

Themenbereich A: Grundlagen  
Themenblock 1: Ausgewählte Umweltwirkungsbereiche

# A1.4

## **SCHADSTOFFFREISETZUNG**

Ökopol – Institut für Ökologie und Politik GmbH

Autorinnen und Autoren:

Dirk Jepsen (Ökopol), Evelyn Schönheit (FÖP), Susanne Volz (Ökopol),  
Dr. Olaf Wirth (Ökopol) und Till Zimmermann (Ökopol)

# SCHADSTOFFFREISETZUNG

## Inhalt

- 1 Einleitung
- 2 Grundlagen zu Begriffen und möglichen Wirkungen
- 3 Schadstoffe in der Sachbilanz
- 4 Toxizitätsbezogene Wirkungskategorien
- 5 Relevanz für das Ökodesign von Produkten

## 1 EINLEITUNG

Schadstoffe werden üblicherweise nicht auf der Ebene von ganzen Produkten, sondern auf der Ebene von einzelnen Stoffen bewertet.

Wenn die Schadstoffe in Produkten bewertet werden, kann eine Betrachtung anhand der Zusammensetzung (s. Themenpapier B1.5 Problemstoffarmut) vorgenommen werden. Werden schädliche Stoffe in der Rezeptur verwendet? Diese Untersuchung kann sich auf einzelne Stoffe oder ganze Stoffgruppen beziehen (z. B. Dioxine oder PAKs).

Eine weitere Möglichkeit, Schadstoffe in Produkten zu betrachten, ist anhand einer Lebenswegbetrachtung des Produktes durch eine Ökobilanz (s. Themenpapier B2.1 Die Ökobilanz).

In der Praxis der Ökobilanzierung werden Aspekte der Risiken durch den Gehalt gefährlicher Stoffe in Produkten derzeit vielfach nur in stark reduzierter Form umgesetzt. So setzt sich die Sachbilanz (s. Themenpapier B2.1 Die Ökobilanz und dort Kapitel 2.4 Sachbilanz) in der Regel lediglich aus Emissionen von Schadstoffen aus den Prozessen der Energiegewinnung und des Transportes zusammen, während die verwendeten Chemikalien oft nicht aufgeführt werden. Hierdurch fehlt einer detaillierten Berücksichtigung von Chemikalien in Ökobilanzen bereits die notwendige Grundlage.

In Ökobilanzen für Produkte sollte jedoch auch die Wirkung von freiwerdenden Schadstoffen<sup>1</sup>, die zur Herstellung des Produktes entweder als Prozesshilfsmittel oder als Chemikalie, die in dem Produkt verbleibt, auf Mensch und Umwelt berücksichtigt werden. Hierfür ist die Freisetzung (Emission) der Schadstoffe aus den jeweiligen Herstellungs-, Transport-, Nutzungs- und Entsorgungsprozessen zu bestimmen und in der Wirkungsabschätzung zu bewerten.

Dieser Aspekt der Bewertung von Schadstofffreisetzungen entlang des Lebensweges mit dem Werkzeug der Ökobilanzierung wird hier diskutiert. Dieses Vorgehen ist mit einer Reihe grundlegender Herausforderungen verbunden, die einerseits der Komplexität chemischer Strukturen und Wirkungen und andererseits dem Mangel an Primärdaten geschuldet ist.

Die daraus resultierenden Möglichkeiten und Grenzen der Schadstoffbewertung mit Hilfe der Ökobilanz-Instrumente wird im Weiteren dargestellt.

<sup>1</sup> Unter Schadstoffen werden in diesem Kapitel alle Stoffe verstanden, die chemikalienrechtlich als gefährlich für Mensch und Umwelt eingestuft werden, die also eine schädliche Wirkung auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt haben können. Stoffe, die gefährliche physikalisch-chemische Eigenschaften haben, werden hierunter nicht verstanden.

# A1.4

## 2 GRUNDLAGEN ZU BEGRIFFEN UND MÖGLICHEN WIRKUNGEN

Der Begriff „Schadstoffe“ ist weder gesetzlich definiert noch wird er für die Ökobilanzierung eindeutig festgelegt. Im Allgemeinen werden unter Schadstoffen alle Stoffe verstanden, die eine schädliche Wirkung auf die menschliche Gesundheit oder die Umwelt im weiteren Sinne haben können.

Im Gegensatz dazu wird im Kontext des Chemikalienrechts von „gefährlichen Stoffen“ gesprochen, wenn sie bestimmte Eigenschaften haben, die sich entweder auf ihre Reaktionsfähigkeit beziehen (z. B. Explosivität oder Entflammbarkeit) oder die Gesundheit von Menschen oder die Umwelt durch (öko-)toxische Wirkungen schädigen können.

