

**FFE**

Wie können europäische  
Branchen-Lastgänge die Energiewende  
im Industriesektor unterstützen?

Beitrag in et - Energiewirtschaftliche Tagesfragen, Ausgabe 1/2  
Kirstin Ganz, Andrej Guminski, Michael Kolb und Serafin von Roon  
(Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH)



# Wie können europäische Branchen-Lastgänge die Energiewende im Industriesektor unterstützen?

Energiesystemmodellierung erfolgt zunehmend in hoher regionaler und zeitlicher Auflösung. Um regionalen Unterschiede abbilden zu können, werden die Sektoren einzeln analysiert. Aufgrund der Heterogenität im Falle des Industriesektors erfolgt die Abbildung dort branchenscharf. In diesem Beitrag wird eine Methodik zur Erstellung von europäischen Branchen-Lastgängen – länderscharf und normiert – entwickelt, welche basierend auf realen Einzel-Lastgängen synthetische Branchen-Lastgänge herleitet.

Mit der Energiewende kommen Veränderungen auf alle Bereiche unseres Energiesystems zu. Der Industriesektor ist hierbei ein komplexer Bereich, der sehr heterogen ist. Er besteht aus zahlreichen Wirtschaftszweigen [1], welche zum Teil sehr unterschiedliche Energieverbräuche aufweisen, sowohl in der Gesamtmenge, in der Energieträgeraufteilung als auch im zeitlichen Verlauf. Daher müssen bei der Erstellung von Szenarien im Industriesektor die Änderungen der Energieverbräuche durch verschiedene CO<sub>2</sub>-Verminderungsmaßnahmen in den Branchen individuell angesetzt werden.

## Verschiedene Arten von Lastgängen

Zur Abbildung der Effekte solcher Maßnahmen werden Höhe und zeitlicher Verlauf des Energieverbrauchs – der Lastgang – benötigt. Dabei ist sowohl aus Unternehmer- als auch aus weiterer Akteurssicht insbesondere das Stromverbrauchsprofil relevant, da auftretende Spitzen auf der einen Seite zu hohen Kosten und auf der anderen Seite zu hohen Großhandelsstrompreisen führen können.

Es gibt verschiedene Arten von Lastgängen, z. B. reale Einzellastgänge von einem spezifischen Standort, synthetische Typ-Lastgänge und synthetische Branchen-Lastgänge. Synthetische Typ-Lastgänge stellen eine vereinfachte Abbildung eines bestimmten Industriestandorts (mit festgelegter Größe, Branche und möglichen weiteren Faktoren) dar. Synthetische Branchen-Lastgänge bilden das mittlere Verhalten einer Branche ab. Für jeden dieser Lastgänge gibt es unterschiedliche Anwendungsfelder. Reale Einzellastgänge von einem speziellen Standort können beispielsweise für die Auslegung eines Batteriespeichers zur Erreichung von intensiver bzw. atypischer Netznutzung oder zur Spitzenlastkappung verwendet werden. Relevant hierbei ist, dass reale Lastgänge dieses Standortes vorliegen. Ist dies nicht der Fall, kann auf Typ-Lastgänge zurückgegriffen werden. Hierbei besteht allerdings eine deutlich größere Unsicherheit. Daher bieten sich Typ-Lastgänge vor allem zur Abschätzung des Potenzials an.

Eine ganz andere Anwendung finden Branchen-Lastgänge. Diese können zur systemischen Bewertung von branchenspezifischen Maßnahmen verwendet werden bzw. zur Abbildung des Industriesektors eines Landes. Branchen-Lastgänge sind vor allem für die Energiesystemmodellierung relevant. Sie können aber auch als Entscheidungshilfe für die Politik dienen, wenn es beispielsweise um mögliche Technologieförderung zur Entlastung des Energiesystems geht.

