tabelle 2-10:	Eigenabschätzung der maximalen Abrufdauer für Lastmanagementmaßnahmen gemäß Onlineumfrage unter deutschen Industrieunternehmen	19
Tabelle 2-11:	Leistungsbedarf von energieintensiven Prozessen in Süddeutschland	19
Tabelle 2-12:	Sektorale Eignung für Lastmanagement von Ventilatoren in Industrieunternehmen	20
Tabelle 2-13:	Indikative Abschätzung des Lastverschiebungspotenzials in Österreich auf Basis der Berechnungen für Deutschland	21
Tabelle 2-14:	Abschätzung der spezifischen Opportunitätskosten ausgewählter österreichischer Industriebetriebe für verbraucherseitiges Lastmanagement (Basisjahr 2005).....	22
Tabelle 3-1:	Betrachtete für Lastverschiebung relevante Verfahren in Österreich	23
Tabelle 3-2:	Kennzahlen der Chloralkali-Elektrolyse in Österreich	24
Tabelle 3-3:	Elektrische Parameter der Chloralkali-Elektrolyse in Österreich (Basisjahr 2012).....	25

Tabelle 3-4:	Kostenerhebung der Lastverschiebung bei Chlor-Alkali-Elektrolyse	26
Tabelle 3-5:	Betrachtete für Lastverschiebung relevante Stoffe	27
Tabelle 3-6:	Kennzahlen zur Luftzerlegung in Österreich (Basisjahr 2012)	28
Tabelle 3-7:	Elektrische Parameter der Luftzerlegung in Österreich	29
Tabelle 3-8:	Kostenerhebung der Lastverschiebung bei Luftzerlegung	30
Tabelle 4-1:	Untersuchte Unternehmen in ÖNACE Abteilung 24 Abschnitts C: Metallerzeugung und -bearbeitung	32
Tabelle 4-2:	Jährliche Statistik der Produktion von Stahl und Elektro Stahl (Basisjahr 2009)	32
Tabelle 4-3:	Auszug der Gütereinsatzstatistik 2012 für Roheisen- und Stahlerzeugung	35
Tabelle 4-4:	Auflistung der Elektro Stahlwerke, Produktionsart und -charakteristika in Österreich	36
Tabelle 4-5:	Spezifischer Energiebedarf und Abschätzung des prozessspezifischen Gesamtenergiebedarfs der Elektro Stahlerzeugung in Österreich.....	37
Tabelle 4-6:	Übersicht möglicher Lastverschiebungszeiträume in der Elektro Stahlerzeugung	38
Tabelle 4-7:	Relatives Verschiebepotenzial, Eignung für Lastverschiebung in Prozent des typischen sektoralen Leistungsbedarfs (Verschiebepotenzial relativ von 0-100 %)	39
Tabelle 4-8:	Lastverschiebungskosten der Elektro Stahlherstellung in Österreich	39
Tabelle 4-9:	Zusammenfassung der Last- und Energieverschiebungspotenziale der Elektro Stahlerzeugung in Österreich	40
Tabelle 5-1:	Gütereinsatzstatistik der Nichteisen-Metalle im Jahr 2012	42
Tabelle 5-2:	Überblick der Produktion von Nichteisen-Metalle in Österreich	43
Tabelle 5-3:	Branchenstromverbrauch der Nichteisen-Metallindustrie.....	44
Tabelle 5-4:	Relativer Energiebedarf der Primäraluminiumproduktion.....	46
Tabelle 5-5:	Spezifischer elektrischer Energiebedarf in der Aluminiumherstellung.....	47
Tabelle 5-6:	Kennzahlen der globalen Kupferproduktion (Basisjahr 2010)	49
Tabelle 5-7:	Struktur der Kupferproduktion in Österreich und Opportunitätskosten in der Kupferproduktion	50
Tabelle 5-8:	Zusammenfassung der Lastverschiebungspotenziale der Nichteisen-Metalle.....	51

