

Frondel, Manuel; Grösche, Peter

**Research Report**

## Energieeffizienz in der energieintensiven Industrie in Deutschland: Bericht - November 2010

RWI Projektberichte

**Provided in Cooperation with:**

RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung, Essen

*Suggested Citation:* Frondel, Manuel; Grösche, Peter (2010) : Energieeffizienz in der energieintensiven Industrie in Deutschland: Bericht - November 2010, RWI Projektberichte, Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (RWI), Essen

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/69979>

**Standard-Nutzungsbedingungen:**

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

**Terms of use:**

*Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.*

*You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.*

*If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.*



## Projektbericht

Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung

# Energieeffizienz in der energieintensiven Industrie in Deutschland

**Bericht – November 2010**

Forschungsprojekt im Auftrag des Verbands  
der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft (VIK)

# Impressum

## Vorstand des RWI

Prof. Dr. Christoph M. Schmidt (Präsident)

Prof. Dr. Thomas K. Bauer (Vizepräsident)

Prof. Dr. Wim Kösters

## Verwaltungsrat

Dr. Eberhard Heinke (Vorsitzender);

Dr. Henning Osthues-Albrecht; Dr. Rolf Pohlig; Reinhold Schulte  
(stellv. Vorsitzende);

Manfred Breuer; Oliver Burkhard; Dr. Hans Georg Fabritius;

Hans Jürgen Kerkhoff; Dr. Thomas Köster; Dr. Wilhelm Koll;

Prof. Dr. Walter Krämer; Dr. Thomas A. Lange; Reinhard Schulz;

Hermann Rappen; Dr.-Ing. Sandra Scheermesser

## Forschungsbeirat

Prof. Michael C. Burda, Ph.D.; Prof. David Card, Ph.D.; Prof. Dr. Clemens Fuest;

Prof. Dr. Justus Haucap; Prof. Dr. Walter Krämer; Prof. Dr. Michael Lechner;

Prof. Dr. Till Requate; Prof. Nina Smith, Ph.D.

## Ehrenmitglieder des RWI

Heinrich Frommknecht; Prof. Dr. Paul Klemmer †; Dr. Dietmar Kuhnt

## RWI Projektbericht

Herausgeber:

Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung

Hohenzollernstraße 1/3, 45128 Essen, Germany

Phone +49 201-81 49-0, Fax +49 201-81 49-200, e-mail: [rwi@rwi-essen.de](mailto:rwi@rwi-essen.de)

Alle Rechte vorbehalten. Essen 2010

Schriftleitung: Prof. Dr. Christoph M. Schmidt

**Energieeffizienz in der energieintensiven  
Industrie in Deutschland**

**Bericht – November 2010**

Forschungsprojekt im Auftrag des Verbands  
der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft (VIK)

Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung

**Energieeffizienz in der  
energieintensiven Industrie  
in Deutschland**

**Bericht – November 2010**

Forschungsprojekt im Auftrag des Verbands  
der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft (VIK)

# Projektbericht

## Projektteam:

Prof. Dr. Manuel Frondel (Projektleiter), Dr. Peter Grösche

# Energieeffizienz in der energieintensiven Industrie in Deutschland

---

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung.....</b>	<b>4</b>
<b>2. Die deutschen Energieintensiven Industrien.....</b>	<b>6</b>
<b>3. Die Eisen- und Stahlindustrie.....</b>	<b>9</b>
Produktionsprozess .....	10
Datenbasis.....	11
Effizienzvergleich.....	12
<b>4. Die Papierindustrie .....</b>	<b>17</b>
Datenbasis.....	17
Effizienzvergleich.....	18
<b>5. Die Chemische Industrie.....</b>	<b>22</b>
Datenbasis.....	22
Effizienzvergleich.....	23
<b>6. Die Zementindustrie.....</b>	<b>26</b>
Datenbasis.....	26
Effizienzvergleich.....	27
<b>7. Die Aluminiumindustrie.....</b>	<b>30</b>
Datenbasis.....	31
Effizienzvergleich.....	31
<b>8. Die Glasindustrie.....</b>	<b>33</b>
Datenbasis.....	34
Effizienzvergleich.....	35
<b>9. Fazit.....</b>	<b>36</b>
<b>10. Literatur.....</b>	<b>38</b>

## Einleitung: Energieeffizienz als Wettbewerbsfaktor

### 1. Einleitung:

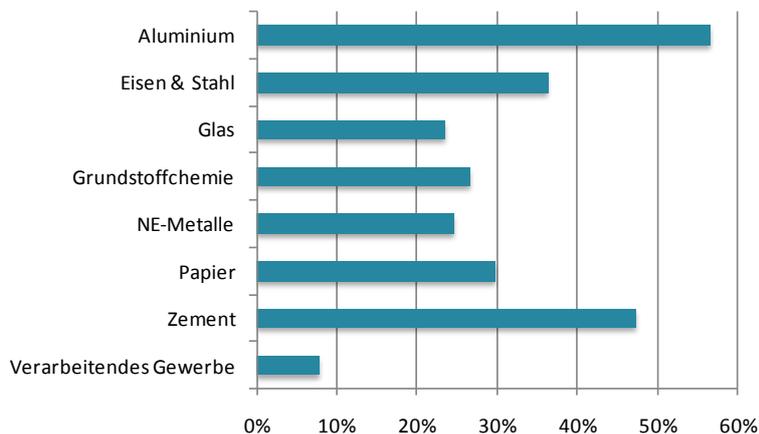
#### Energieeffizienz als Wettbewerbsfaktor

Die Erhöhung der Energieeffizienz wird als eine zentrale Säule für eine sichere, wirtschaftliche und nachhaltige Energieversorgung gesehen. Eine Reduzierung des gesellschaftlichen Energieverbrauchs ohne eine gleichzeitige Gefährdung des wirtschaftlichen Wachstums schont die erschöpflichen fossilen Energieressourcen und leistet einen Beitrag zur Verringerung der Treibhausgasemissionen. Vor diesem Hintergrund genießt das Thema Energieeffizienz besonders in der deutschen Energiepolitik eine hohe Priorität.

Auch bei den Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes wird dem Thema Energieeffizienz hohe Aufmerksamkeit gewidmet. Denn Energie ist nicht nur ein wichtiger Produktionsfaktor. Vielmehr ist Energie bei den energieintensiven Industrien vielfach der bedeutendste Kostenfaktor. Gemessen an der Bruttowertschöpfung belaufen sich die Energiekosten auf rund 57% in der Aluminiumerzeugung, auf etwa 47% in der Zementindustrie und auf rund 36% in der Eisen- und Stahlindustrie (Abbildung 1).

**Abbildung 1:**  
**Anteil der Energiekosten an der Bruttowertschöpfung**

In Prozent im Jahr 2008



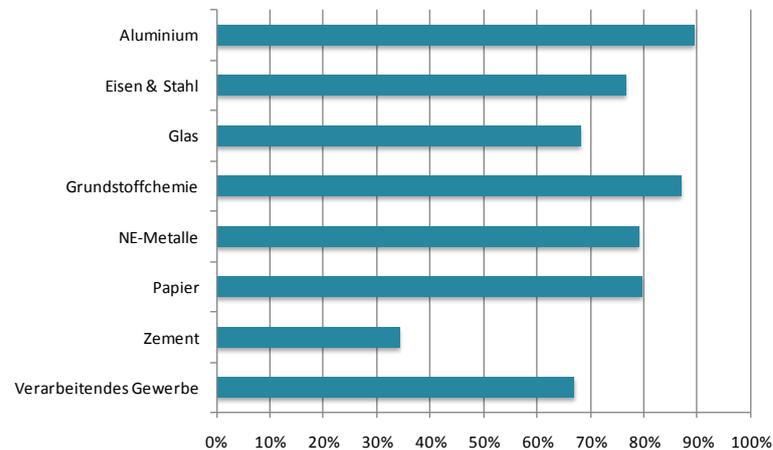
Quelle: Statistisches Bundesamt, FS4R4.3

## Energieeffizienz in der energieintensiven Industrie in Deutschland

Die Energiekosten haben für die Unternehmen in den vergangenen Jahren stark zugenommen: Zwischen 2003 und 2008 sind die Energiekosten des Verarbeitenden Gewerbes um rund 67% gestiegen. Mit Ausnahme der Zementindustrie waren alle energieintensiven Industrien überdurchschnittlich stark von der Energiekostensteigerung betroffen (Abbildung 2).

**Abbildung 2:**  
**Steigerung der Energiekosten im Verarbeitenden Gewerbe**

In Prozent zwischen 2003 und 2008



Quelle: Statistisches Bundesamt, FS4R4.3

Vor diesem Hintergrund ist ein energieeffizienter Produktionsprozess in zunehmendem Maße ein Wettbewerbsfaktor. Denn will ein Unternehmen am Markt bestehen, muss es bestrebt sein, sämtliche Produktionsfaktoren, mithin auch den Produktionsfaktor Energie, so effizient wie möglich einzusetzen. Dies gilt umso mehr für Unternehmen, die in bedeutendem Maße auf internationalen Märkten operieren und dort auf ausländische Wettbewerber treffen.<sup>1</sup> Daher wird eine energieintensive Produktion in der Regel auch eine energieeffiziente Produktion implizieren – schon allein aus kaufmännischen Erwägungen heraus.

Wie die nachfolgenden Ausführungen zeigen, haben die energieintensiven Industrien in Deutschland die Bedeutung der Energieeffizienz frühzeitig erkannt. Die

<sup>1</sup> Dies trifft nicht zuletzt für die Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland zu: Mit etwa 725 Mrd. € erwirtschaftete das Verarbeitende Gewerbe 2008 fast 45% des Umsatzes im Ausland (StaBuA FS4R4.1.1),

## Die deutschen energieintensiven Industrien im Überblick

folgenden Abschnitte zeichnen ein ganz überwiegend positives Bild vom Effizienzgrad ausgewählter Industrien im Vergleich zu ihren internationalen Wettbewerbern. Abschnitt 2 gibt einen zusammenfassenden Überblick über die Entwicklung der Energieeffizienz und der CO<sub>2</sub>-Intensität in den energieintensiven Industrien in Deutschland zwischen den Jahren 1990 und 2008. Die Abschnitte 3 bis 8 stellen die Energieeffizienz der Branchen jeweils im Vergleich zu ihren wichtigsten Wettbewerbsländern dar.

Trotz der Bedeutung der Energieeffizienz als internationalem Wettbewerbsfaktor gibt es bisher nur wenige Analysen und empirische Studien zum Effizienzgrad energieintensiver Industriesektoren. Ein absoluter Mangel herrscht insbesondere an Studien, die internationale Vergleiche ziehen. Ein wesentlicher Grund dafür sind die weitgehend fehlenden konsistenten Datengrundlagen. Daher ist es ein Ziel der vorliegenden Studie des RWI, diese Lücke so gut als möglich zu schließen und einen länderübergreifenden Effizienzvergleich auf Basis der spärlich vorhandenen empirischen Informationen anzubieten.

