

### 1 Einleitung

Bis 2050 will Europa Klimaneutralität erreichen. Deutschland schließt sich diesem Ziel an und legt mit dem Entwurf des Klimaschutzgesetzes konkrete Minderungsziele für die Industrie fest, wonach deren CO<sub>2</sub>-Ausstoß bis 2030 gegenüber 1990 halbiert werden soll. Ein solches Gesetz würde die Industrie vor große Herausforderungen stellen. Die effektive Eindämmung der Klimabelastung verlangt umfassende Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz.

Die erheblichen Effizienzfortschritte der Vergangenheit führten jedoch nicht gleichermaßen zu Emissionsminderungen, weil sogenannte Rebound-Effekte verhindern, dass die ökologischen Einsparpotenziale vollends ausgeschöpft werden. Rebound-Effekte bezeichnen Folgewirkungen von Effizienzverbesserungen, die den Verbrauch erhöhen, sodass die erwarteten Einsparungen gemindert oder ganz und gar aufgehoben werden. Daher stellen Rebound-Effekte die umweltpolitische Wirksamkeit von Effizienzfortschritten grundlegend infrage.

Ziel des Forschungsprojekts ReCap ist es, Empfehlungen für Politikmaßnahmen zu entwickeln, die Rebound-Effekte effektiv eindämmen. Dafür muss zunächst ein vertieftes Verständnis für die Wirkungsmechanismen entwickelt werden, die diesen Effekten zugrunde liegen. Im Workshop „Sektorale Rebound-Effekte verstehen“ werden die Unterschiede innerhalb des verarbeitenden Gewerbes beleuchtet und diskutiert, um wesentliche Faktoren herauszuarbeiten, die das Auftreten von Rebound-Effekten beeinflussen. Im weiteren Projektverlauf werden aus den Erkenntnissen mögliche Ansätze zur besseren Ausschöpfung der Einsparpotenziale von Effizienzsteigerungen abgeleitet.

Das vorliegende Factsheet präsentiert Wirkungshypothesen zu Rebound-Treibern und erste Ergebnisse aus der ökonomischen Analyse von Unternehmensdaten des verarbeitenden Gewerbes. Es soll als Diskussionsgrundlage für den praxisorientierten Austausch auf dem Workshop dienen. Die Schätzungen zeigen, dass sich das Ausmaß der Rebound-Effekte in den Bereichen des verarbeitenden Gewerbes deutlich unterscheidet. Es stellt sich daher die Frage, welche Umstände diese Unterschiede erklären.

### 2 Rebound-Treiber

Die Forschungsliteratur zu Rebound-Effekten konzentriert sich bisher vornehmlich auf die Endverbraucher. Produktionsseitige Rebound-Effekte wurden dagegen kaum empirisch untersucht. Dabei macht der Energieverbrauch des verarbeitenden Gewerbes in Deutschland etwa 40 % des gesamten Energieverbrauchs aus und der Sektor ist für 20 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen Deutschlands verantwortlich (BMW, 2016). Um die nationalen Klimaziele zu erreichen, ist deshalb ein besseres Verständnis der Rolle von Rebound-Effekten in der Produktion unbedingt erforderlich.

Hinsichtlich der Ursachen für Rebound-Effekte stellt sich die Frage nach den eigentlichen Interessen, die Unternehmen mit der Durchführung von Effizienzmaßnahmen verfolgen. Wettbewerbsdruck und Wachstumsorientierung mögen erklären, warum Effizienzgewinne absichtsvoll für Ziele eingesetzt werden, die mit einem Mehrverbrauch von Ressourcen verbunden sind. Das ReCap-Projekt untersucht diese Treiber als mögliche Stellschrauben zur Begrenzung produktionsseitiger Rebounds.

Die folgenden Wirkungszusammenhänge lassen sich aufgrund theoretischer Vorüberlegungen erwarten und sollen im Verlauf des Projekts empirisch überprüft werden:

**Energiekostenanteil:** Wenn der Anteil der Energiekosten am Produktionswert eines Unternehmens relativ hoch ist, gehen mit einer Steigerung der Energieeffizienz wichtige Wettbewerbsvorteile einher. Damit steigt die Wahrscheinlichkeit, dass effizientere Unternehmen ihre Produktion ausweiten und/oder die Erzeugerpreise senken. Unternehmen mit höherem Energiekostenanteil am Produktionswert weisen somit vermutlich höhere Rebound-Effekte auf.

**Marktsättigung:** Auf gesättigten Märkten haben Unternehmen wenig Spielraum für Expansion. In diesen Sektoren werden Kosteneinsparungen durch Effizienzsteigerungen mit größerer Wahrscheinlichkeit nicht für die Erweiterung der Produktion genutzt. Daher sind in einem gesättigten Marktumfeld geringere Rebound-Effekte zu erwarten als auf Wachstumsmärkten. Unternehmen, die Märkte mit einer hohen Sättigung bedienen, weisen somit vermutlich höhere Rebound-Effekte auf.

**Verschuldungsgrad:** Der Verschuldungsgrad eines Unternehmens misst das Verhältnis zwischen dem bilanziellen Fremdkapital und dem Eigenkapital. Durch die Aufnahme von Fremdkapital entsteht in der Regel zusätzlicher Wachstumsdruck für das Unternehmen. So legen Unternehmen mit relativ großen finanziellen Verbindlichkeiten wahrscheinlich mehr Wert auf eine Produktionsausweitung, um aufgenommene Kredite möglichst schnell zu bedienen. Unternehmen mit höherem Verschuldungsgrad weisen somit vermutlich größere Rebound-Effekte auf.

