

**Zeitschrift:** Tec21  
**Herausgeber:** Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein  
**Band:** 127 (2001)  
**Heft:** 45: Nachhaltig leben

**Artikel:** Messen der Nachhaltigkeit: ein Vorschlag zur Quantifizierung von Fortschritten im Umweltschutz  
**Autor:** Schlegel, Walter  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-80239>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 18.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Messen der Nachhaltigkeit

Ein Vorschlag zur Quantifizierung von Fortschritten im Umweltschutz

**Je weiter eine Entwicklung voranschreitet, desto stärker wird das Bedürfnis, Fortschritte konkret zu messen und Lösungsvorschläge gegeneinander abzuwägen. Das gilt auch für die nachhaltige Entwicklung und die Nachhaltigkeit – zwei sehr komplexe Systeme. Es ist deshalb erforderlich, diese in einer für das Messen geeigneten Form zu definieren und die Messbedürfnisse abzuklären. Anschliessend sind die für das Messen geeigneten Messschemata aufzubauen und zu beschreiben. Das Messen der Nachhaltigkeit ist deshalb eine Wissenschaft für sich.**

Der Begriff «Nachhaltigkeit» wurde ursprünglich in der Forstwirtschaft verwendet. Er umschrieb das Prinzip der Bewirtschaftung der Wälder im Hinblick auf die dauerhafte Sicherung der Holznutzung und der ökologischen Funktionen. Heute ist der Begriff zu einem Modewort mutiert, das eine ausgewogene langfristige Betrachtungsweise unter Einbezug ökonomischer, ökologischer und sozialer Aspekte umschreibt.<sup>1</sup>

## Definitionen

In seinem ersten Bericht vertrat der Club of Rome<sup>2</sup> 1972 folgende These: Es ist leicht nachweisbar, dass die Menschheit bei unveränderter Lebensweise des auslaufenden zwanzigsten Jahrhunderts und einer ungebrochenen Zunahme der Weltbevölkerung sich in ferner Zukunft, etwa in 50–100 Jahren, die Lebensgrundlagen selber so weit zerstört haben wird, dass eine Weiterexistenz grosser Teile der Weltbevölkerung fraglich wird. Aufgeschreckt durch diese These, stellte sich die Frage, wie die Gesellschaftsordnung und die Wirtschaftspraktiken verändert werden müssten, um eine Weiterexistenz des Menschen auch in ferner Zukunft sicherzustellen. Die Vereinten Nationen (Uno) initiierten zu diesem Thema diverse Diskussionen, in denen die Begriffe «Nachhaltigkeit» und «nachhaltige Entwicklung» auf diese Problematik übertragen wurde. Es gilt hier deshalb die Definition, die sich aus der Uno-Konferenz von 1992 in Rio ergeben hat: Die Überlebensstrategie der Menschheit heisst «Nachhaltigkeit» (engl. sustainability). Der Begriff umschreibt das Ver-

## Nachhaltig ist ...

- ein Land, wenn es unter Einhaltung der Rahmenbedingungen der Nachhaltigkeit seiner Bevölkerung eine befriedigende Lebenshaltung ermöglicht;
  - eine Volkswirtschaft, wenn sie unter Einhaltung der Rahmenbedingungen der Nachhaltigkeit die Versorgung der Bevölkerung mit Gütern befriedigend zu sichern vermag;
  - der Wohnsektor (Beispiel eines Endverbrauchssektors), wenn er unter Respektierung der für diesen Endverbrauchssektor definierten Rahmenbedingungen der Nachhaltigkeit den Bedarf der Bevölkerung an Wohnungen (inkl. Infrastruktur) befriedigend zu sichern vermag;
  - ein Produkt, wenn es in einer nachhaltigen Gesellschaft einen Markt findet. Dies bedeutet, dass das Produkt unter den Rahmenbedingungen der Nachhaltigkeit hergestellt, verwendet und entsorgt wird und dass das Preis-Leistungs-Verhältnis stimmt.
- Die Rahmenbedingungen sind in Tabelle 1 definiert.

halten einer Gesellschaft und Wirtschaft, die in 100–150 Jahren – vorzugsweise schon früher – Wirklichkeit sein könnte und mit ihrer Lebens- und Arbeitsweise die Weiterexistenz der Weltbevölkerung sicherstellt. Wie diese nachhaltige Gesellschaft organisiert sein sollte und wie das nachhaltige Wirtschaftssystem arbeiten wird, kann heute nicht vorausgesagt werden. Was jedoch recht gut beschrieben werden kann, sind die Rahmenbedingungen, die einzuhalten sind (Tabelle 1). Die Tabelle ist nicht vollständig und muss je nach Bedarf ergänzt werden – etwa bezüglich neuer Technologien wie der Gentechnologie.