### 2. Die deutschen energieintensiven Industrien im Überblick

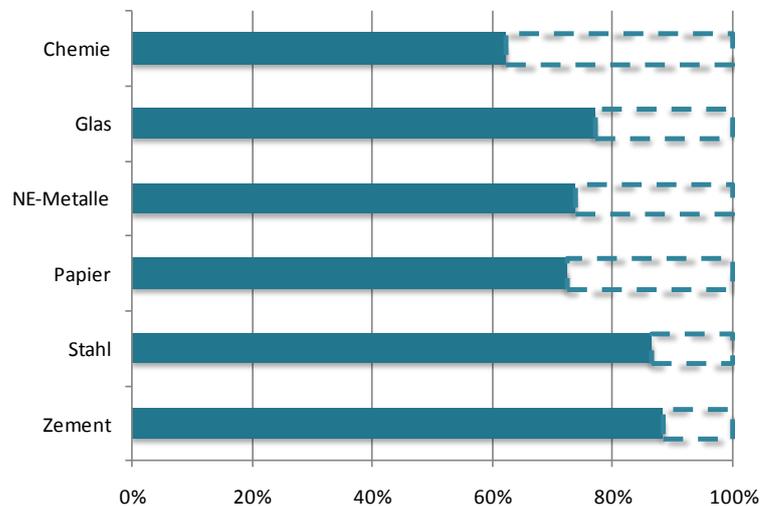
Das RWI begleitet seit mehr als einer Dekade die energieintensiven Industrien im Rahmen des CO<sub>2</sub>-Monitorings der freiwilligen Selbstverpflichtung der deutschen Industrie zur Klimaschutzvorsorge und dokumentiert die jährlichen Fortschritte in der Energieeffizienz und der Minderung der CO<sub>2</sub>-Intensität in den sogenannten CO<sub>2</sub>-Monitoringberichten. Eine Übersicht über die Minderungen des spezifischen Energieverbrauchs zwischen 1990 und 2008 in den besonders energieintensiven Industrien gibt Abbildung 3. Zu Vergleichszwecken ist die Darstellung für das Jahr 1990 auf 100% normiert, der spezifische Energieverbrauch für 2008 ist als prozentualer Anteil am Wert von 1990 dargestellt.

Beispielsweise hatte die Papierindustrie im Jahr 1990 einen Energiebedarf von rund 15,9 GJ Energie je Tonne Papiererzeugung, im Jahr 2008 belief sich dieser Wert auf nur noch 11,5 GJ/t bzw. 72% des Ausgangswerts (farbiger Balken). Die Minderung zwischen 1990 und 2008 beläuft sich somit auf rund 28% (gestrichelter Balken). In entsprechender Weise sind auch die Werte für die anderen Industriebranchen zu interpretieren: die Chemische Industrie minderte den spezifischen Energieeinsatz um rund 38%, in der Glasindustrie sank der Energieverbrauch je Tonne Glas um 23% auf 13,1 GJ/t, in der Stahlerzeugung wurden 2008 rund 14% weniger an

## Energieeffizienz in der energieintensiven Industrie in Deutschland

Energie je Tonne Rohstahl verbraucht als 1990 und in der Zementindustrie sank der spezifische Energieverbrauch um 12%.<sup>2</sup>

**Abbildung 3:**  
**Reduzierung des spezifischen Energieverbrauchs in der energieintensiven Industrie**  
1990 =100, Wert für 2008 als Anteil am Wert von 1990  
Strom ist primärenergetisch mit 10,434 MJ/kWh bewertet



Quelle: CO<sub>2</sub>-Monitoring (RWI 2009)

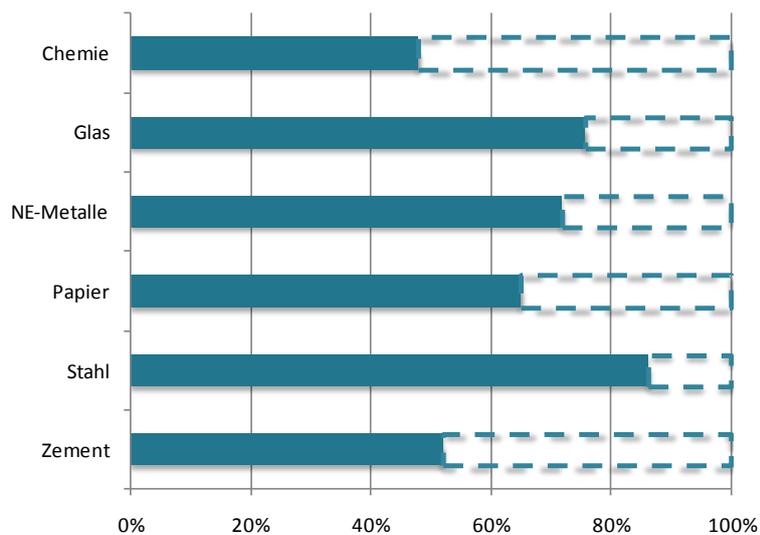
Ein ähnliches Bild erhält man für die Minderung der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen (Abbildung 4). So sanken die spezifischen Treibhausgas-Emissionen in der Chemischen Industrie zwischen 1990 und 2008 um rund 52%. In der Glasindustrie sank der spezifische CO<sub>2</sub>-Wert je Tonne Glaserzeugung um etwa 24%. Die Papierindust-

<sup>2</sup> Jede der hier betrachteten Branchen hat ihre Besonderheiten in der Berechnung des spezifischen Energieverbrauchswerts. So wird aufgrund der sehr heterogenen Produktstruktur in der Chemischen Industrie der spezifische Verbrauch mit Hilfe eines Produktionsindex berechnet. Dabei wird der rohstoffbedingte Verbrauch an Energieträgern nicht berücksichtigt. In der Papierindustrie werden nicht unbedeutende Mengen an als CO<sub>2</sub>-neutral geltende Brennstoffe nicht in die Berechnung einbezogen. Bei der Stahlindustrie werden die Mengen an Hochofen- und Konvertergas nicht berücksichtigt, die während der Stahlerzeugung als Kuppelgas entstehen und als Brennstoff wieder verwendet werden. Für eine detaillierte Darstellung siehe RWI (2009).

## Die deutschen energieintensiven Industrien im Überblick

rie emittierte 2008 etwa ein Drittel weniger CO<sub>2</sub> je Tonne Papieroutput als noch 1990, in der Stahlindustrie lagen die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen um rund 14% unter dem Wert von 1990. Auffällig ist die 48%ige CO<sub>2</sub>-Minderung in der Zementindustrie, insbesondere da der spezifische Energieeinsatz in Abbildung 3 lediglich um 12%, das heißt deutlich weniger, gesunken ist. Grund für die Divergenz dieser beiden Entwicklungen ist, dass in der Zementindustrie im Jahr 2008 nur noch etwa 46% des Brennstoffverbrauchs durch Primärenergieträger gedeckt wird, hingegen werden 54% durch emissionsneutrale Sekundärenergieträger aufgebracht (RWI 2009:147). Im Jahr 1990 belief sich der Anteil der Primärenergieträger noch auf knapp 93%.

**Abbildung 4:**  
**Reduzierung der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen in der energieintensiven Industrie**  
1990 =100, Wert für 2008 als Anteil am Wert von 1990



Quelle: CO<sub>2</sub>-Monitoring (RWI 2009)

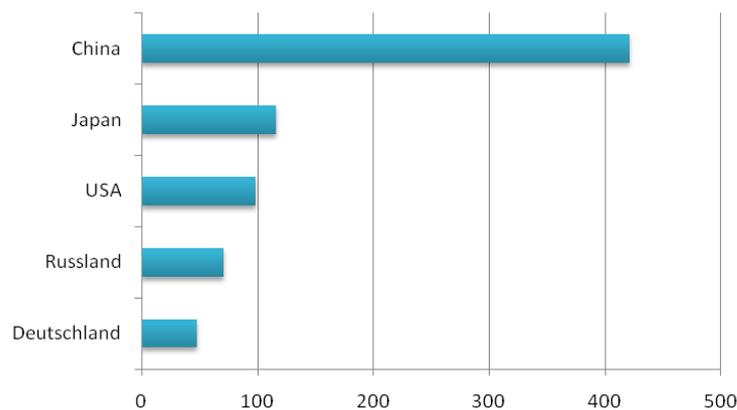
## Energieeffizienz in der energieintensiven Industrie in Deutschland

---

### 3. Die Eisen- und Stahlindustrie

Im Jahr 2006 wurden weltweit etwa 1,3 Mrd. t Rohstahl erzeugt (World Steel 2009), dabei geht mit rund 421 Mio. t fast 1/3 der Weltrohstahlproduktion auf China zurück. Die deutsche Stahlindustrie hat 2006 rund 47 Mio. t Rohstahl produziert (Abbildung 5). Die Erzeugung von Roheisen und Rohstahl ist einer der energieintensivsten Prozesse. Im Jahr 2006 entfielen in den OECD-Ländern rund 12% des industriellen Endenergieverbrauchs auf die Stahlindustrie, in Deutschland waren es sogar mehr als 16% (IEA-OECD).

**Abbildung 5**  
**Rohstahlproduktion ausgewählter Länder**  
In Mio. t im Jahr 2006

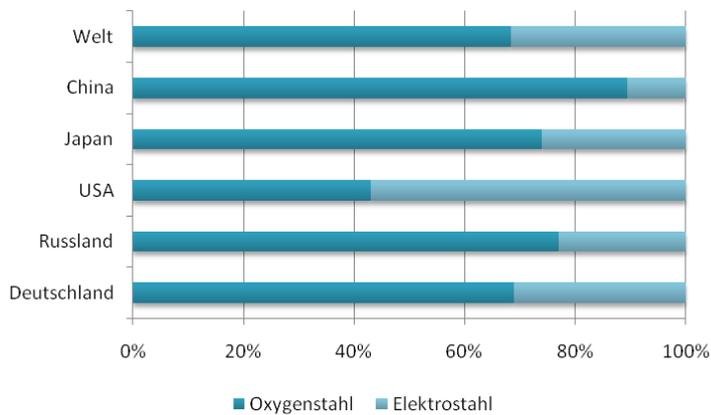


Quelle: World Steel 2009

Bei der Erzeugung von Rohstahl haben sich zwei grundverschiedene Prozesse etabliert: die Produktion von Oxygenstahl im Hochofen und die Elektrostahlerzeugung durch Wiederverwertung von Stahlschrott. Etwa 2/3 der Weltrohstahlproduktion wurden 2006 im Hochofen produziert, Elektrostahl hatte einen Anteil von rund 1/3 (World Steel 2009). Mit 31% liegt der Elektrostahlanteil an der Stahlproduktion in Deutschland im weltweiten Durchschnitt. Die USA weisen mit 57% einen weit überdurchschnittlichen Anteil an Elektrostahl auf, in China lag dieser Anteil bei lediglich 11% (Abbildung 6).

## Die Eisen- und Stahlindustrie

**Abbildung 6**  
**Anteil der Oxygen- und der Elektrostahlerzeugung**  
Jahr 2006



Quelle: World Steel 2009

### Produktionsprozesse

Bei der Erzeugung von Oxygenstahl wird Eisenerz im Hochofen zu Roheisen reduziert, anschließend erfolgt im Stahlkonverter die Veredelung des Roheisens durch Beigabe von Sauerstoff zu Rohstahl. Auf dieser Prozessroute kommen große Mengen an Kohle und Koks für die chemische Reduktion im Hochofen zum Einsatz. Sowohl während des Hochofenprozesses als auch im Stahlkonverter entstehen große Mengen an Prozessgasen, die ähnliche feuertechnische Eigenschaften wie Erdgas haben. Die Eisen- und Stahlindustrie nutzt diese Gase, um andere fossile Brenngase in ihren Fertigungsprozessen zu substituieren oder als Brennstoff für die Eigenstromerzeugung.

