

Umweltökonomische Gesamtrechnungen (UGR)

Deutsche Zusammenfassung der Publikation

Material and Energy Flows in the Chemical Sector
by Processes and Subsectors



September 2008

Die vorgenannte Publikation wurde im Auftrag des Statistischen Bundesamtes durch die Universität Utrecht und das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung erstellt.

© Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2008

Vervielfältigung und Verbreitung, auch auszugsweise, mit Quellenangabe gestattet.

Deutsche Zusammenfassung der Publikation

Material and Energy Flows in the Chemical Sector by Processes and Subsectors

Final report

Prepared for Destatis (Statistisches Bundesamt, German Statistics Office),
Wiesbaden, Germany

by

M. Sc. Değer Saygin and Dr. Martin K. Patel
Utrecht University
Department of Science, Technology and Society (STS) / Copernicus Institute
Heidelberglaan 2
3584 CS Utrecht
Netherlands
Tel.: 0031 30 253 7600
Fax: 0031 30 253 7601
d.saygin@uu.nl, m.k.patel@uu.nl
www.chem.uu.nl/nws, www.copernicus.uu.nl

Dr. Frank Marscheider-Weidemann
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI)
Breslauer Straße 48
D-76139 Karlsruhe
Tel.: 0049 721 6809-154
Fax: 0049 721 6809-135
Frank.Marscheider-Weidemann@isi.fraunhofer.de

Utrecht, 14 May 2008

Zusammenfassung

Die chemische Industrie in Deutschland ist die größte in Europa. Sie hat einen Anteil von ca. 25% des gesamten Umsatzes des Chemiesektors in Europa (mit 25 Mitgliedsstaaten, EU-25) und entspricht einem Anteil von etwa 8% des weltweiten Umsatzes des Chemiesektors. Aufgrund der hohen Energieintensität der chemischen Prozesse ist die chemische Industrie ein großer Energieverbraucher, ihr Energieeinsatz entspricht ca. 12,5 % des gesamten Primärenergiebedarfs Deutschlands.

In dieser Studie kamen ein technologiebasiertes, bottom-up-Energiemodell für die chemische Industrie und ein detailliertes Materialstrommodell für die industrielle organische Chemie zum Einsatz. Das Ziel war, die Determinanten des Energieverbrauchs besser zu verstehen und ein vertieftes Verständnis der Stoffströme zwischen den Subsektoren der chemischen Industrie und anderen ökonomischen Sektoren sowie für den Außenhandel zu erlangen. Das bottom-up-Energiemodell war aus einem früheren Projekt verfügbar, es wurde aber bezüglich der abgebildeten Prozesse erheblich erweitert (sowohl um organische als auch inorganische chemische Produkte); außerdem wurde es angepasst, um die Situation **in der chemischen Industrie in Deutschland im Zeitraum 1990 bis 2003** bestmöglichst wiederzugeben. In seiner erweiterten Form umfasst das bottom-up-Energiemodell 250 Prozesse für die Produktion der 137 mengenmäßig bedeutendsten Chemikalien. Jeder Datensatz umfasst Informationen zum Produktionsvolumen (sofern verfügbar) sowie zum Energiebedarf des Prozesses. Das Materialstrommodell war ebenfalls bereits aus einem früheren Projekt verfügbar; es wurde aber erweitert, um spezifische Analysen durchführen zu können.

Es ist keine triviale Aufgabe, das *physische* Wachstum der Chemieindustrie (ausgedrückt in produzierten Tonnen pro Jahr) zu quantifizieren. Zu diesem Zweck wurden fünf physische Produktionsindikatoren (A bis E) entwickelt und miteinander verglichen; in den Vergleich einbezogen wurde außerdem der gängige *ökonomische* Wachstumsindikator (F). Unter Berücksichtigung der Aussagekraft der fünf physischen Indikatoren schätzen wir das physische Wachstum der chemischen Industrie zwischen 1990 und 2003 auf **2,3 bis 3,8% p.a.** (basierend auf *i*) Indikator C, der den gesamten nichtenergetischen Verbrauch der Chemieindustrie wiedergibt und *ii*) Indikator E, welcher der Summe aus Polymerproduktion und anorganischen Chemikalien entspricht; siehe Haupttext, Abbildung 3-1a und Abbildung 3-1b).

