

Zur theoretischen Struktur von Indikatoren einer nachhaltigen Entwicklung*

Von Alfred Endres und Volker Radke**

1. Einleitung

Eine entscheidende Voraussetzung der Umsetzung des Leitbildes einer nachhaltigen Entwicklung (*sustainable development*) in praktische Politik wird in der Literatur in einer Verbesserung der Informationsgrundlage im Wege der Konzipierung entsprechender Indikatoren gesehen (vgl. z. B. SRU, 1994, S. 86; Cansier, 1995, S. 129; BMU, 1996, S. 18; Deutscher Bundestag, 1996, S. 25; SRU, 1996, S. 19). Die anlässlich der UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung in Rio 1992 verabschiedete ‚Agenda 21‘ fordert die Unterzeichnerstaaten ausdrücklich zur Entwicklung von Indikatoren einer nachhaltigen Entwicklung auf (vgl. United Nations, 1993).

In der Tat ist die Zahl der Untersuchungen über Indikatoren einer nachhaltigen Entwicklung in den letzten Jahren sprunghaft angestiegen (siehe hierzu u. a. Rennings, 1994; SRU, 1994; Walz, Ostertag und Block, 1995; Atkinson et al., 1997; Aronsson, Johansson und Löfgren, 1997; Radke, 1997; Rennings und Wiggering, 1997; Endres und Radke, 1998). Dennoch scheint ein fundamentales Informationsbedürfnis bislang unbefriedigt geblieben zu sein: „Konventionelle Ansätze zur Indikatorenbildung beschränken sich meist darauf, aus vorhandenen umwelt- und sozioökonomischen Daten geeignete auszuwählen und daraus z. B. raum- oder zeitbezogene Indikatoren zu entwickeln. Die Datenauswahl erfolgt also nicht auf Grundlage theoretischer Konzepte, sondern geht von der Datenverfügbarkeit aus“ (SRU, 1994, S. 17f.). Angesichts dieser unbefriedigenden Situation wird ausdrücklich darauf hingewiesen, „daß die verfügbaren Daten nicht die Einzelindikatorenbildung, sondern die Indikatoren die zu erhebenden Daten bestimmen müssen“ (SRU, 1996, S. 19).

* Verantwortlicher Herausgeber / editor in charge: B. F.

** Der vorliegende Beitrag entwickelt unsere Arbeiten im Rahmen des Forschungsvorhabens ‚Indikatoren einer nachhaltigen Entwicklung‘ des Umweltbundesamtes (siehe Endres und Radke, 1998) fort. Für Kritik und Anregungen danken wir Christiane Böttcher-Tiedemann, Christian Diller, Burkhard Huckestein, Karl-Hermann Hübler, Norbert Schulz sowie zwei anonymen Gutachtern. Verbleibende Unzulänglichkeiten gehen ausschließlich zu unseren Lasten.

Die *mangelnde theoretische Grundlegung* existierender Ansätze zur Bildung von Indikatoren einer nachhaltigen Entwicklung, die der Sachverständigenrat für Umweltfragen hier in aller Deutlichkeit herausstellt, ist Ausgangspunkt und Motivation des vorliegenden Aufsatzes. Ziel ist es im folgenden, einen Beitrag zur wirtschaftstheoretischen Fundierung der zu erarbeitenden Indikatoren einer nachhaltigen Entwicklung zu leisten. Ausgangspunkt sind hierbei zwei extreme Konzepte zur Analyse der Nachhaltigkeitsproblematik, die in der Literatur diskutiert werden:

- Im einen Extrem basiert das Konzept der *weak sustainability* auf der These, eine nachhaltige Entwicklung sei erreichbar, indem Bestandsrückgänge natürlicher Ressourcen durch Akkumulation menschengemachten Kapitals kompensiert werden. Konkretisiert wird dieses Kompensationsgebot durch die sog. ‚Hartwick-Regel‘ (vgl. ursprünglich Solow, 1974; Hartwick, 1977).
- Hingegen geht im anderen Extrem das Konzept der *strong sustainability* von der These aus, eine nachhaltige Entwicklung setze die Bewahrung des Naturvermögens voraus, da für dieses keine funktionsäquivalenten anthropogenen Substitute existierten (vgl. z. B. Pearce und Turner, 1990; Pearce und Atkinson, 1993).

Diesen beiden Extremen wird im folgenden ein Ansatz gegenübergestellt, der sich mit Hilfe der Formel von den „ökologische[n] Leitplanken“ (BUND und Misereor, 1996, S. 26; vgl. auch Endres, 1993, S. 182) charakterisieren lässt. Konkretisiert wird diese Vorstellung mit Hilfe des Konzeptes ‚kritischer‘ Bestandsniveaus bestimmter Komponenten des natürlichen Vermögens. In der Konsequenz findet das Konzept der *strong sustainability* Anwendung auf einzelne, klar zu spezifizierende Komponenten des Naturvermögens. Oberhalb kritischer Bestandsgrößen jedoch kann das Konzept der *weak sustainability* zur Anwendung gebracht werden.

Die Implikationen kritischer Bestände werden explizit vor dem Hintergrund der Nachhaltigkeitszielsetzung analysiert. Hingegen wurde in der Literatur bislang die Bedeutung kritischer Bestandsniveaus natürlicher Ressourcen lediglich im Kontext utilitaristischer Wohlfahrtsmaximierung analysiert (siehe Barbier und Markandya, 1990; Pan, 1994).

Über die Berücksichtigung kritischer Naturvermögensbestände hinaus strebt der Aufsatz die exemplarische Einbeziehung sozialer Aspekte in die (oberhalb kritischer Bestände relevanten) Überlegungen zur *weak sustainability* an. Diese fanden in der Literatur bislang keine Berücksichtigung. In ihrer ursprünglichen Version thematisierte die Hartwick-Regel eine Kompensation von Bestandsrückgängen nichterneuerbarer natürlicher Produktionsfaktoren durch Akkumulation anthropogenen Kapitals (siehe Solow,

1974; Hartwick, 1977).¹ In der Folge erfuhr die Hartwick-Regel zahlreiche Erweiterungen, so z. B. auf den Fall heterogener nichterneuerbarer natürlicher Produktionsfaktoren (vgl. Hartwick, 1978a) sowie auf den Fall erneuerbarer natürlicher Produktionsfaktoren (vgl. Hartwick, 1978b). Schließlich geht die Validierung der Hartwick-Regel in einem denkbar allgemeinen Modellkontext, der neben produktionsvermittelten auch unmittelbare Wohlfahrtseffekte natürlicher (und anderer) Ressourcen zuläßt, auf Dixit, Hammond und Hoel (1980) zurück.² Ihre einer praktischen Umsetzung schwer zugängliche Analyse wurde später in einfacheren Modellkontexten konkretisiert, in denen der Bezug zu umweltpolitisch relevanten Problemen hergestellt wurde. So modifizierte Becker (1982) die Hartwick-Regel in einem Modell, in dem produktionsbedingte Schadstoffemissionen in einem unmittelbar wohlfahrtsrelevanten Umweltmedium akkumulieren.³

Bislang jedoch erfolgte eine ähnliche Konkretisierung hinsichtlich sozialer Aspekte der Nachhaltigkeitsproblematik im Rahmen der Konzeption der *weak sustainability* nicht. Im folgenden wird daher exemplarisch die soziale Vermögenskomponente ‚Gesundheit‘ in die Betrachtung einbezogen. Denn erstens ist dieser Aspekt seit jeher von zentraler Bedeutung für die Sozialindikatordiskussion (vgl. z. B. Zapf, 1974). Zweitens stellt seine Einbeziehung in die Überlegungen zu Nachhaltigkeitsindikatoren eine in der gegenwärtigen Diskussion häufig erhobene Forderung dar (vgl. z. B. Pearce und Warford, 1993, Kap. 2; Zimmermann, 1995). Drittens bietet sich hier die Möglichkeit, die theoretischen Konzepte und Erkenntnisse der Gesundheitsökonomie (vgl. hierzu z. B. Breyer und Zweifel, 1997) für die Nachhaltigkeitsdiskussion zu erschließen.