Bei der Herstellung von Elektrostahl wird Stahlschrott in einem Elektroofen zu Rohstahl eingeschmolzen. Der ehemals im Hochofen erzeugte Stahlschrott wird beim Elektrostahlverfahren recycelt. Obwohl beim Einschmelzungsprozess große Mengen Strom verbraucht werden, ist die Produktion von Elektrostahl insgesamt weniger energieintensiv als die Produktion von Hochofenstahl, da der sehr energieintensive Prozessschritt im Hochofen entfällt. Für die Produktion einer Tonne Elektrostahl werden zwischen 300 und 550 kWh Strom verbraucht (etwa 1,1 – 2 GJ/t, IEA

## Energieeffizienz in der energieintensiven Industrie in Deutschland

---

2007:130).<sup>3</sup> Demgegenüber ist alleine für die Reduktion im Hochofen ein spezifischer Verbrauch an fossiler Energie von fast 15 GJ/t notwendig (RWI 2008:168). Für den Energieverbrauch und damit auch für die Energieeffizienz der Eisen- und Stahlindustrie ist es daher von großer Bedeutung, wie hoch der Anteil an Elektrostahl an der gesamten Erzeugungsmenge ist. Dieser kann indessen nicht unbegrenzt erhöht werden, da die Verfügbarkeit von Stahlschrott begrenzt ist.

### Datenbasis

Die World Steel Association stellt in ihrem jährlich erscheinenden Statistischen Jahrbuch Daten zur Stahlproduktion zahlreicher Länder bereit. Die Produktionsdaten werden getrennt nach Produktionsverfahren zur Verfügung gestellt. Auch die IEA-Energiebilanzen weisen den Energieverbrauch für die Stahlproduktionsverfahren separat aus (IEA-OECD, IEA-Non-OECD). Allerdings wird der Energieverbrauch der Hochöfen und Stahlkonverter zum Teil dem Energieumwandlungssektor zugerechnet.

Hintergrund dafür sind die bei der Eisen- und Stahlerzeugung entstehenden Kuppelgase. Im Hochofen werden fossile Brennstoffe als Kohlenstofflieferant für den chemischen Reduktionsprozess des Eisenerzes zu Roheisen eingesetzt, gleichzeitig dienen die Brennstoffe auch zur Wärmeerzeugung. Während des Hochofenprozesses und auch bei der Veredelung des Roheisens zu Rohstahl im Konverter wird ein Teil des Kohlenstoffgehalts der Brennstoffe prozessbedingt zu Hochofen- bzw. Konvertergas umgewandelt. Diese sogenannten Kuppelgase können als Brennstoff im Produktionsprozess verwendet werden.

In den Energiebilanzen der IEA und den Bilanzen der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) wird daher ein Teil des Brennstoffverbrauchs im Hochofen als Energieerzeugung im Umwandlungssektor verbucht und ein Teil als Endenergieverbrauch der Stahlindustrie. Die Aufteilungsregel des Brennstoffverbrauchs ist zwischen den Statistiken der IEA und der AGEB nach Aussage der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen nicht vergleichbar. Eine direkte Gegenüberstellung der beiden Datenquellen ist daher nicht möglich.

Um die Energieeffizienz in der Stahlproduktion verschiedener Länder methodisch konsistent vergleichen zu können, sind die Energiebilanzen der IEA jedoch alterna-

---

<sup>3</sup> Die Untergrenze von 300 kWh Strom je Tonne Elektrostahl kann nach Auskunft der Wirtschaftsvereinigung Stahl nur durch den Einsatz von Sauerstoffbrennern erreicht werden, womit wiederum ein höherer Erdgasverbrauch einher gehen würde. Ohne eine derartige Unterstützung läge die Untergrenze für den spezifischen Stromverbrauch bei etwa 380 kWh je Tonne Stahl.

## Die Eisen- und Stahlindustrie

tivlos. Sie sind die einzige Quelle, die Zeitreihen zum Energieverbrauch für einen längeren Zeitraum nach einem einheitlichen sektoralen Abgrenzungsschema zur Verfügung stellen. Die teilweise erheblichen Abweichungen zu den deutschen Energiebilanzen und den vom Stahlinstitut VDEh publizierten Energieverbrauchswerten müssen daher in Kauf genommen werden.

### Effizienzvergleich

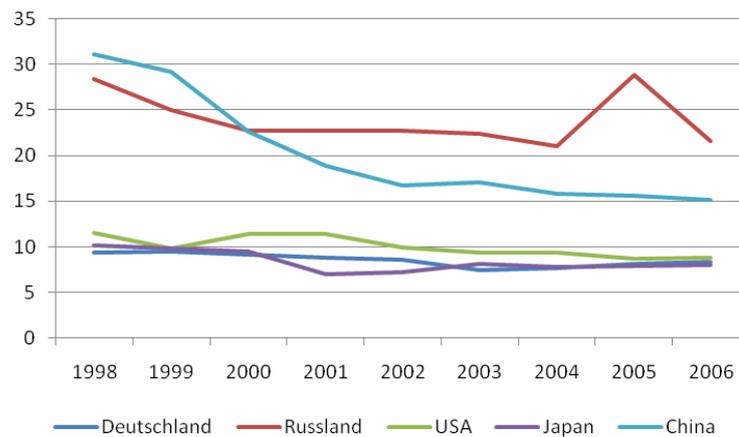
Die deutsche Eisen- und Stahlindustrie hat 2006 nach Angaben der IEA rund 394 PJ an Energie verbraucht (Tabelle 3.1). Bezogen auf die Rohstahlerzeugung von 47,2 Mio. t ergibt sich ein spezifischer Energieverbrauch von 8,33 GJ/t.<sup>4</sup> Im Vergleich zu 1998 ist dieser Wert um rund 11% gesunken. Eine vergleichbare Energieeffizienz weisen die USA und Japan auf. Dabei ist aber insbesondere bei den USA zu beachten, dass die US-amerikanische Stahlindustrie mehr als die Hälfte ihrer Erzeugung auf dem Wege der Stahlschrottschmelze in Elektroöfen produziert. China hat seit 1998 seine Rohstahlproduktion um fast 350% gesteigert. Der Energieverbrauch der chinesischen Stahlindustrie nahm zwischen 1998 und 2006 dagegen nur um knapp 120% zu. Entsprechend konnte die Energieintensität von mehr als 31 GJ/t auf etwa 15 GJ/t halbiert werden. Dennoch verbraucht die chinesische Stahlindustrie derzeit noch fast doppelt so viel Energie je t Rohstahl wie die deutsche Branche.

---

<sup>4</sup> Dieser Wert liegt erheblich unter dem vom Stahlinstitut VDEh (2009:23) publizierten Wert von 17,44 GJ/t. Der Wert des Stahlinstituts berücksichtigt indessen auch den Verbrauch an Prozessgasen und das energetische Äquivalent des Sauerstoffverbrauchs in der Stahlproduktion. In den Energiebilanzen der IEA fehlen hierzu die Angaben, eine international vergleichbare spezifische Verbrauchskennziffer nach Abgrenzung des VDEh ist daher nicht verfügbar.

## Energieeffizienz in der energieintensiven Industrie in Deutschland

**Abbildung 7:**  
Spezifischer Energieverbrauch der Stahlindustrie im internationalen Vergleich  
In GJ/t Rohstahl



Quelle: Eigene Berechnungen.

Für die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stahlindustrie ist neben der Energieintensität auch der Energiemix in den Produktionsprozessen von Bedeutung. In Deutschland wird rund die Hälfte des Energiebedarfs der Stahlindustrie aus Kohle gedeckt, Strom deckt etwa 28% des Energiebedarfs (Abbildung 8). Den höchsten Kohleanteil am Energieträgermix in der Stahlerzeugung hat China mit knapp 80%. Hier spiegelt sich die geringe Bedeutung der Elektrostahlerzeugung in China wieder (Abbildung 6). In der US-amerikanischen Stahlindustrie, mit ihrem hohen Elektrostahlanteil, ist Kohle mit 14% am Energieträgermix weniger bedeutend, dafür wird mehr als 1/3 des Energiebedarfs aus Strom gedeckt.

## Die Eisen- und Stahlindustrie

**Tabelle 3.1**  
**Energieverbrauch, Rohstahlproduktion und spezifischer Energieverbrauch der**  
**Stahlindustrie ausgewählter Länder**

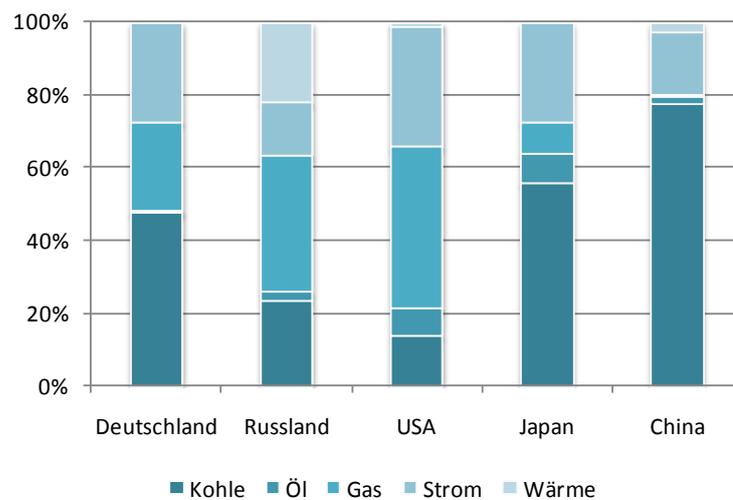
1998 bis 2006

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Energieverbrauch in PJ									
Deutschland	412	398	421	394	384	334	358	360	394
Russland	1 246	1 289	1 344	1 339	1 359	1 375	1 376	1 909	1 530
USA	1 133	952	1 164	1 025	908	876	937	825	863
Japan	955	927	1 007	723	771	891	876	888	930
China	2 923	2 842	2 855	2 836	3 039	3 783	4 332	5 537	6 358
Rohstahlproduktion in Mio. t									
Deutschland	44.0	42.1	46.4	44.8	45.0	44.8	46.4	44.5	47.2
Russland	43.8	51.5	59.1	59.0	59.8	61.5	65.6	66.2	70.8
USA	98.7	97.4	101.8	90.1	91.6	93.7	99.7	94.9	98.6
Japan	93.5	94.2	106.4	102.9	107.7	110.5	112.7	112.5	116.2
China	93.9	97.3	126.0	150.0	182.2	222.4	274.4	355.3	420.9
Spezifischer Energieverbrauch in GJ/t									
Deutschland	9.36	9.46	9.08	8.80	8.54	7.45	7.71	8.10	8.33
Russland	28.44	25.02	22.75	22.71	22.74	22.38	20.99	28.85	21.60
USA	11.49	9.77	11.43	11.37	9.92	9.35	9.40	8.70	8.76
Japan	10.20	9.85	9.46	7.03	7.15	8.06	7.77	7.89	8.00
China	31.14	29.21	22.65	18.91	16.68	17.01	15.79	15.59	15.10

Quelle: IEA (verschiedene Jahrgänge), World Steel (2009)

