

# **Forschungsstelle für Umweltpolitik (FFU)**

Freie Universität Berlin  
Fachbereich Politik- und Sozialwissenschaften  
Otto-Suhr-Institut für Politikwissenschaft

## **FFU-Report 99-5**

### **Wachstum, Strukturwandel und Umweltschutz**

Manfred Binder

Entstanden im Rahmen des DFG-Forschungsprojektes  
„Erfolgsbedingungen umweltentlastenden Strukturwandels:  
Internationale Fallstudien zu ausgewählten Grundstoffindustrien“

Forschungsstelle für Umweltpolitik  
Innestraße 22  
14195 Berlin  
Tel.: +49 - (0)30 - 838 66 87  
Fax +49 - (0)30 - 838 66 85  
e-mail: [ffu@www.fu-berlin.de](mailto:ffu@www.fu-berlin.de)  
e-mail: [mbinder@zedat.fu-berlin.de](mailto:mbinder@zedat.fu-berlin.de)  
Internet: <http://www.fu-berlin.de/ffu>



# INHALTSVERZEICHNIS

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>OUR COMMON SENSE: SUSTAINABLE DEVELOPMENT</b>   | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>ZUR TYPOLOGIE UMWELTPOLITISCHER STRATEGIEN</b>  | <b>3</b>  |
| 2.1      | KOMPONENTENZERLEGUNG VON UMWELTBELASTUNG.....  | 3         |
| 2.2      | VORSORGENDER UMWELTSCHUTZ ALS SOZIALWISSENSCHAFTLICHER, NICHT<br>TECHNISCHER IMPERATIV ..... | 7         |
| 2.3      | INTERDEPENDENZ DER KOMPONENTEN .....   | 10        |
| <b>3</b> | <b>UMWELTPRODUKTIVITÄT UND WIRTSCHAFTSLEISTUNG</b>   | <b>12</b> |
| 3.1      | LANGFRISTIGE ENTKOPPLUNG: DAS PENSUM .....   | 12        |
| 3.2      | UMWELT- UND ARBEITSPRODUKTIVITÄT IM VERGLEICH.....   | 13        |
| 3.3      | VON EINER TECHNISCHEN ZU EINER SOZIALEN SICHT VON INNOVATIONEN .....                         | 15        |
| <b>4</b> | <b>DIE ÖKOLOGISCHE KUZNETS-KURVE</b>   | <b>17</b> |
| 4.1      | DIE HYPOTHESE DER ÖKOLOGISCHEN KUZNETS-KURVE UND IHRE ALTERNATIVEN.....                      | 17        |
| 4.2      | DIE AGGREGIERTE UMWELTBELASTUNG .....  | 21        |
| 4.3      | DIE WOHLSTANDSBEDINGTE STRUKTUR DER UMWELTBELASTUNG.....                                     | 23        |
| 4.4      | PROBLEME DER EMPIRISCHEN ÜBERPRÜFUNG.....  | 25        |
| 4.4.1    | <i>Spezifikation der Regressionsgleichung:</i> .....   | 25        |
| 4.4.2    | <i>Ländervergleiche</i> .....  | 27        |
| 4.4.3    | <i>Datenqualität</i> .....   | 31        |
| <b>5</b> | <b>WACHSTUM UND STRUKTURWANDEL IN DEN WESTLICHEN<br/>INDUSTRIELÄNDERN SEIT 1960</b>          | <b>32</b> |
| 5.1      | ZUR BEDEUTUNG VON “DIRTY INDUSTRIES” .....   | 33        |
| 5.2      | DIE LANGFRISTIGE ENTWICKLUNG DER MATERIALVERBRÄUCHE.....                                     | 36        |
| <b>6</b> | <b>SCHLUß</b>  | <b>40</b> |
| <b>7</b> | <b>LITERATUR</b>   | <b>41</b> |

**VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN:**

|               |   |    |
|---------------|---|----|
| Abbildung 1:  | Wechselbeziehungen von Einflußfaktoren auf die Umweltbelastung.....   | 10 |
| Abbildung 2:  | Lineare Funktionen.....   | 18 |
| Abbildung 3:  | Potenzfunktionen.....   | 18 |
| Abbildung 4:  | Quadratische Funktionen ohne Absolutglied .....   | 19 |
| Abbildung 5:  | Quadratische Funktionen mit Absolutglied.....   | 19 |
| Abbildung 6:  | Kubische Funktionen.....  | 19 |
| Abbildung 7:  | Andere Kuznets-Kurven.....  | 20 |
| Abbildung 8:  | Globale Emission ozonschichtschädlicher Substanzen.....   | 20 |
| Abbildung 9:  | Kubische Regression bei nichtkubischen Kuznetskurven.....   | 26 |
| Abbildung 10: | Landesspezifische Kuznetskurven mit im Zeitverlauf fallenden y-<br>Achsenabschnitten .....  | 29 |
| Abbildung 11: | Landesspezifische Kuznetskurven mit gleichzeitiger Trendwende.....  | 31 |
| Abbildung 12: | Anteile besonders umweltbelastender Industrien und des Verarbeitenden<br>Gewerbes insgesamt am BIP und am Endenergieverbrauch in OECD-<br>Ländern 1992..... | 35 |
| Abbildung 13: | Materialverbräuche und BIP in den OECD (24)-Staaten 1960-95 (1973=100)..  | 37 |
| Abbildung 14: | Materialverbrauchsintensitäten in OECD (24)-Ländern 1960-95 (1973=100) ...  | 39 |

# 1 Our Common Sense: Sustainable Development

Der Begriff „nachhaltige“ oder „dauerhafte Entwicklung“ (sustainable development) hat sich seit Erscheinen von „Our Common Future“, dem Bericht der Brundtland-Kommission (Weltkommission für Umwelt und Entwicklung 1987), als gemeinsame rhetorische Klammer der Umweltdiskussion etabliert. Bezeichnet wird damit eine möglichst gerechte und den Wohlstand aller Menschen steigernde Entwicklung, die ihre eigenen Grundlagen nicht zerstört, folglich dauerhaft ist.<sup>1</sup> Die dabei der Forstwirtschaft entlehnte Leitidee der „Nachhaltigkeit“ trägt der Einsicht Rechnung, daß es für wachsenden Wohlstand in zunehmendem Maße nötig ist, der Regeneration natürlicher Quellen und Senken gleiche Aufmerksamkeit zu widmen wie ihrer Nutzung – ähnlich wie für eine auf Dauer ausgerichtete Holzwirtschaft Aufforstung und Pflege des Waldes ebenso wichtig ist wie der Holzeinschlag. Das Gegenteil von Nachhaltigkeit wäre Raubbau.

Da die – in dieser Form vagen – Ziele Gerechtigkeit, Wohlstand und Dauerhaftigkeit (bzw. Sozial-, Wirtschafts- und Umweltverträglichkeit) von niemandem als nicht wünschenswert betrachtet werden, brachte das Bekenntnis zu diesen Zielvorstellungen vor allem zum Ausdruck, daß

- das gleichzeitige Erreichen dieser Ziele durchaus problematisch, aber
- prinzipiell möglich sei und
- diesen Zielen höhere Priorität gebühre als anderen, womöglich konkurrierenden Zielen.

So verstanden, wäre die Einigung der internationalen Staatengemeinschaft und der sie beratenden Wissenschaft auf dieses Zielbündel nicht gar so trivial und beliebig, wie es sonst erscheinen müßte: Ausgeschlossen wären dabei etwa die Einschätzung von Umweltschutz als einem bloßen Luxusgut als auch asketische Forderungen nach Wohlstandsverzicht zugunsten von Umwelt- und Ressourcenschutz. Doch blieb die unterstellte Zielvereinbarkeit in Wirklichkeit durchaus strittig, und das Konzept läßt offen, was geschehen soll, wenn etwa Gerechtigkeit nur zu Lasten von Wohlstandssteigerung, Umweltschutz nur zu Lasten von Gerechtigkeit, Reichtum nur zu Lasten seiner Dauerhaftigkeit etc. möglich wäre. Die Leitidee „sustainable development“ im Sinne der Brundtland-Kommission unterstellt, daß derartige Zielkonflikte *bei vernünftiger Politik* allenfalls Randprobleme darstellen und daß es dementsprechend eines Konsenses über die moralische Lösung derartiger Zielkonflikte nicht unbedingt bedarf. In diesem Sinne konnte sich das Leitbild „sustainable development“ nicht wirklich als Konsens durchsetzen, weswegen der Begriff häufig nur als – seit je unstrittige – Norm, nicht aber als implizite Lageeinschätzung Zustimmung findet.

---

<sup>1</sup> Die klassische Charakterisierung im Brundtland-Bericht spricht von „einer Entwicklung, die den gegenwärtigen Bedarf zu decken vermag, ohne gleichzeitig späteren Generationen die Möglichkeit zur Deckung des ihren zu verbauen“ (Weltkommission für Umwelt und Entwicklung 1987: 9f.), bzw.: „Dauerhafte Entwicklung will die Bedürfnisse und Ziele der Gegenwart verwirklichen, ohne die Fähigkeit zu verlieren, dies auch in der Zukunft zu verfolgen. Es geht nicht um ein Ende des wirtschaftlichen Wachstums, sondern darum anzuerkennen, daß die Probleme von Armut und Unterentwicklung nur gelöst werden können in einer Ära des Wachstums, in dem die Entwicklungsländer eine entscheidende Rolle spielen und Erfolge erzielen“ (ebenda: 44).

Die umweltpolitische Debatte war von Anbeginn mit geprägt von einer grundsätzlichen Wachstumsskepsis, die den steigenden Wohlstand als teuer, womöglich *zu* teuer erkaufte betrachtete.<sup>2</sup> So hatte schon in den fünfziger Jahren K. William Kapp (vgl. Kapp 1988) in kritischer Absicht abzuschätzen versucht, inwieweit die privatwirtschaftliche Wohlstandssteigerung „soziale“ Kosten verursache, d.h. Kosten, die nicht in den ökonomischen Kalkülen und Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen auftauchten und ganz überwiegend Resultat von Umweltbelastungen seien. Die Wachstumskritik wurde durch die Langzeitprognosen von Forrester, Meadows u.a. dramatisiert, die durch Fortschreibung unterstellter Trends zu geradezu apokalyptischen Ergebnissen für das 21. Jahrhundert gelangten (Forrester 1971, Meadows u.a. 1972).

Demgegenüber beschränkte sich die umweltpolitische Praxis lange Zeit weitgehend auf den Einsatz bloß additiver „End-of-Pipe“-Maßnahmen zur Reparatur eingetretener Umweltschäden und zur Entsorgung giftiger und gefährlicher Stoffe, obwohl schon früh weitgehend Einigkeit darin bestand, dies nur als eine unzureichende Übergangslösung anzusehen. So schrieb die westdeutsche Bundesregierung bereits 1971 in ihrem Umweltprogramm:

„In der Wirtschaft setzt sich in steigendem Maße die Erkenntnis durch, daß es auf die Dauer billiger ist, Umweltschäden von vornherein zu vermeiden, als künftig zu ihrer oft kostspieligeren Beseitigung herangezogen zu werden.“ (Umweltschutz 1972: 49)

Eine grundsätzliche Umorientierung in Politik und Wirtschaft ist aber immer noch nur in Ansätzen zu erkennen (Coenen/Klein-Vielhauer/Meyer 1996), obwohl nachsorgender Umweltschutz

- Probleme häufig zeitlich und räumlich nur verschiebt, aber nicht löst,
- für viele Probleme gar nicht (z.B. Klimaschutz) oder nur in unzureichendem Maße (z.B. Abfallmanagement) technisch möglich ist,
- unnötig teuer ist, Alternativen mitunter nicht nur billiger, sondern sogar kostensenkend wären (OECD 1985: 87f., Antes 1988: 73ff.; Huisingh 1988, Weizsäcker/Lovins/Lovins 1995)
- und so bürokratisch-industrielle Komplexe mit einem Interesse an der Vermarktung statt der Vermeidung der Probleme geschaffen werden (Jänicke 1979, 1986).

Die Mehrzahl der Beobachter findet sich zwischen den genannten Extremen: Einerseits wird die wachstumskritische Position so nur von wenigen geteilt und statt dessen auf die Möglichkeit der Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Umweltzerstörung durch technischen Fortschritt verwiesen. Andererseits traut kaum jemand dem nachsorgenden Umweltschutz allein eine dauerhafte und alle wesentlichen Umweltprobleme umfassende Entkopplung zu.

Die vorliegende Arbeit dient vorrangig der begrifflichen Präzisierung und der theoretischen Klärung der aufgeworfenen Fragen. Häufig genug setzen Untersuchungen implizit schon bestimmte Standpunkte in dieser Debatte voraus, ohne daß mögliche Alternativen benannt oder gar einer

---

<sup>2</sup> Ich beschränke mich hier auf die Zeit nach dem Zweiten Weltkrieg. Die Skepsis sowohl gegenüber der Dauerhaftigkeit von Wachstumsprozessen als auch deren Nützlichkeit war aber unter den Ökonomen davor keineswegs selten. Prominente Wachstumsskeptiker waren nicht nur Thomas Malthus, sondern z.B. auch Adam Smith, John Stuart Mill, Karl Marx und John Maynard Keynes (Pavitt 1973). Die typische Zeitperspektive von wenigstens einem halben Jahrhundert bis zum voraussichtlichen Ende der Wachstumsepoche ähnelte dabei durchaus den Prognosezeiträumen etwa der Weltmodelle von Meadows u.a.

empirischen Überprüfung unterzogen würden. Kapitel 2 differenziert analytisch gesellschaftliche Einflußfaktoren auf die Umweltbelastung und ihre Wechselbeziehungen, sowie die daran ansetzenden umweltpolitischen Strategien. Insbesondere der Stellenwert des wirtschaftlichen Strukturwandels und einer ihn beeinflussenden ökologischen Struktur- oder Industriepolitik wird hierbei präzisiert. Kapitel 3 formuliert die anzustrebende Entkopplung von Umweltverschmutzung von der Wirtschaftsleistung als Steigerung der Umweltproduktivität und setzt sie in Bezug zur Steigerung der Arbeitsproduktivität, welche im wesentlichen die Basis des Wirtschaftswachstums darstellt. Anhand der Hypothese der „ökologischen Kuznetskurve“ werden in Kapitel 4 die Schwierigkeiten diskutiert, den Zusammenhang von Umweltbelastung und Wirtschaftsleistung in präzise Modelle zu fassen und damit empirische Tests überhaupt erst zu ermöglichen. Kapitel 5 schließlich präsentiert Daten zum Zusammenhang von Wirtschaftsleistung und umweltrelevantem Strukturwandel in den Industrieländern.

## 2 Zur Typologie umweltpolitischer Strategien

### 2.1 Komponentenzerlegung von Umweltbelastung

Modelle für die Verursachung von Umweltbelastungen – z.B. Emissions- und Energiemodelle – folgen im Grundsatz zumeist einer einfachen Logik: Zunächst wird die gesamte Umweltbelastung  $U$  dargestellt als Summe sektoraler Belastungen  $u_i$  (Disaggregation), die dann im zweiten Schritt modelliert werden als Produkt aus sektoralem Aktivitätsniveau  $a_i$  und sektoraler Umweltintensität  $u_i/a_i$  (= spezifischer Umweltbelastung bzw. -verbrauch), d.h. Umweltbelastung je Aktivitätseinheit des Sektors (Dekomposition; Gleichung 1). Handelt es sich bei den Sektoren um Wirtschaftsbranchen, wird als Aktivitätsindikator z.B. die sektorale Wertschöpfung herangezogen, bei der Umweltbelastung des privaten Straßenverkehrs die gefahrenen Kilometer, eventuell multipliziert mit der Anzahl der beförderten Personen etc.:

Gleichung 1

$$U = \sum_i \frac{u_i}{a_i} * a_i$$

Diese Logik liegt nicht nur mathematischen Modellen zugrunde, sondern ist praktisch Allgemeinut der interessierten Öffentlichkeit geworden. Dieses analytische Schema steht im Hintergrund der wichtigsten Grundpositionen im Umweltdiskurs:

- Die ursprüngliche Hypothese in „Grenzen des Wachstums“ (Meadows et al. 1972) basierte auf exponentiell wachsenden Aktivitätsniveaus  $a_i$  und konstanten spezifischen Umweltbelastungen  $u_i/a_i$ . Das Ergebnis waren – insofern wenig überraschend – exponentiell wachsende Umweltbelastungen.
- Die modifizierten Meadows-Modelle räumten gewisse, politikinduzierte Verringerungen der spezifischen Umweltverbräuche ein, die aber letztlich durch die stetig anwachsenden Aktivitäten mehr als ausgeglichen werden. Dieser Ausgleich wird auch als „rebound-effect“ be-

zeichnet (Networks for People and their Communities 1996), mitunter aber nur, wenn das Sinken der Umweltintensität die *Ursache* der sie kompensierenden Aktivitätssteigerung ist (Benking et al. 1996, s.u.)<sup>3</sup>.

- Die Ansicht, Umweltschäden durch Wachstum würden auch ohne radikale gesellschaftliche Veränderungen durch Innovationen (mehr als) ausgeglichen, firmiert seit einigen Jahren unter dem Signum „Öko-Optimismus“ (Maxeiner/Miersch 1996, Easterbrook 1995).

Eine Erweiterung des Modells bietet sich an für die Analyse von Umweltbelastungen, die allein durch die Aktivität von Wirtschaftsbranchen entstehen: Hier macht man sich häufig zunutze, daß die Aktivität der Branchen in vergleichbaren, nämlich monetären Einheiten gemessen werden kann, meist der Bruttowertschöpfung, wodurch es möglich wird, als zusätzliche Komponente die Zusammensetzung der gesamten Volkswirtschaft einzufügen:

Gleichung 2

$$U = \sum_i \frac{u_i}{v_i} * \frac{v_i}{BIP} * BIP$$

Demnach ist die gesamte Umweltbelastung in einer Volkswirtschaft  $U$  gleich der Summe der Umweltbelastungen ihrer Sektoren  $u_i$ . Diese können wiederum dargestellt werden als Produkt aus sektoraler Umweltintensität (sektoraler Umweltbelastung  $u_i$  dividiert durch sektorale Wertschöpfung  $v_i$ ), Anteil des Sektors am Bruttoinlandsprodukt (sektorale Wertschöpfung  $v_i$  dividiert durch die Summe aller sektoralen Wertschöpfungen  $BIP$ ) und der Höhe des Bruttoinlandsprodukts  $BIP$ . Dieser Komponentenzerlegung in (a) sektorale Umweltintensität, (b) Struktur i.S.v. Zusammensetzung der Ökonomie und (c) Höhe der Wirtschaftsleistung entsprechen die grundsätzlichen umweltpolitischen Optionen (a) umweltschonende Innovation, (b) ökologischer Strukturwandel und (c) Wohlstandsverzicht<sup>4</sup>.

Diese recht grobe Analyse kann beliebig verfeinert werden, z.B. in Hinblick auf die oben schon erwähnte und in der Umweltdebatte häufig hervorgehobene Unterscheidung zwischen „additiven“ und „integrierten“ umweltschützenden Innovationen (vgl. Binder/Jänicke 1994). Ähnliche, z.T. synonym verwendete Begriffspaare sind „nachsorgende / vorsorgende Technik“ oder „clean up / clean technologies“ (oder vorsichtiger „cleaner technologies“). Allgemein lassen sich umweltpolitische Optionen formal typologisieren (vgl. Gerau 1978: 117ff., Jänicke 1986: 77f.; Abb. 5) in

<sup>3</sup> Beispielsweise wurden die Leistungssteigerungen in der Computertechnologie bislang nicht dazu genutzt, mit weniger Computern dieselbe Rechnerleistung zu erzeugen, sondern es wurden umgekehrt viele Anwendungsbeispiele so überhaupt erst erschlossen, mit dem Ergebnis, daß heute sehr viel mehr Computer verwendet werden als zuvor. Nicht trotz, sondern *wegen* der Produktivitätssteigerung wurden in diesem Fall mehr Computer-Ressourcen verwendet. Eine andere wichtige Ursache für rebound-Effekte sind sunk costs: Wenn die Ressourcen schon gefördert, die technischen Anlagen zu ihrer Verarbeitung schon erstellt sind etc. – wenn also die Kosten der Ressourcennutzung größtenteils schon bezahlt wurden –, führen Einsparungserfolge kurzfristig nur zur Suche nach anderen Verwendungsmöglichkeiten für diese Ressource, auch zu Preisen weit unter Herstellungskosten.

<sup>4</sup> Das Bruttoinlandsprodukt ist, streng genommen, ein Indikator für die Wirtschaftsleistung und nicht für den Wohlstand, da es auch investive Ausgaben enthält. Zudem wäre ohnehin zu fragen, ob unter dem Wohlstand einer Nation tatsächlich ihr laufendes Einkommen und nicht ihr Vermögensbestand zu verstehen ist.



1. Reparatur / Sanierung (z.B. Altlastensanierung),
2. Entsorgung (z.B. Filter, Klärwerke, Deponien),
3. Integrierter Umweltschutz (z.B. Energiesparen),
4. Ökologischer *intrasektoraler* Strukturwandel,
5. Ökologischer *intersektoraler* Strukturwandel und
6. Wohlstandsverzicht.