Tabelle 5-9:	Relatives Verschiebepotenzial, Eignung für Lastverschiebung in Prozent des typischen sektoralen Leistungsbedarfs (Verschiebepotenzial relativ von 0-100 %)	52
Tabelle 5-10:	Aufbereitungsschritte in Abhängigkeit der Schrottqualität.....	53
Tabelle 5-11:	Lastverschiebungskosten der Nichteisen-Metalle in Österreich.....	53
Tabelle 6-1:	Gruppen der Abteilung 24 Abschnitt C: Metallerzeugung und -bearbeitung.....	55
Tabelle 6-2:	Übersicht des Sektors in ÖNACE der Abteilung 25 Abschnitt C: Herstellung von Metallerzeugnissen.....	56
Tabelle 6-3:	Nachfrage nach elektrischer Energie von Unternehmen im Sektor Metallerzeugung- und -bearbeitung sowie von Gießereien in Österreich (Basisjahr 2010)	56
Tabelle 6-4:	Nachfrage nach elektrischer Energie von Unternehmen im Sektor Herstellung von Metallerzeugnissen sowie Oberflächenveredelung und Wärmebehandlung in Österreich (Basisjahr 2010).....	57
Tabelle 6-5:	Volkswirtschaftliche Bedeutung des Sektors Metallerzeugung und -bearbeitung in Österreich.....	58
Tabelle 6-6:	Metalle und ihre Schmelzaggregate zur Verflüssigung.....	59
Tabelle 6-7:	Auszug der Gießereien aus der Gütereinsatzstatistik (Basisjahr 2011).....	60
Tabelle 6-8:	Produktion von Eisenguss, Schwer- und Leichtmetallguss in Österreich (Basisjahr 2011/2012).....	61
Tabelle 6-9:	Übersicht der Gießereien in Österreich	62
Tabelle 6-10:	Spezifischer Energieverbrauch der Gießereien in Österreich	64
Tabelle 6-11:	Spezifischer Energieverbrauch der Gießereien in Europa	64
Tabelle 6-12:	Unterschiede in der Prozesskette von Gießereien und Leistungsbedarf verschiedener Anwendungen.....	64
Tabelle 6-13:	Energie- und Leistungsbedarfs sowie eine Abschätzung des Lastverschiebungspotenzial von Gießereien in Österreich	65
Tabelle 6-14:	Gütereinsatzstatistik der Metallverarbeitung in Österreich (Basisjahr 2012).....	67
Tabelle 6-15:	Temperaturbereich und Zeitdauer von Wärmebehandlungsverfahren	68
Tabelle 6-16:	Zusammenfassung der Lastverschiebungspotenziale im Sektor Metallerzeugung und -bearbeitung.....	70
Tabelle 6-17:	Relatives Verschiebepotenzial, Eignung für Lastverschiebung in Prozent des typischen sektoralen Leistungsbedarfs (Verschiebepotenzial relativ von 0-100%)	71

Tabelle 6-18:	Lastverschiebungskosten der Metallerzeugung und - bearbeitung in Österreich	72
Tabelle 7-1:	Elektrischer Energieverbrauch der Papierindustrie.....	75
Tabelle 7-2:	Stromerzeugung- und verbrauch der Papierindustrie (GWh).....	79
Tabelle 7-3:	Relatives Verschiebepotenzial, Eignung für Lastverschiebung in Prozent des typischen sektoralen Leistungsbedarfs (DSM Eignung, Verschiebepotenzial relativ von 0-100 % in Zehnerschritten)	81
Tabelle 8-1:	Kennzahlen der Zementindustrie in Österreich (2010)	84
Tabelle 8-2:	Zementindustrie: Ergebnisse im Überblick: Gütereinsatzstatistik 2012.....	85
Tabelle 8-3:	Ausgewählte Kennzahlen der österreichischen Zementindustrie.....	89
Tabelle 8-4:	Anteils des el. Energieverbrauches einzelner Prozesse am gesamten el. Energieverbrauch einer Zementanlage	89

