

Umwelt und Qualität des Lebens

**LITERATURSTUDIE ÜBER DIE ÖKONOMISCHEN KONSEQUENZEN
DER SCHÄDEN UND BELÄSTIGUNGEN DIE DURCH DIE
LUFTVERSCHMUTZUNG DURCH SCHWEFELDIOXID SOWOHL BEI
MATERIALIEN UND DER VEGETATION ALS AUCH BEI MENSCH
UND TIER HERVORGERUFEN WERDEN**

Umwelt und Qualität des Lebens

**LITERATURSTUDIE ÜBER DIE ÖKONOMISCHEN KONSEQUENZEN
DER SCHÄDEN UND BELÄSTIGUNGEN DIE DURCH DIE
LUFTVERSCHMUTZUNG DURCH SCHWEFELDIOXID SOWOHL BEI
MATERIALIEN UND DER VEGETATION ALS AUCH BEI MENSCH
UND TIER HERVORGERUFEN WERDEN**

Von Direktor und Professor Dr. ERDWIN LAHMANN,
Berlin – Dahlem

Die vorliegende Studie wurde unter Vertrag für die
Kommission der Europäischen Gemeinschaften in Brüssel,
„Dienststelle für Umweltfragen und Verbraucherschutz“, durchgeführt.

Verzeichnis der Tabellen

1. Gesamte Schwefelemission in der Bundesrepublik Deutschland und in Berlin (West)
2. Monatsmittelwerte der SO₂-Konzentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) in deutschen Städten im Jahre 1971. Auswertung kontinuierlich-automatischer Messungen
3. Ergebnisse von SO₂-Immissionsmessungen in deutschen Städten in der Zeit von Oktober 1969 bis September 1970
4. Ergebnisse von SO₂-Immissionsmessungen in deutschen Städten in der Zeit von Oktober 1970 bis September 1971
5. Ergebnisse von SO₂-Immissionsmessungen in deutschen Städten in der Zeit von Oktober 1971 bis September 1972
6. Ergebnisse von SO₂-Immissionsmessungen in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ im Raum Paris in der Zeit von Oktober 1971 bis September 1972
7. SO₂-Konzentrationen in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in den Niederlanden während einer Smogperiode (17. September bis 7. Oktober 1971)
8. Jahresmittelwerte der SO₂-Konzentration (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) im Vereinigten Königreich von Großbritannien
9. Schwefeldioxid-Immissionen in London
10. Ergebnisse von Schwefeldioxid-Immissionsmessungen in ppm in den Vereinigten Staaten von Amerika. Meßwerte des Continuous Air Monitoring Program aus den Jahren 1962 - 1967
11. Jahresmittelwerte des Schwefeldioxidgehalts der Luft in japanischen Städten in ppm
12. Sulfate (als SO₃ berechnet) in Niederschlägen in Berlin in $\text{g}/100 \text{ m}^2$. Monat (April 1953 bis März 1973)
13. Schwefel in Niederschlägen in Großbritannien
14. Ergebnisse epidemiologischer Untersuchungen über die Wirkung von Schwefeldioxid
15. Aufwendungen der Industrie in der Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 1969 bis 1971 für die Luftreinhaltung. Ergebnis einer Umfrage des Deutschen Industrie- und Handelstages

16. Kosten der Luftreinhaltung für verschiedene industrielle Bereiche in Großbritannien von 1958 bis 1968
17. Kosten der Schäden durch Luftverunreinigungen in den USA in Milliarden Dollar im Jahre 1968, nach Schadstoffen aufgegliedert
18. Kosten der Schäden durch Luftverunreinigungen in den USA in Milliarden Dollar im Jahre 1968, nach Quellen und Wirkungen aufgegliedert
19. Zusammenfassung und Reihenfolge von Schadensfaktoren
20. Schätzungen der Emissionen in den USA für das Jahr 1968 in Millionen Tonnen
21. Kosten für mit Luftverunreinigungen verbundene Krankheiten in den USA im Jahre 1958
22. Ermittelte bzw. geschätzte Größe der durch Immissionen geschädigten Kulturflächen in einigen Ländern der Bundesrepublik Deutschland
23. Direkte Ernteverluste in Pennsylvania in 100 \$ pro Jahr, nach Ernteart und charakteristischem Fremdstoff geordnet
24. Kosten für Korrosion und Korrosionsschutz in Schweden in Millionen Schwedenkronen pro Jahr in bezug auf einige wichtige Konstruktionsmaterialien, die der Außenluft ausgesetzt sind

Verzeichnis der Anlagen

1. Ronald G. Ridker: Economic Costs of Air Pollution (Ökonomische Kosten der Luftverunreinigung). Inhaltsverzeichnis, Anlagen, Tabellen und Abbildungen
2. Die ökonomischen Kosten (Übersetzung aus dem Bericht des Committee on Air Pollution ("Beaver-Report"), London 1954)
3. J.J. DUMONT und J.M. FOLZ: Le coût des effets de la pollution atmosphérique. Pollution Atmosphérique 14, 329 - 352 (1972). Verzeichnis der Tabellen
4. LARRY B. BARRETT und THOMAS E. WADDELL: Cost of Air Pollution Damage: A Status Report (Kosten der Schäden durch die Luftverunreinigung: Ein Bericht über den gegenwärtigen Stand). Inhaltsverzeichnis und Tabellen im Text

INHALTSVERZEICHNIS

1. Unterlagen	1
2. Quellen für die Verunreinigung der Luft mit Schwefeldioxid	2
3. Schwefeldioxid-Immissionen	6
4. Eigenschaften, Reaktionen und Erscheinungsformen von Schwefeloxiden.	10
5. Methoden zur Ermittlung der Wirkungen von Schwefeloxiden	13
6. Wirkungen auf den Menschen	16
7. Wirkungen auf Tiere	19
8. Wirkungen auf die Vegetation	21
9. Wirkungen auf Sachgüter	24
10. Die Kosten der Luftverunreinigung	27
11. Literaturangaben über die Höhe von Schäden und Verlusten durch die Luftverunreinigung allgemein und durch Schwefeldioxid speziell	33
11.1. Auf den Gesamtkomplex der Luftverunreinigung zurückgeführte Schäden und Verluste	33
11.1.1. Umfassende Berichte	33
11.1.1.1. Vereinigtes Königreich von Großbritannien	33
11.1.1.1.1. Der Beaver-Report	33
11.1.1.1.2. Neuere Veröffentlichungen	44
11.1.1.2. Frankreich	45
11.1.1.3. Bundesrepublik Deutschland	51
11.1.1.4. Italien	52
11.1.1.5. Vereinigte Staaten von Amerika	54
11.1.1.6. Internationale Organisationen	62
11.1.2. Kosten für Gesundheitsschäden.	64
11.1.3. Kosten für Vegetationsschäden	71
11.1.4. Kosten für Schäden an Sachgütern	75
11.2. Auf Schwefeldioxid-Immissionen zurückgeführte Schäden	76
12. Methodologie der Abschätzung von Schäden durch Luftverunreinigungen	80
13. Zusammenfassung und Diskussion	85
Summary and Discussion	91
Bibliographie	97
Zeitschriftenliteratur	105

Literaturstudie

über die ökonomischen Konsequenzen der Schäden und Belästigungen,
die durch die Luftverschmutzung durch Schwefeldioxid sowohl bei
Materialien und der Vegetation als auch bei Mensch und Tier her-
vorgehoben werden

Von Direktor und Professor Dr. ERDWIN LAHMANN, Berlin-Dahlem

1. Unterlagen

Für die hier vorgelegte Studie wurden die im Literaturverzeichnis aufgeführten Quellen (Bücher, Broschüren, Bibliographien, Zusammenfassungen, Berichte, Original- und Referat-Zeitschriften) herangezogen. Eine genaue Benennung der ausgewerteten Literatur ist geboten, weil das Fachschrifftum sehr weit gestreut ist und Angaben für einige Teilaspekte des gestellten Themas sehr zahlreich und für andere wiederum sehr selten sind.

Das Literaturverzeichnis ist in eine Bibliographie und in Zeitschriftenliteratur unterteilt. Im folgenden Text wird auf die Bibliographie mit Ziffern und auf die Zeitschriftenliteratur mit den Autorennamen hingewiesen.

2. Quellen für die Verunreinigung der Luft mit Schwefeldioxid

Die Verunreinigung der Luft in städtischen Gebieten mit Schwefeldioxid entstammt weit überwiegend den Abgasen von Verbrennungsvorgängen. Fossile Brennstoffe (Kohle, Öl u.a.) enthalten Schwefel, der bei der Verbrennung in Schwefeldioxid übergeht. Weitere Schwefeldioxid-Quellen befinden sich insbesondere im Bereich der chemischen Industrie (z.B. Schwefelsäurefabriken) und der Metall-Industrie (Röstanlagen, Sinteranlagen). Der Auswurf ist hier nach der Gesamtmenge relativ gering; er kann jedoch lokal die Luftverunreinigung stark beeinflussen.

Angaben über die Schwefeldioxid-Emissionen in Städten, Gebieten oder Staaten basieren auf Erhebungen über Verbrauch oder Produktion einerseits und über Schwefelgehalt in den Einsatzstoffen oder Schwefelverluste im Produktionsablauf andererseits. Insbesondere unterschiedliche Annahmen bei dem Schwefelgehalt von Brennstoffen führen zu differierenden Voraussagen des Schwefeldioxid-Auswurfs.

Für die Bundesrepublik Deutschland wurde in einer von der Kommission Reinhaltung der Luft beim Verein Deutscher Ingenieure initiierten Studie [11] die "gesamte Schwefelemission" für das Jahr 1970 mit

3,6 Millionen t SO₂ (1,8 Mio t S)

veranschlagt. Von dieser Menge wurden 76 % (2,74 Mio t SO₂) der Industrie, 20 % (0,74 Mio t SO₂) dem Hausbrand und 4 % (0,12 Mio t SO₂) dem Verkehr zugeordnet. Auf Verbrennungsanlagen insgesamt - im industriellen und häuslichen Bereich - entfallen 94 % (3,38 Mio t SO₂) des Gesamtauswurfs. Im Vergleich zum Jahre 1960 war die gesamte Schwefelemission um 16 % (von 3,1 auf 3,6 Mio t SO₂) gestiegen. Eine Zusammenstellung der durch die VDI-Studie [11] ermittelten Gesamtemissionen für die Jahre 1960 und 1970 ist in der Tabelle 1 wiedergegeben.

Die in der Tabelle 1 zusammengestellte Emission von 1,8 Mio t Schwefel im Jahre 1970 stellt einen beträchtlichen Anteil des gesamten primären Schwefelaufkommens in der Bundesrepublik Deutschland dar, welches mit 4,5 Mio t Schwefel (2,9 Mio t in Brennstoffen, 1,3 in Erzen und 0,3 als Einfuhr von Schwefel und Schwefelsäure) im gleichen Jahr angegeben wird [11]. In der VDI-Studie wird festgestellt, daß also 40 % des für die menschliche Tätigkeit aus der Natur entnommenen Schwefels als gasförmige Verbindungen in die Atmosphäre geleitet werden.

Vom Bundesministerium des Innern wird für das Jahr 1969 eine Schwefeldioxid-Emission in der Bundesrepublik Deutschland von rund 4 Millionen t angegeben [12]. Davon werden 90 % den Verbrennungsanlagen, 6 % Erzsinteranlagen, 2,5 % Kraftfahrzeugen und 1,5 % Schwefelsäurefabriken zugerechnet.

In einer für die OECD erstellten Studie (W. BROCKE und H. SCHADE 1971) wird für das Jahr 1969 der Gesamt-SO₂-Auswurf für stationäre Verbrennungsanlagen mit 3,5 Mio t beziffert.

Die gesamte Schwefeldioxid-Emission für die Vereinigten Staaten von Amerika im Jahre 1968 wurde mit 30 Mio t angegeben [13]. 22,1 Mio t (74 %) entfielen auf stationäre Verbrennungsanlagen, 0,1 auf Abfallbeseitigung, 0,7 auf mobile Verbrennung, 6,6 auf Industrieprozesse und 0,5 Mio t auf verschiedene andere Quellen.

Für das Vereinigte Königreich von Großbritannien wird der Schwefeldioxid-Auswurf im Jahre 1968 mit 6,01 Mio t veranschlagt (S.R. CRAXFORD und M.-L. WEATHERLEY 1971; [14], Seite 107-117).

In einem Bericht der schwedischen Regierung [8] werden für das Jahr 1965 folgende Emissionen in Millionen Tonnen Schwefel (1 t S = 2 t SO₂) für verschiedene europäische Staaten angegeben:

Schweden	0,3
Norwegen	0,08
Dänemark	0,12
Niederlande	0,5
Bundesrepublik Deutschland	1,6
Frankreich	1,1
Vereinigtes Königreich von Großbritannien	3,2

Prognosen für die absehbare Zukunft lassen keinen eindeutigen Rückgang, eher eine Steigerung der Schwefeldioxid-Emissionen erwarten (W. BROCKE und H. SCHADE 1971; S.R. CRAXFORD und M.-L. WEATHERLEY 1971; 12/).

Aus dem Gesamtauswurf wie auch aus der pro Fläche bezogenen Schwefeldioxid-Emission lassen sich wegen der sehr unterschiedlichen Ableitungsbedingungen der Abgase keine quantitativen Schlüsse über die Schwefeldioxid-Konzentration in Bodennähe (Immission) ziehen. Erst bei Kenntnis dieser technischen Bedingungen sowie der meteorologischen Gegebenheiten in einem Gebiet können mittels eines Diffusionsmodells für Abgase die unter bestimmten Voraussetzungen zu erwartenden Immissionskonzentrationen berechnet werden. Bei dieser Arbeitsweise liegt der entscheidende Aufwand bei der Ermittlung der Emissionsquellen (Aufstellung eines "Emissionskatasters"). Für die Berechnungen ist eine leistungsfähige Datenverarbeitungsanlage erforderlich.

Die dominierenden Quellen für schwefeldioxidhaltige Rauchgase sind einerseits Kraftwerke und andererseits Heizungsanlagen insbesondere im häuslichen Bereich.

Kraftwerke sind "punktförmige" Emissionsquellen. Sie werfen große Schwefeldioxid-Mengen durch relativ wenige, hohe Schornsteine aus. Die jahreszeitlichen Unterschiede der Emission

sind relativ gering.

Häusliche Heizungsanlagen sind "flächenförmige" Emissionsquellen. Zahlreiche Kamine emittieren - im einzelnen nur geringe Abgasmengen - in relativ geringer Höhe über Boden. Der Auswurf ist weitgehend auf das Winterhalbjahr (Oktober bis März) beschränkt.

Der Anteil von punktförmigen Großemittenten und von flächenförmigen Kleinemittenten an der Schwefeldioxid-Konzentration der atmosphärischen Luft in Bodennähe hängt stark von meteorologischen Einflüssen ab. Bei Wetterlagen, die den vertikalen Austausch der Luft behindern, wirken sich vor allem die niedrigen Abgasquellen stark auf die Verunreinigung der bodennahen Luft aus (W. BREUER und K. WINKLER 1965; E. LAHMANN und K.-E. PRESCHER 1972).

3. Schwefeldioxid-Immissionen

Schwefeldioxid ist die bei Untersuchungen atmosphärischer Luft bei weitem am häufigsten analysierte gasförmige Substanz. Wegen seines stetigen Auftretens in städtischer Luft wird dieses Gas oft als Indikator für die allgemeine Luftverunreinigung angesehen. Unterschiede in den angewendeten Analysenverfahren und Meßmethodiken können Vergleiche von Ergebnissen erschweren.

Eine Erhebung über die Meßprogramme und über Ergebnisse von Schwefeldioxid-Messungen aus dem Jahre 1971 wird zur Zeit von der Kommission der Europäischen Gemeinschaft, Generaldirektion Soziale Angelegenheiten, Direktion Gesundheitsschutz, bei ihren Mitgliedsländern angestellt.