In diesem Themenpapier wird die Terminologie der Ökobilanz genutzt und die chemikalienrechtlich wegen ihrer umwelt- und/oder gesundheitsschädigenden Eigenschaften als „gefährliche Stoffe“ eingestuft Chemikalien als Schadstoffe bezeichnet, obwohl hierdurch eine Unschärfe in Bezug auf die adressierten Stoffe entsteht.

Schadstoffe können beim Menschen verschiedene Effekte hervorrufen. Im Chemikalienrecht werden die möglichen Gesundheitsschäden systematisch zusammengefasst und gruppiert. Beispiele sind Krebserkrankungen, akute Vergiftungen oder Hautreizungen. Die Mechanismen, wie Schadstoffe Effekte auslösen, können unterschiedlich sein und sind durch die Struktur und Reaktivität der Verbindungen bedingt. Auch die Art und Intensität von Wirkungen unterscheiden sich je nach individueller Konstitution und Disposition, aber auch nach Entwicklungsstufe und schlichter Körpergröße eines Menschen (Fötus, Kind, Erwachsener).

Die Ermittlung der Wirkungen von Schadstoffen auf die Umwelt ist etwas anders gelagert. Hier sind insbesondere diejenigen Schäden von Relevanz, die die dauerhafte Funktionsfähigkeit von Ökosystemen schädigen. Kurzfristige Schäden, z. B. die „Vergiftung“ eines Flusses mit einem Schadstoff nach einem Unfall, können durch die Selbstreinigungskraft der Umwelt sowie die Mobilität und Regenerationsfähigkeit von Organismengesellschaften vielfach relativ schnell wieder ausgeglichen werden. Deutlich problematischer sind kontinuierliche Einträge von schädlichen Stoffen, insbesondere wenn es sich um Stoffe handelt, die in der Umwelt nicht oder nur schwer abgebaut werden und die sich in Organismen anreichern können. Hierdurch werden strukturelle Veränderungen in der Umwelt bzw. den Organismen hervorgerufen, die das Ökosystem auf die Dauer instabiler machen.

## A1.4

# 3 SCHADSTOFFE IN DER SACHBI- LANZ

Grundlage und Eingangsinformationen für die Wirkungsabschätzung im Rahmen einer Ökobilanz ist immer die Sachbilanz (s. Themenpapier B2.1 Die Ökobilanz und dort Kapitel 2.4 Sachbilanz). Diese muss für die Betrachtung von Schadstoffwirkungen auch Daten über die Art und die Mengen der aus den verschiedenen Prozessstufen emittierten Schadstoffe enthalten.

In der Praxis sind derartige quantifizierte Informationen zur Schadstofffreisetzung für die Vielzahl der realen (Herstellungs-, Transport-, Nutzungs- und Entsorgungs-) Prozesse allerdings nur sehr selten verfügbar. Dies gilt sowohl bei Bestrebungen, spezifische Informationen für die Prozesse einer ganz konkreten Prozesskette direkt zu erheben, als auch für den Rückgriff auf Standardwerte der in LCA-Datenbanken (s. Themenpapier B2.4 Datenbanken) hinterlegten Bilanzwerte für „Standardprozesse“.

Der Grund für diese Schwierigkeit liegt schlicht darin begründet, dass Daten zur Freisetzung einzelner Schadstoffe in der (betrieblichen) Praxis nur sehr selten erhoben werden.

Die entsprechenden Messungen erfolgen eigentlich nur dann, wenn sie z. B. zum Nachweis der Einhaltung rechtlicher Anforderungen an die Emissionen notwendig sind. Solche rechtlichen Anforderungen (z. B. nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz) beziehen sich jedoch in der Regel auf Summenparameter, also Gruppen von Stoffen, die eine strukturelle, aber nicht notwendigerweise auch eine (öko-)toxikologische Ähnlichkeit haben. Beispiele für solche Summenparameter sind Stickoxide (NO<sub>x</sub>) oder halogenierte organische Verbindungen (AOX). Diese im Immissionsschutzrecht und auch Wasserrecht geregelten Stoffgruppen und Einzelstoffe sind bezüglich ihrer schädlichen Wirkungen auf Mensch und Gesundheit durchaus relevant.

Aus den meisten Prozessen und Produkten werden aber weitaus mehr Schadstoffe emittiert, die für die Bewertung der Human- und Ökotoxizität (Wirkungskategorien in der Ökobilanz) von deutlich höherer Bedeutung sind. Da für diese Stoffe keine spezifischen Mess- oder Kontrollpflichten bestehen, fehlen entsprechende Daten.