Der Aufsatz ist wie folgt strukturiert: Zunächst wird in Abschnitt 2 der Begriff der nachhaltigen Entwicklung definiert und in eine Implementierungsregel umgesetzt. Anschließend wird in Abschnitt 3 im Rahmen eines ökonomischen Modells, das exemplarisch sowohl wirtschaftliche und ökologische als auch soziale Aspekte der Nachhaltigkeitsproblematik thematisiert, die theoretische Struktur eines Nachhaltigkeitsindikators beschrieben. Abschnitt 4 faßt die Ergebnisse zusammen.

¹ Zur Kritik des Solow-Stiglitz-Modells siehe z. B. Buchholz (1984); Ströbele (1984); Hampicke (1992). Asheim (1986) entwickelt ein Analogon zur ursprünglichen Hartwick-Regel in offenen Volkswirtschaften. Pezzey (1992) gibt einen kritischen Überblick über weitere Modellvarianten.

² Siehe hierzu auch Asheim (1994).

³ Vgl. in einem eng verwandten Modellkontext auch Asako (1980), der darüber hinaus in erweiterten Modellversionen die Implikationen von Emissionsvermeidungsmaßnahmen sowie von nichterneuerbaren natürlichen Produktionsfaktoren analysiert.

2. Nachhaltige Entwicklung

Eine nachhaltige Entwicklung sei im folgenden dadurch charakterisiert, daß sich ausgehend vom Gegenwartszeitpunkt alle menschlichen Generationen einer identischen Wohlfahrt erfreuen. Diese Definition impliziert die ursprünglich von Solow (1974) in den intergenerativen Kontext übertragene *egalitäre Gerechtigkeitskonzeption* nach Rawls (1971).

Die Bezugnahme auf die Konzeption der Wohlfahrt macht eine Spezifikation der relevanten Güter i. S. unmittelbarer Wohlfahrtsquellen erforderlich. Im Kontext der Nachhaltigkeitsdiskussion ist die Einteilung in *menschengemachte* Güter, *natürliche* Güter sowie *soziale* Güter bedeutsam. Dies findet in der Literatur seinen Ausdruck in Wortschöpfungen wie z. B. der des „sustainability triangle“ (Charles, 1994, S. 205) oder der des „Drei-Säulen-Modells“ (Klemmer, 1996, S. 323). In diesem Zusammenhang ist die zentrale Herausforderung für künftige Forschungsarbeiten in der Einbeziehung *sozialer* Güter zu sehen. In Abschnitt 3 des vorliegenden Beitrages wird ein erster Schritt in diese Richtung unternommen.

Als Voraussetzung für die Realisierung einer angestrebten Güterversorgung (und daher eines angestrebten Wohlfahrtsniveaus) ist Ökonomen die Kategorie des Vermögens geläufig.⁴ Es liegt daher nahe, aus der obigen Definition einer nachhaltigen Entwicklung das Postulat der *Vermögensbewahrung* zu deduzieren. Im Rahmen der neoklassischen Nachhaltigkeitskonzeption wird im Zusammenhang mit der Vermögensbewahrung regelmäßig auf die Einkommenskonzeption Hicks' (1946) verwiesen. Diese war ursprünglich auf die Situation eines Individuums bezogen, wird jedoch in der modernen Nachhaltigkeitsdiskussion regelmäßig in den gesellschaftlichen Kontext übertragen: Danach ist nur das als *Einkommen* zu bezeichnen, was eine Gesellschaft während einer Zeitperiode *konsumieren* kann, ohne ihre *Vermögensposition* während dieser Periode zu verschlechtern. Sofern das Vermögen die Voraussetzung für die Verwirklichung des angestrebten Wohlfahrtsniveaus darstellt, ist folgerichtig der Konsum auf das Einkommen Hicks' zu beschränken, um eine Bewahrung des gesellschaftlichen Vermögens und damit einen (mit Rawls) konstanten Zielerreichungsgrad auf der übergeordneten Wohlfahrtsebene zu gewährleisten.

Hicks selbst ging seinerzeit wohl eher von einem ‚eng‘ gefaßten Begriff des Vermögens aus. Für die aktuelle Nachhaltigkeitsdiskussion ist es jedoch grundlegend, daß sein Konzept übertragen wird in einen umfassenden Kontext, der grundsätzlich eine *Vielfalt* von Gütern und daher eine *Vielfalt* von Vermögenskomponenten berücksichtigt. In diesem Sinne haben sich auch

⁴ Der in diesem Zusammenhang ebenfalls gebräuchliche Begriff des ‚Kapitals‘ sei im folgenden *menschengemachten* Vermögensbestandteilen vorbehalten.

ökologische Ökonomen den Einkommensbegriff Hicks' zueigen gemacht (siehe insb. Daly, 1989). Für sie spielen die seinerzeit weitgehend vernachlässigten *natürlichen* Voraussetzungen für die Verwirklichung des angestrebten Wohlfahrtsniveaus eine besondere Rolle.

Bezogen auf die ökologische Dimension des Vermögens werden in der Literatur Vermögensbewahrungsregeln von unterschiedlicher Ausprägung und Restriktivität diskutiert. Die beiden wichtigsten werden im folgenden als *strikte ökologische Vermögensbewahrung (strong sustainability)* bzw. *schwache ökologische Vermögensbewahrung (weak sustainability)* bezeichnet. Während erstere kategorisch und pauschal den Erhalt ‚des‘ natürlichen Ressourcenbestandes fordert,⁵ geht letztere von der Möglichkeit aus, Bestandsrückgänge natürlicher Vermögenskomponenten durch Bestandsaufstockungen ‚anderer‘ – insb. menschengemachter – Vermögenskomponenten zu kompensieren (vgl. z. B. Pearce und Atkinson, 1993; Cansier und Richter, 1995a; BMU, 1996).

In der Literatur wird der gegensätzliche – ja einander ausschließende – Charakter dieser beiden Konzeptionen betont. Jede für sich allein ist u. E. jedoch nur unter unrealistischen Annahmen über die Substituierbarkeit zwischen heterogenen Vermögenskomponenten aus obiger Definition einer nachhaltigen Entwicklung deduzierbar. Strikte ökologische Vermögensbewahrung wäre Voraussetzung für eine nachhaltige Entwicklung unter der Annahme, daß unabhängig von den jeweils herrschenden Bestandsniveaus keine einzige Einheit irgendeiner natürlichen Vermögenskomponente in irgendeinem Zeitpunkt durch menschengemachte Vermögenskomponenten ersetzt werden kann. Schwache ökologische Vermögensbewahrung hingegen beruht letztlich auf der nicht minder extremen Annahme, daß unabhängig von den jeweils herrschenden Bestandsniveaus (solange das Niveau Null nicht erreicht wird) immer eine zusätzliche Einheit jeder beliebigen natürlichen Vermögenskomponente in einem beliebigen Zeitpunkt durch menschengemachte Vermögensbestandteile ersetzt werden kann, ohne das Ziel einer nachhaltigen Entwicklung zu gefährden.