Diese Aufzählung ist vollständig und bei entsprechender Operationalisierung trennscharf. Betrachten wir zunächst eine Umweltschädigung, die durch einen oder mehrere Schadstoffe hervorgerufen wird, die ihrerseits bei der Herstellung verschiedener Produkte in verschiedenen Wirtschaftsbranchen entstehen und derer man sich auf unterschiedliche Weise entledigen kann. Beispielsweise wird die Versauerung von Böden verursacht durch die Emission verschiedener Säurebildner (u.a. Schwefeldioxid und Stickoxide). Diese entstehen in verschiedenen Produktionsbereichen, u.a. bei der Erzeugung von Elektrizität, der Verhüttung von Metallerzen oder der Bereitstellung von Transportleistungen. Jede dieser Produktionsbereiche findet sich wiederum in einer oder mehrerer Wirtschaftszweige: Elektrizität wird etwa nicht nur von Energieversorgungsunternehmen erzeugt, sondern auch von großen industriellen Energienutzern in anderen Wirtschaftszweigen. Einmal entstanden, können diese Schadstoffe auf unterschiedliche Weise emittiert, entsorgt oder nutzbar gemacht werden: Schwefeldioxid kann in die Luft emittiert werden, in Rauchgasentschwefelungsanlagen zu Gips weiterverarbeitet werden, der wiederum in der Bauwirtschaft Verwendung finden kann oder deponiert werden muß, zu Schwefelsäure weiterverarbeitet werden etc. Jede dieser Entsorgungsweisen hat quantitativ als auch qualitativ verschiedene Umweltauswirkungen. Gleichung 3 erlaubt eine formale Analyse dieser komplexen Zusammenhänge:

Gleichung 3

$$U = \sum_{ijkl} \frac{u_{ijkl}}{e_{ijkl}} * \frac{e_{ijkl}}{s_{ijk}} * \frac{s_{ijk}}{p_{ij}} * \frac{p_{ij}}{v_i} * \frac{v_i}{BIP} * BIP$$

$u_{ijkl}$  steht dabei für die Umweltschädigung, die verursacht wird durch die Menge des Schadstoffes  $k$ , die bei der Erzeugung des Produktes  $j$  in Branche  $i$  entstanden ist und auf dem Entsorgungsweg  $l$  in die Umwelt gelangte.  $e_{ijkl}$  ist die Emission des Schadstoffes  $k$  in Branche  $i$  bei der Erzeugung von Produkt  $j$  auf dem Entsorgungsweg  $l$ .  $s_{ijk}$  ist die gesamte Schadstoffmenge  $k$ , die in Branche  $i$  bei der Erzeugung von Produkt  $j$  entstanden ist.  $p_{ij}$  ist die Menge des Produktes  $j$ , das in Branche  $i$  erzeugt wurde.  $v_i$  ist die Wertschöpfung des Sektors  $i$  und  $BIP$  die Wertschöpfung der gesamten Volkswirtschaft, das Bruttoinlandsprodukt.

Die gesamte Umweltschädigung  $U$  ergibt sich demnach als Summe aller schadstoff-produkt-branchen-entsorgungsweg-spezifischer Umweltschädigungen  $u_{ijkl}$ , die sich wiederum darstellen lassen als Produkte aus

1. der Schädlichkeit der jeweiligen Emission (Umweltschädigung  $u_{ijkl}$  dividiert durch die Emissionsmenge  $e_{ijkl}$ ),

2. dem Anteil der auf diese Weise in die Umwelt abgegebenen Emissionen an allen überhaupt entstandenen Schadstoffen (Emissionsmenge  $e_{ijkl}$  dividiert durch Schadstoffmenge  $s_{ijk}$ ),
3. der Schadstoffintensität der Produktion (Schadstoffmenge  $s_{ijk}$  dividiert durch die Produktmenge  $p_{ij}$ ),
4. der Bedeutung des Produkts für die jeweilige Branche (Produktmenge  $p_{ij}$  dividiert durch die Wertschöpfung des Sektors  $v_i$ ),
5. der Bedeutung der Branche für die gesamte Volkswirtschaft (Wertschöpfung des Sektors  $v_i$  dividiert durch das Bruttoinlandsprodukt BIP) und
6. der Größe der Volkswirtschaft (BIP).

Jeder dieser Faktoren kann sich ändern und kann beeinflußt werden, um die Umweltbelastung zu verringern: Man kann

1. den Schaden begrenzen, ohne die Emission zu verringern, z.B. durch die medizinische Behandlung von Gesundheitsschäden, Dekontamination verseuchter Böden etc. (*Reparatur oder after-the-pipe treatment*),
2. die Emission besonders umweltschädlicher Entsorgungswege reduzieren zugunsten harmloser oder gar nutzbringender Wege, ohne die Schadstoffmenge selbst zu beeinflussen (*Entsorgung oder end-of-the-pipe treatment*),
3. die im Prozeß entstehende Menge an Schadstoffen bei gleichbleibendem Produktionsoutput verringern, z.B. durch Energie- oder Materialeinsparungen (*integrierter Umweltschutz oder clean technology*),
4. den Anteil besonders umweltbelastend erzeugter Güter an der Wertschöpfung der Branche senken, z.B. durch stärkere Dienstleistungsorientierung, höhere Qualität der Produkte durch größere Wissensintensität, längere Lebensdauer etc. (*intra-sektoraler Strukturwandel*),
5. den Anteil besonders umweltbelastender Wirtschaftszweige („dirty industries“) am Bruttoinlandsprodukt senken (*inter-sektoraler Strukturwandel*),
6. die Wirtschaftsleistung selbst senken (bzw. ihr Wachstum) (*Wohlstandsverzicht*).

Es wäre präziser, aber eben auch ein wenig umständlicher, mit noch abstrakteren Begriffen zu operieren und z.B. statt von „Schadstoffen“ von „Schadenspotentialen“ zu reden, da es Umweltschäden gibt, die nicht Folge von Schadstoffeinträgen sind, z.B. Lärm oder die Überfischung von Gewässern. Dies ändert jedoch nichts am allgemeinen Schema: Um den Schaden eines Nervenzusammenbruchs aufgrund hoher Lärmbelastung zu verringern, können Beruhigungsmittel verabreicht (geringeres  $u/e$ ), Lärmschutz errichtet (geringeres  $e/s$ ) oder einfach weniger Lärm erzeugt (geringeres  $s$ , also geringeres  $s/p$  oder  $p/v$  oder  $v/\text{BIP}$  oder BIP) werden. Der Schaden durch den Raubbau natürlicher Ressourcen kann verringert werden, indem Substitute entwickelt oder entdeckt ( $u/e$ ), neue Lagerstätten exploriert ( $e/s$ ) oder die Ressourcenverbräuche gesenkt ( $s$ ) werden. Zudem kann der Begriff „Umweltbelastung“ in einem sehr weiten Sinn verstanden werden und z.B. auch die Zunahme der Wahrscheinlichkeit von Unfällen, Erkrankungen etc. beinhalten.

## 2.2 Vorsorgender Umweltschutz als sozialwissenschaftlicher, nicht technischer Imperativ

Die Typologie im vorhergehenden Abschnitt blieb normativ neutral: Welche Form des Umweltschutzes vorzuziehen ist, muß einer empirischen Analyse des Einzelfalles überlassen bleiben. Zumeist wird dem nicht-additiven Umweltschutz eine natürliche Überlegenheit über additive, also nachsorgende oder reparierende Herangehensweisen unterstellt: Nichtadditive Verfahren vermeiden demnach von vornherein die Entstehung von Schadstoffen bzw. Schadenspotentialen, wohingegen additive lediglich die Menge des an die Umwelt auf *einem* Entsorgungsweg abgegebenen Schadenspotentials (womöglich auch nur *eines* von zahlreichen Schadstoffen) bzw. dessen Wirkungen verringerten, vielleicht aber nur räumlich oder zeitlich verschöben. Aus der Klugheitsregel „Vorbeugen ist besser als heilen“ bezieht die Unterscheidung einen gut Teil seiner Attraktivität.

Diese Unterscheidung zwischen Schadstoffverwertung und Schadstoffvermeidung erscheint zunächst als unproblematisch, geradezu trivial. Aber das „Schadenspotential“ eines Stoffes, einer Handlung etc. ist keine bloße Eigenschaft, die ausweglos mit dem Stoff verbunden ist (wie etwa seine Dichte oder seine Toxizität), sondern eine Frage der Umstände, der Nutzungsmöglichkeiten, der Vermarktungschancen, des technischen Wissens etc. In der Sprache der obigen Typologie gesagt: Die Wahl des „Entsorgungsweges“ entscheidet nicht nur zwischen höheren oder niedrigeren Umweltschäden, sondern darüber, ob man überhaupt sinnvollerweise von einem Schadstoff sprechen soll oder nicht besser von einem Roh- bzw. Hilfsstoff. Dies allein unter der Rubrik Recycling zu diskutieren, wird dem Problem nicht gerecht, da nahezu jeder Stoff, der in der industriellen Produktion verwendet wird, unter bestimmten Umständen katastrophale Folgen für Umwelt und menschliche Gesundheit haben kann. Zu fordern, alle derartigen Stoffe lieber zu vermeiden als sinnvolle Verwendungsmöglichkeiten für sie zu nutzen (bzw. nach ihnen zu suchen), wäre absurd.

Besonders die Geschichte der chemischen Industrie kann in weiten Zügen beschrieben werden als aus der kontinuierlichen Weiterverarbeitung und Vermarktung vormaliger Abfallprodukte geboren (Henseling 1992): Aus Teer, dem Abfallprodukt der Kohlenutzung, entwickelte sich beispielsweise die Teerfarbenindustrie. Aus der bei der Sodaproduktion in Unmengen anfallenden Salzsäure resultierte die Chlorchemie (vgl. auch Schramm 1991). Als das nunmehr in der Chlor-Alkali-Elektrolyse gewonnene Chlor zum „Zielprodukt“ geworden war, verdrängte das dabei entstehende Kuppelprodukt, die Natronlauge, Soda aus diversen Marktsegmenten, um angesichts des Preis- und Ansehenverfalls von Chlor womöglich zum „Zielprodukt“ dieser Elektrolyse zu avancieren (Ahrens/Grießhammer 1993: 124).

Ein weiteres Beispiel stellt die Verhüttung von Erzen dar: Während in den meisten Ländern der fossile Brennstoffverbrauch Hauptquelle der Schwefeldioxidbelastung darstellt, entstammte noch 1980 in Kanada 67% der Emission aus industriellen Prozessen, ca. 41% allein aus der Verhüttung von Kupfer- und Nickelsulfaterzen (Environment Canada 1986: 213). In der Bundesrepublik und Japan wurde das in diesen Prozessen anfallende Schwefeldioxid hingegen schon lange

vorher zur Schwefelsäureherstellung verwendet, eine Folge der geringeren Entfernung zu den Schwefelsäureabnehmern (Hartje 1990: 152) – und dies kann angesichts der dabei gewonnenen Mengen und der wirtschaftlichen Bedeutung der Schwefelsäure kaum als Notlösung gelten! Selbst die Kuppelproduktion in einer Rauchgasentschwefelungsanlage unterscheidet sich davon im Prinzip nur graduell und wird auch unter der Rubrik „Kaskadenrecycling“<sup>5</sup> geführt (Sutter 1991: 53ff.), also als Recycling mit Qualitätsverlust angesehen („down-cycling“; vgl. auch Bongaerts u.a. 1993: 114ff.).

Häufig werden „Recycling“ und „Kreislaufwirtschaft“ geradezu als Inbegriff nichtadditiven Umweltschutzes betrachtet. In einem Papier der OECD (1987: 7) ist z.B. von der „closed-circuit production“ als „ultimate solution“ die Rede. Eine solche endgültige Lösung durch vollständige Kreislaufführung der verwendeten Stoffe ist, streng genommen, genauso wenig möglich wie ein Perpetuum Mobile. Um Stoffe zu recyceln, müssen sie aus Gemischen oder Verbindungen isoliert werden, wozu eine um so höhere Energie erforderlich ist, je reiner das Recyclingprodukt anfallen soll, da das System aus einem Zustand hoher Entropie („Unordnung“) in einen niedriger Entropie überführt werden muß, was nach dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik (Entropiegesetz) nur unter Energiezufuhr möglich ist. Mit dem Perfektionsgrad des Recyclings wächst die aufzuwendende Energiemenge exponentiell (vgl. Bästlein 1991: 114). Dabei kann sogar als Faustregel gelten, daß die häufiger diskutierte Wärmeentropie vergleichsweise „harmloser (ist) als Verdünnungs- und Durchmischungsentropie“ (Förstner 1993: 27). In jedem Fall wird die menschliche Ökonomie immer auf den Zustrom an niedriger Entropie aus der Natur und die Abgabe hoher Entropie an die Natur angewiesen sein. Wirtschaften wird immer ein Wirtschaften in und mit der Natur bleiben (vgl. Binswanger 1992).

Meist wird Recycling und partielle Kreislaufführung jedoch nicht gleichgesetzt mit integriertem Umweltschutz sondern als Bereich zwischen Entsorgung und integrierten Verfahren angesehen (Huber 1991: 118, Antes 1988: 70). Doch weder die Behandlung von Recycling als eigene Kategorie noch die Interpretation des Vermeidungs-Entsorgungsgegensatzes als kontinuierliches Spektrum löst die oben angesprochene Schwierigkeit, daß im Extremfall ein und derselbe Stoff, selbst wenn er in ein und demselben Verfahren entstanden ist, einmal unerwünschtes und hochgiftiges Abprodukt, ein anderes Mal mehr oder minder nützliches Nebenprodukt und schließlich auch eigentlicher Zweck des ganzen Verfahrens ist. Eine Charakterisierung anhand der naturwissenschaftlich-technischen Eigenschaften, sei es des Stoffes, sei es des Verfahrens, muß hier prinzipiell zum Scheitern verurteilt sein.

„Sucht man nach Beschreibungen für integrierten Umweltschutz, so wird der Verdacht auf Vagheit des Begriffs gestützt. (...) Diese Beschreibungen liefern keine Kriterien, aufgrund derer eine bestimmte Produktionsmethode entweder mit dem Ehrentitel ‚Integrierter Umweltschutz‘ versehen

---

<sup>5</sup> Der Begriff „Kaskadenrecycling“ bringt umgekehrt die überzogenen Erwartungen, die beim Thema Recycling bzw. „Kreislaufwirtschaft“ suggeriert werden, hübsch auf den Punkt: Eine Kaskade ist ein kleiner Wasserfall, wie er allenfalls in den paradoxen Bildern von M.C. Escher im Kreis geführt werden kann. In Wirklichkeit fallen Wasserfälle nicht im Kreis, und beim „Kaskadenrecycling“ handelt es sich um keinerlei Zyklus, sondern lediglich um eine Weiterverarbeitung von immer minderwertigeren Reststoffen.

werden kann oder nicht. Die meisten Produktionen werden Elemente beider Verfahren (integriert und additiv) enthalten und darüber hinaus Umweltgüter und Ressourcen in Anspruch nehmen. Was bleibt ist folgende Regel: So wenig Umweltbelastung und Ressourcenverbrauch wie möglich.“ (Strümpel/Longolius 1991: 74f.)

Doch die Vagheit und Mehrdeutigkeit der Begrifflichkeit entspringt nur der technischen Fixierung dieser Diskussion, die erwarten läßt, daß die Attribute „additiv“ oder „integriert“ als objektive Eigenschaften von Verfahren oder Produkten identifizierbar wären. Rein technisch betrachtet, ließe sich z.B. argumentieren, ein simpler Bleistift müsse als „integrierte“ Technik angesehen werden, da er weder Strom verbräuche, noch als chronischen Abfall Tonerkartuschen hinterlasse, noch die Ozonkonzentration in Innenräumen erhöhe, aber auch kein AIDS verursache. Der Hinweis auf letzteres erscheint grotesk, aber worin unterscheidet er sich technisch von den Charakterisierungen zuvor? Eine umweltschädliche Technik ebenso wie eine additive Umweltschutztechnik erkennt man daran, daß sie etwas *tut*, nämlich Schäden bzw. Schadenspotentiale verursachen oder beseitigen. Aber eine integrierte Technik müßte dadurch definiert werden, daß sie etwas *nicht* tut – und jede Technik tut immer unendlich viel *nicht*. Zu einer Umweltschutztechnik wird sie jedoch erst, wenn sie Alternativen ersetzt, die etwas Schädliches tun, was sie selbst zu tun unterläßt. Und so mag der Bleistift zwar eine – wie so oft unvollkommene – Alternative zu Strom und Toner verbrauchenden und Ozon verursachenden Laserdruckern sein. Aber eine Alternative zu etwas AIDS verbreitendem ist er nicht, und man wird ihm *deshalb* kaum das Gütesiegel „integrierte Technik“ verleihen wollen.

Die Unterscheidung zwischen additiven und integrierten Techniken hat eben dann einen eindeutigen Sinn, wenn sie zur Bezeichnung von Reaktionsweisen auf bestimmte, durch konkurrierende Alternativen verursachte Probleme verwendet wird: Gilt nicht nur die Belastung der Luft, sondern die schiere Existenz großer Mengen von Schwefeldioxid als Problem, so kann die Strategie zur Beseitigung dieses Problems entweder darin bestehen, die Entstehung des Schwefeldioxids überhaupt zu verhindern, oder darin, das Bestmögliche aus dem Schwefeldioxid zu machen. In Bezug auf dieses Schwefeldioxidproblem handelt es sich im ersten Fall um Vor-, im zweiten Fall um Nachsorge. Wird mit dem Verkauf von Schwefelsäure oder Gips mehr Gewinn erzielt als mit dem ursprünglichen Produktionsziel, ändert dies nichts daran, daß es sich *in Bezug auf das SO<sub>2</sub>-Problem* um additive Techniken handelt. Doch wird dies daran zweifeln lassen, daß der dann ja begehrte Stoff SO<sub>2</sub> „an sich“ ein Problem darstellt, ähnlich wie Fäkalien „an sich“ in der Landwirtschaft kein Problem darstellen und der Güllewagen deshalb hier nicht als Entsorgungstechnik angesehen wird. In jedem Fall kommt man nicht umhin, jeweils im Einzelfall die in dem obigen analytischen Schema verwendeten Begriffe kontextabhängig zu operationalisieren.

Es soll an dieser Stelle keineswegs bestritten werden, daß viele nachsorgende Maßnahmen lediglich Symptome bekämpfen, bloße Problemverlagerungen zur Folge haben oder auch nur unnötig teuer sind. Auch ist es durchaus plausibel anzunehmen, daß sehr viel häufiger nachsorgende als vorsorgende Maßnahmen auch dann eingesetzt werden, wenn sie ineffektiv oder ineffizient sind, doch gilt dies nicht aus technischen oder gar logischen, sondern aus sozialen Gründen: Je weiter rechts in Gleichung 3 (S. 5) Umweltschutz ansetzt, je „tiefgreifender“ eine Maßnahme also wirkt,

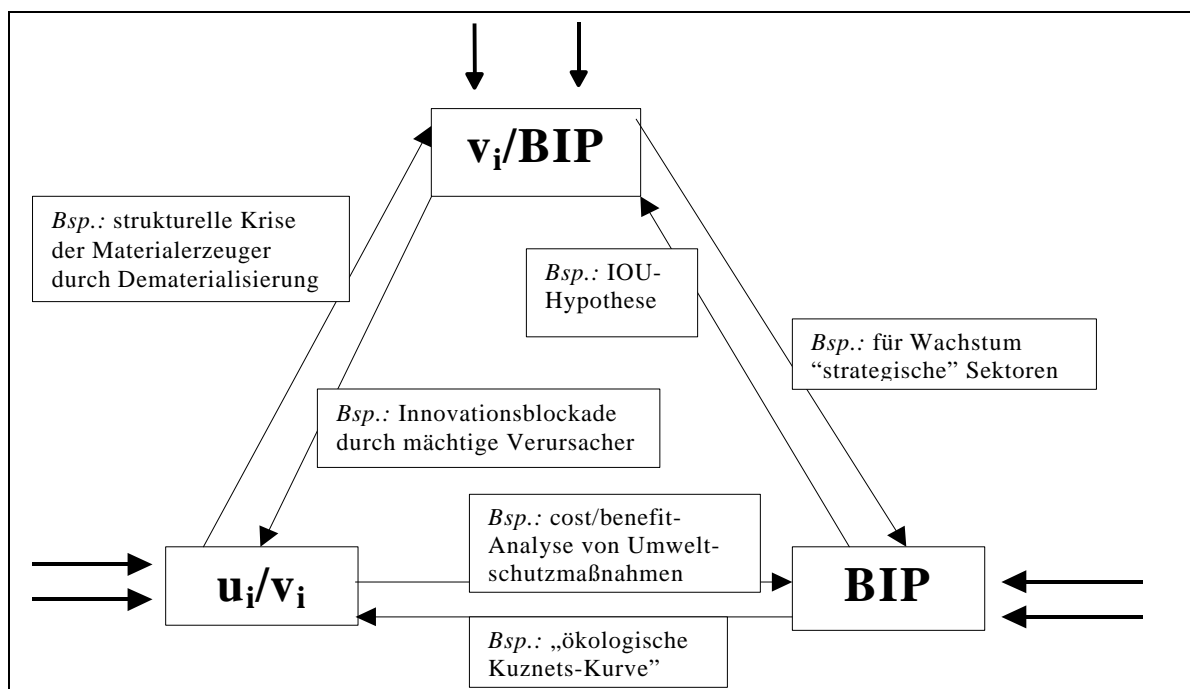
desto mehr Entscheidungen sind davon betroffen bzw. müssen revidiert werden, desto mehr Akteure sind involviert, desto mehr Interessen sind zu berücksichtigen. Je „vorsorgender“ eine Strategie ist, desto schwieriger ist sie umzusetzen, desto höher sind die organisatorischen Kosten bzw. Widerstände, desto ungewisser, weil komplexer sind Kosten- und Nutzenabwägungen von Maßnahmen, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, daß Maßnahmen, die ohne Berücksichtigung dieser Kosten und Widerstände sinnvoll erschienen, unterbleiben. Hinter der technisch-ökonomisch eigentlich haltlosen Präferenz für vorsorgenden oder integrierten Umweltschutz verbirgt sich dementsprechend das aus sozialwissenschaftlicher Sicht sinnvolle Ziel, die gesellschaftlichen Fähigkeiten, Umweltschutz zu organisieren, zu erhöhen. Kontraproduktiv wäre es hingegen, aus einer falsch, nämlich technizistisch verstandenen Abneigung gegen additive Techniken auf diese organisatorisch meist einfachsten Lösungen auch in jenen Fällen zu verzichten, in denen sie effektiv und effizient sind.

### 2.3 Interdependenz der Komponenten

Obige Komponentenzerlegung ist tautologisch, also selbstverständlich wahr. Dennoch kann sie irreführend sein, wenn nämlich damit unterstellt wird, die verschiedenen Komponenten wären faktisch unabhängig voneinander. Im folgenden sollen mithilfe der einfachen Unterscheidung aus Gleichung 2 (S. 4) plausible Interdependenzen der Komponenten diskutiert werden.