12 Literaturverzeichnis

- Agora Energiewende, 2013. Lastmanagement als Beitrag zur Deckung des Spitzenlastbedarfs in Süddeutschland, München: Endbericht einer Studie von Fraunhofer ISI und der Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft.
- Air Liquide, 2013. Anlagen zur Luftzerlegung. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/lmk2hvp> [Zugriff am 25 04 2013].
- Air Products, 2013. Energy Storage. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/kzyeok9> [Zugriff am 11 07 2013].
- Aluinfo, 2011. Weltweite Aluminiumproduktion. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/nytblw> [Zugriff am 07 05 2014].
- AMAG, 2014. Geschäftsbericht 2013, ohne Ort und Datum
- Apel, R. et al., 2012. Demand Side Integration: Lastverschiebungspotentiale in Deutschland, Frankfurt: VDE VERBAND DER ELEKTROTECHNIK.
- Austropapier, 2012. Nachhaltigkeitsbericht 2012. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/nlacreu> [Zugriff am 09 04 2014].
- Austropapier, 2012. Statistiken der Österreichischen Papierindustrie. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/q6eo9o3> [Zugriff am 09 04 2014].
- Austropapier, 2014. Statistik. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/m5foaff> [Zugriff am 06 04 2014].
- Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, 2005. Effiziente Energienutzung in Nicht-Eisen-Metall-Schmelzbetrieben, Augsburg: ohne Datum
- Behrens, T. & Baake, E., 2002. Kostenreduzierung durch betriebliches Lastmanagement in einer Gießerei, Elektrowärme International: ohne Datum
- Berger, H., Eisenhut, T., Polak, S. & Hinterberger, R., 2012. Demand Response Potential of the Austrian industrial and commerce sector, Wien: Klima- und Energiefonds.
- Berger, H., Eisenhut, T., Polak, S. & Hinterberger, R., 2013. Demand Response Potential of the Austrian industrial and commerce sector. Endbericht., Wien: ohne Datum
- Berger, H. & Hoenig, V., kein Datum Energieeffizienz der österreichischen Zementindustrie, ohne Ort und Datum
- Berner, D. et al., 2014. Flexlast – Erzeugung von Sekundär-Regelleistung durch ein dynamisches Lastmanagement bei Grossverbrauchern, Zürich: Bundesamt für Energie BFE.
- Beysel, G., 2009. Enhanced Cryogenic Air Separation – A proven Process applied to Oxyfuel. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/krbfsjz> [Zugriff am 21 03 2013].
- Böhler Edelstahl GmbH & Co KG, 2011. Böhler Edelstahl. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/n4e49h3> [Zugriff am 29 04 2014].
- Bosse, M., 2014. Energiemanagementsysteme in Giessereien. s.l.:IFG Institut für Gießereitechnik.
- Breitenfeld AG, 2014. Unternehmensgeschichte. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/mnyak3r> [Zugriff am 29 04 2014].
- Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie, 2011. Gussproduktion Deutschland. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/mnbuom6> [Zugriff am 30 04 2014].
- Chemical Market Associates Inc., 2011. Global Chlor-Alkali Market Report. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/kvn6x3n> [Zugriff am 16 09 2013].

Council of European Energy Regulators, 2012. 5th ceer benchmarking report on the quality of electricity supply 2011. Technical report, Brussels: ohne Datum

Dena, 2010. dena-Netzstudie II - Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung im Zeitraum 2015 – 2020 mit Ausblick auf 2025, Berlin: ohne Datum

DerStandard, 2009. Breitenfeld eröffnet neues Edelstahlwerk. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/k25qlma> [Zugriff am 29 04 2014].

DESTATIS, 2012. Produktionswert, -menge, -gewicht und Unternehmen der Vierteljährlichen Produktionserhebung: Deutschland, Jahre, Güterverzeichnis (9-Steller). [Online] Available at: <http://tinyurl.com/mkh7hwn> [Zugriff am 30 07 2013].

Deutsche Energie-Agentur, 2014. Geeignete Branchen und Prozesse. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/qgyd2zu> [Zugriff am 04 07 2014].

Dichtl, H., 1994. Energieverbrauch und CO2-Emissionen in der österreichischen Gießereindustrie.. Giesserei-Rundschau 11/12, 41. Jahrgang, 11/12(41).