Die entwickelte Definition der Nachhaltigkeit im Sinne von Rio erlaubt Aussagen darüber, wann ein Land, eine Volkswirtschaft etc. nachhaltig ist (siehe Kasten). Nachhaltigkeit ist das Ziel einer langfristigen Entwicklung von Gesellschaft und Wirtschaft. Der Entwicklungsprozess, der zu diesem Ziel führen soll, heisst «nachhaltige Entwicklung» (engl. Sustainable Development). Er ist ein komplexes Unterfangen, in dem Schritt um Schritt in Produktion und Verbrauch von Gütern Verbesserungen und Veränderungen vorgenommen werden. Dabei gilt das Prinzip der Brundtland-Kommission<sup>6</sup>: «Die heutigen Bedürfnisse (der Menschheit) sind zu decken, ohne für künftige Generationen die Möglichkeit zu schwächen, ihre eigenen Bedürfnisse zu decken.»

## Der Soll-Zustand

Der Ist-Zustand – eine Konsumgesellschaft praktisch ohne Einschränkungen – ist so zu verändern, dass die Ressourceneinschränkung als Rahmenbedingung für die gesamte Weltbevölkerung gilt. Die nachhaltige Entwicklung hat schon begonnen und muss bis weit in den Soll-Zustand der Nachhaltigkeit hinein weitergeführt werden. Ist einmal der Soll-Zustand erreicht, so darf die Welt deswegen nicht still stehen, sondern muss sich auch dann noch weiterentwickeln.

<b>Wirtschaft (Ökonomie)</b>	<b>Verbrauch</b>
<b>Nicht erneuerbare Ressourcen</b>	
Öl, Erdgas, viele Erze etc.	Die noch verbliebenen Reserven dürfen nur in Notfällen angetastet werden
<b>Erneuerbare und beliebig verfügbare Ressourcen</b>	
Energie (Sonnenenergie, Windenergie, Wasserkraft etc.)	Verwendbar, soweit eine Umformung in sekundäre Energien (Strom, Wärme) wirtschaftlich und ökologisch sinnvoll ist. jährlicher Verbrauch < 0,01% der Reserven
Unbeschränkt verfügbare Rohstoffe (Steine, Sand, Kalk, Salz etc.)	jährlicher Verbrauch ≤ Nachwuchs
Nachwachsende Rohstoffe (Holz, Landwirtschaftsprodukte, Meeresfrüchte etc.)	Verbrauch entspricht etwa Anfall
Gebrauchte bzw. verbrauchte Gegenstände und Produkte (aus Alt mach Neu, Wiederverwertung, Rekuperation der verwendbaren Materialien etc.)	Verbrauch entspricht etwa Anfall (Wiederverwertung gebrauchter Produkte und Abfall: Kreislaufwirtschaft)
Abfall (sortieren, wiederverwenden (Glas, Papier, Metall), aufarbeiten, isolieren von Rohmaterialien, thermische Verwertung etc.)	
Der Wirtschaft ist es gelungen, mit den zur Verfügung stehenden Ressourcen eine ausreichende Befriedigung der Bedürfnisse der Weltbevölkerung sicherzustellen. Dabei ist die Kreislaufwirtschaft von grosser Bedeutung. Die Wirtschaft als Ganzes ist gesund.	
<b>Gesellschaft (Soziales)</b>	<b>Rahmenbedingungen</b>
Menschenrechte	werden global respektiert und geschützt
Nord-Süd-Gefälle	auf ein erträgliches Niveau verringert
Analphabetismus	unbedeutend, Grundschulung global gesichert
Gesundheit, Hygiene	global ist ein Minimum an Hygiene und medizinischer Versorgung gesichert
Trinkwasserversorgung	gesichert
Sozialpolitik	auf Ausgleich bedacht
Weltbevölkerung	Zahl stabilisiert (Verbesserung der schulischen Ausbildung führt zu einer besseren Geburtenplanung und -kontrolle)
Der Weltbevölkerung ist es gelungen, sich von einer Konsumgesellschaft in eine nachhaltige Gesellschaft zu wandeln, das heisst, den Lebensstil an die Erfordernisse der Nachhaltigkeit anzupassen.	
<b>Umwelt (Ökologie)</b>	<b>Rahmenbedingungen</b>
Artenvielfalt	– Erhalt der Artenvielfalt durch Bereitstellen geeigneter Habitate befriedigend gesichert
Nachwachsende Rohstoffe, Tier- und Pflanzenpopulationen	– Aufforstung genutzter Wälder (auch Tropenwälder) obligatorisch – Fischbestand in den Weltmeeren auf hohem Niveau stabilisiert – Erhalt von bebaubarem Kulturland gesichert – Ausweitung von Wüsten und übernutztem Land gestoppt
Abfälle, Emissionen	– Wiederverwertung hat Priorität – Abbaubare Abfälle: Der Eintrag in die Umwelt (Emissionen, Abwasser) wird derart tief gehalten, dass die Verschmutzung tiefer liegt als die Absorptionsfähigkeit des Ökosystems – Nicht abbaubare Abfälle (inkl. toxische Abfälle), die nicht aufgearbeitet werden können, werden umweltverträglich entsorgt.
Das Prinzip, dass der Verursacher für die von ihm verursachten Schäden voll aufkommen muss (Internalisieren der externen Kosten), hat sich voll durchgesetzt. Die durch Wirtschaft und Bevölkerung verursachte verbleibende Umweltbelastung ist tragbar.	