Umfangreiche Schwefeldioxid-Meßprogramme innerhalb der Europäischen Gemeinschaft werden zur Zeit insbesondere in Großbritannien, in Nordrhein-Westfalen (Bundesrepublik Deutschland) und im Rheinmündungsgebiet bei Rotterdam (Niederlande) durchgeführt. Erhebliche Ausweitungen von Meßprogrammen sind aus der Bundesrepublik Deutschland, den Niederlanden und aus Belgien bekannt geworden.

In Großbritannien werden an etwa 1300 Stellen fortlaufend Proben über 24 Stunden genommen. Die Probeluft wird durch eine Absorptionslösung geleitet und die dort aufgefangene Säure bestimmt. Meßergebnisse werden von dem zum Ministry of Technology gehörenden Warren Spring Laboratory veröffentlicht.

In Nordrhein-Westfalen werden an etwa 5000 Stellen Stichproben genommen, in jeder zweiten Woche (26 mal pro Jahr) und jeweils etwa 10 Minuten lang. Im Untersuchungsgebiet entfällt auf jeden Quadratkilometer eine Meßstelle. Die Analysen werden nach dem Silikagel-Verfahren nach Stratmann vorgenommen. Überdies werden an 13 Stationen in 12 Städten kontinuierliche Schwefeldioxid-Bestimmungen mit automatischen Geräten vorgenommen. Diese Geräte arbeiten nach dem Prinzip der Messung der elektrischen Leitfähigkeit

von Absorptionslösungen, durch die die Probeluft geleitet wird. Die fortlaufenden Registrierungen werden hier in stündlichen Intervallen ausgewertet. Jährlich fallen demnach pro Meßstelle maximal 8760 Stundenmittelwerte an. Die Ergebnisse sowohl der Stichproben-Messungen als auch der automatischen Schwefeldioxid-Bestimmungen werden jährlich in der Schriftenreihe der Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen veröffentlicht.

Im Rheinmündungsgebiet werden von der Openbaar Lichaam Rijnmond automatische Schwefeldioxid-Immissionsmessungen an 31 Stellen vorgenommen. Es werden Geräte eingesetzt, die nach dem Prinzip der coulometrischen Titration unter Ausnutzung der Reaktion zwischen Bromid und Schwefeldioxid arbeiten.

Mit den angeführten Meßprogrammen werden unterschiedliche Ziele verfolgt. Die Messungen in Großbritannien dienen u.a. insbesondere für epidemiologische Untersuchungen; die automatischen Bestimmungen in Nordrhein-Westfalen und in den Niederlanden werden für Warnungen vor smogähnlichen Wetterlagen herangezogen; die Stichproben-Messungen in Nordrhein-Westfalen ergeben Unterlagen für die räumliche Belastung mit Schwefeldioxid.

Als Beispiele für die in Ballungsgebieten Europas sowie in Großstädten der USA gemessenen Schwefeldioxid-Immissionen dienen die folgenden tabellarischen Zusammenstellungen:

Tabelle 2: Monatsmittelwerte der SO_2 -Konzentration in deutschen Städten im Jahre 1971

Tabelle 3
bis 5: Ergebnisse von SO_2 -Immissionsmessungen in deutschen Städten in den Zeiten von Oktober 1969 bis September 1970, von Oktober 1970 bis September 1971, von Oktober 1971 bis September 1972

Tabelle 6: Ergebnisse von SO_2 -Immissionsmessungen im Raum Paris

Tabelle 7: SO₂-Konzentrationen in den Niederlanden während einer Smogperiode

Tabelle 8: Jahresmittelwerte der SO₂-Konzentration im Vereinigten Königreich von Großbritannien

Tabelle 9: Schwefeldioxid-Immissionen in London

Tabelle 10: Ergebnisse von Schwefeldioxid-Immissionsmessungen in den Vereinigten Staaten von Amerika

Tabelle 11: Jahresmittelwerte des Schwefeldioxidgehaltes der Luft in japanischen Städten

Bei aller gebotenen Vorsicht wegen der unterschiedlichen Meßmethodiken und der nicht im einzelnen bekannten Probenahmestellen können für Großstadtluft - abgesehen von extremen Bedingungen, wie sie insbesondere in London auftraten - etwa folgende maximale Schwefeldioxid-Konzentrationen in der atmosphärischen Luft von Städten in der Europäischen Gemeinschaft angegeben werden:

Stundenmittel	1,5 - 2,5 mg/m ³
Tagesmittel	1 mg/m ³
Monatsmittel	0,5 mg/m ³
Jahresmittel	0,2 - 0,3 mg/m ³

Die Schwefeldioxid-Immissionen zeigten nach mehrjährigen Untersuchungen in London (B.T. COMMINS und R.E. WALLER 1967) und im Raum Paris (BOURELLY 1971) keinen eindeutigen Trend nach oben oder unten. Nach einer neueren Darstellung langfristiger Messungen nahm der SO₂-Gehalt der Luft in Großbritannien in den letzten 10 Jahren um 25 % ab (S.R. CRAXFORD und M.L. WEATHERLEY 1971, 14). In 12 Städten von Nordrhein-Westfalen gingen die kontinuierlich gemessenen SO₂-Konzentrationen in den 8 Jahren von 1963 bis 1971 eindeutig zurück (M. BUCK, S. KÜLSKE und H. IXFELD 1972). Bei

registrierenden Messungen seit 1958 in Hamburg (K. GRÄFE 1972) nahm der SO_2 -Gehalt der Luft bis etwa 1964/1965 ab und zeigte dann keine merklichen Veränderungen mehr. In der gleichen Zeit haben die SO_2 -Emissionen in diesen Gebieten sicherlich zugenommen. Die Untersuchungsbefunde dürften somit durch meteorologische Einflüsse sowie durch eine Zunahme der Emissionen insbesondere bei industriellen Feuerungsanlagen und dort unter günstigen Ableitungsbedingungen (hohe Schornsteine, die für gute Verteilung im Luftraum sorgen) zu erklären sein.

4. Eigenschaften, Reaktionen und Erscheinungsformen von Schwefeldioxi- den

Schwefeldioxid ist ein farbloses Gas von stechendem Geruch und deutlich saurem Geschmack. Sein Molekulargewicht beträgt 64,063, seine Dichte 2,264 (Luft = 1), sein Molvolumen 21,89 Liter. Es ist in Wasser gut löslich unter Bildung von schwefeliger Säure (H_2SO_3). In 100 g Wasser lösen sich unter Normaldruck (760 Torr) bei 10° C 15,4 g und bei 20° C 10,6 g Schwefeldioxid.

In atmosphärischer Luft ist Schwefeldioxid die weitaus dominierende Schwefelverbindung. Mit Emissionen von Schwefeltrioxid (SO_3 ; Molekulargewicht 80,062) ist in erheblich geringerem Maße zu rechnen. SO_3 ist insbesondere in den Abgasen von Feuerungsanlagen und von Schwefelsäurefabriken enthalten. An der Luft bildet Schwefeltrioxid mit Wasserdampf Schwefelsäure (H_2SO_4) in Form von Aerosolen. Neben einer direkten Emission von Schwefeltrioxid ist die Bildung dieses Anhydrids der Schwefelsäure an der Atmosphäre durch Oxydation von Schwefeldioxid möglich. Über die Oxydierbarkeit und die Oxydationsgeschwindigkeit von SO_2 an der atmosphärischen Luft liegen im Schrifttum recht unterschiedliche Angaben vor. Die Oxydation von Schwefeldioxid wird durch meteorologische Faktoren (Temperatur, Feuchte, Sonneneinstrahlung) und durch die Gegenwart katalytisch wirksamer Stäube beeinflusst.

E.R. GERHARD und H.F. JOHNSTONE (1955) ermittelten in Laboratoriumsversuchen mit niedrigen SO_2 -Konzentrationen in Luft eine Oxydationsrate von ca. 0,1 - 0,2 % pro Stunde; N.A. RENZETTI und G.J. DOYLE (1960) berichten von 0,4 % pro Minute. M. KATZ (1960) berechnet aus parallelen Bestimmungen von Schwefeldioxid und Gesamtschwefel in der Atmosphäre eine Oxydationsrate von etwa 0,035 % pro Minute. F.E. GARTRELL, F.W. THOMAS und S.B. CARPENTER (1963) stellten in der Rauchgasfahne eines kohlegefeuerten Kraftwerkes eine bis zu 55%ige Oxydation des Schwefeldioxides fest. E. WEBER (1970) schließt aus den Ergebnissen von parallelen

SO₂- und CO₂-Immissionsmessungen auf einen Verlust von etwa 50 % des mit Rauchgasen emittierten Schwefeldioxids innerhalb von 20 bis 60 Minuten durch Oxydation und durch Absorption.

Immissionsmeßdaten von Schwefelsäure-Aerosolen sind bisher recht selten. Der Grund hierfür liegt insbesondere auch in analytischen Schwierigkeiten. Nach heutiger Kenntnis beitragen die in atmosphärischer Luft anzutreffenden SO₃- (H₂SO₄-) Konzentrationen nur einen Bruchteil des gleichzeitig auftretenden Schwefeldioxids. Nach bisherigen Angaben wurden maximal 15 bis 20 % der Gesamtschwefelmenge der Luft als SO₃ (H₂SO₄) angetroffen. Mit steigender SO₂-Konzentration nahm der prozentuale SO₃-Anteil ab 1/22. Für London wurde der Schwefelsäure-Gehalt der Luft während Episoden mit hoher Luftverunreinigung in den Jahren 1957 bis 1964 mit höchsten Tagesmittelwerten von 34 bis 347 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ und mit höchsten Stundenmittelwerten von 36 bis 678 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ angegeben (B.T. COMMINS und R.E. WALLER 1967).

Im Falle einer hohen Oxydationsrate von Schwefeldioxid werden selektive SO₂-Bestimmungen in Luft ein in bezug auf die Wirkung von Schwefeloxiden irreales Bild ergeben. Eine theoretisch denkbare Verminderung des SO₂-Gehalts der Luft infolge Oxydation des Schwefeldioxides würde lufthygienisch - entgegen dem optischen Eindruck - eine Verschlechterung der Immissionsituation bedeuten.

Verunreinigungen der Luft mit Schwefeloxiden bewirken einen Sulfit- und Sulfat-Gehalt im Regenwasser. Der p_H-Wert des Regenwassers kann deutlich erniedrigt werden.

Bei Analysen von Regenwasser wird gewöhnlich nicht zwischen Sulfit und Sulfat unterschieden. Beide Anionen werden gemeinsam als Sulfat erfaßt. Das summarische Ergebnis schließt auch Sulfate ein, die vom Regenwasser aus Stäuben herausgelöst wurden. Nach den Ergebnissen von Staubbiederschlagsmessungen in den Jahren 1953 - 1959 gibt A. LÖBNER (1960) als "ortsüblichen" Sulfat-Niederschlag an:

	Sulfate (SO_3) kg/100 m ² . Monat
Industriegegend (mit Betriebsballungen)	> 0,2 - 0,3
Industriegegend (ohne Betriebsballungen)	> 0,1 - 0,2
Industriegegend (mit schwacher Betriebsdichte)	< 0,1

Bei 20jährigen Untersuchungen an 2 Meßstellen in Berlin haben sich keine eindeutigen Trends ergeben, wie die in Tabelle 12 niedergelegten Ergebnisse zeigen. Im Jahresmittel wurden 41 bis 119 g Sulfat (als SO_3 berechnet) pro 100 m² und Monat gemessen. Eine lineare Korrelation zwischen den Monatsmittelwerten des Sulfatgehaltes im Regenwasser und den (seit Sommer 1968 in Berlin aus kontinuierlichen Messungen ermittelten) Monatsmittelwerten des Schwefeldioxidgehaltes der Luft konnte nicht festgestellt werden. Der lineare Korrelationskoeffizient von insgesamt 48 Wertepaaren aus den Jahren 1968 bis 1972 betrug $r = 0,52$.

Nach kürzlich aus Großbritannien veröffentlichten Meßwerten (R. PRINCE und F.F. ROSS 1972) ergab sich auch dort - trotz steigender SO_2 -Emissionen - bei mehrjährigen Untersuchungen kein Anstieg des Schwefelgehaltes im Regenwasser. Tabelle 13 gibt die Ergebnisse dieser Untersuchungen wieder.

Nach schwedischen Angaben [8] kann das im Regen enthaltene Sulfat aus Quellen in entfernten Gebieten entstammen. Man ordnet etwa die Hälfte der schwefelhaltigen Niederschläge in Schweden den Abgasen anderer europäischer Staaten zu.

5. Methoden zur Ermittlung der Wirkungen von Schwefeloxiden

Die Wirkung von Schwefeldioxid auf die Umwelt kann verursacht werden

durch das gasförmige Schwefeldioxid selbst,

durch die Oxydationsprodukte Schwefeltrioxid bzw.

Schwefelsäure (H_2SO_4 -Aerosole), sowie

durch Sulfite und Sulfate (bzw. schweflige Säure und Schwefelsäure) im Regenwasser.

Die Wirkung der Luftverunreinigung kann sich erstrecken auf

Menschen,

Tiere,

Pflanzen und

Materialien.

Schwefeldioxid und seine Reaktionsprodukte (vor allem Schwefelsäure) greifen wegen ihrer Reaktionsfähigkeit sowohl biologische Objekte als auch Sachgüter an. Meist kann jedoch die Wirkung von Schwefeloxiden nicht isoliert betrachtet werden; es muß die Mitwirkung sowohl anderer Gase und Aerosole als auch meteorologischer Faktoren berücksichtigt werden. Das Schwefeldioxid ist häufig der dominierende Bestandteil der Luftverunreinigung. Es muß deshalb aber nicht unbedingt der wichtigste Fremdstoff der Luft in bezug auf eine Schädigung sein. Meßwerte für Schwefeldioxid sind oft nur als ein Indikator für die Beschaffenheit atmosphärischer Luft zu verstehen (vgl. Seite 6).

Methodisch können die Wirkungen von Luftverunreinigungen einerseits in Laboratoriumsversuchen und andererseits in Freilanduntersuchungen ermittelt werden.

Im Laboratorium können die Versuchsobjekte den Fremdstoff-Einwirkungen unter definierten Bedingungen ausgesetzt werden. Zu den

Versuchsbedingungen zählen insbesondere Art, Konzentration und Einwirkungsdauer des Fremdstoffes (oder auch mehrerer Fremdstoffe). Diese Arbeitsmethode ermöglicht somit Aussagen über die spezifischen Wirkungen von Schwefeloxiden.

Bei Laboratoriumsversuchen werden meist in begrenzter Versuchsdauer Fremdstoff-Konzentrationen eingesetzt, wie sie an der atmosphärischen Luft nur in Extremfällen (oder auch dann nicht einmal) auftreten. Der Aufwand für die Untersuchungen wird dadurch begrenzt, die Aussage über die Wirkung von tatsächlich auftretenden Luftverunreinigungen jedoch erschwert. Die Bedingungen an der freien Atmosphäre - insbesondere in bezug auf meteorologische Faktoren und auf Fremdstoff-Kombinationen - können im Laboratorium nur recht unvollständig simuliert werden.

Im Freiland untersucht man meist die unterschiedlichen Einflüsse auf Versuchsobjekte in Gebieten mit möglichst gleichen klimatischen und meteorologischen Bedingungen, jedoch mit unterschiedlich verunreinigter Luft. Das Arbeitskonzept kann sich aber auch auf Untersuchungen am gleichen Ort zu verschiedenen Zeiten mit unterschiedlich hohen Luftverunreinigungen richten.