Die hier entwickelten Branchen-Lastgänge werden zur Abbildung des europäischen Industriesektors in dem vom BMWi geförderten Verbundvorhaben eXtremOS verwendet (opendata [2]). In eXtremOS werden energiewirtschaftliche Extremszenarien und deren Auswirkung auf den Wert von Flexibilität durch die Modellierung des europäischen Energiesystems (EU27 + NO, CH, UK) untersucht. Hierzu wurde u.a. das europäische bottom-up-Industriemodell Smlnd EU entwickelt, in dem der energetische und Teile des stofflichen Endverbrauchs bis 2050 auf Prozess- und Wirtschaftszweigebene modelliert werden. Durch die in [3] und in diesem Artikel erläuterte Methodik erfolgt sowohl eine räumlich (NUTS-3) als auch zeitliche (stündliche) Verteilung des zunächst jährlich und länderscharf (NUTS-0) berechneten Energieverbrauchs. Dabei erfolgt die Darstellung des Verbrauchs nach den 13 gemäß Eurostat Energiebilanzen definierten Wirtschaftszweigen (Eisen & Stahl,

(Petro-)Chemie, NE-Metalle, Nicht-metallische Mineralien, Maschinenbau, Fahrzeugbau, Bergbau, Ernährungsbranche, Papiergewerbe, Holzwirtschaft, Bauwirtschaft, Textil & Leder sowie sonstige Branchen).

Methodik zur Abbildung des europäischen Energiesektors

Zur Abbildung des europäischen Industriesektors, werden europäische Branchen-Lastgänge benötigt. Die Methodik zu ihrer Erstellung ist in Abb. 1 dargestellt. Sie basiert auf verschiedenen vorangegangenen Arbeiten [4-6], wobei die Methodik über die Jahre passend zu den Anwendungsfällen variiert wurde. Für den vorgestellten Anwendungsfall musste die Methodik für Europa erweitert und teilweise vereinfacht werden. Es handelt sich um einen dreistufigen Prozess: die Aufbereitung von Realdaten, die Regression von normierten Lastgängen mit dem monatlichen Produktionsindex für jeden Typtag und Stunde sowie die Synthetisierung mit denselben Einflussfaktoren.