## Energieeffizienz in der energieintensiven Industrie in Deutschland

**Abbildung 8**  
Energiemix der Rohstahlerzeugung im Jahr 2006



Quelle: IEA (2007)

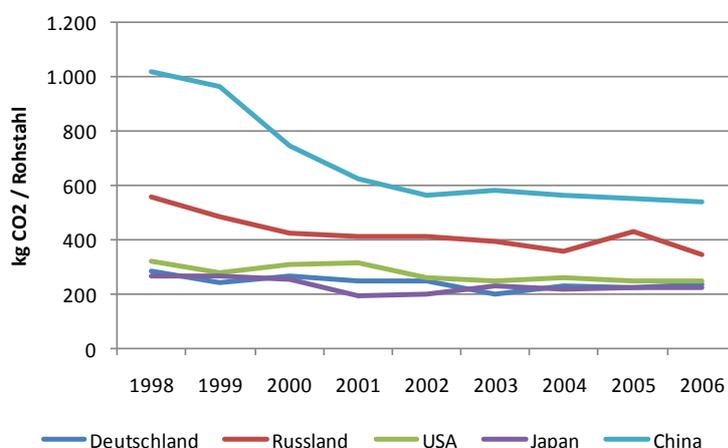
Die CO<sub>2</sub>-Intensität in der Rohstahlerzeugung ist in Abbildung 9 wiedergegeben. Dafür wurde der Verbrauch an Strom primärenergetisch mit dem zugrundeliegenden Energieträgermix in der Stromerzeugung und dem Effizienzgrad des jeweiligen nationalen Kraftwerkparks bewertet.<sup>5</sup> Für Deutschland ergibt sich demnach ein Wert von 237 kg CO<sub>2</sub>/t Rohstahl im Jahr 2006, ein Wert, der nur noch von Japan unterboten wird. Seit 1998 sanken die spezifischen Emissionen der deutschen Stahlindustrie um fast 18%. Chinas Stahlindustrie konnte seine spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen zwi-

<sup>5</sup> Für Strom muss der jeweils zugrundeliegende Energiemix in der Stromerzeugung und die Effizienz des Umwandlungsprozesses berücksichtigt werden: Ein ineffizienter Umwandlungsprozess in der Stromerzeugung verlangt nach einer größeren Menge Primärenergieträgern und erhöht somit auf indirekte Weise die für die Produktion aufgewendete Energie- und CO<sub>2</sub>-Menge. Aufgrund fehlender Angaben zum Energiemix bei der Wärmeerzeugung wird der Verbrauch an Wärme nicht in die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Intensität mit einbezogen. Allerdings ist (Fremd-)Wärme lediglich in Russland ein bedeutender Energieträger in der Stahlerzeugung, der Emissionswert für Russland wird daher in Abbildung 5 unterschätzt sein.

## Die Eisen- und Stahlindustrie

schen 1998 und 2006 um mehr als 47% mindern, emittiert mit rund 540 kg aber immer noch fast doppelt so viel CO<sub>2</sub> je t Rohstahl wie die deutsche Stahlindustrie.<sup>6</sup>

**Abbildung 9:**  
**CO<sub>2</sub>-Intensität in der Stahlindustrie**



Quelle: Eigene Berechnungen.

<sup>6</sup> An dieser Stelle treten sehr deutlich die Abweichungen zwischen den Energiebilanzen der IEA und den existierenden Emissionswerten der deutschen Stahlindustrie zutage. Beispielsweise wird im CO<sub>2</sub>-Monitoringbericht für das Jahr 2006 (RWI 2008) ein spezifischer Emissionswert von 1 341 kg CO<sub>2</sub> je Tonne Rohstahl ausgewiesen. Das CO<sub>2</sub>-Monitoring trifft jedoch andere Annahmen bezüglich der Aufteilung des Brennstoffeinsatzes im Hochofen in Energieverbrauch und Energieumwandlung.

## Energieeffizienz in der energieintensiven Industrie in Deutschland

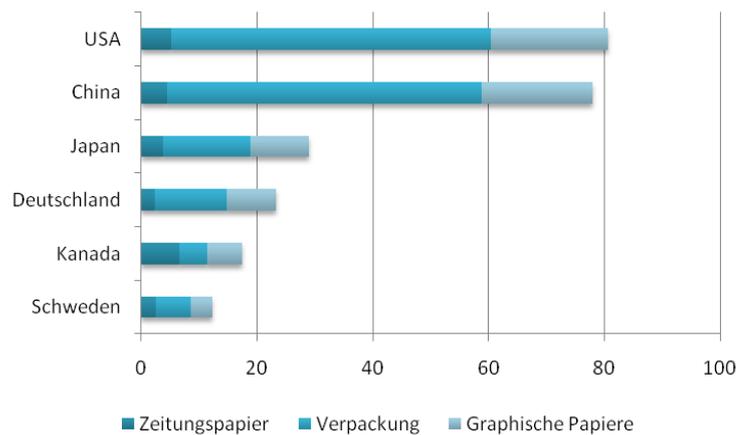
---

### 4. Die Papierindustrie

Mit einer Produktion von 23,3 Mio. t Papier im Jahr 2007 ist die deutsche Papierindustrie einer der wichtigsten Akteure auf dem Weltmarkt. Lediglich die USA, China und Japan produzieren mehr Papier (Abbildung 10). Weltweit wurden im Jahr 2007 etwa 394 Mio. t Papier und 194 Mio. t Faserstoffe produziert (VDP 2009).

**Abbildung 10:**  
**Papierproduktion 2007**

Angaben in Mio. t



Quelle: FAO (2008)

#### Datenbasis

Daten zur Papiererzeugung zahlreicher Länder werden von der *Food and Agricultural Organization* (FAO) der Vereinten Nationen bereitgestellt, unterteilt nach der Erzeugung von Zeitungspapier, Kartonage und graphischen Papieren. Ebenso enthält die FAO-Datenbank Angaben in Bezug auf die Produktion von Faserstoffen. Dabei wird die Faserstoffherstellung nach chemischer und mechanischer Erzeugung

## Die Papierindustrie

unterschieden. Die Energiebilanzen der IEA (IEA-OECD, IEA-Non-OECD) enthalten Angaben zum Energieverbrauch in der Papier- und Faserstoffherstellung.<sup>7</sup>

Mit großer Vorsicht müssen die Daten der chinesischen Papierindustrie behandelt werden. Nach Ansicht der IEA (2007: 189) werden die Energieverbrauchswerte der chinesischen Branche massiv unterschätzt. So beträgt der von der IEA für 2007 ausgewiesene Energieverbrauch von 698 PJ weniger als 1/3 des amerikanischen Wertes (2381 PJ), obwohl die chinesische Produktion nur geringfügig unter der amerikanischen Produktionsmenge liegt (Abbildung 10). Da keine gesicherten Angaben zur Größenordnung der Fehleinschätzung in den chinesischen Daten vorliegen, wird auf eine weitere Darstellung der chinesischen Papierindustrie im Folgenden verzichtet.

### Effizienzvergleich

Am Anfang der Papiererzeugung steht die Herstellung der Ausgangsstoffe wie Zell- oder Holzstoff. In einem zweiten Schritt werden diese Faserstoffe zu verschiedenen Papierprodukten veredelt, beispielsweise zu graphischen Papieren, Hygieneartikeln, oder Verpackungsmaterialien. Tabelle 4.1 gibt einen Überblick über die Energieintensität einzelner Prozessschritte, wenn die beste verfügbare Technik verwendet werden würde. Insbesondere die chemische Faserstoffaufbereitung ist äußerst energieintensiv. Durch die Verwendung von Altpapier in der Produktion können Faserstoffe substituiert und damit die gesamte Prozesskette weniger energieintensiv gestaltet werden.

**Tabelle 4.1:**  
**Energieintensität der besten verfügbaren Technik**

		Wärme GJ/t	Strom GJ/t	Insgesamt, GJ/t
Papier	Zeitungspapier	3,78	2,16	5,94
	Verpackung	4,32	1,8	6,12
	Graphische Papier	5,25	1,8	7,05
Faserstoffe	Chemische Faserstoffherzeugung	12,25	2,08	14,33
	Mechanische Faserstoffherzeugung		7,5	7,5

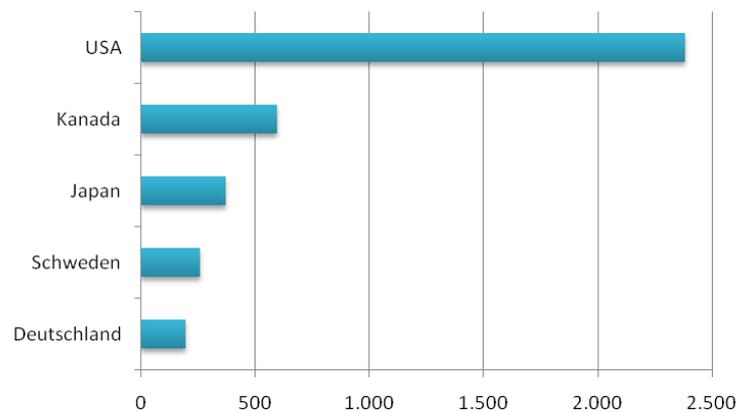
Quelle: IEA (2007:188)

<sup>7</sup> Neben dem Energieverbrauch für die Papier- und Faserstoffherzeugung (ISIC 21) ist in den Angaben der Energiebilanzen der IEA zudem der Energieverbrauch des Verlagsgewerbes (ISIC 22) enthalten.

## Energieeffizienz in der energieintensiven Industrie in Deutschland

Die US-amerikanische Papierindustrie hat im Jahr 2007 fast 2 400 PJ an Energie verbraucht und damit mehr als Kanada, Japan, Schweden und Deutschland zusammen. Die deutsche Papierindustrie hat sich schwerpunktmäßig auf den Prozessschritt der Papiererzeugung konzentriert und im Jahr 2007 etwa 196 PJ Energie verbraucht. Die energieintensive Faserstoffproduktion ist in Deutschland weniger von Bedeutung und findet vor allem in sehr waldreichen Ländern wie Schweden und Kanada statt. Im Jahr 2007 importierte die deutsche Papierindustrie netto rund 3,6 Mio. t Faserstoffe (VDP 2009). Da diese Faserstoffe energieintensiv im Ausland produziert wurden, importiert die deutsche Papierindustrie somit implizit auch Energie. Ein geeigneter Indikator für Energieeffizienz muss daher die Produktionsstruktur der Papierindustrie in den jeweiligen Vergleichsländern berücksichtigen.