Für jede denkbare Wechselbeziehung zwischen den Niveaus der darin unterschiedenen drei Einflußgrößen auf die Umweltbelastung – sektorale Umweltintensitäten, strukturelle Zusammensetzung der Ökonomie und Höhe der Wirtschaftsleistung – können plausible Argumente angeführt werden, deren tatsächliche Relevanz nur empirisch überprüft werden kann. (vgl. Abbildung 1):

Abbildung 1: Wechselbeziehungen von Einflußfaktoren auf die Umweltbelastung



basierend auf der Gleichung  $u = u/v * v/BIP * BIP$  ( $u$  = Umweltverschmutzung durch eine Branche,  $v$  = Wertschöpfung dieser Branche,  $BIP$  = Wertschöpfung der ganzen Volkswirtschaft = Bruttoinlandsprodukt)

1. *Umweltintensitäten (u/v)  $\rightarrow$  Wirtschaftsstruktur (v/BIP)*: Die Umweltintensität eines Sektors zu ändern, impliziert in der Regel eine Änderung der Inputs in diesen und damit die Nachfrage nach Outputs anderer Sektoren. Beispielsweise verringern Ressourceneinsparungen die Märkte für Ressourcenlieferanten (primärer Sektor, Bergbau, Grundstoffindustrie), Energieeinsparungen die Absatzmärkte der Energiewirtschaft. Umgekehrt vergrößern additive Umweltschutzmaßnahmen die BIP-Anteile der „Umweltschutzindustrie“<sup>6</sup>.
2. *Umweltintensitäten (u/v)  $\rightarrow$  BIP*: Umweltschutz ist in der Regel nicht kostenneutral, sondern senkt die Kosten (bzw. steigert den Nutzen) von Umweltnutzern und verändert die Kostensituation der Verursacher u.a. durch zusätzliche Umweltschutzaufwendungen und eingesparte Ressourcenkosten. Erhöhte Kosten für Ressourcennutzung und Umweltverschmutzung verstärken die Anreize, technischen Fortschritt zur Steigerung der Ressourcenproduktivität auf Kosten der Arbeitsproduktivität (und damit ceteris paribus dem BIP, s.u. Abschnitt 3.2, S. 13) zu verwenden. Die wohlfahrtssteigernden und -senkenden Effekte von Maßnahmen monetär abzuschätzen, ist wesentliches Ziel von cost-benefit-Analysen. Dies impliziert auch Effekte auf die Größen der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung wie Netto- und Bruttosozial- bzw. -inlandsprodukt.
3. *Wirtschaftsstruktur (v/BIP)  $\rightarrow$  Umweltintensitäten (u/v)*: Ein großer Anteil einer Branche am Bruttoinlandsprodukt ist eine wichtige Determinante für ihre politische Macht, die genutzt werden kann, Reduzierungen von Umweltverbräuchen, die die Branche schädigen können, zu blockieren. Andererseits haben große Verursacher mitunter auch besonders hohe Anreize und – aufgrund von economies of scale – bessere Möglichkeiten, eine umweltschonende Vorreiterrolle zu übernehmen und sind insofern Ursache besonders geringer Umweltintensitäten.
4. *Wirtschaftsstruktur (v/BIP)  $\rightarrow$  BIP*: Insbesondere in der industriepolitischen Debatte wird häufig betont, daß nicht alle Sektoren in gleichem Maße für die Entwicklung der Wirtschaftsleistung verantwortlich sind. Als „strategische“ Sektoren wurden dabei früher eher Grundstoffindustrien, heute meist besonders know-how-intensive Branchen und/oder Branchen mit hohen Produktivitätsfortschritten identifiziert.
5. *BIP  $\rightarrow$  Wirtschaftsstruktur (v/BIP)*: Im Zuge der Entwicklung von Volkswirtschaften verändert sich typischerweise die Bedeutung einzelner Sektoren. Umweltpolitisch bedeutsam ist dabei insbesondere der allmähliche Bedeutungsverlustes des Dienstleistungssektors und die „intensity-of-use“ (IOU)-Hypothese. Diese behauptet, der Einsatz der meisten Materialien folge einem Produktzyklus, in dem dieser Materialeinsatz zunächst schneller als die Wirtschaftsleistung steigt, um danach in eine Phase mit sinkenden Materialintensitäten und schließlich absolut sinkenden Materialverbräuchen überzugehen, was mit einem entsprechenden Bedeutungsverlust der sie erzeugenden Industrien einher geht (vgl. Kapitel 5).

---

<sup>6</sup> Die „Umweltschutzindustrie“ ist jedoch üblicherweise zurecht kein in der Industriestatistik disaggregierter Sektor, da die Umweltschutzgüter und -dienstleistungen hierfür zu heterogen sind.

6. *BIP  $\propto$  Umweltintensitäten ( $u/v$ ):* Mit dem eben erwähnten Zusammenhang eng verwandt ist die Hypothese, daß Wirtschaftswachstum nur zeitweise zu einer Erhöhung der Umweltbelastung führe. Die im Zuge der Wirtschaftsentwicklung wachsende Sensibilität für ökologische Probleme und die durch sie wachsenden technischen und institutionellen Kapazitäten, sie zu lösen, resultierten aber letztlich in einem Sinken der Umweltbelastung („Environmental Kuznets Curve“, vgl. Kapitel 4, S. 17ff.).

Darüber hinaus ergeben sich Wechselwirkungen zwischen den Komponenten weniger aufgrund ihres Niveaus als aufgrund ihrer Dynamik: So ist unabhängig vom *Niveau* des Bruttoinlandsprodukts eine schnell wachsende Wirtschaft in der Regel nur mit einer hohen Investitionsquote möglich. Dies impliziert einerseits eine Struktur mit hohen Anteilen Investitionsgüter erzeugender und ihnen vorgelagerter Branchen, andererseits einen im Durchschnitt jüngeren und damit meist moderneren Kapitalstock. Eine schnell wachsende Ökonomie wird dementsprechend für gewöhnlich auch größere Veränderungen der Umweltintensitäten aufgrund technischen Wandels aufweisen. Insofern Branchen unterschiedlich schnell wachsen, wird ein höheres Wirtschaftswachstum außerdem meist mit stärkerem intersektoralen Wandel einher gehen. Für beide Wirkungen ungewöhnlich hohen Wirtschaftswachstums kann die japanische Entwicklung bis Ende der 80er Jahre als Paradefall dienen (Foljanty-Jost 1995, 1993).

### 3 Umweltproduktivität und Wirtschaftsleistung

#### 3.1 Langfristige Entkopplung: Das Pensum

Wachstumskritische Argumentationen wie die MIT-Weltmodelle von Forrester, Meadows u.a. prognostizieren einen ökologischen Zusammenbruch, weil angenommen wird, daß alle die Menschheit gefährdenden Prozesse – wie Umweltverschmutzung, Bevölkerungszahl, Ressourcenverbrauch – exponentiell, also mit konstanten Raten wachsen, alle gegenläufigen Entwicklungen wie Umweltschutz, Produktivitätsfortschritte in der Landwirtschaft etc. jedoch nur sporadische oder allenfalls lineare Veränderungen aufweisen können (Forrester 1971, Meadows u.a. 1972, 1974, 1992). Folglich betonten Kritiker wie Cole/Curnow (1973) und Bremer (1980), daß bei unspektakulärem, aber eben auch exponentiellem technischen Fortschritt in den verwendeten Weltmodellen nicht mit einem Zusammenbruch zu rechnen sei. Die Meadows-Gruppe hatte dies (in ihrer technischen Dokumentation) schon im Prinzip eingeräumt, allerdings lediglich für – in ihren Augen illusorische – jahresdurchschnittliche Wachstumsraten von 4% bei allen dem Zusammenbruch entgegenwirkenden Faktoren weltweit (Meadows u.a. 1974: 522ff.). Orientiert man sich am Wachstumsziel der Brundtland-Kommission von 3-4% für das Bruttosozialprodukt der Industrieländer, ergibt sich ein Zuwachs der Wirtschaftsleistung auf das 4-7-fache in 50 Jahren (Weltkommission für Umwelt und Entwicklung 1987: 55). Wenn darüber hinaus mit Schmidt-Bleek (1994) eine Reduzierung der absoluten jährlich neu erzeugten Umweltbelastung auf 10% erreicht werden soll, bedarf es einer Steigerung der Umweltproduktivität – der Wirt-



schaftsleistung je Einheit neu erzeugter Umweltbelastung – um den Faktor 14-17, d.h. jahresdurchschnittlich 5,5-5,8% Zuwachs.

Natürlich ist es nur begrenzt sinnvoll, von „der“ Umwelteffizienz bzw. -produktivität zu reden (Schmidt-Bleek operationalisiert dies mit dem Materialverbrauch). Gewiß sind verschiedene Umweltbelastungen auch verschieden zu behandeln: Während bei regenerativen Flußgrößen wie dem Wasserverbrauch – zumindest in unseren Breitengraden – schon eine Stabilisierung ökologisch verträglich wäre, sind bei sich akkumulierenden Schäden und absolut begrenzten, nicht regenerierbaren Ressourcen unter Umständen auch drastische Reduzierungen anzustreben (Jänicke 1993: 7).

### 3.2 Umwelt- und Arbeitsproduktivität im Vergleich

Eine Analogie soll die Relevanz des Problems und insbesondere seine wiederum weniger technische als soziale Dimension verdeutlichen: *Soll die ständig neu erzeugte Umweltbelastung auch nur konstant gehalten werden, muß auf Dauer die Effektivität im Umgang mit der Umwelt die im Umgang mit Arbeit übertreffen.* Diese Aussage ist wiederum tautologisch wahr und kann mit wenigen einfachen Formeln gezeigt werden.

Gleichung 4 
$$U = \frac{U}{BIP} * BIP$$

Verstehen wir unter der Umweltintensität die Umweltbelastung (U) je Einheit Wirtschaftsleistung (BIP), so ergibt die Multiplikation dieser Intensität (U/BIP) mit der gesamten Wirtschaftsleistung naturgemäß die gesamte Umweltbelastung (Gleichung 4).

Die Höhe der Wirtschaftsleistung läßt sich ihrerseits darstellen als Produkt aus durchschnittlicher Arbeitsproduktivität (BIP/Arb) – Wirtschaftsleistung (BIP) je geleistete Arbeitszeit (Arb) – und dem Arbeitsvolumen (geleistete Arbeitszeit = Anzahl der Erwerbstätigen multipliziert mit der durchschnittlichen Arbeitszeit; Gleichung 5).

Gleichung 5 
$$BIP = \frac{BIP}{Arb} * Arb$$

Anders gesagt: Solange der Einsatz des Faktors Arbeit technisch verbessert, also „wegrationalisiert“ wird, muß auch die Wirtschaftsleistung steigen – wenn das Arbeitsvolumen nicht sinken soll: Letzteres kann geschehen entweder durch die Verminderung der durchschnittlichen Lebensarbeitszeit je Erwerbstätigen (Arb/Erw), der Bevölkerungsgröße (Pop) oder der Erwerbsquote (Erw/Pop: z.B. durch höhere Arbeitslosigkeit oder Verminderung der Frauenerwerbstätigkeit; Gleichung 6).

Gleichung 6 
$$Arb = \frac{Arb}{Erw} * \frac{Erw}{Pop} * Pop$$

Obige Gleichung 5 verdeutlicht auch, daß es trügerisch wäre anzunehmen, wirtschaftliches Wachstum könne in Zukunft durch die Steigerung der Energie-, Rohstoff- oder Materialproduk-

tivität *anstatt* durch die Steigerung der Arbeitsproduktivität hervorgebracht werden. *Es kann pro Kopf nicht mehr verteilt werden als pro Kopf erwirtschaftet wird.* Das eine bestimmt das Einkommen und das andere die Produktivität. Genau genommen sind Durchschnittseinkommen und Durchschnittsproduktivität zwar nicht identisch, weil letztere nur auf die Beschäftigung (gemessen in Arbeitszeit oder – näherungsweise – Beschäftigte), erstere aber auf die Anzahl aller Einwohner (Pop) bezogen wird, also auch auf nicht formell Beschäftigte<sup>7</sup> (Gleichung 7).

Gleichung 7

$$\frac{BIP}{Pop} = \frac{BIP}{Arb} * \frac{Arb}{Pop}$$

Aber das bedeutet eben, daß das Durchschnittseinkommen der Bevölkerung nur erhöht werden kann, wenn (a) produktiver oder (b) mehr (formell) gearbeitet wird (letzteres durch höheren Beschäftigtenanteil an der Bevölkerung oder längere Arbeitszeit).

Aus Gleichung 4 und Gleichung 5 ergibt sich die Umweltbelastung als Produkt aus Umweltintensität, Arbeitsproduktivität und Arbeitsvolumen

Gleichung 8

$$U = \frac{U}{BIP} * \frac{BIP}{Arb} * Arb$$

oder – leicht umformuliert – als Relation von Arbeitsproduktivität zur Umweltproduktivität multipliziert mit dem Arbeitsvolumen:

Gleichung 9

$$U = \frac{BIP/Arb}{BIP/U} * Arb$$

D.h. bei konstantem Arbeitsvolumen sinkt die Umweltbelastung nur dann, wenn die Arbeitsproduktivität langsamer steigt als die Umweltproduktivität. Anders gesagt: Der technische Fortschritt zur Umweltschonung muß dauerhaft wirkungsvoller sein als der zur Rationalisierung des Arbeitseinsatzes, wenn die Umweltbelastung gesenkt werden soll. Bei *steigendem* Arbeitsvolumen – z.B. durch Rückgang der Arbeitslosigkeit, Zuwanderung oder Zunahme der Frauenerwerbstätigkeit – gilt dies schon für eine Stabilisierung der Umweltbelastung. Während die wirtschaftliche Entwicklung seit Beginn der Industrialisierung geprägt war durch den kontinuierlichen Zuwachs der Arbeitsproduktivität (und teils steigenden, teils sinkenden Produktivitäten im Umgang mit natürlichen Ressourcen), muß eine die Umweltbelastung stabilisierende oder senkende Entwicklung in erster Linie geprägt sein vom Zuwachs der Umweltproduktivität. In diesem Sinne kann Ernst Ulrich von Weizsäckers Diktum verstanden werden, wir träten nunmehr vom „Jahrhundert der Ökonomie“ ins „Jahrhundert der Umwelt“ (Weizsäcker 1992: 3ff.).

---

<sup>7</sup> Wegen meist fehlender genauerer Daten ist es aber durchaus gebräuchlich, die durchschnittliche Arbeitsproduktivität eines Landes näherungsweise mit dem BIP pro Kopf zu operationalisieren (Bernard/Jones 1996: 1217).

### 3.3 Von einer technischen zu einer sozialen Sicht von Innovationen

Das bisher Formulierte ist nicht mehr als ein abstraktes Kalkül. Noch ist offen, was unter Umweltbelastung  $U$  im Detail zu verstehen ist: ein allumfassender Index zum Zustand der Natur, zur Neubelastung durch die Gesellschaft, Einzelindikatoren wie Materialverbrauch, Energiedurchsatz oder bestimmte Emissionsmengen. Insbesondere muß es sich bei  $U$  nicht notwendigerweise um die *durch das jetzige Bruttoinlandsprodukt verursachte* Umweltbelastung handeln, etwa, wenn akkumulierte Schäden zur Debatte stehen. Umgekehrt gilt natürlich auch, daß die Umwelt sich in Maßen regeneriert bzw. Belastungen verkraftet, ohne Schaden zu nehmen, so daß die jetzt erzeugte Umweltbelastung nicht notwendigerweise eine entsprechende Verschlechterung der Umweltsituation mit sich bringt. Dies zu erwähnen ist deshalb wichtig, weil üblicherweise unter umweltschonendem technischen Fortschritt nur Produktivitätssteigerungen bezüglich der *neu* hinzukommenden Schäden verstanden werden, denn nur diese sind durch Prozeß- und Produktinnovationen beeinflussbar. Im Prinzip ist die Unterscheidung von Bestand und Veränderung nicht nur für die Umweltbelastung, sondern auch für die Wirtschaftsleistung relevant: Auch das BIP umfaßt nur den im Berichtszeitraum neu hinzukommenden und nicht den schon akkumulierten Wohlstand, umfaßt also die gesamten Einkommen und nicht die Vermögen in einer Volkswirtschaft.

Bei dem im letzten Abschnitt Dargestellten handelt es sich um bloße tautologische Umformungen analytischer Definitionen, die allein noch nichts über die empirische Realität aussagen: Sie galten so auch im alten Rom oder vor 150 Jahren, ohne daß dies in diesen Fällen als ein fundamentales Entwicklungsproblem gesehen wurde. Inwiefern dies *heute* ein Problem darstellt, hängt davon ab,

- in welchem Maße die durch die Wirtschaftsentwicklung induzierten Umweltschäden die Regenerationsfähigkeit der Umwelt überfordern,
- in welchem Maße die Schäden durch eine solche Überforderung als problematisch angesehen werden und
- wie aufwendig der zur Stabilisierung nötige technische Fortschritt im Umweltschutz ist bzw. wie eng die wirtschaftliche Entwicklung überhaupt mit den entsprechenden Umweltschäden verknüpft ist. Bspw. ist nur ein geringer Teil aller wirtschaftlichen Aktivitäten gebunden an die Produktion und Verwendung asbesthaltiger Materialien. Eine Reduktion des Asbestverbrauchs wird sich deshalb rechnerisch in einer Erhöhung der volkswirtschaftlichen „Asbestproduktivität“ niederschlagen, die desto höher ausfällt, je schneller die Wirtschaft wächst, ohne daß dies in nennenswertem Umfang Innovationen erfordert: Schließlich benötigen die meisten wachsenden Wirtschaftsbereiche überhaupt kein Asbest, müssen ihre „Asbestproduktivität“ also nicht steigern, wenn sie höheres Wachstum mit gleich bleibendem, nämlich fehlendem Verbrauch verbinden wollen.

Zu einem wirklichen Problem werden die tautologischen Überlegungen nur, insofern *generelle* Produktionsin- oder -outputs, etwa der allgemeine Energieverbrauch oder die schiere Menge des Materialeinsatzes, inakzeptable Umweltschäden hervorrufen. Zwar dürfte es heute als vorherr-

schende Meinung gelten, daß diese Annahme in einigen Bereichen, etwa im Klimaschutz, gegeben ist, doch wird dies auch nach wie vor bestritten (vgl. z.B. Weber 1991, Maxeiner/Miersch 1996: 247ff., Easterbrook 1995, Wildavsky 1995: 340ff.). Dieser Streit soll hier nicht durch Tautologien und Rhetorik zu entscheiden versucht werden.

Es war nicht der Zweck der tautologischen Betrachtungen, die Umweltsituation unabhängig von jedem empirischen Beleg zu dramatisieren. Vielmehr sollte die Darstellung verdeutlichen, inwiefern es sich weniger um ein technisches als um ein soziales Problem handelt. Allzu häufig wird die Diskussion um die nötigen Umweltschutzinnovationen verkürzt auf die Frage technischer Möglichkeiten: Ihr Nachweis steht dann im Mittelpunkt einer Begründung der Möglichkeit und Notwendigkeit unterstützender Maßnahmen, die dann nur noch gewollt bzw. durchgesetzt werden müssen (z.B. Weizsäcker/Lovins/Lovins 1995). Umgekehrt begründen andere die Skepsis gegenüber der Vereinbarkeit von Wirtschaftswachstum und stabiler Umweltbelastung mit vermeintlich grundsätzlichen technischen Grenzen von Produktivitätssteigerungen, zumeist unter Hinweis auf das zweite thermodynamische Gesetz (Entropiegesetz) oder das ökonomische „Gesetz“ vom abnehmenden Grenzertrag (z.B. Binswanger 1991, Meadows u.a. 1994: 198ff., Daly 1992; s. auch die Kontroverse Daly/ Solow/Stiglitz et al. 1997) Das Wirtschaftswachstum basiert aber selbst auch auf produktivitätssteigernden Innovationen, ist ohne diese gar nicht möglich. Nicht grundsätzliche Barrieren technischen Fortschritts stehen zur Debatte, sondern die Frage, ob Innovationen der *einen* Art, nämlich arbeitssparende, durch solche der *anderen* Art, nämlich ressourcensparende, kompensiert werden können, wobei beide Formen von Innovationen an Grenzen stoßen, zumindest auf kurze und mittlere Sicht, und abnehmende Grenzerträge erwirtschaften. Die Ursachen dafür, daß arbeits- gegenüber ressourcensparenden Innovationen systematisch begünstigt sind und waren, liegen nicht in naturwissenschaftlich-technischen Unterschieden, sondern in den sozialen Bedingungen, unter denen Innovationen entwickelt und eingesetzt werden:

Arbeits- und Wirtschaftspolitik waren in den vergangenen Jahrhunderten maßgeblich ausgerichtet an der Erhöhung der Löhne, z.B. durch staatlich festgesetzte Mindestlöhne, durch Arbeitskämpfe und institutionelle Innovationen wie kollektive Tarifverhandlungen zwischen Arbeitnehmern und Arbeitgebern, basierend auf der Unterstützung der Mehrheit der Bevölkerung, die in ihrer individuellen Situation existentiell betroffen war. Diese Lohnsteigerungen ergaben eine ständige Änderung der relativen Preise und reizten dadurch die immer stärkere Substitution von Arbeit durch andere Inputs ebenso an wie die Kanalisierung des technischen Fortschritts eben in Hinblick auf Arbeitseinsparung. Und die daraus resultierenden Arbeitsproduktivitätssteigerungen dienten ihrerseits der Finanzierung und Rechtfertigung weiterer Lohnsteigerungen, um so den Arbeitenden einen angemessenen Anteil an den volkswirtschaftlichen Wohlstandssteigerungen zukommen zu lassen. Lohn- und Arbeitsproduktivitätssteigerungen ergeben einen sich selbst verstärkenden Zirkel.

All diese politischen und gesellschaftlichen Auseinandersetzungen und Reformen waren nur möglich vor dem Hintergrund der fundamentalen Knappheit an Arbeitskräften, insbesondere an *qualifizierten* Arbeitskräften. Dieses Arbeitsangebot wird nicht nur durch Streiks und künstlich

erhöhte Löhne begrenzt, sondern läßt sich generell sehr viel weniger erweitern als das Angebot nahezu aller anderen Inputs: Allenfalls demographische Veränderungen, Migration, kultureller Wandel (etwa im Verhältnis der Geschlechter) und Qualifizierungsmaßnahmen können mittel- und langfristig nennenswerte Veränderungen bewirken. Sie liegen nur zu einem geringen Teil in der Macht der wirtschaftlichen Akteure. Jede Steigerung der Produktion über diese autonomen Änderungen hinaus muß deshalb *auch* mit einer Steigerung der Arbeitsproduktivität verbunden sein, während für nahezu alle anderen Inputs die Option zusätzlicher Beschaffung oder Erzeugung besteht. Insbesondere auf einen Anstieg seines relativen Preises reagiert deshalb das Arbeitskräfteangebot unelastischer als andere Produktionsinputs.