Zu der Arbeitsrichtung "Freilanduntersuchungen" sind zum Beispiel epidemiologische oder medizinalstatistische Erhebungen zu zählen. Auch die Feststellung von Ernteschäden und von Schäden an Bauwerken, Denkmälern und dgl. zählt hierher. Der Beweis eines direkten Zusammenhanges zwischen beobachteten Wirkungen und dem Auftreten einzelner Komponenten (hier insbesondere von Interesse: Schwefeldioxid und Reaktionsprodukte) in der atmosphärischen Luft ist oft nicht einfach zu führen. Eine enge Korrelation zwischen dem Schwefeldioxid-Gehalt der Luft und einem Wirkungsbefund schließt die mehr oder weniger starke Mitwirkung anderer Fremdstoffe oder meteorologischer Faktoren nicht aus. Die Befunde von Freilanduntersuchungen sind

daher oft nicht spezifisch auf die Wirkung einzelner luftfremder Substanzen.

Die Wirkung von Luftverunreinigungen auf biologische oder materielle Objekte ist nicht unbedingt mit einem Schaden gleichzusetzen. So können zum Beispiel bei biologischen Objekten Umwelteinflüsse (hier: Luftverunreinigungen) Reaktionen ("Wirkungen") auslösen, welche einen Schaden verhindern sollen. In Sonderfällen sind sogar positive "Wirkungen" von Fremdstoffen in der Luft denkbar (z.B. Förderung des Pflanzenwachstums).

6. Wirkungen auf den Menschen

Erfahrungen über die akute Wirkung von Schwefeldioxid auf die menschliche Gesundheit stammen überwiegend aus dem Bereich der Arbeitsmedizin. Schwefeldioxid ist ein Reizgas, das insbesondere die Schleimhäute des Atemtraktes angreift und dadurch Beeinträchtigungen der Atemfunktionen verursacht. Schwere oder gar tödliche Vergiftungen durch Schwefeldioxid sind jedoch selten, weil der stechende Geruch und die starke Reizwirkung auf die Atemwege deutliche Warnzeichen zur Flucht aus stark mit SO₂ verunreinigten Räumen sind.

Die "Reizschwelle" wird von D. HENSCHLER, A. STIER, H. BECK und W. NEUMANN (1960) mit 2,0 bis 2,5 ppm SO₂ (5,8 bis 7,4 mg/Nm³) angegeben. Beeinträchtigungen der Atmungsfunktionen (Atemwiderstand, Atemfrequenz, Atemtiefe) wurden in Laboratoriumsversuchen meist erst bei etwa 5 ppm, bei empfindlichen Personen aber auch schon bei 1 - 2 ppm SO₂ (2,9 - 5,8 mg/Nm³) festgestellt [3,4,6,22]. Schwefeldioxid-Konzentrationen dieser Größenordnung können an der freien Atmosphäre nur in extremen Ausnahmefällen auftreten (vgl. Kapitel 3).

Für die Geruchs- bzw. Geschmacksgrenze von Schwefeldioxid werden unterschiedliche, zwischen 0,3 und 1,0 ppm SO₂ (0,9 - 2,9 mg/Nm³) liegende Angaben gemacht [22].

Bei epidemiologischen Untersuchungen ("Freilandversuche" im Sinne der Nomenklatur im Kapitel 5) können - abgesehen von grundsätzlichen Schwierigkeiten bei den anzustellenden Erhebungen - die Wirkungen verschiedener Schadstoffe in der Luft nicht differenziert werden. Eine auf Schwefeldioxid spezifizierte Untersuchung ist nur in Sonderfällen denkbar. Bezeichnenderweise wird in einem kürzlich erschienenen Bericht der Weltgesundheitsorganisation [10] die Wirkung von Schwefeloxiden und von partikelförmigen Luftverunreinigungen zusammen behandelt. Beide luftfremden Substanzgruppen entstammen den Abgasen von Verbrennungsvorgängen. Da diese die Hauptquelle für die Verunreinigung städtischer Luft

sind, treten Schwefeloxide und Stäube praktisch stets nebeneinander auf.

Die eindringlichsten epidemiologischen Erfahrungen über akute Wirkungen von Verunreinigungen atmosphärischer Luft stammen aus den sogenannten Smog-Katastrophen, also aus Situationen mit weit überhöhten Schadstoff-Immissionen infolge Wetterbedingungen, die für einen Luftaustausch extrem ungünstig sind (Temperaturinversion, Windstille, Nebel). Die bekannteste Katastrophe ereignete sich 1952 in London; nach der Medizinalstatistik waren etwa 4000 Todesfälle mehr zu beklagen als in vergleichbaren Zeiträumen unter normalen Umständen. In der kritischen Zeit betrug der maximale Tagesmittelwert der Schwefeldioxid-Konzentration $3,9 \text{ mg/m}^3$ (P. DRINKER 1953).

Die kritische Wetterlage vom Dezember 1952 wiederholte sich in London im Dezember 1962. Das maximale Tagesmittel betrug $3,83$, das maximale Stundenmittel $5,65 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ (Tabelle 9). Die hohe Übersterblichkeit des Jahres 1952 trat jedoch nicht ein. Dieser Befund kann auf einen starken Rückgang von "Rauch"-Immissionen seit 1952 zurückgeführt werden.

Unterlagen über die chronische Wirkung niedriger Schwefeldioxid-Konzentrationen lassen sich praktisch nur aus epidemiologischen Erhebungen gewinnen. Die Interpretation von Ergebnissen ist jedoch problematisch. D. HENSCHLER (in [4], Seite 342) meint sogar, daß "der ursächliche Zusammenhang aus solchen statistischen Erhebungen nicht zu ermitteln ist".

In einer Veröffentlichung des US Department of Health, Education, and Welfare [3] werden Ergebnisse epidemiologischer Untersuchungen über die Wirkung von Schwefeldioxid auf den Menschen zusammengestellt. Diese Zusammenstellung wird in der Tabelle 14 in deutscher Übersetzung wiedergegeben. Es sind dort neben den in den Untersuchungsgebieten gemessenen Schwefeldioxid-Konzentrationen stets Angaben über den gleichzeitigen Staub- oder "Rauch"-Gehalt der Luft verzeichnet.

Bei mehrjährigen Untersuchungen in der Bundesrepublik Deutschland ergab sich kein Anhalt, daß in den Industriezentren des Ruhrgebietes eine durch Luftverunreinigungen verursachte Häufung unspezifischer Atemwegserkrankungen vorhanden ist [37]. Während der Untersuchung herrschten jedoch keine extremen Verschmutzungsbedingungen. Statistische Untersuchungen in Nordrhein-Westfalen ergaben für die Smogperiode im Dezember 1962 bei einer extremen Erhöhung der Luftverunreinigung - insbesondere durch Feinstaub - eine Zunahme der Todesfälle [H. STEIGER und A. BROCKHAUS 1966, 1971].

Nach einem Bericht der Weltgesundheitsorganisation [10] sind - mit gewissen Vorbehalten - folgende Wirkungen von Schwefeldioxid und Rauch auf die Gesundheit ausgewählter Bevölkerungsgruppen zu erwarten:

	Schwefeldioxid	Rauch
Erhöhte Mortalität und erhöhte Einweisungen in Krankenhäuser	500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tagesmittel)	500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tagesmittel)
Verschlechterung von Atemwegserkrankungen bei Patienten	250 - 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tagesmittel)	250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tagesmittel)
Symptome an den Atemwegen	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (arithmetisches Jahresmittel)	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (arithmetisches Jahresmittel)
Beeinflussung der Sichtweite und/oder Belästigungen von Personen	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (geometrisches Jahresmittel)	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (geometrisches Jahresmittel)

Im Rahmen der hier vorgelegten Studie konnte und sollte in bezug auf Wirkungsbefunde nur ein kurzer Überblick gegeben werden, wie er zum Verständnis der ökonomischen Fragestellungen erforderlich ist. Einschlägige Fachliteratur ist in der Bibliographie enthalten.

7. Wirkungen auf Tiere

Lungenatmende Tiere werden durch Schwefeldioxid grundsätzlich in gleicher Art wie der Mensch beeinflusst. Wirkungen von Schwefeldioxid auf Tiere werden in Laboratoriumsversuchen mit dem Ziel untersucht, Unterlagen für Beeinflussungen der Gesundheit des Menschen zu gewinnen. Schädigungen oder Gefährdungen von Haustieren durch den Schwefeldioxid-Gehalt der atmosphärischen Luft im Sinne eines wirtschaftlichen Schadens sind nicht bekannt geworden.

In Schweden wird eine Beeinflussung des Fischreichtums von Gewässern angenommen, deren p_H -Wert durch sulfathaltigen Regen erniedrigt wurde [8]. Der direkte Wert der Binnenfischerei wird mit 15 bis 25 Millionen Schwedenkronen pro Jahr (10 bis 17 Millionen DM) als nicht sehr groß eingestuft [8]. Bedeutender als der materielle Nutzen wird der Freizeitwert des Amateurfischens angesehen. Fast 1 Million Schweden fischen in ihrer Freizeit. Oft dient der Ertrag auch als Nebenerwerb, dessen Ausfall zu einer Änderung der Lebensgewohnheiten bei den betroffenen Personen führen würde.

Eine Neutralisation der Gewässer durch Kalk wird in Schweden für möglich und für nicht sehr kostspielig gehalten [8]. Dabei wird angeführt, daß diese Maßnahme einerseits nicht alle biologischen Wirkungen der Übersäuerung ausschalten würde und andererseits ungünstige Nebeneffekte verursachen könnte.

Eine Übersäuerung von Gewässern und eine dadurch verursachte Beeinträchtigung des Fischreichtums würde in anderen europäischen Ländern mit einer intensiven Amateurfischerei, somit insbesondere wohl in Frankreich, Großbritannien und Irland, ähnlich wie in Schweden zu beurteilen sein. Allerdings sind Befunde oder Befürchtungen einer solchen Entwicklung aus diesen Ländern bisher nicht bekannt geworden. Auch erscheint gegenüber den schwedischen Angaben eine gewisse Reserve

geboden, wenn auch auf eine geringe Pufferungskapazität der schwedischen Gewässer gegen Säuren hingewiesen wird. Eine Verunreinigung von Gewässern über den Regen dürfte gegenüber einer Verunreinigung durch Abwässer in der Regel stark zurücktreten.

8. Wirkungen auf die Vegetation

Die Schädigung von Pflanzen durch Schwefeldioxid zählt zu den am längsten bekannten Auswirkungen der Luftverunreinigung. Die Vernichtung von Wäldern durch schwefeldioxidhaltige Röstgase von Hüttenwerken ist schon aus vergangenen Jahrhunderten bekannt. Die einschlägige Fachliteratur ist sehr umfangreich [vgl. 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 15, 17, 18, 19, 21, 24, 25, 26, 27, 28, 30, 31, 32, 39].

Die chronischen und die akuten Wirkungen von Schwefeldioxid auf Pflanzen reichen von Wachstums- und Ertragsminderungen bis zu Totalschäden. Besonders empfindlich sind Nadelhölzer, immergrüne Pflanzen und Pflanzen mit hoher physiologischer Aktivität. Solche Pflanzen können bereits bei Schwefeldioxidgehalten der atmosphärischen Luft geschädigt werden, die nach heutiger Kenntnis für Menschen und Tiere unbedenklich sind. Die Giftigkeit für die Vegetation basiert primär mehr auf der reduzierenden als auf der säurebildenden Eigenschaft des Schwefeldioxids. Die schädigende Wirkung ist insbesondere in einer Störung der Assimilationsvorgänge zu sehen.

Die phytotoxische Wirkung des Schwefeldioxids wurde des öfteren als Maßstab für die Festsetzung von Grenzwerten für die Beschaffenheit atmosphärischer Luft genommen, zum Beispiel bei den Maximalen Immissions-Konzentrationen (MIK-Werte) des VEREINS DEUTSCHER INGENIEURE (1961).

Die Wirkung von Schwefeldioxid auf Pflanzen hängt insbesondere von der Einwirkungsdauer und der Konzentration des Schadgases sowie von Tages- und Jahreszeit und von Erholungszeiten während der Einwirkung ab. Zusätzliche Einflußfaktoren sind klimatische Bedingungen, Bodenbeschaffenheit, Düngung und Gegenwart weiterer Schadstoffe in der Luft. Die Schadensbilder an Pflanzen sind nicht immer typisch für Schwefeldioxid. Sie lassen zum Beispiel oft nur schwer zwischen den Wirkungen von Schwefeldioxid und von Fluorwasserstoff differenzieren. Auch können klimatische, mechani-

sche und parasitäre Einwirkungen zu ähnlichen Schadensbildern führen [7]. Schließlich ist auch die Resistenz verschiedener Pflanzenarten gegenüber Schwefeldioxid sehr unterschiedlich.

Die Schwefeldioxid-Konzentrationen, bei denen mit akuten oder chronischen Schädigungen der Vegetation zu rechnen ist, lassen sich unter den oben umrissenen Voraussetzungen, Bedingungen und Einflüssen nur recht vage angeben. Nach der Richtlinie des VEREINS DEUTSCHER INGENIEURE (1961) über Maximale Immissions-Konzentrationen von Schwefeldioxid beträgt die Toleranzgrenze, die auch bei Dauereinwirkung keine Schäden hervorrufft, nach den seinerzeit vorliegenden Untersuchungsergebnissen ca. $0,4 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ (etwa $0,15 \text{ ppm SO}_2$). In einem Bericht des internationalen "Committee on the Challenges of Modern Society" [6], der überwiegend auf amerikanischen Unterlagen aufbaut [3], ist angeführt, daß offensichtlich akute Symptome nicht auftreten, wenn die maximale Konzentration über 8 Stunden nicht über $0,8 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ liegt. Dieser Maximalwert korrespondiert nach amerikanischen Erfahrungen mit einem Jahresmittelwert zwischen $0,08$ und $0,14 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$. Über chronische Schäden bei niedrigeren SO_2 -Gehalten der atmosphärischen Luft ($< 0,08 \text{ mg}/\text{m}^3$) wird verschiedentlich veröffentlicht [3, 6]. J.K.A. BLEASDALE (1952) berichtet zum Beispiel über eine Beeinflussung des Pflanzenwachstums durch SO_2 -Konzentrationen von $0,01$ bis $0,06 \text{ ppm}$ ($0,03$ bis $0,11 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$), ohne daß sichtbare Schäden auftreten. Das Auftreten von Pflanzenschädigungen bei derart niedrigen SO_2 -Immissionen wird von R. ZAHN (1969) bestritten.

In der Literatur finden sich auch Darstellungen, nach denen der Schwefeldioxid-Gehalt der atmosphärischen Luft nicht ein grundsätzliches Übel für die Vegetation ist, sondern bei niedrigen Konzentrationen (etwa $20 \text{ ug}/\text{m}^3$) positiv im Sinne einer Deckung des Schwefelbedarfs wirkt (R. PRINCE und F.F. ROSS (1972); F.F. ROSS (1972)).

Dem Schwefeldioxid kommt in Mitteleuropa zweifellos eine sehr wichtige Rolle als phytotoxische Luftverunreinigung zu. Bei einer von W. HÖLTE (1972) veröffentlichten Zusammenstellung von Immissionsschadensfällen an Pflanzen in der Zeit von 1953 bis 1972 nach Gutachten der Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen steht jedoch die Einwirkung von Fluorimmissionen an der Spitze aller Schadensfälle. Von insgesamt 104 Fällen wurden 24 Schäden dem Fluor und nur 4 dem Schwefel zugeschrieben. An weiteren 43 Schadensfällen war jedoch Schwefel beteiligt. (Als wirksame Schwefelverbindungen können hier wohl nur Schwefeloxide verstanden werden.) Die dokumentarische Zusammenstellung von 104 Einzelfällen muß jedoch nicht repräsentativ für das Land Nordrhein-Westfalen sein.