**Abbildung 11:**  
**Energieverbrauch 2007 in der Papierindustrie**  
Angaben in Petajoule (PJ)



Quelle: IEA (2009)

Als geeignete Richtgröße für den Stand der Energieeffizienz kann die Energieintensität dienen, die sich ergeben würde, wenn das jeweilige Vergleichsland seine Prozesse nach der besten verfügbaren Technik durchführen würde. Diese Richtgröße erhält man für ein bestimmtes Land C formal durch:

$$BAT_C = \frac{\sum_j E_j Q_{jC}}{\sum_j Q_{jC}}$$

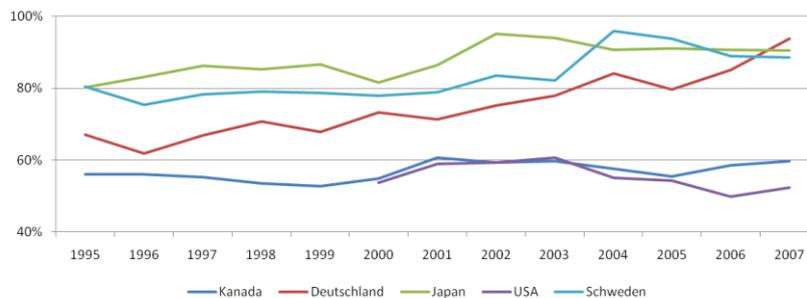
## Die Papierindustrie

Dabei wird im Zähler die jeweilige landesspezifische Produktionsmenge  $Q$  eines Produkts  $j$  (z.B. graphische Papiere oder mechanische Faserstoffproduktion) mit der Energieintensität  $E_j$  der besten verfügbaren Technik gewichtet. Der Zähler stellt damit den Energieverbrauch dar, der sich bei gegebener Erzeugungsstruktur des Landes  $C$  unter Anwendung der besten verfügbaren Technik ergeben hätte. Dieser Wert wird typischerweise nicht erreicht, da in der Regel nicht die gesamte Branche eines Landes die jeweils modernste Technik anwendet. Als Gradmesser für die Energieeffizienz in der Papierindustrie kann somit das Verhältnis aus der Energieintensität bei bester verfügbarer Technik (BAT) und tatsächlicher Energieintensität herangezogen werden:

$$\text{Effizienzgrad}_C = \frac{BAT_C}{\text{Energieintensität}_C}$$

Nimmt das Verhältnis den Wert 1 an (100%), dann arbeitet die Papierindustrie des Landes  $C$  insgesamt mit der besten verfügbaren Technik. Die Differenz zu 100% kann als verbliebenes technisches Effizienzpotential in der Branche interpretiert werden.

**Abbildung 12:**  
**Entwicklung des Effizienzgrads in der Papierindustrie**  
1995 bis 2007



Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 12 verdeutlicht die Entwicklung des Effizienzgrads für die wichtigsten Papierproduzenten. An energetischen Maßstäben gemessen war die japanische Papierindustrie viele Jahre lang der Musterschüler. Die deutsche Papierindustrie zeigt seit 1995 eine kontinuierliche Verbesserung der Energieeffizienz und hat sich – unseren Berechnungen zufolge – im Jahr 2007 bereits bis auf 94% an den Richtwert der besten verfügbaren Technik angenähert. Damit verbleibt nur noch wenig Effizi-

## Energieeffizienz in der energieintensiven Industrie in Deutschland

---

enzpotential in der Branche. Ganz andere Größenordnungen zeigt Abbildung 12 für die USA und Kanada.<sup>8</sup> Diese Länder weisen einen Effizienzindikator von 52% (USA) bzw. 60% (Kanada) auf. Mit anderen Worten: diese Länder scheinen noch mit vergleichsweise alter Technik zu arbeiten, eine Modernisierung der Produktionsanlagen hätte in diesen Ländern den größten Einspareffekt.

---

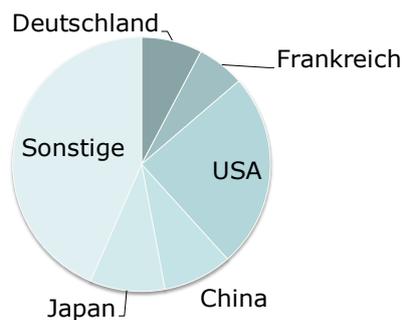
<sup>8</sup> Die Energieverbrauchswerte für die USA weisen Inkonsistenzen für die Jahre vor 2000 auf. Diese werden daher hier nicht betrachtet.

## Die Chemische Industrie

### 5. Die Chemische Industrie

Die deutsche Chemische Industrie erzielte im Jahr 2005 Umsatzerlöse von mehr als 1,5 Mrd. € und hatte damit einen Anteil am Weltmarkt von etwa 8% (Abbildung 13). Bedeutendster Akteur sind die USA, deren Weltmarktanteil sich auf rund 25% belief. Frankreich, Japan und auch China hatten einen mit Deutschland vergleichbaren Anteil am weltweiten Chemieumsatz.

**Abbildung 13:**  
**Umsatzstruktur der Chemischen Industrie nach Ländern**  
Jahr 2005, Umsatz weltweit: ca. 2,1 Billionen €



Quelle: VCI 2008

#### Datenbasis

Die Chemische Industrie weist ein sehr großes Produktspektrum auf. Aussagen zur mengenmäßigen Entwicklung der Produktion werden daher in der Regel als Indexwert dargestellt oder über eine Aggregation der Wertschöpfung der einzelnen Chemiesparten Grundstoffchemie, Pharmaka, chemische Fasern und sonstige chemische Erzeugnisse. Von herausragender Bedeutung für den Energieverbrauch der Chemischen Industrie sind die Produktionsprozesse in der Grundstoffchemie, hier insbesondere die Basischemikalien Chlor und Ammoniak. Chlor wird als Ausgangsstoff in der Kunststoffproduktion verwendet und findet als Desinfektionsmittel Anwendung. Ammoniak ist der zentrale Ausgangsstoff für die Düngemittelproduktion. Im Jahr 2005 entfielen in den OECD-Ländern mehr als 70% des Energieverbrauchs der Chemischen Industrie auf den Bereich chemische Grundstoffe (IEA-OECD). Daher und wegen des Mangels an vergleichbaren Daten für die anderen Chemiesparten beschränken sich die folgenden Betrachtungen auf die Effizienz in der Erzeugung von Basischemikalien.

## Energieeffizienz in der energieintensiven Industrie in Deutschland

---

Zu Vergleichszwecken werden die in nationalen Währungen ausgedrückten Wertschöpfungen der deutschen, japanischen und französischen Grundstoffchemie in US-Dollar umgerechnet. Daten zur Wertschöpfung bei der Erzeugung von Basischemikalien stellen die Vereinten Nationen in ihrer Datenbank INDSTAT für die Jahre 2003 bis 2005 bereit. Für China liegen allerdings keine aussagekräftigen Daten zur Wertschöpfung vor. Die Daten zum Energieverbrauch der Grundstoffchemie entstammen den IEA-Energiebilanzen der jeweiligen Jahre.

### Effizienzvergleich

Gemessen an der Wertschöpfung sind die USA der mit Abstand größte Erzeuger von Basischemikalien (Tabelle 5.1). 2005 wurde eine Wertschöpfung von mehr als 113 Mrd. US-Dollar erzielt. Um diese Wertschöpfung zu generieren, wurden 4 122 PJ an Energie eingesetzt. Daraus ergibt sich 2005 ein spezifischer Energieverbrauch je Einheit Wertschöpfung von 36,4 MJ. Deutschland, Japan und Frankreich sind im Vergleich zu den USA deutlich kleinere Erzeuger von Grundstoffchemikalien. Beispielsweise produzierte Deutschland 2005 mit 21,7 Mrd. Dollar nur rund 20% der amerikanischen Wertschöpfung und verbrauchte dafür 861 PJ. Mit einem spezifischen Energieverbrauch von 39,6 MJ/\$ Wertschöpfung war das Effizienzniveau in der Erzeugung von Basischemikalien in Deutschland auf vergleichbarem Niveau wie in den USA. Deutlich energieintensiver war indessen die Produktion in Japan und Frankreich. Insgesamt zeigt sich, dass sich die Energieintensität in der Erzeugung von Basischemikalien generell rückläufig entwickelt, die deutsche Grundstoffchemie im Ländervergleich dabei aber zu den effizientesten Branchenvertretern gehört.

Die Aussagekraft des gewählten Effizienzindikators Energieverbrauch je Dollar Wertschöpfung ist indessen eingeschränkt, wird die Wertschöpfung doch in hohem Maße von konjunkturellen Effekten beeinflusst. Beispielsweise wird eine steigende Nachfrage nach Basischemikalien für Preissteigerungen in der Grundstoffchemie sorgen. Der *Wert* der produzierten Chemikalien würde in diesem Falle steigen, die *produzierte Menge* indessen nicht. In der Folge würde sich der Effizienzindikator Energieverbrauch je Dollar Wertschöpfung verbessern, obwohl tatsächlich weder mehr produziert noch weniger Energie verbraucht worden wäre.

## Die Chemische Industrie

**Tabelle 5.1:**  
**Energieverbrauch und Wertschöpfung in der Grundstoffchemie**  
 in Mrd. US-Dollar, gewichtet durch Kaufkraftparitäten (OECD 2010)

	2003	2004	2005
Wertschöpfung in Mrd. US-Dollar <sup>a)</sup>			
USA	71,7	92,0	113,4
Deutschland	19,5	20,6	21,7
Japan	25,7	27,1	28,8
Frankreich	5,5	5,7	6,2
Energieverbrauch in PJ			
USA	4 033	4 340	4 122
Deutschland	873	898	861
Japan	1 351	1 400	1 326
Frankreich	440	432	430
Spez. Energieverbrauch in MJ je Dollar Wertschöpfung			
USA	56,2	47,2	36,4
Deutschland	44,8	43,6	39,6
Japan	52,5	51,6	46,0
Frankreich	79,8	75,9	69,5

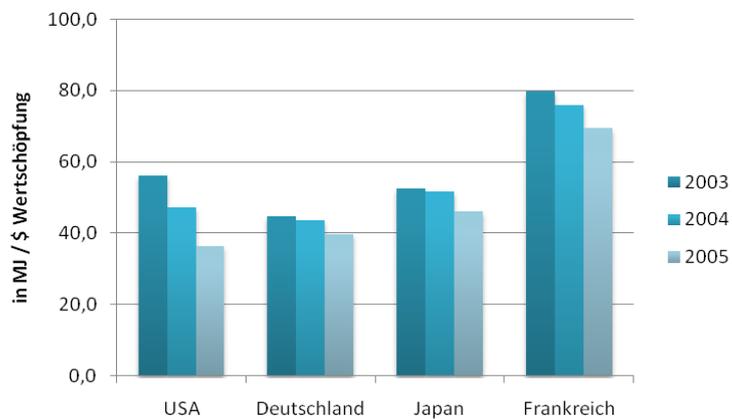
Quelle: INDSTAT und IEA. Branchenabgrenzung nach Maßgabe der internationalen Wirtschaftszweigklassifikation ISIC 24.1 „Erzeugung von Basischemikalien“. <sup>a)</sup>Zur Berücksichtigung der Kaufkraftunterschiede zwischen den einzelnen Ländern werden bei der Umrechnung der in jeweiligen Landeswährungen ausgedrückten Wertschöpfung in US-Dollar Kaufkraftparitäten (OECD 2010) als Umrechnungskurs zugrunde gelegt.