Auch wenn viele natürliche Rohstoffe nicht erneuerbar sind und gewiß nicht beliebig vermehrt werden können, so sind die natürlichen Vorräte im Verhältnis zur Ressourcennutzung doch derart unerschöpflich, daß sie auf absehbare Sicht durch eine Erhöhung von Exploration und Förderung praktisch beliebig an die Wirtschaftsentwicklung angepaßt werden können – von kurzfristigen Knappheiten aufgrund von Fehlplanungen und Spekulationen abgesehen. Die Verfügbarkeit von Rohstoffen kann mittlerweile kaum noch als ein wachstumshemmendes Problem für die absehbare Zukunft angesehen werden (vgl. auch Endres/Querner 1993: 9ff.). Die sozialwissenschaftlich entscheidende Frage ist vor diesem Hintergrund, wie trotzdem kontinuierlich Anreize zur Umweltproduktivitätssteigerung geschaffen werden können, die denen zur Arbeitsproduktivitätssteigerung zumindest ebenbürtig sind.

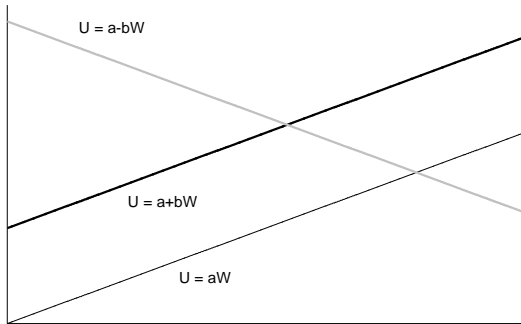
## **4 Die ökologische Kuznets-Kurve**

### **4.1 Die Hypothese der ökologischen Kuznets-Kurve und ihre Alternativen**

Die Hypothese, daß Umweltproduktivitätssteigerungen ab einem bestimmten Wohlstandsniveau tatsächlich das Wachstum der Produktion überkompensieren, wurde in den vergangenen Jahren als „ökologische Kuznets-Kurve“ zur Debatte gestellt und mit ökonometrischen Untersuchungen zu überprüfen versucht. Von dem amerikanischen Nobelpreisträger Simon Kuznets stammt dabei nicht diese, sondern der empirische Beleg für jene These, daß die Einkommensverteilung in einer Volkswirtschaft im Zuge ihrer Entwicklung zunächst ungleicher, dann aber wieder in zunehmendem Maße gleicher wird. In Analogie dazu ist die ökologische Kuznets-Kurve die grafische Darstellung der Behauptung, daß in armen Gesellschaften die Umweltbelastung mit steigender Wirtschaftsleistung zunimmt, dies aber in stetig sinkendem Ausmaß, bis ein Wohlstandsniveau erreicht ist, an dem die Umweltbelastung mit noch weiter steigendem Wohlstand immer stärker sinkt. Ökologische Kuznets-Kurve und strikte Kopplung sind aber nicht die einzig denkbaren Wechselbeziehungen von Umweltverschmutzung und Wirtschaftswachstum. Im folgenden werden einige der einfachsten, zusammen mit ihren jeweiligen mathematischen Formeln, vorgestellt.

Die einfachsten Kurvenverläufe sind lineare, wie sie in den meisten statistischen Auswertungen in den Sozialwissenschaften, in aller Regel diskussionslos, unterstellt werden (Abbildung 2). Führt die Kurve durch den Ursprung, wird also unterstellt, daß es ohne Wirtschaftsleistung ( $W$ )

Abbildung 2: Lineare Funktionen

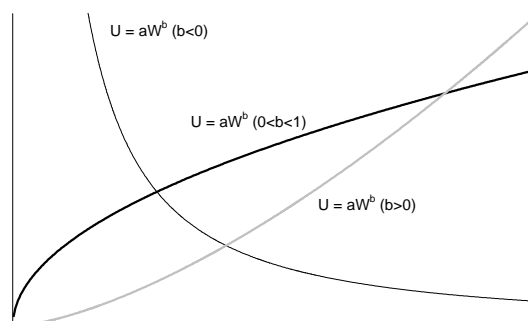


auch keine Umweltbelastung ( $U$ ) gäbe, so handelt es sich um einen proportionalen Zusammenhang, bei der die Umweltbelastung als ein Vielfaches der Wirtschaftsleistung angesehen wird ( $U = aW$ ). Nur in diesem speziellen Fall wären Umweltintensität ( $U/W$ ) und Umweltproduktivität ( $W/U$ ) während des gesamten Kurvenverlaufes konstant ( $a$  bzw.  $1/a$ ). Bei anderen linearen Kurvenverläufen ( $U = a + bW$ ) nähern sich die Intensitäten ganz allmäh-

lich einem Grenzwert ( $b$ ) an: Bei positivem  $y$ -Achsenabschnitt ( $a$ ), wie in Abbildung 2, sinken die Intensitäten, bei negativem steigen sie. Je nachdem, welche Umweltbelastung zur Debatte steht, kann beides plausibel sein: Ein negativer  $y$ -Achsenabschnitt liegt etwa bei Belastungen vor, die erst bei bestimmten Schwellenwerten der Wirtschaftsleistung feststellbar sind, z.B. Zivilisationskrankheiten, radioaktive Verseuchung, Probleme der Verstädterung; ein positiver, also eine Umweltbelastung ohne bzw. unabhängig von der Wirtschaftsleistung, bei (auch) natürlich gegebenen Umweltrisiken wie Seuchen, Unwettern etc. Im letzteren Fall ist es auch nicht abwegig, mitunter eine mit steigender Wirtschaftsleistung stetig sinkende Umweltbelastung ( $U = a - bW$ ) zu erwarten. Da es aber weder negative Wirtschaftsleistung noch negative Umweltbelastung geben kann, sind derartige Modelle nur für die Wertebereiche tauglich, in der sie auch für beide Variablen positive Werte aufweisen.

Die Linearannahme unterstellt, daß jede Einheit Wirtschaftsleistung immer um dieselbe Anzahl von Einheiten die Umweltbelastung verändert, unabhängig von der absoluten Höhe der Umweltbelastung. Vorstellbar ist aber auch, daß ein solcher Zusammenhang nicht zwischen den absoluten Werten der beiden Größen, sondern zwischen ihren Wachstumsraten besteht, daß also eine Verdopplung der Wirtschaftsleistung immer mit einer Erhöhung oder Verminderung der Umweltbelastung um  $x\%$  verbunden wäre. Derartige Kurvenverläufe sind in Abbildung 3 dargestellt und haben im einfachsten Fall die mathematische Form  $U = aW^b$ .

Abbildung 3: Potenzfunktionen



Ein solcher Verlauf hätte den Vorteil, daß der Umweltbelastung in keinem Bereich negative Werte unterstellt würden, was bei einer Linearfunktion zwangsläufig der Fall ist und für die meisten Belastungsindikatoren unsinnig wäre. Bei mit wachsendem Wohlstand sinkender Umweltbelastung oder auch nur -intensität erscheint es oft als plausibel, daß jede weitere Umweltentlastung schwieriger und damit teurer ist, daß es also einen

sinkenden Grenznutzen des Wohlstands für die Umwelt gibt. Überkompensieren die wachstumsbedingten Umweltschutzmaßnahmen die Umweltschäden dennoch dauerhaft, so ist eine stetig, aber in immer geringerem Ausmaß sinkende Umweltbelastung zu erwarten ( $b < 0$ ). Ist jede zu-

sätzliche Einheit BIP mit immer noch verheerenderen zusätzlichen Umweltbelastungen zu erkaufen, erhält man eine exponentiell wachsende Belastungsfunktion ( $b > 1$ ). Darüber hinaus ist auch eine stetig, aber immer langsamer wachsende Belastungskurve denkbar ( $0 < b < 1$ ).

Abbildung 4: Quadratische Funktionen ohne Absolutglied

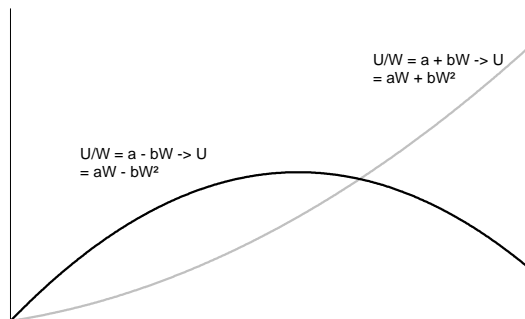
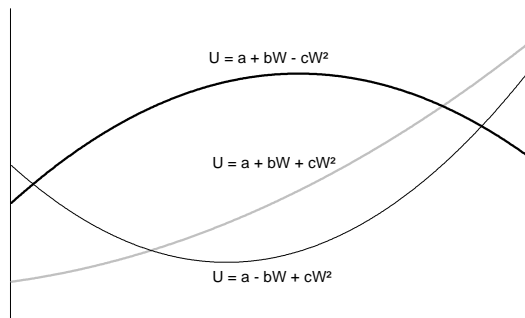
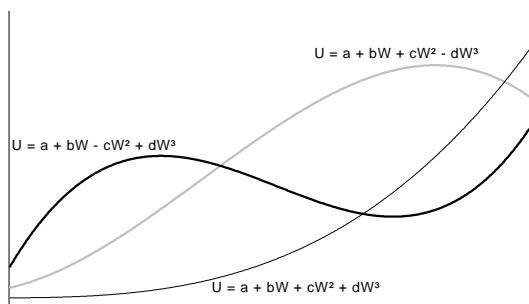


Abbildung 5: Quadratische Funktionen mit Absolutglied



wachsenden Interesse einer wohlhabender werdenden Gesellschaft an sauberer Umwelt liegen oder in einem Strukturwandel zugunsten umweltfreundlicher zu befriedigender Bedürfnisse.

Abbildung 6: Kubische Funktionen



immer stärker zu sinken ( $U = a + bW + cW^2 - dW^3$ ). Dies ist eine etwas komplexere Interpretation der ökologischen Kuznets-Kurve. Die zunächst schneller als die Wirtschaftsleistung steigende Umweltbelastung wird dabei zurückgeführt auf den besonders umweltbelastenden Aufbau von Schwerindustrie und Infrastruktur sowie der sich verschärfenden Verstädterung in den Anfangszeiten einer Industrialisierung. Neben einer neuen Variante exponentiellen Belastungsanstiegs ( $U = a + W + cW^2 + dW^3$ ) ist mit diesem Funktionstyp aber auch ein Wiederanstieg nach einer Phase absoluter Umweltentlastung möglich ( $U = a + bW - cW^2 + dW^3$ ), was mitunter auch als „N-Kurve“ bezeichnet wird (Jänicke 1979: 111; 1998).

Betrachtet man nicht die Umweltbelastung selbst, sondern die Umweltintensität als eine lineare Funktion der Wirtschaftsleistung, ergeben sich parabolische Kurvenverläufe wie in Abbildung 4 und quadratische Funktionen für die Umweltbelastung selbst ( $U/W = a + bW \Rightarrow U = aW + bW^2$ ). Werden wiederum Umweltbelastungen auch bei fehlender Wirtschaftsleistung oder Schwellenwerte der Umweltschädlichkeit zugestanden, verschieben sich diese Kurvenverläufe nach oben oder unten (Abbildung 5). Je nachdem, ob das quadratische Glied positive oder negative Werte annimmt, ähnelt die Funktion dem exponentiellen Kurvenverlauf oder entspricht der einfachsten Interpretation der ökologischen Kuznetskurve und hat die Form eines umgekehrten U. Letztere unterstellt also ein mit steigender Wirtschaftsleistung lineares Sinken der Umweltintensität, das die wachsende Wirtschaftsleistung erst allmählich zu kompensieren vermag. Gründe dafür mögen im

Bezeichnet in Abbildung 5 die Senkrechte nicht die absolute Umweltbelastung, sondern die Umweltintensität, ergibt sich damit für Umweltbelastung und Wohlstand ein kubischer Zusammenhang (Abbildung 6). Unterstellt wird also z.B., daß im Zuge der Entwicklung die Umweltintensität zunächst wächst, die Umweltbelastung also relativ zur Wirtschaftsleistung überproportional steigt, um danach

Mit Ausnahme der Potenzfunktionen in Abbildung 3 folgten die bisherigen Funktionen einer logischen Reihe, bei der Schritt für Schritt Kettenglieder mit wachsender Potenz hinzugefügt wurden. Diese „Polynome“ sind also Funktionen der Form  $a_0+a_1X+a_2X^2+a_3X^3+a_4X^4+\dots$ , wobei die Koeffizienten  $a_0, a_1, a_2, \dots$  auch 0 sein oder negative Werte annehmen können. Der höchste Exponent mit einem von Null verschiedenen Koeffizienten bezeichnet den „Grad“ des Polynoms. Eine lineare Funktion ist demnach ein Polynom ersten Grades. Aber auch die Kurven in Abbildung 3 ähneln den Kurven mancher Polynome. Diese Beobachtung kann verallgemeinert werden zum Satz von Stone-Weierstraß, nach dem jede stetige Funktion durch Polynome approximierbar ist (Kliemann/Müller 1973: 220). D.h. es läßt sich für jeden eindeutigen Zusammenhang ohne Sprünge im Kurvenverlauf ein Polynom finden, das einen beliebig ähnlich aussehenden Kurvenverlauf hat. Dies ist, wie in Abschnitt 4.4 (S. 25ff.) fortgeführt, eine für die explorative Analyse höchst bedeutsame Aussage.

Neben vielen anderen Kurven, tauchten bisher auch zwei mögliche Präzisierungen der ökologischen Kuznets-Kurve auf. Sie sind allerdings – wie alle polynomischen Funktionen – insofern

Abbildung 7: Andere Kuznets-Kurven

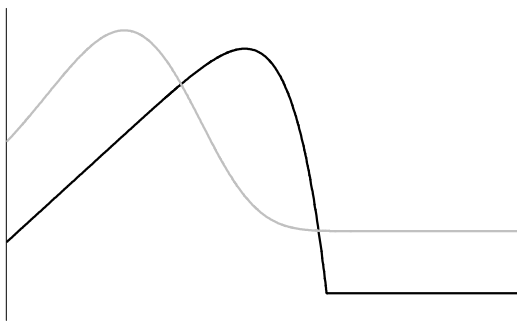
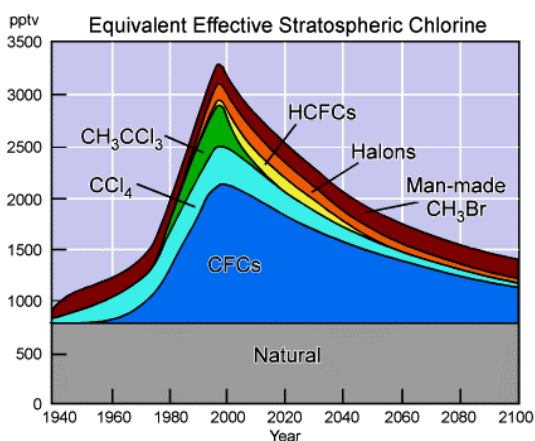


Abbildung 8: Globale Emission ozonschichtschädlicher Substanzen



WMO 1994, part 13.3.2, pp 13.11-13.12

inhaltlich unrealistisch, als sie immer am rechten und linken Rand irgendwann mit zunehmender „Geschwindigkeit“ gegen positiv oder negativ unendlich streben<sup>8</sup>. Außerdem sind sie unnötig restriktiv: Die quadratische Form (Abbildung 4 oder Abbildung 5) setzt beispielsweise einen symmetrischen Verlauf voraus, d.h. es wird angenommen, der Rückgang der Umweltbelastung erfolge mit exakt der selben Geschwindigkeit wie der Anstieg zuvor. Die ökologische Kuznets-Kurve behauptet hingegen lediglich, daß dem Anstieg der Umweltbelastung ihr Sinken folgt, ohne Aussagen über den genauen Verlauf zu implizieren. Zwei auch mit dieser Behauptung vereinbare und womöglich plausiblere, aber nicht-polynomiale Kurven zeigt Abbildung 7. Noch eine andere Form der Kuznets-Kurve weist die Projektion der weltweiten Emission die Ozonschicht zerstörender Substanzen in Abbildung 8 auf.

Es sind auch noch komplexere und grundsätzlich anders geartete Zusammenhänge plausibel:

<sup>8</sup> Nicht nur die Umweltbelastung selbst, sondern auch die BIP-Elastizität der Umweltbelastung (grafisch: die Steigung der Kurve) wächst/sinkt gegen unendlich. Dies ist im Text mit „zunehmender ‚Geschwindigkeit‘“ gemeint.



- So wie die Umweltbelastung hinsichtlich der meisten Indikatoren nicht unter Null sinken kann, so vermag sie gewisse Werte auch nicht zu übersteigen. Dies muß nicht unbedingt katastrophale Entwicklungen zur Folge haben, wie in „Grenzen des Wachstums“ angenommen, sondern kann auch die Form einer asymptotischen Annäherung an einen Maximalwert oder das schließliche Verharren der Umweltbelastung bei diesem Maximalwert annehmen. Wenn eine Wirtschaftstätigkeit beispielsweise eine Tierart gefährdet, so richtet ihr Wachstum nach Ausrottung dieser Art in dieser Hinsicht keinen weiteren Schaden an.
- Viele Umweltbelastungen werden nur mit Zeitverzögerung wirksam, was im Prinzip mit der Einführung von Time-Lags modelliert werden kann.
- Noch grundsätzlicher betrachtet, sind alle bisherigen Funktionen problematisch, da sie letztlich eine Pfadunabhängigkeit der Wirkungsweise unterstellen: Wie ein Land zu einer bestimmten Wirtschaftsleistung gekommen ist, ob z.B. durch einen Zusammenbruch einer vormals reicheren Wirtschaft, dem allmählichen oder dem rasanten Wachstum einer vormals ärmeren, spielte demnach für den Effekt dieser Wirtschaftsleistung auf die Umweltbelastung keine Rolle.
- Alle bisherigen Funktionen unterstellen einen stetigen Verlauf, doch sind auch Sprünge und Schwellenwerte vorstellbar, z.B. plötzlich eintretende Katastrophen.
- Alle bisherigen Funktionen unterstellen weiterhin, daß der Einfluß der Wirtschaftsleistung auf die Umweltbelastung unabhängig von anderen Einflüssen erfolgt. Es mag aber durchaus einen erheblichen Unterschied machen, zu welchem Zeitpunkt oder in welcher Kultur ein bestimmtes Wohlstandsniveau erreicht wurde. Besonders problematisch daran ist, daß jede Ökonomie unabhängig von anderen gesehen wird und nicht als Teil einer verflochtenen Weltökonomie, eines Weltsystems. Dementsprechend wäre etwa nicht nur die eigene Wirtschaftsleistung, sondern auch die aller anderen Staaten bei der Abschätzung der ökologischen Effekte dieser Wirtschaftsleistung zu berücksichtigen. Versucht man diese Einwände ernst zu nehmen, müßte man für jedes Land zu jedem Zeitpunkt in Abhängigkeit von den Werten aller anderen Länder, mit denen es in Kontakt steht, einen anderen Kurvenverlauf annehmen (s. Kap. 4.4.2, S. 27ff).

## 4.2 Die aggregierte Umweltbelastung

Interessiert lediglich die Frage, welche der Funktionstypen der Wahrheit entspricht, oder noch simpler, ob die ökologische Kuznets-Kurve stimmt, ist die Antwort eigentlich schnell und ohne weitere empirische Untersuchung gegeben: Es verhält sich mal so, mal so. Gewiß gibt es Umweltbelastungen, die durch Wohlstand geringer werden und schließlich praktisch ganz verschwinden, z.B. die Verseuchung von Trinkwasser durch Fäkalien. Gewiß gibt es Umweltbelastungen, die im Zuge der Entwicklung in den meisten Ländern erst angewachsen und dann gesunken sind, z.B. Staubemission und -immission. Und gewiß gibt es Umweltbelastungen, bei denen zusätzliches Wirtschaftswachstum bislang nur zur Verschärfung beigetragen hat, z.B. die Zunahme des Straßenverkehrs. Darüber mehr im nächsten Abschnitt.

Oft wird aber angenommen, die Frage nach der ökologischen Kuznets-Kurve müßte unter Bezugnahme auf einen irgendwie aus allen Umweltproblemen gewichtet aufaddierten Umweltbelastungsindex beantwortet werden. Doch ein solches Unterfangen ist schon angesichts der Datenlage illusorisch. Da sich verschiedene Umweltbelastungen durchaus verschieden entwickeln, wird das Ergebnis einer solchen Aggregation ohnehin im wesentlichen von der Gewichtung der Umweltbelastungen abhängen, für die eine konsensfähige Lösung mit sozialwissenschaftlichen Mitteln derzeit nicht zu finden sein wird.

Dennoch vorgenommene Gewichtungen leiden in der Regel an zweierlei: Erstens ist das so gewonnene Konstrukt überhaupt nicht mehr interpretierbar. Experten mag es zwar noch klar sein, wie es konstruiert ist, aber nicht, was es bedeutet und ob es überhaupt etwas bedeutet. Zweitens und damit zusammenhängend: Hinsichtlich der Theoriebildung gibt es gar keinen Grund anzunehmen, mit einem solchen Konstrukt fänden sich stabilere Kausalbeziehungen als mit den unmittelbar empirisch zu erfassenden Variablen wie Windstärke oder Temperatur. In beiderlei Hinsicht, in denen Aggregate bzw. Konstrukte nützlich sein können, sind sie in diesem Zusammenhang eigentlich sinnlos:

- Entweder sie interessieren rein deskriptiv und werden durch das Forschungsinteresse definiert. Wenn etwa zwischen Bewerberinnen auf eine Stelle entschieden werden muß, kann man sie verschiedenen Prüfungen aussetzen und die Einstellungsentscheidung von einer Durchschnittsnote abhängig machen, wenn für die entsprechende Tätigkeit nicht nur eine, sondern viele Fertigkeiten wichtig sind. Ein solches Vorgehen ist also sinnvoll, wenn eine Entscheidung ansteht, für die die gesamten Informationen über ihren Gegenstand letzten Endes reduziert werden müssen zu einem dichotomen Wert: ja oder nein? Hierzu ist es dann hilfreich, die Werte der einzelnen Variablen zunächst in einer gemeinsamen, „theoretischen“ Einheit zu quantifizieren und so direkt vergleichbar und eben auch aggregierbar zu machen. Die theoretische Einheit kann beispielsweise ein dimensionsloser Index sein. In den Wirtschaftswissenschaften werden zumeist Währungseinheiten bevorzugt, um auf diese Weise die auf Märkten schon faktisch getroffenen Bewertungen nutzen zu können. Dies ist natürlich höchst problematisch, da der Preis eines Gutes nicht unbedingt mit seinem Wert übereinstimmt, doch kann dem bei Bedarf – und Kenntnis des wahren Werts in Bezug auf die anstehende Entscheidung – mit entsprechenden Korrekturen der monetären Gewichte Rechnung getragen werden. Wenn eine Entscheidung ansteht, führt kein Weg an einem derartigen Vorgehen vorbei, und alle methodischen Einwände gegen seine Unvollkommenheiten, notwendigen Informationsverluste und oftmals willkürlichen Setzungen können nur Anlaß für seine Optimierung, nicht aber Begründung seiner grundsätzlichen Ablehnung sein. Die einzige Alternative zu einer expliziten Quantifizierung bzw. Monetarisierung ist die implizite, „intuitive“ Gewichtung der einzelnen Variablen, die sich der offenen Diskussion und damit dem wissenschaftlichen Urteil entzieht. Welcher Entscheidung sollte aber eine Aggregation aller Umweltbelastungen entsprechend ihrer Schädlichkeit dienen? Verschiedene Umweltbelastungen haben in der Regel auch verschiedene Ursachen, weswegen es keine Maßnahmen geben dürfte, die alle Umwelt-

belastungen zugleich reduzierten. Selbst wenn sich herausstellen sollte, daß mit dem allgemeinen Wirtschaftswachstum eine solche „Generalursache“ aller Umweltbelastungen (á la „Grenzen des Wachstums“) oder aller Umweltentlastungen (á la ökologische Kuznets-Kurve nach dem Gipfel) vorliegt, so hätte dies kaum praktischen Nutzen, da sich die Höhe des Wirtschaftswachstums weitgehend der gezielten Einflußnahme entzieht, also nicht wirklich zur Entscheidung steht<sup>9</sup>. Selbst wenn dies anders wäre, müßte die entsprechende Entscheidung mehr als nur die wachstumsbedingten Umweltbelastungen gewichten, weswegen eine derartig selektive Aggregation keine große Hilfe wäre.