DonauChem, 2012. Telefoninterview zum Werk in Brückl. Ohne Ort und Datum

Du Pont, 2000. Nafion ® Perfluorinated Membranes – User’s Guide. Ohne Ort und Datum

e-Control. 2013. Auswertung der Industriepreiserhebung Strom Jänner 2013. [Online] 2013. [Zitat vom: 12. 07 2013.] <http://tinyurl.com/prhvzwk>

E-Control, 2014. Charakteristische Kennzahlen der Leistung - E-Control. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/m2pxdok> [Zugriff am 1 7 2014].

EIGA European Industrial Gases Association, 2008. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/mpo6n33> [Zugriff am 24 02 2013].

EIGA European Industrial Gases Association, 2010. Indirect CO2 emissions compensation: Benchmark proposal for Air Separation Plants. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/mhmv86x> [Zugriff am 22 02 2013].

Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz, 2013. Blackout-simulator. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/nhzrsj6> [Zugriff am 23 05 2014].

Euro Chlor, 2012. Chlorine Industry Review 2011-2012. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/oyhabnk> [Zugriff am 03 06 2013].

Eurofer - The European Steel Association, 2014. Total Crude Steel Production. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/o39m3pk> [Zugriff am 09 04 2014].

Europäische Kommission, 2014. Europas Stahlindustrie muss wettbewerbsfähig bleiben. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/psyw8dv> [Zugriff am 07 05 2014].

European Commission, 2013. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board, ohne Ort: European Commission.

Expertenworkshop Klima- und Energiefonds, 2013. Loadshift, Lastverschiebung in Haushalt, Industrie, Gewerbe und kommunaler Infrastruktur in Österreich, ohne Ort und Datum

Festel, G., Hassan, A., Leker, J. & Bamelis, P., 2001. Betriebswirtschaftslehre für Chemiker: Eine praxisorientierte Einführung. Ohne Ort:Springer Verlag.

FirmenABC Marketing GmbH, 2014. Borbet Austria GmbH. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/poakt7> [Zugriff am 2014 07 09].

FirmenABC Marketing GmbH, 2014. Georg Fischer Fittings GmbH. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/pwqy6mq> [Zugriff am 2014 07 09].

- FirmenABC Marketing GmbH, 2014. Johann Nemetz Co Gesellschaft. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/q45582o> [Zugriff am 2014 07 09].
- FirmenABC Marketing GmbH, 2014. Voestalpine Giesserei Linz GmbH. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/keuf5mw> [Zugriff am 2014 07 09].
- FirmenABC Marketing GmbH, 2014. Wagner Schmelztechnik GmbH. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/oupdau6> [Zugriff am 2014 07 09].
- FMMI, 2012. Maschinen und Metallwaren Statistik Juni. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/qcy3knl> [Zugriff am 19 11 2013].
- Frantes, B., Pucke, J., Reinhofer-Gubisch, M. & Rezania, R., 2014. Loadshift Projektbericht 7/9 - Lastverschiebung bei kommunalen Kläranlagen und Wasserversorgungssystemen, ohne Ort und Datum
- Gara, S. & Schrimpf, S., 1998. Behandlung von Reststoffen und Abfällen in der Eisen- und Stahlindustrie, Wien: Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie.
- Georg Fischer Fittings GmbH, 2014. Firmendaten. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/qhm3whl> [Zugriff am 2014 07 09].
- Gils, H. C., 2013. Abschätzung des möglichen Lastmanagementesinsatzes in Europa. Ohne Ort und Datum
- Gruber & Kaja High Tech Metals GmbH, 2013. Jahresfinanzbericht. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/qdubycd>
- Gutschi, C., 2007. Interdisziplinäre Beiträge zur Effizienzsteigerung im Energiesystem durch Energiespeicherung und Kraft-Wärme-Kopplung, ohne Ort und Datum
- Gutschi, C. & Stigler, H., 2008. Potenziale und Hemmnisse für Power Demand Side Management in Österreich. Graz, 15 02 2008
- Hassan, A., 2011. Möglichkeiten, Potenziale, Hemmnisse und Instrumente zur Senkung des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen von industriellen Branchentechnologien durch Prozessoptimierung und Einführung neuer Verfahrenstechniken. Karlsruhe: Fraunhofer ISI.
- Hasse, S., 2006. Verbräuche und Kosten beim Erschmelzen von Basiseisen für Gußeisen mit Kugelgraphit im gasbeheizten Kupolofen (nach R. Graf) . In: Taschenbuch der Gießerei-Praxis 2006. 2006 Hrsg. Deutschland: Schiele & Schön, p. S175.
- Hinterberger, R. & Polak, S., 2011. Lastverschiebung in Industrie und Gewerbe in Österreich - Chancen und Potentiale in zukünftigen Smart Grids, Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien: ohne Datum
- Horn, H., 2009. Werkstoffkunde Teil 10 – Wärmebehandlung. Institut für Werkstoffkunde HAW Hamburg. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/p3oux5j> [Zugriff am 10 12 2012].
- Hütter, D., Schüppel, A. & Stigler, H., 2013. Mögliche Anwendungen von industriellen DSM Potentialen und deren Auswirkungen, ohne Ort und Datum
- Hydro Aluminium, 2007. Die Aluminiumindustrie im Spannungsfeld weltweiter Märkte und regionaler Energieversorgung. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/prljusk> [Zugriff am 08 04 2014].
- Hydro, 2013. Hydro in Deutschland. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/ouydsqg> [Zugriff am 07 05 2014].
- ICIS, 2013. Caustic Soda (Europe) - Liquid Spot Prices, ohne Ort und Datum
- ICSG - International Copper Study Group, 2013. Copper production World. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/nwz73nx> [Zugriff am 11 4 2014].