Während die physische Produktion des Chemiesektors zwischen 1990 und 2003 sehr erheblich zugenommen hat (nämlich um 2,3-3,8% p.a.), ist der Endenergiebedarf des Chemiesektors von 660 PJ in 1990 auf nur 450 PJ in 2003 zurückgegangen. Dividiert man den Endenergiebedarf nach Energiebilanz durch die physische Produktion laut Indikator (C) und (E), so ergeben sich für den Zeitraum 1995-2003 **durchschnittliche Energieeffizienzsteigerungen von 3,7 % p.a. bis 5,1 % p.a.** (siehe Abbildung 3-2). Diese Werte liegen deutlich über den Werten, die typischerweise für Energieeffizienzsteigerungen in der Industrie angegeben werden, nämlich jährlich 1%

bis maximal 2 %. Dies liegt an der außerordentlich starken Zunahme der physischen Produktion bei gleichzeitig abnehmendem (absolutem) Energieeinsatz. Ein weiteres wichtiges Ergebnis ist die stetige Zunahme des Deckungsgrades für Endenergie in unserem bottom-up-Energiemodell von 57% in 1990 auf 91% in 2003 (siehe unten).

Um die **Verflechtung** innerhalb und außerhalb der Chemieindustrie besser zu verstehen, wurde der Einsatz von anorganischen Rohstoffen, organischen Rohstoffen und den Lieferbeziehungen zwischen den Subsektoren der chemischen Industrie und mit anderen Sektoren untersucht:

- Der Einsatz **anorganischer Rohstoffe** wurde abgeschätzt auf der Grundlage der wichtigsten Prozesse, welche anorganische Rohstoffe umsetzen. Hierfür wurden die spezifischen Einsatzmengen mit den Produktionsvolumina multipliziert. Für diese anorganischen Rohstoffe gelang es uns jedoch nicht, eine vollständige Übersicht anzufertigen, weil die meisten für die Berechnung benötigten Produktionsdaten vertraulich waren. Trotz dieser Datenlücken sind wir unter Verwendung anderer Informationsquellen zu interessanten Ergebnissen gelangt. So ist Natriumchlorid der wichtigste in der chemischen Industrie eingesetzte Rohstoff (7.9 Mt Verbrauch in 2003, für die Elektrolyse zu Chlor und für Natriumhydroxid). Der zweitwichtigste Rohstoff ist Kalkstein (1.8 Mt Verbrauch in 2003), der zu gebranntem Kalk (Einsatz für chemische Zwecke) sowie zu anderen Produkten umgesetzt wird. Die in der chemischen Industrie eingesetzten Mengen sind klein im Vergleich zum *Gesamtverbrauch* an Kalk, der vor allem zur Herstellung von Baustoffen in der Steine und Erden-Industrie Verwendung findet (so wurden z.B. in 1996 65 Mt Kalkstein in Deutschland verbraucht).

Andere wichtige anorganische Rohstoffe, die in Deutschland eingesetzt werden, sind Kalisalze (Verwendung v.a. für Düngemittelzwecke), Schwefel (zur Herstellung von Schwefelsäure via Schwefeldioxid) und Bauxit (zur Herstellung von Tonerde, welches für die Herstellung von Aluminium benötigt wird). Der Gesamtbedarf dieser Erzeugnisse liegt bei 2,4 Mt (in 2003) (siehe Tabelle 4-1).

