

Effizient mit Ressourcen umgehen

# ENERGIE- UND STOFFSTROMANALYSE

Ressourceneffizienz ist wieder ein Thema. Gemeint sind die energetischen und stofflichen Ressourcen, die jedes produzierende Unternehmen und auch jeder Dienstleister braucht. In Deutschland hat der Kostenanteil der eingekauften Materialien kontinuierlich zugenommen. Er liegt im Durchschnitt bei weit über 40 Prozent des Bruttoproduktionswertes im produzierenden Gewerbe, ist also mehr als doppelt so hoch wie die Personalkosten. Dazu zählen Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe, Halbzeuge und andere Vorprodukte. Die Gründe liegen in einer sinkenden Fertigungstiefe und in steigenden Rohstoffpreisen. Damit verbunden sind große Einsparpotenziale, die inzwischen auch ökonomisch interessant sind. Ressourceneffizienz zielt deshalb nicht nur auf die Schonung der natürlichen Ressourcen ab, sondern ebenso ein Beitrag zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit der produzierenden Wirtschaft, insbesondere des Mittelstandes.

Ressourceneffizienz ist aus vielerlei Gründen sinnvoll. Deshalb wird der Begriff von vielen verwendet, obwohl nicht jeder das Gleiche meint. Sieht man einmal von den „Human Resources“ und vom Kapital ab, so stehen für einen Unternehmer oder für einen Betriebswirt alle materiellen Güter im Vordergrund, die er zum Wirtschaften benötigt. Ressourcen sind also nicht nur Rohstoffe im geologisch engeren Sinne, sondern auch Vorprodukte und Halbfertigwaren. Jede Verschwendung bedeutet hier einen ökonomischen Verlust und kann nicht im Interesse des Unternehmens liegen. Geht es darum, diese Ineffizienzen im Unternehmen aufzuspüren, wird man als Indikator die damit verbundenen Kosten oder Einsparpotenziale in Euro wählen.

## Warum überhaupt Ressourceneffizienz?

- Für das Unternehmen sollte der sparsame Umgang mit den eingesetzten Energien und Materialien eine Selbstverständlichkeit sein, um die Produktionskosten niedrig zu halten. Das ist besonders wichtig bei steigenden Energie- und Industrierohstoffpreisen. Doch überall schleichen sich Unzulänglichkeiten und eine gewisse Routine ein: Ursachen für Ineffizienzen. Viele Potenziale werden nicht erkannt, weil man sie nie quantifiziert hat.
- Gleichzeitig ist Ressourceneffizienz eine Voraussetzung für die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens. Beschäftigt sich das

- Unternehmen mit Einsparpotenzialen, so kann es dadurch nicht nur die Kosten senken, sondern auch seine Innovationskraft stärken, z.B. in der Produktionstechnik oder Produktentwicklung.
- Einige wichtige Rohstoffe spielen eine Schlüsselrolle in Hochtechnologien, sind aber auf den Weltmärkten nicht jederzeit unbegrenzt verfügbar. Wer mit Rohstoffen sparsam und bewusst umgeht, reduziert diese Versorgungsrisiken.
- Die Bereitstellung von Energie und Material verursacht immer auch Umweltbelastungen, manchmal fernab in den Förderländern oder bei der Veredelung der Rohstoffe. Wer weniger verbraucht, reduziert auch den ökologischen Rucksack aus der Vorkette oder – wie es im Klimaschutz heißt – den „Carbon Footprint“.

Wer Ressourcen vorrangig aus Kostengründen einspart, tut indirekt auch etwas für den Umweltschutz. Man schont damit natürliche Ressourcen im engeren Sinne, also z.B. mineralische Erze oder fossile Rohstoffe, die endlich sind, und verringert die Umweltbelastungen des Abbaus. Wie groß diese Umweltentlastungen sind, kann allerdings mit der Euro-Angabe an eingespartem Material nicht mehr gesagt werden. Hierzu sind genauere Angaben erforderlich, nämlich was genau (z.B. welches Metall) und wie viel davon (in Tonnen oder Kilogramm) eingespart wurde.

## Worauf kommt es an?

Je nachdem welches Ziel man verfolgt, werden unterschiedliche Indikatoren und verschiedene Instrumente zur Analyse eingesetzt. Für ökologische Fragestellungen sind andere Ansätze erforderlich als für eine reine Kostenanalyse eines Produktionsbetriebs. Im Folgenden werden mehrere Möglichkeiten aufgezeigt:

Wenn es um die Verringerung der **Umweltbelastungen** geht, die mit dem Ressourceneinsatz verbunden sind, so müssen diese Umweltbelastungen bei den Lieferanten und Vorlieferanten, also in der so genannten Vorkette, berücksichtigt werden. Ebenso sollte beachtet werden, welche ökologischen Auswirkungen mit dem Produkt bei der weiteren Verwendung bei Kunden verbunden sind. Denn höhere Umweltbelastungen in der Herstellungsphase (z.B. bei Leichtmetallen) können zu Entlastungen in der Nutzungsphase führen (z.B. bei Kraftfahrzeugen).

Es kommt also auf die **Lebenswegbilanz** an. Solche Bilanzen rechnen von der Wiege bis zur Bahre, also von der Gewinnung der Rohstoffe aus der Natur über die Herstellung und Nutzung bis zur Entsorgung oder Verwertung der Produkte. International ist von „Life Cycle Thinking“ die Rede. Hierzu werden zuerst die **Mengen** an Energie- und Materialeinsatz erfasst und darauf basierend die Umweltauswirkungen berechnet.

Für ein produzierendes Unternehmen können solche Analysen eine große Bedeutung haben, wenn es z.B. um Innovationen bei der Produktentwicklung geht oder man seine Produkte und Leistungen mit anderen Wettbewerbern vergleichen will.