Unklar ist, inwiefern konjunkturelle Einflüsse die Entwicklung des Effizienzindikators in der Grundstoffchemie geprägt haben. Beispielsweise stieg in Deutschland, Japan und Frankreich die Wertschöpfung parallel zwischen 11% und 13%, während der Energieverbrauch in den Ländern annähernd konstant blieb. Dies kann als Indiz für Preissteigerungen auf dem Markt für Basischemikalien gewertet werden, von denen alle Länder in gleicher Weise betroffen waren. Nur in der US-amerikanischen Grundstoffchemie stieg die Wertschöpfung in dieser Zeit um fast 60% bei relativ geringer Zunahme des Energieverbrauchs. Da Energieverbrauch und die Produktionsmenge an Chemikalien in einem bestimmten technologischen Zusammenhang stehen, impliziert die Entwicklung in den USA, dass die dort produzierte Menge an Basischemikalien nur geringfügig gestiegen sein kann. Die rasante Zunahme an

## Energieeffizienz in der energieintensiven Industrie in Deutschland

Wertschöpfung muss indessen durch spezifisch auf die USA wirkende konjunkturelle Effekte wie Preissteigerungen geprägt sein. In der Folge wird die Verbesserung der Energieeffizienz in der US-amerikanischen Chemieindustrie durch den Indikator MJ je Dollar Wertschöpfung überschätzt.

**Abbildung 14:**  
**Vergleich der Energieeffizienz in der Grundstoffchemie**  
2003 bis 2005



Quelle: Eigene Berechnungen

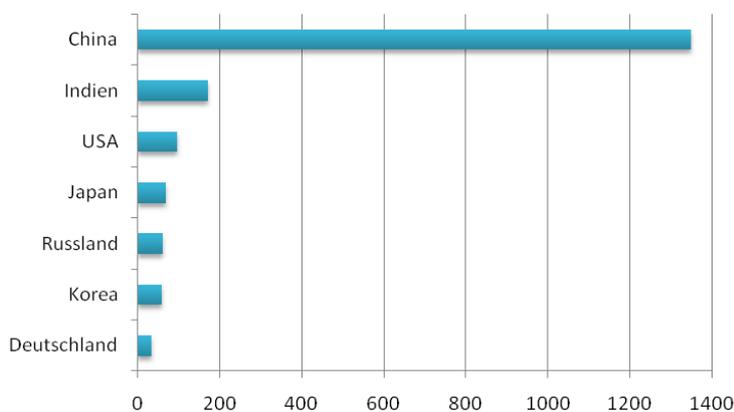
## Die Zementindustrie

### 6. Die Zementindustrie

Weltweit wurden 2007 etwa 2,6 Mrd. t Zement produziert (USGS 2008:45) und dafür mehr als 8 000 PJ Energie verbraucht (IEA 2007). Mit rund der Hälfte der Weltproduktion ist China der mit großem Abstand bedeutendste Zementherzeuger (Abbildung 15). In Deutschland wurden 2007 etwa 33 Mio. t Zement produziert.

**Abbildung 15:**  
**Zementproduktion 2007**

Angaben in Mio. t



Quelle: USGS (2008)

#### Datenbasis

Die Zementindustrie wird in den IEA-Energiebilanzen als Teil des Sektors „Nicht-Metallische Mineralien“ geführt, zusammen mit z.B. den Erzeugern von Glas und Kalk. Energieverbrauchswerte für die Zementherstellung können daher nicht den IEA-Energiebilanzen entnommen werden. Ersatzweise kann auf Informationen des „World Business Council for Sustainable Development“ zurückgegriffen werden, das ein industrielles Benchmarking zur Energieeffizienz unter den führenden Zementherstellern der Welt durchführt.

Insgesamt decken die Teilnehmer an der „Cement Sustainability Initiative“ (CSI) rund 93% der europäischen Zementproduktion ab, auch die nordamerikanische Produktion ist mit 80% gut repräsentiert. Unzureichend ist jedoch der Erfassungsgrad der asiatischen Zementproduzenten. Beispielsweise wird die chinesische Produktion nur zu 4% abgebildet, für Indien und Japan ist es weniger als die Hälfte. Daher berücksichtigt die Darstellung hier nur die nordamerikanische und europäi-

## Energieeffizienz in der energieintensiven Industrie in Deutschland

---

sche Zementindustrie. Die deutsche Branche wird separat herausgearbeitet. Datenbasis für die deutschen Zementwerke sind Angaben des Vereins Deutscher Zementwerke, weitere Angaben wurden den CO<sub>2</sub>-Monitoringberichten des RWI entnommen.

### Effizienzvergleich

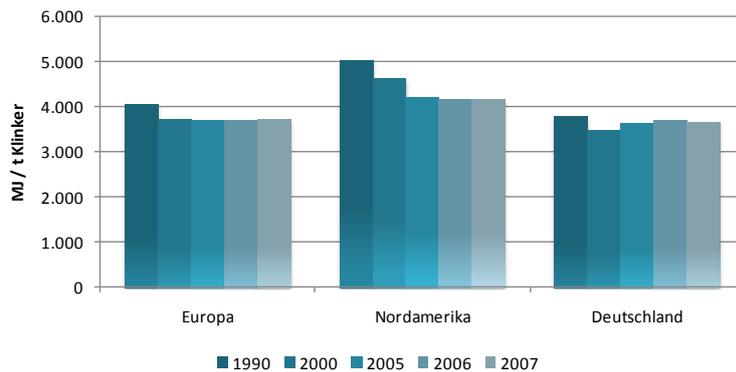
Die Herstellung von Zement stellt eine Kombination von Mahl- und Brennvorgängen dar und ist ausgesprochen energieintensiv. Der Prozess lässt sich in drei Schritte zerlegen: Die Gewinnung und Aufbereitung der Ausgangsmaterialien zum so genannten Rohmehl bildet den ersten Schritt des Prozesses, der Brennvorgang des Rohmehls zu Zementklinker den zweiten Schritt, in dem erhebliche Mengen an Brennstoff verbraucht werden. Das Mahlen des Zementklinkers zu Zement bildet den dritten Prozessschritt, in dem vorwiegend elektrische Energie eingesetzt wird.

Der wichtigste Bestandteil von Zement ist Klinker. Dessen Anteil beträgt je nach Zementsorte bis zu 95 %. Das Brennen des Zementklinkers ist zugleich der energieintensivste Prozessschritt in der Zementerzeugung, für den je nach Ofentechnologie zwischen 3 000 und 7 000 MJ Brennstoffe je t Klinker verbraucht werden (IEA 2007:143). In den letzten 50 Jahren hat die deutsche Zementindustrie den Einsatz von thermischer Energie in der Klinkererzeugung deutlich reduzieren können. Die von der IEA (2007) genannte Obergrenze von 7 000 MJ/t Klinker wurde von der deutschen Zementindustrie zuletzt in den 1950er Jahren benötigt (VDZ 2008a). Seit einigen Jahren bewegt sich der spezifische Energiebedarf stabil bei etwa 3 600 MJ/t (Abbildung 16) und liegt knapp unterhalb des europäischen Durchschnittswerts von etwa 3 700 MJ/t. In der nordamerikanischen Klinkererzeugung wird indessen rund 14% mehr Energie verbraucht als in den deutschen Werken. 2007 belief sich der spezifische Energiebedarf der nordamerikanischen Hersteller im Schnitt auf etwa 4 170 MJ/t.

Grundsätzlich erlauben es nationale und europäische Zementnormen, dem gebrannten Zementklinker andere Stoffe beizumischen, beispielsweise Hüttensand, der bei der Roheisenerzeugung im Hochofen anfällt, oder auch ungebrannten Kalkstein. Auf diese Weise kann der hohe Energieaufwand bei der Zementproduktion gesenkt werden. Der branchenweite Klinkeranteil im Zement („clinker-to-cement-ratio“) ist daher auch ein Indikator für die Energieintensität der Zementproduktion. So wurden in Deutschland 2007 rund 27 Mio. t Klinker erzeugt, bei einer Zementproduktion von 33,4 Mio. t entspricht dies einem Klinkeranteil von etwa 80%. Die US-amerikanische Zementindustrie produzierte 2007 rund 88 Mio. t Klinker, bezogen auf 96,5 Mio. t Zementerzeugung beläuft sich der Klinkeranteil auf rund 91%.

## Die Zementindustrie

**Abbildung 16:**  
**Spezifischer Energieverbrauch in der Klinkerproduktion**  
In MJ/t Klinker



Quelle: CSI (verschiedene Jahrgänge), VDZ 2008b, eigene Berechnungen.

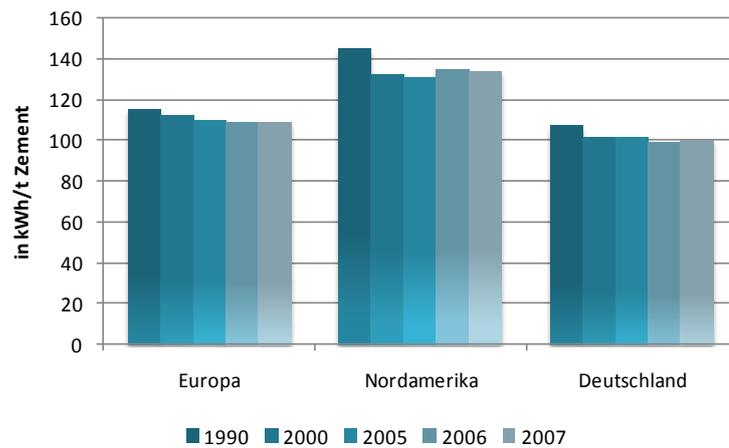
Elektrische Energie wird vorwiegend zum Betrieb der Zementmahanlagen eingesetzt. Europaweit wurden im Jahr 2007 rund 109 kWh an Strom je Tonne Zementerzeugung verbraucht (Abbildung 17). Mit rund 100 kWh/t Zement lag der spezifische Stromverbrauch in den deutschen Zementwerken etwa 10% unter dem europäischen Durchschnittswert. Rund ein Drittel höher lag indessen der Stromverbrauch der nordamerikanischen Produzenten: 2007 verbrauchten sie rund 134 kWh/t Zement.

Insgesamt legen die Ergebnisse den Schluss nahe, dass die US-amerikanische Zementindustrie derzeit noch nicht das Niveau an Energieeffizienz erreicht hat wie die deutsche Branche. Darauf deuten die jeweils höheren spezifischen Energieverbräuche in der Klinkerproduktion wie auch in der Zementmahlung hin. Hinzu kommt der höhere Klinkeranteil in der amerikanischen Zementproduktion, so dass die US-amerikanische Industrie insgesamt einen höheren Energiebedarf je Tonne Zement haben wird.

## Energieeffizienz in der energieintensiven Industrie in Deutschland

---

**Abbildung 17:**  
**Spezifischer Stromverbrauch in der Zementindustrie**  
In kWh/t Zement



Quelle: CSI (verschiedene Jahrgänge), RWI (2008), eigene Berechnungen.

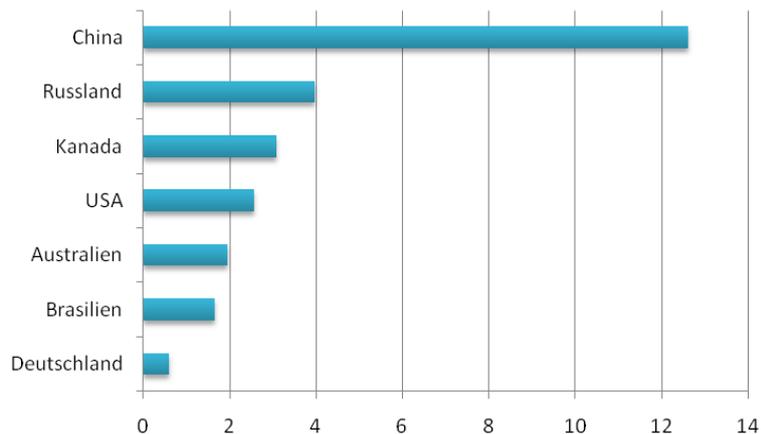
## Die Aluminiumindustrie

### 7. Die Aluminiumindustrie

Die deutsche Aluminiumindustrie ist innerhalb der Nicht-Eisen-Metallindustrie der bedeutendste Energieverbraucher. Im Jahr 2008 entfielen etwa 70% der Energiekosten der NE-Metallindustrie auf die Erzeugung von Aluminium (StaBuA FS4R4.3). Daher konzentrieren sich die folgenden Ausführungen auf die Energieeffizienz der deutschen Aluminiumindustrie im Vergleich mit ihren wichtigsten Wettbewerbern.