Unter Vermeidung derart extremer Annahme aus obiger Definition einer nachhaltigen Entwicklung ableitbar scheint uns hingegen ein Kriterium, das hier als *kritische ökologische Vermögensbewahrung* bezeichnet wird. Dieses stellt ab auf Grenzen der Substituierbarkeit bei Erreichen bestimmter Niveaus *einzelner, klar spezifizierter* natürlicher Vermögensbestandteile bei grundsätzlichem Fortbestand der Substituierbarkeit anderer natürlicher Vermögenskomponenten. Somit nimmt dieses Kriterium Bezug auf die Vorstellung ‚kritischer Naturvermögensbestände‘ (*critical natural capital*).

⁵ Richter (1994) spricht in diesem Zusammenhang vom „Nachhaltigkeitsansatz im engeren Sinne“.

,Kritisch‘ heiße im folgenden ein *positives* Bestandsniveau einer Vermögenskomponente dessen Erreichen in einem beliebigen Zeitpunkt unausweichlich zur Verletzung des Ziels einer nachhaltigen Entwicklung führen müßte. Eines der naheliegendsten Beispiele im Bereich des Naturvermögens ist die drohende irreversible Zerstörung der atmosphärischen Ozonschicht, deren Ausdünnung bereits im jetzigen Stadium für lebensbedrohende Erkrankungen verantwortlich gemacht wird.

Es ist zu beachten, daß das Kriterium der kritischen ökologischen Vermögensbewahrung die beiden erstgenannten als Spezialfälle umfaßt. Würde für *jede* natürliche Vermögenskomponente das *aktuelle* Bestandsniveau als ,kritisch‘ definiert, so resultierte das Kriterium der strikten ökologischen Vermögensbewahrung (wobei sogar jede intrasectorale Substitutionsmöglichkeit innerhalb des ökologischen Bereiches ausgeschlossen würde). Würde hinsichtlich keiner einzigen natürlichen Vermögenskomponente ein kritischer Bestand definiert, so entspräche dies dem Kriterium schwacher ökologischer Vermögensbewahrung.

Ausgehend von und in Verallgemeinerung des Kriteriums der kritischen ökologischen Vermögensbewahrung formulieren wir die folgende Nachhaltigkeitsregel von zweistufigem Charakter:

1. *Priorität*: Stelle stets sicher, daß kritische Bestände sämtlicher als relevant zu erachtenden Vermögenskomponenten nicht erreicht oder gar unterschritten werden!

2. *Priorität*: Stelle stets sicher, daß sich die angemessen bewerteten Veränderungen sämtlicher als relevant zu erachtenden Vermögenskomponenten zu Null saldieren!⁶

Diese allgemeine Nachhaltigkeitsregel wird die Grundlage der im folgenden zu erörternden theoretischen Struktur von Indikatoren einer nachhaltigen Entwicklung darstellen. Sie wird in Abschnitt 3 im Rahmen eines formalen Modells exemplarisch konkretisiert und ausführlich interpretiert. Im Vergleich zu den zuvor erörterten ökologischen Vermögensbewahrungsregeln ist sie insbesondere deshalb von einem höheren Allgemeinheitsgrad, da sie in ihrer zweiten Priorität auch die Einbeziehung *sozialer* Komponenten des Vermögens ermöglichen wird, für die es in der Literatur bislang keine den obigen ökologischen Kriterien vergleichbaren Vermögensbewahrungsregeln gibt.

⁶ Diese Formulierung trägt der egalitären Gerechtigkeitskonzeption Rawls‘ im strengen Sinne Rechnung. Eine schwächere Version im Sinne nichtsinkender Wohlfahrt liefe auf einen nichtnegativen Saldo hinaus.

3. Zur formalen Struktur eines Nachhaltigkeitsindikators

Im folgenden bezeichne $U(t)$ die Wohlfahrt einer menschlichen Generation in einem Zeitpunkt t . Ferner gelte die Notation $\dot{x}(t) := dx(t)/dt$ für jede beliebige Variable x . Dann verlangt die Definition einer nachhaltigen Entwicklung des Abschnitts 2 beginnend mit dem Gegenwartszeitpunkt $t = 0$:

$$(1) \quad \dot{U}(t) = 0, \forall t \geq 0.$$

Die Wohlfahrt sei eine in allen Argumenten stetig differenzierbare und monoton wachsende Funktion

$$(2) \quad U(t) = U(C(t), G(t)),$$

wobei die Größe C den aggregierten Konsumstrom menschengemachter Güter repräsentiere. Die Bestandsgröße G bezeichne ein soziales Gut, namentlich den Gesundheitszustand der Menschen.

Die Konsumgüterproduktion basiert auf einem menschengemachten Kapitalbestand K sowie auf dem Extraktionsstrom E aus dem Bestand einer nichterneuerbaren natürlichen Ressource (z. B. aus einem fossilen Brennstoffvorrat). Es gelte für das Sozialprodukt Y :⁷

$$(3) \quad Y(t) = Y(K(t), E(t)) = K^\alpha(t)E^\beta(t), \alpha, \beta \in (0, 1), \alpha + \beta < 1, \alpha > \beta.$$

Die Extraktion der nichterneuerbaren Ressource mindert deren Bestand X in vollem Umfang und irreversibel:

$$(4) \quad \dot{X}(t) = -E(t).$$

Darüber hinaus verursacht die produktive Nutzung der nichterneuerbaren Ressource als Kuppelprodukt einen Schadstoffstrom S (z. B. Verbrennungsrückstände fossiler Energieträger), der sich im Zeitablauf in einem Umweltmedium akkumuliert (z. B. in der Atmosphäre). Bei gegebenem Resourceninput E kann allerdings der produktionsbedingte Schadstoffausstoß durch Emissionsvermeidungsmaßnahmen D verringert werden (z. B. durch den Einbau von Rauchgasfiltern). Für den Schadstoffstrom gelte daher:⁸

⁷ Die Annahme $\alpha > \beta$ gewährleistet die Erreichbarkeit des Nachhaltigkeitsziels (1) im vorliegenden Modell. Siehe hierzu die Erläuterungen im Anschluß an Gleichung (11) unten.

⁸ Eine Bindung der Schadstoffemissionen an die produktive Nutzung nichterneuerbarer natürlicher Ressourcen, wie sie in (5) angenommen wird, wurde bislang in der Literatur in Zusammenhang mit dem Nachhaltigkeitsproblem nicht betrachtet.

$$(5) \quad S(t) = S(E(t), D(t)) .$$

Die Funktion S sei stetig differenzierbar in beiden Argumenten, monoton wachsend in E und monoton fallend in D . Es sei jedoch nicht möglich, den Produktionsprozeß durch Vermeidungsaktivitäten völlig ‚rein‘ zu gestalten: Ein positiver Ressourceninput E führe stets zu positiven Schadstoffausstößen.