1

Die Rahmenbedingungen der Nachhaltigkeit beruhen auf der Deklaration von Rio und der Agenda 21<sup>3</sup>, auf Arbeiten für die Enquete-Kommission des Deutschen Bundestags «Zum Schutz des Menschen und der Umwelt»<sup>4</sup>, auf der Studie «Nachhaltige Entwicklung in der Schweiz»<sup>5</sup> sowie zahlreichen weiteren Untersuchungen

Je weiter die nachhaltige Entwicklung voranschreitet, desto grösser wird die Bedeutung des Nachhaltigkeitsprinzips für Wirtschaft und Gesellschaft. Damit steigt auch das Bedürfnis, den Grad der erreichten Nachhaltigkeit im Ist-Zustand am Soll-Zustand zu messen oder beim Vergleich von Produkten auch den relativen Grad der Nachhaltigkeit festzustellen.

In der «Chemischen Rundschau» sind verschiedene neuere Vorschläge zur «Messung» der Nachhaltigkeit beschrieben worden.<sup>7</sup> Der praktischen Durchführung derartiger Messungen steht die grosse Komplexität der Nachhaltigkeitskriterien im Wege (Tabelle 1). Man ist deshalb gezwungen, sich auf eine Auswahl massgebender Kriterien zu beschränken (Tabelle 2).

## Sektorielle Analysen

Unter sektoriellen Analysen ist die Analyse von Endverbrauchssektoren gemeint – etwa der Verkehr, das Wohnen, die Gesundheit, die Ernährung und Bekleidung. Alle Endverbrauchssektoren müssen sich in etwa 100 Jahren nachhaltig verhalten können. Viele heutige Entscheide und Projekte wirken sich noch in 100 Jahren aus und müssen deshalb die Rahmenbedingungen der Nachhaltigkeit erfüllen – etwa Infrastruktur-Projekte wie die Neat, das Strassennetz, aber auch öffentliche Bauten und Wohnhäuser.

Die Analysen können sich auf einzelne Aspekte der Nachhaltigkeit – etwa die Ökologie – beschränken, wie es von der Zen-Gruppe der Empa vorgeschlagen wird<sup>8</sup>, oder sie können den Ressourcenbedarf mit einschliessen. In allen Fällen sind die Rahmenbedingungen der Nachhaltigkeit das Bezugssystem (Tabelle 3).

## Soziales und Umwelt

In weiten Kreisen wird die Sozialproblematik unterschätzt. Die Entwicklungsziele sind im Prinzip identifiziert (Agenda 21<sup>3</sup>, Tabelle 1). Viele Programme sind vor allem von der Uno in Angriff genommen worden. Der Fortschritt in diesen Entwicklungsprogrammen muss laufend verfolgt werden. Die Methodik derartiger Fortschrittskontrollen ist bekannt (Tabelle 2).

Zusätzlich zu den Öko-Analysen, die beim Messen der relativen Nachhaltigkeit von Produkten und bei sektoriellen Analysen vorgenommen werden müssen, laufen eine grosse Zahl von Umweltschutzprogrammen. Auch diese müssen einer Fortschrittskontrolle unterworfen werden (Tabelle 2).

## Nachhaltigkeit von Produkten

Die nachhaltige Entwicklung ist ein evolutionärer Prozess, in dem unter anderem die Produkte, die der Markt verlangt, in meist kleinen Schritten nachhaltiger gemacht werden müssen (Definition siehe Kasten, Tabellen 1 und 2).

Die Rahmenbedingungen der Nachhaltigkeit können nur für die Volkswirtschaft eines Kontinents, eines Landes und für einen Endverbrauchssektor semiquantitativ abgeschätzt werden. Das Messen der Nachhaltigkeit eines einzelnen Produktes auf der Basis der Rahmenbedingungen ist aber nicht möglich. Ein auf Einzelprodukte zugeschnittenes Wertungssystem ist nötig.