- Für die **organischen Rohstoffe** ergaben die Untersuchungen, dass der Gesamteinsatz im Jahr 2003 bei 21 Mt lag. Diese organischen Rohstoffe dienen der Herstellung von organischen Chemikalien (Verwendung zur Herstellung von Kunststoffen, Elastomeren und organischen Chemikalien) und von Ammoniak (dies ist das wichtigste Derivat von Stickstoff in der chemischen Industrie). Der Steamcrack-Prozess (Dampfspalten) ist das mit Abstand wichtigste Verfahren: im Jahr 2003 lag der Rohstoffeinsatz für dieses Verfahren bei etwa 15,6 Million Tonnen oder 75,5% des Gesamteinsatzes der industriellen organischen Chemie. Naphtha ist der wichtigste Rohstoff für das Steamcracken und entspricht 57% des Gesamteinsatzes der industriellen organischen Chemie (Deutschland, 2003). Die bedeutendsten Produkte des Steamcrackens sind Ethylen, Propylen und Aromaten. Der nächstwichtigste Prozess ist die Ammoniakherzeugung, wobei der Gesamteinsatz von Erdgas und Erdölerzeugnissen 13% des Gesamteinsatzes aller organischen Rohstoffe entspricht (67% Öl, 33% Gas). Methanol ist in Deutschland bezüglich der Einsatzmengen ebenfalls bedeutend (8,6% des Gesamteinsatzes) und unterscheidet sich bezüglich der Rohstoffzusammensetzung etwas von anderen Ländern (73% Öl, 22% Gas und 5% Braunkohle). Der Gesamtverbrauch organischer Rohstoffe stieg

im Zeitraum zwischen 1990 und 2003 um 3,1% p.a. Die verschiedenen Einsatzstoffe nahmen mit vergleichbaren Wachstumsraten zu, und die Gesamtzusammensetzung blieb folglich im untersuchten Zeitraum nahezu unverändert (siehe Abbildung 4-1a und Abbildung 4-1b).

- Ein weiterer Gegenstand der Studie war es, die **Lieferverflechtungen** zwischen den Subsektoren der chemischen Industrie und mit anderen Sektoren zu untersuchen. Für die *organische* chemische Industrie gelang es, eine weitgehend vollständige Übersicht anzufertigen, da wir auf das Kohlenstoffmodell NEAT zurückgreifen konnten, welches alle wichtigen organischen Chemikalien abbildet (siehe Schaubild in Abbildung 4-3). Wir ermittelten den letztlichen Einsatzzweck der organischen Chemikalien und die dazugehörigen Stoffströme. Analog hierzu wurde auch eine Stoffstromanalyse für *anorganische* Chemikalien angefertigt (siehe Schaubild in Abbildung 4-4). Hierzu wurden in einem ersten Schritt die wichtigsten anorganischen Chemikalien identifiziert. In einem zweiten Schritt wurden dann die Stoffströme für die jeweiligen Verwendungszwecke (als chemische Zwischen- und Endprodukte) recherchiert. Daraufhin wurden die (physischen) Einsatzmengen an Anorganika in den verschiedenen Sektoren des Endverbrauchs ermittelt. Durch Kombination dieser Informationen wurden schließlich die Stoffströme zwischen den einzelnen Subsektoren ermittelt. Die Analyse der Lieferverflechtungen ist mit erheblichen Unsicherheiten behaftet, da die Zusammenhänge komplex sind und da keine detaillierte Informationen zur Herkunft und zur Verwendung der Stoffe vorliegen. Gemäß dieser Untersuchungen sind die wichtigsten Stoffströme (siehe auch Tabelle 4-2 and Abbildung 4-2 bis Abbildung 4-4):
 - die Lieferung anorganischer Industriegase für die Herstellung von *organischen* Chemikalien (Lieferung der Subsektor 24.11 an Subsektor 24.14); Sauerstoff ist hier der größte Stoffstrom (2.7 Mt) und wird gefolgt von Düngemitteln (Lieferung von 24.11 an 24.15; der Stickstoffeinsatz in der Ammoniakherzeugung ist hierbei der größte Bestandteil)
 - die Eigenlieferung anorganischer Massenchemikalien innerhalb der industriellen *anorganischen* Chemie (Lieferung von 24.13 an 24.13) und die Belieferung anorganischer Massenchemikalien zur Herstellung *organischer* Chemikalien (Lieferung von 24.13 an 24.14)
 - die Eigenlieferung organischer Massenchemikalien innerhalb der industriellen organischen Chemie (Lieferung von 24.14 an 24.14); mit einem Gesamteinsatz von 11 Mt ist dies der größte Verbraucher dieser Erzeugnisse; der zweitgrößte Verbraucher ist die Polymerindustrie (Lieferung von 24.14 an Subkategorie 24.16)
 - die Eigenlieferung von Düngemitteln und Stickstoffverbindungen (Lieferung von 24.15 to 24.15); mit einem Stoffstrom von bis zu 9 Mt ist dies der drittgrößte Stoffstrom des Sektors.