Die Schadstoffausstöße akkumulieren sich in einem Umweltmedium. In Anlehnung an Becker (1982) wird die Qualität bzw. die Reinheit dieses Umweltmediums durch eine Bestandsgröße N abgebildet. Je höher (geringer) N , desto geringer (höher) ist die Schadstoffkonzentration in diesem Medium. Die Umweltmedienqualität regeneriere sich mit einer bestandsabhängigen Rate R .⁹ Unter Berücksichtigung der Schadstoffemissionen gelte daher:

$$(6) \quad \dot{N}(t) = R(N(t)) - S(t), \quad R(\underline{N}) = 0, \quad R < 0 \text{ und } N \rightarrow 0 \text{ falls } N < \underline{N} > 0 .$$

Hierbei bezeichnet \underline{N} den Reinheitsgrad (bzw. diejenige Schadstoffkonzentration), dessen Unterschreitung zum vollständigen und irreversiblen Verlust der Regenerationsfähigkeit führen müßte.¹⁰ Die Funktion R sei stetig differenzierbar in N .

Die Schadstoffbelastung des Umweltmediums wirkt sich negativ auf den Gesundheitszustand G aus. Dem steht die Möglichkeit entgegen, durch medizinische Versorgungsleistungen M den Gesundheitszustand zu verbessern. Es gelte daher für die Entwicklung des Gesundheitszustandes im Zeitablauf:¹¹

$$(7) \quad \dot{G}(t) = F(M(t)) - Q(N(t)), \quad \lim_{N \rightarrow 0} Q = \infty .$$

Die Funktionen F und Q seien stetig differenzierbar, F monoton wachsend in M , hingegen Q monoton fallend in N . Es ist zu beachten, daß die medizinischen Leistungen M (zumindest teilweise) dem Bereich der Defensivaktivitäten zuzuordnen sind, da sie geeignet sind, den negativen Wohlfahrts- effekt der Schadstoffemissionen zu kompensieren.

tet. Asako (1980, S. 160) modelliert vielmehr die Emissionen in Abhängigkeit vom Produktionsniveau, vom Kapitalverschleiß und vom Konsum. Becker (1982) sieht in den Emissionen ein Argument der Produktionsfunktion.

⁹ Mit Pearce und Turner (1990, S. 45) kann die Assimilationsfähigkeit eines Umweltmediums für Schadstoffe als erneuerbare natürliche Ressource aufgefaßt werden.

¹⁰ Vgl. zu derartigen Regenerationsmustern insb. Clark (1990).

¹¹ Zu einer in der gesundheitsökonomischen Literatur diskutierten Modellierung der zeitlichen Entwicklung des Gesundheitszustandes – allerdings ohne Berücksichtigung von Umwelteinflüssen – vgl. Breyer und Zweifel (1997, S. 65 ff.).

Für die Investitionen in den anthropogenen Kapitalbestand gelte:

$$(8) \quad \dot{K}(t) \leq Y(t) - C(t) - Z^E(E(t)) - Z^D(D(t)) - Z^M(M(t)).$$

Hierbei bilden die Funktionen Z^E , Z^D und Z^M die Kosten der Ressourcenextraktion, der Emissionsvermeidungsmaßnahmen bzw. der medizinischen Versorgung in Einheiten des produzierten Gutes ab. Sämtliche Kostenfunktionen seien stetig differenzierbar und monoton wachsend in ihren jeweiligen Argumenten.

Das Modell wird vervollständigt durch die Nichtnegativitätsbedingungen

$$(9) \quad C(t), E(t), D(t), M(t), K(t), X(t), N(t), G(t) \geq 0, \forall t \geq 0$$

sowie die Anfangsbedingungen

$$(10) \quad K(0) = K^0 > 0, X(0) = X^0 > 0, N(0) = N^0 > \underline{N}, G(0) = G^0 > 0.$$

In dem durch (2) bis (10) beschriebenen Modellkontext ist nun die allgemeine Nachhaltigkeitsregel des Abschnitts 2 zu konkretisieren. Diese verlangt in erster Priorität, ein Erreichen kritischer Bestände relevanter Vermögenskomponenten zu vermeiden. Im vorliegenden Modellkontext genügt, wie im folgenden gezeigt wird, das Qualitätsniveau \underline{N} des Umweltmediums der Definition eines kritischen Bestandes, da sein Erreichen eine nachhaltige Entwicklung gemäß (1) ausschließt. Bezeichnet man partielle Ableitungen durch Subskripten, so resultiert durch Differentiation von (2) nach der Zeit für die Veränderung der Wohlfahrt im Zeitablauf:

$$(11) \quad \dot{U}(t) = U_C(t)\dot{C}(t) + U_G(t)\dot{G}(t).$$

Das Erreichen des Bestandsniveaus \underline{N} impliziert mit (6) den irreversiblen Verlust der natürlichen Regenerationsfähigkeit. Da mit (3) zur Aufrechterhaltung der Produktion weiterhin die nichterneuerbare natürliche Ressource produktiv genutzt werden müßte, wäre mit (5) und (6) das Unterschreiten des Bestandes \underline{N} unausweichlich. Somit resultierte mit (6) $N \rightarrow 0$. Mit (7) implizierte dies $\dot{G} \rightarrow -\infty$ und daher mit (11) $\dot{U} \rightarrow -\infty$. Das Nachhaltigkeitskriterium (1) wäre verletzt. Somit ist das Qualitätsniveau \underline{N} des Umweltmediums „kritisch“.

Ungeachtet der Existenz eines kritischen Bestandsniveaus und trotz der Nichterneuerbarkeit des natürlichen Produktionsfaktors ist unter den getroffenen Annahmen eine gemäß (1) nachhaltige Entwicklung grundsätzlich erreichbar. Dies sei anhand eines Beispiels erläutert, wobei davon ausge-

gangen wird, daß die produktiven Anfangsbestände K^0 und X^0 , groß genug sind, um die im folgenden zu fixierenden Größen gemäß (8) zu finanzieren.

Werden für alle $t \geq 0$ die Schadstoffemissionen auf dem Niveau $R(N^0)$ fixiert, so verharrt mit (6) die Umweltmedienqualität für alle Zeiten auf dem Niveau N^0 . Werden zudem die medizinischen Leistungen gerade auf dem Niveau fixiert, das für alle $t \geq 0$ $F(M) = Q(N^0)$ gewährleistet, so verharrt mit (7) der Gesundheitszustand auf dem Niveau G^0 . Daher wäre mit (11) eine konstante Wohlfahrt erreichbar, wenn auch der Konsum C für alle $t \geq 0$ konstant gehalten werden könnte.

Die Annahme $\alpha > \beta$ in (3) gewährleistet, daß trotz stetiger Verknappung des nichterneuerbaren natürlichen Produktionsfaktors ein Absinken der Produktion gegen Null über entsprechende Investitionen in anthropogene Kapitalgüter auch langfristig vermieden werden kann (vgl. Solow, 1974). Da mit den oben im Rahmen des vorliegenden Beispiels getroffenen Annahmen die Kosten Z^M in der Einkommensverwendungsgleichung (8) im Zeitablauf konstant sind und darüber hinaus bei einem annahmegemäß konstanten Emissionsniveau und unausweichlich sinkenden Extraktionsmengen E die Extraktionskosten Z^E und die Emissionsvermeidungskosten Z^D in (8) jeweils sinken, kann für alle $t \geq 0$ ein positiver Konsum (mindestens) aufrechterhalten¹² und daher das Nachhaltigkeitsziel (1) verwirklicht werden.