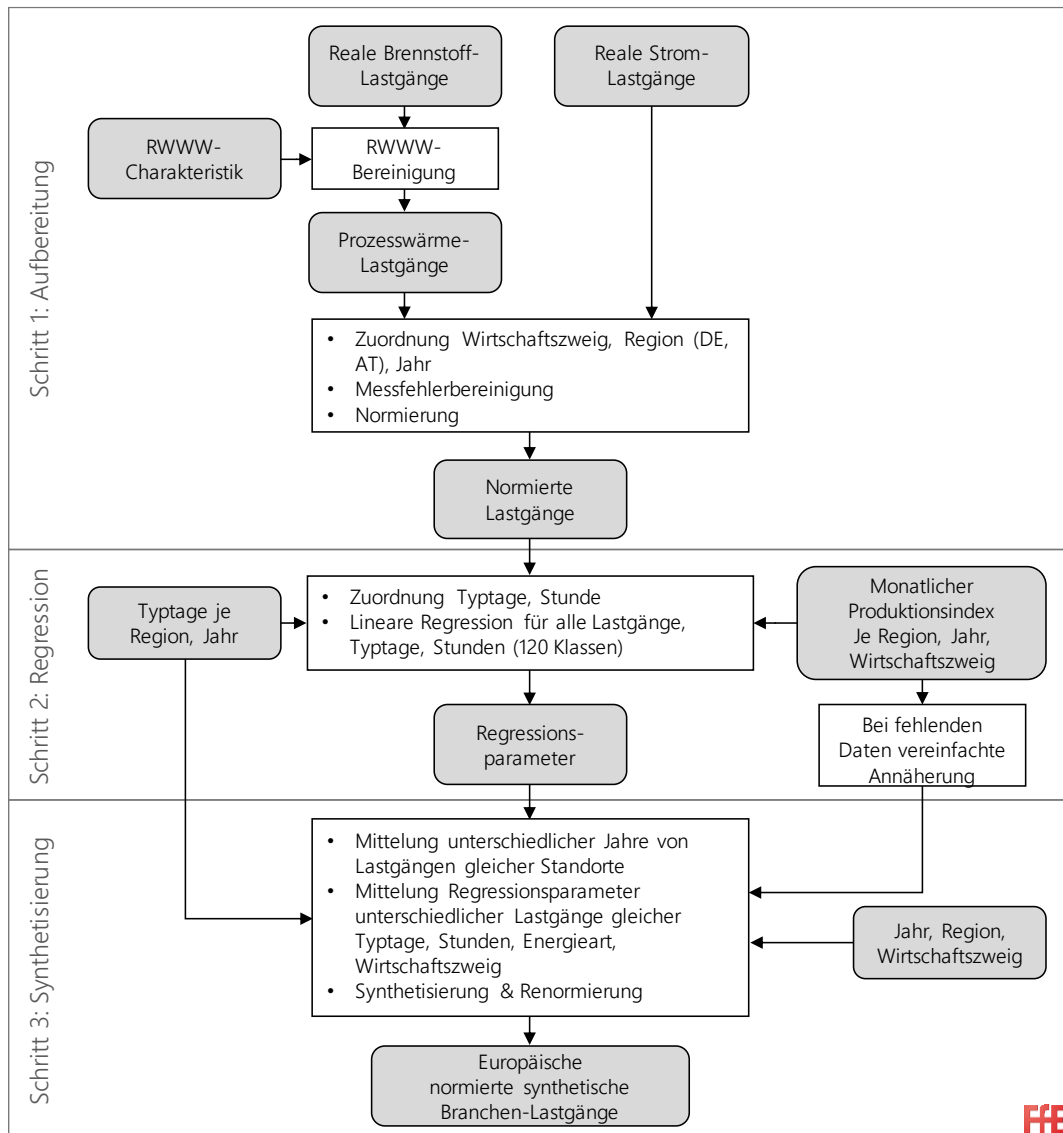


Abbildung 1: Schema zur Erstellung von europäischen, normierten, synthetischen Branchen-Lastgängen

Grundlage für die synthetischen europäischen Branchen-Lastgänge sind reale Strom- und Brennstoff-Lastgänge aus der Industrie, welche u.a. aus den LEEN-Netzwerken [7] stammen. Die Datenbank der FfE für reale Lastgänge wird regelmäßig durch neue Netzwerke und Audits erweitert, sodass auch die Qualität der synthetischen Branchen-Lastgänge kontinuierlich verbessert wird. Aktuell liegen stündliche Brennstoff-Lastgänge und viertelstündliche Strom-Lastgänge aus Deutschland und Österreich vor. Die Anzahl der Lastgänge je Branche und

Energieart (Strom oder Brennstoff) schwankt enorm und reicht von keinem bis zu über 80 Lastgängen. Für die meisten Branchen sind jedoch mehr als zehn Lastgänge verfügbar, was eine ausreichende Genauigkeit zur Abbildung der Branche für die Energiesystemmodellierung bietet.

Um den europäischen Industriegesektor abzubilden, wird die vereinfachende Annahme getroffen, dass die Industrie in Deutschland und Österreich hinreichend genau auch Industrien anderer europäischer Länder abbilden kann. Bei fehlenden oder unzureichenden realen Daten (dies betrifft das Papiergewerbe und die Metallerzeugung) wird ein Strichprofil statt einer Synthetisierung verwendet. Diese Vereinfachung ist bei den beiden genannten Wirtschaftszweigen legitim, da es sich zumeist um große Standorte im Dauervollbetrieb handelt und folglich ein nahezu konstantes jährliches Energieverbrauchsprofil vorliegt.