Die Untersuchungen ergaben, dass alle anderen Stoffströme vergleichsweise klein sind. Als wesentliche Schlussfolgerung ist die umfangreiche Eigenlieferung in der chemischen Industrie festzuhalten, die etwa die Hälfte des gesamten Stoffflusses ausmacht (26 Mt von insgesamt 54 Mt). Dies liegt vor allem an den Eigenlieferungen in

den Teilsektoren der organischen und anorganischen Massenchemie sowie im Düngemittelsektor.

Es wurden zwei weitere aufschlussreiche Schaubilder entwickelt. Das erste gibt den Endverbrauch von Polymeren zur Herstellung von Kunststoffserzeugnissen und für andere Produkte wieder (siehe Abbildung 4-5). Das zweite ist eine Gesamtübersicht des Verbrauchs aller Rohstoffe in der deutschen chemischen Industrie (siehe Abbildung 4-6); hierfür wurden die Stoffstromanalysen für die organische und die anorganische Chemie miteinander kombiniert und in aggregierter Form dargestellt. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- 75% aller Polymere (11,6 Mt) werden für die Herstellung von Kunststoffserzeugnissen verbraucht. Die verbleibenden 25% werden vor allem für nichtplastische Anwendungen und für Gummierzeugnisse verwendet. Zahlreiche Sektoren setzen Kunststoffserzeugnisse als Einsatzstoffe ein (z.B. die Sektoren Landwirtschaft, Nahrungsmittel, Maschinenbau, Fahrzeugbau, Möbel und der Bausektor). Dabei sind die Verpackungsindustrie und der Bausektor die größten Verbraucher von Kunststoffen. Insgesamt machen diese beiden Sektoren mehr als 50% des gesamten Kunststoffverbrauchs in Deutschland aus. Fügt man den Einsatz für Haushaltsanwendungen noch hinzu, so steigt der Anteil auf beinahe drei Viertel des gesamten Kunststoffeinsatzes in Deutschland. Die Lebensmittelindustrie ist der größte Verbraucher von Kunststoffverpackungen. Die Bauindustrie setzt Kunststoffe für zahlreiche, sehr unterschiedliche Verwendungszwecke ein (z.B. als Rohre, zur Isolation und als Fensterprofile). Die Produkte der Gummiindustrie gehen hauptsächlich in den Fahrzeugbau. Die nichtplastischen Erzeugnisse (z.B. Lösemittel) werden entweder von der chemischen Industrie selbst verbraucht und werden letztlich in eine Vielzahl von Produkten umgesetzt, die in zahlreichen Sektoren Verwendung finden (z.B. Farben und Lacke im Automobilbau und in der Bauwirtschaft).
- Unsere Stoffstromanalyse ausgehend von den Rohstoffen bis zu den Endprodukten erlaubt uns einen guten Einblick in die Materialströme, die mit der chemischen Industrie in Deutschland zusammenhängen (für das Jahr 2003). Wir stellten fest, dass die Summe der organischen (42%) und anorganischen (58%) Rohstoffe in der chemischen Industrie bei 50 Millionen Tonnen (Mt) liegt (siehe Haupttext bzgl. der wichtigsten im Chemiesektor eingesetzten Rohstoffe). Wie bereits erwähnt, ist Naphtha mit einem Massenteil von 57% der wichtigste organische Rohstoff. Die drei bedeutendsten anorganischen Rohstoffe sind Sauerstoff (34%), Industriesalze (27%) und Stickstoff (23%); sie machen 84% des Gesamteinsatzes an anorganischen Rohstoffen aus. Der Rest verteilt sich auf Kalkstein, Bauxite, Schwefel, Fluorit, Apatite, Siliziumdioxid und Kalisalze. Die Gesamtausbeute der Umsetzung von organischen Rohstoffen liegt bei 92% und für anorganische Rohstoffe bei 110%. Die Gesamtausbeute von über 100% erklärt sich aus entsprechend hohen Werten für wichtige anorganische Chemieprozesse, insbesondere für die Elektrolyse von Natriumchlorid (Kochsalz) zu Chlor und Natronlauge und für die Herstellung von Schwefelsäure aus Schwefel. Wir schlussfolgern, dass die Metallerzeugung, die Landwirtschaft, der Automobilbau,