Die erste Priorität der allgemeinen Nachhaltigkeitsregel läßt sich daher konkretisieren zu einer Kennzahl I^1 :

$$(12) \quad I^1(t) := N(t) - \underline{N} > 0, \forall t \geq 0.$$

Die Kennzahl I^1 gibt die Abweichung der aktuellen Qualität des Umweltmediums von ihrem kritischen Niveau wieder. Sie muß gemäß (12) für eine nachhaltige Entwicklung stets positiv sein.

Oberhalb der kritischen Umweltmedienqualität läßt sich die zweite Priorität der allgemeinen Nachhaltigkeitsregel konkretisieren zu einer Kennzahl I^2 :¹³

$$(13) \quad I^2(t) := \dot{K}(t) + Y_E^n(t)\dot{X}(t) + \theta^N(t)\dot{N}(t) + \theta^G(t)\dot{G}(t) = 0, \forall t \geq 0.$$

¹² Selbst wenn unter den im Beispiel getroffenen Annahmen aufgrund der Rückgänge der Extraktions- und Emissionsvermeidungskosten ein sogar steigender Konsum realisierbar wäre, ermöglichte die in (8) implizit getroffene Annahme des ‚free disposal‘ die Möglichkeit eines konstanten Konsums (und damit die Verwirklichung des ‚streng‘ ausgelegten Rawls-Kriteriums).

¹³ Im Anhang wird gezeigt, daß – oberhalb der kritischen Umweltmedienqualität und bei intertemporal effizienter Nutzung sämtlicher Ressourcen – die Einhaltung der Gleichung (13) eine nachhaltige Entwicklung gemäß (1) gewährleisten würde.

Diese zweite Kennzahl I^2 repräsentiert den Saldo der bewerteten Bestandsveränderungen sämtlicher als relevant erachteten Vermögenskomponenten. Sie muß gemäß (13) für eine nachhaltige Entwicklung stets Null betragen. Hierbei gilt unter Vernachlässigung der Zeitdimension:

$$(14) \quad \theta^N := -Z'^D / S_D ;$$

$$(15) \quad \theta^G := Z'^M / F' ;$$

$$(16) \quad Y_E^n := Y_E - Z'^E - \theta^N S_E .$$

In (14) repräsentiert θ^N die marginalen Kosten einer Verbesserung der Umweltqualität durch zusätzliche Emissionsvermeidungsmaßnahmen in Einheiten des produzierten Gutes. Analog stellt in (15) θ^G die marginalen Kosten einer Verbesserung des Gesundheitszustandes im Wege zusätzlicher medizinischer Leistungen dar. Ferner ist in (16) Y_E^n die Netto-Grenzproduktivität der nichterneuerbaren natürlichen Ressource. Hierbei wird die Brutto-Grenzproduktivität Y_E korrigiert um die marginalen Ressourcenentnahmekosten Z'^E . Ferner ist berücksichtigt, daß eine marginale Erhöhung des Ressourceninputs E Schadstoffemissionen gemäß S_E entfaltet. Die hiermit verbundenen Kosten lassen sich in Einheiten des produzierten Gutes repräsentieren, indem durch Multiplikation mit θ^N diejenige Schmälerung des Produktionszuwachses ermittelt wird, die im Sinne hypothetischer Vermeidungskosten gemäß (8) durch potentielle zusätzliche Emissionsvermeidungsmaßnahmen hervorgerufen würde.

Die Gleichung (13) stellt eine modellspezifische Hartwick-Regel dar. Die Hartwick-Regel schreibt vor, die produktiven (Netto-)Renten der Netto-Bestandsrückgänge aller relevanten nicht-produzierten Vermögenskomponenten in reproduzierbares Kapital zu investieren (vgl. Hartwick, 1978b, S. 85; Dixit, Hammond und Hoel, 1980). Die produktive Netto-Rente des nichterneuerbaren natürlichen Produktionsfaktors (der zweite Summand auf der linken Seite von (13)) resultiert durch Multiplikation der Netto-Bestandsveränderung \dot{X} mit der Netto-Grenzproduktivität Y_E^n . Hingegen würde im Falle des Umweltmediums, das nicht als Produktionsfaktor modelliert ist, die Tolerierung eines Bestandsrückgangs potentielle Einsparungen bei den Emissionsvermeidungskosten ermöglichen. Daher wird die produktive Netto-Rente einer Veränderung \dot{N} der Umweltmedienqualität durch Multiplikation mit den Grenzkosten θ^N einer Verbesserung der Umweltmedienqualität im Wege zusätzlicher Emissionsvermeidungsmaßnahmen ermittelt (der dritte Summand auf der linken Seite von (13)). Analog ist die Veränderung \dot{G} des Gesundheitszustandes mit den Grenzkosten θ^G zu multiplizieren (der vierte Summand auf der linken Seite der Gleichung (13)).

Die Kennzahl I^2 entspricht dem Wert der aggregierten Netto-Investitionen, nach Cansier und Richter (1995a, S. 233) „entscheidender Indikator“ einer nachhaltigen Entwicklung im Rahmen des neoklassischen Ansatzes. Dieser Stellenwert ändert sich im hier um das Kriterium der kritischen ökologischen Vermögensbewahrung modifizierten neoklassischen Ansatz: Die Kennzahlen I^1 und I^2 bilden *gemeinsam* den Indikator einer gemäß (1) nachhaltigen Entwicklung. Der Indikator ist somit mehrdimensional. Er umfaßt zwei hierarchische Kennzahlen, die mit Hilfe der Gleichungen (12) und (13) zu berechnen sind.

4. Abschließende Bemerkungen

Mit dem vorliegenden Aufsatz sollte ein Beitrag zur theoretischen Bearbeitung der Thematik von ‚Indikatoren einer nachhaltigen Entwicklung‘ geleistet werden. Hierbei wurden zwei Gesichtspunkte in den Vordergrund gestellt, die bereits im jetzigen Forschungsstadium von unmittelbarer politischer Relevanz sind:

Erstens entsprechen die in den modelltheoretischen Ausführungen unter dem Stichwort des ‚kritischen Naturkapitals‘ diskutierten Aspekte einer Einbeziehung der Vorstellung der ‚ökologischen Leitplanken‘ in die wirtschaftstheoretische Auseinandersetzung mit der Nachhaltigkeitsproblematik. Der mit ihrer Hilfe zu markierende ‚ökologische Korridor‘, so die hier vertretene Auffassung, definiert die Spielräume und Grenzen des wirtschaftlichen und sozialen Entwicklungsprozesses. Dieser Gesichtspunkt konnte in der vorliegenden Arbeit lediglich exemplarisch beleuchtet werden. Er ist jedoch von modellübergreifender Bedeutung, denn ähnliche Restriktionen dürften auch bei anderen Umweltphänomenen als der im Modell betrachteten kritischen Schadstoffkonzentration in einem Umweltmedium relevant sein. Über die ökologischen Aspekte hinaus dürften sich zudem Analogien bei der Einführung eines wirtschaftlichen Existenzminimums ergeben.