Industriemagazin, 2012. Siemens-VAI entwickelt neuen Lichtbogenofen. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/lxm984a> [Zugriff am 26 8 2014].

Institut für ZukunftsEnergieSysteme, 2011. Abschätzung der Auswirkungen von Strompreiserhöhungen auf Branchen der stromintensiven Industrie. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/purcz3n> [Zugriff am 08 04 2014].

KEMA Inc., 2005. Industrial Case Study: The Cement Industry, Oakland, California: ohne Datum

Klobasa, M., 2007. Dynamische Simulation eines Lastmanagements und Integration von Windenergie in ein Elektrizitätsnetz auf Landesebene unter regelungstechnischen und Kostengesichtspunkten, ohne Ort und Datum

Klobasa, M., Erge, T. & Wille-Hausmann, B., 2009. Integration von Windenergie in ein zukünftiges Energiesystem unterstützt durch Lastmanagement, ohne Ort und Datum

Klobasa, M., Focken, U. & Bümmerstede, J., 2011. Kurz- bis mittelfristig realisierbare Marktpotenziale für die Anwendung von Demand Response im gewerblichen Sektor, Karlsruhe: Fraunhofer ISI.

Klobasa, M., Sensfuß, F., Cremer, C. & Ragwitz, M., 2007. Modelltechnische Untersuchung von Demand Response Potenzialen zur verbesserten Integration der Windenergie. Wien, ohne Datum

KOMMZEPT-Ingenieurbüro Hausmann, 2012. Untersuchungen und Erkenntnisse zur Verwendung von Tausalzlösungen im Straßenwinterdienst. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/mh4g528> [Zugriff am 12 07 2013].

Küchler, S. a. H. J., 2012. STROM- UND ENERGIEKOSTEN DER INDUSTRIE - PAUSCHALE VERGÜNSTIGUNGEN AUF DEM PRÜFSTAND, ohne Ort und Datum

Kupferinstitut, 2010. Produktionsmenge. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/kbpmmcq>

Lidbetter, R. T. & Liebenberg, L., 2011. Load-Shifting Opportunities for a typical south african cement plant, ohne Ort und Datum

Linde Engineering, 2013. Air Separation Plants. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/k6hcf8s> [Zugriff am 24 02 2013].

Marienhütte Stahl- u. Walzwerk GesmbH, 2014. Firmendaten. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/mblxbx9> [Zugriff am 29 04 2014].

Market Research, 2010. World Industrial Gases. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/loqngxs> [Zugriff am 23 02 2013].

Maschinenfabrik Liezen und Gießerei Ges.m.b.H., 2014. Firmendaten. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/maf3g9v> [Zugriff am 29 04 2014].