Für die USA können nicht gleichartige Bedingungen wie in Mitteleuropa angesetzt werden. Klima und Art der Emissionen schaffen insbesondere für die westlichen Teile des amerikanischen Kontinents andere Voraussetzungen als in Mitteleuropa. So berichtete R.E. OLSON (1970) über ein Programm zur Ermittlung des Geldwertes von Schäden durch Luftverunreinigungen an 65 wirtschaftlich bedeutungsvollen Nutzpflanzen in den USA. Dieses Programm ist auf die Wirkungen von Ozon, Peroxyacetylnitrat, Äthylen, Stickstoffdioxid und Fluoride begrenzt, weil diesen Verbindungen mindestens 90 % der Schäden zugerechnet werden. Schwefeldioxid fehlt erstaunlicherweise in dieser Liste. Bei einer Erhebung über Pflanzenschäden an der Vegetation von Kalifornien im Jahre 1970 schreibt A.A. MILLECAN (1971) dem Schwefeldioxid nur einen Anteil von 2 % zu.

9. Wirkungen auf Sachgüter

Die chemische Reaktionsfähigkeit von Schwefeldioxid und seinen Reaktionsprodukten, vor allem der Schwefelsäure, verursacht schädliche Auswirkungen auf Materialien wie Metalle, Baustoffe, Farben, Leder und Textilien. Wenn auch andere luftfremde Substanzen - Gase wie Stäube - ebenfalls auf Sachgüter einwirken, so ist doch dem Schwefeldioxid - insbesondere unter den Bedingungen in Mitteleuropa - eine dominierende Rolle als Schadstoff zuzuschreiben. Die Wirkung des Schwefeldioxids wird bei zunehmender Luftfeuchte und bei steigender Lufttemperatur sowie bei Gegenwart anderer Fremdstoffe in der Luft verstärkt.

Über die Wirkung von Schwefeldioxid vor allem auf die Korrosion von Metallen und auf die Zersetzung von Baumaterialien wurde oftmals im Schrifttum berichtet, so auch in zusammenstellenden Darstellungen in Fachbüchern [1, 3, 5, 6, 26, 33, 34].

Unter den gebräuchlichen Metallen werden insbesondere Zink und Eisen von Schwefeldioxid stark angegriffen. G. SCHIKORR [33, 34] stellte eine Korrosion bei Zink fest, die dem von einer LIESEGANG-Glocke aufgenommenen Schwefeldioxid unmittelbar äquivalent war. (Die LIESEGANG-Glocke enthält eine mit Kaliumkarbonat-Lösung getränkte Filterpapierhülse, welche Schwefeldioxid aus der Luft absorbiert. Die Hülse wird nach der Expositionszeit im Laboratorium analysiert.) Nickel wird ähnlich stark angegriffen [5, Seite 30].

A. PARKER (1955) stellte in schwefeldioxidhaltiger Atmosphäre eine viermal so starke Korrosion von Eisen und eine zehnmal so hohe Einwirkung auf Zink im Vergleich zu relativ sauberer Luft fest. Bei einjährigen Untersuchungen in Chicago fand J.B. UPHAM (1967), daß die stärkste Korrosion von Stahlproben bei einem mittleren SO_2 -Gehalt von 0,12 ppm um 50 % höher als am Ort mit der niedrigsten Korrosion (mittlerer SO_2 -Gehalt 0,033 ppm) lag.

In einer zusammenfassenden amerikanischen Darstellung [3] wird angegeben, daß die Korrosionsraten in Abhängigkeit von der Metallart, vom Expositionsort und von der Expositionsdauer in verunreinigter Atmosphäre 1 1/2 bis 5 mal höher gegenüber der ländlichen Umgebung lagen.

SCHIKORR [33] gibt für Mittel- und Westeuropa folgende durchschnittlichen Rostgeschwindigkeiten an:

in Landluft	4 . . .	60 μ /Jahr
in Stadtluft	30 . . .	70 μ /Jahr
in Industrieluft	40 . . .	170 μ /Jahr
in Meeresluft	60 . . .	170 μ /Jahr

Für die Korrosionsgeschwindigkeit des Zinks wurden nach SCHIKORR [5, Seite 27; 34] folgende Werte gefunden (in μ /Jahr):

in Landluft	0,4 . . .	4,7
in Stadtluft	1,6 . . .	6,8
in Industrieluft	3,4 . . .	19,7
in Meeresluft	0,55 . . .	15,1

Von den Baustoffen reagieren vor allem Kalkstein, Marmor, Dachschiefer und Mörtel mit Schwefeldioxid. Die Zerstörung tritt meist durch Bildung wasserlöslicher Reaktionsprodukte ein (Sulfate), die durch den Regen fortgewaschen werden.

J. RIEDERER (1973) bezweifelte allerdings kürzlich entgegen der heute herrschenden Meinung, daß die Luftverunreinigung und darunter das Schwefeldioxid wesentlich zur Zerstörung von Baudenkmalern beiträgt. Die vorgefundenen Schäden führt er zum größten Teil auf die Wirkung der natürlichen Verwitterung zurück. Die Ursache für den Verfall von Baudenkmalern und Skulpturen sieht er in erster Linie in der Abkehr der für die Denkmalpflege zuständigen Stellen von der Pflege der Denkmäler

durch regelmäßig wiederholte Anstriche oder Imprägnierungen. Den Ausführungen von RIEDERER widersprach inzwischen P. FREY (1973), insbesondere aufgrund von Untersuchungen am Kölner Dom, bei denen sich Zusammenhänge zwischen der Luftverunreinigung und dem zunehmenden Zerfall nachweisen ließen (N.N. 1972).

Manche Farben können durch Schwefeldioxid gebleicht werden. Leder und Textilien können durch Schwefeldioxid oder durch aus diesem Gas gebildete Schwefelsäureaerosole geschädigt werden. Besondere Wirksamkeit kann die an Ruß oder andere Feststoffe adsorbierte Säure auf Textilfasern ausüben (TRAVNÍČEK 1966).

10. Die Kosten der Luftverunreinigung

Die durch die Luftverunreinigung entstehenden Kosten sind zu unterscheiden nach

1. Kosten für die Luftreinhaltung und
2. Kosten für Schäden durch Luftverunreinigungen.

Die im Fachschrifttum unter dem Stichwort "Kosten" angeführten Veröffentlichungen betreffen weit überwiegend den Gesichtspunkt der "Kosten für die Luftreinhaltung". Diese Publikationen befassen sich vor allem mit den Kosten, die die Volkswirtschaft, die Industrie oder einzelne Wirtschaftsbereiche für technische Maßnahmen zur Luftreinhaltung als Investitions-, Betriebs- oder sonstige Kosten (z.B. für die Forschung) aufwenden oder in Zukunft aufwenden müssen, oder mit den Kosten für bestimmte technische Verfahren (zum Beispiel für die Entschwefelung von Rauchgasen). Die dabei benannten Kosten können beachtliche Größenordnungen erreichen. Die Tabelle 15 bringt als Beispiel eine Zusammenstellung der Aufwendungen der Industrie in der Bundesrepublik Deutschland für die Luftreinhaltung in den Jahren 1969 bis 1971 (DEUTSCHER INDUSTRIE- UND HANDELSTAG 1972). Tabelle 16 zeigt eine ähnliche Zusammenstellung aus Großbritannien 55.

Kosten-Nutzen-Analysen auf dem Gebiet der Luftreinhaltung werden in der Regel für die Optimierung technischer Verfahren zur Abgasreinigung angestellt. Gegenüberstellungen einerseits des Nutzens einer Vermeidung von Schäden durch Luftverunreinigungen und andererseits der Kosten von Abgasreinigungsverfahren werden nur selten getroffen.

Quantitative Angaben über die Kosten für Schäden und Verluste durch Luftverunreinigungen - und damit Angaben zum eigentlichen Thema der Literaturstudie - sind nur selten und dann noch teils an schwer zugänglichen Stellen aufzufinden. Diese Arbeitsrichtung wird auch in jüngster Zeit nur wenig verfolgt. Eine von der U.S. Environmental Protection Agency veröffentlichte Zusammenstellung von fast 2500 Forschungsprogrammen auf dem Gebiet der Luftrein-

haltung in aller Welt [51] führt nur sehr wenige Titel auf, die Informationen über ökonomische Auswirkungen der Luftreinhaltung erwarten lassen.

Die Kosten für Schäden durch Luftverunreinigungen können unter verschiedenen Gesichtspunkten zusammengestellt werden:

1. nach der wirksamen Substanz
2. nach dem geschädigten Objekt
3. nach dem Gebiet des ermittelten Schadens
(Staat, Land, Bezirk, Stadt, Umgebung
eines Werkes)

Die hier zu betrachtende wirksame Substanz ist durch die Aufgabenstellung der Literaturstudie vorgegeben, nämlich das Schwefeldioxid. Bei ökonomischen Bewertungen von Schäden durch Luftverunreinigungen betreffen die ohnehin nicht sehr zahlreichen Veröffentlichungen meist jedoch nicht einzelne Substanzen, sondern den Gesamtkomplex der Luftverunreinigung. Dieses Vorgehen ist wegen des praktisch stets kombinierten Auftretens und damit auch einer kombinierten Wirkung von Fremdstoffen in der Luft sehr verständlich. In mehreren Veröffentlichungen wird ausdrücklich darauf hingewiesen, daß eine Differenzierung von Schadensursachen nach Einzelkomponenten der Luftverunreinigung nicht möglich ist. Unter diesen Voraussetzungen kann bei den folgenden Darstellungen - trotz der auf Schwefeldioxid bezogenen Aufgabenstellung der Studie - nicht auf Arbeiten verzichtet werden, die sich mit Schäden durch die Summe der luftfremden Stoffe befassen. Ausgeklammert werden hier jedoch Veröffentlichungen, die spezifische Schäden durch andere Substanzen als Schwefeldioxid betreffen (z.B. Pflanzenschäden durch Fluorwasserstoff oder durch Oxydantien).

Die folgenden Ausführungen unterteilen die Veröffentlichungen über Schäden durch Luftverunreinigungen nach den beiden Gruppen "Gesamtkomplex der Luftverunreinigung" und "Schwefeldioxid" und

innerhalb dieser Gruppen nach umfassenden Berichten einerseits und nach geschädigten einzelnen Objektgruppen (Menschen; Pflanzen; Sachgüter) andererseits. Schließlich wurden die Literaturangaben noch nach der "Nationalität" eingeordnet.

Der Verunreinigung der Luft können zahlreiche schädliche Auswirkungen zugeschrieben werden:

Auf den Menschen:

Vorzeitiger Todesfall
Erkrankungen oder Verschlimmerung von
Erkrankungen
Belästigungen, Störungen des Wohlbefindens
und der "Lebensqualität"
Arbeitsausfall

Auf Tiere:

Todesfälle
Erkrankungen

Auf die Vegetation:

Akute Schäden (Totalschäden)
Chronische Schäden
Ertragsminderungen
Nutzwertminderungen
Verschmutzung von Gewächshäusern

Auf Materialien:

Vernichtung unersetzlicher Kulturgüter
Zerstörungen durch Korrosion u.ä.
Reparaturen, Renovierungen etc.
Erhöhter Wartungsbedarf
Verschmutzungen
Nutzwertminderungen

Indirekte Wirkungen:

Erhöhter Strombedarf (bei Smog-Wetterlagen)
Störungen des Transportwesens (bei Smog-Wetterlagen)
Wertverluste von Liegenschaften in belasteten
Gebieten

Autoren von Veröffentlichungen über Schäden und Verluste durch Luftverunreinigungen weisen immer wieder darauf hin, wie schwer - wenn überhaupt - Kosten eindeutig erfaßt und dann noch quantitativ bewertet werden können. Geschätzte Schadenssummen werden daher oft nur als Untergrenze bezeichnet. Es werden aber auch Kritiken am grundsätzlichen Sinn von recht ungenauen Schätzungen geäußert (A.V. KNEESE 1966).

Unter der wenig zahlreichen einschlägigen Fachliteratur ist besonders auf ein erstmals 1967 erschienenes Buch von R.G. RIDKER über die ökonomischen Kosten der Luftverunreinigung [52] hinzuweisen. Weil dieses Buch sehr unmittelbar das Thema der hier vorgelegten Literaturstudie betrifft, sind Inhaltsverzeichnis, Tabellen und Abbildungen des Buches in der Anlage 1 in deutscher Übersetzung wiedergegeben.

Das Buch befaßt sich mit den Beziehungen zwischen Außenluftqualität und ökonomischen Verlusten. Es behandelt insbesondere die Entwicklung und Testung von Methoden, nach denen die durch Luftverunreinigungen verursachten Kosten ermittelt und quantifiziert werden können. In diesem Rahmen werden in beispielhafter Aufführung auch quantitative Angaben über Schätzungen von Schäden oder Verlusten durch die Luftverunreinigung gebracht, auf die im Kapitel 11 eingegangen wird.

Nach RIDKER kann das Problem der ökonomischen Auswirkungen der Luftverunreinigung handhabbar gemacht werden, wenn folgende Annahmen vorausgesetzt werden:

1. Faktoren, welche eine gleiche Wirkung wie die Luftverunreinigung (zum Beispiel auf Krankheiten) haben, werden als konstant angenommen.

2. Störende Variablen - wie topographische und meteorologische Bedingungen - werden als konstant angenommen. (Diese Voraussetzung ist nicht immer gegeben. Es muß darauf geachtet werden, wo die Ergebnisse von Ermittlungen dadurch beeinflußt werden.)
3. Es sind auswertbare Meßdaten der Luftverunreinigung vorhanden.
4. Veränderungen der Luftverunreinigung haben nur einen vernachlässigbaren Einfluß auf ökonomische Faktoren wie Beschäftigung, Einkommensverteilung und Produktionsmethoden.

Die Wirkungen einer Zunahme der Luftverunreinigung gruppiert RIDKER in 3 Kategorien ein, die jede nach verschiedenen Methoden zu messen sind:

- I Direkte und unmittelbare Wirkungen (z.B. Halsentzündungen, Anstieg bestimmter altersspezifischer Morbiditäts- und Mortalitätsraten, Schäden an Farben, Entfärbung der Blätter von Pflanzen)
- II Wirkungen, welche Personen oder Unternehmen zu Gegenmaßnahmen zwecks Verringerung des direkten Einflusses von Schadstoffen veranlassen (z.B. Umzug von Personen, Änderungen des landwirtschaftlichen Anbaues, häufige Farbanstriche)
- III Wirkungen, die durch Abwehrmaßnahmen hervorgerufen werden (z.B. Preiserhöhungen wegen Änderungen des landwirtschaftlichen Anbaues)

Die durch Luftverunreinigungen verursachten Schäden und Verluste können grundsätzlich nach zwei verschiedenen Methoden ermittelt bzw. geschätzt werden:

1. Der Schaden wird direkt geschätzt (z.B. Feststellung des Wertes einer vernichteten Ernte).

2. Es wird die Summe von Schäden ermittelt, die mit der Luftverunreinigung in Zusammenhang gebracht werden können (z.B. Erkrankungen der Atemwege, Korrosion von Metallen), und dann der Anteil geschätzt, der der Luftverunreinigung tatsächlich zuzuschreiben ist. (Diese Methodik ist insbesondere für großräumige Erhebungen und für vergleichende Untersuchungen in verschiedenen stark verunreinigten Gebieten unentbehrlich).

11. Literaturangaben über die Höhe von Schäden und Verlusten durch die Luftverunreinigung allgemein und durch Schwefeldioxid speziell

11.1 Auf den Gesamtkomplex der Luftverunreinigung zurückgeführte Schäden und Verluste

In Veröffentlichungen, die die ökonomischen Auswirkungen der Luftverunreinigung ansprechen, werden die Anteile einzelner Schadstoffe (z.B. Schwefeldioxid) an der geschätzten Gesamtwirkung meist nicht ausgewiesen. In manchen Berichten werden überdies die Beeinträchtigungen biologischer und materieller Objekte so geschlossen abgehandelt, daß auch in den folgenden Ausführungen für diese Fälle eine zusammenhängende Abhandlung zweckmäßig ist.