die Bauwirtschaft, Haushalte und die chemische Industrie selbst wichtige Endverbraucher von Chemieprodukten sind.

Das Hauptziel unseres bottom-up-Energiemodells ist es, den **Energieeinsatz der wichtigsten Teilspektoren der chemischen Industrie** abzuschätzen. Die Vorgehensweise besteht darin, die Produktionsmengen aller modellierten Erzeugnisse mit dem spezifischen Bedarf an Brennstoffen, Dampf und Strom zu multiplizieren. In seiner erweiterten Form umfasst unser bottom-up-Energiemodell (**PIE 2.0**) 137 Produkte der chemischen Industrie in Deutschland und 250 Produktionsprozesse. Als Qualitätscheck vergleichen wir den Gesamtenergiebedarf aus den Berechnungen unseres bottom-up-Energiemodell mit den Angaben in der nationalen Energiebilanz (herausgegeben von der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen) und mit der Energiestatistik (herausgegeben von DeStatis). Dies erlaubt es, den Deckungsgrad unseres bottom-up-Energiemodells zu ermitteln, welcher ein Indikator für die Vollständigkeit und die Repräsentativität unseres Modells ist. Die Berechnung des Deckungsgrades ist vergleichsweise kompliziert, da die Systemgrenzen der Energiebilanz und der Energiestatistik nicht völlig klar sind und weil die Vereinheitlichung der Systemgrenzen mit Unsicherheiten behaftet ist. Wir vergleichen nun die Ergebnisse unseres **Bottom-up-Energiemodells** zuerst mit den Werten in der Energiebilanz und danach mit der Energiestatistik:

- Der Vergleich mit der **Energiebilanz** ergibt, dass das Bottom-up-Energiemodell zwischen 1990 und 2003 im Durchschnitt 52% des gesamten Strombedarfs der gesamten Chemieindustrie und 74% ihres Brennstoff- und Dampfbedarfes zwischen 1990 und 2003 abdeckt. Für den untersuchten Zeitraum entspricht dies einem durchschnittlichen Deckungsgrad von 78% des *Endenergiebedarfs* (siehe Abbildung 4-8). Im Jahr 2003 lag der Deckungsgrad des *Endenergiebedarfs* bei 91% (siehe Tabelle 4-5a). Der Deckungsgrad für *Massenchemikalien* sogar höher, nämlich bei 93% (siehe Abbildung 4-5b). Angesichts der Komplexität der chemischen Industrie und der Vielzahl von Prozessen mit geringen Produktionsmengen halten wir diesen Deckungsgrad für beachtlich hoch. Allerdings ist der Deckungsgrad in früheren Jahren deutlich niedriger (der Deckungsgrad des *Enrenergiebedarfs* stieg von 57% in 1990 auf 91% in 2003; siehe Abbildung 4-8). Der Hauptgrund hierfür sind die Datenlücken in der Produktionsstatistik in den Jahren vor 1995.
- Ein etwas besorgniserregendes Ergebnis ist der Deckungsgrad von über 100% im Jahr 2003 für Brennstoffe und Dampf in der Grundstoffchemie und in der gesamten chemischen Industrie (siehe Tabelle 4-5a und Tabelle 4-5b). Mögliche Gründe sind, i) dass der tatsächliche Prozessenergiebedarf höher ist als in der Energiebilanz angegeben (v.a. für Dampf), ii) dass das Bottom-up-Energiemodell die Wärmerückgewinnung und -verwertung (Wärmekaskadierung) nicht berücksichtigt, iii) dass das Modell möglicherweise höhere spezifische Energieverbräuche (veraltete Daten) annimmt als sie der durchschnittlichen industriellen Praxis entsprechen und iv) dass der Deckungsgrad nur bis zum Jahr 2003 ermittelt wurde, während die Energiestatistik ab 2004 zuverlässiger ist: als Folge einer detaillierteren Erhebung (z.B. durch Einbeziehung des Energieeinsatzes aus Biomasse und Abfällen) sowie durch Kalibration liegt der Energieverbrauch laut Energiestatistik in den letzten drei