Mauschitz, G., 2011. Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie Berichtsjahr 2010, ohne Ort und Datum

Messer Austria GmbH, 2012. Telefongespräch, ohne Ort und Datum

Mitra, S., 2012. Multi-scale Demand-Side Management for Continuous Power-intensive Processes. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/lzppd3y> [Zugriff am 11 07 2013].

Montanwerke Brixlegg, 2014. Montanwerke Brixlegg. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/kkn3nkt> [Zugriff am 09 04 2014].

Muras, A., 2010. Allgemeine Grundlagen des Gießens, Münster: GRIN Verlag.

Oberhofer, M., 2013. Demand-Side-Management in Industrie und Gewerbe in Österreich, Graz: ohne Datum

- O'Brien, T. F., Bommaraju, T. V. & Hine, F., 2005. Handbook of Chlor-Alkali Technology, Band 1. Ohne Ort: Springer.
- Papsch, F., 2012. Lastverschiebung in der österreichischen Zementindustrie. Ohne Ort: E-Mail.
- Paul, S. & Paul, R., 2012. Grundlagen der Elektrotechnik und Elektrotechnik 2. TU Hamburg-Harburg, Deutschland: Springer.
- Paulus, M. & Borggreffe, F., 2009. Economic potential of demande side management in an industrialized country - in the case of Germany, ohne Ort und Datum
- Popp, D., 2013. Analysis of industrial demand response options in the German power market. Wien, ohne Datum
- Popp, D. & Klobasa, M., 2013. Analysis of industrial demand response options in the German power market, ohne Ort und Datum
- Pulm, P. & Raupenstrauch, H., 2014. Basispapier - Energieeffizienz in der Nichteisenmetall-Industrie - Entwurf, Leoben: ohne Datum
- Pulm, P. & Raupenstrauch, H., 2014. Energieeffizienz in der Eisen- und Stahlindustrie, Graz: ohne Datum
- Reichl, J., Schmidthaler, M. & Schneider, F., 2013. Power Outage Cost Evaluation: Reasoning, Methods and an Application. Journal of Scientific Research and Reports, 2(1), pp. 256-261.
- Roon, S. & Gobmaier, T., 2010. Demand Response in der Industrie - Status und Potenziale in Deutschland, München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V..
- Samad, T. & Kiliccote, S., 2012. SMART GRID TECHNOLOGIES AND APPLICATIONS FOR THE INDUSTRIAL SECTOR, ohne Ort und Datum
- Schmidthaler, M., Reichl, J. & Schneider, F., 2012. Der volkswirtschaftliche Verlust durch Stromausfälle - eine empirische Analyse für Haushalte, Unternehmen und den öffentlichen Sektor. Perspektiven der Wirtschaftspolitik, 13(4), pp. 308-336.
- Schmittinger, P. et al., 2000. Chlorine. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry.
- Siemens, 2012. Elektrostahlerzeugung. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/n2qwkv4> [Zugriff am 05 05 2014].
- SLR Steyr, 2012. Produktion. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/k6aokm4> [Zugriff am 09 07 2014].
- Statista, 2011. Produktion von Guss nach Ländern weltweit im Jahr 2011 (in Millionen Tonnen). [Online] Available at: <http://tinyurl.com/m64a77z> [Zugriff am 06 05 2014].
- Statista, 2014. Metallrecycling - Anteil der Sekundärproduktion nach Metallart in Deutschland 2012. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/k4pf9lc> [Zugriff am 22 7 2014].
- Statistik Austria, 2008. Klassifikationsdatenbank. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/n8wbk93> [Zugriff am 14 4 2014].
- Statistik Austria, 2008. ÖNACE Klassifikationsdatenband der Statistik Austria. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/ku8ao86> [Zugriff am 11 4 2014].
- Statistik Austria, 2009. Jährliche Statistik über den Brennstoff- und Energieverbrauch nach Art der Anlage. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/lotqk3f> [Zugriff am 11 04 2014].
- Statistik Austria, 2009. Jährliche Statistik über die Elektroenergiebilanz der Stahlwerke. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/lrj7e2g> [Zugriff am 09 04 2014].
- Statistik Austria, 2010. Energiegesamtrechnung. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/6ah9q62> [Zugriff am 09 07 2014].