Geht es primär um **ökonomische Gründe** und will man die Ineffizienzen in der eigenen Produktion entdecken, sind solche umfassenden Analysen selten erforderlich. Hier geht es eher darum, Transparenz bei den eigenen Abläufen im Unternehmen herzustellen und sie zu

verstehen. Das hört sich trivial an, ist aber für die Meisten eine große Herausforderung. Denn nur selten ist bekannt, welche Mengen an Energie und Material (einschließlich der Hilfs- und Betriebsstoffe) im Unternehmen tatsächlich fließen oder lagern oder verschwendet werden. Besonders relevant ist aber die **ökonomische Bewertung** dieser Mengen: Welche Wertschöpfung ist damit verbunden und was an Wertschöpfung geht durch Ineffizienzen verloren? Bei vielen Analysen fehlen Kostenbestandteile und verfälschen so das Ergebnis. Diese verborgenen Kosten („Hidden Costs“) müssen ebenso erfasst werden (siehe Abb.1).

Sowohl die Mengen (in Kilogramm oder Kilo-Joule) als auch der Wert (in Euro) sind die zentralen Erfassungsgrößen bei der Analyse der Produktion. Nur beide zusammen ergeben einen Sinn und weisen den Weg, was man damit machen kann, z.B. welche Investitionen sinnvoll sind. Die **physischen Mengen** sind die Basis, wenn es darum geht, was technisch machbar und ökologisch sinnvoll ist. Der **ökonomische Wert** zeigt auf, was wirtschaftlich relevant ist und ob sich Maßnahmen für das Unternehmen rechnen.

## Energie- und Stoffstromanalyse

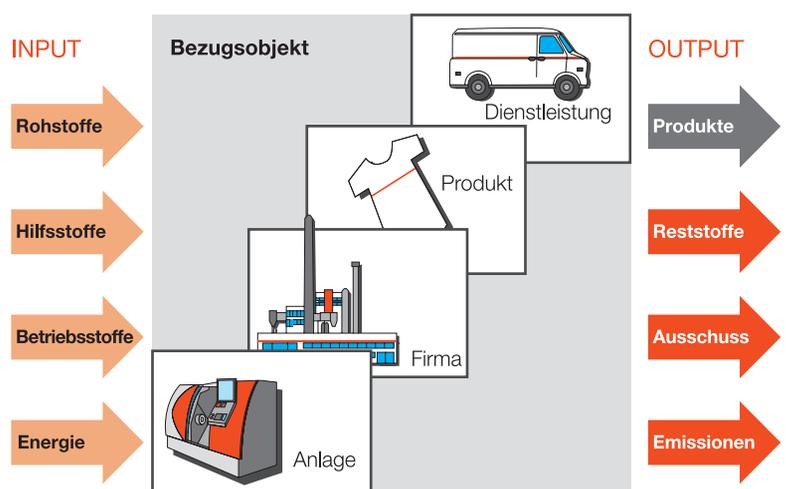
Dementsprechend breit kann man auch den Begriff der Energie- und Stoffstromanalyse interpretieren. Typisch für solche Analysen ist, dass sie aus einem quantitativen **Mengengerüst** bestehen, unterschiedlich detailliert Angaben über die **Herkunft** oder den **Verbleib** von Energie und Materialien (oder „Stoffen“) machen und sich dabei häufig von Bilanzhaltungssätzen leiten lassen. Im einfachsten Fall geht es um die physischen Inputs und Outputs eines Betriebs. Das **Bezugsobjekt** kann ganz verschieden sein: eine einzelne Anlage, ein Produktionsstandort, ein ganzes Unternehmen oder ein Produkt bzw. eine Dienstleistung (siehe Abb.2).

**Abb.1: Die bekannten und die verborgenen Kosten am Beispiel der Entsorgung von Reststoffen**



Quelle: Schmidt (2010)

**Abb.2: Typischer Bilanzrahmen von Energie- und Stoffstromanalysen**



Quelle: Eigene Darstellung

## Wer sind die Akteure?

Das Thema Ressourceneffizienz ist vielschichtig und es betrifft viele Funktionsbereiche in einem Unternehmen. Natürlich ist primär die **Produktionstechnik** einschließlich der Hilfsprozesse betroffen. Hier werden die Energien und Materialien eingesetzt. Hier müssen Maßnahmen meistens auch ansetzen, wenn etwas verbessert werden soll. Oft ist aber auch die **Entwicklungsabteilung** von Bedeutung. Änderungen an der Produktgestalt und -funktion haben meistens größere Auswirkungen als an den vorgegebenen Produktionsprozessen.

Aber die Technik ist nicht alles. Auskünfte über die eingekauften Mengen an Energie und Material und deren Kosten kommen aus der **Einkaufsabteilung**. Über den detaillierten Mengeneinsatz und die Kostenverteilung weiß eher das **Controlling** Bescheid. Geht es um Transporte oder die Lagerung von Materialien, muss die **Logistik** eingeschaltet werden. Ein großes Thema sind immer wieder die Reststoffe und Ausschussmengen. Damit befassen sich die **Umweltabteilung** bzw. das **Qualitätsmanagement**.

Änderungen erzielt man weniger durch andere Maschinen, sondern durch die Menschen, ihr Handeln und ihr Denken. Diese müssen geschult und weiterentwickelt werden. Die Menschen müssen einbezogen und ihre Potenziale genutzt werden. Überhaupt: Ohne das spezifische Know-how im Unternehmen, insbesondere was die Produktionsprozesse angeht, lässt sich kaum etwas verändern und verbessern. Die **Personalentwicklung** ist aber eine Aufgabe der Personalabteilung.

In der Konsequenz handelt es sich also um ein Querschnittsthema, dass nicht einem einzelnen Bereich oder einer einzelnen Abteilung überlassen werden darf. Es muss zentral angestoßen und gesteuert werden; Daten müssen gemeinsam gesammelt und bewertet werden; einzelne Abteilungsinteressen sollten überwunden und Synergien müssen gesucht werden. Das ist Aufgabe der **Unternehmensführung**. Sie muss – entweder selbst oder durch entsprechende Expertise von außerhalb – den Prozess steuern und vor allem moderieren. Langfristig sollte das Thema Ressourceneffizienz als **ständige Aufgabe** für alle im Unternehmen etabliert werden.