Im ersten Schritt der Methodik – die Aufbereitung der Realdaten – werden aus den realen Brennstoff-Lastgängen Prozesswärme-Lastgänge erstellt, welche wie die realen Strom-Lastgänge einem Wirtschaftszweig, einer Region und einem Jahr zugeordnet werden. Außerdem werden die Daten plausibilisiert und von Aufzeichnungsfehlern bereinigt. Zuletzt werden die Lastgänge normiert, damit alle existierenden Lastgänge in gleichem Maße in der Regression berücksichtigt werden. Die Erstellung der Prozesswärme-Lastgänge aus den Brennstoff-Lastgängen erfolgt anhand einer Raumwärme- und Warmwasser (RWW)-Bereinigung. Hierzu wird mittels eines normierten typischen RWW-Lastgangs und der -Jahresenergiemenge des Standortes der RWW-Anteil je Stunde herausgerechnet.

Die normierten Strom- und Prozesswärme-Lastgänge werden als Input für die lineare Regression (Schritt 2) verwendet. Bei der linearen Regression mit einem externen Einflussfaktor und zwei Regressionsparametern werden die Regressionsparameter so bestimmt, dass die quadratische Abweichung zwischen Regression und realen Daten minimiert wird. Die Regression erfolgt für jeden normierten Lastgang, Typtag und jede Stunde, sodass vor der Regression eine Zuordnung der Typtage und Stunden für jeden Zeitpunkt der normierten Lastgänge erfolgen muss. Es werden insgesamt fünf Typtage berücksichtigt: (1) Montag, (2) Dienstag bis Donnerstag, (3) Freitag, (4) Samstag (5) Sonntag und Feiertag. Zusammen mit den 24 Stunden des Tages ergeben sich damit 120 Regressionen je normiertem Lastgang. Als externer Einflussfaktor wurde der monatliche, branchenspezifische sowie länderspezifische Produktionsindex (aus eurostat: sts\_inpr\_m) identifiziert.

Die Regressionsparameter der verschiedenen normierten Lastgänge müssen für die Synthetisierung (Schritt 3) den Wirtschaftszweigen und der Energieart zugeordnet werden, um ein Set von Regressionsparametern für jede Energieart, Wirtschaftszweig, Typtag und Stunde zu erhalten. Dies erfolgt in zwei Stufen. Zuerst werden die Regressionsparameter von Lastgängen gleicher Standorte und Energieart aber unterschiedlicher Jahre gemittelt. Danach folgt die Mittelung von Regressionsparametern gleicher Energieart und Wirtschaftszweig aber unterschiedlicher Standorte. Dieser zweistufige Prozess ist notwendig, da davon auszugehen ist, dass sich Lastgänge des gleichen Standortes unterschiedlicher Jahre sehr ähneln, solange keine großen baulichen Änderungen am Standort vorgenommen wurden. Somit würde anderenfalls eine Übergewichtung dieser Standorte erfolgen und damit nicht die Branche als solches abgebildet werden. Beide Mittelungen erfolgen jeweils für jede der 120 Klassen. Damit ist die Aufbereitung der Regressionsparameter für die Synthetisierung abgeschlossen.

Die Aufbereitung des Produktionsindex hängt von der Qualität der Daten ab. Je nach Land liegen die Daten unterschiedlich detailliert vor. Daher wurden je nach Datenqualität unterschiedliche Aufbereitungen des Produktionsindex erarbeitet, wobei die drei folgenden Methoden nach Präferenz sortiert sind:

- (1) Verwendung des branchenabhängigen, länderspezifischen Produktionsindex;
- (2) Verwendung des branchenunabhängigen, länderspezifischen Produktionsindex;
- (3) Verwendung eines konstanten oder deutschen, branchenabhängigen Produktionsindex.