Es ist zweitens zentral, daß der vorliegende Beitrag der Konzeption der ökologischen Leitplanken Rechnung trägt, jedoch wesentlich darüber hinausgeht: Die bloße Einhaltung des ökologischen Korridors ist notwendig, aber nicht hinreichend für eine nachhaltige Entwicklung. Denn es ist unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten nicht gleichgültig, was *innerhalb* des Korridors geschieht. Vielmehr ist aus den modelltheoretischen Überlegungen zusätzlich eine Regel für die Verwendung des Sozialproduktes ableitbar, die die Konstanz des gesellschaftlichen Gesamtvermögens gewährleistet. Erst die simultane Berücksichtigung der durch den ökologischen Korridor markierten Grenzen *und* letzterer Regel ist hinreichend für eine nachhaltige Entwicklung. Hierbei ist insbesondere zu beachten, daß innerhalb des öko-

logischen Korridors jeglicher Naturvermögensverbrauch *wertäquivalent* ersetzt werden muß. In diesem Zusammenhang kann in solchen Fällen, in denen bei der ‚korrekten‘ Bewertung natürlicher Güter nicht auf beobachtbare Marktpreise vertraut werden darf, auf die bekannten Verfahren zur monetären Bewertung von Umweltgütern bzw. -schäden zurückgegriffen werden (vgl. hierzu z. B. Freeman, 1993; Ewers und Rennings, 1996; Endres und Holm-Müller, 1998). Zwar sind diese keineswegs unproblematisch (vgl. ebd.). Dies gilt jedoch nicht minder für alternative Vorschläge zur Handhabung der Aggregationsproblematik wie etwa den sog. ‚Rates-to-Goals-Ansatz‘ (vgl. hierzu z. B. Cansier und Richter, 1995b; Cansier, 1996a, S. 307 f.).

Als Ersatz für etwaige Reduzierungen einzelner Naturvermögenskomponenten kommen sowohl menschengemachte Kapitalgüter als auch soziale Güter sowie grundsätzlich andere natürliche Güter in Frage. Indem unsere modelltheoretischen Ausführungen – über den Gesichtspunkt des ökologischen Korridors hinaus – diesen zweiten Aspekt betonen, regen sie eine quantitative Wertediskussion an. Diese dient dem Ziel, die politisch relevante aber bislang kaum operationalisierte Frage, ob wir ‚vom Kapital leben‘, überprüfbar und einer rationaleren Diskussion zugänglich zu machen. Sollte sich zeigen, daß diese Frage gegenwärtig mit ‚ja‘ beantwortet werden muß, bieten die Ergebnisse der Wertediskussion ein Informationssystem, das es erlaubt, die (innerhalb des ökologischen Korridors) eingetretenen Fehlentwicklungen zu korrigieren.

Abschließend ist darauf hinzuweisen, daß die voranstehenden Überlegungen die Problematik geeigneter *Indikatoren* einer nachhaltigen Entwicklung fokussierten. Allerdings sind die Aussichten für eine *Realisierung* einer nachhaltigen Entwicklung – selbst unter der Annahme, daß geeignete Indikatoren verfügbar sind – nicht ohne weiteres als günstig einzuschätzen. Weicht der nachhaltige Entwicklungspfad der Wirtschaft vom bei gegebenen Präferenzen der Gegenwartsgeneration wohlfahrtsoptimalen Pfad ab, so kann eine nachhaltige Entwicklung nur realisiert werden, wenn die Gegenwartsgeneration um der zukünftigen Generationen willen bereit ist, Nutzenverzichte hinzunehmen. In einem demokratischen System lautet die entscheidende Frage, ob die Bevölkerung bereit ist, die Bedürfnisse zukünftiger Generationen als Restriktionen bei ihrer eigenen Nutzenmaximierung zu respektieren.¹⁴ Wenn die Neigung der Industriestaaten, eine egalitäre Gerechtigkeitsvorstellung bei der *intragenerativen* Verteilung der Ressourcen der Welt herbeizuführen, als Indikator für ihren Willen zu einer *intergenerativ* egalitären Verteilung dienen kann, so stehen die Chancen für eine nachhaltige Entwicklung schlecht.

¹⁴ In undemokratischen Systemen fragt es sich natürlich, warum die Herrschenden ausgerechnet die Bedürfnisse der künftigen Generationen zur Maxime ihres Handelns erheben sollten.

Befürworter des Konzepts einer nachhaltigen Entwicklung mögen dennoch die Hoffnung nicht aufgeben: Naturgemäß ist das Bild von einer optimalen wirtschaftlichen Entwicklung im Sinne einer wohlfahrtsmaximierenden Gegenwartsgeneration von den Präferenzen dieser Generation abhängig. Je umweltbewußter diese Generation ist, desto besser stehen die Aussichten dafür, daß eine wohlfahrtsoptimale Entwicklung aus Sicht dieser Generation ‚nebenbei‘ die Restriktionen einhält, die um der Existenz künftiger Generationen willen respektiert werden müssen. Dieser Aspekt wird in der ökonomischen Literatur bisher zu wenig beachtet. Traditionsgemäß erklären Ökonomen Verhaltensänderungen eher als Effekte sich ändernder Handlungsrestriktionen bei gegebenen Präferenzen. Im Zusammenhang mit den Problemen einer nachhaltigen Entwicklung könnte jedoch das Phänomen des ‚Wertewandels‘ und seine Induktion von erheblicher Bedeutung sein.

Anhang

Im folgenden wird gezeigt, daß oberhalb der kritischen Umweltmedienqualität die Beachtung der modellspezifischen Hartwick-Regel (13) in Verbindung mit drei modifizierten Solow-Stiglitz-Bedingungen (vgl. ursprünglich Solow, 1974; Stiglitz, 1974) für eine intertemporal effiziente Nutzung der nichterneuerbaren natürlichen Ressource, des Umweltmediums sowie der sozialen Ressource Gesundheit eine im Zeitablauf konstante Wohlfahrt gewährleisten.

Die Solow-Stiglitz-Bedingungen lassen sich aus dem Problem

$$\max \int_{t=0}^{\infty} U(t)e^{-\delta t} dt \text{ u. d N. (4), (6) bis (10)}$$

herleiten, wobei $\delta > 0$ die Diskontrate repräsentiert. Im folgenden wird der Übersichtlichkeit halber die Zeitdimension nicht mehr explizit notiert. Über die momentanwertige Hamilton-Funktion

$$\begin{aligned} H = & U(C, G) + \kappa(Y(K, E) - C - Z^E(E) - Z^D(D) - Z^M(M)) - \chi E \\ & + \nu(R(N) - S(E, D)) + \gamma(F(M) - Q(N)) \end{aligned}$$

erhält man die neben (4) sowie (6) bis (8) für eine innere Lösung notwendigen Bedingungen:

$$(A1) \quad 0 = H_C = U_C - \kappa, \forall t \geq 0;$$

$$(A2) \quad 0 = H_E = \kappa Y_E - \kappa Z'^E - \chi - \nu S_E, \forall t \geq 0;$$

$$(A3) \quad 0 = H_D = -\kappa Z'^D - \nu S_D, \forall t \geq 0;$$

$$(A4) \quad 0 = H_M = -\kappa Z'^M + \gamma F', \forall t \geq 0;$$

$$(A5) \quad \dot{\kappa} = -H_K + \delta\kappa = (\delta - Y_K)\kappa, \forall t \geq 0;$$

$$(A6) \quad \dot{\chi} = -H_X + \delta\chi = \delta\chi, \forall t \geq 0;$$

$$(A7) \quad \dot{\nu} = -H_N + \delta\nu = (\delta - R')\nu + \gamma Q', \forall t \geq 0;$$

$$(A8) \quad \dot{\gamma} = -H_G + \delta\gamma = \delta\gamma - U_G, \forall t \geq 0.$$