## Was man nicht kennt, kann man nicht verbessern

Die Analyse steht immer an erster Stelle: Was wird verbraucht, wie viel, wo, wann und vor allem: warum? Sie ist die Basis für alle weiteren Überlegungen. Und an ihr scheitert die gute Absicht meistens schon, denn zu verstreut liegen die Daten im Unternehmen vor, zu heterogen ist die Qualität und niemand hat wirklich Zeit und Lust, die Daten zusammenzutragen oder die Datenlücken zu schließen.

Der Sinn ergibt sich meistens erst, wenn die Ergebnisse vorliegen. Dann sieht man, wo **Potenziale zum Einsparen** bestehen. Sie auch

tatsächlich zu realisieren, erfordert noch einen weiteren Schritt, nämlich die **Maßnahmen zur Verbesserung** und technischen Optimierung herauszuarbeiten. Letzteres hängt sehr stark von der Situation im Unternehmen ab und kann meistens nur mit den Fachleuten vor Ort angegangen werden. Hierfür lassen sich branchenübergreifend nur wenige Patentrezepte nennen. Aber die Analyse ist der Ausgangspunkt, und für sie gibt es etablierte Methoden. Hier werden einige vorgestellt:

## Relevanzanalyse

Geht man von vorrangig betriebswirtschaftlichen Zielen aus, so sollte man zuerst die **Kostenrelevanz** des Energie- und Materialeinsatzes prüfen. Der Energieanteil bei den Bruttoproduktionskosten des verarbeitenden Gewerbes lag 2008 bei ca. 2 Prozent, der Materialanteil bei ca. 46 Prozent. Aber diese Werte schwanken von Branche zu Branche und von Unternehmen zu Unternehmen. So können die Energiekosten im Einzelfall auch leicht 10 Prozent vom Umsatz und mehr betragen, oder umgekehrt die Materialkosten deutlich niedriger ausfallen. Davon hängt es ab, ob sich weitere Analyse- und Verbesserungsanstrengungen ökonomisch rentieren.

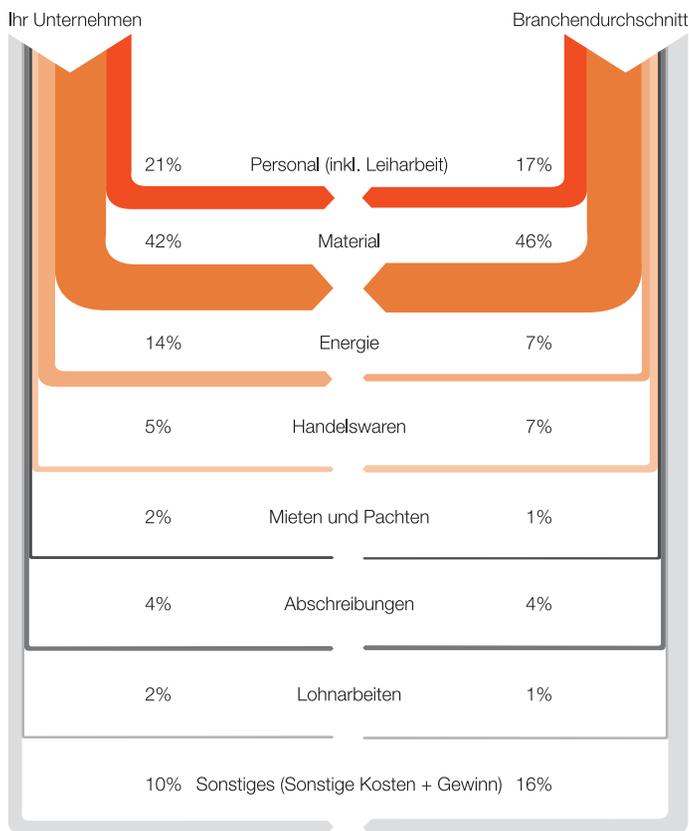
Also sollte man zuerst einmal überprüfen, wie viel für Energie und Material im Unternehmen oder Betrieb ausgegeben wird. Das ist eine Aufgabe für die Einkaufsabteilung, alle relevanten Daten zusammenzustellen, unterschieden nach den verschiedenen **Energieträgern** und ggf. auch nach **Materialgruppen**. Unter Material werden alle Rohstoffe, Hilfs- und Betriebsstoffe, Halbzeuge und Halbfertigwaren usw. verstanden. Man kann den Einkauf auch nach der Branche der Lieferanten sortieren. Damit ergeben sich – wenn man will – sogar Anknüpfungspunkte für die überschlägige Schätzung eines Carbon Footprint.

Die Angaben erfolgen in Euro und z.B. in Prozent vom Umsatz. Was kann davon eingespart werden und rentiert sich der Aufwand für ein Unternehmen? Die Schätzungen dazu sind sehr unterschiedlich. Eine Faustformel sagt, **10-15 Prozent der Materialkosten** können im Durchschnitt eingespart werden. Manche sind bei den Schätzungen vorsichtiger. Die Deutsche Materialeffizienzagentur geht davon aus, dass gut **2 Prozent** vom Umsatz eines kleinen und mittelständischen Unternehmens (KMU) allein durch Materialeffizienz eingespart werden können. Da diese Einsparungen aber direkt **gewinnwirksam** sind, sind die 2 Prozent eine ganze Menge. Um den gleichen Zuwachs an Gewinn zu erzielen, müsste man den Umsatz des Unternehmens oft um die Hälfte erhöhen.

Einen Vergleich der Kostenaufteilung des Unternehmens mit der jeweiligen Branche kann man z.B. im Internet unter [www.umweltechnik.baden-wuerttemberg.de](http://www.umweltechnik.baden-wuerttemberg.de) durchführen (siehe Abb. 3 auf Seite 4). Dabei wird auf aktuelle Vergleichszahlen des Statistischen Bundesamtes zurückgegriffen.

