

SCHWERPUNKTTHEMA

Stoffstromanalysen

Einführung in den Schwerpunkt

In den vergangenen Jahrzehnten haben die dramatisch steigenden Stoffmengen, die für Produktions- und Konsumzwecke der Industriegesellschaften der Natur entnommen wurden und nach Nutzung der Umwelt als Abfall aufgebürdet werden, zu einer neuen Dimension der Umweltbelastung geführt. Eine sektorale und schadstofforientierte Umweltpolitik, die im Wesentlichen auf End-of-pipe-Techniken ausgerichtet war, konnte nicht zu einer nachhaltigen Lösung der Umweltprobleme beitragen. Zudem werden die Erfolge, die bisher durch den Einsatz von Umweltschutztechnik und regulatorischen Maßnahmen erzielt wurden, teilweise durch die überproportional ansteigenden Stoffströme überkompensiert. Als mögliche Auswirkungen auf Mensch und Umwelt werden u. a. der Klimawandel, stratosphärischer Ozonabbau, der zunehmende Flächenverbrauch, Bodenerosion sowie Arten- und Biotopschwund diskutiert.

Die stofflichen bzw. energetischen Ressourcen der Erde sind begrenzt und die Umweltmedien können als Stoffsenke auch nur in beschränktem Maße genutzt werden. Eine Hauptaufgabe für die Zukunft muss es sein, die durch den Menschen verursachten Stoffströme einschließlich des Energieverbrauchs in Richtung einer nachhaltigen Entwicklung zu beeinflussen. In der Umweltforschung und Umweltpolitik gewinnt daher die Analyse von Stoffströmen immer mehr an Bedeutung. Hierdurch sollen Beiträge zur effizienteren Ressourcennutzung und eine wissenschaftliche Basis zur Steuerung und Bewertung von Stoffströmen (Stoffstrommanagement) erarbeitet werden.

Stoffstromanalysen haben das Ziel, den Stoff- und Energieeintrag wie auch den Verbleib der ein- bzw. umgesetzten Stoffe in einem definierten Untersuchungssystem zu identifizieren (qualifizieren) und im Weiteren zu quantifizieren. Hierbei sind innerhalb der Bilanzgrenzen sämtliche wesentliche Verzwei-

gungen und Umwandlungen im Stoffstrom darzustellen. Das Untersuchungssystem kann die Herstellung, Nutzung und Entsorgung einzelner Produkte betreffen, sich auf bestimmte Technologien oder technische Verfahren beziehen oder die Abläufe in Betrieben oder Regionen umfassen.

In einem ersten Schritt wird bei der Durchführung von Stoffstromanalysen der Bilanzierungsraum entsprechend der Aufgabenstellung geeignet abgegrenzt. Für bestimmte Aussagen kann die Betrachtung eines einzelnen Teilprozesses ausreichen, z. B. wenn zwei Prozesse verglichen werden sollen, die sich nur in diesem Teilprozess unterscheiden. In anderen Fällen kann es erforderlich sein, auch die Betrachtung von Vorprodukten, die Gewinnung der benötigten Rohstoffe, die Nutzung des Produktes und auch die Entsorgung mit einzuschließen. Die Untersuchungstiefe (Grad der Differenzierung in einzelne Untersuchungsschritte) der Analyse hängt aber neben der Fragestellung auch entscheidend von der zur Verfügung stehenden Zeit und der vorhandenen Datenlage ab.

Bei Stoffstromanalysen kommt der Verfügbarkeit relevanter Daten zu Stoff- und Energieinputs und Stoff- und Energieoutputs große Bedeutung zu. Dies beinhaltet spezifische Angaben zu allen wesentlichen Input- und Outputströmen für einen identifizierten Verzweigungspunkt wie z. B. Angaben zu Art und Menge von allen Eingangsstoffen, Hilfsstoffen, Haupt- und Nebenprodukten, Abfällen, Abwässern, Abwasserinhaltsstoffen, Emissionen in die Atmosphäre etc.. Im Allgemeinen stehen diese Daten jedoch im Voraus nicht zur Verfügung. Sie müssen erst aufwändig erhoben und zusammengestellt werden. Datenquelle ist dabei zunächst die Literatur, in aller Regel sind aber intensive Kontakte zu Herstellern, Betrieben, Verbänden, u. a. m. erforderlich. Für die Fragestellung geeignete Datensätze liegen jedoch in der Regel auch der Industrie nur in begrenztem Umfang vor. Bestehende Datenlücken müssen dann durch Modellannahmen, durch Plausibilitätsbetrachtungen oder aber auch durch Beschreibung der Abläufe/des Prozesses und physikalisches/chemisches Wissen über die darin ablaufenden Vorgänge geschlossen werden. Die Erhebung, Auswertung und Bewertung der Daten ist häufig ein Prozess, der mehrere Iterationsschritte durchläuft. Die

Qualität und die Vollständigkeit der Daten haben großen Einfluss auf die Aussagekraft der Stoffstromanalysen. Deshalb ist die Datenqualität in Bezug auf die Intention der Untersuchung zu evaluieren und ihr Einfluss auf die Güte der Aussage abzuschätzen.