Im Ergebnis führen die skizzierten Mechanismen dazu, dass bereits für die Erstellung der Sachbilanz in den meisten Fällen eine nur sehr unzureichende Informationsverfügbarkeit besteht. Faktisch fehlen für die meisten spezifischen Prozesse quantifizierte Informationen über

- Art und Einsatz- oder Anwendungsmengen von Chemikalien, also z. B. zu Pestiziden und Düngemitteln, Prozesshilfsmitteln, Reinigungsmitteln, Additiven oder Flammhemmern (Input);
- Emissionsmengen von Schadstoffen in die Luft, das Abwasser, den Boden und / oder das Grundwasser (Output).

Daraus folgt, dass in der Sachbilanz vielfach nur die Schadstoffemissionen aus Transportprozessen und Prozessen der Energiegewinnung zusammengestellt werden (können). Hingegen fehlen in der Regel die Emissionen der Schadstoffe (gefährliche Stoffe), die im Prozess und/oder Produkt eingesetzt bzw. im Prozess oder Produkt entstehen können. Für diese überall gebräuchlichen Standardprozesse sind in den verfügbaren LCA-Datenbanken entsprechende Durchschnittswerte hinterlegt.

Das Verständnis dieser als geradezu systematisch zu bezeichnenden Lückenhaftigkeit der meisten Ökobilanzierungen für den Bereich der Schadstofffreisetzungen ist von Bedeutung, um Fehlinterpretationen zu vermeiden. Denn gerade da ja sowohl in den Ergebnissen „eigener“ Bilanzierungen mit gebräuchlichen ökobilanzierenden Instrumenten als auch in publizierten ökobilanzierenden Betrachtungen häufig Werte für den Parameter „Schadstofffreisetzung“ oder „Toxizität“ ausweisen werden, wird von Nicht-Fachleuten leicht angenommen, dass hier ein substantielle Analyse erfolgt ist. Dass dabei die ausgewiesenen Ergebniswerte wie bereits skizziert meist nur auf einigen wenigen Sachbilanzwerten für Standardprozesse basieren, die die spezifische Situation der Schadstofffreisetzung in keiner Weise sachgerecht abbilden (können), ist auf den ersten Blick nur schwer erkennbar.

Den beschriebenen Datenmangel im Rahmen eigener Bilanzierung zu beheben ist nicht einfach. Aussagekräftige Schadstoffmessungen sind recht aufwändig und Emissionsabschätzungen erfordern sowohl Kenntnis über das jeweils eingesetzten Schadstoffinventar (Input-Werte) als auch das Emissionsverhalten unter den jeweiligen Prozessbedingungen.

# A1.4

## 4 TOXIZITÄTSBEZOGENE WIRKUNGSKATEGORIEN

Soweit die Emissionsinformationen verfügbar sind, können Schadstoffemissionen in den beiden Wirkungskategorien „Humantoxizität“ und „Ökotoxizität“ bewertet werden. Zum Vergleich bzw. zu ihrer Quantifizierung müssen die Wirkungen der unterschiedlichen freigesetzten Schadstoffe normiert und aggregiert werden.

Für die Quantifizierung der Wirkungen sind verschiedene Verfahren entwickelt worden. Vergleichsweise einfache Herangehensweisen normieren die (Öko-) Toxizität indem sie die Emissionsmengen der verschiedenen Schadstoffe durch ihre jeweilige (Öko-) Toxizität dividieren. Die Summe aller so ermittelten Werte bildet dann das Toxizitätspotenzial ab.

Die (Öko-) Toxizität selbst wiederum lässt sich durch unterschiedliche Kennzahlen ausdrücken. Eine ist beispielsweise die Stoffmenge oder -konzentration, bei der 50 % der Versuchstiere verenden (Letale Dosis oder Konzentration LD50 oder LC50). Eine kleine Zahl bedeutet also, dass es sich um einen besonders giftigen Stoff handelt (denn bereits bei einer geringen Stoffmenge verenden 50 % der Tiere) und eine große Zahl zeigt einen weniger giftigen Stoff an.

Andere Ansätze beziehen die Toxizitäten der Schadstoffe jeweils auf eine Referenzsubstanz und berechnen sog. Toxizitätsäquivalente, mit denen sie die Emissionsmengen gewichten.

Diese Verfahren führen grundsätzlich zu einem quantifizierten Ergebnis (ein (Öko-) Toxizitätspotenzial<sup>2</sup>). Sie benötigen aber entsprechende Daten über die Ergebnisse der Versuche zur Bestimmung der Toxizität, die vielfach nicht bzw. nicht aus konsistenten Quellen verfügbar sind. Dies kann zu Verzerrungen der Ergebnisse führen. Die Ansätze sind zudem eher als „überschlägig“ zu bezeichnen, da keine Unterschiede bzgl. der möglichen Wirkungen (unterschiedliche Arten von Umwelt- und Gesundheitsschäden werden zusammengefasst) gemacht werden.