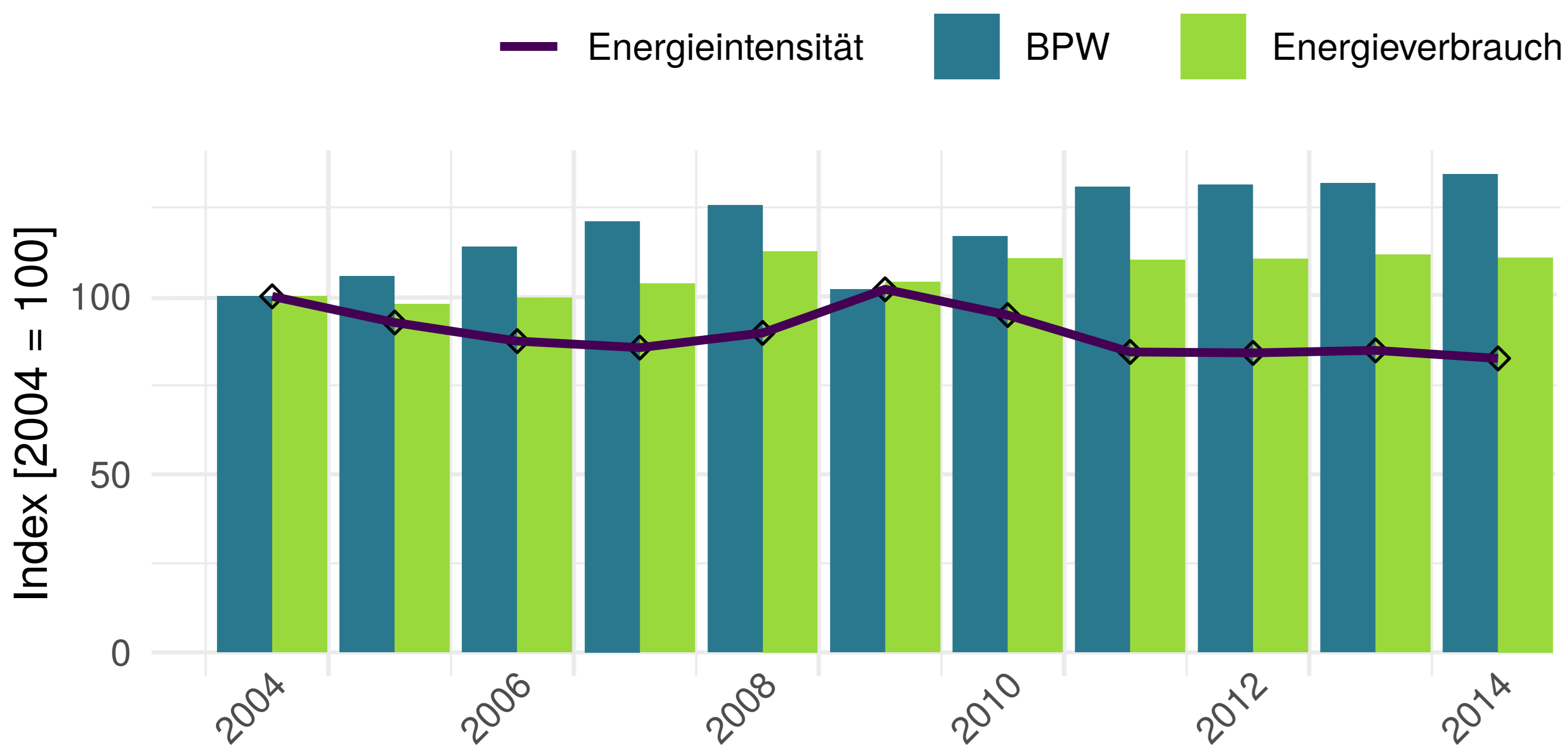
**Marktmacht:** Marktmacht aufgrund mangelnden Wettbewerbs drückt sich in einer geringen Preiselastizität der Nachfrage aus. Für Unternehmen mit beherrschender Marktstellung besteht also ein geringerer Anreiz, durch Effizienzverbesserungen anfallende Energiekosteneinsparungen über niedrigere Erzeugerpreise an die Nachfrager weiterzugeben. Unternehmen mit großer Marktmacht und geringem Wettbewerbsdruck weisen deshalb vermutlich geringere Rebound-Effekte auf.

**Internationalisierungsgrad:** Der Wettbewerbsvorteil aus einer Verbesserung der Energieeffizienz ist auf lokal begrenzten Märkten meist nur von kurzer Dauer, bevor die Innovation von Wettbewerbern kopiert wird. Auf internationaler Ebene kann die Verbreitung technologischer Innovationen aufgrund anderer Rahmenbedingungen (z.B. abweichende Gesetzgebung) oder mangelnder absorptiver Kapazitäten sehr viel länger dauern. International agierende Unternehmen können deshalb wahrscheinlich länger von Wettbewerbsvorteilen profitieren als ausschließlich national agierende Unternehmen. Unternehmen mit einem höheren Internationalisierungsgrad weisen somit vermutlich größere Rebound-Effekte auf.