11.1.1 Umfassende Berichte

11.1.1.1 Vereinigtes Königreich von Großbritannien

Die Luftverunreinigung und die mit ihr zusammenhängenden Probleme haben in Großbritannien eine lange Geschichte. So wurden auch schon vor Jahrzehnten Untersuchungen über die ökonomischen Auswirkungen der Luftverunreinigung angestellt. Eine auch im internationalen Schrifttum dominierende Bedeutung erlangte der anschließend behandelte, nach A.V. KNEESE (1966) "omnipresente" Beaver-Report.

11.1.1.1.1 Der Beaver-Report

Eine der wenigen umfassenden Studien zum Thema "ökonomische Bedeutung der Luftverunreinigung" ist in einem 1954 in London herausgegebenen Bericht des Committee on Air Pollution enthalten, der nach dem Vorsitzenden des Komitees als "Beaver-Report" bekannt ist [49]. Anlaß zu diesem Bericht war die Smog-Katastrophe in London im Dezember 1952 (vgl. Kapitel 6). Wegen der schon als fachhistorisch zu bezeichnenden Bedeutung des Beaver-Reports werden seine Aussagen über die ökonomischen Kosten der Luftverunreinigung in einer Anlage in deutscher Übersetzung vollständig wiedergegeben. Diese Aussagen basieren auf Unterlagen, die in einem

Anhang im Beaver-Report erläutert werden und die im folgenden dargestellt werden.

Der Beaver-Report behandelt - wie bei derartigen Arbeiten allgemein üblich - die Luftverunreinigung schlechthin und bringt kaum Unterteilungen nach einzelnen Substanzen. Im Anhang wird zunächst auf frühere Untersuchungen im Vereinigten Königreich von Großbritannien und in den Vereinigten Staaten von Amerika eingegangen, deren Originalberichte heute nur noch schwer zugänglich sind. Es sind folgende Schätzungen der durch Luftverunreinigungen verursachten Kosten wiedergegeben:

a) Pittsburgh (1913)

Die Gesamtkosten für die Stadt werden für das Jahr 1912 auf 9.944.740 \$ und damit etwa 20 \$ pro Kopf und Jahr geschätzt (etwa 4 £ nach dem Kurswert von 1912).

b) Manchester (1919)

Die Gesamtkosten für die Stadt werden auf mindestens 750.000 £ pro Jahr (etwa 1 £ pro Kopf der Bevölkerung) geschätzt.

c) London, Manchester (1925)

SHAW und OWENS ("The Smoke Problem of Great Cities") nehmen eine direkte Beziehung zwischen den Kosten der Luftverunreinigung und dem Staubbiederschlag an. Unter Bezug auf die Pittsburgh-Studie des Jahres 1912 wird pro Kopf der Bevölkerung für das Jahr ein Betrag von 1 £ 4 s. in London und 1 £ 10 s. für Manchester vermutet.

Diese Studie wird im Beaver-Report als unbefriedigend bezeichnet, u.a. wegen der Nichtberücksichtigung des Geldwertschwunds von 1912 bis 1924.

d) Liverpool (1939)

Die Kosten werden auf mindestens 2,5 Millionen £, zwischen 2 und 3 £ pro Kopf der Bevölkerung und Jahr veranschlagt. Nach dem Geldwert von 1954 setzt der Beaver-Report 5-8 £ pro Kopf und Jahr an.

e) Großbritannien (1939)

Die Ergebnisse einer Vergleichsuntersuchung über Kosten in rauchbelasteten und in "normalen" Gebieten ging im Krieg verloren.

f) Großbritannien (1945)

Der sogenannte Egerton-Report (Heating and Ventilation Reconstruction Committee of the Building Research Board) schätzt die Gesamtkosten pro Jahr auf 45 Millionen £ (etwa 1 £ pro Kopf). Diese Summe wird folgendermaßen aufgeteilt:

- I Je die Hälfte wird häuslichen Heizungen und der Industrie (einschließlich Eisenbahn) zugeordnet.
- II In bezug auf die Schadensursache werden 21 Millionen £ dem Rauch, 20 Millionen £ dem Schwefeldioxid (damit 44 % der Gesamtsumme) und 4 Millionen £ unverbranntem Brennstoff zugeschrieben.
- III In bezug auf die Schadensart wird unterteilt (in Millionen £):
26,2 für sogenannte "greifbare Posten" wie Reinigungen, Waschen, Schäden an Gebäuden, unverbrannter Brennstoff;
18,8 für "nicht greifbare Posten" wie erhöhte Korrosion von Metallen, vermindertes Tageslicht, Ernteschäden, Gesundheitsschäden bei Mensch und Tier, Störungen des Transportwesens.

Nach dem Geldwert von 1954 entspricht die Gesamtschadenssumme etwa 80 (statt 45) Millionen £ pro Jahr.

g) Großbritannien (1953)

Ein Fachkorrespondent der Zeitung "The Times" schätzt die Gesamtkosten auf jährlich 150 Millionen £.

h) New York, Chicago (1953)

Die jährlichen Kosten werden auf 16 \$ für New York und 20 \$ pro Kopf der Bevölkerung für Chicago angegeben (5 £ 15 s. bzw. 7 £ nach damaligem Kurswert).

i) Pittsburgh (1952)

Die jährliche Ersparnis in der Stadt durch die Beseitigung von Rauch (was schon weitgehend gelungen ist) wird auf 27 Millionen \$ bzw. 41 \$ (14 £ 10 s.) pro Einwohner geschätzt. Diese Summe teilt sich folgendermaßen auf:

	1000 \$	%
Reinigung, Anstriche, Wertminderung von Gebäuden	12.138	52,8
Waschen (Haushalt und Körperpflege)	6.700	29,1
Beleuchtung	3.475	15,1
Schäden an Sachgütern, Lagerkosten als Schutzmaßnahme	195	0,8
Schäden an Pflanzen und Sträuchern	500	2,2
Summe:	23.008	100
Industriebetriebe	4.000	

Zusammenfassend wird im Beaver-Report festgestellt, daß die verschiedenen Kostenschätzungen einen recht weiten Bereich überdecken. In den USA reichen sie von 15 (New York) bis 41 \$ pro Einwohner (Pittsburgh). Nach dem Umrechnungskurs entspricht das 5 £ 15 s. bis 14 £ 10 s.; realiter müßte jedoch ein besserer Kurs für das Pfund Sterling angesetzt werden. In Großbritannien reichen die Schätzungen - nach Preisen von 1954 - von 1 £ 10 s. (Egerton-Bericht) bis 3 £ pro Kopf der Bevölkerung (Angabe von The Times). Für stark verunreinigte Gebiete müßten die Kosten pro Kopf mindestens doppelt so hoch angesetzt werden.

Die Aussagekraft der genannten Arbeiten wird im Beaver-Report vorsichtig beurteilt. Es wird angedeutet, daß die Kosten deutlich höher anzusetzen sind, als es bei einigen - als nicht ausreichend umfassend anzusehenden - Berichten getan wurde.

Einleitend zur Schilderung der Grundsätze, nach denen die Kostenschätzungen angestellt wurden, wird auf die Schwierigkeiten und die Ungenauigkeiten solcher Schätzungen hingewiesen (It cannot be too strongly emphasised that even the best estimate of the cost of pollution cannot be more than a reasoned guess).

Die - sicherlich beträchtlich hohen - Kosten für die Verhütung von Rauch und anderen Luftverunreinigungen blieben unberücksichtigt. Die Ermittlungen richteten sich auf die in Geldwert - wenn auch nur ungefähr - meßbaren Fälle. Somit wurden Wirkungen auf die Gesundheit (mit Ausnahme der verringerten Arbeitsleistung), die möglicherweise höhere Todesrate, der Verlust an Lebensfreude und eine ganze Reihe sozialer Konsequenzen nicht eingeschlossen. Auch wurde die Mehrarbeit von Hausfrauen nicht erfaßt, hingegen die außerhalb von Wohnungen für bezahlte Arbeitskräfte entstehenden Kosten. Der Einfluß von Luftverunreinigungen auf Grundstückspreise blieb ebenfalls außer Betracht.

In früheren Untersuchungen wurde - laut Beaver-Report - nur selten definiert, was unter "Kosten" zu verstehen ist. Genau genommen sollten damit tatsächliche Ausgaben für die Beseitigung von Schäden durch Luftverunreinigungen gemeint sein. Dieser Posten zählt im Beaver-Report als direkte Kosten. Er entspricht den Erhebungen früherer Untersuchungen und betrifft Waschen, Reinigung im Haushaltsbereich, Anstriche und Reparaturen an Häusern, Schäden an Waren im Groß- und Einzelhandel, Ersatz von Haushaltsgütern und von korrodierten Metallen, zusätzliche Beleuchtung, besondere ärztliche Versorgung etc. Erhebungen dieser Kosten sind keineswegs so einfach, wie es scheinen mag. Die Bewohner belasteter Gebiete kennen gewöhnlich keine "Standardkosten" in anderen Gebieten. Sie können sich möglicherweise auch mit geringeren Forderungen an die Sauberkeit zufrieden geben.

Zu den direkten Kosten ist der Nutzwert-Verlust hinzuzuzählen. Die Luftverunreinigung beeinflusst die menschliche Gesundheit und reduziert damit die ökonomische Leistungsfähigkeit. Der Säuregehalt des Bodens steigt, Nutzpflanzen wachsen langsamer und Nutzvieh wird nicht nur direkt, sondern auch über das Grünfutter gesundheitlich beeinflusst. Erhebliche Auswirkungen können sich auch auf das Transportwesen ergeben. Es ist unmöglich, die Nutzwert-Verluste zu messen. Man kann aber versuchen, die breite Größenordnung abzuschätzen.

Der Egerton-Bericht schließt Brennstoff-Verluste durch unvollständige Verbrennung in seine Schätzungen ein und beziffert sie mit jährlich 4,4 Millionen £ nach den Preisen von 1945. 1,29 Millionen t Kohle-Verluste werden den Haushaltungen und 1,11 Millionen t anderen Quellen zugeschrieben. Im Beaver-Report werden diese Verluste als viel zu niedrig angesehen. Man schätzt sie auf jährlich 5 bis 10 Millionen t zu einem Verkaufspreis von 25 bis 50 Millionen £.

Zur Ermittlung der direkten Kosten wurden Vergleiche der Ausgaben, die auf Luftverunreinigungen zurückgeführt werden können, in belasteten und in unbelasteten Gebieten angestellt. Die Methode kann zu einer zu niedrigen Schätzung der Kosten führen, unter anderem weil auch in "unbelasteten" Gebieten Schäden auftreten können. Außerdem wurden in Zweifelsfällen die niedrigsten Schätzwerte angesetzt.

Eine Zuordnung von Schäden auf verschiedene Arten von Luftverunreinigungen wurde nicht getroffen. Die gesammelten Unterlagen deuten jedoch auf einen höheren Schadensanteil durch Staub und Rauch als durch andere Fremdstoffe.

Die direkten Kosten wurden unter den folgenden Gesichtspunkten zusammengestellt:

A Waschen und Haushaltsgüter

Frühere Angaben:

Pittsburgh (1912): 25 % der Gesamtkosten für die Luftverunreinigung;
5 \$ pro Kopf der Bevölkerung (\approx 1 £)

- Manchester (1918): 7 s. 6 d. pro Kopf und Jahr (nur für
Waschmittel und Brennstoff in Haushal-
tung; ohne Arbeitslohn und Wäscherei-
kosten)
- Großbritannien (1945): (Egerton-Report): für 1938 13,8 Millionen £
- Pittsburgh (1952): 25 % der Gesamtkosten;
10 £ pro Kopf und Jahr (\approx 3 £ 10 s.)
- Großbritannien (1953): (Electrical Association for Women):
2 d. pro Kopf zusätzliche Kosten für
Waschmittel (sowie zusätzliche Arbeitszeit)

Schätzungen des Beaver-Reports:

25 Millionen £ pro Jahr

1 £ pro Kopf in verunreinigten Gebieten

Dabei wurde angenommen, daß 20 % der Ausgaben für Wäschereien
(= 15 Millionen £) und 15 s. pro Kopf und Jahr für zusätzliche
Waschmittel in Haushalten (= 10 Millionen £ in belasteten Gebieten)
auf die Luftverunreinigung zurückzuführen sind.

B Gebäude

Hier sind nur Schätzungen für Anstriche, Verschönerungen und Reini-
gungen möglich. Kostenangaben für Korrosion und Verfall sind zu
spekulativ.

Frühere Angaben:

- Großbritannien (1945) (Egerton-Report): 5,6 Millionen £ für Reini-
gungen und Verschönerungen; 2,4 Millionen £
für Schäden; unter 1 £ pro Kopf und Jahr
- Pittsburgh (1952): 6 £ 10 s. pro Kopf und Jahr

Schätzungen des Beaver-Reports:

Für Anstriche und Verschönerungen bei Privathäusern:

30 Millionen £ pro Jahr

1 £ 4 s. pro Kopf in verunreinigten Gebieten

Reinigung von Steinen und Ziegeln:

über 1 Million £ pro Jahr

Reinigung von Geschäftshäusern, Ämtern etc.:

10 Millionen £ pro Jahr

Schäden an Häusern:

mindestens 5 Millionen £ pro Jahr

C Korrosion von Metallen

Kosten entstehen durch häufigen Ersatz von Metallteilen, durch Korrosionsschutz und durch Verwendung stärkerer Metallkonstruktionen und teurerer Metalle.

Frühere Angaben:

USA (keine näheren Angaben): 2.000 Millionen \$
(700 Millionen £) pro Jahr
für atmosphäre Korrosionen;
200 Millionen £ pro Jahr für
Reparaturen und Korrosionsschutz
bei Stahl und Eisen

Britische Elektrizitäts-Gesellschaft: 834.000 £ jährliche Kosten
durch Luftverunreinigungen (über-
wiegend wegen Korrosionen)

Schätzung des Beaver-Reports:

25 Millionen £ pro Jahr

Es wird darauf hingewiesen, daß auch in reiner Luft Metalle korrodieren. Die Korrosion wird jedoch durch Luftverunreinigungen, insbesondere durch Schwefeldioxid stark beschleunigt. Nach einer Erhebung wird etwa ein Drittel des jährlichen Ersatzes von Stahl-

Schienen wegen Luftverunreinigungen erforderlich. Bei Baustahl wird die entsprechende zusätzliche Erneuerungsrate auf 0,5 % pro Jahr veranschlagt.

D Schäden an anderen Gütern

Die Haltbarkeit von Leder, Textilien und anderen Materialien kann durch Luftverunreinigungen direkt sowie über häufigeres Waschen und Reinigen indirekt beeinflußt werden.

Frühere Angaben:

Pittsburgh (1952): 1,65 Millionen \$ für Schäden an Waren
in 1000 Kaufhäusern und Geschäften

Großbritannien (1952): Preisreduzierungen für geschädigte Waren
von 90.000 £ bei einer Handelskette nach der
"Smog-Katastrophe" im Dezember 1952

Schätzungen des Beaver-Reports:

50 Millionen £ pro Jahr
(für Schäden an Leder, Textilien etc.)
2,5 Millionen £ pro Jahr
(Schäden an Waren in Geschäften)

Es wurde angenommen, daß sich die Lebensdauer von Textilien etc. in verunreinigten Gebieten um ein Zehntel erniedrigt und daß die Hälfte der gesamten Textilien in Großbritannien (Gesamtwert 1952: 1000 Millionen £) in solchen Gebieten gebraucht wird. Für die Berechnung der Schäden an Handelswaren wurde von einem jährlichen Verlust von 10 £ pro Geschäft in den verunreinigten Gebieten ausgegangen.