Auf der Suche nach einem geeigneten Wertungssystem wird man zwangsläufig auf die Prinzipien und die Datenbasis der industriellen Kostenrechnung stossen. Diese ist derart zu erweitern, dass sie die Belange der drei Bereiche der Nachhaltigkeit – Ökonomie, Soziales und Ökologie – gleichwertig reflektiert. Das bedeutet, dass nach erfolgter Analyse der drei Einzelbereiche die gewichtete Umrechnung in ein einheitliches Wertungssystem zu erfolgen hat. Die Werte für die einzelnen Bereiche sind dann zu einer repräsentativen Zahl für die Nachhaltigkeit eines Produktes zusammenzuziehen. Das Wertungssystem in Tabelle 4 baut auf diesen Erkenntnissen auf. Als Input-Daten werden Gegenwartswerte verwendet, denen ökologische Steuerungsgebühren beigelegt sind. Diese haben zum Ziel, die

Bereich	Bedürfnisse
Sektorielle Analyse	Einhalten der Rahmenbedingungen der Nachhaltigkeit: Ressourcenbedarf, zulässige Rest-Umweltbelastung (Wie weit ist dies schon mit den heutigen Technologien möglich, wo besteht dringender Entwicklungsbedarf?)
Sozialproblematik	Fortschrittskontrolle von Projekten der nachhaltigen Entwicklung (Stabilisierung der Weltbevölkerung, Grundschulung, Respektierung der Menschenrechte, Entwicklungsstand der ärmsten Länder, Hygienestandards, Trinkwasserversorgung, demographische Entwicklung)
Umweltschutz	Fortschrittskontrolle von Projekten der nachhaltigen Entwicklung (Erhalt der Artenvielfalt, Wiederaufforstung genutzter Wälder [inklusive Tropenwälder], Regenerieren des Fischbestandes in den Weltmeeren, Erhalt von bebaubarem Kulturland, Verhindern von Wüstenbildung, Kontrolle von umweltschädlichen Emissionen)
Produkte	Messen der relativen Nachhaltigkeit von alternativen Lösungen einer technischen Problemstellung (Messen der relativen Nachhaltigkeit alternativer funktioneller Einheiten): nach Verbesserungen suchen.

## 2

### Einige wichtige Bedürfnisse zur Messung der Nachhaltigkeit

#### Sektorielle Analysen

Wo können mit den heutigen Technologien die Rahmenbedingungen der Nachhaltigkeit eingehalten werden, wo braucht es dringend Verbesserungen und Neuentwicklungen?

Ressourcenbedarf	a) geeignetste heute schon verfügbare Technologien b) bekannte technologische Entwicklungsprojekte, der Ressourcenbedarf wird an den Rahmenbedingungen der Nachhaltigkeit gemessen
Zulässige Restemissionen und Abwasserfrachten	zulässige Restemissionen im Zustand der Nachhaltigkeit gemäss dem heutigen Kenntnisstand (siehe Zen-Standard der Empa) Die Ist-Restemissionen werden an den zulässigen Restemissionen gemessen

## 3

### Sektorielle Analysen

Umweltbelastung auf ein im Zustand der Nachhaltigkeit tragbares Mass zurückzuführen.

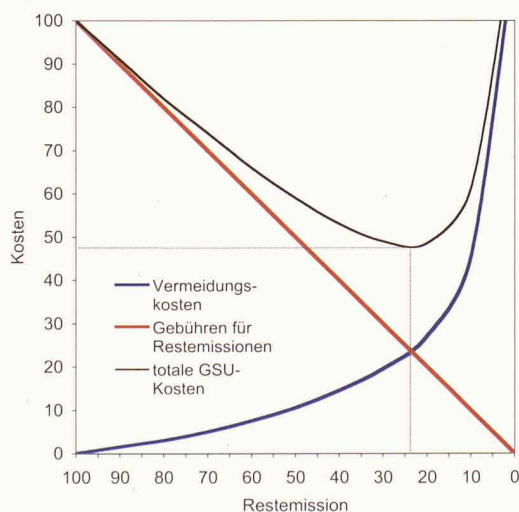
Die drei Bereiche der Nachhaltigkeit – die Ökonomie, das Soziale und die Ökologie – werden wie folgt erfasst: Die Ökonomie wird durch das Wertungssystem als Ganzes (industrielle Sozialbeiträge ausgeklammert) abgedeckt. Das Soziale wird im Sozialbeitrag erfasst. Die Ökologie wird durch die externen Kosten, den ökologischen Steuerungsgebühren, und einem Teil der internen Kosten, den so genannten GSU-Kosten (Gesundheit, Sicherheit, Umwelt) gleichgewichtig reflektiert. Erträge und Kosten eines Produktes werden immer für eine funktionelle Einheit p des Produktes berechnet.