**Autarkiegrad:** Firmen, welche von externen Vorleistungen, wie Strom oder Zwischenprodukten, abhängen, haben eine andere Anreizstruktur als relativ autarke Akteure. Mit dem Autarkiegrad sinken die Versorgungsrisiken, aber auch der aus der Einsparung von Vorleistungen entstehende ökonomische Vorteil. Effizienzgewinne werden daher mit größerer Wahrscheinlichkeit zur Ausweitung der Produktion eingesetzt. Je autarker ein Unternehmen operiert, desto höher sind vermutlich die Rebound-Effekte.

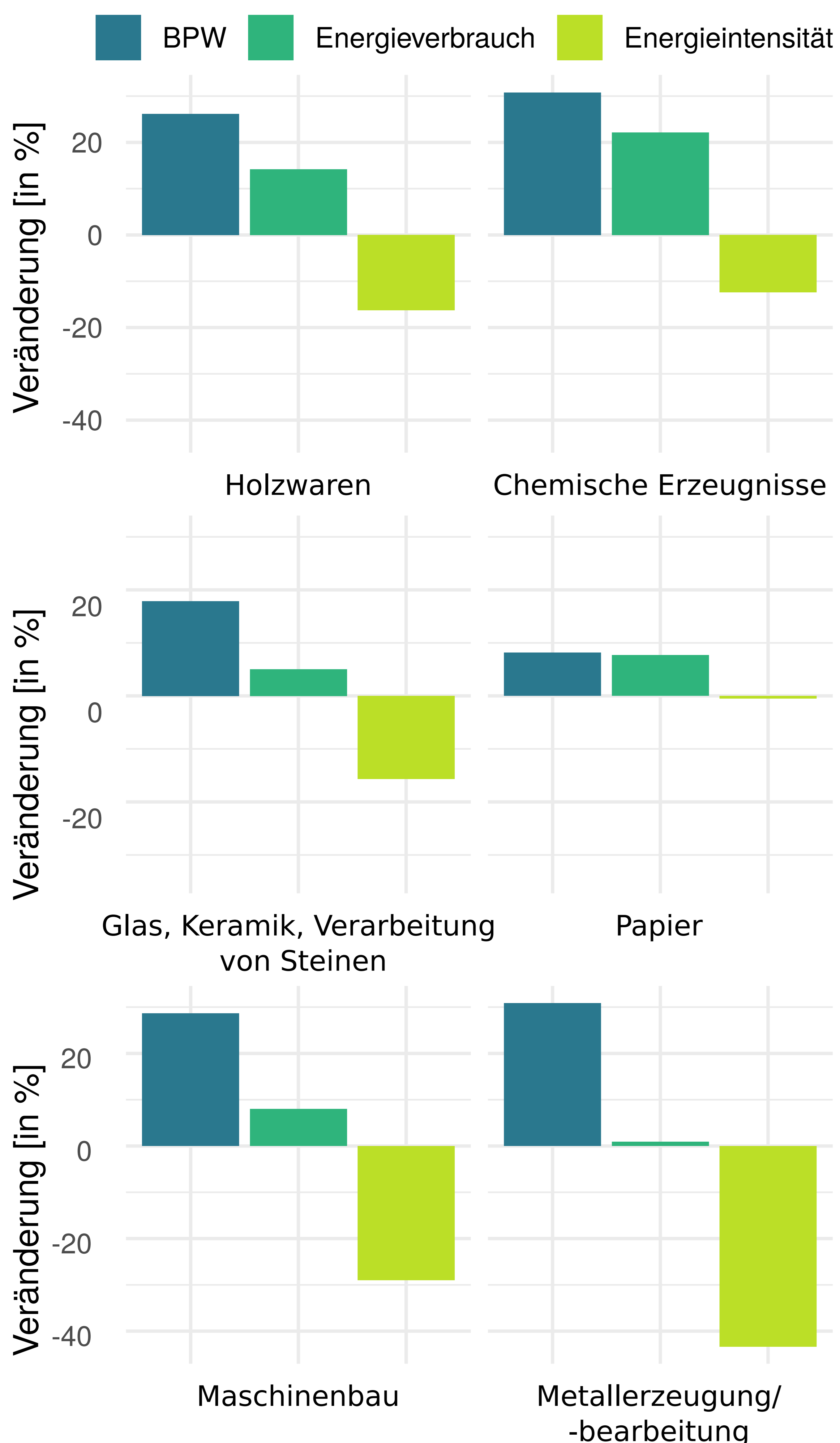
### 3 Entwicklung des verarbeitenden Gewerbes

Unsere Analyse basiert auf den *Amtlichen Firmendaten für Deutschland (AfiD)* und dem *Panel der Kostenstrukturerhebung* der Forschungsdatenzentrale (FDZ). Bei den jährlichen Erhebungen besteht in der Regel Auskunftspflicht für die Unternehmen.