### Abb.3: Einfache Relevanzanalyse – Aufteilung und Vergleich der Unternehmenskosten

Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus



Quelle: Gönner (2010)

### Energie- und Materialbilanz

Was einmal eingekauft wurde, muss das Unternehmen auch wieder verlassen, als Produkt, als Emission oder als Ausschuss bzw. Reststoff. Mit der Energie- und Materialbilanz will man das Augenmerk auf jene Anteile lenken, die bei der Analyse häufig herausfallen – aus welchen Gründen auch immer.

Was ist mit den Reststoffen, die manchmal teuer entsorgt werden müssen? Oder die Emissionen? Wie wird Ausschuss verbucht? Oder die Auflösung von Lagerbeständen? Wo bleibt das ganze Wasser und wo die Energie?

Die Energie- und Materialbilanz hat einen **physischen Mengenfokus**. Das heißt, es wird in Kilogramm für Materialien oder in Kilo-Joule für Energie gemessen. Natürlich können auch abgeleitete Größen verwendet werden, z.B. Tonnen, Kilowattstunden oder Kubikmeter. Aber diese Einheiten sollten eindeutig ineinander überführbar sein. Keinen Sinn macht die Angabe von Gebinden, wie sie im Einkauf üblich sind: Fässer, Paletten, Stück etc.

Denn mit der Energie- und Mengenbilanz will man Input- und Outputmengen vergleichen können, um Inkonsistenzen und Verluste zu entdecken. Dazu bedarf es **einheitlicher Maßsysteme**. Die Bezugsgröße, auf die sich solche Bilanzen und alle Mengenangaben beziehen,

hängen von den Bezugsobjekten ab. Bei einem Unternehmen wird man typischerweise ein Geschäfts- oder Kalenderjahr nehmen, bei einer Anlage eine Betriebsstunde oder einen Tag. Bei einem Produkt bezieht man dagegen alles auf ein Stück oder eine typische Menge. In Unternehmen können auch Lager berücksichtigt werden, z.B. der Lagerbestand zu Beginn und am Ende des Geschäftsjahres.

### Darstellung mit Sankey-Diagrammen

Mengenflussdiagramme wurden vor über 100 Jahren durch den irischen Ingenieur Riall Sankey (1853-1926) in der Technik eingeführt. Auch heute noch dienen sie der übersichtlichen Darstellung von Flussmengen. Das können einfache Darstellungen wie in Abb. 2 sein, die einfach nur die **Proportionen visualisieren**, oder es können die Energie- und Materialflüsse in **komplexen Systemen** sein (siehe Abb.5). Das Sankey-Diagramm hilft, die Übersicht zu wahren, relevante Flüsse zu identifizieren oder die Konsistenz der Input- und Outputströme zu überprüfen.

Sankey-Diagramme können für Energieflüsse, für Materialflüsse oder sogar für Wertströme erstellt werden. Die Einheiten sind dementsprechend in Kilo-Joule (oder in abgeleiteten Größen wie kWh), in Kilogramm oder in Euro. Typischerweise werden aber nur **Flüsse** dargestellt. Schwieriger ist es, wenn man **Materialbestände** im System abbilden will. Aber es gibt Ansätze, auch das zu integrieren.

Für Sankey-Diagramme gibt es heute spezielle Software. Dabei kann unterschieden werden zwischen Software, die Berechnungen durchführt und die Sankey-Diagramme nur als eine Darstellungsform verwendet, und Grafikprogrammen, die nur die Sankey-Diagramme zeichnen. Dann müssen die Zahlen manuell eingegeben werden. Fortgeschrittene Programme haben auch Schnittstellen zu Tabellenkalkulationsprogrammen zur Datenübernahme. Besonders für die **Kommunikation** zur Unternehmensleitung oder nach außen, z.B. für einen Umweltbericht, sind die Sankey-Diagramme beliebt. Sie sind anschaulich und komplexe Sachverhalte kann man damit schnell vermitteln. Eine Übersicht mit vielen Praxisbeispielen findet man auf der Webseite [www.sankey-diagrams.com](http://www.sankey-diagrams.com).

### Materialflusskostenrechnung (MFCA)

Die Abkürzung MFCA stammt aus dem Englischen (Material Flow Cost Accounting), doch die Methode hat deutsche Wurzeln. Sie wurde vor gut 15 Jahren entwickelt, um hauptsächlich für Reststoffe mehr **Kostentransparenz** im Unternehmen zu schaffen. Sie gewinnt nun international an Bedeutung mit dem geplanten ISO-Standard 14051, der sehr stark von Japan betrieben wird. In Japan wurde die Methode massiv gefördert und bereits in über 300 Unternehmen eingesetzt. MFCA ist eine Art spezielle Kostenrechnung. Das herkömmliche betriebliche Rechnungswesen ist zwar in der Lage, über den Wert der

**Abb.4: Mengen- und Kostenerfassung eines Produktionsprozesses oder -bereichs bei MFCA**



Quelle: Wagner, Nakajima u. Prox (2010)