Die Verwendung von Methodik 3 erfolgt, wenn entweder gar keine Daten vorliegen oder der Produktionsindex eines Landes stark von dem in Deutschland und Österreich abweicht, da die Synthetisierung nur für Werte nahe

der linearen Regression funktioniert. Bei sehr großer Differenz beim Produktionsindex ergibt sich ein nicht-physikalisches Verhalten mit vielen negativen Werten. Bei der Nachbehandlung des synthetischen normierten Lastgangs kann dies zu vielen nicht-physikalischen Nullwerten und sehr hohen Lastspitzen führen.

Nach der Aufbereitung des Produktionsindex und der Regressionsparameter erfolgt die Synthetisierung und Renormierung des gewünschten Landes, Jahres und Wirtschaftszweigs. Aus der Synthetisierung ergibt sich sowohl für Strom als auch Prozesswärme ein stündlicher synthetischer normierter Lastgang für jedes betrachtete europäische Land.

Eine beispielhafte Woche für die Ernährungsbranche und sonstige Branchen für Deutschland in Abb. 2 dargestellt. In beiden Beispielen zeigt sich ein Wochenprofil mit relativ gleichen Spitzen an den Werktagen und reduziertem Energiebedarf am Wochenende. Jedoch variiert es in Details, wie beispielsweise der Anteil von Prozesswärme zu Strom an den Werktagen zum Wochenende. Zudem ist die hier dargestellte Wochencharakteristik auch nicht in allen Branchen vorhanden. Insgesamt zeigt die Analyse aller Branchen, dass eine branchenspezifische Darstellung sinnvoll ist, da bei branchenspezifischen Maßnahmen nicht alle Teile des Gesamt-Industrie-Lastgangs gleich betroffen sein werden.

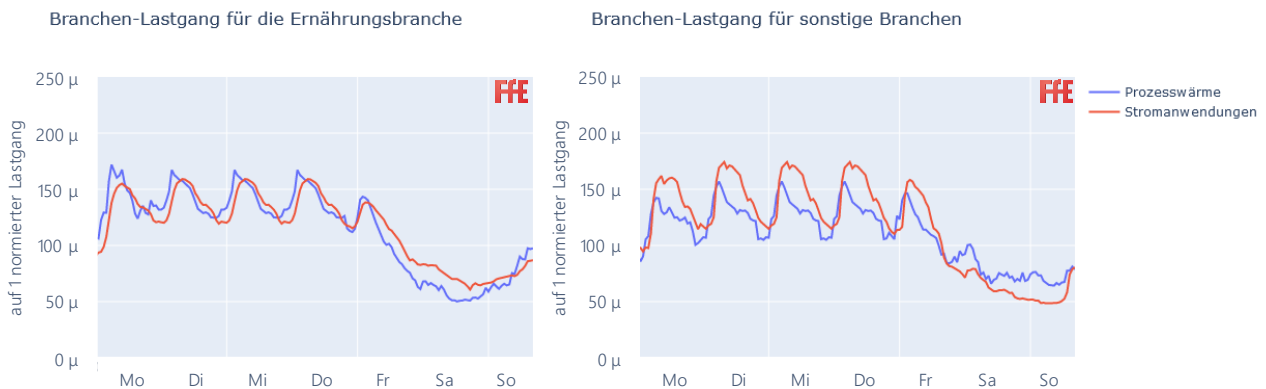


Abbildung 2: Beispielhafte Woche der deutschen synthetischen, normierten Lastgänge für die Ernährungsbranche und den sonstigen Branchen

Im nächsten Abschnitt folgt die Anwendung der erstellten europäischen synthetischen Branchen-Lastgänge für die Abbildung des Industriesektors in eXtremOS.

#### Anwendung synthetischer Lastprofile im Projekt eXtremOS

Die europäischen synthetischen normierten Branchen-Lastgänge finden Eingang in das europäische Industriemodell Smlnd EU. Durch Regionalisierung der wirtschaftszweigscharfen jährlichen Energieverbräuche und der anschließenden Verschneidung mit den normierten synthetischen Branchen-Lastgängen wird die Darstellung des regionalisierten zeitlichen Energieverbrauchs für alle 1348 NUTS-3-Regionen in Europa ermöglicht. Abb. 3 zeigt den industriellen Endenergieverbrauch je NUTS-3-Region in Europa sowie den Lastgang zweier ausgewählter und strukturell grundsätzlich verschiedener Regionen: dem schwedischen Västra Götaland und dem italienischen Taranto.