Ein weiteres grundsätzliches Problem bei diesen Ansätzen ist, dass die tatsächliche Exposition von Mensch und/oder Umwelt gegenüber den Chemikalien nicht berücksichtigt wird. Da die emittierten Schadstoffe a) sich in der Umwelt verteilen und verdünnen und b) abgebaut werden können, kann sich die Menge eines Schadstoffes, mit der Mensch und/oder Umwelt tatsächlich in Kontakt kommen, signifikant von der emittierten Menge unterscheiden. Wird dies nicht berücksichtigt, kann es sein, dass Schadstoffe mit einer hohen Toxizität eine Wirkungsabschätzung dominieren, obwohl sie in der Realität (z. B. durch einen raschen Abbau in der Umwelt) keine Gefährdung darstellen.

In den letzten Jahren haben sich verschiedene Experten zusammengetan, um die Schwierigkeiten bei der Wirkungsabschätzung bezüglich der Humantoxizität und der Ökotoxizität zu lösen. Ein vielversprechender Ansatz ist das Instrument USEtox<sup>3</sup>, mit dem eine Wirkungsabschätzung durchgeführt werden kann. Aufgrund seiner weiten Akzeptanz kann es ein erster Schritt zu einer vereinheitlichten Bewertung sein. Das Modell erfordert (leider)

eine relativ detaillierte und umfangreiche Dateneingabe und berechnet dann Faktoren zur Gewichtung von Schadstoffemissionen. Es unterscheidet zwischen verschiedenen Effekten und ermittelt Faktoren für die Humantoxizität sowie die Umwelttoxizität. Für die sachgerechte Interpretation dieser Ergebnisse ist allerdings wiederum vergleichsweise viel Fachexpertise erforderlich.

<sup>2</sup> Der Begriff Potenzial wird in diesem Zusammenhang verwendet, da die Toxizität nur dann zum Tragen kommt, wenn der Stoff auch tatsächlich mit Mensch und Umwelt in Berührung kommt (Exposition). Die Toxizität eines Stoffes ist insofern nicht aussagekräftig in Bezug auf die tatsächlich zu erwartenden Schädigungen.

<sup>3</sup> <http://www.usetox.org/>



## A1.4

# 5 RELEVANZ FÜR DAS ÖKODESIGN VON PRODUKTEN

In vielen Ökobilanzen werden die Wirkungskategorien Human- und Ökotoxizität „ausgelassen“ oder können, aufgrund der oben beschriebenen Schwierigkeiten, nur unvollständig bearbeitet werden. Das Ergebnis dieser Bewertungen sagt damit in der Regel wenig über Optimierungspotenziale des Produktes oder seines Herstellungsprozesses aus.<sup>4</sup>

Für ein wirkliches ökologisches Produktdesign sollte der Frage möglicher Risiken durch Schadstoffe / gefährliche Stoffe allerdings eine hohe Bedeutung beigemessen werden. Die Abwesenheit von Schadstoffen / gefährlichen Stoffen ist ein wesentliches Qualitätsmerkmal von Produkten, durch das relevante Umwelt- und Gesundheitsschäden ausgeschlossen werden können.

Praktische Hinweise, wie das Thema „gefährliche Stoffe“ im Ökodesign abseits der Ökobilanzierung bearbeitet werden kann und wie aus einer gestuften Betrachtung „gefährlicher Stoffe“ gezielt Optimierungshinweise für das Produktdesign bzw. die Materialauswahl abgeleitet werden können, finden sich im Themenblock C2 Illustrative Praxisbeispiele im Themenpapier C2.5 Problemstoffarm.

<sup>4</sup> Dies ist bei Ökobilanzen, die chemische Produkte betreffen, anders. In Bilanzierungen z.B. von Pharmazeutika sind entsprechende Daten eher vorhanden und wird aufgrund des Produktes den toxizitätsbezogenen Wirkungskategorien eine höhere Bedeutung beigemessen. Dies ist unter anderem auch dann der Fall, wenn ein Produkt während seiner Nutzung häufig (unter Verwendung von Chemikalien) gereinigt oder gewartet werden muss.

## Impressum

Erstellt im Auftrag des Umweltbundesamtes  
im Rahmen des UFOPLAN-Vorhabens FKZ 371295303

durch

Ökopol – Institut für Ökologie und Politik GmbH, Nernstweg 32–34, 22765 Hamburg  
Tel.: +49 (0)40/39 100 2-0; Fax.: +49 (0)40/39 100 2-33; Internet: [www.oekopol.de](http://www.oekopol.de)