Jahren höher, was realistischere Deckungsgrade zur Folge hätte. Allerdings untersuchen wir in dieser Studie nur den Zeitraum bis 2003 und können daher die zuverlässigeren Daten aus der Energiestatistik seit 2004 nicht nutzen.

- Der Vergleich unseres Bottom-up-Energiemodells mit dem Energiebedarf laut **Energiestatistik** ist wegen der unklaren Systemgrenzen mit höheren Unsicherheiten behaftet als die soeben diskutierten Vergleiche mit der Energiebilanz. Als Hauptgrund ist die unklare Abgrenzung der Energiestatistik zu nennen. Die Analyse zeigt, dass die Werte nur schlecht übereinstimmen. Im Haupttext diskutieren wir die Unterschiede und ihre möglichen Gründe. Angesichts der Unsicherheiten der Daten in der Energiestatistik erscheint es unmöglich, auf dieser Grundlage Schlussfolgerungen zur Qualität unseres Bottom-up-Energiemodells zu ziehen. Die Verfügbarkeit von zuverlässigen Daten aus der Energiestatistik oder vergleichbarer Daten für andere Länder würde daher möglicherweise ein deutlich vertieftes Verständnis ermöglichen.

Teil der Untersuchungen war es auch, die Entwicklung des Energieeinsatzes in den Teilsektoren im Zeitverlauf zu verfolgen (siehe Tabelle 4-7). Der **Gesamteinsatz an Brennstoffen und Dampf nimmt bis zum Jahr 2000 langsam zu** (Ausnahme: Teilsektor 24.14 nimmt schneller zu) **und flacht sich danach ab oder nimmt in den meisten Teilsektoren sogar leicht ab. Im Gegensatz hierzu steigt der Strombedarf im gesamten Zeitraum** (Teilsektors 24.14 ist wiederum eine Ausnahme), allerdings mit geringeren Steigerungsraten ab dem Jahr 2000. Die Hauptergebnisse per Teilsektor sind:

- Der Einsatz von Brennstoffen und Dampf sowie von Strom nimmt im Teilsektor 24.14 (*organic chemicals*) leicht ab, während diese Einsätze für Teilsektor 24.16 (Polymere) zunehmen.
- In den Teilsektoren 24.13 (*anorganische Chemikalien*) und 24.15 (Düngemittel), bleibt der Einsatz von Brennstoffen und Dampf praktisch unverändert, während der Stromeinsatz marginal zunimmt.
- Teilsektor 24.11 (Industriegase) zeigt einen zunehmenden Trend für Strom, während keine Brennstoffen und Dampf benötigt werden.