Stoffstromanalysen können abhängig von der Fragestellung eigenständige Untersuchungen oder Teil anderer Untersuchungsmethoden sein, wie z. B. Teil von Ökobilanzen oder von systemanalytischen Untersuchungen mit erweiterten Untersuchungsbereichen (z. B. Berücksichtigung ökonomischer Aspekte).

Die Beiträge zu dem Schwerpunktthema dieses Heftes stellen einen Teil des weiten Spektrums der Arbeiten zum Thema Stoffstromanalysen dar. Dabei werden zunächst Beiträge vorgestellt, die eher einen allgemeinen Überblick über die Methodik, die Einsatzbereiche und die Probleme bei Stoffstromanalysen geben. Die anschließenden Artikel stellen konkrete Arbeiten zu Stoffstromanalysen in unterschiedlichen Bereichen (global, Abfallwirtschaft, Technik/Technologie) vor. Im letzten Beitrag wird die vom Umweltbundesamt Berlin herausgegebene Studie „Konzeption für ein Stoffstromrecht“ vorgestellt.

Der erste Beitrag von **Mario Schmidt von der Fachhochschule Pforzheim** mit dem Titel „**Methodische Ansätze zur Analyse und Auswertung betrieblicher und produktbezogener Stoffstromsysteme**“ geht auf methodische Aspekte ein, die bei der Stoffstromanalyse in der gewerblichen Wirtschaft im Vordergrund stehen. Sie entscheiden darüber, welche Gemeinsamkeiten bzw. welche Unterschiede bei den verschiedenen in der Praxis verwendeten Verfahren bestehen, die für Stoffstromanalysen herangezogen werden. Diese methodische Abgrenzung hilft u. a. bei der problemadäquaten Auswahl für den Einsatz der Arbeitsinstrumente.

In dem anschließenden Beitrag „**Der Stoffhaushalt nationaler Volkswirtschaften und Aspekte eines nachhaltigen Ressourcenmanagements**“ stellen **Stefan Bringezu, Stefan Moll und Helmut Schütz vom Wuppertal Institut** die Methode der wirtschaftsraumbezogenen Stoffstromanalysen vor. Sie zeigen, dass sich die möglichen Wirkungen der Stoffströme mit Hilfe von wirkungs- und mengenbasierten Indikatoren beschreiben lassen, wobei sich die Arbeiten des Wuppertal Instituts

auf die Erarbeitung von mengenumsatzbezogenen Indikatoren konzentrieren. Mit Hilfe von so genannten aggregierten Indikatoren, wie beispielsweise Input-, Output-, Verbrauchs-, Bilanz- und Effizienz-Indikatoren, können nach Meinung der Autoren wesentliche Informationen über den gesellschaftlichen Stoffwechsel bereitgestellt und bewertet werden. Als Beispiel wird der globale Materialaufwand der EU anhand empirischer Befunde erläutert und vor dem Hintergrund aktueller politischer Zielvorgaben auf europäischer Ebene diskutiert.

Mit der Entwicklung einer Methode, welche die gesamthafte und eindeutige Bewertung von Verfahren anhand von Stoffbilanzen (Summe aller in einem Untersuchungsraum relevanten Stoffflüsse) ermöglicht, beschäftigt sich **Helmut Rechberger von der ETH Zürich**. So besteht z. B. bislang das Problem, die Stoffströme der Abfallwirtschaft in ein Bewertungsverfahren zu integrieren. Die neue Methode beruht auf dem Konzept der statistischen Entropie, die von Helmut Rechberger in seinem Beitrag „**Ein Beitrag zur Bewertung des Stoffhaushaltes von Metallen**“ vorgestellt wird. Metalle werden in Veredelungsprozessen konzentriert und in Konsumprozessen verdünnt und emittiert. Es wird eine Methode vorgestellt, die es erlaubt, diese Vorgänge zu quantifizieren. Die statistische Entropie kann als ein Bewertungsindikator auf dem Weg zu einer nachhaltigeren Metallbewirtschaftung herangezogen werden.

Ebenfalls mit abfallwirtschaftlichen Aspekten der Stoffstromanalyse beschäftigt sich der Beitrag „**Bewertung abfallwirtschaftlicher Maßnahmen anhand von Stoffflussanalysen**“ von **Michael Eder, Gernot Döberl, Renate Huber und Paul H. Brunner von der Technischen Universität Wien**. Hier wird ein neues Bewertungsverfahren vorgestellt, das auf Stoffstromanalysen und ökonomischen Analysen beruht. Mit Hilfe der Kosten-Nutzen-Analyse und der neuen modifizierten Kosten-Wirksamkeits-Analyse werden ausgewählte abfallwirtschaftliche Maßnahmefälle in Hinblick auf die Ziele der österreichischen Abfallwirtschaft bewertet. Hierfür wurden die verschiedenen Maßnahmefälle mit Hilfe von Güter- und Stoffstromanalysen abgebildet.