E Beleuchtung

Für Pittsburgh wurden als zusätzliche Beleuchtungskosten für das Jahr 1913 1,50 \$ und für 1955 5 \$ pro Einwohner angegeben. Der Beaver-Report hält eine Kostenschätzung für Großbritannien

für zu spekulativ (insbesondere wegen überlagernder Wettereinflüsse) und auch nicht für sehr bedeutungsvoll.

F Gesundheitsdienst

Die jährlichen Ausgaben für den Nationalen Gesundheitsdienst betragen 500 Millionen £. Es läßt sich nicht beziffern, welchen Anteil daran die Behandlung von Krankheiten hat, die von Luftverunreinigungen verursacht oder verschlimmert werden. Möglicherweise sind die Kosten beachtlich.

Gesamtkosten

Als jährliche direkte Kosten für Großbritannien benennt der Beaver-Report zusammenfassend:

	Millionen £ pro Jahr
Waschen	25
Anstriche, Verschönerungen	30
Reinigungen und Wertminderungen	
von Gebäuden außer Privathäusern	20
Korrosion von Metallen	25
Schäden an Textilien und	
anderen Gütern	<u>52,5</u>
Summe:	152,5

Als Nutzwert-Verluste werden jährlich 100 Millionen £ grob veranschlagt. Darunter sind Schäden an Ernten und Böden mit 10 Millionen £ angegeben. Ein Rückgang der Arbeitsproduktivität um 1 % würde einen Verlust von 55 Millionen £ ausmachen. In verschiedenen Wirtschaftsbereichen, insbesondere im Transportwesen könnten Verluste in der Größenordnung von 60 Millionen £ vermutet werden. Zur Vermeidung von Über-Schätzungen wurden die Ansätze auf 100 Millionen £ zusammengezogen.

Die jährlichen Gesamtkosten für die Luftverunreinigung im Vereinigten Königreich von Großbritannien nach Stand und Preisen

von 1953/1954 veranschlagt der Beaver-Report auf 250 Millionen £. Das bedeutet pro Kopf der Bevölkerung 5 £ bzw. der Bevölkerung in den verunreinigten Gebieten 10 £ pro Jahr. Dabei ist ein Verlust von 25 bis 50 Millionen £ bei der unvollständigen Verbrennung von Kohle nicht enthalten.

Im Bericht wird abschließend eingeräumt, daß die Schätzungen als hoch angesehen werden könnten. Er weist aber darauf hin, daß amerikanische Schätzungen - insbesondere aus Pittsburgh - zu noch höheren Kosten pro Kopf der Bevölkerung kommen.

Bei der Beurteilung des Beaver-Reports für die Aufgabenstellung der hier vorgelegten Literaturstudie ist festzustellen:

1. Im Beaver-Report wird eine Aufteilung von Schadensursachen nach Substanzen oder Substanzgruppen ausdrücklich ausgeschlossen. Die Zuordnung eines bestimmten Anteils der geschätzten jährlichen Schadenssumme von 250 Millionen £ auf Schwefeldioxid läßt sich aus dem Bericht nicht ableiten. Der im "Egerton-Report" aus dem Jahre 1945 benannte Anteil des Schwefeldioxids von 44 % des Gesamtschadens wird im Beaver-Report nicht bestätigt oder korrigiert.
2. Die im Beaver-Report angeführten Schäden - insbesondere Waschen und Reinigungen und damit verbundene Folgekosten - weisen auf eine dominierende Bedeutung von staubförmigen Luftverunreinigungen hin. Das führt der Report auch ausdrücklich an.
3. Die Korrosion von Metallen und Schäden an Pflanzen sind überwiegend, andere Auswirkungen teilweise dem Schwefeldioxid zuzuordnen.
4. Quantitative Angaben über Kosten in bezug auf die Wirkung von Luftverunreinigungen auf den Menschen werden kaum gemacht. Zu diesem wichtigen Aspekt werden als quantitative Informationen praktisch nur die Gesamtkosten des Nationalen Gesund-

heitsdienstes sowie Schätzungen der Kosten für einen einprozentigen Rückgang der Arbeitsproduktivität aufgeführt.

5. Seit Herausgabe des Beaver-Reports im Jahre 1954 hat sich die Situation der Luftverunreinigung im Vereinigten Königreich von Großbritannien deutlich verändert. Die staubförmigen Immissionen haben infolge verschiedener Maßnahmen zur Luftreinhaltung stark abgenommen; der Schwefeldioxid-Gehalt der atmosphärischen Luft in Bodennähe blieb etwa gleich (vgl. Kapitel 3). Damit bleibt zu schätzen, daß der Gesamtschaden durch Luftverunreinigungen in Großbritannien seit 1954 zurückgegangen ist und daß der (im einzelnen unbekannt) Anteil des Schwefeldioxids anstieg (vgl. Kapitel 6 mit Hinweisen über epidemiologische Befunde in Großbritannien).

11.1.1.1.2 Neuere Veröffentlichungen

Seit Erscheinen des Beaver-Reports ist wenig über neuere Veröffentlichungen in Großbritannien bekannt geworden. Auch eine erst kürzlich erschienene Schrift zum Thema Luftreinhaltung 55 führt noch die vom Beaver-Komitee zusammengetragenen Kosten-Schätzungen an. Als neuere Arbeit wird hier nur ein Beitrag von W.L. WILSON und J.C. KNIGHT zur World Power Conference 1968 erwähnt, in welchem die jährlichen Kosten für Gesundheitsschäden mit etwa 300 Millionen £ und für Materialschäden mit 300 bis 400 Millionen £ geschätzt werden.

J.R. GOSS (1967) berichtet, daß Sir Hugh Beaver die Zahlen des Beaver-Reports sorgfältig überarbeitet hätte und zu dem Schluß gekommen wäre, daß diese zu niedrig sind. Die Gesamtkosten für Schäden durch die Luftverunreinigung in Großbritannien wären mit jährlich 350 Millionen £ anzusetzen.

11.1.1.2 Frankreich

Aus Frankreich sind zwei umfassende Berichte über wirtschaftliche Schäden durch Luftverunreinigungen bekanntgeworden, die G. PANNETIER (1957) und J.J. DUMONT und J.M. FOLZ (1972) veröffentlichten.

Der Bericht von PANNETIER wurde schon in einem 1961 von der Weltgesundheitsorganisation herausgegebenen Buch [24] referiert. Der Autor beziffert die den Auswirkungen von Luftverunreinigungen zuzuordnenden jährlichen Kosten auf 240 Milliarden (alte) Franc, beziehungsweise etwa 6.000 (alte) Franc pro Einwohner. Diese große Summe wird aufgliedert in zusätzliche Kosten für

Reinigung und Kleiderpflege	60	Milliarden	Franc
Anstriche und Instandhaltung	15	"	"
Reparaturen an Gebäuden	60	"	"
Ertragsminderungen	40	"	"
Sonstiges: Gesundheitsdienste	65	"	"

Bei der Berechnung der Kosten für Reinigung und Kleiderpflege ist zugrundegelegt, daß der Städter jährlich 50 kg Wäsche mehr wäscht oder waschen läßt als Bewohner ländlicher Gebiete. Dieser Mehraufwand wird mit Kosten von 10.000 Franc angesetzt, von denen ein Fünftel dem Staubgehalt der Luft in Städten zugerechnet wird. Für 20 Millionen Einwohner in staubbelasteten Gebieten ergibt sich dann eine Gesamtsumme von 40 Milliarden Franc. Kosten von weiteren 20 Milliarden werden für die geringere Haltbarkeit der Bekleidung in verunreinigten Gebieten geschätzt. Dabei wurde angenommen, daß die städtische Bevölkerung die Hälfte der jährlichen Kleiderproduktion (Gesamtwert: 800 Milliarden Franc) kauft und daß die Haltbarkeit um ein Zwanzigstel herabgesetzt wird.

Die Schätzungen der Kosten für zusätzliche Anstriche und Instandhaltungen gingen vom Jahresumsatz des Maler- und Tapezierer-Handwerks (100 Milliarden Franc) aus. Die Hälfte des Umsatzes wurde

Arbeiten in Städten zugeschrieben und angenommen, daß dort Farben und Tapeten nur 4 gegenüber 6 Jahren in Landgebieten halten. Der hier berechnete Kostenbetrag von 15 Milliarden Franc pro Jahr würde noch höher liegen, wenn noch weitere Renovierungskosten zugerechnet werden.

Die Notwendigkeit von Reparaturen an Gebäuden ergibt sich insbesondere aus der Verschmutzung von Fassaden und aus der Korrosion von Zinkblechen auf Dächern. Die letztgenannte Wirkung wird ausdrücklich auf Schwefeldioxid zurückgeführt. Es wird angegeben, daß die Haltbarkeit von Zinkblech von früher 30 auf jetzt 4-5 Jahre zurückging. Daraus wird ein jährlicher Verlust von 20 Milliarden Franc berechnet. Doppelt so hohe Kosten werden für neue Außenanstriche und andere Außenarbeiten geschätzt.

J.J. DUMONT und J.M. FOLZ (1972) - Bergingenieure aus Rouen - sprechen in ihrer Veröffentlichung jüngeren Datums die Schwierigkeiten und Unsicherheiten deutlich an, die Schätzungen der wirtschaftlichen Bedeutung von Luftverunreinigungen entgegenstehen. Sie vertreten sogar die Ansicht, daß eine Zusammenstellung der globalen Kosten durch Luftverunreinigungen "absurd" wäre. Sie verzichteten daher auf Schätzungen des "nationalen Verlustes" oder des "Verlustes pro Einwohner" durch Luftverunreinigungen.

DUMONT und FOLZ führen viele statistische Angaben über Schädigungen der menschlichen Gesundheit, der Fauna, der Flora und von Materialien an, die mit der Luftverunreinigung in Beziehung stehen bzw. stehen können. Sie enthalten sich jedoch - gemäß ihrer kritischen Einstellung zu übergreifenden Schätzungen - fast stets der quantitativen Angabe über die Schadensanteile, die auf Luftschadstoffe zurückzuführen sind. Quantitative Kostenangaben finden sich praktisch nur bei den Entschädigungsleistungen durch Industriebetriebe. In der Anlage 3 ist der Inhalt sämtlicher Tabellen aus der Veröffent-

lichung angegeben, da diese als wesentliche Unterlagen der Arbeit anzusehen sind.

Einen breiten Raum nehmen die Ausführungen über die Kosten der Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit ein (vgl. Anlage 3). Die Schwierigkeiten von Erhebungen auf diesem Gebiet werden ausführlich geschildert und dann auch darauf hingewiesen, daß es in Frankreich keine Kosten-Statistik gibt, die nach Art der Krankheiten aufgegliedert ist. Kosten für Krankheiten, die durch Luftverunreinigungen verursacht oder verschlimmert werden können, sind daher nur indirekt zu ermitteln.

Als Krankheiten, die in einer Beziehung zur Luftverunreinigung stehen können, werden die Tuberkulose des Atemsystems, Krebs der Atemwege, Grippe, Pneumonie, Bronchopneumonie, Bronchitis und andere Erkrankungen der Atemwege angesehen. Sie hatten im Jahre 1969 in Frankreich einen Anteil von 11,9 % an den Todesursachen (bei Männern 14,4 % bei Frauen 9,2 %). Dieser Anteil schwankte von 1958 bis 1969 nur zwischen 9,2 und 12 %. Die Sterblichkeit durch Krebserkrankungen des Atemsystems nahm in diesem Zeitraum zu.

Über die Häufigkeit von Erkrankungen an den "suspekten" Krankheiten sind nur beschränkte statistische Unterlagen vorhanden. Sie beziehen sich in erster Linie auf Krankenhausfälle und damit auf die schwereren Erkrankungen. In 10,4 % aller Entlassungen aus 110 Krankenhäusern (einschließlich Todesfällen) lautete die Diagnose auf Krankheiten des Atemtraktes. Dieser Prozentsatz entspricht etwa dem Anteil dieser Krankheiten an den Todesursachen. Bei ärztlichen Konsultationen betrug der Anteil der "suspekten" Krankheiten im Jahre 1968 13,8 %.

Nach den Statistiken der Sozialversicherung in Frankreich sind die langdauernden Erkrankungen des Atemsystems von 1963 bis 1967 in ihrer absoluten Zahl recht konstant geblieben,

haben aber im relativen Anteil zu allen Krankenfällen von 22,8 auf 14,6 % abgenommen. Invaliditätsfälle wurden 1967 zu 12,6 % durch Atemwegserkrankungen verursacht. Auf diese "suspekten" Krankheiten entfielen etwa 14 % der ärztlichen Diagnosen und 10 % der Krankenhauseinweisungen. Die Morbiditätsstatistik für eine begrenzte Bevölkerungsgruppe in der Zeit von November 1965 bis Mai 1966 zeigt sogar einen Anteil von 19 % für die respiratorischen Erkrankungen.

Bei einer halbjährigen Untersuchung über gesundheitsbedingte Arbeitsunterbrechungen waren 46 % der Krankmeldungen auf Atemwegserkrankungen zurückzuführen.

Die Gesamtkosten für die ärztliche Versorgung in Frankreich im Jahre 1967 werden mit über 30 Milliarden Franc und damit etwa 5,6 % des Bruttosozialproduktes angegeben.

Der Arzneimittelverbrauch, der auf "suspekte" Krankheiten zurückzuführen ist, ist mit etwa 26 % des Gesamtverbrauchs beachtlich hoch.

Den Anteil der Atemwegserkrankungen an den gesamten Krankenkosten schätzen DUMONT und FOLZ abschließend auf 15 bis 20 %. Den Autoren erscheint es aber nicht möglich, einen zufriedenstellenden Wert über die Verantwortlichkeit der Luftverunreinigung an den "suspekten" Krankheiten zu benennen.

In bezug auf die Schädigung der Vegetation führen DUMONT und FOLZ die Auswirkungen von schwefelhaltigen und fluorhaltigen Luftverunreinigungen an, die in der Umgebung bestimmter Werksanlagen auftreten. In diesen Fällen werden von der Industrie den Grundstücksbesitzern auf gutlichem Wege Entschädigungen geleistet.

Im Gebiet von Lacq, wo täglich 300 bis 400 Tonnen Schwefeldioxid durch 100 m hohe Kamine emittiert werden, werden insbesondere Futtermittel-, Wein- und Tabak-Anbau betroffen. Der

relative Schaden an den Nutzpflanzen wurde meist mit etwa 30 % angenommen. Seitens der Industrie in Lacq wurden folgende Entschädigungen gezahlt:

1961:	960.000 Franc
1962 - 1964:	etwa 200.000 Franc pro Jahr
1965 - 1971:	zwischen 300.000 und 500.000 Franc pro Jahr

Als derzeitige jährliche Kosten für Entschädigungen und Verhinderungsmaßnahmen werden angegeben:

Entschädigungen (im Mittel)	500.000 F
Kostenanteil für meteorologischen Dienst	200.000 F
Verschiedene Überwachungsmaßnahmen (Messungen, Schadensfeststellungen)	800.000 F

Der sich ergebenden Summe von 1,5 Millionen Franc werden Investitionen von 120 bis 150 Millionen Franc gegenübergestellt, die für eine vollständige Reinigung der Abgase erforderlich sind. Auch ohne Zurechnung von Betriebskosten können diese Investitionen erst zum Ende des Jahrhunderts - und damit nach Erschöpfung der Rohstoffquellen im Raum Lacq - amortisiert werden.