Für das Jahr 2003 unternahmen wir den Versuch, die **Determinanten des Einsatzes von Strom, Brennstoffen und Dampf pro Teilsektor** zu ermitteln (siehe Abbildung 4-9a bis Abbildung 4-9e). Die wichtigsten Ergebnisse sind:

- Der Energiebedarf des Teilsektors Industriegase (24.11) besteht praktisch ausschließlich aus Strom und hängt vor allem mit der Herstellung von Sauerstoff und Stickstoff zusammen.
- Der Energieverbrauch des Teilsektors Farbstoffe und Pigmente (24.12) wird vor allem durch die Herstellung von Titandioxid bestimmt.
- Im Teilsektor *anorganische Chemikalien* (24.13) wird der hohe Stromeinsatz vor allem durch die Chlorproduktion verursacht. Der Einsatz von Brennstoffen und Dampf hängt vor allem mit der Sodaproduktion zusammen.
- Der Teilsektor *organische Chemikalien* (24.14) verursacht den höchsten Energiebedarf in der Grundstoffchemie (24.1) und umfasst die meisten Produkte

aller Teilsektoren. Der hohe Brennstoff- und Dampfbedarf dieses Teilsektors hängt vor allem mit dem energieintensiven Prozess des Dampfspaltens (Steamcracking) zusammen. Auch die Production von Methanol ist recht energieintensiv (aber viel weniger als das Dampfspalten).

- Die Herstellung von Ammoniak erfordert den Großteil des Brennstoffeinsatzes des Teilsektors 24.15, der auch Ammoniakderivate und andere Düngemittelprodukte umfasst.
- Im Teilsektor Polymere (24.16), sind Polyacrylate, Polycarbonate und Polysulfone die energieintensivsten Produkte (siehe Abbildung 4-9e). Im Vergleich zur Produktion von Polyacrylaten (deren Herstellung in diesem Teilsektor am meisten Energie erfordert) liegt der Gesamtenergiebedarf für die Massenpolymere Polyethylen und Polypropylen ca. 65 % bzw. 30 % tiefer, obwohl die Produktionsmengen der Polyolefine etwa um einen Faktor 5-10 höher liegt. Dieser Vergleich bezieht sich ausschließlich auf die Polymerisation und umfasst damit nicht die Herstellung der Monomere (z.B. Ethylen).

Das Bottom-up-Energiemodell und das Materialstrommodell nutzen vertrauliche Daten, die uns aus einer früheren Studie zur Verfügung standen. Es war nicht möglich, eine vergleichbare Regelung für dieses Projekt zu vereinbaren. Da es uns nicht gelang, sämtliche fehlenden Daten durch anderweitig öffentlich zugängliche Quellen zu schließen, bleiben Datenlücken bestehen, und die genutzten Informationen sind teilweise mit erheblichen Unsicherheiten behaftet; dies gilt vor allem für den Zeitraum 1990 bis 1995 und insbesondere für Inorganika. Die Qualität der Ergebnisse des bottom-up-Energiemodells und des Materialstrommodells könnten folglich erheblich erhöht werden, wenn die übrigen vertraulichen Daten aus der amtlichen Statistik zur Verfügung gestellt werden könnten.

Es gibt nur wenige Studien, die den Stromverbrauch nach Einsatzgebieten in der chemischen Industrie differenzieren. Diese wenigen Studien wurden für die chemische Industrie in verschiedenen Regionen angefertigt, nämlich für Europa und die USA. Der Stromeinsatz in der Industrie hängt von zwei Faktoren ab, nämlich i) der Art und Menge der erzeugten Produkte (Produktionsstruktur) und ii) den eingesetzten Produktionsverfahren. In einem ersten Schritt haben wir die Produktionsstruktur in den USA und Deutschland miteinander verglichen und kamen zum Schluss, dass diese recht vergleichbar ist (siehe Tabelle 4-9). Bezüglich des zweiten Faktors, nämlich den eingesetzten Produktionsverfahren, lässt sich sagen, dass sich diese für Massenprodukte der Chemie in Industrieländern nicht wesentlich voneinander unterscheiden. Wir halten es daher für zulässig, die Verteilung des Stromeinsatzes in der deutschen chemischen Industrie auf der Grundlage von Daten für die USA abzuschätzen und zusätzlich Informationen zum Stromverbrauch für Motoren in der chemischen Industrie in EU-Ländern heranzuziehen. Auf dieser Grundlage schätzen wir, dass **etwa 70% des Strombedarfs in der chemischen Industrie motorischen Antrieben zuzurechnen** ist. Im Bereich der motorischen Antrieben erfordern Kompressoren und Pumpen am meisten Energie (der Rest ist für Kühlung, Lüftung und andere Zwecke). Mit einem Verbrauchsanteil von etwa 20% stehen die elektrochemische Prozesse an zweiter Stelle im Stromverbrauch (siehe Tabelle 4-10).