Mit $\hat{x}(t) := \dot{x}(t)/x(t)$ für jede beliebige Variable x folgt aus (A5) mit (A1):

$$(A9) \quad \hat{U}_C = \delta - Y_K, \forall t \geq 0.$$

Ferner folgt aus (A6) mit (A1) bis (A3) sowie (14) und (16):

$$(A10) \quad \hat{U}_C + \hat{Y}_E^n = \delta, \forall t \geq 0.$$

Durch Gleichsetzen von (A9) und (A10) resultiert:

$$(A11) \quad \hat{Y}_E^n = Y_K, \forall t \geq 0.$$

Gleichung (A11) stellt eine modifizierte Solow-Stiglitz-Bedingung für eine intertemporal effiziente Nutzung der nichterneuerbaren natürlichen Ressource dar. In Analogie zur Herleitung der Gleichung (A11) erhält man aus (A7) und (A8) mit (A1), (A3), (A4), (A9) sowie (14) und (15) die entsprechenden Bedingungen für das Umweltmedium sowie für die soziale Ressource Gesundheit:

$$(A12) \quad \hat{\theta}^N + R' - \theta^G Q'/\theta^N = Y_K, \forall t \geq 0;$$

$$(A13) \quad \hat{\theta}^G + U_G/U_C \theta^G = Y_K, \forall t \geq 0.$$

Differenziert man die Hartwick-Regel (13), die Produktionsfunktion (3) sowie – bei strikter Gleichheit – die Einkommensverwendungsgleichung (8) nach der Zeit und setzt unter Verwendung von (4) bis (7) sowie (14) bis (16) die Resultate sowie erneut (13) in (11) ein, so resultiert nach einigen Umformungen:

$$(A14) \quad \dot{U} = U_C Y_E^n \dot{X} (\hat{Y}_E^n - Y_K) + U_C \theta^N \dot{N} (\hat{\theta}^N + R' - \theta^G Q'/\theta^N - Y_K)$$

$$+ U_C \theta^G \dot{G} (\hat{\theta}^G + U_G/U_C \theta^G - Y_K), \forall t \geq 0.$$

Sind die Solow-Stiglitz-Bedingungen (A11) bis (A13) erfüllt, so nehmen die Klammerterme auf der rechten Seite der Gleichung (A14) den Wert Null an und es gilt $\dot{U}(t) = 0$ für alle $t \geq 0$.

Es ist einzuräumen, daß die obigen Schlußfolgerungen unter der Annahme gelten, daß im vorliegenden Modell zumindest ein Pfad existiert, der für alle $t \geq 0$ simultan der Hartwick-Regel (13) und den Solow-Stiglitz-Bedingungen (A – 11) bis (A – 13) genügt. Dies ist keineswegs unproblematisch in solchen Modellen, die mehrere Argumente der Wohlfahrtsfunktion berücksichtigen (siehe Burmeister und Hammond, 1977; Becker, 1982).

Literatur

- Aronsson, T. / Johansson, P.-O. / K.-G. Löfgren* (1997), Welfare Measurement, Sustainability and Green National Accounting, Cheltenham - Brookfield.
- Asako, K.* (1980), Economic Growth and Environmental Pollution under the Max-Min Principle, *Journal of Environmental Economics and Management* 7, 157 - 183.
- Asheim, G. B.* (1986), Hartwick's Rule in Open Economies, *Canadian Journal of Economics* 19, 395 - 402.
- (1994), Net National Product as an Indicator of Sustainability, *Scandinavian Journal of Economics* 96, 257 - 265.
- Atkinson, G. / R. Dubourg / K. Hamilton / M. Munasinghe / D. Pearce / C. Young* (1997), Measuring Sustainable Development: Macroeconomics and the Environment, Cheltenham - Lyme.
- Barbier, E. B. / A. Markandya* (1990), The Conditions for Achieving Environmentally Sustainable Development, *European Economic Review* 34, 659 - 669.
- Becker, R. A.* (1982), Intergenerational Equity: The Capital-Environment Trade-Off, *Journal of Environmental Economics and Management* 9, 165 - 185.
- Breyer, F. / P. Zweifel* (1997), Gesundheitsökonomie, 2. Aufl., Berlin.
- Buchholz, W.* (1984), Intergenerationelle Gerechtigkeit und erschöpfbare Ressourcen, Berlin.
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (Hrsg.) (1996), Umweltökonomische Gesamtrechnung: Zweite Stellungnahme des Beirats Umweltökonomische Gesamtrechnung, Bonn.
- BUND und Misereor (Hrsg.) (1996), Zukunftsfähiges Deutschland: Ein Beitrag zu einer global nachhaltigen Entwicklung, Studie des Wuppertal-Instituts für Klima, Umwelt, Energie GmbH, Basel - Boston - Berlin.
- Burmeister, E. / P. J. Hammond* (1977), Maximin Paths of Heterogeneous Capital Accumulation and the Instability of Paradoxical Steady States, *Econometrica* 45, 853 - 870.
- Cansier, D.* (1995), Nachhaltige Umweltnutzung als neues Leitbild der Umweltpolitik, *Hamburger Jahrbuch für Wirtschafts- und Gesellschaftspolitik* 40, 129 - 149.

- (1996a), Umweltökonomie, 2. Aufl., Stuttgart.
 - (1996b), Ökonomische Indikatoren für eine nachhaltige Umweltnutzung, in: H. G. Kastenholz, K.-H. Erdmann und M. Wolff (Hrsg.), Nachhaltige Entwicklung: Zukunftschancen für Mensch und Umwelt, Berlin.
- Cansier, D. / W. Richter* (1995a), Erweiterung der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung um Indikatoren für eine nachhaltige Umweltnutzung, Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht 18, 231 - 260.
- (1995b), Nicht-Monetäre Aggregationsmethoden für Indikatoren der nachhaltigen Umweltnutzung, Zeitschrift für angewandte Umweltforschung 8, 326 - 337.
- Charles, A. T.* (1994), Towards Sustainability: The Fishery Experience, Ecological Economics 11, 201 - 211.
- Clark, C. W.* (1990), Mathematical Bioeconomics: The Optimal Management of Renewable Resources, 2. Aufl., New York.
- Costanza, R.* (Hrsg.) (1991), Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability, New York – Oxford.
- Daly, H. E.* (1989), Toward a Measure of Sustainable Social Net National Product, in: Y. L. Ahmad, S. El Serafy und E. Lutz (Hrsg.), Environmental Accounting for Sustainable Development, Washington/DC.
- Deutscher Bundestag (1996), Stand der Umweltökonomischen Gesamtrechnung, Antwort der Bundesregierung auf eine Große Anfrage im Bundestag, Drucksache 13/ 2395, Bonn.
- Dixit, A. / P. Hammond / M. Hoel* (1980), On Hartwick's Rule for Regular Maximin Paths of Capital Accumulation and Resource Depletion, Review of Economic Studies 47, 551 - 556.
- Endres, A.* (1993), A Sketch on 'Sustainability', Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht 16, 177 - 183.
- (1994), Umweltökonomie: Eine Einführung, Darmstadt.
- Endres, A. / K. Holm-Müller* (1998), Die Bewertung von Umweltschäden: Theorie und Praxis sozioökonomischer Verfahren, Stuttgart.
- Endres, A. / I. Querner* (1993), Die Ökonomie natürlicher Ressourcen: Eine Einführung, Darmstadt.
- Endres, A. / V. Radke* (1998), Indikatoren einer nachhaltigen Entwicklung: Elemente ihrer wirtschaftstheoretischen Fundierung, Berlin.
- Ewers, H.-J. / K. Rennings* (1996), Quantitative Ansätze einer rationalen umweltpolitischen Zielbestimmung, in: H. Siebert (Hrsg.), Elemente einer rationalen Umweltpolitik: Expertisen zur umweltpolitischen Neuorientierung, Tübingen.
- Faber, M. / R. Manstetten / J. L. R. Proops* (1996), Ecological Economics: Concepts and Methods, Cheltenham/UK – Brookfield/US.
- Freeman, A. M. III* (1993), The Measurement of Environmental and Resource Values: Theory and Methods, Washington/DC.
- Hampicke, U.* (1992), Ökologische Ökonomie, Opladen.
- Hartwick, J. M.* (1977), Intergenerational Equity and the Investing of Rents from Exhaustible Resources, American Economic Review 67, 972 - 974.