In der vorliegenden Analyse wird grundsätzlich der ganze Lebenszyklus eines Produktes untersucht. Dabei kann der Gebrauchsmaterialienverbrauch des Systems

Normative Formel	Input
Gebrauchswert ( $G_p$ )	Ist-Wert      Gegenwart (Kaufwert + betrieblicher Nutzwert)
+ Sozialbeitrag ( $S_p$ ) (für Nachhaltigkeit relevant)	$S_p = (L \cdot X + S_t) \cdot N/A$  $S_p$ = für Nachhaltigkeit relevanter Sozialbeitrag $L$ = Lohnsumme in internen Kosten $X$ = Anteil als Steuern abgeführt $S_t$ = von Firma bezahlte Steuern $N$ = Ist-Wert der für die Nachhaltigkeit relevanten Staatsausgaben $A$ = totale Staatsausgaben
Bruttowert für die Gesellschaft ( $B_p$ )	Ist-Wert      Gegenwart  $B_p = G_p + S_p$
- Interne Kosten ( $I_p$ )	Ist-Wert      Gegenwart
- Externe Kosten ( $E_p$ ) (einschliesslich ökologische Steuerungsgebühren)	Ist-Wert      Gegenwart (umfassend) plus Steuerungsgebühren, die vermutlich erforderlich sind, um die nachhaltige Entwicklung in der zulässigen Zeitspanne zum Ziel zu führen. Rechnerisch: Brutto-Steuerungsgebühren minus bereits in den internen Kosten enthaltene Gebühren
Nettowert für die Gesellschaft ( $N_p$ )	Repräsentativer Wert für die Nachhaltigkeit einer funktionellen Einheit p eines Produktes  $N_p = G_p + S_p - I_p - E_p$

4

**Normative Formel zur Messung der relativen Nachhaltigkeit von Produkten: Sie ist (noch) keine mathematische Formel, sondern zeigt nur das Prinzip des Vorgehens auf – daher auch Prinzipformel genannt. Sie kann zur mathematischen Formel werden, wenn jedes in der Berechnung verwendete Element eindeutig normiert ist**



5

**Optimierung der GSU-Kosten**  
**Gebühren für Restemissionen + Vermeidungskosten = Minimum**

(etwa Heizmaterialverbrauch eines Gebäudes beim Vergleich verschiedener Fenstertypen) eine bedeutende Rolle spielen.

Der Begriff «System» kann am besten an einem Beispiel erklärt werden: der Vergleich der Nachhaltigkeit eines Standard-PVC-Fensters mit der eines Hightech-PVC-Fensters (U-Wert ist bei Letzterem besser, das heisst, das Fenster isoliert besser). Die funktionelle Einheit ist das «eingebaute Fenster». Es hat zwei hauptsächliche Funktionen: erstens die Innenatmosphäre eines Hauses von der Aussenatmosphäre abzuisolieren, und zweitens ein Maximum an Wärmestrahlen von aussen hereinzulassen. Bei der Nachhaltigkeitsuntersuchung der zwei Fenstertypen müssen deshalb nicht nur die Gebrauchswerte mit den Herstellungs-, Einbau-, Unterhalts-, Ausbau- und Entsorgungskosten und die damit verbundene Umweltbelastung verglichen werden, sondern auch der betriebliche Nutzen (Wärmekomfort) mit den Betriebskosten des Systems «eingebautes Fenster» – das heisst die Heizkosten und die mit der Heizung verbundene Umweltbelastung.

Da in der Nachhaltigkeit die Langlebigkeit eines Produktes ein wichtiges Argument ist, müssen Erträge und Kosten auf einen Zeitpunkt Null – etwa das Verkaufsdatum – bezogen werden. Konsequenterweise müssen dann Vorlaufkosten aufgezinst und Nachlaufkosten (und Erträge) diskontiert werden. Wie in derartigen Analysen üblich, wird eine Geldwertinflation ausgeklammert und mit einem konstanten Frankenwert gerechnet.

#### Gebrauchswert ( $G_p$ )

Der Gebrauchswert eines Produktes entspricht der Summe von Kaufwert und betrieblichem Nutzwert. Der Kaufwert entspricht dem Preis, den die Mehrzahl der Käufer bereit wären in einem knappen Markt für das Produkt p zu bezahlen. Es ist unabdingbar, dass der Systemumfang bei der Erfassung des Gebrauchswertes genau mit dem Systemumfang der internen und externen Kosten übereinstimmt.