Die Produktion von Aluminium ist sehr stromintensiv. Nach Angaben der IEA (2009:161) verbrauchten die Aluminiumhütten weltweit rund 2 000 PJ an Strom und produzierten rund 38 Mio. t Primäraluminium. Größter Erzeuger ist China, bedeutende Mengen an Primäraluminium werden auch in Nordamerika, Russland, Australien und Brasilien produziert (Abbildung 18). Mit etwa 0,5 Mio. t wird in Deutschland vergleichsweise wenig Primäraluminium produziert. Weit größere Bedeutung hat mit 0,796 Mio. t das Einschmelzen von Aluminiumschrott zu Sekundäraluminium. Nach Angaben des Umweltbundesamtes (UBA 2009:272) wird in Deutschland nur noch in 4 Aluminiumhütten Aluminiumoxid in Elektrolyseöfen zu Primäraluminium verarbeitet.

**Abbildung 18:**  
**Produktion von Primäraluminium 2007**  
Angaben in Mio. t



Quelle. USGS (2008)

## Energieeffizienz in der energieintensiven Industrie in Deutschland

---

### Datenbasis

Das *International Aluminium Institute* (IAI) publiziert Zeitreihen der Produktion von Primäraluminium für verschiedene Weltregionen. Tiefer regional gegliederte Erzeugungszahlen können dem *US-Geological Survey* (USGS) entnommen werden.

Deutlich schlechter ist die Datenlage hinsichtlich des Energieverbrauchs des Sektors. Die IEA führt die Aluminiumindustrie zusammen mit der Produktion von Kupfer, Zink und anderen Bunt- und Leichtmetallen unter dem Sektor Nichteisenmetalle. Damit liegen aus den IEA-Energiebilanzen keine Daten vor, die ausschließlich den Energieverbrauch in den Produktionsprozessen bei der Erzeugung von Aluminium widerspiegeln.

Das IAI koordiniert ein brancheninternes Benchmarking, das Auskunft über den spezifischen Stromverbrauch je Tonne Primäraluminiumerzeugung gibt. Diese Daten sind regional nicht sehr differenziert, eine Unterscheidung findet lediglich nach Weltregionen statt (Afrika, Nordamerika, Lateinamerika, Asien, Europa, Ozeanien); die vier deutschen Aluminiumhütten werden demnach als Teil der europäischen Entwicklung abgebildet. Um die Daten des IAI-Benchmarking mit deutschen Vergleichswerten zu ergänzen, führte die Wirtschaftsvereinigung Metalle eine Befragung unter den deutschen Hüttenwerken durch. Die anonymisierten Stromverbrauchskennziffern je Tonne Primäraluminiumerzeugung wurden dem RWI für diese Untersuchung bereitgestellt. Sowohl bei den Kennziffern des IAI-Benchmarking wie auch bei den deutschen Vergleichswerten der WV Metalle handelt es sich um den Verbrauch an Drehstrom. Für die deutschen Vergleichswerte wurde der Gleichstromverbrauch auf der Stromschiene in Drehstrom umgerechnet, d.h. Umspannverluste sind in den Kennziffern enthalten. Nicht enthalten ist dagegen der Stromverbrauch von Nebenaggregaten, wie beispielsweise zur Absaugung und zum Transport des Rohstoffs Aluminiumoxid. Beide Datenquellen stellen damit Kennwerte nach der gleichen Prozessabgrenzung zur Verfügung und sind unmittelbar vergleichbar.

### Effizienzvergleich

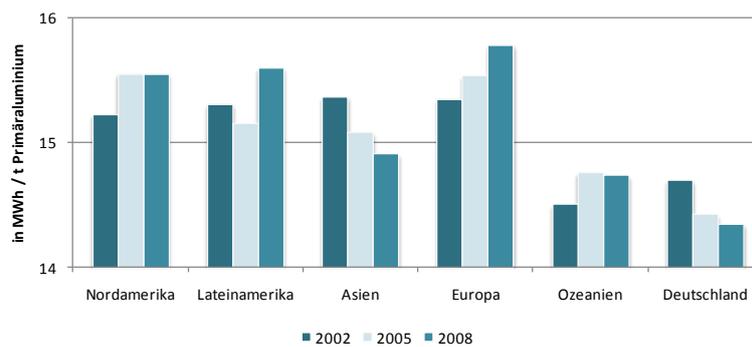
Elementarer Rohstoff für Aluminium ist Bauxit, das in einem ersten Schritt zu Aluminiumoxid (Alumina) veredelt wird. In Elektrolyseanlagen wird unter Einsatz erheblicher Mengen von Strom das Aluminiumoxid zu Aluminium reduziert. Je nach Qualität des für den Schmelzprozess verwendeten Aluminiumoxids verbraucht die beste verfügbare Technik für den Reduktionsprozess zwischen 13 bis 18 MWh Strom je Tonne Primäraluminiumerzeugung (IEA 2007:211, UBA 2001:284).

In keiner der betrachteten Erzeugungsregionen wird der untere Wert von 13 MWh/t Aluminium auch nur annähernd erreicht (Abbildung 19). Diese Abbildung

## Die Aluminiumindustrie

zeigt, dass die deutschen Aluminiumhütten zusammen mit den Hütten in Ozeanien (vor allem Australien) zu den effizientesten Werken gehören. In beiden Regionen wird weniger als 15 MWh Strom je Tonne Primäraluminium verbraucht. Der Stromverbrauch der Hütten in Nordamerika oder des übrigen Europas liegt mit bis zu 15,7 MWh/t deutlich über dem Wert der effizientesten Branchenvertreter. Dabei fällt auf, dass der Stromverbrauch nur in den deutschen Werken und denen Asiens zwischen 2002 und 2008 gesunken ist. In den nordamerikanischen wie auch in den australischen Werken verharrte der spezifische Stromverbrauch seit 2005 auf annähernd konstantem Niveau.<sup>9</sup>

**Abbildung 19:**  
**Stromverbrauch in der Primäraluminiumerzeugung**



Quelle: IAI (verschiedene Jahrgänge), WV Metalle (2010)

<sup>9</sup> Der in Abbildung 19 zu erkennende Anstieg der Verbrauchskennziffer für das „übrige Europa“ ist möglicherweise darin begründet, dass zunehmend auch technisch weniger effiziente Werke in osteuropäischen Ländern in das IAI-Benchmarking integriert werden.

## Energieeffizienz in der energieintensiven Industrie in Deutschland

---

### 8. Die Glasindustrie

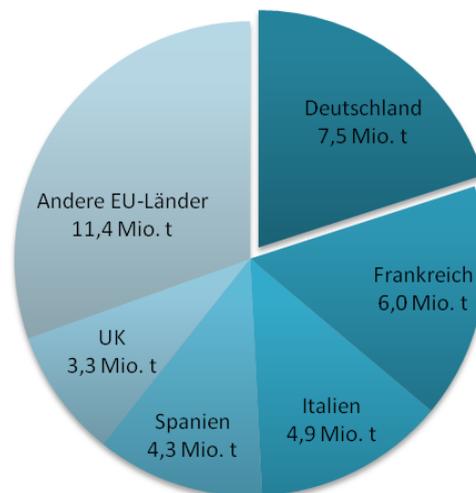
Glas ist ein Werkstoff, der in vielen Bereichen des täglichen Lebens Anwendung findet. Die Glasherstellung umfasst mehrere Schritte, von denen die Glasschmelze der energieintensivste Prozessschritt ist. Dabei werden die Ausgangsstoffe wie Glassand, Kalk, Soda, Dolomit, aber auch Scherben aus der Altglasverwertung bei einer Temperatur von bis zu 1700 Grad Celsius zu einer homogenen Masse geschmolzen. Anschließend erfolgt die Formgebung entsprechend des gewünschten Produkts. Man unterscheidet die Erzeugnisse der Glasindustrie grob in

- Behälterglas (Hohlglas), welches beispielsweise in der Lebensmittelindustrie als Getränkeverpackung oder auch für Parfümflacons verwendet wird;
- Flachglas, das vorwiegend im Baugewerbe und in der Autoindustrie als Fensterglas genutzt wird;
- Mineralfasern, die in Form von Dämmstoffmatten oder Glaswolle in der Baubranche genutzt werden;
- Gebrauchs- und Spezialglas, beispielsweise für Solarthermie- oder Photovoltaikmodule, aber auch Leuchtenglas oder optische Glasfasern für die Nachrichtentechnik wird darunter gefasst;
- Kristallglas/Tischware, wozu u.a. Einrichtungsgegenstände und Gebrauchsgegenstände in der häuslichen Verwendung (Trinkgläser) gezählt werden.

In Deutschland wurden 2007 rund 7,5 Mio. t Glas produziert und damit ein Umsatz von rund 8,6 Mrd. € erzielt (BV Glas 2009). Dieser wurde zu rund 40% im Ausland erwirtschaftet. Der am Produktionsvolumen gemessene wichtigste Branchenweig ist die Hohlglasindustrie, auf die 2007 allein 4,4 Mio. t der Gesamterzeugung entfallen. Mit einer Erzeugungsmenge von 1,8 Mio. t folgt die Flachglasherstellung.

## Die Glasindustrie

**Abbildung 20:**  
**Die europäische Glasproduktion im Jahr 2007**  
In Summe: 37,4 Mio. t



Quelle: Schmitz et al. (2010)

Die deutsche Glasindustrie ist in Europa mit rund 20% an der europäischen Gesamtproduktion von rund 37 Mio. t der bedeutendste Produzent. (Abbildung 20). Weitere bedeutende Glasproduzenten sind China und die USA. Nach Angaben der IEA (2007:166) wurden in China im Jahr 2005 etwa 32 Mio. t und in den USA etwa 20 Mio. t Glas produziert.