**Abbildung 1:** Entwicklung von Energieverbrauch, BPW und Energieintensität im Verarbeitenden Gewerbe

Generell zeigen die Daten (siehe Abbildung 1) eine Absenkung der Energieintensität im verarbeitenden Gewerbe um etwa 20 % im analysierten Zeitraum (2004-2014). Trotz effizienterer Verwendung hat der Energieverbrauch jedoch leicht zugenommen, denn im selben Zeitraum stieg der Bruttoproduktionswert (BPW) um ungefähr 30 %. Nur im Jahr 2009 (vermutlich durch die Finanz- und Wirtschaftskrise 2008) ging die Produktion und somit auch der Energiebedarf zurück.



**Abbildung 2:** BPW, Energieintensität und Energieverbrauch in den Sektoren Papier (17), Chemische Industrie (20), Maschinenbau (28) und Glasherstellung (23)

In den Jahren 2008 bis 2010 stieg die Energieintensität in fast allen Sektoren vorübergehend an. Offenbar ließ sich der Energieverbrauch in vielen großtechnischen Prozessen nicht ebenso zurückfahren wie die Produktionsleistung. Das Niveau der Vorkrisenjahre wurde jedoch schnell wieder erreicht.

Energieintensität, Energieverbrauch und Bruttoproduktionswert entwickelten sich in den einzelnen Wirtschaftszweigen des verarbeitenden Gewerbes zwar sehr unterschiedlich, aber auch auf Einzelsektorebene findet sich das zuvor beschriebene Muster wieder: Obwohl die Energieintensität teilweise drastisch abgesenkt werden konnte, ist zugleich eine Zunahme des absoluten Energieverbrauchs zu verzeichnen, da die Effizienzsteigerung durch einen noch größeren Anstieg der Produktion überkompensiert wurde. In Abbildung 2 ist die Veränderung der drei Kennzahlen von 2014 gegenüber 2004 für ausgewählte Wirtschaftszweige dargestellt:

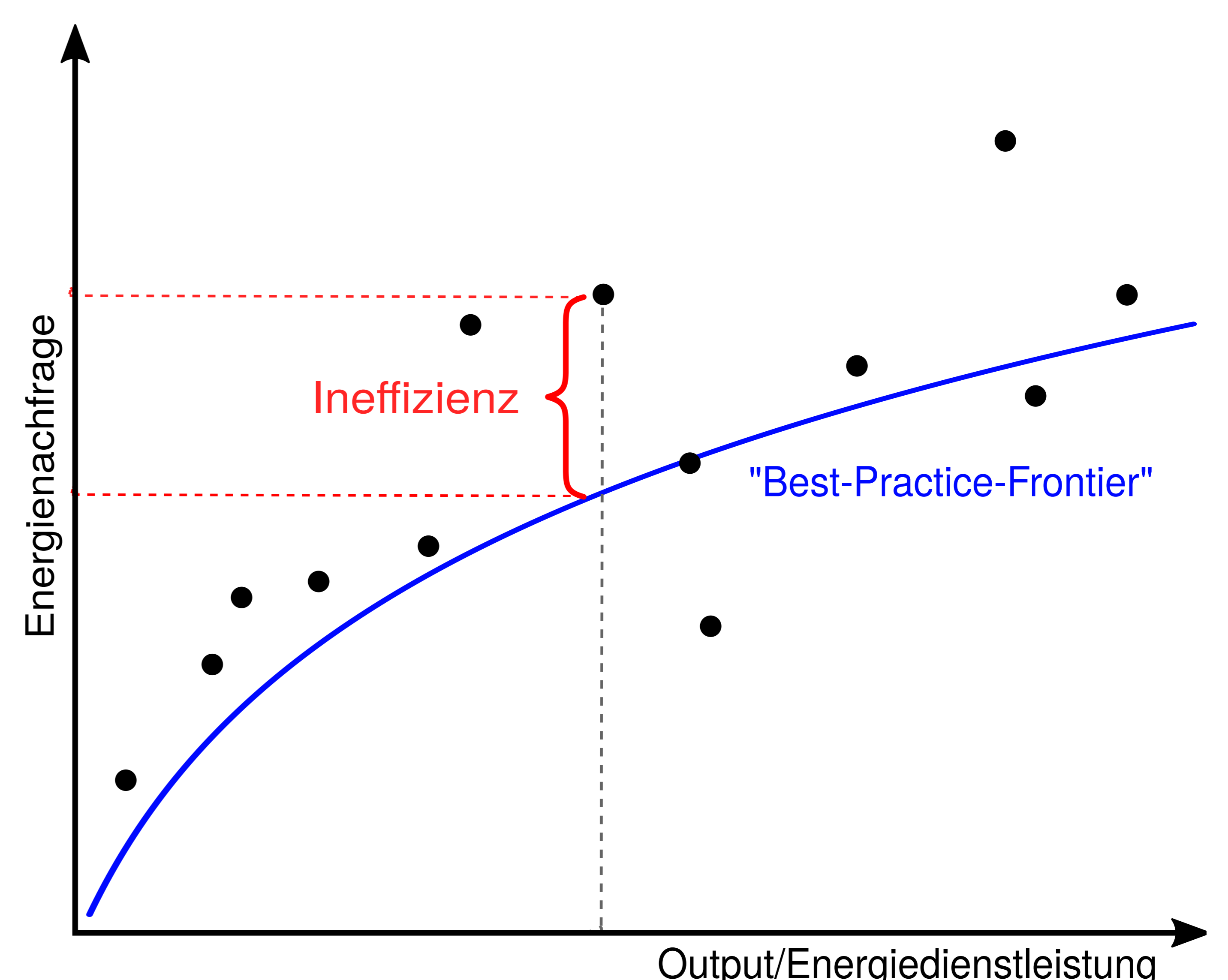
**Energieintensität:** In allen aufgeführten Sektoren, mit Ausnahme der Papierindustrie, ist ein deutlicher Effizienzgewinn zu beobachten. Besonders augenfällig ist die Entwicklung bei der Metallerzeugung. Hier sank die Energieintensität um mehr als 40 %.