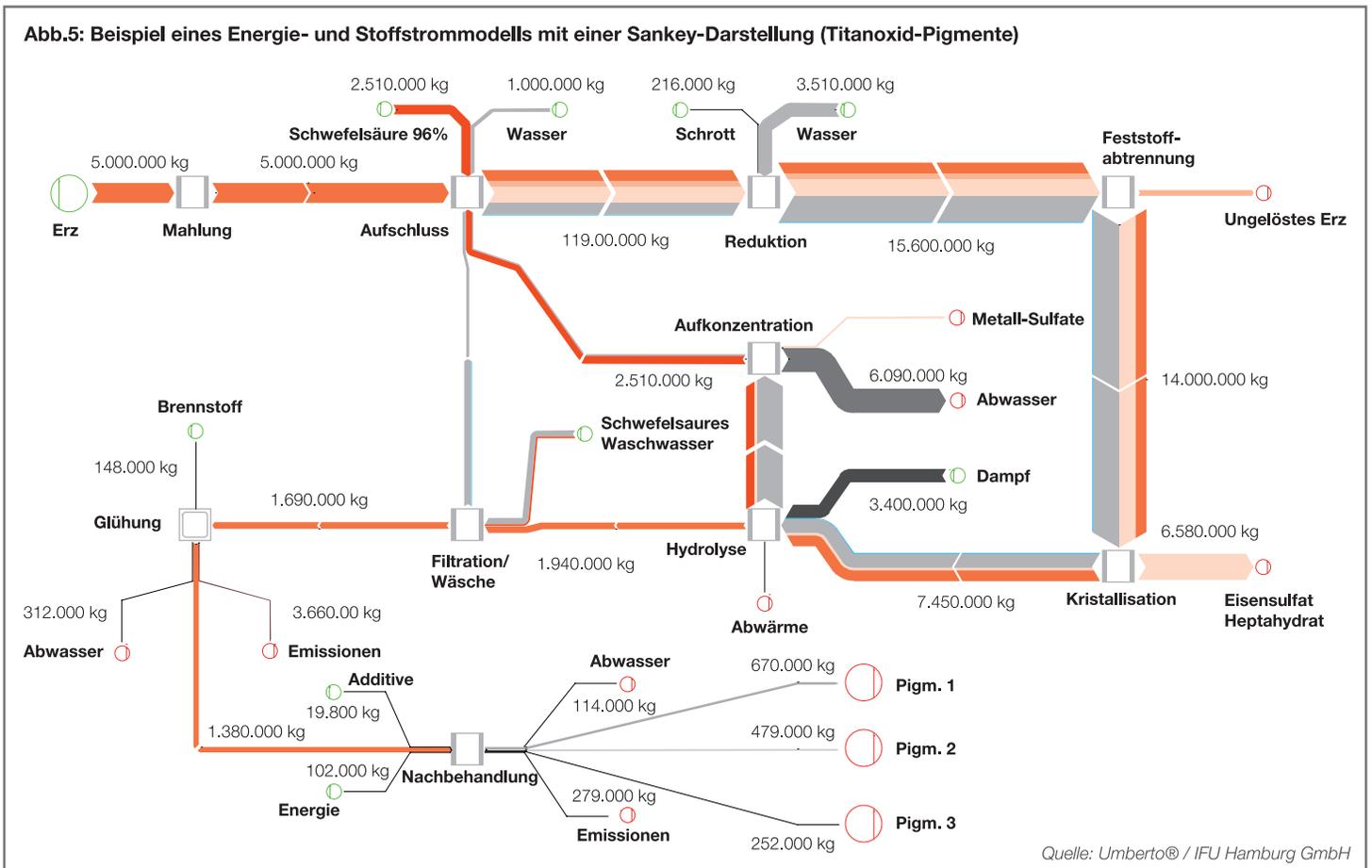
in einer bestimmten Abrechnungsperiode ins Unternehmen eingehenden und verwendeten Materialien zu informieren. Allerdings können über die Verwendung und den Verbleib des Materials oft nur unzureichende Aussagen getroffen werden. Ein Beispiel ist die Kostenzuordnung auf Kostenstellen, die wesentlich für die innerbetriebliche Kostentransparenz ist. Meistens werden die Personalkosten und Abschreibungen den Kostenstellen detailliert zugeordnet. Doch ein großer Teil der Materialkosten, darunter die Materialeinzelkosten, umgeht die Kostenstellen. Damit mangelt es bei den Kostenstellen oft an dem erforderlichen Anreiz, auch für Energie und Materialien die Kosten zu senken.

Genau hier setzt die MFCA an. Die Materialflüsse werden detailliert verfolgt. Für jeden Prozess sind insbesondere die **Materialverluste**

von Bedeutung. Sie werden in Mengenstellen (analog zu den Kostenstellen) erfasst. Die sonstigen Kosten im Unternehmen, einschließlich der Kosten für Personal, werden sowohl auf das Produkt als auch auf die Reststoffe verteilt. Damit kann dargestellt werden, wie hoch die **Wertschöpfungsverluste** im Unternehmen durch das Entstehen von Reststoffen sind (siehe Abb.4, in der ein Verhältnis von 4:1 zwischen Produkt und Materialverlust unterstellt ist).

Die Methode ist besonders hilfreich, um die „hidden costs“ von Reststoffen zu ermitteln. Die Ergebnisse sind dabei oft erstaunlich und liegen um ein Vielfaches höher, als man ursprünglich an Kosten ausgewiesen hat. Dadurch werden technische oder qualitätssichernde Maßnahmen zur Vermeidung der Reststoffe plötzlich rentabel, deren Amortisationszeiten bislang zu hoch waren.

**Abb.5: Beispiel eines Energie- und Stoffstrommodells mit einer Sankey-Darstellung (Titanoxid-Pigmente)**



Quelle: Umberto® / IFU Hamburg GmbH

## Energie- und Stoffstrommodellierung (ESSM)

Einen Schritt weiter geht die Energie- und Stoffstrommodellierung (ESSM). Während MFCA eine Art Spezialauswertung der Informationen aus dem betrieblichen Rechnungswesen darstellt, versucht man beim ESSM auch die **technischen Prozesse** abzubilden. Es wird so ein Bild der innerbetrieblichen Energie- und Materialflüsse gezeichnet, das auch **Kausalitäten** berücksichtigt und Grundlage für die spätere **Optimierung** darstellt. Jeder Prozess wird als ein Input-/Output-System verstanden, der mit anderen verknüpft ist. Ein solches Input-/Outputsystem kann unterschiedlich komplex dargestellt werden, z.B. über einfache Stücklisten, Rezepturen oder technische Beschreibungen des Prozesses.