- Oder ein solches Konstrukt steht in einem kausalen Zusammenhang mit anderen Variablen. Z.B. könnten die obigen Prüfungen von Bewerber auf eine Stelle typische Muster aufweisen, und zwar derart, daß sie weitgehend von wenigen allgemeinen Dispositionen der jeweiligen Person bestimmt werden – etwa von Intelligenz, Kreativität und Kontaktstärke –, die ihrerseits verursacht werden von anderen Faktoren (Erziehung, Schulbildung, Vererbung, soziales Milieu,...) und zwar in stärkerer Weise als die einzelnen, mehr dem Zufall unterworfenen Testergebnisse. Je stärker diese Konstrukte also andere Variablen verursachen oder von ihnen verursacht werden, desto sinnvoller ist die Bildung eines solchen Konstrukts. Zu diesem Zweck wäre es aber belanglos, wie sehr die einzelnen Variablen von den Konstrukt-Konstrukteuren geschätzt werden, ob sie also etwa die Fähigkeit, andere zum Lachen zu bringen, für liebenswerter oder nutzbringender halten als die Fähigkeit, ein lineares Gleichungssystem zu lösen. Einzig bedeutsam sind die kausalen Zusammenhänge zwischen den Variablen: Man wird untersuchen müssen, ob typischerweise Probanden in bestimmten Prüfungstypen immer überdurchschnittlich oder immer unterdurchschnittlich abschneiden. (Dies ist z.B. die Logik einer Faktorenanalyse.) D.h. die Entwicklung von Konstrukten bzw. theoretischen Termen steht nicht am Anfang, sondern am (ersten, vorläufigen) Ende der empirischen Kausalanalyse. In unserem Fall müßte man nach derjenigen Gewichtung von Umweltbelastungen suchen, bei der der wie auch immer geartete Zusammenhang mit der Wirtschaftsleistung am stärksten ist, *vollkommen unabhängig von der Schädlichkeit der jeweiligen Belastungen.*

### 4.3 Die wohlstandsbedingte Struktur der Umweltbelastung

Dementsprechend sollte es weniger interessieren, welche Folge das Wirtschaftswachstum auf „die“ Umweltverträglichkeit hat, als, welche Umweltprobleme unter welchen Umständen welchem Funktionstyp folgen. Gefragt ist nicht nach dem Niveau, sondern nach der Struktur der wohlstandsinduzierten Umweltbelastung. Neben deskriptiven, allenfalls grafisch aufbereiteten

---

<sup>9</sup> Mehrere Studien zur ökologischen Kuznets-Kurve wurden motiviert durch die Diskussion über Umweltauswirkungen von Außenhandelsliberalisierungen etwa im Rahmen des nordamerikanischen Freihandelsabkommens NAFTA (z.B. Grossman/Krueger 1991), da angenommen wurde, Handelsliberalisierungen förderten das allgemeine Wirtschaftswachstum. Da Handelsliberalisierungen dies aber schon theoretisch nur über einen durch sie induzierten Strukturwandel erreichen, der angesichts der Heterogenität sektoraler Umweltbelastungen mindestens ebenso bedeutende Effekte auf die Umweltsituation zeitigen müßte wie die vermutete Beschleunigung des Wachstums, genügt eine allgemeine Diskussion der ökologischen Kuznets-Kurve nicht als Umweltverträglichkeitsabschätzung von Freihandelspolitik.

Zusammenstellungen verfügbarer Umweltdaten (z.B. Jänicke/Mönch/Binder 1996; vgl. auch die diversen Überblicke internationaler Organisationen, z.B. von OECD, UNEP, EU), liegen mittlerweile verschiedene ökonometrische Untersuchungen zum Thema vor (u.a. Holtz-Eakin/Selden 1992, Shafik/Bandyopadhyay 1992, Grossman/Krueger 1991, 1994, Grossman 1993, Roberts/Grimes 1997, Hettige/Mani/Wheeler 1997; für einen kritischen Überblick siehe Ekins 1997). Deren halbwegs verlässliche Ergebnisse gehen allerdings nicht sonderlich über diejenigen methodisch weniger anspruchsvoller Arbeiten hinaus:

- Die Datenlage erlaubt bei vielen Indikatoren keine eindeutigen Interpretationen, was sich in den ökonometrischen Untersuchungen an den widersprüchlichen Ergebnissen verschiedener Untersuchungen (teilweise derselben Autoren) zu den selben Indikatoren zeigt.
- Je nach untersuchtem Indikator erhalten wir deutlich unterschiedliche Kurvenverläufe, zu meist entsprechend dem zu Beginn des vergangenen Abschnitts gesagten:
  - Klassische Entwicklungsindikatoren, wie der Zugang zu sauberem Trinkwasser, zeigen mit wachsendem Wohlstand kontinuierliche Verbesserungen.
  - Klassische Indikatoren der Umweltpolitik, wie London-Smog in Ballungsräumen (Immission von Staub, Ruß, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO) oder der Sauerstoffgehalt in Gewässern, zeigen Verbesserungen erst nach einer zuvor kontinuierlichen Verschlechterung (also ökologische Kuznets-Kurven), wobei oftmals bei besonders reichen Ländern wieder ein etwas höheres Belastungsniveau, also womöglich eine sich abzeichnende N-Kurve, erkennbar ist, was aber auch leicht auf methodische Unzulänglichkeiten und Zufallsschwankungen (s.u.) zurückzuführen ist.
  - Neuere und komplexere Indikatoren der Umweltpolitik können mangels international vergleichbarer Daten oftmals gar nicht beurteilt werden (z.B. Abfallaufkommen, photochemischer Smog, akkumulierte Schadstoffbelastung im Boden) oder zeigen, wie im Falle der CO<sub>2</sub>-Emission, kontinuierliche Verschlechterung, wobei die zunehmende Entkopplung vom Wirtschaftswachstum die Hoffnung auf eine Verringerung der Belastung in Zukunft nährt (also ökologische Kuznetskurve mit einem Scheitelpunkt oberhalb des derzeitigen empirischen Wertebereichs).
- Die Umweltbelastung dürfte selbst bei den klassischen Schadstoffen weltweit noch deutlich steigen, wenn die Entwicklung dem bisherigen Muster folgen sollte, da die größten Wirtschaftswachstumsraten in Zukunft von Ländern zu erwarten sind, die noch vor dem Scheitelpunkt derartiger Belastungen anzusiedeln sind.

Entgegen dem Eindruck vieler „grüner“ Beobachter<sup>10</sup>, sind die Autoren der genannten Studien allenfalls gedämpft optimistisch:

---

<sup>10</sup> So schreibt Paul Ekins (1997) über die Autoren der ökonometrischen Untersuchungen: “They invite an emphasis on achieving economic growth rather than on environmental policy, because economic growth is perceived to be able to achieve both economic and environmental objectives, whereas the environmental policy may impede economic growth.“ Er schränkt dies allerdings in der Folge dahingehend ein, daß die Studien in diesem Sinne propa-

“It is possible to ‘grow out of’ some environmental problems, but there is nothing automatic about doing so. Action tends to be taken where there are generalized local costs and substantial private and social benefits. Where the costs of environmental degradation are borne by others (by the poor or by other countries), there are few incentives to alter damaging behavior. Trade, debt, and other macroeconomic policy variables seem to have little generalized effect on the environment.” (Shafik/Bandyopadhyay 1992: Abstract)

Und elf Ökonomen unterschiedlicher Provenienz faßten in einem Artikel für Science einen möglichen Konsens der Zunft zu dieser Frage unter anderem folgendermaßen zusammen:

“The solution to environmental degradation lies in (...) institutional reforms as would compel private users of environmental resources to take account of the social costs of their actions. The inverted-U relation is evidence that this has happened in some cases. It does not constitute evidence that it will happen in all cases or that it will happen in time to avert the important and irreversible global consequences of growth.” (Arrow et al. 1995: 92; zu den Hintergründen dieses Papiers und einer kritischen Diskussion durch ökologisch orientierte Autoren vgl. Costanza 1995)

#### 4.4 Probleme der empirischen Überprüfung

Die ökonometrischen Untersuchungen führen also zwar zu keinen überraschenden Ergebnissen, die nicht auch mit einfacheren Mitteln hätten gewonnen werden können, lassen aber die methodischen Probleme derartiger Untersuchungen besonders deutlich werden. Die Autoren selbst sind höchst zurückhaltend und betrachten ihre Untersuchungen zumeist als erste, mit großen Vorbehalten zu interpretierende Schritte. Angesichts der Schwere der methodischen Probleme kann aber bezweifelt werden, ob auf diesem Weg jemals etwas erreicht werden wird, was über eine von gesundem Menschenverstand geleitete bloße Beschreibung der Datenlage hinausgeht. Einige dieser Methodenprobleme sollen im folgenden kurz angesprochen werden.

##### 4.4.1 Spezifikation der Regressionsgleichung:

Zur Überprüfung des typischen Kurvenverlaufes bzw. der zu Grunde liegenden mathematischen Funktion werden von diesen Untersuchungen Regressionsrechnungen verwendet. Trägt man in die zweidimensionalen Schaubilder aus Abbildung 2 - Abbildung 7 empirische Werte verschiedener Beobachtungseinheiten, z.B. verschiedener Länder zu verschiedenen Zeitpunkten, ein, dann sucht eine Regression diejenige Kurve eines bestimmten Funktionstyps, die den Datenpunkten eines solchen Streudiagramms am nächsten kommt. Am nächsten an die Datenpunkte käme natürlich eine schlichte Verbindungslinie der Punkte, doch folgen Regressionsrechnungen, wie die meisten statistischen Verfahren, einem probabilistischen Ansatz, d.h. sie erwarten nicht, jeden einzelnen empirischen Wert (z.B. die Schwefeldioxidemission Japans im Jahre 1977) erklären zu können, sondern allenfalls bestimmte typische Häufigkeiten oder Trends zu identifizieren. Da es immer mehr oder minder starke Meßfehler gibt und viele andere Einflüsse auf die zu erklärende Variable nicht berücksichtigt werden können, womöglich sogar unbekannt sind, werden empirische Werte sich immer mehr oder minder stark von den modellierten unterscheiden (Liebersohn 1991).

---

gandistisch mißbraucht werden könnten. In den Studien selbst wird hingegen die sinkende Umweltbelastung gerade mit wohlstandsbedingt gestiegener Umweltsensibilität und Umweltpolitik erklärt.

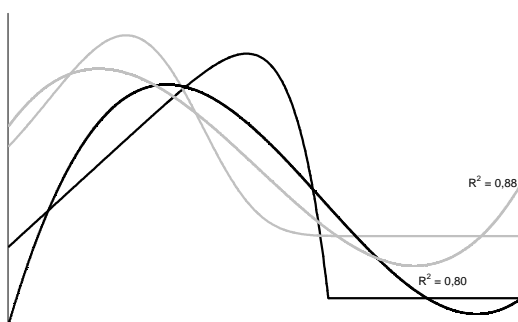
Unter Voraussetzung eines bestimmten Funktionstyps und bestimmter empirischer Daten berechnet dann die Regression

- den genauen Kurvenverlauf, also die Koeffizienten  $a$ ,  $b$  etc. in den obigen Funktionsgleichungen,
- die durchschnittliche Nähe dieser Kurve zu den Datenpunkten und
- die Signifikanz der Werte bzw. umgekehrt die Irrtumswahrscheinlichkeit, daß diese Nähe auch purer Zufall sein könnte angesichts der empirischen Streuung der Daten.

Meist werden Regressionen in den Sozialwissenschaften verwendet, um zu testen, ob zwischen verschiedenen Variablen überhaupt ein Zusammenhang besteht und wie stark dieser Zusammenhang ist. Der Funktionstyp ist dabei sehr selten Gegenstand der Untersuchung und wird in der Regel implizit als linear vorausgesetzt, wenn nicht theoretische Gründe von vornherein für einen anderen Funktionstyp sprechen. In dieser Hinsicht sind die hier diskutierten Untersuchungen eine Ausnahme. Daß das Wohlstandsniveau einen ziemlich großen Einfluß auf Umweltbelastungen hat, kann als unstrittig gelten, interessant ist hier der genaue Kurvenverlauf und eventuell seine Abhängigkeit von intervenierenden Variablen. Zu diesem Zweck werden für jede Variable verschiedene Regressionen mit unterschiedlichen Funktionstypen durchgeführt, um so zu entscheiden, welcher Funktionstyp am besten zu den jeweiligen Daten paßt.

Ein wesentliches Problem einer solchen Herangehensweise ist, daß es unendlich viele derartiger Funktionstypen gibt, die unmöglich alle durchprobiert werden können. Praktikabel ist ein solches Verfahren nur, wenn vorab die Suche auf wenige erwägenswerte Funktionstypen reduziert werden kann. Wie oben in Abschnitt 4.1 erwähnt, sind zumindest alle stetigen Funktionen im Prinzip durch Polynome approximierbar, so daß man sich *zunächst* auf Polynome mit steigendem Grad beschränken kann. Erbringt die Regression des Polynoms mit Grad  $n$  kein hinreichend besseres statistisches Ergebnis als die des Polynoms mit Grad  $n-1$ , kann darauf verzichtet werden, höhergradige Polynome zu testen. Auf diesem Weg erhalten wir, wenn auch nicht unbedingt die korrekte mathematische Form, so doch näherungsweise die visuelle Gestalt jenes Funktionstyps, der den empirischen Daten am ehesten entspricht.

Abbildung 9: Kubische Regression bei nichtkubischen Kuznetskurven



Die ökonometrischen Untersuchungen zum Zusammenhang von Wirtschaftsleistung und Umweltbelastung gehen alle von Polynomen zweiten und/oder dritten Grades aus, also quadratischen und/oder kubischen Funktionen. In empirischen Tests wurden teilweise auch logarithmische Funktionen und Polynome logarithmischer Funktionen eingesetzt – allerdings ohne inhaltliche Begründung. Angesichts der Datenlage (s.u.) hätte es keinen Sinn, auch höhergradige Polynome zu testen,

doch erhöht dies die Gefahr, daß die wahre Gestalt des Zusammenhangs übersehen wird. Wenden wir etwa eine Regression mit kubischen Polynomen auf die recht plausiblen Kuznetskurven in Abbildung 7 an, so erhalten wir zwar ein verhältnismäßig hohes Bestimmtheitsmaß, aber eine

deutliche Fehlspezifizierung des eigentlich interessierenden Kurvenverlaufs (Abbildung 9): Statt einer Stabilisierung am rechten Rand wird ein Wiederanstieg, also sozusagen eine „N-Kurve“ identifiziert, da das Polynom keine Stabilisierung am Rand aufweisen *kann*, sondern gegen unendlich streben muß. Das Polynom approximiert die Stabilisierung, indem die Kurve sich um die Waagrechte möglichst eng schlängelt, was, je höhergradig das Polynom ist, um so besser gelingt. Zudem lokalisiert diese Regression die Hoch- und Tiefpunkte falsch.

Da die polynomische Form höchstwahrscheinlich nicht korrekt und nur als Approximation tauglich ist, dürfen ohnehin keine Rückschlüsse auf zugrunde liegende Kausalitäten oder gar prognostische Trendfortschreibungen vorgenommen werden. Letzteres ist besonders unsinnig, da ein Polynom definitionsgemäß nach seinem letzten Hoch- oder Tiefpunkt rasch gegen unendlich strebt, also zunehmend unrealistische Werte annimmt.

Fehlspezifizierungen wie in Abbildung 9 können unter Umständen identifiziert werden, da die Abweichungen der Regressionsgeraden von den wahren Werten nicht zufällig verteilt sind, sondern deutliche Muster ergeben. Mit den hier zur Verfügung stehenden Daten können solche Muster allerdings kaum erkannt werden, und zwar weniger wegen der mangelnden Validität oder Reliabilität (Abschnitt 4.4.3) als der zu geringen Menge der Daten (Abschnitt 4.4.2).

#### 4.4.2 Ländervergleiche

Es handelt sich bei den vorliegenden Untersuchungen überwiegend um Ländervergleiche, hinsichtlich der zu erklärenden Umweltindikatoren teilweise auch um den Vergleich der Werte verschiedener Meßstationen. Dies ist in mehrerlei Hinsicht ein Problem (vgl. Binder 1996b, 1993):

- Die *Fallzahl* ist für derartige Auswertungen eigentlich zu gering (Liebersohn 1991, 1994): Selbst wenn unterstellt wird, daß die Werte der einzelnen Länder als zufällige Stichprobe aller möglichen Verhältnisse zu interpretieren sind, lassen sich nur sehr simple Aussagen über Kausalbeziehungen mit einem Datensatz von 20 bis 40 Fällen rechtfertigen. Dies läßt sich an den inferenzstatistischen Maßzahlen, v.a. der Größe der Konfidenzintervalle ablesen: Sie zeigen an, in welcher Bandbreite der wahre Kurvenverlauf zu erwarten ist, wenn man berücksichtigt, daß der Kurvenverlauf für die Stichprobe auch durch zufällige Einflüsse mitbestimmt wird. Derartige Konfidenzintervalle werden bei statistischen Auswertungen mit geringen Fallzahlen in der Regel nicht angegeben, sondern lediglich die „Signifikanz“ der Koeffizienten überprüft. Diese besagt, daß der Koeffizient mit ziemlicher Sicherheit von 0 verschieden ist (Ablehnung der „Null-Hypothese“), sagt aber nichts über die wahrscheinliche Höhe des Koeffizienten aus oder darüber, ob die gewählte mathematische Form der Regressionsgleichung (s.o.) näherungsweise korrekt ist<sup>11</sup>. Bei kleinen Fallzahlen erhält man darüber hinaus

---

<sup>11</sup> Dieses Problem beschränkt sich nicht auf komparatistische Forschung, sondern es handelt sich hierbei um eines der wichtigsten, gleichwohl kaum je thematisierten und in der Praxis weitgehend ignorierten Schwierigkeiten empirischer Sozialwissenschaft, letzteres wohl deshalb, weil es keine konstruktive Lösung gibt: “One temptation in the face of this lack of dramatic results (in the social sciences, M.B.) is to exaggerate the importance of small differences and to place the emphasis on statistical significance and probability levels rather than magnitudes of relationships and explained variance.” (Blalock 1984: 44) “It is well known that social processes are compli-

häufig Datensätze, in denen einer oder wenige Ausreißer den Datensatz derart dominieren, daß die statistische Auswertung zu einem erheblichen Teil lediglich eine Anpassung an diese(n) Ausreißer darstellt, ohne daß dies an den statistischen Ergebnissen ohne weiteres zu erkennen wäre. Insbesondere polynomiale Regressionen reagieren sehr sensibel gegenüber Extremwerten, was nicht selten zu absurden und nur von Ausreißern dominierten Schätzungen führt. Komplexe Modelle, die etwa synergetische Effekte des Wohlstandsniveaus in Abhängigkeit von anderen Variablen (z.B. politische Variablen) zu modellieren versuchen, können mit derartig geringen Informationen überhaupt nicht sinnvoll geschätzt werden<sup>12</sup>.

- Die Fälle verletzen in der Regel wesentliche Annahmen inferenzstatistischer Verfahren: Insbesondere ist die Annahme, daß die Werte der einzelnen Länder als eine *Zufallsstichprobe* zu interpretieren sind, also voneinander unabhängige Realisierungen einer gemeinsamen Wahrscheinlichkeitsverteilung darstellen, in der Regel unglaubwürdig. Die hier untersuchten Gesellschaften sind in unterschiedlichem, aber unkontrollierbarem Maße verbunden durch gemeinsame Geschichte, räumliche Nähe, Diffusionsprozesse und sogar bewußte Koordination. Typischerweise lassen sich „Länderfamilien“ mit unkontrollierbar vielen Ähnlichkeiten identifizieren (z.B. Benelux-Staaten, skandinavische Länder), was bedeutet, daß mit unterschiedlichen Ländern häufig in gewisser Weise immer die selben Verhältnisse gemessen werden. Dies entwertet die inferenzstatistischen Maßzahlen weitgehend.
- Schließlich haben in der Regel die *verschiedenen Länder unterschiedliche Bedeutung* für die hier interessierenden Fragestellungen, gehen aber im Standardverfahren mit dem selben Gewicht in die Analyse ein. So werden im Extremfall den Verhältnissen in Luxemburg und denen in den USA in der Rechnung gleiche Bedeutung zugemessen, obwohl z.B. rund tausend Mal mehr Menschen in den USA als in Luxemburg leben. Dies verschärft auch alle bisher diskutierten Probleme von Ländervergleichen in erheblichem Maße: Kleine Länder sind nämlich deutlich häufiger Ausreißer im internationalen Vergleich, da regionale Besonderheiten bei großen Ländern eher durch andere Regionen ausgeglichen werden. Die extrem hohe pro-Kopf-Stahlproduktion Luxemburgs mag hierfür als Beispiel genügen.