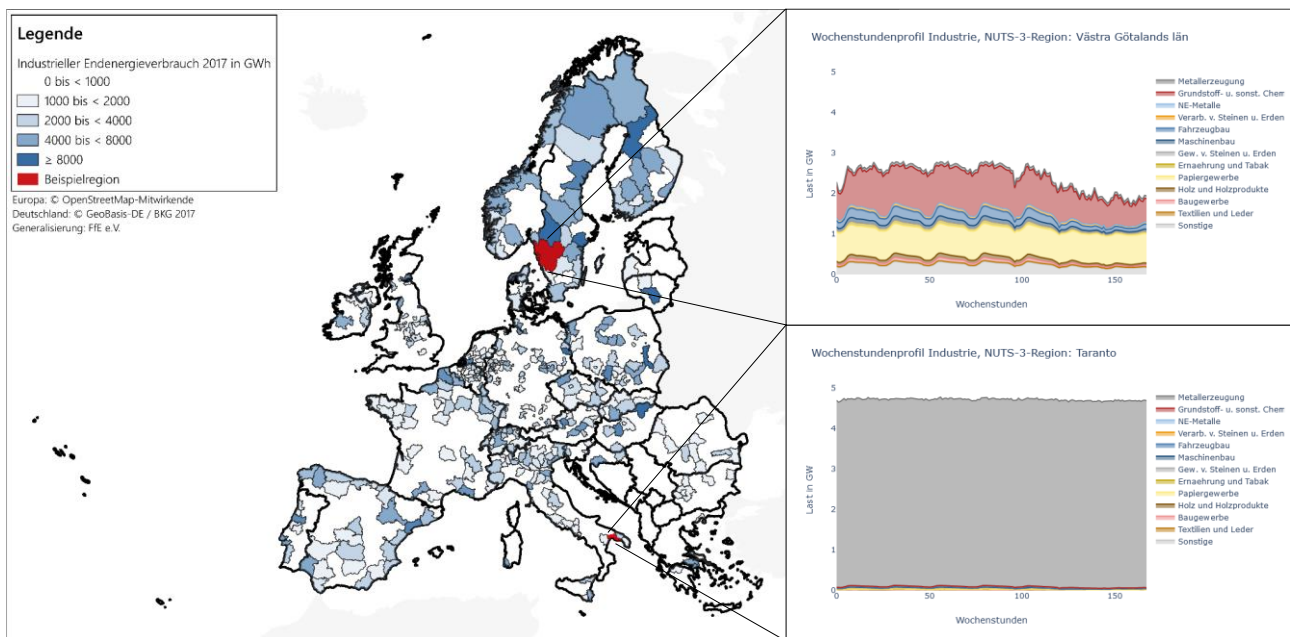


Abbildung 3: Regionalisierung des industriellen Energieverbrauchs in Europa inklusive Darstellung einer beispielhaften Woche in Västra Götaland und Taranto

Der dargestellte Wochenlastgang für Västra Götaland ist geprägt von den örtlichen Großverbrauchern aus den Wirtschaftszweigen Grundstoffchemie und sonstige Chemie sowie dem Papiergewerbe. In der Region liegt das größte schwedische Chemiecluster, in dem sowohl organische als auch anorganische Basischemikalien sowie Produkte der Spezial- und pharmazeutischen Chemie hergestellt werden [8]. Ein weiterer Großverbraucher in der Region ist die energieintensive Zellstoffproduktion. Sowohl Papier- als auch Chemieindustrie weisen verhältnismäßig konstante Verbräuche im Wochenverlauf auf, da ein Großteil der Prozesse in diesen Branchen im Dauervollbetrieb fährt (Ausnahmen sind Teile der sonstigen Chemie). Die geringere Last am Wochenende ist daher insbesondere auf die Branchen Maschinen- und Fahrzeugbau sowie die sonstige Industrie zurückzuführen, die ihre Produktion am Wochenende drosseln.