Statistik Austria, 2012. Gesamtenergiebilanz Österreich. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/mactz3c> [Zugriff am 05 05 2012].

Statistik Austria, 2012. Gütereinsatzstatistik. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/l2pfefe> [Zugriff am 08 04 2014].

Statistik Austria, 2013. Konjunkturstatistik im Produzierenden Bereich – Band 2 (2011). [Online] Available at: <http://tinyurl.com/mg2gg4k> [Zugriff am 07 08 2014].

Statistik Austria, 2014. Energiebilanz Österreichs 1970 bis 2012. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/kp8fybg> [Zugriff am 08 04 2014].

Svehla, J., Krutzler, T. & Schindler, I., 2012. STAND DER TECHNIK DER ÖSTERREICHISCHEN GIESSEREIEN Gesetzliche Rahmenbedingungen, technische Möglichkeiten und Gießereibetriebe in Österreich, Wien: Umweltbundesamt.

TUG, 2013. Persönliche Kommunikation [Interview] 2013.

Umweltbundesamt, 2004. Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU), Referenzdokument über die Besten Verfügbaren Techniken für Schmieden und Gießereien. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/mndpk5u> [Zugriff am 12 05 2014].

Umweltbundesamt, 2004. Medienübergreifende Umweltkontrolle in ausgewählten Gebieten – Brixlegg. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/mfqmxbu> [Zugriff am 12 05 2014].

Umweltbundesamt, 2012. Stand der Technik der österreichischen Gießereien. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/pprhwfj> [Zugriff am 29 04 2014].

Umweltbundesamt, 2014. Klimarelevanz ausgewählter Recycling Prozesse in Österreich. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/mqjwqsh> [Zugriff am 26 05 2014].

VDE, 2013. Demand Side Integration - Lastverschiebungspotenziale in Deutschland , <http://tinyurl.com/mvjevg5> : Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik.

VDP - Verband deutscher Papierfabriken, 2014. Grafiken Papierindustrie. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/k7xto2o> [Zugriff am 11 08 2014].

VDZ - Verein Deutscher Zementwerke, 2010. Zementproduktion und Verbrauch Weltweit im Überblick. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/lhj4syg> [Zugriff am 26 05 2014].

Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie, 2012. Die Zementerzeugung in Österreich. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/ksr65nt>

Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie, 2012. Elektrischer Energieverbrauch Kennzahlen, ohne Ort und Datum

Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie, 2012. Zement - Fundament der Zukunft - Nachhaltigkeits-Update 2011/2012, ohne Ort und Datum

WCC World Chlorine Council, 2011. Sustainable Progress. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/q4zzjfx> [Zugriff am 17 01 2013].

Wirtschaftskammer, B. d. ö., 2012. [Interview] (19 11 2012).

Wirtschaftsvereinigung Metalle, 2013. NE-Metalle und ihre Eigenschaften. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/kh2u4dk> [Zugriff am 23 05 2014].

WKO, 2011/2012. Gießerei-Industrie. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/k3lusme> [Zugriff am 11 4 2014].

WKO, 2011/2012. Nachhaltigkeitsbericht/Sustainability report. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/mfc2zra> [Zugriff am 11 4 2014].

- WKO, 2011. Wirtschaftskammer Österreich - Gussproduktion. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/n4xghkq> [Zugriff am 15 11 2012].
- WKO, 2012. NE-Metall Betriebe und abgesetzte Produktion. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/l3gva6j> [Zugriff am 19 11 2012].
- WKO, 2012. NE-Metall Branchenzusammenfassung 1995-2012 Kurz. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/k7mzjkw> [Zugriff am 19 11 2012].
- Worldsteel Association, 2012. Crude steel production, 1980-2012. [Online] Available at: <http://tinyurl.com/p3892wr> [Zugriff am 2014 05 07].
- Xu, Z. et al., 2011. Automatic load change system of cryogenic air separation process, Separation and Purification Technology, ohne Ort und Datum