### Datenbasis

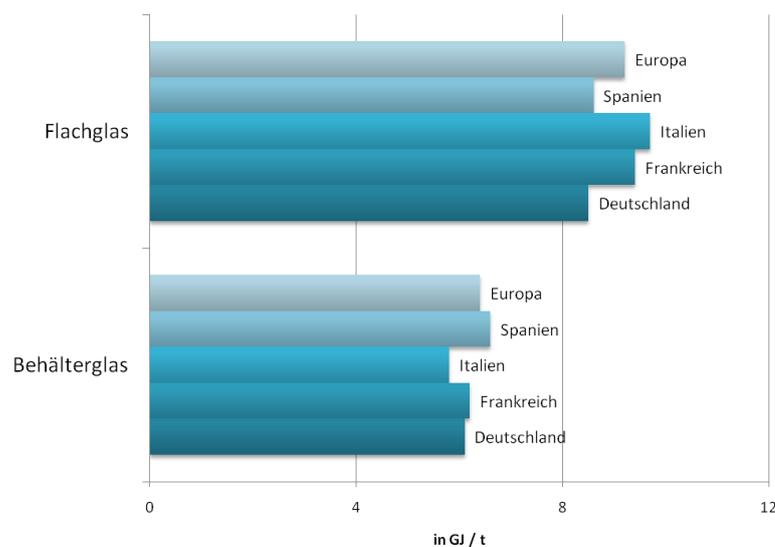
Eine aktuelle und sehr umfassende Untersuchung der Energieeffizienz der europäischen Glasindustrie führen Schmitz et al. (2010) durch, deren Ergebnisse im Folgenden zusammengefasst werden. Die in der Studie verwendeten Daten zum Brennstoffverbrauch wurden der Berichterstattung im Rahmen des europäischen Emissionshandelssystems entnommen. Angaben zum Stromverbrauch wurden durch Befragungen bei den einzelnen nationalen Industrieverbänden erhoben. Vergleichbar detaillierte Daten für China und die USA liegen leider nicht vor.

## Energieeffizienz in der energieintensiven Industrie in Deutschland

### Effizienzvergleich

Für den Effizienzvergleich werden die beiden – am Produktionsvolumen gemessen – wichtigsten Glasbranchen betrachtet: die Behälterglas- und die Flachglasindustrie. Die Flachglasherstellung ist etwas energieintensiver als die Behälterglasherstellung. Wesentlicher Grund dafür ist der im Vergleich zur Behälterglasherstellung geringere Anteil an Altglas: der Scherbenanteil bei Behälterglas liegt zwischen 56% und 75%, in der energieintensiveren Flachglasherstellung dagegen nur bei etwa 35% (UBA 2009:244). Altglas reduziert den Energiebedarf im Schmelzprozess. Grob geschätzt mindert die Beimischung eines Scherbenanteils von 10% den Energieaufwand für den Schmelzprozess um 2-3% im Vergleich zur Glasherstellung aus Rohmaterialien (RWI 2008:90).

**Abbildung 21:**  
Spezifischer Energieverbrauch in der Glasindustrie



Quelle: Schmitz et al. (2010)

Im europäischen Durchschnitt werden etwa 9,2 GJ/t Flachglas an Energie aufgewendet, in der Behälterglasindustrie beläuft sich der europäische Durchschnittswert auf rund 6,4 GJ/t Behälterglas (Abbildung 21). Mit rund 8,5 GJ/t Flachglas bzw. 6,1 GJ/t Behälterglas liegt Deutschland nicht nur jeweils unter dem europäischen Durchschnittswert, die deutsche Glasindustrie weist zudem den geringsten Energie-

## Fazit

verbrauch je t Flachglas auf; bei der Behälterglaserzeugung erscheint nur Italien mit 5,8 GJ/t effizienter.<sup>10</sup>

### 9. Fazit

Die effiziente Verwendung von Energie ist ein Wettbewerbsfaktor, der für ein Land wie Deutschland, einer Volkswirtschaft mit vergleichsweise hohen Energiepreisen und einer starken Exportorientierung, von außerordentlicher Bedeutung ist. Die vorliegende Studie zeigt, dass die deutschen Unternehmen der hier untersuchten Industriesektoren zu den energieeffizientesten Vertretern in ihrer jeweiligen Branche gehören. Im Umkehrschluss impliziert dies, dass die Möglichkeiten zur Steigerung der Energieeffizienz in anderen Ländern größer sind als in Deutschland und dementsprechend diese Potentiale dort vermutlich auch kostengünstiger erschlossen werden können.

Für Branchen, die bereits jetzt nahe an der Grenze dessen arbeiten, was mit der besten verfügbaren Technik möglich ist, bedeuten weitere von der Politik via Verordnungen auferlegte Effizienzsteigerungen erhebliche finanzielle Belastungen, die ihre Profitabilität im Vergleich zu ihren internationalen Wettbewerbern schmälern. Eine Politik, die Effizienzsteigerungen verordnen will, leistet einer Produktionsverlagerung ins weniger restriktiv regulierte und auch weniger effizient arbeitende Ausland Vorschub.

Auch aus volkswirtschaftlicher Sicht ist eine politisch verordnete Effizienzsteigerung nicht sinnvoll, wenn der gleiche Energieeinspareffekt an anderer Stelle weniger kostenintensiv realisiert werden kann. Vielmehr wird eine rationale Politik bestrebt sein, Energieeinsparungen dort zu realisieren, wo sie am kostengünstigsten erreicht werden können. Vergleichbar mit einem Investor, der seine Investitionsprojekte in der Reihenfolge ihrer Profitabilität realisiert, sind die Grenzvermeidungskosten die Richtgröße, nach der sich die Erschließung von Energieeinsparpotentialen orientieren muss. Dabei sind die Grenzvermeidungskosten umso höher, je mehr Vermeidungsaktivitäten bereits durchgeführt worden sind, weil die tiefhängenden, einfach zu erreichenden „Früchte“ bereits geerntet wurden.

---

<sup>10</sup> Die Behälterglas-Kennwerte für Deutschland und Frankreich geben den spezifischen Energieverbrauchswert für Verpackungsglas wieder und sind bereinigt um den Einfluss der energieintensiven Herstellung von Glasflacons für Parfümerie. Da Glasflacons in größerem Stil nur in Deutschland und Frankreich produziert werden, sind die Behälterglas-Kennwerte damit im europäischen Kontext vergleichbar.

## Energieeffizienz in der energieintensiven Industrie in Deutschland

---

Wie die Ergebnisse dieser Studie zeigen, haben die deutschen Branchen im Gegensatz zu vielen ihrer internationalen Wettbewerber bereits umfangreiche Vermeidungsaktivitäten umgesetzt. Weitere Vermeidungsanstrengungen müssten von den heimischen Industriesektoren mit weit höheren Kosten erkaufte werden als von ihren weniger energieeffizienten internationalen Konkurrenten. Eine Politik, die Klimaschutz kosteneffizient betreiben will, ohne die industrielle Basis in Deutschland gefährden zu wollen, ist daher gut beraten, auf Zwangsmaßnahmen zu verzichten und eher nach Möglichkeiten zu suchen, ihre Klimaschutzziele durch die Einbindung weitaus ineffizienter arbeitender Marktteilnehmer zu erreichen. Vor diesem Hintergrund ist es erfreulich, dass die Bundesregierung der ökonomischen Vernunft folgt und in ihrem Energiekonzept (BMWi 2010) ankündigt, die Entscheidung, ob und welche Effizienz steigernde Maßnahme umgesetzt werden, den betroffenen Unternehmen zu überlassen.

Abschließend muss konstatiert werden, dass zur angemessenen Beschreibung der Energieeffizienz vieler energieintensiver Industriesektoren die erforderliche umfassende Datengrundlage fehlt. Dies hat dieser Bericht insbesondere für die Aluminium- und die Zementindustrie gezeigt. Auch die IEA (2007:37) hat diesen eklatanten Datenmangel erkannt und regt an, eine koordinierte Datenerhebung nach einheitlichen Kriterien durchzuführen, um damit die Grundlage für eine bestmögliche Energiepolitik zu schaffen.

## Literatur

### 10. Literatur

- BMWi (2010), Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Berlin. Stand: 28.September2010.
- BV Glas (2009), Die deutsche Glasindustrie auf einen Blick, Bundesverband Glasindustrie e.V., Düsseldorf. Stand: 06.08.2009. Internet: <http://www.bvglas.de/die-branche/konjunktur-branchendaten>
- CSI (verschiedene Jahrgänge), Cement Sustainability Initiative, Internet: <http://www.wbcscement.org/gnr-2008/index.html>. Abrufdatum: 27.05.2010
- FAO (2008) Food and Agriculture Organization of the United Nations, Pulp and Paper Capacities, Rome
- IAI (verschiedene Jahrgänge), International Aluminium Institute Internet: [https://stats.world-aluminium.org/iai/stats\\_new/index.asp](https://stats.world-aluminium.org/iai/stats_new/index.asp). Abrufdatum: 29.06.2010
- IEA-Non-OECD (verschiedene Jahrgänge), Energy Balances of Non-OECD Countries, International Energy Agency, Paris.
- IEA-OECD (verschiedene Jahrgänge), Energy Balances of OECD Countries, International Energy Agency, Paris.
- IEA (2007), Tracking Industrial Energy Efficiency and CO<sub>2</sub> Emissions, International Energy Agency, Paris.
- IEA (2009), Energy Technology Transitions for Industry, International Energy Agency, Paris.
- INDSTAT (verschiedene Jahrgänge), Value Added Statistics of Basic Chemicals, United Nations Industrial Development Organisation. Internet: <http://www.unido.org>. Abrufdatum: 15.04.2010
- OECD (2010), Purchasing Power Parities (PPP), Organization for Economic Cooperation and Development, Statistics Directorate, Paris. Internet: [http://www.oecd.org/departement/0,3355,en\\_2649\\_34357\\_1\\_1\\_1\\_1,00.html](http://www.oecd.org/departement/0,3355,en_2649_34357_1_1_1_1,00.html). Abrufdatum: 27. Mai 2010.
- RWI (2009), Die Klimavorsorgeverpflichtung der deutschen Wirtschaft, Monitoringbericht 2005-2008, Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung, Essen. Internet: <http://www.rwi-essen.de>.
- Schmitz, A., J. Kaminski, B. Scalet und A. Soria (2010), Analysis of CO<sub>2</sub> Emissions and Energy Consumption in the European Glas Industry, unveröffentlicher Forschungsbericht, Joint Research Centre of the European Commission, Institute for Prospective Technology Studies, Sevilla, Spanien.

## Energieeffizienz in der energieintensiven Industrie in Deutschland

---

- StaBuA FS4R4.1.1 (verschiedene Jahrgänge), Produzierendes Gewerbe - Beschäftigung und Umsatz der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.
- StaBuA FS4R4.3 (verschiedene Jahrgänge), Produzierendes Gewerbe - Kostenstruktur der Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.
- UBA (2001), Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on Best Available Techniques in the Non-Ferrous Metals Industries, Umweltbundesamt, Dessau. Internet: <http://www.bvt.umweltbundesamt.de/sevilla>.
- UBA (2009), Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen 2009 – Nationaler Inventarbericht, Umweltbundesamt, Dessau.
- USGS (2008), Mineral Commodity Summaries 2008, US-Geological Survey, Washington D.C.
- VDEh (2009), Statistisches Jahrbuch der Stahlindustrie 2009/2010, Wirtschaftsvereinigung Stahl, Verlag Stahleisen, Düsseldorf.
- VDP (2009), Papier 2009 – Ein Leistungsbericht, Verband Deutscher Papierfabriken e.V., Bonn.
- VDZ (2008a), Umweltdaten der deutschen Zementindustrie 2007, Verein Deutscher Zementwerke e. V., Düsseldorf.
- VDZ (2008b), Achte aktualisierte Erklärung zur Klimavorsorge – Monitoring-Bericht 2004 – 2007, Verein Deutscher Zementwerke e. V., Düsseldorf.
- World Steel (2009), Steel Statistical Yearbook 2008, World Steel Association, Brüssel.
- WV Metalle (2010), Datenlieferung der Wirtschaftsvereinigung Metalle an das RWI.