Für Pflanzenschäden durch fluorhaltige Luftverunreinigungen zahlte der größte französische Aluminium-Produzent (350 000 jato) im Jahre 1970 Entschädigungen in Höhe von 2 Millionen Franc, davon allein drei Viertel im Raum der Hütte von Saint-Jean-de-Maurienne. Die Zahlungen dieser Hütte setzten sich folgendermaßen zusammen:

Entschädigungen für Schäden an Obstbäumen	300.000 F
Entschädigungen für Forstschäden	100.000 F
Entschädigungen für Beeinträchtigungen des Viehs	700.000 F
Übertrag:	<u>1.100.000 F</u>

Übertrag:	1.100.000 F
Entschädigungen für Beeinträchtigungen von Bienen	70.000 F
Verwaltungskosten (Kontrollpersonal, technische Beratungen etc.)	380.000 F
	<hr/>
	1.550.000 F

In der Gemeinde Maurienne wurden in den 4 Jahren von 1966 bis 1969 für Schäden in 222 Hektar Wald folgende Entschädigungen geleistet:

Verluste an Handelswert	28.856 F
Zuwachsverluste	26.369 F
Kosten für Bodenbehandlung	1.639 F
	<hr/>
	56.864 F

Pro Hektar Wald und Jahr betragen die Entschädigungskosten somit 64 Franc.

Für Pflanzenschäden im nationalen Maßstab liegen aus Frankreich keine Informationen vor.

Als Schäden an Nutztieren führen DUMONT und FOLZ die Auswirkung von Fluoriden auf Rinder (Erkrankung an Fluorose nach Fressen verunreinigten Weidefutters) und auf Bienen an. Quantitative Angaben hierzu für die Umgebung einer Aluminiumhütte wurden bereits oben gebracht.

In bezug auf Schädigungen von Sachgütern lehnen DUMONT und FOLZ Schätzungen desjenigen Anteils von Kosten für Waschen und Reinigen - sei es bei Kleidung, Gebäuden oder Kraftwagen - ab, der der Luftverunreinigung zuzuschreiben ist. Sie bezeichnen es auch als recht schwierig, den Anteil der Luftverunreinigung

an der Wertminderung von Gebäuden zu bewerten. Sie benennen daher nur folgende Gesamtsummen von Kosten im Jahre 1968, bei denen eine Beteiligung der Luftverunreinigung als Ursache anzunehmen ist:

1. Arbeiten zur Bauerhaltung seitens Unternehmen des Bauwesens und Öffentlicher Arbeiten unter dem Titel "Ausbesserungen, Putzarbeiten, Steinarbeiten, historische Monumente":

200.240.000 Franc

2. Bedachungen und Verzinkungen:

752.428.000 Franc

3. Anstriche, Tapeten, Wand- und Mauerverkleidungen (wie 1. und 2. seitens Unternehmen des Bauwesens und Öffentlicher Arbeiten):

1.932.036.000 Franc

11.1.1.3 Bundesrepublik Deutschland

Ein umfassender Bericht über die Kosten von Schäden durch Luftverunreinigungen in der Bundesrepublik Deutschland liegt nicht vor. H. STEPHANY (1968), der damalige Vorsitzende der Kommission "Reinhaltung der Luft" beim Verein Deutscher Ingenieure gibt in einem Vortrag lediglich die im Beaver-Report [49] zusammengestellten Kosten an und stellt fest, daß Schätzwerte aus der Bundesrepublik von materiellen Schäden durch Luftverunreinigungen und von ihren Kosten nicht bekannt geworden sind. Auch im "Materialienband zum Umweltprogramm der Bundesregierung" [12] sind keine Angaben über deutsche Untersuchungen der wirtschaftlichen Schäden durch Luftverunreinigungen enthalten. Es werden dort groß angelegte Studien in Großbritannien und in den USA angesprochen, nach denen die Schäden durch Luftverschmutzung in den modernen Industriestaaten zwischen 50 und 100 DM pro Einwohner und Jahr betragen. Das würde für die Bundesrepublik Deutschland eine jährliche Schadenssumme zwischen 3 und 6 Millionen DM nur für die reinen materiellen Schäden bedeuten (ohne Berücksichtigung von Gesundheitsschäden, verminderte

Lebenserwartung, Zeitverluste durch Arbeitsunfähigkeit und Störung des Wohlbefindens). Diese Schadenssumme wird als höher bezeichnet als die Aufwendungen für die Luftreinhaltung.

11.1.1.4 Italien

Einen Bericht über die ökonomischen Auswirkungen der Luftverunreinigung in Italien verfaßte L. MAMMARELLA im Jahre 1970. Dort werden nach einer Darstellung bisheriger Studien in verschiedenen Ländern, insbesondere des Beaver-Reports (vgl. Abschnitt 11.1.1.1.1), für Italien folgende Schätzungen der Schäden durch Luftverunreinigungen im Jahr 1968 angegeben:

Direkte Kosten	Mia.Lire pro Jahr
Schäden im Bereich der menschlichen Gesundheit	60
Verfall von Gebäuden, Kunstwerken etc.	70
Verfall von Lacken und Farben, Wanddekorationen etc., Bildwerken, Kunstgemälden etc.	50
Schäden an verschiedenen Materialien (Textilien, Plastik, Gummi, Papier, Leder etc.)	30
Korrosion von Metallen und Metallkonstruktionen etc.	30
Waschkosten	<u>20</u>
Summe:	260
Indirekte Kosten	
Schäden an land- und forstwirtschaftlichem Vermögen	5
Verluste der Arbeitseffektivität (Krankengelder, Arbeitsausfall, Zeitverlängerung zum Erreichen des Arbeitsplatzes etc.)	20
Wirksamkeitsverluste auf anderen Gebieten (höherer Stromverbrauch, überhöhte Heizkosten infolge Betriebsstörungen, Rückgang des Tourismus etc.)	50
Verschiedene Verluste	<u>15</u>
Summe:	90
Gesamtsumme	<u>=====</u> 350 <u>=====</u>

MAMMARELLA hielt sich weitgehend an die Kategorien des Beaver-Reports, fügte jedoch die Bereiche "menschliche Gesundheit" und "Kunstwerke" hinzu.

Die pro Einwohner durch Luftverunreinigungen entstehenden jährlichen Kosten werden für das Gebiet von Mailand auf 20.000, für Turin und Bologna auf etwa 16.000, für Genua auf 6.000, für Rom auf 5.000 und für Neapel auf 2.000 Lire geschätzt. Vier Fünftel der globalen Schadenssummen werden häuslichen Heizungsanlagen und dem Kraftverkehr zugeordnet.

Die Arbeit von MAMMARELLA ging in einen in Buchform erschienenen Bericht der Ente Nazionale Idrocarburi (ENI) ein [60], der zur Konferenz der Vereinten Nationen über die Umwelt des Menschen im Juni 1972 in Stockholm (vgl. S. 62) erschien. Dieser Bericht enthält folgenden Vergleich der Erhebungen aus Italien mit Angaben aus anderen Staaten über Schäden durch Luftverunreinigungen:

Staat	Schaden in Mio. \$ pro Jahr	Bezugsjahr und Literaturhinweis
Italien	560	1968 MAMMARELLA
Großbritannien	690 - 750	1953 BEAVER (vgl. S. 33, ff.)
	915	1964 Europarat (vgl. S. 62/63)
Frankreich	560	" " "
Schweden	95	" " "
USA	5.500	1963 RIDKER

11.1.1.5 Vereinigte Staaten von Amerika

In den USA wurden im Laufe von Jahrzehnten verschiedene zusammenfassende Berichte über Kosten von Schäden durch Luftverunreinigungen veröffentlicht. In bezug auf die beurteilten Gebiete, die geschädigten Objekte und die verursachenden Substanzen sowie in Umfang und Informationsgehalt weisen diese Veröffentlichungen zum Teil große Unterschiede auf. Frühere Arbeiten - bis 1953 erschienen - wurden bei der Abfassung des Beaver-Reports mitberücksichtigt und somit auch schon im Abschnitt 11.1.1.1.1 (Seite 33 - 44) angeführt. Es ist daher sinnvoll, die folgenden Ausführungen auf einen erst im Februar 1973 erschienenen zusammenfassenden Bericht von L.B. BARRETT und T.E. WADDELL [57] zu konzentrieren. Dieser von der amerikanischen Umweltschutzbehörde (Environmental Protection Agency) herausgegebene "Status Report" sollte

1. einen Überblick über die bisherigen Schätzungen der durch Luftverunreinigungen induzierten Kosten geben und
2. eine Schätzung der jährlichen nationalen Kosten für Schäden durch Luftverunreinigungen auf der Basis von Punkt 1 entwickeln.

Wegen der Bedeutung dieses Berichtes für das hier behandelte Thema werden in der Anlage 4 das Inhaltsverzeichnis und ein Verzeichnis der Tabellen in deutscher Übersetzung wiedergegeben. Die Quintessenz des Berichtes, die nach Schadstoffen und nach Quellen aufgegliederten Schätzungen der Kosten für Schäden durch Luftverunreinigungen in den USA im Jahre 1968, ist in den Tabellen 17 und 18 wiedergegeben.

In bezug auf die Wirkung von Luftverunreinigungen auf den Menschen werden in dem Bericht von BARRETT und WADDELL insbesondere die Arbeiten von RIDKER [52] und von LAVE und SESKIN (1970) referiert, auf die hier in den Abschnitten 10 (Seite 30) und 11.1.2 (Seite 64) eingegangen wird.

Bei ihrer Schätzung der Gesamtkosten in den USA für Gesundheitsschäden durch Luftverunreinigungen im Jahre 1968 (siehe Tabelle 17 und 18) gehen BARRETT und WADDELL von der Berechnung aus, die LAVE und SASKIN für das Jahr 1963 anstellten (siehe Abschnitt 11.1.2). Diese Autoren schätzten die jährliche Einsparung von Kosten für das Gesundheitswesen im Falle einer 50%igen Reduzierung der Luftverunreinigung auf 2,08 Milliarden Dollar. Aus dieser Zahl folgern BARRETT und WADDELL auf Kosteneinsparungen von 4,16 Milliarden \$ bei 100%iger Reduzierung der Luftverunreinigung. Dieser dann als Verlustsumme für 1963 angesetzte Betrag entspricht 0,7 % des Bruttosozialproduktes dieses Jahres (590,5 Milliarden \$). Mit dem gleichen Prozentsatz vom Bruttosozialprodukt des Jahres 1968 (865,7 Milliarden \$) werden die Gesamtkosten der Auswirkung der Luftverunreinigung auf die Gesundheit für dieses Jahr mit 6,06 Milliarden Dollar berechnet.

Im Kapitel über die Wirkung von Luftverunreinigungen auf Materialien und die dadurch verursachten Kosten werden mehrere amerikanische Berichte angeführt, deren Originale überwiegend nicht allgemein zugänglich sind und die deshalb auch im Literaturverzeichnis am Schluß des eigenen Berichtes nicht aufgeführt werden. Sie werden im folgenden kurz abgehandelt.

H.H. UHLIG (1950) veranschlagte die Gesamtkosten der Korrosion von Metallen in den USA mit 5,4 Milliarden \$. Dabei wird jedoch die Luftverunreinigung nur als einer der die Korrosion verursachenden Faktoren angesehen. Auf der Basis der Untersuchungen von UHLIG schätzte die RUST-OLEUM CORPORATION die Schäden durch Rost für das Jahr 1958 auf 7,5 Milliarden \$. Die dominierende Rolle als Schadstoff wird dabei dem Schwefeldioxid zugeschrieben.

Die HUDSON PAINTING AND DECORATING COMPANY schätzte die durch Luftverunreinigungen im Jahre 1963 verursachten Schäden an Farben

auf 150 Millionen \$. Diese Angabe erscheint BARRETT und WADDELL wegen spekulativer Annahmen als fragwürdig. Speziell mit der Beeinflussung elektrischer Kontakte befaßte sich eine Studie des STANFORD RESEARCH INSTITUTES. Die jährlichen Kosten werden zu 65 Millionen \$ - und damit niedriger als erwartet - berechnet. Die Kosten für Korrosionen an galvanisiertem Stahl schätzt F.H. HAYNIE auf 1,4 bis 13 Milliarden \$ pro Jahr. Den unteren Wert halten BARRETT und WADDELL als am meisten vertretbar. Diese beiden Autoren des Status Reports halten die Basis eines Berichtes der BATTELLE COLUMBUS LABORATORIEN für unsicher, der die durch Luftverunreinigungen an Gummi verursachten Schäden mit 400 Millionen \$ beziffert. Nach vorläufigen Schätzungen von W.S. SALVIN stellen sich die Kosten für Ausbleichungen von Farbstoffen in Textilien auf 206 Millionen pro Jahr. Nach einer weiteren vorläufigen Prognose von SALVIN beträgt der jährliche Verlust durch Schäden der Luftverunreinigung an Textilien und Fasern etwa 2 Millionen Dollar. Darin sind 300 bis 400 Millionen \$ für verkürzte Lebensdauer, 800 Millionen für zusätzliche Wasch- und Reinigungskosten und 350 Millionen für das Ausbleichen von Geweben enthalten. Der Rest wird der Verfärbung weißer Gewebe zugeordnet.

Der umfangreichste Überblick über die ökonomischen Auswirkungen der Luftverunreinigung auf Sachgüter wurde von R. SALMON vom MIDWEST RESEARCH INSTITUT gegeben. Der im Januar 1970 an das U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Public Health Service, National Air Pollution Control Administration erstattete Bericht (Contract No. CPA - 22 - 69 - 113) ist die wesentliche Grundlage für die bundesweiten Kostenschätzungen von BARRETT und WADDELL.

Der ökonomische Wert der den Luftverunreinigungen ausgesetzten Materialien wurde von SALMON aus folgendem Produkt berechnet: Jährliches Produktionsvolumen in Dollar x gewichtetes Mittel der ökonomischen Lebensdauer des Produktes x gewichteter mittlerer Faktor für den prozentualen Anteil des Materials, der Luftverunreinigung ausgesetzt ist. Der Gebrauchswert des Materials wurde

mittels eines Faktors ermittelt. Die Rate des ökonomischen Verlustes wurde aus dem Produkt des ökonomischen Wertes des der Luftverunreinigung ausgesetzten Materials und eines "Abnutzungswertes" berechnet. Der letztere Wert ergibt sich aus der Differenz der Materialabnutzung in verunreinigter und in nicht verunreinigter Atmosphäre. Der "Abnutzungswert" wird als Verlust in Dollar pro Jahr angegeben (siehe Tabelle 19). Aus dem Gesamtwert der der atmosphärischen Luftverunreinigung ausgesetzten Materialien und den "Abnutzungswerten" wurde ein "Schadensfaktor" gebildet, welcher das Ausmaß des ökonomischen Schadens durch Luftverunreinigungen repräsentiert. Diese "Schadensfaktoren" sind in Tabelle 19 für 53 Materialien zusammengestellt.

Die Untersuchungen von SALMON sollten weniger aktuelle, absolute Werte als die relative Bedeutung von Materialverlusten ermitteln. Trotzdem erscheint die Schadenssumme von 3,8 Milliarden Dollar für das Jahr 1968 den Autoren des Status Report als eine begründete Schätzung. Die Liste der bewerteten 53 Materialien (vgl. Tabelle 19) erfaßt nur etwa 40 % des Wertes aller Sachgüter, die der Luftverunreinigung ausgesetzt sind. Wenn für die restlichen 60 % der Materialien gleiche Verhältnisse angesetzt werden, ergibt sich ein Gesamtverlust durch chemische Angriffe von Luftverunreinigungen auf Materialien in Höhe von 9,5 Milliarden \$ pro Jahr. Dabei sind nur direkte Kosten angesprochen, nicht jedoch die Kosten für Wartungsdienste.

Als bedeutendste Schadstoffgruppe werden die Schwefeloxide benannt, welche Metalle, Baumwolle, Appreturen, Beschichtungen, Bausteine, Farben, Papier und Leder angreifen.