**Energieverbrauch** Der Energieverbrauch ist dagegen in den meisten Sektoren gestiegen, mit Ausnahme der Metallerzeugung, wo er ungefähr auf dem Niveau von 2004 verblieb.

**Bruttoproduktionswert:** Die aufgeführten Wirtschaftszweige verzeichneten im analysierten Zeitraum ein starkes Wachstum, mit Ausnahme der Papierindustrie. Unternehmen in den Bereichen Chemieindustrie, Holzwaren, Metallindustrie und Maschinenbau wuchsen im Schnitt um mehr als 20 %.

### 4 Schätzung der Rebound Effekte

Als Indikator für die technische Entwicklung der Energieeffizienz ist die Energieintensität nicht besonders gut geeignet, da sowohl der Energiekonsum als auch der Bruttoproduktionswert von schwankenden Preisen für Rohstoffe und Produkte sowie anderen äußeren Faktoren abhängen. Daher schätzen wir die *relative Energieeffizienz* für jedes einzelne Unternehmens mit Hilfe einer *Stochastic Frontier Analysis*. Die Grundidee dieser Methode ist, die Besten der Branche als Maßstab für andere Unternehmen heranzuziehen. Der Schätzung unterliegt daher eine Funktion, die für gegebenen Output und bei gegebenen Umweltbedingungen, den minimalen Energieeinsatz darstellt („Best-Practice-Frontier“).



**Abbildung 3:** Schematische Darstellung der Stochastic Frontier Analysis

Die Unternehmen, die einen vergleichbaren Output mit möglichst wenig Energie produzieren, definieren somit die Effizienzgrenze. Für jedes Unternehmen wird nun der Abstand zur Effizienzgrenze berechnet (siehe Abbildung 3). Die Effizienz wird hier also durch ein relatives Maß abgebildet, welches das Input-Output-Verhältnis eines Unternehmens mit einem, durch die anderen Unternehmen

des Sektors definierten, optimalen Niveau vergleicht. Eine Effizienzverbesserung bedeutet eine Annäherung des Unternehmens an das sektorspezifische Optimum.

Der Rebound-Effekt ist in unserer Modellierung durch den Anteil der Effizienzverbesserung definiert, der nicht zu Energieeinsparung führt. Verbessert ein Unternehmen beispielsweise seine Energieeffizienz um 40 %, spart dadurch aber nur 20 % Energie ein, beträgt der Rebound-Effekt in diesem Fall 50 %. Der Rebound wird als eine Funktion verschiedener ökonomischer und politischer Variablen modelliert, die sowohl den Energieverbrauch, als auch die Höhe des Rebound-Effekts bestimmen. Wir beschränken uns hierbei auf zwei Obergruppen von Variablen: (1) Produktionshöhe und Energiekosten (um Substitutions- und Einkommenseffekte abzubilden) sowie (2) firmenspezifische Charakteristika (eigene Stromerzeugung, Auslandsumsatz, Firmengröße, Ausgaben für Forschung und Entwicklung). Die Parameter der Funktion und damit der Einfluss der Variablen auf den Rebound-Effekt und die Energieeffizienz werden simultan geschätzt (für eine ausführlichere Beschreibung der Methode siehe Orea, Llorca und Filippini (2015)).

## 5 Ergebnisse

In diesem Abschnitt stellen wir die Ergebnisse der Effizienz- und Rebound-Schätzungen vor und diskutieren mögliche Interpretationen im Hinblick auf die vermuteten Wirkungszusammenhänge. Insgesamt deuten die ökonometrischen Schätzungen auf die Existenz signifikanter Rebound-Effekte in fast allen untersuchten Wirtschaftszweigen hin. Ausnahmen bilden die Pharma- und die Elektroindustrie, sowie die Herstellung von Metallernzeugnissen die zugleich von einem relativ hohen durchschnittlichen Effizienzniveau gekennzeichnet sind. Tendenziell ist der geschätzte Rebound vor allem in Sektoren mit einem niedrigen durchschnittlichen Effizienzniveau groß.