Mit diesen detaillierten **Modellen** können diverse Analysen durchgeführt werden. Typischerweise werden dazu Software-Tools verwendet, die verschiedene Möglichkeiten zulassen. Ein Ansatz ist z.B. eine Art materielle **Leistungsverrechnung**, d.h. die Energie- und Materialflüsse im Unternehmen werden auf die einzelnen Produkte (als eine Art materielle Kostenträgerrechnung) zugerechnet. Das Mengengerüst eignet sich aber auch für eine materialbasierte Kosten- und Leistungsrechnung, bei der neben den Energie- und Materialkosten auch die sonstigen Kosten im Unternehmen berücksichtigt und – wie im MFCA angedacht – den **Verursachern** explizit zugerechnet werden.

ESSM hat den großen Vorteil, dass auch **komplexe Zusammenhänge** dargestellt und analysiert werden können. Ein Problem bei der MFCA ist z.B. die **interne Kreislaufführung** von Material, die im Falle von Roh- und Hilfsstoffen oft eine Suboptimalität darstellt. Mit entsprechenden Modellen können solche Ineffizienzen analysiert und die materiellen und ökonomischen Einsparpotenziale des Gesamtsystems szenarienhaft ausgewiesen werden.

ESSM bietet häufig noch den weiteren Vorteil, dass eine Anknüpfung an **ökologische Auswertungen** möglich ist. Die Energie- und Materialströme, die über das Unternehmen hinausgehen, also in der Vorkette und in der nachgeschalteten Nutzungs- und Entsorgungsphase, können mit Standarddaten aus **Datenbanken** verknüpft werden. Damit besteht der Übergang zum Life Cycle Assessment oder zum Carbon Footprinting.

## Material Stream Mapping

Viele Fragestellungen im Bereich der Ressourceneffizienz klingen ähnlich wie jene aus dem Bereich der **Lean Production**. Während bei Lean Production hauptsächlich auf die Verschwendung von Zeit und die effiziente Gestaltung von Abläufen geachtet wird, stehen bei der Ressourceneffizienz die Energie- und Materialmengen im Vordergrund. Aber es gibt viele Berührungspunkte, z.B. beim Ausschuss von Produkten. Eine **Nullfehlerstrategie** ist nicht nur „lean“, sondern natürlich auch ressourceneffizient.

Deshalb kann man typische Methoden aus der Lean Production auch auf das Ressourcenthema übertragen. Ein prominentes Beispiel ist die Wertstromanalyse (Value Stream Mapping), die eine wichtige Lean-Analysemethode darstellt (Zur Methodik siehe das RKW-Faktenblatt Wertstromdesign). Sie wurde inzwischen auch auf den Ressourcenbereich übertragen und nennt sich Material Stream Mapping. Die Methode eignet sich, um zusätzlich zu den vorhandenen Datensystemen eine möglichst realistische **Ist-Analyse** der Energie- und Materialflüsse eines Produktionsstrangs zu erstellen. Mit einer Begehung vom Materialeingang bis zum Produkt- (oder Reststoff) Ausgang werden die wichtigsten Energie- und Materialflüsse vor Ort erhoben. Daraus entsteht ein Mengengerüst, das um Daten und vor allem um Kosten und Preise ergänzt wird. Neben einem Materialflussbild in Tonnen entsteht so auch ein Wertschöpfungsbild in Euro. Dieses dient der Analyse, an welchen Stellen große Wertvernichtungen auftreten (können).

Die Methode wird inzwischen von Industrie- und Handelskammern eingesetzt. Kontakt ist das Material- und Energieeffizienz-Netzwerk Südlicher Oberrhein MESOR: [www.mesor.de](http://www.mesor.de)

## Pinch-Methode

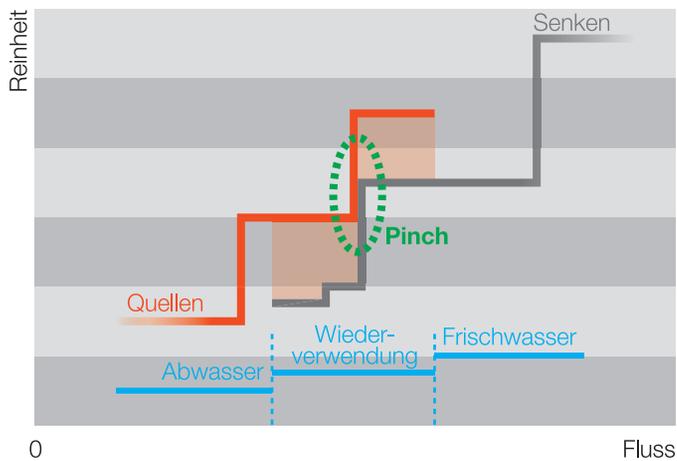
Die Erfassung der Energie- und Materialströme sagt oft noch nichts darüber aus, wie weit man von einer effizienten Produktion entfernt ist. Damit verbunden ist die Frage, **wo, wie viel** und vor allem **wie** Energie und Material eingespart werden können. Dies ist die Aufgabe des nächsten Schritts, nämlich der **Optimierung**, die entweder auf dem Expertenwissen der Ingenieure basiert, in wenigen Fällen aber auch algorithmisch durchgeführt werden kann.

Die Pinch-Methode wurde vor knapp 30 Jahren für die chemische Industrie entwickelt und wird dort überwiegend in großen Unternehmen eingesetzt. Sie ist eine Art thermodynamische Analyse der Energieströme. Sowohl die Quellen als auch die Senken werden mit ihren Wärmemengen und Energiequalitäten (gemessen an der Temperatur) erfasst. Damit wird deutlich, wo bereits eine Wärmerückgewinnung stattfindet und wo keine stattfindet, obwohl sie möglich wäre.

Somit kann thermodynamisch das Potenzial für mögliche **Wärmerückgewinnungsmaßnahmen** ermittelt werden. Es gibt Heuristiken, mit denen man weiterhin Wärmetauscher im System einplanen kann, um dieses Potenzial zu heben. In der Chemietechnik ist dazu auch entsprechende Spezial-Software verfügbar.