#### Sozialbeitrag ( $S_p$ )

Der Brutto-Sozialbeitrag kann als die Summe der direkten und indirekten Beiträge einer industriellen oder gewerblichen Unternehmung an die Allgemeinheit definiert werden. Unternehmen und Lohnempfänger bezahlen Steuern. Sie unterhalten dadurch indirekt zahlreiche Arbeitsplätze. Die Unternehmen unterstützen die Forschung an Hochschulen und sind beispielsweise massgeblich am Technologietransfer in die dritte Welt beteiligt. Doch nur ein kleiner Prozentsatz der Beiträge sind für die Nachhaltigkeit relevant. Es sind dies vor allem Mittel, die für die Entwicklungshilfe und eine auf Ausgleich bedachte Sozialpolitik eingesetzt werden.

Geht man von der industriellen Kostenrechnung aus, so ist der für die Nachhaltigkeit relevante Sozialbeitrag als Prozentsatz des Brutto-Sozialbeitrags zu definieren, der von Industrie und Gewerbe an Staat und private Sozialwerke abgegeben wird. Dabei kann man dem Beispiel der Uno folgen und den für die Nachhaltigkeit

relevanten Sozialbeitrag in Prozent des Bruttoinlandsproduktes (BIP) oder des nationalen Steueraufkommens ausdrücken.

#### Interne Kosten ( $I_p$ )

Unter internen Kosten verstehen wir die Produktions-, Verteil- und Gebrauchskosten des Systems und im Allgemeinen auch die Recycling- bzw. Entsorgungskosten eines Produktes. Unter den internen Kosten sind die GSU-Kosten mit Vorteil getrennt aufzuführen. Es sind dies die Kosten, die in den Unternehmungen bei ihren Anstrengungen im Gesundheitsschutz, zur Verbesserung der Anlagesicherheit sowie der Reduktion der Umweltbelastung anfallen. Dabei stehen die Aufwendungen zur Reduktion der (verbleibenden) Umweltbelastung in einem direkten Zusammenhang mit den externen (Umwelt-)Kosten, die im Prinzip der Unternehmung belastet werden sollten.

#### Externe Kosten ( $E_p$ )

Auch die externen Kosten können in zwei Gruppen aufgeteilt werden: die externen Kosten der Umweltbelastung (inkl. Steuerungsgebühren) und die fiktiven Kosten der nichterneuerbaren Ressourcen.

Die externen Kosten der Umweltbelastung sind der Anteil der vom «System» verursachten GSU-Kosten, die bisher nicht internalisiert und somit von der Allgemeinheit getragen wurden. Unter diese indirekten Kosten fallen unter anderem der Verbrauch nicht-erneuerbarer Ressourcen (Lagerminderung), die Restemissionen des Systems (etwa  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , VOC, Abwasserfrachten) und von der Allgemeinheit getragene Gesundheitskosten (etwa Ozon-Grenzwertüberschreitungen, Unfall-Folgekosten des Strassenverkehrs).

Hier steht man vor sehr schwierigen Wertungsproblemen. Sollen die Verursacher für verursachte Umweltschäden haftbar sein, müssen Letztere monetär beziffert werden, denn nur so können sich die Verursacher unter den Schäden etwas vorstellen.

Das Nachhaltigkeitsprinzip stellt die Forderung auf, dass der Eintrag abbaubarer Abfälle in die Umwelt (Restemissionen, Abwasserfrachten) derart tief gehalten werden muss, dass das Ökosystem sie «verdauen» kann. Um den Eintrag auf das zulässige Niveau zu beschränken, haben die Behörden zwei Möglichkeiten: Sie können in den Betriebsbewilligungen für Produktionsanlagen Grenzwerte festlegen oder den Eintrag in die Umwelt mit einer Gebühr belasten, die ausreichend hoch ist, um die Unternehmen aus ökonomischen Gründen zu veranlassen, ihre Restemissionen auf einem tragbaren Niveau zu halten.

In der Praxis ist das Gebührensystem wahrscheinlich am zweckmässigsten. Es führt zu einer gegenüber dem Grenzwertsystem besseren Optimierung der Gesamtumweltkosten (interne GSU-Kosten plus externe Umweltkosten), da für die Unternehmen sowohl die eigenen Vermeidungskosten von Emissionen als auch die externen Gebühren für Restemissionen zusammen minimieren werden (Bild 5).

Das Gebührensystem hat zudem den Vorteil, dass es die Erfordernisse der Nachhaltigkeit für alle ersichtlich in

die Produktewertung einfügt. Die Zeithorizonte des Ist-Wertes (Gegenwart) und des Soll-Wertes (Nachhaltigkeit erreicht) werden miteinander verknüpft, und eine bestmögliche Wertung der relativen Nachhaltigkeit wird erzielt. Zudem können die erhobenen Steuerungsgebühren kostenneutral an die Wirtschaft zurückerstattet werden, so dass der Gebührenbezug für die Wirtschaft als Ganzes keine Zusatzbelastung darstellt.