Da die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) bekanntlich zu den wichtigsten Maßnahmen zur Einsparung von Energie gehören, ist es von besonderem Interesse, ihre Entwicklung im Zeitverlauf zu verfolgen und ihre Bedeutung für den Energiebedarf der chemischen Industrie zu untersuchen. Dies wird allerdings durch die lückenhafte Statistik zur KWK im Chemiesektor erschwert; im Wesentlichen lässt sich nämlich aus der amtlichen Statistik lediglich die Stromkennzahl ableiten. Daraus ergab sich die Notwendigkeit, eigene Schätzungen zur Effizienzentwicklung der Eigenerzeugung von Strom und Dampf vorzunehmen; diese basieren auf Literaturdaten und Angaben aus der Statistik zu anderen Teilsystemen, nämlich i) zur öffentlichen Stromerzeugung und ii) zur Stromeigenerzeugung im gesamten Industriesektor in Deutschland. Auf der Grundlage der Energieeffizienzentwicklung in diesen beiden Teilsystemen schätzen wir die jährliche Effizienzzunahme in chemie-eigenen Strom- und Dampfanlagen auf 0,45% pro Jahr. Trotz der hiermit zusammenhängenden Unsicherheiten (siehe Haupttext) können wir die folgenden Schlussfolgerungen ziehen:

- In der ersten Hälfte der 90er Jahre nahm die Primärenergieeinsparung durch verstärkten Einsatz von KWK leicht zu.
- Seit Mitte der 90er Jahre ist dagegen ein Trend zu geringerer Eigenerzeugung zu beobachten, weswegen die Primärenergieeinsparung wieder zurückgeht. Letztlich ist die Primärenergieeinsparung durch Eigenerzeugung von Strom und Dampf im Jahr 2003 vergleichbar mit derjenigen im Jahr 1990 (und wahrscheinlich sogar etwas geringer).

Wir kommen also zu dem Schluss, dass die oben diskutierte **beachtliche Zunahme der Energieeffizienz im Chemiesektor (zwischen 3,7% p.a. und 5,1% p.a.) wohl kaum mit Entwicklungen in der KWK im Chemiesektor erklärt werden kann**. Es liegt außerhalb des Untersuchungsrahmens dieser Studie, die Ursachen für die beobachtete Energieeffizienzentwicklung zu ermitteln.

Schließlich wenden wir uns der Frage zu, ob die Globalisierung und die Entstehung neuer starker Grundstoffindustrien in Schwellenländern und anderen Industrieländern die Verlagerung der mit dem deutschen Konsum zusammenhängenden Umweltbelastung von Deutschland in andere Länder zur Folge hat. Die verfügbaren Daten aus der Außenhandelsstatistik und aus Ökobilanzen ermöglichen es, diese Frage für Massenchemikalien und chemische Zwischenprodukte sowie für Farben/Lacke und Düngemittel zu untersuchen. Unsere Methode birgt vor allem wegen der unvollständigen und teilweise unpräzisen Wiedergabe des Handels mit Zwischenprodukten Unsicherheiten in sich. Dennoch halten wir unsere Schlussfolgerung für robust, wonach für Massenchemikalien und chemische Zwischenprodukte **keine Verlagerung von Umweltbelastungen ins Ausland** als Konsequenz veränderter Außenhandelsstrukturen festzustellen sind.

Treffworte

Chemische Industrie, Energie, CO₂-Emissionen, Indikatoren, Handel, Verlagerung von Umweltbelastungen