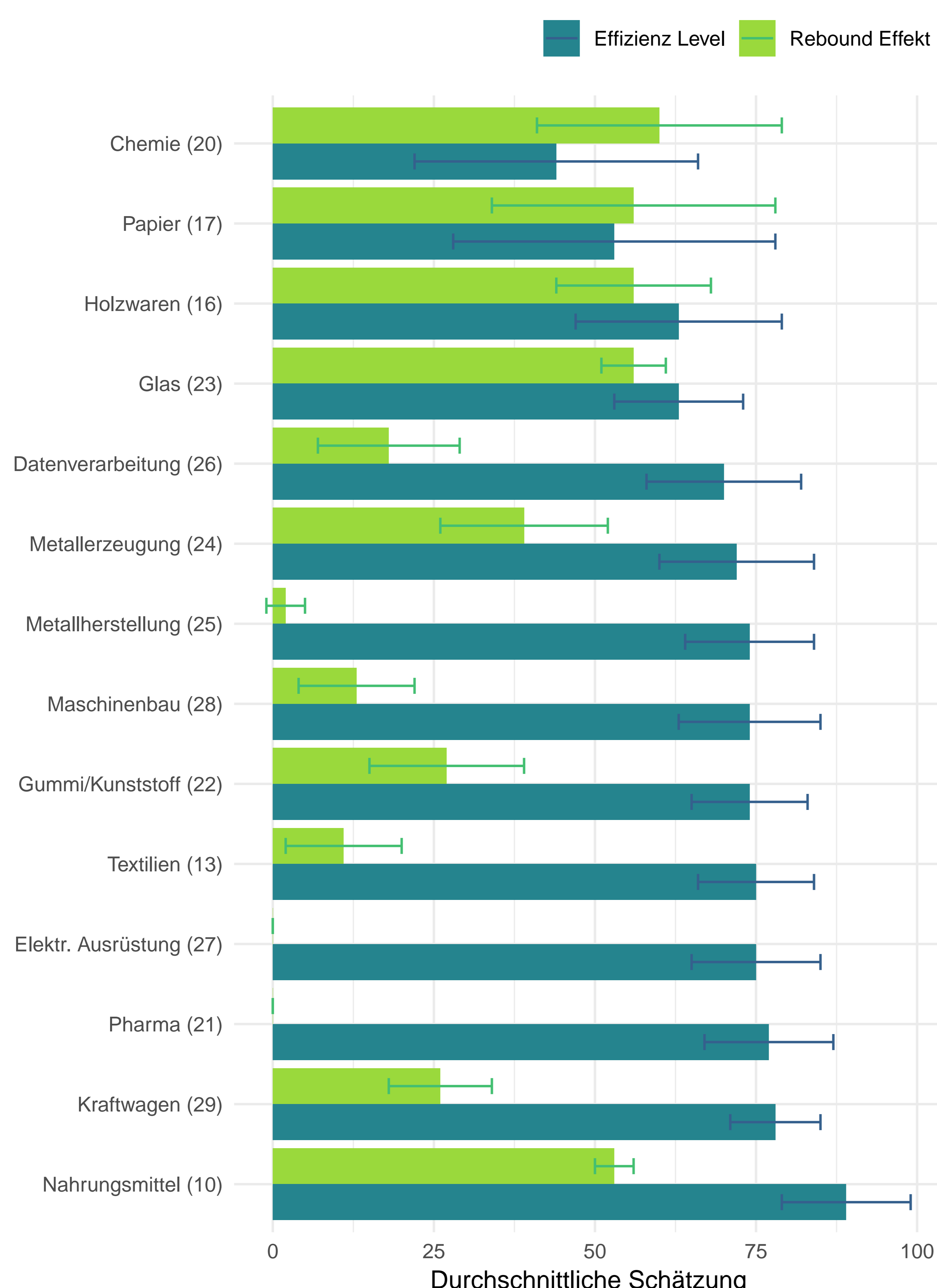


Abbildung 4: Schätzungen für Energieeffizienz des Verarb. Gewerbes

Das durchschnittliche Energieeffizienzlevel der Unternehmen liegt in den Sektoren des verarbeitenden Gewerbes zwischen 44 % (Chemieindustrie) und 89 % (Nahrungsmittelindustrie). Die Unterschiede beim Effizienzlevel sind besonders stark ausgeprägt zwischen den einzelnen Firmen der Papier- und der Chemieindustrie (die Standardabweichung vom Mittelwert ist durch die Fehlerbalken in Abbildung 5 angezeigt).

Zudem lässt sich feststellen, dass energieintensive Wirtschaftszweige, wie zum Beispiel die Glas-, Chemie-, Metallherzeugungs-, Papier- und Nahrungsmittelindustrie, besonders hohe Rebound-Effekte aufweisen. Die Standardabweichung ist auch bei den Rebound-Effekten in der Papier- und Chemieindustrie mit Abstand am höchsten. Das lässt darauf schließen, dass Unternehmen in diesen Sektoren sehr unterschiedlich auf Effizienzverbesserungen reagieren.

Angesichts der Unterschiede gilt es, mögliche Einflussfaktoren für die Höhe des Rebound-Effekts zu bestimmen. Die geschätzten Koeffizienten der Modellparameter in der Rebound-Funktion können dafür als Elastizitäten interpretiert werden:

**Bruttoproduktionswert:** Unternehmen mit einem höheren BPW weisen in den meisten Sektoren höhere Rebound-Effekte auf. In der Metallherzeugung geht beispielsweise eine Steigerung des BPW um 10 % mit einer Senkung des durchschnittlichen Rebound-Effekts um ca. 1.2 % einher. In der Kunststoff- und Metallherstellungsindustrie führt eine höhere Produktion jedoch zu geringeren Rebound-Effekten. Ein sektorübergreifender Zusammenhang ist deshalb empirisch nicht feststellbar.

**Auslandsumsatz:** Die Höhe des Auslandsumsatzes scheint nur einen sehr geringen, jedoch signifikant negativen Einfluss auf den Rebound-Effekt zu haben (mit Ausnahme der Kunststoff- und Holzindustrie, wo der Einfluss positiv ist). Das steht im Widerspruch zu der eingangs formulierten Erwartung, dass international ausgerichtete Unternehmen höhere Rebound-Effekte zeigen.