- (1978a), Substitution Among Exhaustible Resources and Intergenerational Equity, *Review of Economic Studies* 45, 347 - 354
- (1978b), Investing Returns from Depleting Renewable Resource Stocks and Intergenerational Equity, *Economics Letters* 1, 85 - 88.

Hicks, J. R. (1946), Value and Capital, 2. Aufl., Oxford.

Klemmer, P. (1996), Das Prinzip der Nachhaltigkeit: Neuere stoffpolitische Ansätze, List Forum für Wirtschafts- und Finanzpolitik 22, 313 - 330.

Nutzinger, H. G. / V. Radke (1995), Das Konzept der nachhaltigen Wirtschaftsweise: Historische, theoretische und politische Aspekte, in: H. G. Nutzinger (Hrsg.), Nachhaltige Wirtschaftsweise und Energieversorgung: Konzepte, Bedingungen, Ansatzpunkte, Marburg.

*Pan, J. (1994), A Synthetic Analysis of Market Efficiency and Constant Resource Stock for Sustainability and its Policy Implications, *Ecological Economics* 11, 187 - 199.*

*Pearce, D. W. / G. D. Atkinson (1993), Capital Theory and the Measurement of Sustainable Development: An Indicator of 'Weak' Sustainability, *Ecological Economics* 8, 103 - 108.*

Pearce, D. W. / R. K. Turner (1990), Economics of Natural Resources and the Environment, New York u. a..

Pearce, D. W. / J. J. Warford (1993), World Without End: Economics, Environment, and Sustainable Development, Oxford u. a..

Pezzey, J. (1992), Sustainable Development Concepts: An Economic Analysis, World Bank Environment Paper Number 2, Washington/DC.

Radke, V. (1995a), Nachhaltige Entwicklung: Ökonomische Implikationen, Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik 214, 289 - 301.

- (1995b), Sustainable Development: Eine ökonomische Interpretation, *Zeitschrift für angewandte Umweltforschung* 8, 532 - 543.

- (1996a), Ökonomische Aspekte nachhaltiger Technologie: Zur Bedeutung unterschiedlicher Ausprägungen des technischen Fortschritts für das Konzept des Sustainable Development, *Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht* 19, 109 - 128.

- (1996b), Erschöpfliche Ressourcen, Kapitalakkumulation und Flächennutzung, *Jahrbuch für Wirtschaftswissenschaften* 47, 154 - 165.

- (1997), Sustainable Development: Konzept und Indikatoren aus wirtschaftstheoretischer Sicht, *Habilitationsschrift, FernUniversität Hagen.*

Rawls, J. (1971), A Theory of Justice, Cambridge / MA.

Rennings, K. (1994), Indikatoren für eine dauerhaft-umweltgerechte Entwicklung, Stuttgart.

*Rennings, K. / H. Wiggering (1997), Steps Towards Indicators of Sustainable Development: Linking Economic and Ecological Concepts, *Ecological Economics* 20, 25 - 36.*

Richter, W. (1994), Monetäre Makroindikatoren für eine nachhaltige Umweltnutzung, Marburg.

- Solow, R. M. (1974), Intergenerational Equity and Exhaustible Resources, *Review of Economic Studies (Symposium on the Economics of Exhaustible Resources)*, 29 - 45.
- SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen) (1994), *Umweltgutachten 1994: Für eine dauerhaft-umweltgerechte Entwicklung*, Stuttgart.
- (1996), *Umweltgutachten 1996: Zur Umsetzung einer dauerhaft-umweltgerechten Entwicklung*, Bonn.
- Stiglitz, J. E. (1974), Growth with Exhaustible Natural Resources: Efficient and Optimal Growth Paths, *Review of Economic Studies (Symposium on the Economics of Exhaustible Resources)*, 123 - 137.
- Ströbele, W. (1984), *Wirtschaftswachstum bei begrenzten Energieressourcen*, Berlin.
- United Nations (1993), *Earthsummit: Agenda 21, the United Nations Programme of Action from Rio*, New York.
- Walz, R. / K. Ostertag / N. Block (1995), Synopse ausgewählter Indikatorenansätze für Sustainable Development, Bericht im Rahmen des Forschungsvorhabens ‚Weiterentwicklung von Indikatorensystemen für die Umweltberichterstattung‘ des Umweltbundesamtes, Karlsruhe.
- Zapf, W. (Hrsg.) (1974), *Soziale Indikatoren: Konzepte und Forschungsansätze*, 2 Bde., Frankfurt – New York.
- Zimmermann, H. (1995), Das Ökosozialprodukt – kein neues Gesamtmaß, *Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht* 18, 261 - 268.

Zusammenfassung

Die Zahl der Ansätze zur Bildung von Indikatoren einer nachhaltigen Entwicklung ist in den letzten Jahren sprunghaft angestiegen. Kritisiert worden ist allerdings die unzureichende theoretische Fundierung dieser Ansätze. Der vorliegende Aufsatz soll einen Beitrag zur Behebung dieses Mangels leisten. Im Rahmen eines ökonomischen Modells, das exemplarisch sowohl wirtschaftliche und natürliche als auch soziale Aspekte des Nachhaltigkeitsgrundsatzes thematisiert, wird die theoretische Struktur eines Nachhaltigkeitsindikators beschrieben. Die Implikationen ‚kritischer Niveaus‘ natürlicher Ressourcenbestände werden analysiert.

Abstract

There has been an increasing number of approaches to design indicators of sustainable development. However, the lacking theoretical basis of these approaches has been criticized. This paper contributes to the overcoming of this deficiency. Within an economic model, the theoretical structure of an indicator of sustainable development is described. Economic, ecological and social aspects of sustainable development are taken into consideration. The implications of ‚critical levels‘ of natural resource stocks are analyzed.

JEL-Klassifikation: O 13