Die Pinchmethode kann auch auf Materialien angewendet werden, z.B. auf den **Wasserverbrauch**. Hier spielt als wesentliche Eigenschaft die Reinheit oder der Verschmutzungsgrad des Wassers eine Rolle. D.h. die Frage ist hier, wo wie viel Wasser welcher Güte entsteht bzw. gebraucht wird und wie Wasser, ggf. auch in Qualitätskaskaden, weiter verwendet werden kann (siehe Abb. 6).

**Abb.6: Pinchmethode mit Composite-Kurven am Beispiel des Wassereinsatzes**



Quelle: Landesanstalt für Umweltschutz (2004)

### Life Cycle Assessment (LCA)

Im Deutschen wird LCA offiziell mit **Ökobilanz** übersetzt. Gemeint ist damit eine Energie- und Material- oder Stoffbilanz, die für ein Produkt oder eine Dienstleistung erstellt wird und weiterhin einer ökologischen Bewertung unterzogen wird. Ökonomische Analysen werden damit eher nicht durchgeführt.

Wesentlich sind hier zwei Punkte:

- Eine Ökobilanz bilanziert über den **gesamten Lebensweg** eines Produktes, also von der Rohstoffgewinnung über die Herstellung und Nutzung bis zur Entsorgung und Verwertung. Durch diesen „Von-der-Wiege-bis-zur-Bahre“-Ansatz können Verlagerungseffekte zwischen den verschiedenen Lebensphasen eines Produktes vermieden werden.
- Eine Ökobilanz erfasst verschiedene **ökologische Wirkungskategorien**, darunter z.B. den Treibhauseffekt, den Abbau des stratosphärischen Ozons, den Sommersmog, die Versauerung, weitere ökotoxische Wirkungen usw. Damit soll ein umfassendes Bild über die Umweltwirkungen eines Produktes gezeichnet werden. Verlagerungseffekte, z.B. von der Klimawirksamkeit hin zu einem Abwasserproblem, sollen so deutlich werden.

Ökobilanzen sind ein wichtiges Hilfsmittel, um Handlungsalternativen, z.B. bei der **Produktentwicklung** oder der Einführung technischer Verfahren, ökologisch bewerten zu können. Insbesondere können damit auch jene Effekte erfasst werden, die außerhalb des eigenen Unternehmens liegen.

Allerdings sind Ökobilanzen sehr aufwendig. International sind Ökobilanzen durch die ISO-Normen 14040 und 14044 standardisiert. Sollen Produkte direkt miteinander verglichen und die Ergebnisse nach außen kommuniziert werden, so bestehen hohe Anforderungen, was die Validierung der Analyse angeht.

### Carbon Footprint (CF)

Was im Englischen als Fußabdruck bezeichnet wird, könnte im Deutschen besser **Klimarucksack** genannt werden: Welche Treibhausgasemissionen sind mit Herstellung, Nutzung und Entsorgung eines Produktes insgesamt verbunden? Auch hier spielt der **Lebensweg** des Produktes eine entscheidende Rolle. Man könnte den CF deshalb als den kleinen Bruder der LCA bezeichnen. Im Gegensatz zu einer LCA wird ein Produkt aber nicht umfassend ökologisch bewertet, sondern nur anhand der Treibhausgasemissionen. Das führt zu einer beschränkten Aussagekraft hinsichtlich der gesamtökologischen Beurteilung. Positiv ist allerdings, dass ein CF – im Gegensatz zu einer LCA – für ein Produkt eine einzige Zahl liefern kann. Diese könnte auf einfache Weise für **Produktlabel** genutzt werden.

In Großbritannien gab es einen Vorschlag (PAS 2050), wie man einen CF methodisch erstellen kann. Inzwischen ist eine **ISO-Norm** in Arbeit, die sich sehr stark an der bewährten LCA-Methodik orientiert (ISO 14067).

Ökonomische Analysen sind mit CF eher unwahrscheinlich. Allerdings gibt es Überlegungen, dass der CF auch ein Indikator für die Abhängigkeit des Produktes von fossilen Energieträgern ist und insofern auch das Risiko für die **Preisvolatilität** mit beinhaltet, wenn man steigende oder schwankende Preise für fossile Rohstoffe in der Zukunft unterstellt.

Sowohl CF als auch LCA können mit Software-Tools erstellt werden, die auch in der Energie- und Stoffstrommodellierung eingesetzt werden. Darüber hinaus gibt es auch Spezialsoftware. Wichtig ist hierbei der Zugriff auf **Datenbanken**, in denen generische Prozessdatensätze verfügbar gemacht werden. Sehr groß und renommiert ist die nicht-kommerzielle Datenbank ECOINVENT aus der Schweiz ([www.ecoinvent.ch](http://www.ecoinvent.ch)).

### Corporate Carbon Accounting

Während sich der Carbon Footprint nach PAS 2050 oder nach der geplanten ISO 14067 auf Produkte und Dienstleistungen bezieht, gibt es auch Bedarf für eine **Klimabilanz von Unternehmen**. Das Hauptproblem ist hierbei, wie man jene Treibhausgasemissionen einbeziehen kann, die außerhalb des Unternehmens in der **Vorkette**, d.h. bei Lieferanten und Vorlieferanten, anfallen. Denn die Bilanz der direkten Unternehmensemissionen („Scope-1“-Emissionen) ist wenig aussagekräftig, da emittierende Tätigkeiten beliebig außerhalb des Unternehmens verlagert werden können und damit die Bilanz verfälschen würden. Die Bilanzierung dieser sogenannten **Scope-3-Emissionen** ist aufwendig und auch methodisch eine gewisse Herausforderung. Aktuell ist dazu ein Leitfaden vom World Resources Institute (WRI) und dem World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) in Vorbereitung.