**Energiekosten:** Höhere Energiekosten bedingen in den meisten Wirtschaftszweigen höhere Rebound-Effekte. Eine Ausnahme bilden die Firmen, die Kunststoffe und Kraftwagen herstellen. Insbesondere in der Kunststoffindustrie scheinen Unternehmen mit höheren Energiekosten einen geringeren Rebound-Effekt aufzuweisen.

**Stromerzeugung:** Außerdem wurde untersucht, ob es einen Einfluss hat, wenn Firmen einen Teil ihres Stroms selbst erzeugen und damit unabhängiger von Preisentwicklungen sind. Der Anteil der Firmen, die durch Eigenerzeugung Strom gewinnen, war 2017 in Betrieben der Papierindustrie (13 % des gesamten Industriestroms), der Chemischen Industrie (30 %), und der Metallherzeugung und -bearbeitung (21.7 %) besonders hoch (Statistisches Bundesamt, 2018). Der Effekt auf den Rebound-Effekt ist, wie erwartet, in allen Wirtschaftszweigen positiv: Stromerzeugende Unternehmen zeigen höhere Rebound-Effekte. Vor allem in der Papier- und Metallindustrie scheint die Selbstversorgung mit Strom ein wichtiger Treiber der Rebound-Effekte zu sein.

**F&E-Ausgaben:** In einem nicht abgebildeten Modell wurden auch Ausgaben für Forschung und Entwicklung getestet. Diese haben in allen Wirtschaftszweigen einen negativen Einfluss auf den Rebound-Effekt. Gerade in der Metallherstellung weisen Firmen, die in F&E investieren geringere Rebound-Effekte auf.

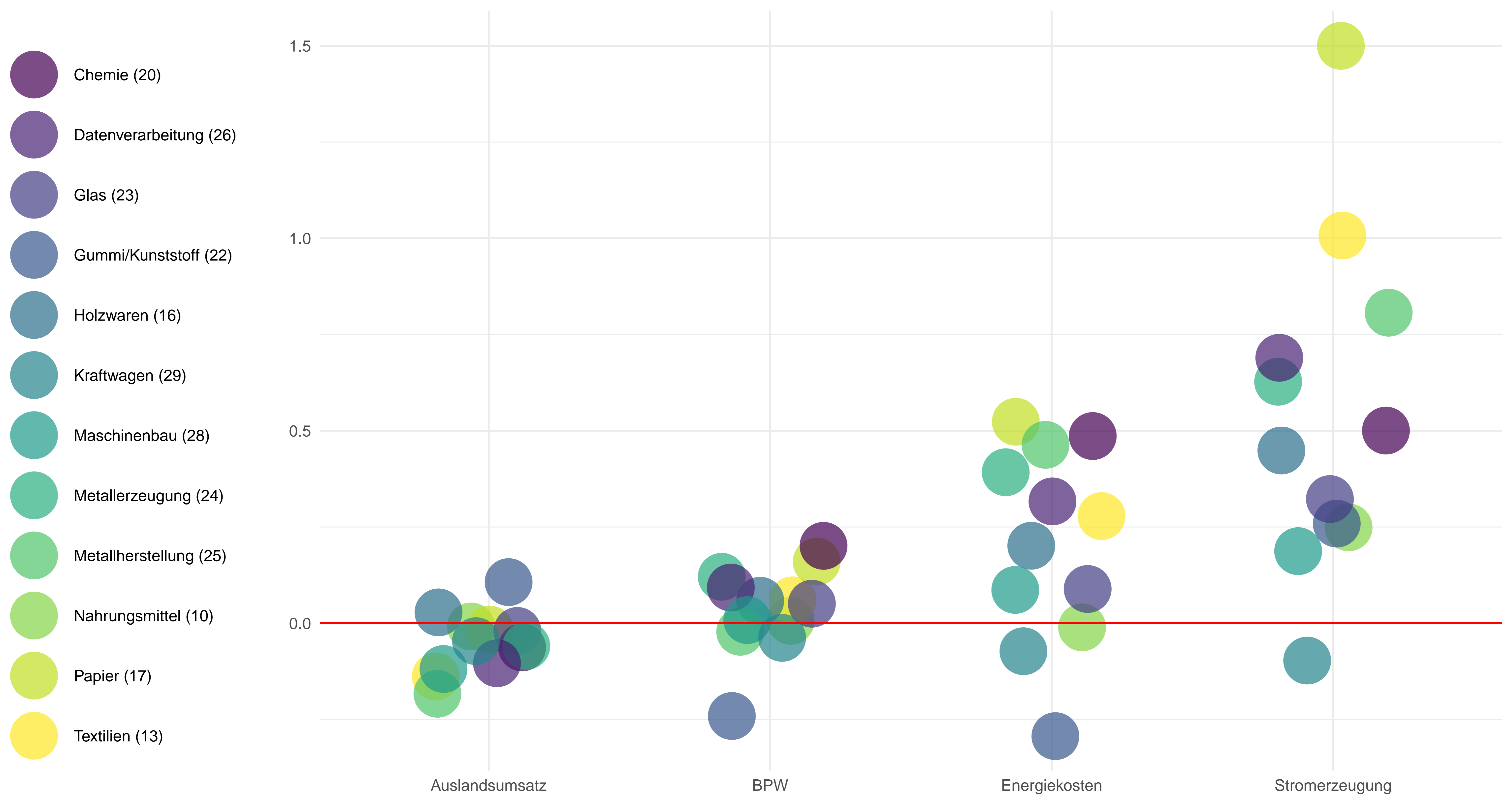


Abbildung 5: Graphische Darstellung der geschätzten Einflussfaktoren auf die Höhe des Rebound-Effekts

## 6 Ausblick

Im Workshop „Sektorale Rebound-Effekte verstehen“ sollen die Hypothesen und empirischen Beobachtungen, die im vorliegenden FactSheet zusammengefasst wurden, eingeordnet und durch Praxiswissen angereichert werden. Vertreter/innen von Verbänden und Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes diskutieren und kontextualisieren die wissenschaftlichen Erkenntnisse im Hinblick auf reale Bedingungen und Sachzwänge, Entscheidungsabläufe und technischen Hemmnisse, die für die richtige Interpretation der ökonomischen Schätzungsergebnisse wesentlich sind.

Der inter- und transdisziplinäre Austausch soll dazu beitragen, die festgestellten Sektor-Unterschiede zu erklären, die vorgeschlagenen Wirkungszusammenhänge zu bewerten und die dahinterliegenden Mechanismen besser zu verstehen. In Diskussionsgruppen wollen wir gemeinsam mit Ihnen erarbeiten, welche sektorspezifischen und sektorübergreifenden Aspekte dabei ineinandergreifen. Dabei freuen wir uns darauf insbesondere folgende Fragen eingehender zu erörtern:

**Ziele und Interessen der beteiligten Akteure:** Welche Absichten werden mit Effizienzmaßnahmen eigentlich verfolgt? Wie wichtig ist das Einsparziel? Wie wichtig sind intendierte Rebound-Effekte für die Umsetzung von Effizienzmaßnahmen?

**Sektorübergreifender Vergleich:** Wie lassen sich die festgestellten Sektor-Unterschiede erklären? Gibt es Besonderheiten, die bei der Einordnung helfen? Wie ist der Zusammenhang zwischen Effizienzlevel und Rebound-Effekt zu bewerten?

**Bewertung der Wirkungshypothesen:** Wie wirken sich Wettbewerbsdruck und Wachstumsorientierung auf die Höhe der

Rebound-Effekte aus? Können Sie die vermuteten Wirkungszusammenhänge bestätigen?

**Interpretation der empirischen Ergebnisse:** Wie lassen sich die sektorübergreifenden Einflussfaktoren bewerten? Sollten weitere Faktoren bei der Erklärung des Rebound-Effekts berücksichtigt werden?

Der Workshop ist integraler Bestandteil des *Policy Innovation Lab*. Das Lab bietet die Möglichkeit, die Fragestellungen und Erkenntnisse des Forschungsprojekts zu reflektieren, anzureichern und an den realen Anforderungen zu orientieren. Übergeordnetes Ziel ist die Entwicklung von Maßnahmenvorschlägen, mit denen Rebound-Effekte effektiv begrenzt werden können und die zugleich praktisch umsetzbar und politisch durchsetzbar sind.

Wir sind gespannt auf die Diskussion und freuen uns auf einen regen Erfahrungsaustausch!

## Literatur

- BMWi. (2016, Oktober). *Energiedaten: Gesamtausgabe*. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Zugriff auf <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/energiedaten-gesamtausgabe.html>
- Orea, L., Llorca, M. & Filippini, M. (2015). A new approach to measuring the rebound effect associated to energy efficiency improvements: An application to the us residential energy demand. *Energy economics*, 49, 599–609.
- Statistisches Bundesamt. (2018). *Pressemitteilung Nr. 368 vom 27. September*. Zugriff am 11.08.2019 auf [https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2018/09/PD18\\_368\\_433.html](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2018/09/PD18_368_433.html)

## Impressum

### Autor/innen:

Anne Berner (Universität Göttingen), Jan Peuckert und Nick von Andrian (Institut für Ökologische Wirtschaftsforschung)

### Projektleitung:

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW)  
Potsdamer Str. 105, 10785 Berlin  
[www.ioew.de](http://www.ioew.de)

### Kooperationspartner:

GWS – Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung  
Heinrichstraße 30, 49080 Osnabrück  
[www.gws-os.com](http://www.gws-os.com)

Universität Göttingen – Lehrstuhl Statistik Humboldtallee 3, 37073 Göttingen [www.uni-goettingen.de](http://www.uni-goettingen.de)

Der vorliegende Beitrag entstand im Forschungsprojekt „ReCap – Untersuchung der Rolle der Energie- und Ressourcenproduktivität für ökonomisches Wachstum und Entwicklung von politischen Instrumenten zur Eindämmung makroökonomischer Rebound-Effekte“. Das Projekt ist Teil der Fördermaßnahme „Rebound-Effekte aus sozial-ökologischer Perspektive“, gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) in der Sozial-Ökologischen Forschung (SÖF).

Förderkennzeichen 01UT170

Für nähere Informationen zum Projekt: [www.macro-rebounds.org](http://www.macro-rebounds.org)

Göttingen, September 2019