

Lastverschiebung in der österreichischen Zementindustrie

Alois Kraussler

4ward Energy Research GmbH / Zweigstelle Vörsing (außeruniversitäre
Forschungseinrichtung), Impulszentrum 1, A-8250 Vörsing, +43 664 88500339,
aloi.kraussler@4wardenergy.at, www.4wardenergy.at

Kurzfassung: Die Ausschöpfung der Lastverschiebungspotenziale bei industriellen Prozessen stellt eine große Herausforderung dar, da die Leistungsfähigkeit des Produktionsbetriebes nicht darunter leiden darf oder einer finanziellen Kompensation bedarf. Da Österreichs Zementindustrie einen signifikanten elektrischen Energiebedarf hat, könnte dieser Industriezweig ein geeignetes Lastverschiebungspotential aufweisen. Auf Basis einer umfassenden Recherche zur Zementindustrie in Österreich wurde das Lastverschiebungspotenzial analysiert und Rahmenbedingungen der möglichen Nutzung abgeleitet. Simulationen und Berechnungen des Lastverschiebungspotentials 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. Diese Erfahrungen decken sich mit nationalen und internationalen Praxiserkenntnissen zur Implementierung von Lastverschiebungs-Maßnahmen 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. Die aktuellen finanziellen Vorteile, welche 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.

Keywords: Lastverschiebung, Zementindustrie, Potenzial, Rahmenbedingungen

1 EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Im Projekt „LoadShift“ werden die Potenziale der Verschiebung der Elektrizitätsnachfrage erhoben und die ökonomischen, technischen, rechtlichen und organisatorischen Aspekte dieser Verschiebung analysiert. Das Projekt untersucht die Potenziale dabei getrennt für die Sektoren Industrie, Gewerbe, Haushalte und kommunale Infrastruktur, liefert konsistente Schätzungen für den Aufwand verschiedener Grade der Potenzialausschöpfung und leitet die Kostenkurve für Österreich ab.

Um innerhalb des Projektes „Loadshift“ das Potential für Lastverschiebung in Österreich abschätzen zu können, ist auch eine Einzelbetrachtung der verschiedenen Industriesektoren

notwendig zumal die österreichische Industrie ca. 44 % des Gesamtstrombedarfes Österreichs in Anspruch nimmt. [1] Auf Basis eines österreichischen ExpertInnenworkshops [2] konnte festgestellt werden, dass die Lastverschiebungspotenziale, welche durch Industrieanwendungen realisiert werden können, insbesondere gegenüber den „Haushaltspotenzialen“ kurzfristiger und kostengünstiger ausgeschöpft werden können. Dies könnte für alle beteiligten Akteure zu einer wirtschaftlich vorteilhaften Situation führen. Netzausbaumaßnahmen können vermieden werden und die Integration Erneuerbarer könnte wesentlich unterstützt werden.

Allgemein müssen zur Ausschöpfung der Lastverschiebungspotenziale schaltbare Verbraucher identifiziert werden (für Zu- oder Abschaltungen sowie Leistungssteigerungen oder -reduktionen). Bei industriellen Prozessen stellt dies eine große Herausforderung dar, da die Leistungsfähigkeit des Produktionsbetriebes nicht darunter leiden darf oder einer finanziellen Kompensation bedarf (z. B. für die Produktionsunterbrechung oder -verschiebung).

Da Österreichs Zementindustrie mit ca. 490 GWh/a [3] insgesamt 0,8% des elektrischen Energiebedarfes Österreichs konsumiert, könnte dieser Industriezweig ein geeignetes Lastverschiebungspotential aufweisen. Im Vergleich zu anderen europäischen Ländern besteht in Österreich geringes Wissen über dieses Potenzial und mögliche Nutzungsmöglichkeiten. [4], [5] Es bedarf daher einer näheren Betrachtung, damit das Österreichische Lastverschiebungspotenzial in der Zementindustrie festgestellt werden kann.

2 ZIELSETZUNG

Auf Basis der dargestellten Problemstellung unter Berücksichtigung des übergeordneten Projektes „Loadshift“ soll in dieser Arbeit eine Abschätzung des technisch nutzbaren Lastverschiebungspotenzials der österreichischen Zementindustrie erfolgen.

Davon abgeleitet sollen die Rahmenbedingungen identifiziert werden, welche auch für eine wirtschaftliche Nutzung dieses Potenzials notwendig sind.

3 METHODIK

Auf Basis einer umfassenden Recherche zur Zementindustrie in Österreich (ExpertInnengespräche / Interviews, Workshops, statistische Daten, Literaturrecherchen, Vergleichsstudien und -projekte sowie Analyse von bestehenden Fallstudien auf internationaler Ebene) wurde das Lastverschiebungspotenzial analysiert und Rahmenbedingungen der möglichen Nutzung abgeleitet. So wurden allgemeine Werte zum elektrischen Energieeinsatz, durchschnittliche Leistungsangaben verschiedener Verbraucher und der Energieverbrauch einzelner Prozesse in der Zementherstellung erarbeitet und für die weitere Abschätzung verwendet.

4 GRUNDLAGEN

4.1 DEMAND SIDE MANAGEMENT

Die Steuerung der Energienachfrage wird allgemein unter dem Begriff des Demand-Side-Managements (DSM) bzw. der Laststeuerung zusammengefasst. Der Begriff „Demand Response“ lässt sich von „Demand Side Management“ v.a. in seiner zeitlichen Auswirkung abgrenzen. Während Demand Side Management grundsätzlich jede Art der Endkundenmitwirkung umfasst, ist Demand Response zeitlich kurzräumiger. Demand Side Management bezieht sich daher v.a. auf grundsätzliche Energieeffizienz- und andere Energiesparmaßnahmen zur strategischen Entwicklung des Energieverbrauchs. Demand Response beeinflusst das Elektrizitätssystem also kurzfristiger. Auch steht beim Einsatz von Demand Response nicht die Stromersparung im Vordergrund, sondern die Flexibilisierung des Verbrauchs, um die Erreichung bestimmter Zielsetzungen zu ermöglichen bzw. zu erleichtern. [6]

4.2 DIE ZEMENTHERSTELLUNG

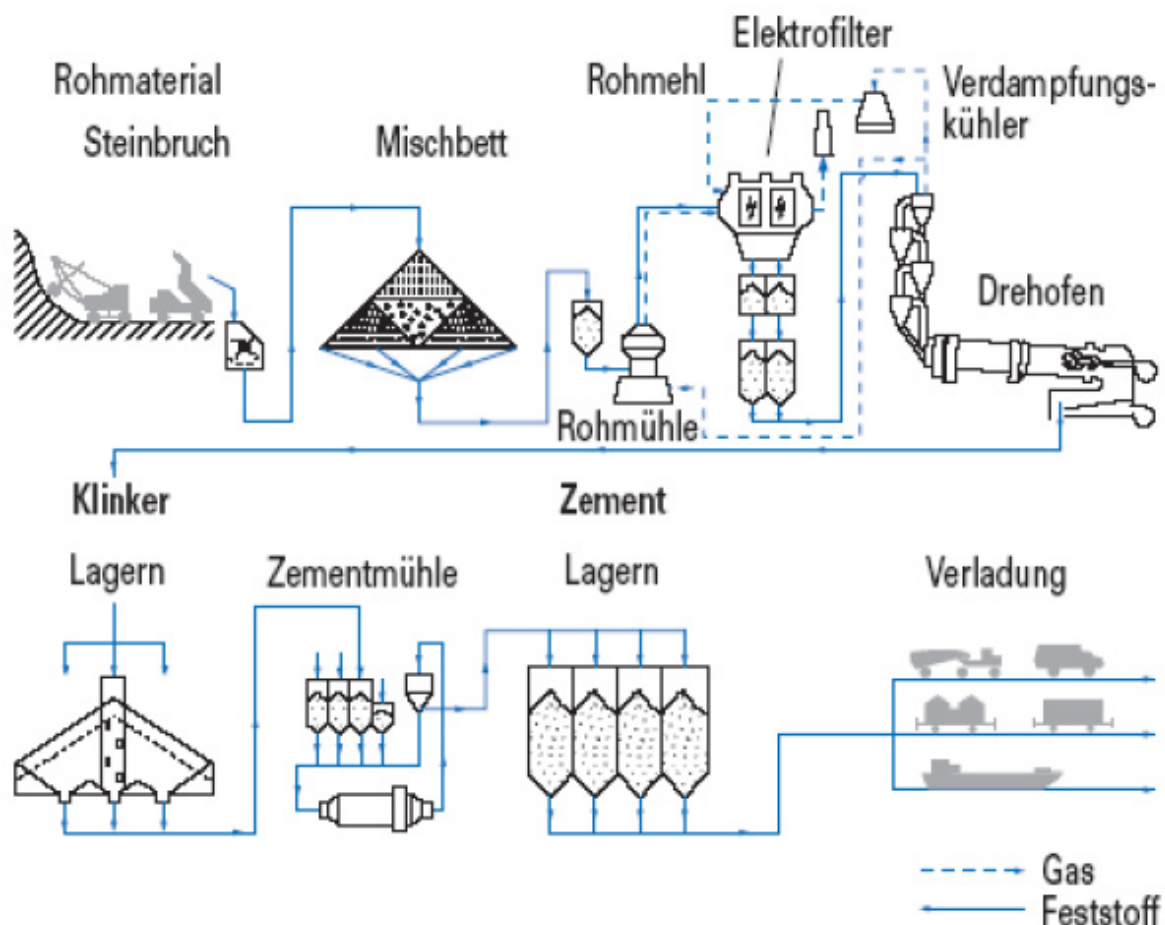


Abbildung 1: Prozesse zur Zementherstellung [5]

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. [7] Der Prozess zur Zementherstellung ist in Abbildung 1 dargestellt.

Klobasa (2011) [5] 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 potentielle 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

4.3 BESCHREIBUNG DER 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. [8]

Folgende Anlagen sind derzeit in Österreich in Betrieb [9], [10], [11]:

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 Perlmöser AG (Betriebsstandort: Mannersdorf am Leithagebirge / Niederösterreich)
5. Lafarge Perlmöser AG (Betriebsstandort: Retznei, Ehrenhausen / Steiermark)
6. Schretter & Cie (Vils / Tirol)
7. Wietersdorfer & Peggauer Zementwerke GmbH (Peggau / Steiermark)
8. Wietersdorfer & Peggauer Zementwerke GmbH (Wietersdorf, Klein St. Paul / Kärnten)
9. Wopfinger Baustoffindustrie GmbH (Waldegg / Niederösterreich)

10. Holcim (Vorarlberg) GmbH (Lorüns, Vorarlberg)

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

Tabelle 1: Kennzahlen der Zementindustrie in Österreich (2010)

Kennzahl	Mittelwert der genannten Quellen	Literaturquellen
Zementproduktion [Mio t]	4,25	[3], [9]
Klinkerproduktion [Mio t]	3,097	[9]
Jahresumsatz [Mio €]	378	[3]
Mitarbeiteranzahl	1193	[3]
Spez. elektrischer Energieeinsatz [kWh/t _{ZE}]	114	[9], [8], [12]
Anteil elektr. Energie am Gesamtenergiebedarf (Jahr 2007) [%]	14	[8]

5 Lastverschiebung in der Zementindustrie

5.1 LASTVERSCHIEBUNG IN DER ZEMENTINDUSTRIE - International

5.1.1 Fallbeispiel zur Lastverschiebung in einer südafrikanischen Zementmühle

Da die Zementproduktion in Südafrika rund 5 % der gesamten elektrischen Energie konsumiert, wird in Raine et al. (2011) [13] am Beispiel einer Anlage das Potential 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 Drehrohrofens 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 Potential für eine mögliche Lastverschiebung festgestellt werden. Messungen an einer der Rohmehlmühlen ergaben, dass diese durchschnittlich zu 72 % genutzt wird und daher Potential 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.

5.1.2 Lastverschiebungspotential in der deutschen Zementindustrie

In Paulus & Borggreffe [2009] [14] 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 weiteren vorheriger 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 Potentials von rund 314 MW in der deutschen Zementindustrie angegeben.

5.2 LASTVERSCHIEBUNG IN DER ZEMENTINDUSTRIE IN ÖSTERREICH

5.2.1 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 Probetrieb 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) eingegeben 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 [12] 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.).

5.2.2 Darstellung des Lastverschiebungspotenzials in der österreichischen Zementindustrie

In Tabelle 2 sind ausgewählte Kennzahlen, welche für die Abschätzung des österreichischen Lastverschiebungspotenzials in der Zementindustrie essentiell sind, zusammengefasst.

Tabelle 2: Ausgewählte Kennzahlen der österreichischen Zementindustrie

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.

Gesamt	Wert	Quelle(n)
Elektr. Energieeinsatz in österreichischen Zementwerken [GWh]	487	[12]
Mittlerer spez. elektr. Energieeinsatz je Tonne Zement [kWh/t _{ZE}]	114	[12]
Rohmaterialaufbereitung (ohne Brecher)	Wert	Quelle(n)
Spitzenlast Rohmühle (Abb. 5) [MW]	2	[5]
Spez. elektr. Energieverbrauch Rohmühle (Abb. 5) [kWh/t _{ZE}]	26	[5]
Spez. elektr. Energiebedarf Rohmehlmahlung [kWh/t _{RM}]	14-21 (*)	[8], [12]
Spez. elektr. Energieverbrauch Trocknen und Mahlen [kWh/t _{ZE}]	30,32	[15]
Zementmahlen	Wert	Quelle(n)
Spitzenlast [MW]	3	[5]
Spez. elektrischer Energieverbrauch [kWh/t _{ZE}]	45	[5]
Spez. elektrischer Energieverbrauch [kWh/t _{ZE}]	34,7	[15]

In Tabelle 3 erfolgt eine Darstellung des prozentuellen Anteils des elektrischen Energieverbrauches einzelner Prozesse am gesamten elektrischen Energieverbrauch einer Zementanlage.

Tabelle 3: 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	[12]
Brennen und Kühlen des Klinkers	22	[12]
Zementmahlen, Verpacken, Verladen	38	[12]
Roh- und Zementmühlen insgesamt	65	[5]

Zusätzlich zur kurzfristigen Betrachtung ist es von Bedeutung, dass für die Feststellung des Lastverschiebungspotenzials auch die mittleren saisonalen Schwankungen der Zementproduktion beachtet werden. Klobasa (2011) [5] beziffert 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 (2011) [5] 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 Potential zwischen ca. 18 MW und ca. 47 MW.

Anmerkung: Das Berechnungsergebnis nach der deutschen Klobasa-Formel (2011) [5] 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 Lastverschiebungspotential bei Rohmühlen daher geringer einzuschätzen, da nach [12] die Kapazitäten der Rohmehlmühlen in Österreich idR auf die Kapazitäten der Drehrohröfen abgestimmt sind.

Für die Feststellung des tatsächlich / wirtschaftlich nutzbaren Potential 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).

5.2.3 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 ausreichendem Rohstoff versorgt wird. [12]

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.“ [16] 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. [8] 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 Zuschlagstoffe vermieden wird. Dies könnte ansonsten auch zu einer Verschlechterung der Energieeffizienz und erhöhten Kosten führen. [16]

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 in 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 Verschiebepotential entsteht, weshalb das Lastverschiebungspotential 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 [14] und Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** erwähnt wurde.

5.2.4 Diskussion des österreichischen Lastverschiebungspotenzials der Zementindustrie aus Sichtweise der Netzbetreiber

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. Häusliche Lastverschiebungspotenziale eignen sich daher besonders (Erzeugung und Lastverschiebung befinden sich auf einer Netzebene und auch räumlich nebeneinander). Mittelfristig sollen jedoch die häuslichen Potenziale herangezogen werden (Boiler sowie insbesondere Wärmepumpenanwendungen). Das Lastverschiebungspotenzial im Gewerbebereich ist nicht sinnvoll zu realisieren, weil man dort ähnlich, wie im Industriebereich, stets in die individuell gehaltenen Prozesse eingreifen muss. Das Aufwand-Nutzen-Verhältnis ist nach Einschätzung der Netzbetreiber wesentlich schlechter, als beim industriellen Zementbetrieb (nähere Details dazu können den Informationen des übergeordneten Projektes LoadShift entnommen werden; vgl. [17]).

Für das Abrufen des Lastverschiebungspotenzials in der Zementindustrie ist jedoch eine Umverteilung der Aggregatorenverantwortlichkeiten notwendig. Ein Aggregationskreis setzt sich aus einer beliebigen Anzahl von Einspeise- und/oder Entnahmestellen (idR. Zählstellen für Erzeugungseinheiten bzw. Kraftwerke, und Lasten) innerhalb einer Regelzone zusammen, die dem Zuständigen – d.h. dem für den Netzanschluss verantwortlichen - Netzbetreiber benannt werden müssen und dadurch genau definiert sind. Aktuell bilanziert der Aggregator (Aggregationskreis) auf die gesamte Regelzone und nicht auf lokaler Ebene. Soll Lastverschiebung forciert werden, dann muss die Regelzone auf jenen Netzbereich verändert werden, innerhalb dessen das Gleichgewicht zwischen Erzeugung und Verbrauch auch lokal koordiniert werden kann. Dadurch könnte eine neue Dienstleistung (neues Geschäftsmodell) unter Berücksichtigung der Netzauslastung entstehen. Somit muss auf der Verteilnetzebene die Aufgabe der Regelzone übernommen werden (regionales Bilanzieren als Voraussetzung).

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 (zeitvariable) 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.

Aus Netzbetreibersichtweise müssen sich daher die Interessen mit dem Strom- und Zementmarkt vereinen. Für den Netzbetreiber wäre eine Beeinflussung der Lasten bei grenzwertigen Netzwerkzuständen vorteilhaft. Für den Strommarkt ist es von Bedeutung, dass die zeitvariablen Preise zwischen Angebot und Nachfrage ausgeglichen werden. Dies insbesondere dann von Bedeutung, wenn diese Motive gegensätzlich sind (günstige Strompreise vs. überhöhte Netzauslastung), wobei für diese Zustände geeignete Rahmenbedingungen geschaffen werden müssen. Nach [18] sind daher folgende Aspekte zu betrachten und ggf. zu berechnen:

- Häufigkeit der Interessenskonflikte zwischen Strommarkt und –netz,
- Daraus resultierende Einschränkungen des Nutzens Reduktion der Stromkosten,
- Ermittlung von beispielsweise Netztarifmodellen zum Ausgleich dieser Einschränkungen des Nutzens.

Darüber hinaus ist zu ermitteln, wie hoch die tatsächlichen Kosten für die Flexibilisierung eines Kilowatts sind. Die bisher vorliegenden Kosten stammen aus Forschungsprojekten und können nicht direkt auf kommerzielle, standardisierte Anwendungen umgelegt werden. Zukünftig ist demgegenüber eine Senkung der Kosten zu erwarten.

Wie internationale Vergleiche zeigen, kann das Geschäftsmodell unterschiedlich ausgeführt werden. So sind zeitvariable Energie- und Netztarife oder auch Boni bzw. eine Kombination daraus möglich, welche nach einem Abrechnungszeitraum gewährt und vertraglich geregelt werden. Jedenfalls müssen alle Marktteilnehmer gemeinsam betrachtet werden und auch stets zusammenwirken (Abrechnungsvorteil, Datentransfer, Vorhersagen, Feststellung der Lastverschiebungspotenziale etc.).

6 CONCLUSIO

Simulationen und Berechnungen des Lastverschiebungspotentials 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 Lastverschiebungs-Maßnahmen 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 aktuellen 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.

7 Literatur

[1] Statistik Austria, "Gesamtenergiebilanz Österreich - http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_und_umwelt/energie/energiebilanzen/022711.html"

[2] "Expertenworkshop Loadshift, Lastverschiebung in Haushalt, Industrie, Gewerbe und kommunaler Infrastruktur in Österreich, 17. April 2013, Klima- und Energiefonds."

[3] VÖZ - Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie, "Zement – Fundament der Zukunft. Nachhaltigkeits-Update 2011/2012 der österreichischen Zementindustrie," Mai 2012.

[4] Robert Hinterberger and Sascha Polak, "Lastverschiebung in Industrie und Gewerbe in Österreich Chancen und Potentiale in zukünftigen Smart Grids," 2011.

[5] M. Klobasa, "Kurz- bis Mittelfristig realisierbare Marktpotenziale für die Anwendung von Demand Response im gewerblichen Sektor," Karlsruhe, Mai 2011.

[6] Andrea Kollmann, Christoph Amann, Christian Elbe, Verena Heinisch, Alois Kraußler, Simon Moser, Ernst Schmutzner, and Michael Schmidthaler, "Lastverschiebung in Haushalt,

Industrie, Gewerbe und kommunaler Infrastruktur – Potenzialanalyse für Smart Grids - LOADSHIFT,” 2012.

[7] VÖZ - Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie, “Zementherstellung in Österreich,” 2012.

[8] H. Berger and V. Hoenig, “Energieeffizienz der österreichischen Zementindustrie,” Allplan, VDZ.

[9] Gerd Mauschwitz, “Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie Berichtsjahr 2010,” Wien, 2011.

[10] Baaske W., Lancaster B., Reisinger H., and Strigl A., “Österreichische Zementstandorte – Impulsgeber für die Region,” 2009.

[11] VÖZ - Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie, “Mitgliedswerke VÖZ.” .

[12] VÖZ - Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie, “Elektrischer Energieverbrauch Kennzahlen,” 22. Nov 2012, übermittelt per E-Mail (Papsch, 22. Nov. 2012)).

[13] Raine T. Lidbetter and Leon Liebenberg, “Load-Shifting Opportunities for a typical south african cement plant,” 2011.

[14] Moritz Paulus and Frieder Borggreffe, “Economic potential of demand side management in an industrialized country - the case of Germany,” 2009.

[15] KEMA Inc. Oakland, California, “Industrial Case Study: The Cement Industry,” Sep. 2005.

[16] Papsch Felix, Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie Abteilung Technologie und Umwelt, “Lastverschiebung in der österreichischen Zementindustrie, E-Mail (22/11/2012).”

[17] “Projektbeschreibung von ‘Lastverschiebung in Haushalt, Industrie, Gewerbe und kommunaler Infrastruktur - Potenzialanalyse für Smart Grids’.
<http://www.energyefficiency.at/web/projekte/-1-59.html>, abgerufen am 25.06.2013 um 8:37.

[18] Friederich Kupzog, Helfried Brunner, Johann Schrammel, Susen Döbelt, Alfred Einfalt, Andreas Lugmaier, Mike Pichler, Daniel Reiter, Hans Jürgen Bacher, Laura Emmermacher, Marietta Stutz, Markus Berger, Thomas Rieder, Herwig Struber, Bernhard Kaier, Georg Kienesberger, and Wolfgang Prügler, Ergebnisse & Erkenntnisse aus der Smart Grids Modellregion Salzburg. Salzburg: Salzburg AG für Energie, Verkehr und Telekommunikation, Bereich Netze, 2013.

8 Danksagung

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