Wir weisen in unserem Kostenschema die nichterneuerbaren Ressourcen getrennt aus. Das hat folgenden Grund: Gegenwärtig setzen die Förderländer von Öl und Erdgas für ihre im Boden liegenden Reserven einen Wert Null ein. Dies hat zu den bekannten Niedrigstpreisen sowie zur Übernutzung dieser Ressourcen geführt. Es ist deshalb immer wieder gefordert worden, den Reserven an Öl und Erdgas einen fiktiven Preis zuzuordnen. Wenn die nicht erneuerbaren Ressourcen in unserer Produktkostenrechnung getrennt aufgeführt werden, so können die Auswirkungen fiktiver Preise auf das Kostengefüge auf einfache Weise analysiert werden.

#### Nettowert für die Gesellschaft ( $N_p$ )

Im Wertungssystem in Tabelle 4 ist das Resultat der Rechnung der Nettowert eines Produktes  $p$  für eine gegenwärtige bzw. eine nachhaltige Gesellschaft. Dieser Nettowert ist das Mass für die Nachhaltigkeit eines Produktes. Gemäss unseren Definitionen erfüllt ein Produkt, das einen positiven Nettowert aufweist, die Kriterien der Nachhaltigkeit, während ein Produkt mit einem negativen Nettowert als «nicht nachhaltig» bezeichnet werden muss.

Die Wertung eines Produktes wird immer auf eine funktionelle Einheit  $p$  des Produktes bezogen. Funktionelle Einheiten eines Produktes sind etwa 1 GWh Strom oder 1  $\text{m}^2$  Fenster.

In absoluten Zahlen variiert der Nettowert  $N_p$  in Abhängigkeit von der arbiträr gewählten, funktionellen Einheit  $p$  enorm und ist deshalb für sich allein betrachtet nur beschränkt aussagekräftig. In der Praxis geht es jedoch meistens um den Vergleich von zwei Produkten gleicher Funktion, etwa 1 GWh Atomstrom gegenüber 1 GWh Strom aus Erdgas oder 1  $\text{m}^2$  Fenster mit Holzrahmen gegenüber 1  $\text{m}^2$  Fenster mit PVC-Rahmen. Wird etwa ein Produkt Y mit einem Produkt X verglichen, so ist das Produkt Y im Vergleich zum Produkt X nachhaltiger ( $N_y > N_x$ ) beziehungsweise weniger nachhaltig ( $N_y < N_x$ ). Um Werte verschiedener Produkte miteinander zu vergleichen, sollte der Nachhaltigkeitsgrad verwendet werden:  $N_p/B_p \cdot 100\%$ .

Bei der Wertung von Verbesserungen geht man üblicherweise von einem Standardprodukt aus und vergleicht dieses mit dem verbesserten Produkt (Beispiel Hightech-Fenster im Vergleich zu einem Standard-Fenster). Dabei müssen nur die durch die Verbesserung veränderten Daten erfasst und als Differenz zum Standardprodukt quantifiziert werden. Ist diese Differenz positiv, so leistet die Verbesserung einen positiven Beitrag zur Nachhaltigkeit des Produktes. Das bedeutet, dass eine Verbesserung der Nachhaltigkeit eines

Produktes nicht nur durch eine Senkung der externen Kosten (Verbesserung der Ökologie), sondern auch durch eine Erhöhung des Gebrauchswertes (Erhöhung der Lebensdauer), des Sozialbeitrages und durch eine Senkung der Internen Kosten (Produktionsrationalisierung) erzielt werden kann.

Geld ist ebenso sehr eine knappe Ressource wie Holz, Lebens- und Futtermittel etc. Einsparung – etwa durch erhöhte Wirtschaftlichkeit – trägt gleichermassen zur Nachhaltigkeit bei wie eine Reduktion der Umweltbelastung. Mit dem frei werdenden Geld können weitere Nachhaltigkeitsprojekte wie Gebäudesanierungen etc. in Angriff genommen werden.

#### Vorgehen

Das Bewertungssystem unter den Rahmenbedingungen der Nachhaltigkeit und unter gleichgewichtiger Berücksichtigung der drei Säulen der Nachhaltigkeit – der Ökonomie, des Sozialen und der Ökologie – ist eine spezielle Form einer Lebenszyklusanalyse (engl. Life Cycle Assessment, LCA). In Anlehnung an die LCA-Normen ISO 14040 ff ergeben sich die in Tabelle 6 aufgelisteten Arbeitsschritte.

Die Analyse des Lebenszyklus eines Produkts erfolgt getrennt für die drei Bereiche Ökonomie, Soziales und Ökologie – jeweils in der Form, die für jeden dieser Bereiche am zweckmässigsten ist (Tabelle 6).