Als ein Beispiel für eine vergleichende Stoffstromanalyse im Bereich „Neue Verfahren und Werkstoffe“ werden die im Rahmen eines

HGF-Strategiefondsprojektes „Schwarzer Rumpf“ durchgeführten Arbeiten des ITAS vorgestellt. In dem Beitrag „**Stoffstromanalysen zum Einsatz von carbonfaserverstärkten Kunststoffen im Flugzeugbau**“ von **Bernd Reßler, Matthias Achternbosch, Klaus-Rainer Bräutigam, Christel Kupsch und Gerhard Sardemann**, ITAS, werden die mit der Herstellung, Nutzung und Entsorgung von Flugzeugrumpfkomponten verbundenen Stoff- und Energieeinsätze bestimmt. Als Materialien für die Rumpfbauerteile werden Aluminiumknetlegierungen und carbonfaserverstärkte Kunststoffe (CFK) einander gegenübergestellt. Die Arbeiten dienen unter anderem dazu, die bezüglich des Stoff- und Energieeinsatzes wesentlichen Prozessschritte zu identifizieren und sollen Hinweise auf Optimierung und Auswahl alternativer Prozesse geben.

Im Beitrag „**Stoffstromanalyse und Ökobilanz als Hilfen zur umweltorientierten Positionsbestimmung von Beton mit und ohne rezykliertem Zuschlag im mineralogischen Baustoffstrom**“ von **Marcel Weil, Udo Jeske und Liselotte Schebek** vom Institut für Technische Chemie, Zentralabteilung Technikbedingte Stoffströme des Forschungszentrums Karlsruhe wird mit Hilfe der Stoffstromanalyse und der Ökobilanz untersucht, in welchem Umfang bei der Betonherstellung eine Entlastung der natürlichen Ressourcen durch Nutzung von rezykliertem Zuschlag möglich ist.

Bei dem letzten Beitrag handelt es sich um eine Rezension der im Auftrag des Umweltbundesamtes durchgeführten Studie von **Edmund Brandt und Susana Röckeisen**: „**Konzeption für ein Stoffstromrecht**“. Darin wird zunächst die rechtliche Problematik des Stoffstromansatzes auf einer allgemeinen Ebene beleuchtet, wobei der Stoffmengenaspekt im Vordergrund steht. Sodann werden exemplarisch anhand von zwei anthropogen induzierten Stoffströmen (Baustoffe und PKW) mögliche Lenkungsinstrumente diskutiert und ihre Kompatibilität mit dem geltenden Rechtssystem überprüft. Diese Rezension ist von **Juliane Jörissen, ITAS**, verfasst.

(Matthias Achternbosch und Klaus-Rainer Bräutigam, ITAS)

»

Methodische Ansätze zur Analyse und Auswertung betrieblicher und produktbezogener Stoffstromsysteme

von **Mario Schmidt**, Hochschule für Gestaltung, Technik und Wirtschaft, Pforzheim

Betriebliche Umweltbilanzen, Ökoeffizienz-Analysen, Ökobilanzen, Life Cycle Assessment, Materialflussanalysen, Stoffstrommanagement – was in der Praxis viele Namen hat, läuft methodisch auf das Gleiche hinaus: die Abbildung und das Verständnis von realen Stoff- und Energieflusssystemen. Was sind deren Auswirkungen auf die Umwelt? Welche wirtschaftliche Bedeutung haben sie? Wie, an welcher Stelle und zu welchem Zweck können sie beeinflusst werden? Der Beitrag geht auf die methodischen Aspekte ein, die bei der Stoffstromanalyse im Vordergrund stehen. Sie entscheiden darüber, welche Parallelen bzw. welche Unterschiede bei den verschiedenen Verfahren bestehen. Diese methodische Abgrenzung hilft u. a. bei der problemadäquaten Auswahl der Arbeitsinstrumente für die Praxis.

1 Einführung

Knapp ein Jahrzehnt, nachdem die Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages „Schutz des Menschen und der Umwelt“ sich ausführlich mit dem Umgang von Stoff- und Materialströmen beschäftigt hat (Enquete-Kommission 1993), gewinnen die Stoffstromanalysen in den Betrieben an Bedeutung. Um es vorweg zu sagen: Noch werden solche Instrumente eher zaghaft eingesetzt und ihre Bedeutung in der Praxis könnte gewiss größer sein.

Unübersehbar ist aber der Einfluss der europäischen EMAS- oder Öko-Audit-Verordnung, mit der in Unternehmen Umweltmanagementsysteme eingeführt werden und eine gewisse innerbetriebliche Transparenz an umweltrelevanten Stoff- und Materialströmen verlangt wird. Dazu kommt die Fertigstellung des Normengebäudes zum Life Cycle Assessment mit den internationalen Standards ISO 14.040 ff. Viele Praxisbeispiele stammen deshalb aus großen Unternehmen, die sich mit solchen Themen intensiv befasst haben. Kleine