---

cated: the empirical researcher thinks that these processes are complicated because many variables are operating and a wide set of interrelations has to be taken into account; the theorist thinks that these processes are complicated because it is difficult for the researcher to measure fully and adequately the few forces that she or he is sure are the really 'crucial' ones. Alas, the really complicated matter is the *form* that causal relations take – and neither group seems to recognize this.“ (Liebersohn 1985: 79)

<sup>12</sup> Verschiedene Untersuchungen berücksichtigen zwar eine Vielzahl weiterer Einflußfaktoren (z.B. Shafik/Bandyopadhyay 1992), aber nicht synergetisch, sondern lediglich additiv: Der jeweilige Umweltindikator wird dabei als gewichtete Summe der Effekte des Wohlstandsniveaus einerseits und weiterer Einflußfaktoren andererseits erklärt, ohne daß diese Faktoren sich in ihrer Wirkung gegenseitig verstärken, abschwächen oder sonstwie beeinflussen. Erhält ein Faktor (z.B. das Wohlstandsniveau) durch die Hinzunahme eines weiteren Faktors andere statistische Maßzahlen, ist dies – wenn es nicht zufällig ist – ein Hinweis darauf, daß die Annahme der Additivität falsch ist. Es handelt sich hierbei keinesfalls um eine Art „Bereinigung“ der Regression um den Einfluß von Drittvariablen, wie häufig suggeriert wird (eine eingehende Kritik liefert Liebersohn 1985). Egal, ob zufällig oder nicht, sind die verschiedenen erklärenden Variablen dann empirisch korreliert, was die statistische Schätzung in jedem Fall noch unzuverlässiger macht (Problem der Multikollinearität).

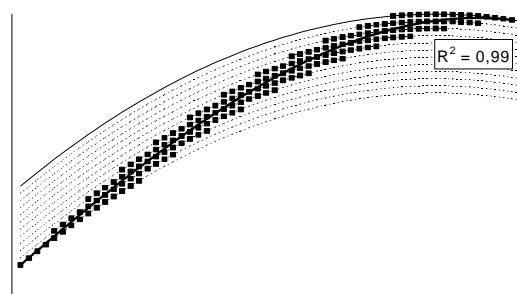


Das Problem der zu geringen Fallzahl suchen die meisten vorliegenden Arbeiten dadurch zu entschärfen, daß sie gepoolte Datensätze (Datenpanels) verwenden, d.h. für jedes Land gehen ganze Zeitreihen in die Berechnung ein, wobei jeder Jahreswert jedes Landes als unabhängige Beobachtung betrachtet wird. Tatsächlich erhalten die Autoren auf diesem Weg oft Datensätze mit mehreren Hundert, in Einzelfällen sogar mehreren Tausend Einzelbeobachtungen. Damit wird das Problem mangelnder Unabhängigkeit allerdings noch verschärft, denn die aufeinander folgenden Jahreswerte eines einzelnen Landes hängen oft systematisch miteinander zusammen, selbst wenn zwischen erklärender und zu erklärender Variable keinerlei kausaler Zusammenhang besteht. Können die Daten nicht um derlei triviale „Scheinkorrelationen“ bereinigt werden, wird die Verlässlichkeit der statistischen Schlüsse systematisch überschätzt.

Einige Untersuchungen versuchen dieses Problem durch die Einführung von Dummy-Variablen in den Griff zu bekommen (Shafik/Bandyopadhyay 1992): Hierbei werden als zusätzliche Erklärungsvariablen der Regressionsrechnung die einzelnen Länder additiv eingeführt, d.h. für jedes Land gibt es eine Variable, die den Wert 1 annimmt, wenn eine Beobachtung aus diesem Land stammt, und 0, wenn nicht. Mit dieser Methode wird praktisch für jedes Land eine eigene Regressionskurve berechnet, die sich allerdings untereinander lediglich in ihrer Höhe – ihrem y-Achsenabschnitt – unterscheiden.

Einen speziellen Fall landesspezifischer y-Achsenabschnitte bei ansonsten identischen Regressionskurven zeigt Abbildung 10: Die Punkte markieren Meßwerte, die jeweils verschiedenen Kuznetskurve folgen, die für jedes Land spezifisch sind (gestrichelte Kurven). Diese Kuznetskurven liegen desto höher, je wohlhabender das entsprechende Land während des Messzeitraums war. Ein Argument für die Annahme einer solchen Kurvenschar könnte die Diffusion technischen Fortschritts sein: Die Entwicklungspioniere erreichen ein bestimmtes Wohlstandsniveau auf einem primitiveren technischen Stand, weswegen ihre damit verbundene Umweltbelastung höher ist als später die der Nachzügler. Die Nachzügler profitieren also von einem technischen Stand, den die Vorreiter erst mit höherem Wohlstand zu entwickeln in der Lage waren. Betrachtete man lediglich die hier als empirisch unterstellten Punktwerte, so erhielte man eine womöglich sehr gut passende Regressionskurve – in unserem Beispiel mit einem  $R^2$  von 99% –, die dennoch einen irreführenden Eindruck der wahren Zusammenhänge lieferte: Im Falle von Abbildung 10 würde der umweltbelastende Effekt des Wirtschaftswachstums überschätzt, da keine einzige landesspezifische Kuznetskurve einen solchen steilen Verlauf nimmt wie die einfach gepoolte Regressionskurve, die keine Rücksicht nimmt auf den Zeitpunkt, an dem ein bestimmtes Wohlstandsniveau mit einer bestimmten Umweltbelastung empirisch zusammenfiel.

Abbildung 10: Landesspezifische Kuznetskurven mit im Zeitverlauf fallenden y-Achsenabschnitten



Löst die Einführung landesspezifischer Dummies das Problem? Ja und nein: Die Annahme ist, die landesspezifischen Kurven unterschieden sich lediglich hinsichtlich ihres y-Achsenabschnitts (ihrer Höhe), folgten ansonsten aber – von Zufallsschwankungen abgesehen – der unterstellten Form. Stimmt diese Annahme, so werden die Verläufe einigermaßen verlässlich geschätzt. Aber selbst unter dieser restriktiven Voraussetzung gilt, daß, je stärker die Höhe der landesspezifischen Kurve ihrerseits vom Wohlstandsniveau abhängt, desto unzuverlässiger die Schätzung wird. Technisch gesprochen, handelt es sich wiederum um Multikollinearität, d.h. verschiedene erklärende Variablen sind untereinander korreliert, in diesem Fall der Landesname und das Wohlstandsniveau im Untersuchungszeitraum. In einem Industrieländervergleich lägen beispielsweise in Abbildung 10 alle Werte für das eher arme Portugal im linksunteren Teil des Spektrums: Liegt das nun daran, daß es Werte aus Portugal sind, oder daran, daß es Werte aus einem armen Land sind? Die Rechnung muß hier eine Entscheidung treffen, aber je stärker Landesname und Wohlstandsniveau miteinander korreliert sind, auf desto waghalsigerer Grundlage beruht diese Entscheidung. Darüber hinaus wird generell, je stärker das Wohlstandsniveau der Länder sich unterscheiden, das Bestimmtheitsmaß auf desto trivialere Weise hohe Werte annehmen: Allein am Landesnamen kann dann erkannt und damit statistisch „erklärt“ werden, wie hoch das Wohlstandsniveau einer Beobachtung im Vergleich zu anderen Beobachtungen ungefähr sein wird. Hinter dem Landesnamen verbergen sich jedoch strukturelle Faktoren (wie z.B. das Wohlstandsniveau vor zwanzig Jahren), und die Bezugnahme auf diesen Namen erklärt dementsprechend nichts wirklich.<sup>13</sup>

Was aber, wenn die zugrundeliegende Annahme gar nicht stimmt? Was, wenn sich die wahren landesspezifischen Kurven nicht nur hinsichtlich ihrer Höhe, sondern auch hinsichtlich ihrer Form unterscheiden? In der Erklärung zu Abbildung 10 wurde etwa unterstellt, der allmähliche Fortschritt wirke sich lediglich auf die Höhe des Kurvenverlaufs aus. Was, wenn eine Innovation, z.B. die Entwicklung eines umweltfreundlicheren Substituts für ein Produkt, die absolute Verminderung einer Umweltbelastung erlaubt und es keinen Grund gibt, sie nur in reichen Ländern einzuführen? Dann findet mehr oder minder gleichzeitig in Ländern aller Wohlstandsniveaus eine Trendwende statt. Ähnlich könnte sich die ungemein rasche Diffusion wirksamer Umweltschutzinstitutionen seit den 70er Jahren ausgewirkt haben (Jörgens 1996, allgemein zum Diffusionsansatz vgl. Kern 1998, 1997) oder die Erhöhung der weltweiten Energiepreise in den 70er Jahren. Sowohl die Innovation als auch die Verknappung der Energieressourcen könnten dabei durchaus nur unter Voraussetzung der erreichten Wirtschaftsleistung möglich geworden sein, doch in einem einfachen Querschnitts- oder Panelvergleich würde dieser Zusammenhang verschwinden.

---

<sup>13</sup> Adam Przeworski und Henry Teune (1970) haben in ihrer wegweisenden Arbeit zur Mehrebenenanalyse den Dreh- und Angelpunkt komparatistischer Untersuchungen gerade darin gesehen, Landesspezifika als Ausprägungen systemischer Variablen zu erklären und durch diese die Bezugnahme auf Ländernamen in verbesserten Erklärungen zu ersetzen.

Abbildung 11: Landesspezifische Kuznetskurven mit gleichzeitiger Trendwende

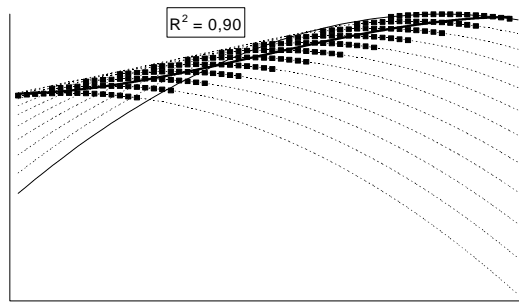


Abbildung 11 zeigt eine solche Schar von (quadratischen) landesspezifischen Kuznetskurven, die alle zum selben Zeitpunkt im Untersuchungszeitraum ihre Trendwende erlebten. Eine einfache gepoolte Regression ohne Landesdummies würde in diesem speziellen Fall eine Regressionskurve mit hohem Bestimmtheitsmaß ( $R^2 = 90\%$ ) schätzen, die dennoch einen sehr irreführenden Verlauf nimmt. Die Einführung von Landesdummies würde hier nicht weiter helfen, da das Verschieben der Regressions-

kurve nach oben oder unten für jedes Land kaum bessere statistische Ergebnisse erbrächte. Es wäre hier zusätzlich nötig, die Regressionskurven nach links und rechts verschieben zu können, um den Charakter der den Daten zu Grunde liegenden Entwicklungstypen aufzuspüren.

Realistischerweise müßte auch noch die Möglichkeit landesspezifisch unterschiedlich steiler Auf- und Abstiege der Belastungskurven zugelassen, zeitliche Verzögerungen entsprechend der Diffusionsgeschwindigkeit ermöglicht werden etc. Dies alles ist mathematisch modellierbar, wenn die wahre Form der Zusammenhänge vorab bekannt ist. Sie erst mit den zur Verfügung stehenden Daten zu finden, ist jedoch illusorisch. Praktisch genutzt werden typischerweise Modelle, die eben noch mit den Daten getestet werden können. Ob sie für die zugrundeliegende Frage ausreichend komplex sind, wird gar nicht hinterfragt, kann mit den zur Verfügung stehenden Daten nicht mehr hinterfragt werden.

#### 4.4.3 Datenqualität

Die Datenprobleme bei internationalen Vergleichen der Umweltsituation, besonders der Erfolge und Mißerfolge von Umweltpolitik wurden an anderer Stelle vom Autor schon eingehend geschildert (Binder 1993, 1996a). Sie seien deshalb an dieser Stelle nur skizziert:

- Für viele Problembereiche kann es keine international vergleichenden Werte geben, da sie nicht in sinnvoll vergleichbarer Weise in verschiedenen Ländern, ja nicht einmal innerhalb eines einzelnen Landes auftreten: Schlecht verglichen werden können Problembereiche wie Tankerunfälle, Naturzerstörung durch Wintersport (generell Naturschutz), oder katastrophale Unfälle mit sehr geringer Eintrittswahrscheinlichkeit.
- Doch auch für viele prinzipiell international vergleichbaren Probleme liegen in den tatsächlich veröffentlichten Kompendien keine Daten vor. Diese beschränken sich weitgehend auf standardisierte Belastungen mit Massenschadstoffen wie Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ), Stickoxide ( $\text{NO}_x$ ), Kohlenmonoxid ( $\text{CO}$ ), Staub, Biologischer Sauerstoffbedarf (BSB) von Flüssen, Anteil der Naturschutzflächen an der Landesfläche u.ä. Es finden sich jedoch keine verwertbaren Angaben zu Bodenbelastungen, zu Dioxinen, zu Lärm... Doch auch die standardisierten Bereiche erweisen sich bei näherem Hinsehen als nicht vergleichbar, wegen grundsätzlichen Unterschieden hinsichtlich Definitionen (z.B. „Staub“) und Meßmethoden.

- Selbst bei den Emissionen der traditionellsten Luftschadstoffe, deren Mengen im Grund geschätzt werden könnten aus einer einfachen Energiebilanz und geeigneten, wie wagemutig auch immer zustande gekommenen Emissionsfaktoren, sind kaum verlässliche Zeitreihen vorhanden und die dokumentierten Werte sind extrem widersprüchlich. Hinsichtlich derartiger Widersprüche könnte man sich natürlich einfach immer an die jeweils neueste Veröffentlichung halten, doch erwiesen sich die Sammlungen bislang nicht als verlässlich und haben auch noch kaum Tendenzen zur Verbesserung gezeigt, weswegen sie als reliable Messinstrumente abzulehnen sind.
- Die zur Verfügung stehenden Daten sind kaum geeignet, Wachstums- und Umweltpolitikeffekte zu identifizieren: International vergleichende Daten zur Umweltqualität (z.B. zur Wasserqualität von Gewässern) werden in der Regel mindestens ebenso stark von Unterschieden in den natürlichen und siedlungsstrukturellen Gegebenheiten (z.B. Bevölkerungsdichte) beeinflusst wie von Umweltpolitik und wirtschaftlicher Entwicklung. Wo dies nicht der Fall ist, z.B. bei der Luftschadstoffimmission in Ballungsräumen oder dem Zugang zu sauberem Trinkwasser, handelt es sich um Probleme, die tatsächlich in entwickelten Industrieländern als weitgehend gelöst gelten dürfen, ohne daß dies Rückschlüsse auf schwieriger zu messende Probleme erlaubt. Nationale Daten zu Schadstoffemissionen liegen praktisch nur für Luftemissionen vor und basieren im wesentlichen auf der Entwicklung der – von der Umweltpolitik kaum beeinflussten – Energieverbräuche und chronisch unzuverlässig erhobenen Schadstoffkoeffizienten.

Alles in allem geben die zur Verfügung stehenden Daten ein extrem lückenhaftes und unzuverlässiges Bild über die menschlichen Einwirkungen auf die Umweltsituation im Zuge der wirtschaftlichen und sozialen Entwicklung. Darüber hinaus haben sie einen eindeutigen Bias in Hinblick auf „alte“ Umweltprobleme, teilweise sogar auf traditionelle Entwicklungsindikatoren (Zugang zu sauberem Trinkwasser).

## 5 Wachstum und Strukturwandel in den westlichen Industrieländern seit 1960

Die Diskussion in Kapitel 4 sollte zeigen, daß eine Identifikation von Gesetzmäßigkeiten der wirtschaftlichen Entwicklung empirisch auf fundamentale Schwierigkeiten stößt, weswegen die empirische Forschung sich auf eine vorsichtigeren, rein deskriptive Datenanalyse beschränken sollte<sup>14</sup>. In Ermangelung an aussagefähigen und umfassenden Daten zur Entwicklung der Umweltsituation, der Schadstoffemission und -produktion im Zuge der Wirtschaftsentwicklung (vgl. die Unterscheidung in Gleichung 3, S. 5), soll im folgenden die Analyse auf die Entwicklung besonders umweltschädlich erzeugter Produkte beschränkt werden.

---

<sup>14</sup> Dies ist kein Einwand gegen den Einsatz komplexer statistischer Verfahren, sondern gegen ihre überzogene Interpretation. Da die durch sie geleistete Verdichtung der Daten immer mit einem erheblichen Informationsverlust verbunden ist, sollten die Ergebnisse dieser Rechnungen stets durch transparentere, z.B. grafische Verfahren ergänzt werden, und zwar auch in der Präsentation, nicht nur in der internen Datenexploration. Ansonsten sind die Ergebnisse für Außenstehende kaum nachvollziehbar.

## 5.1 Zur Bedeutung von "Dirty Industries"

Die hier behandelten Materialien sind überwiegend keine Rohstoffe, sondern selbst Erzeugnisse von Grundstoffindustrien mit besonders hohen Umweltauswirkungen. Die wichtigsten „dirty industries“ sind

- Bergbau,
- Energieumwandlung, v.a. Stromerzeugung und Mineralölverarbeitung,
- Metallerzeugung, v.a. die Eisenschaffende Industrie und die Aluminiumerzeugung, überwiegend auf Grundlage der Verhüttung von Metallerzen,
- die Erzeugung nichtmetallischer Mineralprodukte (Steine und Erden), v.a. Baustoffe, Glas und Keramik,
- die Chemische Industrie,
- die Erzeugung von Zellstoff, Papier und Pappe.

Selbstverständlich sind die Umweltauswirkungen anderer Branchen keineswegs zu vernachlässigen: Die Folgen einer unsachgemäß betriebenen Tankstelle, eines brennenden Pestizidlagers oder einer brandrodenden Landwirtschaft sind mitunter verheerender als diejenige ordnungsgemäß betriebener Kernkraftwerke oder Raffinerien. Doch zumindest in entwickelten Industrieländern ist es nicht mehr so sehr die fahrlässig verursachte Katastrophe als die ordnungsgemäße und mit aufwendigen Vorsichts- und Entsorgungsmaßnahmen abgesicherte Normalität, deren Restrisiken und Restbelastungen auf Dauer die Umwelt überfordern können.

Mit den oben genannten Branchen werden nicht so sehr umweltschädliche Konsumstile und Lebensweisen identifiziert, als bestimmte, in der Regel frühe Phasen der Produktion, in denen sich Umweltschäden konzentrieren. Es steht dabei vorläufig nicht zur Debatte, inwiefern die Bedeutung dieser Produktionsphasen verringert werden kann, sei es durch andere Endverbrauchsmuster oder lediglich durch eine Verminderung der Material-, Energie- oder Transportintensität der Endverbrauchsstruktur<sup>15</sup>. Im folgenden interessiert lediglich die Entwicklung des materiellen Outputs dieser besonders umweltschädlichen volkswirtschaftlichen Sektoren.

Die besondere Umweltschädlichkeit der genannten Branchen wird hier nicht im Detail nachzuweisen versucht. Lediglich der sektorale Endenergieverbrauch und die sektorale Energieintensität sollen als leicht verfügbare Indikatoren einen Eindruck von der umweltpolitischen Bedeutung dieser Sektoren vermitteln. Bei diesen Indikatoren erübrigt sich die besondere Darstellung der Energiesektoren selbst, deren Energieintensitäten naturgemäß sehr hoch sind. Abbildung 12 behandelt deshalb nur alle anderen „dirty industries“: nichtmetallische Mineralprodukte, Chemieindustrie, Papiererzeugung und Metallerzeugung (hinsichtlich des Energieverbrauchs, aber nicht hinsichtlich der Wertschöpfung differenziert nach Eisenschaffender Industrie und der Nichteisenmetallerzeugung). Der untere Teil der Grafik zeigt die Anteile dieser Industrien und des Verarbeitenden Gewerbes insgesamt am Bruttoinlandsprodukt der derzeit 29 OECD-Länder, der obere Teil die Anteile am gesamten Endenergieverbrauch, beides für das Jahr 1992. Die Länder

---

<sup>15</sup> Die Verknüpfung von Endverbrauchsstrukturen mit der Entwicklung der Grundstoffindustrien soll in künftigen Arbeiten mithilfe von Input-Output-Analysen geleistet werden.

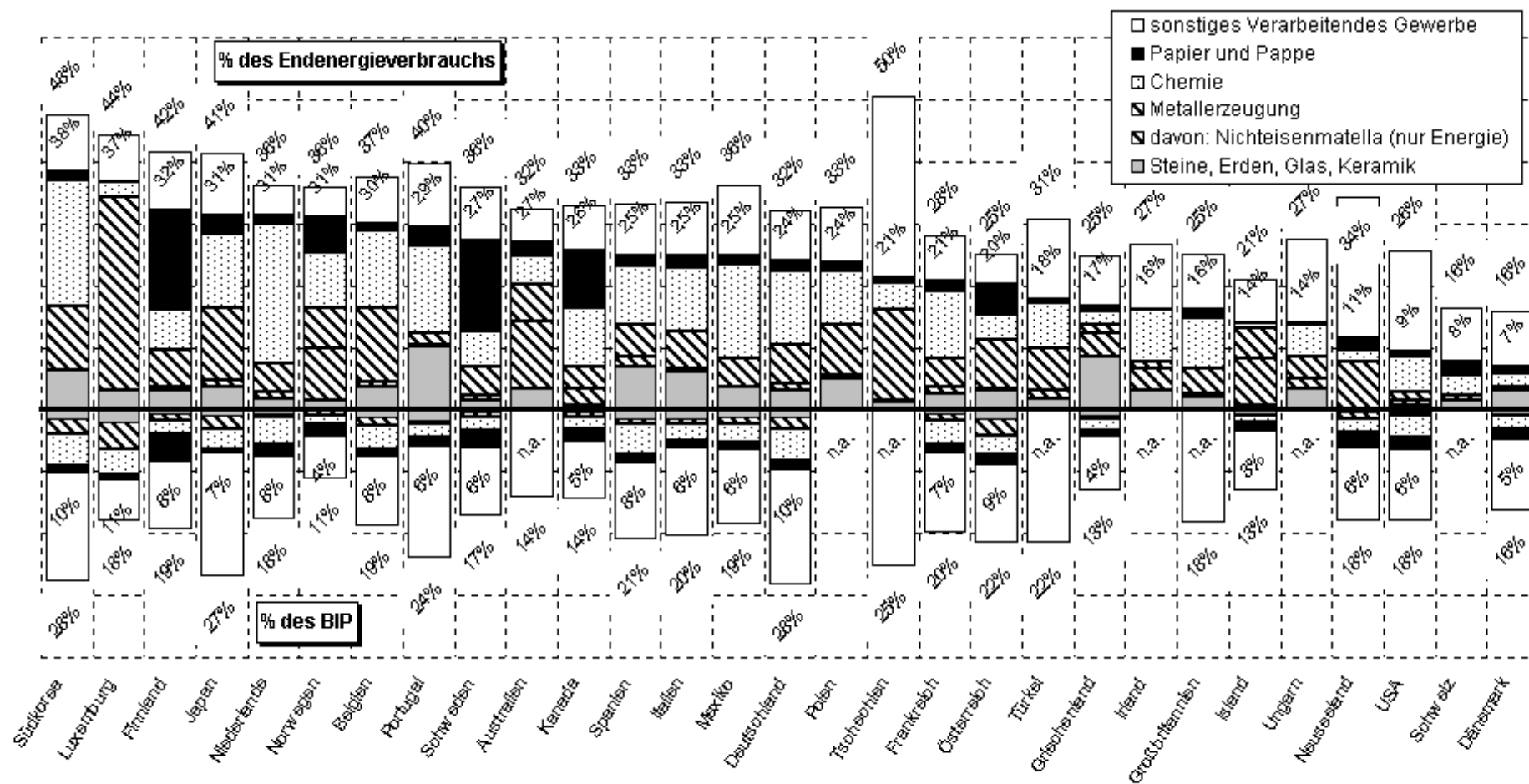
sind geordnet nach dem Anteil der „dirty industries“ am Endenergieverbrauch, angeführt von Südkorea mit 38% und Luxemburg mit 37%. Dies sind zugleich die einzigen Länder, in denen diese Branchen mehr als 10% des nationalen BIPs erzeugen. Zumeist beträgt der Anteil der dirty industries am BIP circa 6-8%, am Endenergieverbrauch jedoch 30-40%. Und dabei ist zu bedenken, daß der größte, aber statistisch nur schwer abzugrenzende Teil der Endenergie gar nicht bei der *Erzeugung*, sondern bei der *Verwendung* des Bruttoinlandsprodukts verbraucht wird, v.a. im Straßenverkehr und in privaten Haushalten. Die wichtigsten *produzierenden* Energieverbraucher finden sich nach wie vor nicht im Dienstleistungssektor, sondern im Verarbeitenden Gewerbe. Hier ist die dominante Stellung der „dirty industries“ noch beeindruckender: Meist verbrauchen sie doppelt oder drei Mal so viel Energie wie alle anderen Branchen des Verarbeitenden Gewerbes *zusammen*, erzeugen aber nur halb oder ein Drittel so viel volkswirtschaftlichen Wert.

In den USA liegen die Verhältnisse allerdings ein wenig anders: Hier sind „dirty industries“ für lediglich 9% des Endenergieverbrauchs verantwortlich, was im wesentlichen auf den im internationalen Vergleich extrem energieintensiven Endverbrauch zurückzuführen ist. Ein einfacher Ländervergleich birgt die Gefahr, die Bedeutung dieses Sachverhalts zu unterschätzen: Die Vereinigten Staaten allein verbrauchen 43% des Endenergieverbrauchs, produzieren 31% der Wirtschaftsleistung und beherbergen 27% der Bevölkerung aller OECD-Länder.

Die Daten vermitteln einen ersten Eindruck, sind aber insbesondere hinsichtlich der Unterschiede zwischen den aufgeführten Ländern nicht allzu belastbar: Für einige Länder sind, wie aus der Grafik zu sehen, überhaupt keine Daten für die sektorale Zusammensetzung des Bruttoinlandsprodukts verfügbar, für viele anderen Länder sind die dokumentierten Zeitreihen überaus kurz, was auf eine geringe Verlässlichkeit der Daten schließen läßt. Darüber hinaus unterscheiden sich die Preisstrukturen der Länder so stark, daß dies allein viele Unterschiede zwischen den Ländern erklären kann. Auch die Energiebilanzen der IEA sind keineswegs perfekt: Beispielsweise dürfte Neuseelands als gering ausgewiesener Energieverbrauchsanteil besonders umweltbelastender Branchen darauf zurückzuführen sein, daß keinerlei Energieverbrauch für die Erzeugung von nichtmetallischen Mineralprodukten und von NE-Metallen erwähnt wird, obwohl Neuseeland auf die Erzeugung extrem stromintensiv erzeugten Hüttenaluminiums spezialisiert ist.

Die Datenlage erlaubt auch keine Darstellung im Zeitverlauf, da Datenreihen in der hierfür nötigen sektoralen Disaggregation in den meisten Ländern allenfalls seit Mitte bis Ende der 70er Jahre zur Verfügung stehen. Angesichts des relativen Bedeutungsverlustes der „dirty industries“ (s.u.), der besonders wirksamen Modernisierungen innerhalb dieser Sektoren (vgl. Jänicke et al. 1993) und der generell abnehmenden Bedeutung der produzierenden gegenüber den konsumierenden Sektoren der Umweltbelastung (v.a. privater Straßenverkehr, privater Verbrauch) kann davon ausgegangen werden, daß die Bedeutung der im folgenden diskutierten Industrien in den 60er und 70er Jahren deutlich höher war als heute.

Abbildung 12: Anteile besonders umweltbelastender Industrien und des Verarbeitenden Gewerbes insgesamt am BIP und am Endenergieverbrauch in OECD-Ländern 1992



Quelle: IEA Energy Balances 1997, OECD: National Accounts II 1997

Wertschöpfungsdaten für Deutschland beziehen sich nur auf Westdeutschland. Alle BIP-Anteile wurden berechnet mit nominalen Werten in nationaler Währung

## 5.2 Die langfristige Entwicklung der Materialverbräuche

Bis zum Ausbruch der ersten Ölkrise im Jahr 1973 wuchsen in den westlichen Industrieländern die wichtigsten industriellen Materialverbräuche ebenso schnell wie die volkswirtschaftliche Wertschöpfung, d.h. das Bruttoinlandsprodukt BIP (vgl. Abbildung 13 und die dort angegebenen Datenquellen). Letzteres wuchs in den 24 Mitgliedsländern der OECD vor dem Beitritt Mexikos 1994 ohne große Schwankungen mit jahresdurchschnittlich 5,0% in den Jahren 1960-73. Der Verbrauch nur weniger Materialien (gemessen in Kilotonnen) wuchs langsamer: Kupfer mit jahresdurchschnittlich 4,5%, Blei mit 3,4% and Zinn mit 1,8%. Die meisten Materialeinsätze wuchsen hingegen sogar ein wenig schneller als das BIP: Rohstahl mit 5,3%, Zement<sup>16</sup> mit 5,7%, Düngemittel mit 5,8%, Nickel mit 6,4%, Zink mit 5,1%, Papier und Pappe mit 5,3%, Zellstoff – weitgehend als Vorprodukt der Papier- und Pappeerzeugung verwendet – mit 5,0% und Aluminium mit erstaunlichen 9,8%. Für die Materialgruppe der Energieträger dient hier der Primärenergieverbrauch als Leitindikator: Auch er stieg ein wenig schneller als das BIP mit einer jahresdurchschnittlichen Rate von 5,3%.

Sowohl die Einheitlichkeit als auch die Stabilität des Wachstums ließen damals eine Fortführung dieser Wachstumsraten bis ins Unendliche erwarten – oder bis zur Katastrophe, wie es Kritiker, z.B. die Autoren von „Grenzen des Wachstums“ (Meadows et al. 1973) befürchteten. In Abbildung 13 ist diese zur damaligen Zeit hochplausible Entwicklung durch die obere Kante der Fläche veranschaulicht, die mit „hypothetisches BIP bei 5% jährlichem Wachstum“ bezeichnet ist. Danach hätten im Jahre 1995 die OECD-Länder mehr als 31 Billionen US-\$ in Preisen und Wechselkursen von 1990 erzeugen müssen, d.h. 73% mehr als sie tatsächlich produzierten (18 Billionen US-\$ von 1990), da das gemeinschaftliche BIP nur noch um 2,4% jahresdurchschnittlich stieg in den Jahren 1973-95.

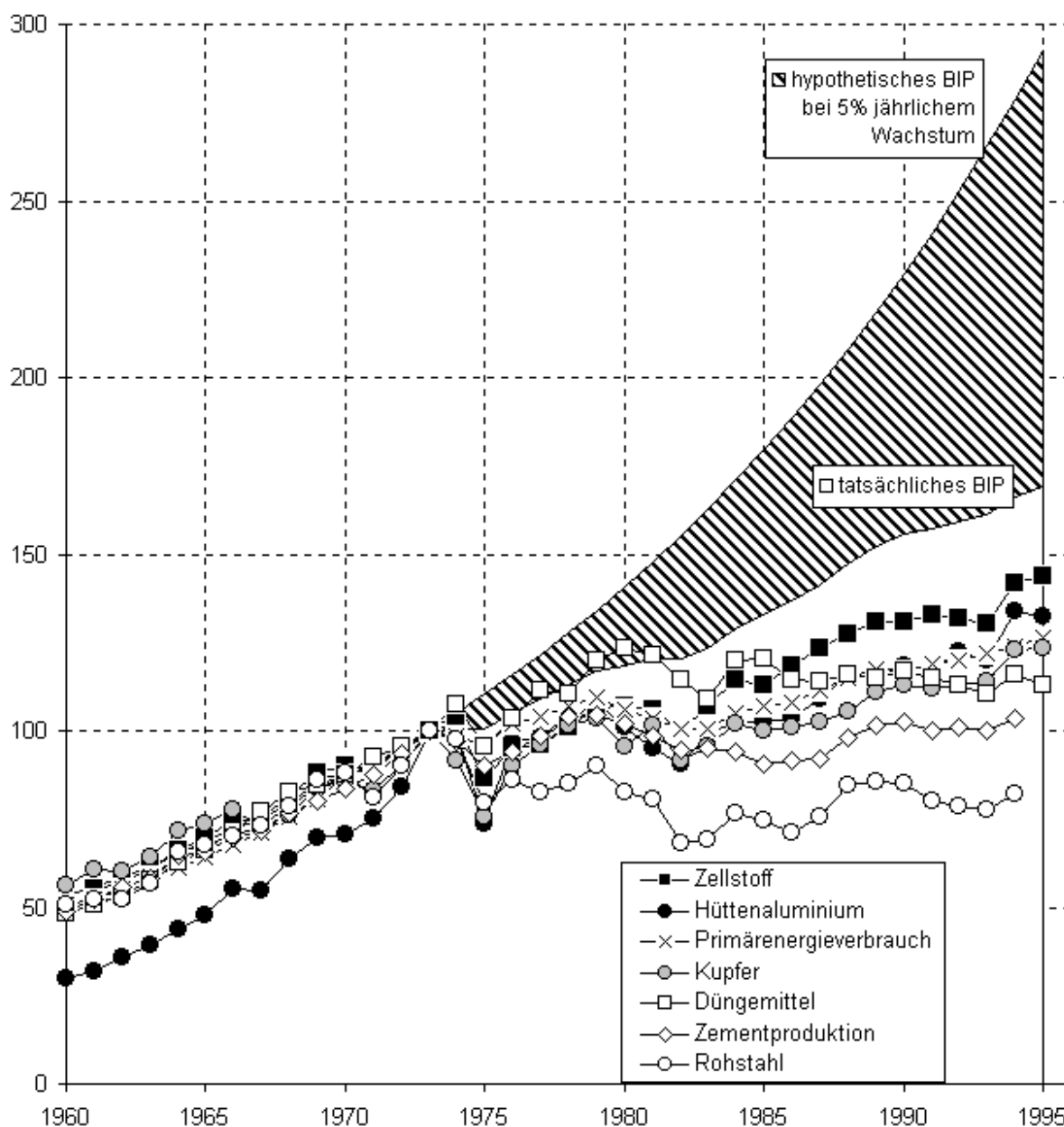
Aus der Perspektive des Umweltschutzes unterschätzt dieser hypothetische Vergleich die Bedeutung des Trendbruchs sogar noch, da sowohl Ressourcenverknappung als auch viele besonders prekäre Umweltbelastungsindikatoren weniger mit dem laufenden BIP als mit dem kumulierten BIP kausal verbunden sind. In jedem Jahr seit 1973 wurden weniger Güter und Dienstleistungen erzeugt als zu Beginn dieses Zeitraumes erwartet. Diese in den Jahren 1973-95 unerwarteterweise vermiedene Produktion beläuft sich auf 118 Billionen US-\$ (1990) oder 6,6 Jahre des BIPs von 1995 oder 21 Jahre desjenigen von 1960: All diese Güter und Dienstleistungen, die durch die schattierte Fläche in Abbildung 13 angedeutet ist, wurden nie erzeugt, keine Rohstoffe waren für ihre Bereitstellung nötig und keine Umweltverschmutzung entstand als Abfallprodukt davon.

---

<sup>16</sup> Es sind keine umfassenden Daten zu nationalen Zementverbräuchen verfügbar, aber Zement wird gewöhnlich nicht weiter als 150 km transportiert. In kleinen Ländern gibt es deshalb oftmals bedeutende Unterschiede zwischen nationaler Erzeugung und Verbrauch (z.B. in Griechenland, Luxemburg, den Niederlanden), aber nicht in der Summe der Industrieländer. Deshalb sind hier Produktionsdaten ein guter Ersatz für Verbrauchsdaten.



Abbildung 13: Materialverbräuche und BIP in den OECD (24)-Staaten 1960-95 (1973=100)



Quellen: OECD (BIP); IEA (Energieverbrauch); FAO (Düngemittel, Papier/Zellstoff); Metallgesellschaft (NE-Metalle), UN (Zement, Stahl)

Ob ein solches hypothetisches 5%-Wachstum des BIPs tatsächlich zu einem ähnlich rasanten Anstieg der Materialverbräuche geführt hätte, wissen wir nicht, da seit 1973 das Wachstum der Materialverbräuche vom Wirtschaftswachstum entkoppelt ist. Von all den oben erwähnten Materialien wuchs allein der Verbrauch von Papier und Pappe mit 2,6% p.a. ein wenig schneller als das BIP mit 2,4% p.a. – doch selbst in diesem Fall stieg aufgrund zunehmenden Recyclings der Verbrauch des Vorprodukts Zellstoff nur mit 1,7% p.a. Der Einsatz von Aluminium stieg fast ebenso schnell wie das BIP (2,2% p.a.), aber auch hier senkte das zunehmende Recycling („Sekundäraluminium“) das Wachstum der besonders umweltschädlichen Primärproduktion aus Bauxit („Hüttenaluminium“) auf 1,4% p.a.

Der Verbrauch anderer Industriematerialien verzeichnete noch geringere Wachstumsraten: Der Nickelverbrauch wuchs mit 1,4%, der Primärenergieverbrauch und der Verbrauch von Kupfer mit 1,0%, der Kunstdüngereinsatz mit 0,7%, die Zementherzeugung mit 0,2%. Die Verbräuche an Rohstahl, raffiniertem Blei, Zink und Zinn *fielen* sogar mit  $-0,9\%$ ,  $-0,2\%$ ,  $-0,1\%$  beziehungsweise  $-1,8\%$  (alle jahresdurchschnittlich).

Es können im wesentlichen zwei Phasen seit 1973 unterschieden werden: Die erste war eine Zeit starker Umbrüche und Krisen und dauerte von den frühen 70er bis zu den frühen 80er Jahren. Sie waren geprägt durch enorme Auf- und Abschwünge im Zuge der Rezessionen, die den beiden Ölkrisen folgten. In diesem Zeitraum fiel der Rohstahlverbrauch der Industrieländer um ungefähr 20%, der Verbrauch der meisten anderen Materialien stagnierte, mit Ausnahme des Kunstdüngerverbrauchs, der sich zunächst weiterhin parallel zur Wirtschaftsleistung entwickelte. Die zweite Phase begann in der Mitte der 80er Jahre. In ihr kehrten die meisten Materialverbräuche zu einer stabileren Entwicklung zurück mit schwach ansteigender Tendenz. Eine Ausnahme bildet wiederum der Kunstdüngerverbrauch, der nun ein wenig sank.

Die erste der beiden Phasen, die Krisen nach 1973, provozierte eine Theorie, die als „IOU hypothesis“ bekannt wurde (Malenbaum 1973, 1978): IOU steht für „intensity of use“ (Verbrauchsintensität) und wird gemessen in Materialverbrauch je BIP-Einheit. Diese bereits in Kap. 2.3 erwähnte IOU-Hypothese ist eine Art Modernisierungstheorie und mit der ökologischen Kuznetskurve verwandt und behauptet, die Verbrauchsintensitäten stiegen für die meisten Materialien in den frühen Phasen der Wirtschaftsentwicklung typischerweise an, bis ein Wendepunkt erreicht ist, in dessen Folge die Intensitäten fielen und schließlich womöglich sogar ein absoluter Verbrauchsrückgang erreicht würde, trotz oder gerade wegen fortgesetzten Wirtschaftswachstums. Eine grafische Abbildung – der Umweltintensitäten, nicht der absoluten Umweltverbräuche! – ähnelte wiederum einem umgekehrten U. Dieser vermutete Bedeutungsverlust des Materialinputs für die wirtschaftliche Entwicklung reicher Industrienationen wurde auch bezeichnet als ein Trend „beyond the era of materials“<sup>17</sup> (Larson et al. 1986, Williams/Larson 1987, Larson 1991).

Umgekehrt bestärkte die Stabilisierung und der leichte Wiederanstieg von Materialproduktion und -verbrauch seit Mitte der 1980er die Kritiker der IOU-Hypothese, die den Rückgang der Materialintensitäten als zeitweilige Begleiterscheinung der unerwartet schweren, aber letztlich bewältigten Rezessionen interpretierten. Daraus schlossen sie auf eine zunehmende Stabilisierung der Energie- und Materialintensitäten, sozusagen ein „re-coupling“ nach dem krisenbedingten „de-coupling“ (MacKillop 1989, deBruyn/Opschoor 1997).

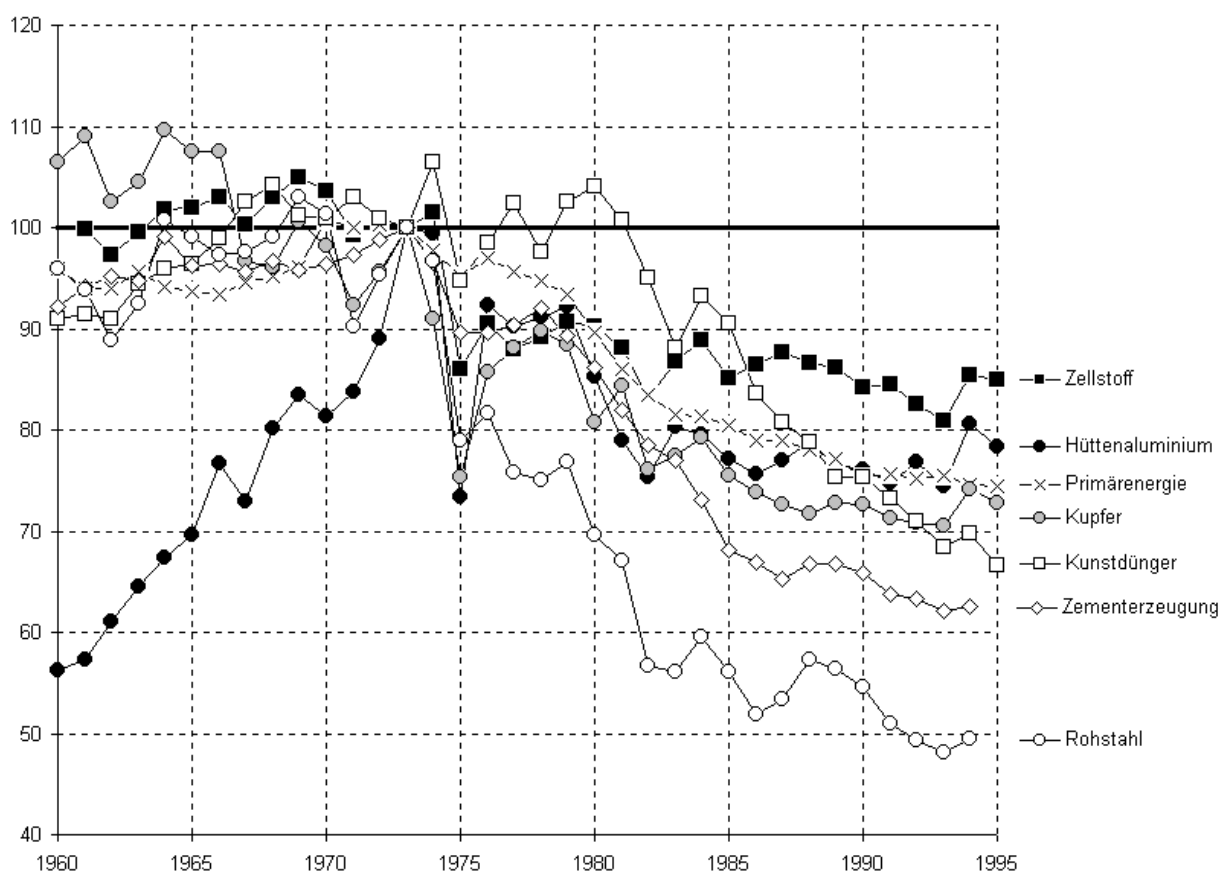
Abbildung 14 beruht auf den selben Daten wie Abbildung 13 und zeigt die Entwicklung der Verbrauchsintensitäten. Sie zeigt, daß sowohl die IOU-Hypothese als auch die re-coupling-These bemerkenswerte Entwicklungen überbetonen: Einerseits hat es entsprechend der IOU-These tat-

---

<sup>17</sup> Damit ist natürlich nicht der Beginn einer materiefreien Wirtschaft prognostiziert, noch nicht einmal notwendigerweise der tatsächliche Rückgang von Materialproduktion und -verbrauch, sondern lediglich, daß die weitere wirtschaftliche Entwicklung nicht von der Höhe der Materialverbräuche geprägt und angetrieben wird.

sächlich einen starken und dauerhaften Rückgang der Verbrauchsintensitäten in den vergangenen Jahrzehnten gegeben. Doch daraus abzuleiten, dieser Rückgang werde sich mit der selben oder womöglich wachsender Geschwindigkeit fortsetzen, hat sich als falsch erwiesen. In der jüngeren Vergangenheit sanken, mit Ausnahme der Düngerintensität, alle Verbrauchsintensitäten deutlich langsamer als in den Jahren zuvor. Was Zellstoff, Hüttenaluminium und Kupfer betrifft (sowie Zinn und Nickel, die nicht in Abbildung 13 und Abbildung 14 dargestellt sind), handelt es sich eher um eine Stabilisierung, also ein re-coupling ohne Rückkehr zu den Intensitäten vor Einbruch der Krise. Letzteres finden wir hingegen für die ebenfalls nicht in den Abbildungen aufgeführten Verbrauchsintensitäten für Papier und Pappe und Gesamtaluminium, d.h. inklusive der entsprechenden Recyclingmengen. Alles in allem, kann jedoch nicht von einem wirklichen „re-coupling“ gesprochen werden, solange die Verbräuche der mengenmäßig wichtigsten industriell aufbereiteten Materialien – Stahl, Zement und Energieträger – weiterhin langsamer steigen als das BIP.

Abbildung 14: Materialverbrauchsintensitäten in OECD (24)-Ländern 1960-95 (1973=100)



Quellen: OECD (BIP); IEA (Energieverbrauch); FAO (Düngemittel, Papier/Zellstoff); Metallgesellschaft (NE-Metalle), UN (Zement, Stahl)

Da es sich hier nicht um Produktions-, sondern um Verbrauchsdaten handelt, kann die Entkoppelung nicht einfach mit der Auslagerung in Nichtindustrieländer erklärt werden (Jänicke/Binder/Mönch 1997). Im übrigen sind die Industrieländer nach wie vor Netto-Exporteure von Dünge-

mitteln (20-30% des eigenen Verbrauchs), Rohstahl (5-10%), Papier und Pappe (3-5%), Zellstoff (1-2%), Blei (0-2%) und Zink (2-7%) – und der Anteil der Exporte an der inländischen Produktion von Dünger, Stahl, Blei und Zink ist heute sogar höher als in den 60er Jahren. Zement und Strom werden kaum über größere Entfernungen hinweg gehandelt. Die Industrieländer importieren konstante 5% ihres Inlandsverbrauchs an Mineralölprodukten und 10% ihres Bedarfs an Hüttenaluminium, letzteres mit leicht wachsender Tendenz. Nur bei einigen weiteren Nichteisenmetallen finden sich hohe und steigende Anteile der Netto-Importe am Inlandsverbrauch (mehr als 20% bei Kupfer und Nickel, mehr als 90% bei Zinn). Für andere wichtige Chemikalien als Düngemittel liegen uns keine umfassenden Daten vor. Sie werden in der Regel im produzierenden Unternehmen selbst zu einer Vielzahl von Produkten weiterverarbeitet.

## 6 Schluß

Die in Kapitel 5 präsentierten Daten implizieren gewaltige Umweltentlastungen: Ohne die Wirtschaftskrisen seit Anfang der 70er Jahre läge die Wirtschaftsleistung der OECD heute um rund drei Viertel höher. Der Strukturwandel zu Lasten vieler Grundstoffindustrien führte zu zusätzlichen Rückgängen der Materialintensitäten dieser Wirtschaftsleistung um ein Fünftel (Zellstoff) bis die Hälfte (Rohstahl).

Diese Entwicklungen wurden weder vorhergesehen noch waren sie beabsichtigt. Im Gegenteil: Die betroffenen Produzenten und die staatliche Politik suchten sie zu verhindern, wo es nur ging, trotz der mit ihnen als Gratisseffekte (Jänicke 1986) verbundenen Umweltentlastungen. Die Umweltpolitik beschränkte sich dabei ganz überwiegend darauf, die Umweltintensitäten einzelner Produzenten so zu verringern, daß deren Output davon möglichst wenig beeinflußt wurde (vgl. Kapitel 2), was ihr in der Regel auch gelang. Umweltentlastungen ergaben sich demnach zugleich aus den Erfolgen dieser Umweltpolitik und dem Versagen der Wirtschaftspolitik und der Unternehmen, die Krisen der Materialproduzenten zu verhindern.

Inwiefern diese Umweltentlastungen tatsächlich genügen bzw. genügen werden und wie sie mit der allgemeinen Wirtschaftsentwicklung zusammenhängen, konnte in der vorliegenden Untersuchung empirisch nicht geklärt werden. Bisherige Versuche, dies umfassend zu tun, kranken an der unzulänglichen Datenlage und willkürlichen Vorentscheidungen bei der Modellspezifikation (Kapitel 4).

Ob diese Umweltentlastungen ausreichen werden, ob also auf Dauer eine zugleich umweltverträgliche und gerechte Wohlstandssteigerung möglich ist, ist dabei nicht allein ein technisches, sondern im wesentlichen ein soziales bzw. sozialwissenschaftliches Problem: Wie können die Machtverhältnisse und Institutionen entstehen, die die Innovationspotentiale der Gesellschaft zu einer gleichzeitigen Steigerung der Arbeits- und Umweltproduktivitäten anreizen?

## 7 Literatur

- Ahrens, Andreas / Griebhammer, Rainer 1993: Perspektiven für die Chlorchemie. in: .Altner, Günter / Mettler-Meibom, Barbara / Simonis, Udo E. / Weizsäcker, Ernst U. von (Hrsg.): Jahrbuch Ökologie 1994. München: C. H. Beck: 120-131
- Antes, Ralf 1988: Umweltschutzzinnovationen als Chancen des aktiven Umweltschutzes für Unternehmen im sozialen Wandel. Berlin: Schriftenreihe des IÖW 16/88.
- Arrow, Kenneth / Bolin, Bert / Costanza, Robert / Dasgupta, Partha / Folke, Carl / Holling, C.S. / Jansson, Bengt-Owe / Levin, Simon / Mäler, Karl-Göran / Perrings, Charles / Pimentel, David 1995: Economic growth, carrying capacity, and the environment. in: *Science* 268 (1995): 520-521. (wieder abgedruckt und zitiert nach: *Ecological Economics* 15 (1995): 91-95).
- Bästlein, Sönke 1991: Die Feasibility-Studie unter qualitativen Aspekten. Produktintegrierter Umweltschutz und Anlagensicherheit bei der Projektbewertung im Chemieanlagenbau. Ludwigsburg, Berlin: Verlag Wissenschaft & Praxis.
- Benking, H. / Brauer, G.W. / Fliedner, T.M. / Greiner, C. / Malaska, P. / Morath, K. / Pestel, R. / Radermacher, F.J. 1996: Robust Paths to Global Stability: Tough but Feasible\*. Volume of the International Symposium „Work in the Information Society“ Helsinki 1996. (URL: <http://www.faw.uni-ulm.de/deutsch/Literatur/Radermacher/ropatg.html>).
- Bernard, Andrew B. / Jones, Charles I. 1996: Comparing Apples to Oranges: Productivity Convergence and Measurement Across Industries and Countries. in: *The American Economic Review*, Vol. 86, No. 5: 1216-1238.
- Binder, Manfred / Jänicke, Martin 1994: Umweltschutz durch integrierte Technik und Strukturwandel. Kurzgutachten im Auftrag des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB). Berlin (unveröffentlichtes Manuskript).
- Binder, Manfred 1993: Schließende Komparatistik. Die methodischen Grenzen des Ländervergleichs. Diplomarbeit am Fachbereich Politische Wissenschaften der FU Berlin, Berlin.
- Binder, Manfred 1996a: Die Operationalisierung umweltpolitischen Erfolges: Probleme und Lösungsansätze. in: Jänicke 1996: 133-152.
- Binder, Manfred 1996b: Mögliche Erfolgsbedingungen der Schwefeldioxidminderung im internationalen Vergleich. in: Jänicke 1996: 153-201.
- Binswanger, Hans Christoph 1991: Umweltschutz und Wirtschaftswachstum. in: Stratmann-Mertens, Eckhard / Hickel, Rudolf / Priewe, Jan (Hrsg.): Wachstum. Abschied von einem Dogma. Kontroverse über eine ökologisch-soziale Wirtschaftspolitik. Frankfurt/Main: S. Fischer: 129-139.
- Binswanger, Mathias 1992: Information und Entropie. Ökologische Perspektiven des Übergangs zu einer Informationsgesellschaft. Frankfurt am Main / New York: Campus.
- Blalock, Hubert M. 1984: Basic Dilemmas in the Social Sciences. Beverly Hills, London, New Delhi: Sage.
- Bongaerts, Jan C. / Hempen, Susanne / Kozel, Ingeborg (1993): Anforderungen an eine Kreislaufwirtschaft. in: Altner, Günter / Mettler-Meibom, Barbara / Simonis, Udo E. / Weizsäcker, Ernst U. von (Hrsg.): Jahrbuch Ökologie 1994. München: C. H. Beck: 109-119.
- Bremer, Stuart A. 1980: Technologischer Fortschritt und die Grenzen des Wachstums. in: Bremer, Stuart A. / Kappel, Rolf / Otto, Peter / Weck, Hannelore / Widmaier, Ulrich: Weltmodellstudien. Wachstumsprobleme und Lösungsmöglichkeiten. Königstein/Ts.: Anton Hain: 21-92.
- Bruyn, Sander de / Opschoor, J.B. 1997: Developments in the throughput-income relationship: theoretical and empirical observations. in: *Ecological Economics* 20: 255-268.
- Coenen, Reinhard / Klein-Vielhauer, Sigrid / Meyer, Rolf 1996: Integrierte Umwelttechnik – Chancen erkennen und nutzen. Studien des TAB (Büro für Technikfolgenabschätzung), Bd. 1. Berlin: edition sigma.
- Cole, H.S.D. / Curnow, R.C. 1973: An Evaluation of the World Models. in: Cole et al. 1973: 108-134.
- Cole, H.S.D. / Freeman, Christopher / Jahoda, Marie / Pavitt, K.L.R. (Hrsg.) 1973: Models of Doom. A Critique of the Limits to Growth. With a Reply by the Authors of The Limits to Growth. New York: Universe Books:

- Costanza, Robert (Ed.) 1995: Forum – Economic growth, carrying capacity, and the environment. in: *Ecological Economics* 15: 89-147.
- Daly 1992: *Steady-state economics*. Second edition with new essays. London: Earthscan.
- Daly, Herman E. / Solow, Robert M. / Stiglitz, Joseph E. et al. 1997: Forum Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz. in: *Ecological Economics* 22: 261-306.
- Easterbrook, Greg 1995: *A Moment on the Earth. The Coming Age of Environmental Optimism*. New York et al.: Penguin.
- Ekins, Paul 1997: The Kuznets curve for the environment and economic growth: examining the evidence. in: *Environment and Planning*, Vol. 29.
- Endres, Alfred / Querner, Immo 1993: *Die Ökonomie natürlicher Ressourcen. Eine Einführung*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Environment Canada 1986: *State of the Environment. Report for Canada*. Quebec: Minister of Supply and Service Canada.
- FAO (Food and Agriculture Organization) div. Jg.: *Yearbook Fertilizer*. Rom.
- FAO (Food and Agriculture Organization) div. Jg.: *Yearbook Forest Products*. Rom.
- Foljanty-Jost, Gesine 1993: Japan. in: Jänicke et al. 1993: 105-124.
- Foljanty-Jost, Gesine 1995: *Ökonomie und Ökologie in Japan. Politik zwischen Wachstum und Umweltschutz*. Opladen: Leske+Budrich.
- Forrester, Jay W. 1971: *World Dynamics*. Cambridge, Mass.: Wright-Allen.
- Förstner, Ulrich 1993: *Umweltschutztechnik. Eine Einführung*. 4. Auflage. Berlin u.a.: Springer.
- Gerau, Jürgen 1978: Zur politischen Ökologie der Industrialisierung des Umweltschutzes. in: Jänicke, Martin (Hrsg.): *Umweltpolitik. Beiträge zur Politologie des Umweltschutzes*. Opladen: Leske + Budrich 1978: 114-149.
- Grossman, Gene M. / Krueger, Alan B. 1991: *Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement*. Cambridge MA: National Bureau of Economic Research (NBER Working Paper No. 3914).
- Grossman, Gene M. / Krueger, Alan B. 1994: *Economic Growth and the Environment*. Cambridge MA: National Bureau of Economic Research (NBER Working Paper No. 4634).
- Grossman, Gene M. 1993: *Pollution and Growth: What Do We Know?* London: CEPR Discussion Paper No. 848.
- Hartje, Volkmar J. 1990: Zur Struktur des 'ökologisierten' Kapitalstocks: Varianten und Determinanten umweltsparender technologischer Anpassung im Unternehmen. in: Zimmermann, Klaus / Hartje, Volkmar J. / Ryll, Andreas: *Ökologische Modernisierung der Produktion. Strukturen und Trends*. Berlin: edition sigma.: 135-198.
- Henseling, Karl Otto 1992: *Ein Planet wird vergiftet. Der Siegeszug der Chemie: Geschichte einer Fehlentwicklung*. Reinbek: Rowohlt Taschenbuch.
- Hettige, Hemamala / Mani, Muthukumara / Wheeler, David 1997: *Industrial Pollution in Economic Development: Kuznets Revisited*. Development Research Group, World Bank.
- Holtz-Eakin, Douglas / Selden, Thomas M. 1992: *Stoking the Fires? CO<sub>2</sub> Emissions and Economic Growth*. Cambridge MA: National Bureau of Economic Research, Working Paper No. 4248.
- Huber, Joseph 1991: *Unternehmen Umwelt. Weichenstellungen für eine ökologische Marktwirtschaft*. Frankfurt / Main: S. Fischer.
- Huisingsh, Donald 1988: *Good Environmental Practices, Good Business Practices*. Berlin: Wissenschaftszentrum (FS II 88-409).
- IEA (International Energy Agency) div Jg.: *Energy Balances of OECD countries*. Paris.
- Jänicke, Martin (Hrsg.) 1996: *Umweltpolitik der Industrieländer. Entwicklung – Bilanz – Erfolgsbedingungen*. Berlin: edition sigma.
- Jänicke, Martin / Binder, Manfred / Mönch, Harald 1997: „Dirty Industries“: Wandlungsmuster im Industrieländervergleich. in: Mez, Lutz / Jänicke, Martin (Hrsg.): *Sektorale Umweltpolitik. Analysen im Industrieländervergleich*. Berlin: edition sigma: 187-214.

- Jänicke, Martin / Mönch, Harald / Binder, Manfred 1996: Umweltindikatorenprofile im Industrieländervergleich: Wohlstandsniveau und Problemstruktur. in: Jänicke 1996: 113-131.
- Jänicke, Martin / Mönch, Harald / Binder, Manfred et al. 1993: Umweltentlastung durch industriellen Strukturwandel? Eine explorative Studie über 32 Industrieländer (1970 bis 1990). Berlin: edition sigma (2. Auflage, Erstauflage 1992).
- Jänicke, Martin 1979: Wie das Industriesystem von seinen Mißständen profitiert. Kosten und Nutzen technokratischer Symptombekämpfung: Umweltschutz, Gesundheitswesen, innere Sicherheit. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Jänicke, Martin 1986: Staatsversagen. Die Ohnmacht der Politik in der Industriegesellschaft. München: Piper.
- Jänicke, Martin 1993: Ökologisch tragfähige Entwicklung: Kriterien und Steuerungsansätze ökologischer Ressourcenpolitik. Berlin: Forschungsstelle für Umweltpolitik (FFU-Report 93-7).
- Jänicke, Martin 1998: Dematerialisierung als Postulat und Programm – die Hypothese vom Ende der „era of materials“. Berlin: Forschungsstelle für Umweltpolitik (FFU-report 98-4).
- Jörgens, Helge 1996: Die Institutionalisierung von Umweltpolitik im internationalen Vergleich. in: Hänicke (Hrsg.) 1996: 59-111.
- Kapp, K. William 1988: Soziale Kosten der Marktwirtschaft. Frankfurt/Main: Fischer Taschenbuch. (Original: Social Costs of Business Enterprise. 2<sup>nd</sup> revised and enlarged edition. Bombay, London: Asia Publishing House 1963.)
- Kern, Kristine 1997: Die Diffusion von Politikinnovationen in Mehrebenensystemen. Politikintegration und -innovation in der US-amerikanischen Umweltpolitik. Berlin 1997 (= Inaugural Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Dr. rer. pol. / Fachbereich Politische Wissenschaft / FU Berlin).
- Kern, Kristine 1998: Horizontale und vertikale Politikdiffusion in Mehrebenensystemen. Berlin: Forschungsstelle für Umweltpolitik (FFU rep 98-6).
- Kliemann, Wolfgang / Müller, Norbert 1973: Logik und Mathematik für Sozialwissenschaftler 1. Grundlage formalisierter Modelle in den Sozialwissenschaften. München: Wilhelm Fink.
- Larson, E. / Ross, M. H. / Williams, R. H. 1986: Beyond the Eve of Materials, in: Scientific American, Vol. 254, No. 6: 24-31 (deutsch: Grundstoffindustrie ohne Wachstum: Beginn einer neuen Ära? in: Spektrum der Wissenschaft, Heft 8: 36-47).
- Larson, Eric D. 1991: Trends in the Consumption of Energy-Intensive Basic Materials in Industrialized Countries and Implications for Developing Regions. in: Paper presented for ESETT'91 in Milan, Italy (October 21-25, 1991; revised: 6 November 1991).
- Lieberson, Stanley 1985: Making it Count. The Improvement of Social Research and Theory. Berkeley, Los Angeles, London: University of California Press.
- Lieberson, Stanley 1991: Small N's and Big Conclusions: An Examination of the Reasoning in Comparative Studies Based on a Small Number of Cases. in: Social Forces 70,2: 307-320.
- Lieberson, Stanley 1994: More on the Uneasy Case for Using Mill-Type Methods in Small-N Comparative Studies. in: Social Forces 72,4: 1225-1237.
- MacKillop, Andrew 1989: Decoupling-recoupling and oil shock. in: Energy Policy August 1989: 311-322
- Malenbaum, W. 1973: Material Requirements in the United States and Abroad in the Year 2000, Philadelphia, PA.
- Malenbaum, W. 1978: World Demand For Raw Materials In 1985 And 2000, New York.
- Maxeiner, Dirk / Miersch, Michael 1996: Öko-Optimismus. Düsseldorf, München: Metropolitan Verlag.
- Meadows, Dennis L. / Behrens, William W. III / Meadows, Donella H. / Naill, Roger F. / Randers, Jørgens / Zahn, Erich K.O. 1974: Dynamics of Growth in a Finite World. Cambridge/Mass.: Wright-Allen.
- Meadows, Dennis L. / Meadows, Donella H. / Zahn, Erich K.O. / Milling, Peter 1972: Die Grenzen des Wachstums. Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt. (Original: The Limits to Growth. New York: Universe Books 1972.)

- Meadows, Donella H. / Meadows, Dennis L. / Randers Jørgens 1992: Die neuen Grenzen des Wachstums. Die Lage der Menschheit: Bedrohung und Zukunftschancen. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt. (Original: Beyond the Limits. Post Mills, Vermont: Chelsea Green 1992.)
- Metallgesellschaft div. Jg.: Metallstatistik. Frankfurt/Main.
- Networks for People and their Communities 1996: Making the Most of the Information Society in the European Union. First Annual Report to the European Commission from the Information Society Forum. Supplement Containing Working Groups Reports. Brussels: Information Society Forum Secretariat (European Commission, Information Society Activity Centre; URL: <http://www.ispo.cec.be/infoforum/pub.html>)
- OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) div. Jg.: National Accounts. Paris.
- OECD 1985: Environmental Policy and Technical Change. Paris: OECD.
- OECD 1987: The Promotion and Diffusion of Clean Technologies in Industry. OECD Environment Monographs No.9. Paris: OECD.
- Pavitt, K.L.R. 1973: Malthus and Other Economists. in: Cole et al. 1973: 137-158.
- Przeworski, Adam / Teune, Henry 1970: The Logic of Comparative Social Inquiry. New York, London, Toronto, Sidney: Wiley-Interscience.
- Roberts, J. Timmons / Grimes, Peter E. 1997: Carbon Intensity and Economic Development 1962-91: A Brief Exploration of the Environmental Kuznets Curve. in: World Development 25,2: 191-198.
- Schmidt-Bleek 1994: Wieviel Umwelt braucht der Mensch? MIPS – das Maß für ökologische Wirtschaften. Berlin, Basel, Boston: Birkhäuser.
- Schramm, Engelbert 1991: Denken in Entwicklungslinien und Verzweigungen: Die Alkalichlorid-Elektrolyse und ihre Genese als Fallbeispiel. in: Held, Martin (Hrsg.): Leitbilder der Chemiepolitik. Stoffökologische Perspektiven der Industriegesellschaft. Frankfurt am Main / New York: Campus: 42-54.
- Shafik, Nemat / Bandyopadhyay, Sushenjit 1992: Economic Growth and Environmental Quality. Time-Series and Cross-Country Evidence. Background Paper for World Development Report 1992. Washington D.C.: The World Bank (WPS 904).
- Strümpel, Burkhard / Longolius, Stefan 1991: Leitbilder des integrierten Umweltschutzes zwischen Handlungsprogramm und Leerformel. in: Kreikebaum, Hartmut (Hrsg.): Integrierter Umweltschutz. Eine Herausforderung an das Innovationsmanagement. 2. Auflage. Wiesbaden: Gabler: 71-85.
- Sutter, Hans 1991: Vermeidung und Verwertung von Sonderabfällen. Grundlagen, Verfahren, Entwicklungstendenzen. 3. Auflage. Berlin: Erich Schmidt.
- Umweltschutz 1972. Das Umweltprogramm der Bundesregierung. Stuttgart, Berlin, Köln, Mainz: Kohlhammer.
- UN (United Nations) div. Jg.: Industrial Statistics Yearbook. New York.
- Weber, Gerd R. 1991: Treibhauseffekt. Klimakatastrophe oder Medienpsychose? Wiesbaden: Dr. Böttiger Verlags-GmbH.
- Weizsäcker, Ernst Ulrich von / Lovins, Amory B. / Lovins, L. Hunter 1995: Faktor vier. Doppelter Wohlstand – halbiertes Naturverbrauch. München: Droemer Knauer.
- Weizsäcker, Ernst Ulrich von 1992: Erdpolitik. Ökologische Realpolitik an der Schwelle zum Jahrhundert der Umwelt. 3. Auflage. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Weltkommission für Umwelt und Entwicklung 1987: Unsere gemeinsame Zukunft. Hrsg.: Volker Hauff. Grevén: Eggenkamp. (Original: Our Common Future.)
- Wildavsky, Aaron 1995: But Is It True? A Citizen's Guide to Environmental Health and Safety Issues. Cambridge MA, London: Harvard University Press.
- Williams, Robert H. / Larson, Eric D. 1987: Materials, Affluence, and Industrial Energy Use. in: Annual Review of Energy 12: 99-144.
- WMO (World Meteorological Organisation) 1994: Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1994; part 13.3.2, pp 13.11-13.12. Global Ozone Research and Monitoring Project - Report No. 37, WMO, P.O. Box 2300, Geneva, Switzerland, 1994. Zitiert nach: [http://afeas.org/atm\\_cl.html](http://afeas.org/atm_cl.html)