Als Wertungssystem für die Nachhaltigkeit hat sich das monetäre Wertungssystem als am zweckmässigsten erwiesen. Für den ökonomischen Bereich ist die monetäre Wertung gegeben. Für den sozialen Bereich hat sich die monetäre Wertung schon stark verbreitet – siehe Uno-Berichte. Auch in der Ökologie werden Schäden häufig monetär gewertet – siehe Gerichtsurteile, bei denen Schäden mit Wiedergutmachungszahlungen abgegolten werden. Sind die Wertungen in den

einzelnen Bereichen auf monetärer Basis erfolgt, so stellt sich die Frage, ob die Gewichtung der einzelnen Bereiche auf dieser Basis korrekt ist. Bei der Ökonomie ist dies gegeben. Beim Sozialen ist eine Aufstockung der Beiträge – etwa bei der Entwicklungshilfe – nötig, um die Ziele der Nachhaltigkeit zu erreichen. Die Gewichtung scheint jedoch korrekt. Bei der Ökologie sind die in neuerer Zeit berechneten externen Restkosten wahrscheinlich in der Grössenordnung korrekt. Die Steuerungsgebühren – etwa für die Belastung durch Rest-Emissionen – müssen noch festgelegt werden und sollten die Schäden richtig gewichten. Damit können auch die monetär ausgedrückten Umweltbelastungen tel quel übernommen werden. Die Berechnung des Nettowerts für die Gesellschaft  $N_p$  ist dann problemlos möglich.

Walter Schlegel, Dr., Haldenstrasse 21/2,  
8942 Oberrieden

#### Literatur

- 1 Kasser, U., Preisig, H.: Nachhaltigkeit – vom globalen Programm zur Individualformel, tec21, 47/2000
- 2 Meadows, D. L. et al.: Die Grenzen des Wachstums. Erster Bericht an den Club of Rome, 1972
- 3 Erdgipfel 1992, Agenda für eine nachhaltige Entwicklung (eine allgemein verständliche Fassung der Agenda 21 und der anderen Abkommen von Rio), veröffentlicht vom Center of our Common Future, 1993
- 4 Die Industriegesellschaften gestalten. Perspektiven für einen nachhaltigen Umgang mit Stoff- und Materialströmen, Enquetekommission des Deutschen Bundestages «Schutz des Menschen und der Umwelt», 1994
- 5 Nachhaltige Entwicklung in der Schweiz. Stand der Realisierung. Interdepartementaler Ausschuss Rio, 1997
- 6 Unsere gemeinsame Zukunft. Der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung, 1987
- 7 Gärtner, Chem. Rundschau Nr. 5, Ökoeffizienz-Analyse der BASF, 2.3. 2001
- 8 Althaus, H.-J., Haas, A., Zimmermann, M.: Zur Messbarkeit von Nachhaltigkeit. Zen-Standard für ökologisch nachhaltiges Bauen, tec21 47/2000

Arbeitsschritte	Gebrauchswert ( $G_p$ )	Sozialbeitrag ( $S_p$ )	Interne Kosten ( $I_p$ )		Externe Kosten ( $E_p$ )	
			Produktekosten	GSU-Kosten	Umweltbelastung	nichterneuerbare Ressourcen
1. Definition des Untersuchungsziels, des Umfangs der Untersuchung und der Systemgrenzen		Was soll untersucht und	welche Fragen sollen beantwortet werden? Welches ist die geforderte Genauigkeit sowie der Zeit- und Kostenrahmen?			
2. Analyse vorhandener Daten und Beschaffung fehlender Daten	Marktanalyse	Welche sozialen Beiträge leistet die Unternehmung?	Betriebliche Kostenrechnung: Energie, GSU-Kosten Materialien, Arbeit etc.		Falls nicht vorhanden: Festlegen von Steuerungsgebühren Externe Kosten	
3. Analyse des Lebenszyklus des Produkts bzw. des Systems. Darstellung des Materialflusses. Quantifizieren für die funktionelle Einheit p	Abschätzen des Gebrauchswerts der funktionellen Einheit p bzw. des betreffenden Systems	Abschätzen der für die Nachhaltigkeit relevanten Sozialbeiträge	Kosten der funktionellen Einheit p bzw. des Systems über den ganzen Lebenszyklus	Ausscheidung der GSU-Kosten für die funktionelle Einheit p	Gebühren und Kosten, verursacht von der funktionellen Einheit p	Fiktive Kosten der funktionellen Einheit p
4. Nettowert für die Gesellschaft (monetär ausgedrückt)						
$N_p =$	$G_p$	$+ S_p$	$- I_p$		$- E_p$	
5. Diskussion der Resultate	Was kann und soll verbessert werden?					