## Links für weitere Informationen

- [www.ecoinvent.ch](http://www.ecoinvent.ch)  
Datenbank aus der Schweiz mit Prozessdaten für LCA
- [www.sankey-diagrams.com](http://www.sankey-diagrams.com)  
Ein Portal mit vielen Beispielen zu Sankey-Diagrammen
- [www.mesor.de](http://www.mesor.de)  
Netzwerk Energie- und Materialeffizienz Südlicher Oberrhein mit Hinweisen zum Material Stream Mapping
- [www.demea.de](http://www.demea.de) Deutsche Materialeffizienzagentur in Berlin.  
Koordiniert Förderprogramme für KMU und stellt Preisträger vor.
- [www.vdi-zre.de](http://www.vdi-zre.de)  
Zentrum Ressourcen Effizienz und Klimaschutz des Vereins Deutscher Ingenieure.
- [www.efanrw.de](http://www.efanrw.de)  
Effizienzagentur des Landes Nordrhein-Westfalen mit vielen Tipps, Fallbeispielen und Methoden.
- [www.umwelttechnik.baden-wuerttemberg.de](http://www.umwelttechnik.baden-wuerttemberg.de)  
Informationsportal zur Ressourceneffizienz und zum Umwelttechnikpreis des Landes.
- [www.rkw-kompetenzzentrum.de/publikationen](http://www.rkw-kompetenzzentrum.de/publikationen)  
Aktuelle Publikationen zum Thema Innovationsmanagement, Material- und Energieeffizienz und Effizienz in der Produktion

## Literatur

- BSI British Standards Institution (2008):  
Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. PAS 2050. London.
- Gönner, T. (2010): Umwelttechnologie und Ressourceneffizienz in Baden-Württemberg. Umweltwirtschaftsforum Vol. 18, 181-187.
- IMU (Hrsg.) (2003): Flussmanagement für Produktionsunternehmen. Material- und Informationsflüsse nachhaltig gestalten. Augsburg. Download über: [http://www.imuaugsburg.de/themen/Flussmanagement/aktuelles/news/eco\\_leitfaden\\_en/aktuelles/case/eeLeitfaden.pdf](http://www.imuaugsburg.de/themen/Flussmanagement/aktuelles/news/eco_leitfaden_en/aktuelles/case/eeLeitfaden.pdf)
- ISO 14040 (2006): Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen. Beuth-Verlag: Berlin.
- ISO 14044 (2006): Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen. Beuth-Verlag: Berlin.
- ISO 14051 (2010):  
Environmental management – Material flow cost accounting – General framework. Draft International Standard. DIN: Berlin.
- ISO 14067 (2010): Carbon footprint of products – Part 1: Quantification. Committee Draft. ISO: Genf.
- Jetter, U. (1977): Anleitung zum Erstellen von Material- und Energiebilanzen im Produktionsbetrieb. RWK: Frankfurt.

- Jetter, U. (1982): Material- und Energiebilanzen als Methode des Betriebsvergleichs. RWK: Frankfurt.
- Kleemann, G., Paul, W. (2010): Energy Saving by Optimal Energy Recovery in Chemical Process Technology. Chemical Engineering & Technology Vol. 33, No. 4, 603-609.
- Klöpffer, W., Grahl, B. (2009): Ökobilanz (LCA). Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf. Wiley-VCH: Weinheim
- LfU Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (2003): Mit der Pinch-Technologie Prozesse und Anlagen optimieren. Eine Methode des betrieblichen Energie- und Stoffstrommanagements. Industrie und Gewerbe 11. Karlsruhe.
- LfU Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (2003): Energie- und Stoffstrommanagement. Ein positives Fazit für die Unternehmen und für die Umwelt. Industrie und Gewerbe 10. Karlsruhe.
- Möller, A. (2000): Grundlagen stoffstrombasierter Betrieblicher Umwelthinformationssysteme. Projekt-Verlag: Bochum.
- Reif, W. (2010): Ressourceneffizienz und die mögliche Rolle einer Industrie- und Handelskammer anhand des MESOR-Netzwerkes, Umweltwirtschaftsforum Vol. 18, 229-236.
- Schmidt, M., Schorb, A. (1995): Stoffstromanalysen in Ökobilanzen und Öko-Audits. Springer: Heidelberg / Berlin.
- Schmidt, M. (2010):  
Approaches towards the Efficient Use of Resources in the Industry. Chemical Engineering & Technology Vol. 33, No. 4, 552-558.
- Schnitzer, H. (1991): Grundlagen der Stoff- und Energiebilanzierung. Vieweg: Braunschweig.
- Viere, T., Möller, A., Schmidt, M. (2010):  
Methodische Behandlung interner Materialkreisläufe in der Materialflusskostenrechnung, Umweltwirtschaftsforum Vol. 18, 203-208.
- Wagner, B., Nakajima, M., Prox, M. (2010):  
Materialflusskostenrechnung – die internationale Karriere einer Methode zur Identifikation von Ineffizienzen in Produktionssystemen. Umweltwirtschaftsforum Vol. 18, 197-202.
- WRI/WBCSD (2010): The Greenhouse Gas Protocol Initiative. Corporate Value Chain (Scope 3). Accounting and Reporting Standard. Draft November 2010. WBCSD: Genf.

## Übrigens...

Das RWK hat sich schon in der Vergangenheit immer wieder mit diesem Thema befasst. Der sparsame Energie- und Materialeinsatz war z.B. wichtig in der Rationalisierungsbewegung in den 20er Jahren. Im Jahr 1977 erschien von Dr.-Ing. Ulrich Jetter die „Anleitung zum Erstellen von Material- und Energiebilanzen in Produktionsbetrieben“, was er damals noch als Ökobilanz bezeichnete.

## Impressum

### Herausgeber:

RKW Rationalisierungs- und Innovationszentrum der Deutschen Wirtschaft e.V.  
Kompetenzzentrum  
Düsseldorfer Straße 40, 65760 Eschborn

**Autor:** Prof. Dr. Mario Schmidt, Hochschule Pforzheim

**Redaktion / Layout:** Laura Schade / Christopher Dürr

**Verantwortlich:** Dr. Andreas Blaeser-Benfer / Dr. Ingrid Voigt

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages