

AUS: WAGNER, G.R. (Hrsg.) (1990):  
Unternehmung und ökologische Umwelt. Vahlen  
Verlag, München; S. 157-172.

## IV. Spannungsfeld Ökonomie – Technik – Naturwissenschaften

*Wilhelm Kuttler*<sup>1</sup>

Ökologische Schäden und volkswirtschaftliche Kosten durch  
Luftverunreinigungen in der Bundesrepublik Deutschland, dar-  
gestellt am Beispiel des Ökosystems Wald

1. Einleitung und Problemstellung
  2. Das Ökosystem Wald
  3. Ausmaß und Ursachen der Waldschäden
  4. Probleme einer Schadensmonetarisierung
  5. Versuch einer Abschätzung der durch die Waldschäden  
zu erwartenden Kosten
  6. Ausblick
- Literatur

### 1. Einleitung und Problemstellung

Umweltverschmutzung und daraus resultierende Umweltschäden beschränkten sich in vorindustrieller Zeit im wesentlichen auf die unmittelbare Umgebung der Schadstoffemittenten. Die insbesondere seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts wachsende Industrialisierung hat zu einer immer stärker werdenden Freisetzung luftverschmutzender Emissionen geführt, die über die atmosphärischen Transportprozesse eine überregionale, letztlich auch globale Verbreitung finden. Naturnahe und natürliche Ökosysteme unterliegen seitdem nicht mehr nur im Nahbereich, sondern auch in industriefernen Gebieten einer nachhaltigen Belastung, wodurch Natur-, aber auch Kulturgüter geschädigt werden.

Um Aussagen über die durch die Schäden verursachten Kosten machen zu können, werden Monetarisierungsverfahren benötigt, mit deren Hilfe exakte Bilanzierungen vorgenommen werden können.

---

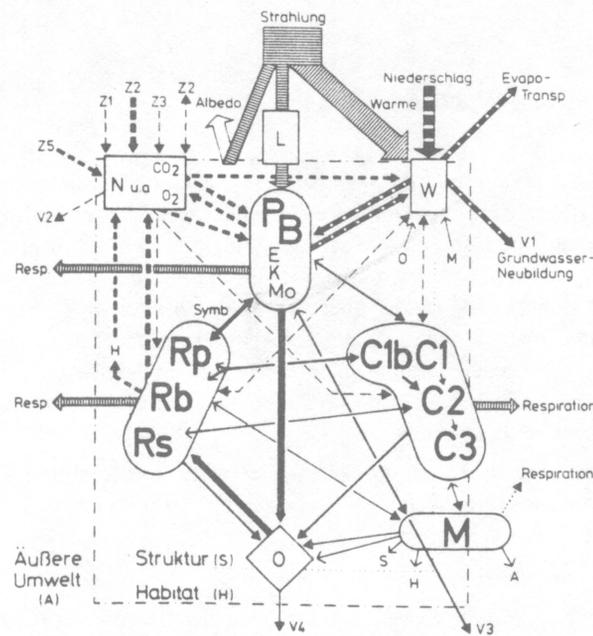
<sup>1</sup> Prof. Dr. rer. nat. Wilhelm Kuttler, Geschäftsführender Direktor des Instituts für Ökologie, Leiter Abt. Landschaftsökologie, der Universität Essen, vormals Vizepräsident der Deutschen Gesellschaft für Ökologie.

Dürfte es noch relativ einfach sein, die finanziellen Aufwendungen für eine Sanierung umweltbedingter Schäden an modernen Zweckbauten zu ermitteln, so ergeben sich größere Probleme, wenn über die potentiellen Wiederherstellungskosten hinaus auch noch immaterielle Werte berücksichtigt werden müssen, die bei historischen Gütern – wie z.B. Kulturdenkmälern – sehr hoch sein können. Größte Schwierigkeiten ergeben sich jedoch, wenn Schäden an der natürlichen Umwelt – an einzelnen Organismen, Organismengruppen oder Ökosystemen – in Wert gesetzt werden sollen.

An dem seit Jahren nicht nur in der Bundesrepublik Deutschland zu beobachtenden Siechtum der Wälder sollen beispielhaft diejenigen Probleme aufgezeigt werden, die aus dem Versuch einer Monetarisierung der Schäden des Ökosystems Wald resultieren.

## 2. Das Ökosystem Wald

Ein Ökosystem ist nach *Ellenberg* als ein „Wirkungsgefüge von Lebewesen und deren anorganischer Umwelt“ zu verstehen, „das zwar offen, aber bis zu einem gewissen Grade zur Selbstregulation befähigt ist“<sup>2</sup>. Abbildung 1 zeigt am Beispiel eines Wald-ökosystems das komplexe Wirkungsgefüge, das zwischen den anorganischen, toten organischen und lebenden Kompartimenten besteht. Beachtung in diesem System verdient die Stellung des Menschen (M), der als „überorganischer Faktor“ im Sinne *Ellenbergs*, als Regler, durch seine Eingriffe die systemimmanenten autoregulatorischen Fähigkeiten modifizieren bzw. unterbinden kann.



<sup>2</sup> *Ellenberg, H. (1973), S. 1.*

## Erklärung der Abkürzungen

<b>A</b>	Außere Umwelt (außerhalb der angenommenen Grenze des Systems)	<b>PK</b>	P in der Krautschicht, s. K
<b>Al</b>	Erdbewohnende Algen (selten!)	<b>PMo</b>	P in der Mooschicht, s. Mo
<b>B</b>	(Baumschicht), s. PB = Produzenten in der Baumschicht	<b>R</b>	Reduzenten (Zersetzer)
<b>C</b>	Konsumenten (engl. Consumers)	<b>Rb</b>	Bakterien (außer den autotrophen Cyanophyceen)
<b>C1</b>	Pflanzenfresser (Phytophage) = Primär-Konsumenten	<b>Rp</b>	Pilze, insbesondere Bodenpilze einschließlich der Mykorrhizen
<b>C1b</b>	Bakterien- und Pilzfresser (Phycophage): Untergruppe von C1	<b>Rs</b>	saprophage Tiere
<b>C2</b>	Beutegreifer (Zoophage) = Sekundär-Konsumenten	<b>Resp</b>	Energieverluste durch Atmung
<b>C3</b>	Übergeordnete Beutegreifer = tertiäre und weitere Konsumenten	<b>S</b>	Struktur des Ökosystems, vor allem durch die Pflanzen und andere Organismen gebildete räumliche, zeitliche und qualitative Gegebenheiten
<b>CO<sub>2</sub></b>	Kohlendioxid	Umwelt	s. Äußere Umwelt
<b>E</b>	Epiphyten (Algen, Flechten und Moose auf Baumrinden), s. PE.	<b>V</b>	Verluste von Stoffen aus dem Ökosystem
<b>H</b>	Habitat, anorganische Umwelt des Ökosystems (Standort), d.h. klimatische Faktoren, Relief, Bodeneigenschaften usw.	<b>V1</b>	Abfluß und Versickerung von Wasser und darin gelösten Stoffen
<b>K</b>	Krautschicht (Kräuter, Gräser, Baumjungwuchs), s. PK	<b>V2</b>	Entweichen von Bioelementen (z.B. NH <sub>3</sub> ) oder sonstige Verluste außer V1, V3 und V4
<b>L</b>	„Licht“, photosynthetisch aktive Strahlung	<b>V3</b>	Ernte, Holzschlag oder andere Entnahmen durch den Menschen
<b>M</b>	Mensch als Lebewesen und als „überorganischer Faktor“ (s. Abb. 2)	<b>V4</b>	Verluste von Humus (O) durch Erosion
<b>Mo</b>	Mooschicht, s. PMo	<b>W</b>	Wasser bzw. Wasser-Umsatz
<b>N</b>	Nährstoffe (für Pflanzen) und andere Mineralstoffe	<b>Z</b>	Zuführen von Stoffen (außer Wasser) in das Ökosystem
<b>O</b>	tote organische Substanzen (Fallaub, Totholz, Wurzelreste, Aas u. dgl.)	<b>Z1</b>	Zufuhr von Staub
<b>O<sub>2</sub></b>	Sauerstoff	<b>Z2</b>	Zufuhr von Gasen und Aerosolen
<b>P</b>	Produzenten (im Solling: grüne Pflanzen)	<b>Z3</b>	Zufuhr von Stickstoff durch freilebende oder symbiotische Bakterien
<b>PB</b>	Produzenten in der Baumschicht	<b>Z4</b>	Zufuhr bzw. Wegfuhr von CO <sub>2</sub> und O <sub>2</sub> durch Luftbewegungen
<b>PE</b>	P als Epiphyten, s. E	<b>Z5</b>	Zufuhr von Pflanzennährstoffen durch Düngung

Abb. 1: Allgemeines Schema der Beziehungen und Umsätze in einem terrestrischen Ökosystem<sup>3</sup>

Nach dem Grad seiner Beeinflussung unterscheidet man anthropogene und naturferne Ökosysteme, die die Fähigkeit zur Selbstregulation weitgehend aufgegeben haben, von natürlichen Lebensgemeinschaften, die diese noch in hohem Maße besitzen.

Die Wälder in der Bundesrepublik Deutschland sind überwiegend forstlich genutzt und stehen damit als „vom Menschen . . . erhaltene Ökosysteme“<sup>4</sup> zwischen den naturnahen und naturfernen Biozönosen. Wälder sind nicht nur Lebensräume, in denen Bäume einen dichten Bestand bilden mit begünstigenden, aber auch beeinträchtigenden Wechselwirkungen zwischen Floren- und Faunenelementen, Klima und Boden, sondern die darüber hinaus neben wirtschaftlichen Versorgungsfunktionen zugleich auch gesellschaftliche Aufgaben zu erfüllen haben. Aufgrund der Vernetzung der einzelnen Kompartimente untereinander wirken sich Veränderungen in dem einen oder anderen Subsystem immer ökosystemar, d. h. in komplexen Abhängigkeiten zueinander aus.

Dieses wird verständlich, wenn z. B. die in Abbildung 1 mit Z 1 und Z 2 (Zufuhr von Stäuben, Gasen und Aerosolen) bezeichneten Variablen durch die Einwirkung des Menschen (M) zunehmen. Hieraus können sowohl Veränderungen innerhalb des Systems als auch Auswirkungen auf dessen Struktur (S) und die äußere Umwelt (A) resultieren.

<sup>3</sup> Nach Ellenberg, H. (1986), S. 36f.

<sup>4</sup> Ellenberg, H., et al. (1986), S. 19.

Als Folge von Immissionseinwirkungen auf pflanzliche Ökosysteme werden Wachstumsanomalien, Verschiebungen der Speciesdiversitäten, Artenverarmungen und Sukzessionsbeeinflussungen beobachtet, wodurch Modifikationen der Bestandsstruktur erzwungen werden, die naturgemäß Störungen in den Nahrungsnetzen, Änderungen der Stoffkreisläufe und damit eine Gefährdung der Konsumenten- und Destruenten bewirken.<sup>5</sup> Beeinträchtigungen der ökologischen Leistung, die bis zur Aufgabe der Selbsterhaltung des Systems führen können, wie es z. B. in extremer Weise weite Teile der Waldgebiete im Erzgebirge offenbaren, sind letztlich die Folge.

Der Mensch bestimmt somit die dem Wald unter anthropozentrischen Aspekten zugeordneten protektiven Aufgaben, die in Schutz-, Wohlfahrts- und Nutzfunktionen untergliedert werden können.<sup>6</sup>

Zu den *Schutzfunktionen* eines Waldes zählen die Sicherung vor Wind- und Hochwassereinflüssen, vor Bodenerosionen, Lawinen, Steinschlag sowie Hangrutschungen.

Als *Wohlfahrtswirkungen* sind Erholungs-, Landschafts-, Klima- und Wasserversorgungsfunktionen zu nennen. Darüber hinaus filtern Baumbestände gas- und partikel-förmige Spurenstoffe aus der Atmosphäre aus (Z 1 und Z 2 in Abbildung 1), reinigen somit die durch den Bestand streichende Luft, schädigen sich hierdurch aber gleichzeitig durch Schadstoffeinträge in das System.<sup>7</sup> Auch leisten Bestände – je nach ihrem Aufbau – wichtige Beiträge für den Schallschutz.<sup>8</sup>

Im Rahmen der *Nutzfunktionen* dient der Wald hauptsächlich als Rohstofflieferant, wobei Stoffproduktionsraten an Trockenmasse – in den mittleren Breiten z. B. – von 10 bis 25 t/ha p. a. erreicht werden.<sup>9</sup> Seit einigen Jahren nimmt im Bereich der Waldnutzfunktionen allerdings der Tourismus einen immer größeren Stellenwert ein, woraus eine Vielzahl schädlicher Einflüsse resultiert.

### 3. Ausmaß und Ursachen der Waldschäden

Um eine monetäre Inwertsetzung der Waldschäden durchführen zu können, sind sowohl Fakten über deren Ursachen als auch Angaben zur Quantität und Qualität der Schäden notwendig.

Eine Inventarisierung der Baumschäden orientiert sich seit einigen Jahren an einer als nunmehr verbindlich für die Forstämter in der Bundesrepublik Deutschland anzusehenden Schadstufenklassifikation (Tabelle 1). Eine auf dieser Grundlage für das Jahr 1988 durchgeführte Begutachtung der bundesdeutschen Waldbestände ergab die in Tabelle 2 zusammengestellten Daten.

<sup>5</sup> Guderian, R. (1986).

<sup>6</sup> Egger, M. (1989).

<sup>7</sup> Hutchinson, T. C.; Havas, M. (1980); Georgii, H.-W. (1986).

<sup>8</sup> Theobald, J.; Kuttler, W. (1988).

<sup>9</sup> Neumeister, H. (1988), S. 144.

Schadstufe	Bezeichnung der Schadstufe	Nadel-/Blattverlust
Stufe 0	Ohne Schadmerkmale	Bis 10%
Schadstufe 1	Schwach geschädigt	11 bis 25%
Schadstufe 2	Mittelstark geschädigt	26 bis 60%
Schadstufe 3	Stark geschädigt	61% und mehr
Schadstufe 4	Abgestorben	Abgestorben

Tab. 1: Waldschäden und ihre Klassifizierung<sup>10</sup>

Schadstufe	Bestandsanteile
0	47,6%
1	37,3%
2	13,8%
3+4	1,3%

Tab. 2: Waldschäden nach Schadstufen im Jahre 1988 (in Prozent der Waldflächen)<sup>11</sup>

Die Auswertung zeigt, daß der größte Teil der Waldbestände in nur geringem Ausmaß geschädigt ist, weshalb nicht von einem flächendeckenden Waldsterben gesprochen werden sollte. Dennoch sieht *Nießlein* hierin einen „gefährlichen Trend dieser Erkrankung, weil sie im Endstadium offensichtlich zum Sterben der Bäume oder ganzer Bestände führt“<sup>12</sup>.

Die geographische Verteilung des Schadensmusters der Waldschäden ist sehr unterschiedlich ausgeprägt. So sind die Waldflächen in den Bundesländern Bayern, Baden-Württemberg und Niedersachsen am stärksten betroffen. Ferner zeigt sich, daß Bestände in Höhenlagen zwischen 400 und 700 m stärker geschädigt sind als solche in niedriger gelegenen Regionen. Auch sind Bereiche der Bergländer, in denen mehr als tausend Millimeter Jahresniederschlag fällt und eine größere Nebelhäufigkeit herrscht, häufiger in Mitleidenschaft gezogen als Wirtschaftswaldflächen in Tiefländern mit weniger als achthundert Millimetern Jahresniederschlag sowie selteneren Nebelereignissen.<sup>13</sup> Dieser Tatbestand läßt vermuten, daß auch den klimatischen Einflußgrößen eine nicht unerhebliche Rolle bei der Schadensverursachung beigegeben werden muß.

Allerdings herrscht unter den mit der Untersuchung der Walderkrankungen befaßten Wissenschaftlern überwiegend Einvernehmen darüber, daß insbesondere die Luftver-

<sup>10</sup> Nach *Breloh, P.* (1985).

<sup>11</sup> Nach *BMELF* (1988).

<sup>12</sup> *Nießlein, E.* (1985), S. 16.

<sup>13</sup> *Fränzle, O., et al.* (1985).

<sup>11</sup> Wagner, Unternehmung und ökologische Umwelt

unreinigungen zu den wichtigsten Stressoren des Waldes zählen. Ihre schädigenden Einflüsse erfolgen sowohl auf direktem als auch auf indirektem Wege<sup>14</sup> und wirken darüber hinaus prädisponierend hinsichtlich der pflanzlichen Reaktion auf außergewöhnliche Witterungserscheinungen<sup>15</sup> sowie Parasitenbefall<sup>16</sup>.

Die Gründe für die Schädigung durch Luftverunreinigungen sind unter anderem auch darin zu sehen, daß Bäume in Abhängigkeit von Aufbau und Dichte der Bestände aufgrund ihrer großen Kormusoberflächen ideale Depositions- und Absorptionsmöglichkeiten für gas- und partikelförmige Luftschadstoffe bieten.

Insbesondere filtern Nadelhölzer im Vergleich zu Laubbäumen in verstärktem Maße Spurenstoffe der Luft aus und leiten sie dem Boden zu. Dieses gilt erst recht für freistehende Bäume. Abbildung 2 verdeutlicht diesen Sachverhalt anhand der ermittelten Ablagerungsgeschwindigkeiten ( $V_g$ ) für Spurenstoffe im Vergleich zu denjenigen Werten, die über einer Grasfläche gefunden wurden. Die Ablagerungs- oder Depositionsgeschwindigkeit ist dabei ein Maß für die Höhe des abzulagernden Spurenstoffes.<sup>17</sup>

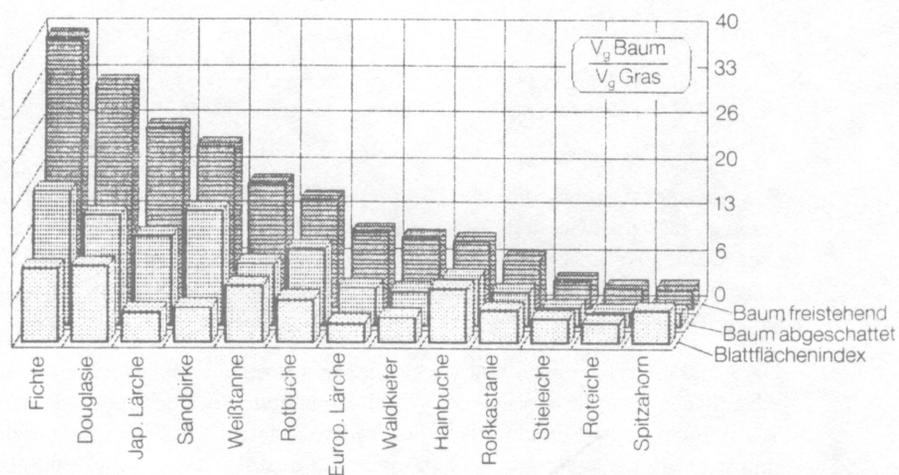


Abb. 2: Verhältnis der Ablagerungsgeschwindigkeit auf Bäumen mit repräsentativen Blattflächen zur Ablagerungsgeschwindigkeit auf Gras<sup>18</sup>

Tabelle 3 enthält für die Spurenstoffe Schwefel und Nitrat die für verschiedene Baumarten ermittelten Ausfilterungsfaktoren im Vergleich zum Freiland. Bemerkenswert hohe Werte wurden für Fichte und Kiefer nachgewiesen.

<sup>14</sup> Vgl. Guderian, R. (1985).

<sup>15</sup> Vgl. Rall, A.; Mayer, H. (1989).

<sup>16</sup> Vgl. Schütt, P., et al. (1987).

<sup>17</sup> Kuttler, W. (1986), S. 39.

<sup>18</sup> Daten nach Jonas, R. (1984), aus Kuttler, W. (1988).

	Freiland	Rotbuche <i>Fagus sylvatica</i>	Stechpalme <i>Ilex aquifolium</i>	Fichte <i>Picea abies</i>	Schwarz- kiefer <i>Pinus nigra</i>	Wald- kiefer <i>Pinus sylvestris</i>
Freiland	1 1	0,76 0,75	0,65 0,57	0,13 0,15	0,28 0,29	0,20 0,20
Rotbuche <i>Fagus sylvatica</i>	1,32 1,33	1 1	0,85 0,77	0,18 0,21	0,36 0,39	0,27 0,26
Stechpalme <i>Ilex aquifolium</i>	1,54 1,74	1,17 1,30	1 1	0,21 0,28	0,42 0,51	0,31 0,34
Fichte <i>Picea abies</i>	7,45 6,33	5,65 4,76	4,84 3,57	1 1	2,04 1,86	1,85 1,25
Schwarzkiefer <i>Pinus nigra</i>	3,63 3,40	2,75 2,56	2,36 1,96	0,49 0,54	1 1	0,73 0,67
Waldkiefer <i>Pinus sylvestris</i>	4,97 5,07	3,76 3,84	3,23 2,92	0,67 0,80	1,37 1,49	1 1

Tab. 3: Faktoren der mittleren Sulfat- und Nitratablagerung nach Messungen des Kronentraufwassers unter Bäumen im mittleren Ruhrgebiet (Nitratwerte in kursiver Schrift)<sup>19</sup>

Neben den auf trockenem und nassem Wege erfolgenden Spurenstoffeinträgen wird insbesondere in Bergländern den nebelbedingten feuchten Depositionen in letzter Zeit verstärkte Aufmerksamkeit im Rahmen der Diskussion über die Wirksamkeit der verschiedenen Rückführungsmechanismen gewidmet. Es zeigte sich nämlich, daß die Konzentrationen an Luftschadstoffen in der Nebeltraufe um ein Mehrfaches über denjenigen Werten liegen können, die im Regenwasser enthalten sind.<sup>20</sup>

Aus der Vielzahl der Hypothesen, die im Zusammenhang mit der Ursachendiskussion über die Waldschäden genannt werden, kristallisieren sich insbesondere die nachfolgend genannten als die wohl am ehesten zutreffenden heraus.<sup>21</sup>

- (A) Trocken-/Naßdeposition von Luftschadstoffen auf Nadeln und Blättern (Funktion der Wälder als Schadstoffsinken).
- (B) Freisetzung und Auswaschung von Nährstoffen im Boden durch dessen Versauerung bedingt durch Einträge an SO<sub>2</sub> (in Form von Sulfat) und NO<sub>x</sub> (in Form von Nitrat), Säurederivaten sowie Schwermetallen.
- (C) Schädigung durch Ozon (morphologische und physiologische Beeinflussung der Blattstrukturen).
- (D) Schädigung durch Mikroben und Pilze.
- (E) Schädigung durch organische Schadstoffe (z. B. durch Triäthylblei, Nitrophenole und halogenierte Kohlenwasserstoffe).
- (F) Ökologisch falsche Anbau- und Bewirtschaftungsmethoden.

Die letztgenannte Hypothese, die Ursache der Waldschäden sei in falschen Anbau- und Bewirtschaftungsmethoden zu suchen, dürfte sich insbesondere nach den von Schöpfer und Hradetzky<sup>22</sup> durchgeführten Untersuchungen zu dieser Fragestellung als wohl nicht mehr haltbar erweisen.

<sup>19</sup> Kutler, W. (1988).

<sup>20</sup> Siehe Georgii, H.-W.; Schmitt, G. (1985); Schmitt, G. (1987); Kutler, W. (1988).

<sup>21</sup> Vgl. Cowling, E., et al. (1986).

<sup>22</sup> Siehe Schöpfer, W.; Hradetzky, J. (1984).

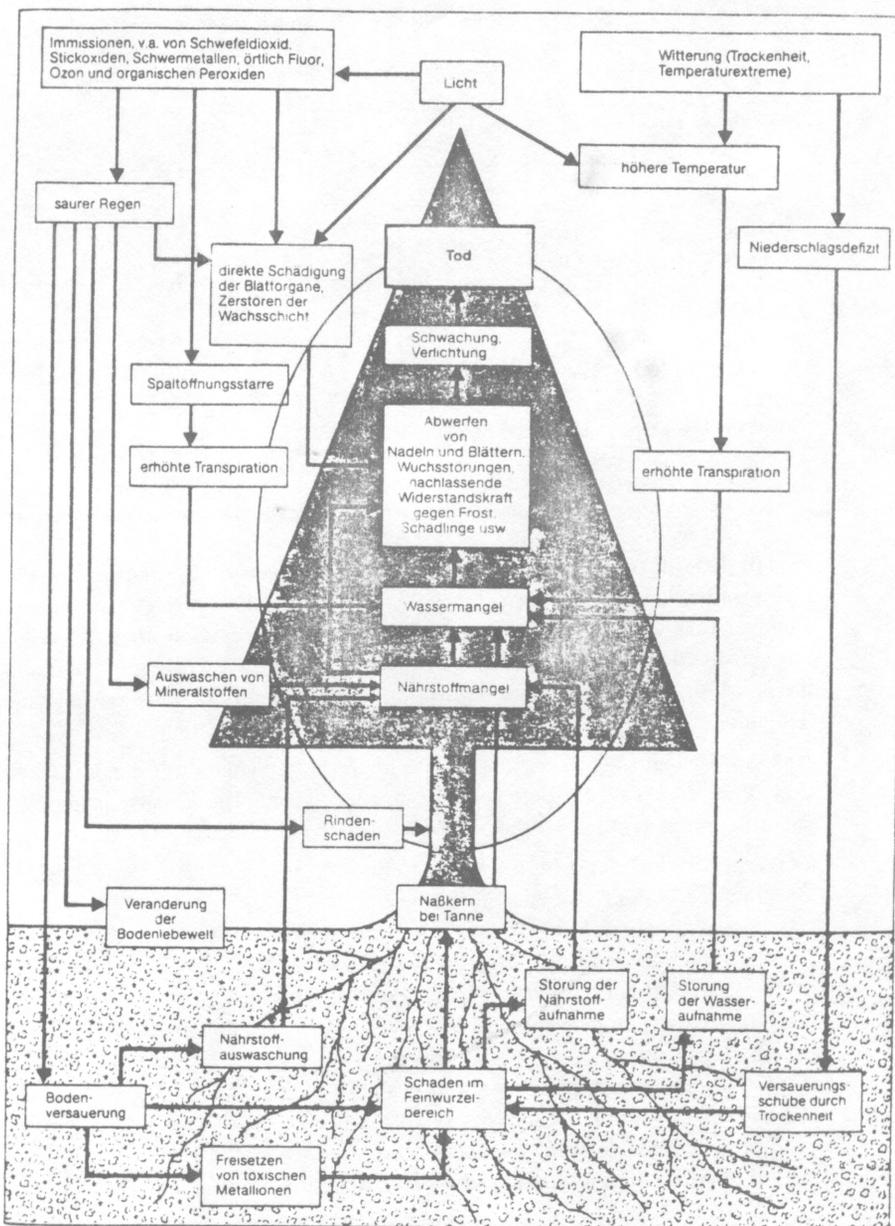


Abb. 3: Waldschäden und ihre möglichen Ursachen<sup>23</sup>

Abbildung 3 zeigt ein Schema der möglichen Einflußfaktoren, die in unterschiedlich starker Abhängigkeit zueinander als Verursacher für die verschiedensten Baumkrankheiten in Frage kommen. In den Waldgebieten der Bundesrepublik

<sup>23</sup> Aus Wegmann, K. (1987), S. 347.

Deutschland treten Schäden insbesondere an Tannen- und Fichtenbeständen auf. Aber auch an Laubbäumen wurden in den vergangenen Jahren vermehrt Schäden nachgewiesen. Die Komplexität des Kausalgefüges wird noch dadurch vergrößert, daß die beobachteten Schadensintensitäten an einzelnen Baumarten in außerordentlich unterschiedlichem Maße – meist noch standortabhängig – ausgeprägt sind.<sup>24</sup>

#### 4. Probleme einer Schadensmonetarisierung

Angesichts des sich außerordentlich differenziert darstellenden Ursachenspektrums – man spricht in diesem Zusammenhang auch von der „Komplexkrankheit“ des Waldes und meint damit, „daß aus einem Bündel möglicher Ursachen mehrere Faktoren zusammenwirken, um ein bestimmtes Krankheitsbild hervorzurufen“<sup>25</sup> –, ist es für die Schadensermittlung – im Vergleich zu landwirtschaftlichen Anbauprodukten<sup>26</sup> – wesentlich schwieriger, die Waldschäden einer ökonomischen Bewertung zu unterwerfen.<sup>27</sup>

Erschwerend tritt ferner hinzu, daß es sich bei den nachgewiesenen Baumschäden in erster Linie um Schadstoffakkumulationseffekte handelt, deren Ursachen schon Jahrzehnte zurückliegen können.<sup>28</sup> Auch muß in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen werden, daß die sachliche Abgrenzung außerordentlich schwierig ist, denn der Nutzungsausfall tritt bei völlig verschiedenen Gruppen von Wirtschaftssubjekten auf, da 30% der Waldfläche Staatswald, 30% Körperschaftswald (Gemeindewald) und 40% Privatwald sind.

Während Mehrkosten und Mindererträge im Staatswald von den Landes- bzw. Gemeindehaushalten übernommen werden, können sich diese Ausgaben für Privatwaldeigentümer – insbesondere bei bäuerlichen Waldbesitzern mit Betriebsgrößen zwischen 2 und 20 ha – sehr nachteilig auswirken.<sup>29</sup> Ganz davon abgesehen erscheint es meines Erachtens aus ökologischer Sicht kaum möglich, mit Hilfe des Indikators „Baumsterben“ auf den *gesamten* Schaden schließen zu können, der am *Ökosystem* Wald entsteht. Wie sollen die Schäden am Unterwuchs, der Eingriff in die Zusammensetzung der Tierwelt, wie die negative Beeinflussung des Bodens mit seinen Lebewesen einer monetären Bewertung zugänglich gemacht werden?

Diese ungelösten Probleme zeigen, daß es schon kaum möglich ist, allein die materiellen, mithin die möglicherweise zu quantifizierenden Waldschäden zu monetarisieren. Um wieviel schwieriger ist es dann, die Verluste, die im immateriellen Bereich entstehen – z. B. durch genetische Einengung und Reduktion der Artenvielfalt – kostenmäßig zu erfassen?

<sup>24</sup> Vgl. Prinz, B., et al. (1982).

<sup>25</sup> Nießlein, E. (1985), S. 38.

<sup>26</sup> Vgl. Guderian, R. (1986); Heck, W. W., et al. (1988).

<sup>27</sup> Vgl. hierzu insbes. auch Altwegg, D. (1988), und Hautau, H., et al. (1987).

<sup>28</sup> Ulrich, B. (1981).

<sup>29</sup> Siehe Nießlein, E. (1985).

Obwohl von ökologischer Seite prinzipiell Bedenken gegen eine Monetarisierung der durch die Waldschäden verursachten Kosten bestehen, erscheint es aus Gründen des vorbeugenden Umweltschutzes gleichwohl als sinnvoll, eine solche Bilanzierung trotz aller Unzulänglichkeiten vorzunehmen. Ermöglicht doch ein Vergleich der ermittelten Kosten der Waldschäden mit denjenigen Aufwendungen, die für eine Verbesserung der Luftgüte in Rechnung zu stellen sind, eine Abschätzung der Wirtschaftlichkeit von Luftreinhaltemaßnahmen – und letztlich ihre Durchsetzung.

### 5. Versuch einer Abschätzung der durch die Waldschäden zu erwartenden Kosten

Im Rahmen eines von *Ewers et al.* durchgeführten Projektes über „Methodische Probleme der monetären Bewertung eines komplexen Umweltschadens am Beispiel des Waldsterbens in der Bundesrepublik Deutschland“<sup>30</sup> wurde der Versuch unternommen, die aus den Waldschäden resultierenden Mindestkosten zu kalkulieren.

Grundlage dieser Untersuchung bildeten Szenarien, die der Beschreibung der zu erwartenden zukünftigen Waldzustände dienten. Die Berechnungen basierten auf dem Zeitraum 1983 bis 2060. Die Simulationsmodelle wurden am Beispiel des „Brotbaumes“ der deutschen Forstwirtschaft, der Fichte, exemplarisch durchgeführt. Die Modellrechnungen erfolgten unter der Maßgabe, daß für die Waldschäden ausschließlich die Spurenstoffe  $\text{SO}_2$  und  $\text{NO}_x$  verantwortlich sind und daß es keine Differenzierung der Schäden nach Waldwuchsgebieten gibt.

Die Berechnungen wurden ferner für drei prognostizierte Entwicklungsstadien der Luftverschmutzung vorgenommen, und zwar

1. für das *Trendszenario*, dem die Annahme zugrunde lag, daß die Immissionskonzentrationen beider Schadstoffe bis zum Schlußjahr des Modellaufes auf 25% ( $\text{SO}_2$ ) bzw. auf 35% ( $\text{NO}_x$ ) der 1983er Werte abgenommen haben. Das Problem des Schadstoffimports aus anderen europäischen Ländern – im Fall des Schwefels geht man von 50% aus – ist dadurch nicht gelöst.
2. für das *Statusquoszenario*, das sich dadurch auszeichnet, daß die Spurenstoffbelastung an  $\text{SO}_2$  und  $\text{NO}_x$  keine Abnahme während des Untersuchungszeitraumes erfährt und das Konzentrationsniveau des Jahres 1983 beibehält.
3. für das *Referenzszenario*, bei dem von einer relativ geringen Luftverschmutzung im Fernbereich der Ballungsräume ausgegangen wurde, vergleichbar derjenigen, wie sie sich wohl in der Zeit zwischen 1930 und 1940 eingestellt haben mag, als niedrige Schornsteine insbesondere für eine Immissionsbelastung des Nahbereichs sorgten.

Die Studie geht davon aus, daß sich die Wirtschaftshochwaldfläche während des Untersuchungszeitraumes von 6,3 Mio. ha auf 5,5 Mio. ha (bei Annahme des Trendszenarios) bzw. auf 4,3 Mio. ha (bei Annahme des Statusquoszenarios) reduzieren

<sup>30</sup> Veröffentlicht als *Ewers, H.-J., et al. (1986).*

wird. Auch wird prognostiziert, daß sich die Baumartenzusammensetzung insofern ändern wird, als daß die Nadelholzanteile zugunsten einer Ausdehnung der Laubbaumarten (Eiche und Pappel) zurückgehen werden.

Die Modellrechnungen, die hinsichtlich der Entwicklung der Bestandsvolumina durchgeführt wurden, zeigten, daß die Fichtenbestände unter Zugrundelegung der für das Trendszenario gemachten Annahmen etwa auf die Hälfte, für das Statusquoszenario etwa auf 20% – bezogen auf den „Nullwert“ des Referenzszenarios – zurückgehen werden (Abbildung 4).

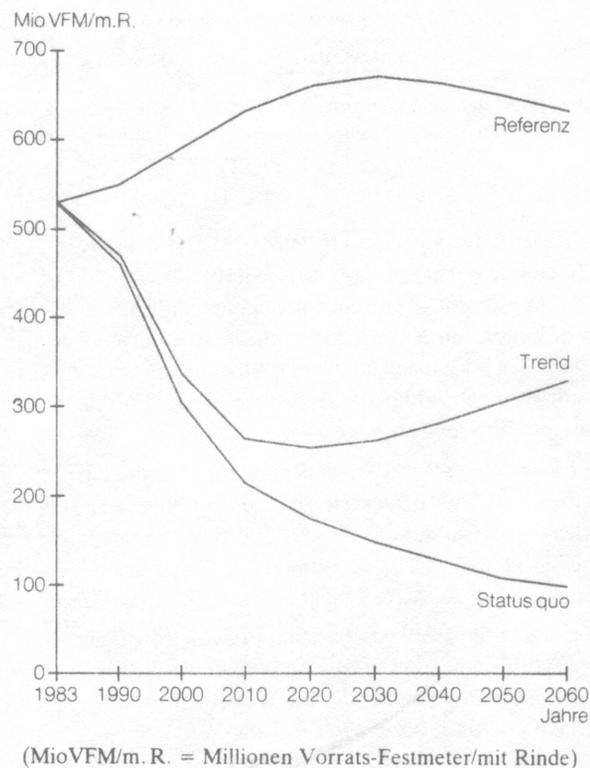


Abb. 4: Entwicklung des Holzvolumens bei der Fichte in drei Szenarien<sup>31</sup>

Für drei einer Monetarisierung zugängliche Bereiche, nämlich die Sektoren Forstwirtschaft, Wasserwirtschaft sowie Freizeit- und Erholung, wurden die aus den Waldschäden zu erwartenden Kosten berechnet. Tabelle 4 gibt Auskunft über die zugrundegelegten Schadensarten und Nutzenkomponenten sowie die prognostizierten Kosten, und zwar jeweils für das Trendszenario und das Statusquoszenario. Die Berechnung erfolgte für einen Realdiskontsatz von 2% p. a.

<sup>31</sup> Nach Ewers, H.-J., et al. (1986).

Forstwirtschaft		Wasserwirtschaft		Freizeit und Erholung	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ertragsausfälle</li> <li>• Bestandeswertunterschiede</li> <li>• Kulturkosten für Umwandlungsflächen</li> <li>• Verwaltungskosten für Umwandlungsflächen</li> <li>• Düngungskosten</li> <li>• Restschaden</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erhöhte Kosten               <ul style="list-style-type: none"> <li>- bei der Grundwassererhaltung</li> <li>- beim Erosionsschutz</li> <li>- bei der Trinkwasseraufbereitung</li> <li>- Restwert</li> </ul> </li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutzungsausfälle bei der               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Naherholung</li> <li>- Fernerholung</li> <li>- Optionsnutzungsausfälle</li> <li>- Einkommensausfälle in der Fremdenverkehrswirtschaft</li> <li>- Restschaden</li> </ul> </li> </ul>	
<b>Kosten</b>		<b>Kosten</b>		<b>Kosten</b>	
Trend-szenario	Status quo-Szenario	Trend-szenario	Status quo-Szenario	Trend-szenario	Status quo-Szenario
<b>2,3 Mrd. DM/a</b>	<b>2,9 Mrd. DM/a</b>	<b>0,28 Mrd. DM/a</b>	<b>0,45 Mrd. DM/a</b>	<b>3,0 Mrd. DM/a</b>	<b>5,4 Mrd. DM/a</b>
<b>Gesamter monetarisierter Schaden aus dem Waldsterben</b>					
		Trend-szenario		Status quo-Szenario	
		<b>5,6 Mrd. DM/a</b>		<b>8,8 Mrd. DM/a</b>	

Tab. 4: Berücksichtigte Schadensarten und Nutzenkomponenten zur Monetarisierung des Waldsterbens sowie entstehende Kosten in den Bereichen Forstwirtschaft, Wasserwirtschaft, Freizeit und Erholung<sup>32</sup>

Für den Bereich Forstwirtschaft wurden die Holzertragsausfälle und die Bestandeswertunterschiede berücksichtigt, wobei mit letzteren die Differenzen des Trend- und Statusquoszenarios zur Referenzentwicklung am Ende der Untersuchungsperiode gemeint sind. Unter den Kulturkosten wurden diejenigen Beträge subsummiert, die für Flächen anfallen, die nicht mehr mit Wirtschaftshochwald bestockt werden können. Als Düngungskosten zählen die Ausgaben, die sich für die bereits genannten Meliorationen des Waldbodens ergeben.

Unter der Rubrik Restschäden wurden schließlich diejenigen Einbußen zusammengefaßt, die in dem Zeitraum entstehen, der benötigt wird, bis die Bestände des Wirtschaftshochwaldes wieder das Niveau der Referenzentwicklung erreicht haben. Unter Zugrundelegung des bereits genannten Realdiskontsatzes ergeben sich pro Jahr nach dem Trendszenario 2,3 Mrd. DM, nach dem Statusquoszenario 2,9 Mrd. DM.

Für den Bereich Wasserwirtschaft muß davon ausgegangen werden, daß mit Rückgang der Waldbestandsdichte, d. h. mit einer Auflichtung, ein Anstieg des jährlichen Abflusses durch unterbleibende Interzeptionsverdunstung verbunden ist, die – je nach Baumart – um bis zu 40% des im Freiland gemessenen Niederschlages der Versickerung bzw. dem Abfluß vorenthalten kann. Hieraus dürfte eine Zunahme der Häufigkeit von Bodenerosionen in den Mittelgebirgen und zusätzlich auftretende Wildbachkatastrophen in den Hochgebirgen resultieren. Unter Nichtberücksichtigung einer eigentlich in Betracht zu ziehenden Änderung der Wasserqualität und sich daraus ergebender Mehraufwendungen für die Trinkwasseraufbereitung belaufen sich die monetären Schäden für die Wasserwirtschaft nach dem Trendszenario auf 280 Mio. DM p. a. und für das Statusquoszenario auf 450 Mio. DM p. a. Daß die ausgewiesenen Schäden für den Bereich Wasserwirtschaft relativ gering ausfallen, dürfte daran liegen, daß verschiedene wichtige Faktoren nicht oder kaum zu erfassen sind.

Für die Monetarisierung der Schäden im Bereich von *Freizeit und Erholung* wurden

<sup>32</sup> Nach Ewers, H.-J., et al. (1986), verändert.

die Nutzungsausfälle im Bereich der Naherholung auf der Grundlage einer Bewertung der Waldbesuche mit Hilfe der Nutzerzeitwertmethode berechnet.<sup>33</sup>

Die Monetarisierung der auf der *Fernerholung* basierenden Kosten erfolgte über die Zahl der Waldbesuche, die mit Hilfe der Übernachtungszahlen in waldreichen Feriengebieten auf Landkreisebene abgeschätzt werden konnten, wobei für das Bezugsjahr 1984 von 87,5 Mio. Übernachtungen ausgegangen wurde.

Die *Optionsnutzen* wurden als diejenigen Nutzeneinbußen von potentiellen Waldbesuchern definiert, die zwar heutzutage den Wald noch nicht aufsuchen, in Zukunft aber ein Interesse daran haben, ihn zu nutzen. Das für diese Auswertung verwendete Datenmaterial basiert auf Umfrageergebnissen, die zeigen, daß 62% der erwerbstätigen Bevölkerung für den Optionsnutzen zahlen würden. Diese Kosten schlagen mit 3,0 Mrd. DM p. a. bzw. 5,4 Mrd. DM p. a. zu Buche.

Für den gesamten monetarisierten Schaden, der nach Zugrundelegung der o. g. Annahmen aus dem „Waldsterben“ resultiert, kann von jährlichen Kosten ausgegangen werden, die für das Trendszenario bei jährlich 5,6 Mrd. DM und für das Statusquoszenario bei 8,8 Mrd. DM liegen.

## 6. Ausblick

Eine von *Wicke* durchgeführte „Ökonomische Schadensbilanz“ für die Bundesrepublik Deutschland<sup>34</sup> weist in toto einen Betrag von 104 Mrd. DM p. a. auf (Tabelle 5), entsprechend 6% der gesamten wirtschaftlichen Leistung oder 40% der Gesamtausgaben des Bundes. Die dem Bereich Luftverschmutzung zugeordneten Schadenskosten belaufen sich auf rund 48 Mrd. DM p. a., wovon zwischen 5,5 und 8,8 Mrd. DM auf die Waldschäden entfallen.

Schadensposition		Schadenskosten (in Mrd. DM/Jahr)
Luftverschmutzung	rd.	48,0
– davon Waldschaden		5,5–8,8
Gewässerverschmutzung	über	17,6
Bodenerstörung	über	5,2
Lärm	über	32,7
Summe der Schäden	über	103,5

Tab. 5: Die „ökonomische Schadensbilanz“ der Bundesrepublik Deutschland<sup>35</sup>

Umweltschutzmaßnahmen haben beim gegenwärtigen Stand der Umweltschäden ein besonders hohes Nutzen-Kosten-Verhältnis, das bei 2,5 zu 1,0 liegt.<sup>36</sup> Investitionen

<sup>33</sup> Definition und Erläuterung bei *Ewers, H.-J., et al.* (1986), S. 136.

<sup>34</sup> *Wicke, L.* (1986).

<sup>35</sup> Nach *Wicke, L.* (1986), S. 123.

<sup>36</sup> Vgl. *Wicke, L.* (1986), S. 132–140.

in den Umweltschutz lohnen also allein schon unter Berücksichtigung der hier zugrundegelegten materiellen Werte.

Bei den von *Ewers et al.* vorgenommenen Berechnungen standen anthropozentrische Gesichtspunkte im Vordergrund der Überlegungen und nicht physiozentrische Betrachtungsweisen, die nach *Meyer-Abich* „der Natur von vornherein und unabhängig vom Nutzen für den Menschen einen Eigenwert zuordnen“<sup>37</sup>.

Die ideelle Komponente, der ökologische Wert von Individuen und Arten an sich, wird somit nicht in Betracht gezogen. Dabei stellt gerade der Erhalt der Artenvielfalt für unsere Ökosysteme eine immer bedeutender werdende Rolle dar, insbesondere vor dem Hintergrund, daß schon 10% der rund 200000 auf der Erde bisher nachgewiesenen Farn- und Blütenpflanzenarten zur Zeit vom Aussterben bedroht sind.

Intakte Ökosysteme verfügen über eine große Elastizität bzw. Belastbarkeit, d. h. sie können bis zu einem gewissen Grad Veränderungen von außen ertragen, kompensieren und nach relativ kurzer Zeit den alten Zustand wiederherstellen. Die Elastizität hängt jedoch nicht nur von der Heterogenität des Lebensraumes und der Empfindlichkeit gegenüber abiotischen Faktoren ab, sondern wird insbesondere durch den Grad der biologischen Pufferung, die Zahl und Mannigfaltigkeit der Arten, bestimmt.<sup>38</sup>

Arten wirken als Stabilisatoren in Ökosystemen, jedoch nur dann, wenn die Erhaltung einer ausreichenden genetischen Varianz gewährleistet ist und diese nicht einer „Selektion durch Luftverunreinigungen“<sup>39</sup> unterliegt.

Es stellt sich abschließend die Frage, welchen Wert monetäre Inwertsetzungen von Schäden an der lebenden Natur besitzen, wenn ausschließlich die materiellen Komponenten einer Kostenbetrachtung unterzogen werden.

Es muß hierbei jedoch bedacht werden, daß die in den einzelnen Studien angegebenen Beträge immer als Mindestkosten zu verstehen sind, in denen – wie am Beispiel der Waldschäden gezeigt wurde – auch nur ein Teil der gesamten materiellen Schäden enthalten sind.

Allein die Berücksichtigung dieser Kostenuntergrenzen hat aufgrund des hohen Nutzen-Kosten-Verhältnisses von Umweltschutzmaßnahmen im Vergleich zu den vermiedenen Schäden gezeigt, daß es von ökonomischer und – insbesondere – von ökologischer Seite außerordentlich lohnend und wichtig ist, in den Umweltschutz zu investieren.

## Literatur

*Altwegg, D.* (1988): Volkswirtschaftliche Auswirkungen einer Zerstörung alpiner Schutzwälder durch Luftverunreinigungen. Publikation des Schweizerischen Nationalfonds aus den Nationalen Forschungsprogrammen, Band 47, Bern 1988.

---

<sup>37</sup> *Meyer-Abich, K. M.* (1984), S. 47.

<sup>38</sup> *Tischler, W.* (1984), S. 170.

<sup>39</sup> *Fränze, O., et al.* (1985), S. 130.

- Brelow, P. (1985): Übersicht über die Ergebnisse der Waldschadenserhebung 1984. In: *VDI-Kommission Reinhaltung der Luft* (Hrsg.): Die Waldschadenssituation in der Bundesrepublik Deutschland. Bd. 1, Köln 1984, S. 5-20
- Der Bundesminister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten BMELF (1988): Waldschadenserhebung 1988. Bonn 1988
- Cowling, E.; Krahl-Urban, B.; Schimansky, Ch. (1986): Wissenschaftliche Hypothesen zur Erklärung der Ursachen. In: Papke, H. E.; Krahl-Urban, B.; Peters, K.; Schimansky, Ch. (Hrsg.): Waldschäden. Ursachenforschung in der Bundesrepublik Deutschland und den Vereinigten Staaten von Amerika. Kernforschungsanlage Jülich 1986, S. 120-125
- Egger, M. (1989): Wald und Tourismus. Grundlagenbericht zum Forschungsprojekt „Wald und Tourismus“. Forschungsinstitut für Freizeit und Tourismus der Universität Bern 1989
- Ellenberg, H. (1973): Ziele und Stand der Ökosystemforschung. In: Ellenberg, H. (Hrsg.): Ökosystemforschung. Heidelberg/Berlin/New York 1973, S. 1-31
- Ellenberg, H. (1986): Ziele und Organisation des Sollingprojekts. In: Ellenberg, H.; Mayer, R.; Schauer mann, J. (Hrsg.): Ökosystemforschung. Ergebnisse des Sollingprojekts 1966-1986. Stuttgart 1986
- Ellenberg, H.; Mayer, R.; Schauer mann, J. (Hrsg.) (1986): Ökosystemforschung. Ergebnisse des Sollingprojekts 1966-1986. Stuttgart 1986
- Ewers, H.-J.; Brabänder, H. D.; Brechtel, H.-M.; Both, M.; Hayessen, E.; Jahn, A.; Möhring, B.; Moog, M.; Nohl, W.; Richter, U. (1986): Zur monetären Bewertung von Umweltschäden. Methodische Untersuchung am Beispiel der Waldschäden, Berlin 1986
- Fränzle, O.; Schröder, W.; Vetter, L. (1985): Saure Niederschläge als Belastungsfaktoren: Synoptische Darstellung möglicher Ursachen des Waldsterbens. Geographisches Institut der Universität Kiel. Umweltforschungsplan des Bundesministers des Innern, UFO-PLAN Nr. 106 07 046/13, Kiel 1985
- Georgii, H.-W. (Hrsg.) (1986): Atmospheric Pollutants in Forest Areas. Their Deposition and Interception. Dordrecht 1986
- Georgii, H.-W.; Schmitt, G. (1985): Methoden und Ergebnisse der Nebelanalyse. In: *Staub-Reinhaltung der Luft* 6 (1985), S. 260-264
- Guderian, R. (Hrsg.) (1985): Airpollution by photochemical oxidants. Formation, transport, control and effects of plants. Berlin/Heidelberg/New York 1985
- Guderian, R. (1986): Möglichkeiten zur Erfassung und Bewertung von Immissionswirkungen auf Pflanzen. In: *Umweltbundesamt* (Hrsg.): Kosten der Umweltverschmutzung. Tagungsband zum Symposium im Bundesministerium des Innern am 12. und 13. September 1985. Berlin 1986, S. 101-120
- Hautau, H.; Lorenzen, O.; Sander, D.; Bertram, M. (1987): Monetäre Bewertungsansätze von Umweltbelastungen. Wirtschaftspolitische Studien 73. Tübingen 1987
- Heck, W. W.; Taylor, O. C.; Tingey, D. T. (1988): Assessment of crop loss from airpollutants. New York 1988
- Hutchinson, T. C.; Havas, M. (1980): Effects of acid precipitation on terrestrial ecosystems. NATO Conference Series I: Ecology. Vol. 4 Plenum Press, New York 1980
- Jonas, R. (1984): Ablagerung und Bindung von Luftverunreinigungen an Vegetation und anderen atmosphärischen Grenzflächen. Berichte der Kernforschungsanlage Jülich Nr. 1949, Jülich 1984
- Kuttler, W. (1986): Raum-Zeitliche Analyse atmosphärischer Spurenstoffeinträge in Mitteleuropa. Bochumer Geographische Arbeiten, H. 47. Ruhr-Universität Bochum 1986
- Kuttler, W. (1988): Zur Ausfilterung atmosphärischer Spurenstoffe durch Waldökosysteme. In: Becker, H.; Hütteroth, W. B. (Hrsg.): 46. Deutscher Geographentag. Tagungsberichte und wissenschaftliche Abhandlungen, München 12. bis 16. Oktober 1987, S. 453-460
- Meyer-Abich, K. M. (1984): Wege zum Frieden mit der Natur. München/Wien 1984
- Neumeister, H. (1988): Geoökologie. Geowissenschaftliche Aspekte der Ökologie. Jena 1988
- Nießlein, E. (1985): Das Ausmaß der Walderkrankung. In: Nießlein, E.; Voß, G. (Hrsg.): Was wir über das Waldsterben wissen. Köln 1985, S. 14-25
- Prinz, B.; Krause, G. H. M.; Drahtmann, H. (1982): Vorläufiger Bericht der Landesanstalt für Immissionsschutz über Untersuchungen zur Aufklärung der Waldschäden in der Bundesrepublik Deutschland. LIS (Landesanstalt für Immissionsschutz, Nordrhein-Westfalen) - Berichte Nr. 28, Essen 1982

- Rall, A.; Mayer H. (1989): Klimatische Verhältnisse in Bayern im Hinblick auf die neuartigen Waldschäden. Münchener Universitätschriften, Fakultät für Physik, Wissenschaftliche Mitteilung Nr. 63, München 1989
- Schmitt, G. (1987): Methoden und Ergebnisse der Nebelanalyse. In: Berichte des Institutes für Meteorologie und Geophysik der Universität Frankfurt am Main, Nr. 72, Frankfurt am Main 1987
- Schöpfer, W., Hradetzky, J. (1984): Der Indizienbeweis: Luftverschmutzung, maßgebliche Ursache der Walderkrankung. In: Forstwissenschaftliches Centralblatt 103 (1984), S. 231-248
- Schütt, P.; Lang, K. J.; Dotzler, M.; Holdenrieder, O. (1987): Waldbäume unter der Einwirkung von Witterungsextremen und Immissionen. In: Projektgruppe Bayern zur Erforschung der Wirkung von Umweltschadstoffen (Hrsg.): Klima und Witterung in Zusammenhang mit den neuartigen Waldschäden. GSF-Bericht 10/87, München 1987. S. 77-94
- Theobald, J.; Kuttler, W. (1988): Biologischer Schallschutz in der Stadt. In: Kommunalverband Ruhrgebiet (Hrsg.): Klima und Lufthygiene als Planungsfaktoren. Planungshefte Ruhrgebiet P 020, Essen 1988, S. 101-119
- Tischler, W. (1984): Einführung in die Ökologie. 3. Aufl., Stuttgart/New York 1984
- Ulrich, B. (1981): Destabilisierung von Waldökosystemen durch Akkumulation von Luftverunreinigungen. In: Der Forst- und Holzwirt 36 (1981), S. 525-532
- Wegmann, K. (Hrsg.) (1987): Ökologie. Meyers Kleines Lexikon. Mannheim 1987
- Wicke, L. (1986): Die ökologischen Milliarden. Das kostet die zerstörte Umwelt - so können wir sie retten. München 1986