Im Vergleich zu Västra Götaland ist das italienische Taranto weniger heterogen und vor allem von der Metallherzeugung geprägt. In Taranto liegt das einzige italienische Primärstahlwerk, in dem ca. 20 % der italienischen Stahlproduktion erfolgen [9,10].

Der Vergleich der beiden Regionen offenbart die Notwendigkeit der branchenspezifischen Betrachtung der Lastgänge und zeigt, dass mittels regionalisierter industrieller Lastgänge die starken regionalen Unterschiede der NUTS-3 Regionen in Europa herausgearbeitet werden können.

#### Fazit

In dem vorliegenden Artikel wurde eine Methodik zur Erstellung von Branchen-Lastgängen vorgestellt, welche zur Abbildung des europäischen Industriesektors angewendet wurden. Zur Ermittlung der europäischen Branchen-Lastgänge wird eine lineare Regression und Synthetisierung mit realen Lastgängen durchgeführt. Je nach Branche bzw. Energieart ergeben sich teilweise sehr unterschiedliche Verläufe, sodass der zusätzliche Aufwand der Differenzierung nach Branchen gerechtfertigt ist. Die synthetischen Branchen-Lastgänge wurden dann zur Abbildung des europäischen Industriesektors verwendet. Es wurde gezeigt, dass regionale Unterschiede im Energieverbrauchsverlauf abgebildet werden können. Dies ist eine Grundvoraussetzung für die korrekte Abbildung der sektorspezifischen Energieverbräuche im europäischen Energiesystem.

## Literaturverzeichnis

- [1] Europäische Kommission: EUROSTAT: NACE Rev. 2 – Statische Systematik der Wirtschaftszweige in der Europäischen Gemeinschaft. Luxemburg 2008.
- [2] Forschungsstelle für Energiewirtschaft eV: FfE Open Data Portal. [In: <http://opendata.ffe.de/>], München 2020.
- [3] Guminski, A et al.: Electrification decarbonization efficiency in Europe – a case study for the industry sector. [Herausgeber: Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH], München 2019.
- [4] Gobmaier, T: Entwicklung und Anwendung einer Methodik zur Synthese zukünftiger Verbraucherlastgänge – Dissertation. [eingereicht an der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik an der TU München, durchgeführt an der Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.], München 2013.
- [5] Gruber, A: Zeitlich und regional aufgelöstes industrielles Lastflexibilisierungspotenzial als Beitrag zur Integration Erneuerbarer Energien – Dissertation. [eingereicht an der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der TU München, durchgeführt an der Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH], München 2017.
- [6] Fattler, S et al.: Dynamis Hauptbericht - Dynamische und intersektorale Maßnahmenbewertung zur kosteneffizienten Dekarbonisierung des Energiesystems. [Herausgeber: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.], München 2019.
- [7] Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH: Lernende Energieeffizienz-Netzwerke (LEEN) in München-Oberbayern I-III, Südbayern, Vorarlberg I-IV, Chiemgau-Rupertiwinkel, Bayerngas, E.ON I und II, BayWa, Verbund - laufende Projekte. München 2020.
- [8] Mossberg, J.: Chemical Industry Companies in Sweden. Stockholm: SP Technical Research Institute Sweden 2013.
- [9] Worldsteel Association: World Steel in Figures 2018. Brüssel 2019.
- [10] Vagliasindi, G. et al.: The ILVA Industrial Size in Taranto – In-Depth Analysis for the ENVI Committee. Brussels: DIRECTORATE GENERAL FOR INTERNAL POLICIES, 2015.

*Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter dem Förderkennzeichen 03ET4062B gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.*