Zur Berechnung der Gesamtkosten für Materialschäden durch Luftverunreinigungen in den USA im Jahre 1968 ziehen BARRETT und WADDELL von der in Tabelle 19 wiedergegebenen Summe von 3,8 Milliarden \$ zunächst die für Schäden an Zink, an synthetischem und natürlichem Gummi, an Gußeisen und Stahlegierungen aufgeführten Beträge zur Vermeidung von Doppel-

berechnungen ab. Zu der verbleibenden Summe von 2,766 Milliarden Dollar zählen sie 1,400 für Korrosionen an galvanisiertem Stahl (gemäß HAYNIE), 0,380 für Wirkungen auf Elastomere (gemäß BATTELLE) und 0,206 Milliarden \$ für die Bleichung von Farbstoffen (gemäß SALVIN) hinzu und kommen so auf eine Gesamtsumme von 4,752 Milliarden \$ (siehe Tabellen 17 und 18).

Die Gesamtschäden an der Vegetation durch Luftverunreinigungen in den USA im Jahre 1968 veranschlagen BARRETT und WADDELL auf 120 Millionen Dollar (vgl. Tabellen 17 und 18). Sie beziehen sich dabei auf einen Bericht von N.L. LACASSE, T.C. WEIDENSAUL und J.W. CARROLL über Untersuchungen in Pennsylvania und auf eine bundesweite Übersicht des STANFORD RESEARCH INSTITUTES. In der Schadenssumme sind nur die Verluste durch sichtbare direkte Auswirkungen der wichtigsten Fremdstoffe auf die Ernten beim Feldfruchtbau, beim Gartenbau und bei der Forstwirtschaft einbegriffen.

In Pennsylvania wurden die jährlichen wirtschaftlichen Verluste auf 11 Millionen \$ veranschlagt. Davon entfielen 3,5 Millionen auf direkte Schäden, 7 Millionen auf Einkommenseinbußen und 0,5 Millionen \$ auf Wiederaufforstungen. Für die Schäden wird folgende Reihenfolge der "verantwortlichen" Substanzen aufgestellt Oxydantien, Schwefeloxide, Blei, Chlorwasserstoff, Stäube, Herbizide und Äthylen.

Die umfassende Studie des STANFORD RESEARCH INSTITUTES steckt noch im Anfangsstadium. Vorläufige Schätzungen deuten auf jährliche bundesweite Verluste durch direkte Einwirkungen in Höhe von 70 Millionen \$. Davon werden 64 den Kohlenwasserstoffen, 4 dem Schwefeldioxid und 2 Millionen den Fluoriden zugeschrieben. Da diese Schadstoffe nur für etwa 40 % der Pflanzenschäden verantwortlich gemacht werden können, erreicht der direkte Schaden an ausgewählten Ernten etwa 80 Millionen \$.

BARRETT und WADDELL verzichten in ihrem Bericht auf Schätzungen der Kosten, die durch die Verschmutzung der Luft entstehen. Gerade diese Kosten werden in anderen Berichten, zum Beispiel im Beaver-Report (Abschnitt 11.1.1.1.1, Seite 33), relativ hoch bewertet. BARRETT und WADDELL nehmen zwar jährliche Kosten von Millionen Dollar für zusätzliches Waschen und Reinigen in verschiedenen Bereichen an, geben jedoch wegen des Mangels an Daten keine quantitativen Schätzwerte an. Sie kritisieren zum Beispiel, daß sich die meisten Erhebungen über die Kosten der Verstaubung der Luft auf Haushaltungen beschränken.

Unter den zitierten Arbeiten seien Untersuchungen von I. MICHELSON und B. TOURIN (1966, sowie andere, nicht greifbare Stellen) und von der BOOZ-ALLEN AND HAMILTON, INC., erwähnt. Erstgenannte Autoren stellten z.B. beim Vergleich zweier unterschiedlich staubbelasteter Städte (Jahresmittelwerte 115 und 235 μg Staub/ m^3 Luft) fest, daß in der stärker verschmutzten Stadt pro Einwohner und Jahr 85 \$ mehr für Reinigungsarbeiten ausgegeben wurden. Bei der Studie der BOOZ-ALLEN AND HAMILTON, INC., zeigen vorläufige Ergebnisse, daß die mittlere jährliche Staubkonzentration in keinem statistisch signifikanten Zusammenhang mit Reinigungs- und Wartungskosten bei über 1,5 Millionen Haushalten in diesem Gebiet steht. Zwar scheinen die mit niedrigen Kosten verbundenen Reinigungsoperationen mit dem Staubgehalt der Luft in Beziehung zu stehen, nicht jedoch die bedeutenderen, kostspieligen Arbeiten.

In bezug auf die Schädigung von Tieren existieren keine ökonomischen Schätzwerte. Der Bericht von BARRETT und WADDELL enthält hierzu nur allgemeine Angaben über die Auswirkungen der Luftverunreinigung durch Fluoride, durch Blei und andere Metalle sowie durch Pestizide.

Als Maß für die Auswirkungen der Luftverunreinigung auf ästhetische Empfindungen bezeichnen BARRETT und WADDELL insbesondere die Bereitschaft der Bevölkerung zu finanziellen Leistungen für die Luftreinhaltung. In ihrem Bericht führen die Autoren

beispielhafte Untersuchungen, jedoch keine quantitativen Kostenschätzungen an.

Den Wertverlust von Grundstücken infolge Luftverunreinigungen leiten BARRETT und WADDELL aus den Ergebnissen von 4 Untersuchungsprogrammen ab. Sie kommen dabei auf einen jährlichen Betrag von 5,2 Milliarden \$ (vgl. Tabellen 17 und 18).

In allen diesen 4 Studien wurden "Sulfat-Werte"*) als Kriterium für die Luftverunreinigung herangezogen (nur bei einer Studie dient der Staubgehalt der Luft als zusätzliches Kriterium). Die in insgesamt 5 großstädtischen Gebieten (St. Louis, Washington, D.C., Kansas City, Toronto, Delaware-Tal) durchgeführten Untersuchungen zeigten eine bemerkenswert gute Übereinstimmung der Ergebnisse. Die Sulfat-Werte standen in einem umgekehrten Verhältnis zum mittleren Grundstückswert. Die Wertabnahme von standardisierten Grundstücken pro $0,1 \text{ mg SO}_3/100 \text{ cm}^2$ Tag wurde im Bereich von 100 bis 300 \$ ermittelt.

Die oben benannte Kostenschätzung von 5,2 Milliarden \$ (vgl. Tabellen 17 und 18) basiert auf einer mittleren Werteinbuße

*) Durch "Sulfat-Werte" werden die pro Fläche aufgenommenen Schwefeloxide charakterisiert. In den USA und in Großbritannien verwendet man zur Messung der Sulfat-Werte "Bleidioxid-Kerzen": Eine Bleidioxid-Paste wird auf ein Baumwollgewebe aufgebracht, welches an einer Porzellan- oder Kunststoff-"Kerze" befestigt wird. Diese Kerze wird gewöhnlich in einem Schutzgehäuse 1 Monat lang exponiert. Die von der Paste aus der atmosphärischen Luft aufgenommenen Schwefeloxide werden als mg SO_3 pro Tag und 100 cm^2 Auffangfläche angegeben.

Eine ähnliche deutsche Methode ist das "Glocken-Verfahren" nach W. LIESEGANG. Wegen näherer Angaben zu diesen Analyseverfahren sei auf 22, Seite 1358/13617 hingewiesen.

der Grundstücke von 200 \$ pro Anstieg der Sulfatwerte um $0,1 \text{ mg SO}_3/100 \text{ cm}^2$. Tag, auf einer Grundbelastung in ländlichen und vorstädtischen Gebieten von $0,1 \text{ mg SO}_3/100 \text{ cm}^2$. Tag, auf Meßergebnissen der Sulfat-Werte in städtischen Gebieten und auf der Zahl der Haushalte vom Stand des 1. Januar 1969.

Als eine Möglichkeit zur Ermittlung der Kosten von Schäden durch Luftverunreinigungen sprechen BARRETT und WADDELL eine Auswertung von Gerichtsurteilen an. Quantitative Angaben werden hierzu nicht gemacht.

Die Zuordnung der durch Luftverunreinigungen verursachten Kosten auf einzelne Substanzgruppen (siehe Tabelle 17) und auf Emissionsquellen (Tabelle 18) basiert auf globalen Schätzungen der Emissionen in den USA im Jahre 1968. Diese Emissionsstatistik ist als Tabelle 20 wiedergegeben. So gehen BARRETT und WADDELL zum Beispiel bei der Aufteilung der 6,06 Milliarden \$ für Gesundheitsschäden davon aus, daß diese nur durch Staub und Schwefeloxide und im Verhältnis ihrer Emissionsmengen verursacht wurden. Da Schwefeloxide 54 % der Emissionssumme Staub + Schwefeloxide ausmachen, wurden ihnen auch 54 % der Kosten für Gesundheitsschäden zugeschrieben.

In einer abschließenden Diskussion in ihrem Bericht vertreten BARRETT und WADDELL ihre Meinung, daß die Schätzung eines Schadens durch Luftverunreinigungen in den USA im Jahre 1968 in Höhe von 16,1 Milliarden Dollar "konservativ und vertretbar" ist. Sie weisen darauf hin, daß einige Kostenfaktoren nicht oder nur ungenügend in die Gesamtbilanz eingingen.

11.1.1.6 Internationale Organisationen

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) veröffentlichte 1961 eine "Monographie" über die Luftverunreinigung [247], in der auch ein von E. LECLERC (Lüttich) verfaßtes Kapitel "Wirtschaftliche und soziale Seiten" enthalten ist. Nach allgemeinen Ausführungen zu diesem Problem werden die Ergebnisse einiger einschlägiger Untersuchungen aus den USA, aus Großbritannien und aus Frankreich wiedergegeben, die bis in die 50er Jahre veröffentlicht wurden. (Erstaunlicherweise wird der Beaver-Report nicht erwähnt.) Das angeführte Datenmaterial floß in der Mehrzahl in neuere Berichte ein, die in vor- oder nachstehenden Abschnitten hier abgehandelt werden.

Die Vereinten Nationen (UN) veranstalteten im Juni 1972 in Stockholm eine Umweltschutz-Konferenz. Nach den Tagungsunterlagen [547] wurde dort das Problem der ökonomischen Konsequenzen der Luftverunreinigung nicht behandelt.

Auf einer Sitzung der Wirtschaftskommission für Europa (ECE) im Februar 1972 in Genf wurden ökonomische Gesichtspunkte der Luftverunreinigung behandelt. Die dort vorgelegten Berichte betrafen allgemeine Fragen hierzu und methodische Probleme für die Durchführung von Ermittlungen. Quantitative Angaben über die Höhe von Schäden durch Luftverunreinigungen liegen von dieser Sitzung nicht vor.

Der Europarat hielt vom 24. Juni bis 1. Juli 1964 in Straßburg eine Konferenz über die Luftverunreinigung ab. Unter den veröffentlichten Generalberichten ist eine Arbeit über die ökonomischen Aspekte der Luftverunreinigung (Autor: Professor LECLERC, Lüttich). Dieser Generalbericht basiert auf nationalen Berichten aus Frankreich, der Bundesrepublik Deutschland, Norwegen, Schweden, der Schweiz und dem Vereinigten Königreich von Großbritannien. Er enthält kurze Angaben sowohl über die Kosten der Luftverunreinigung als auch über die Kosten der Luftreinhaltung. Für die

erstgenannte Kategorie werden folgende Kosten - jeweils in belgischen Franc - aufgeführt:

I Entwertung von Gebäuden (Farben, Dekoration, Reinigung)

Großbritannien: Mindestens etwa 180 bfr. pro Jahr und Einwohner

Frankreich: Reinigung, Unterhalt von Anstrichen, Bedachungen: 500 bfr. pro Jahr und Einwohner in der Stadt Paris

II Korrosion

Schweden: Korrosion und Korrosionsschutz etwa 1.300 bfr. pro Jahr und Einwohner, davon 400 bfr. für Schäden an Kraftwagen (Angaben über den Anteil der Luftverunreinigung an den Schäden fehlen)

Großbritannien: Metallkorrosion: 90 bfr. pro Jahr und Einwohner

III Reinigung von Wäsche und Bekleidung

Großbritannien: Etwa 90 bfr. pro Jahr und Einwohner

IV Schäden an Handelsgütern

Großbritannien: Etwa 180 bfr. pro Jahr und Einwohner (besonders Schäden an Textilien)

Die Schätzungen aus Großbritannien basieren offensichtlich auf dem BEAVER-Report (Abschnitt 11.1.1.1.1, Seite 33).

11.1.2 Kosten für Gesundheitsschäden

Die für Gesundheitsschäden entstehenden Kosten zählen zu den bedeutendsten, nicht nur ökonomisch zu wertenden Auswirkungen der Luftverunreinigung. Bei der Behandlung der "umfassenden Berichte" im Abschnitt 11.1.1 wurde bereits wiederholt auf Schädigungen der Gesundheit und deren Kosten hingewiesen, insbesondere bei den Berichten aus Frankreich (11.1.1.2, Seite 45) und aus den USA (11.1.1.5, Seite 54). Diese Kosten werden üblicherweise in 2 Schritten abgeschätzt:

1. Ermittlung der Kosten für Krankheiten, die in einer Beziehung zur Luftverunreinigung stehen.
2. Schätzung des Kostenanteils, der der Luftverunreinigung zuzuordnen ist.

Der 2. Schritt ist der unsicherere Teil des Schätzverfahrens. DUMONT und FOLZ (1972; Abschnitt 11.1.1.2) verzichteten daher auf ihn.

R.G. RIDKER [527] schätzt die gesamten Kosten für Krankheiten, die einen Zusammenhang mit Luftverunreinigungen haben, für die USA im Jahr 1958 auf annähernd 2 Milliarden Dollar. Der Luftverunreinigung als Ursache für diese Kosten schreibt er einen Anteil von 360 bis 400 Millionen \$ (18 - 20 % der Gesamtsumme) zu. Tabelle 21 gibt die Zusammensetzung der Gesamtsumme nach Art der Krankheit und der Kosten wieder.

Die wohl umfangreichste Arbeit speziell über die Kosten der den Luftverunreinigungen zugeschriebenen Schädigungen der menschlichen Gesundheit wurde von L.B. LAVE und E.P. SESKIN (1970) veröffentlicht.

LAVE (Professor für Wirtschaftswissenschaften) und SESKIN (Graduierter Student, beide am Fortbildungsinstitut für industrielle Verwaltung der Carnegie-Mellon-Universität in Pittsburgh, Pennsylvania) geben zunächst einen Überblick über die Literatur (fast

ausschließlich aus den Vereinigten Staaten von Amerika und aus Großbritannien) betrifft Untersuchungen, die sich mit den Beziehungen zwischen Morbidität und Mortalität und Luftverunreinigungen befassen. Die Verfasser bekennen sich zu dem Standpunkt, daß die Beziehungen als erwiesen anzusehen sind. Dabei ist die Wahrscheinlichkeit der Verursachung von Bronchitis und von Lungenkrebs durch Luftverunreinigungen größer als die von Herzkrankheiten und allgemeinen Krebserkrankungen.

In ihren Ausführungen weisen LAVE und SESKIN auf die Unsicherheiten hin, denen Schätzungen der quantitativen Wirkungen von Luftverunreinigungen auf die menschliche Gesundheit und der quantitativen Kosten unterliegen. Sie erwähnen auch Untersuchungen, bei denen keine signifikanten Beziehungen zwischen Luftverunreinigungen und Beeinflussungen der Gesundheit ermittelt wurden. Sie vermuten auch, daß solche "negativen" Ergebnisse nicht immer veröffentlicht werden.

Bei vielen Studien wurde nur ein Schadstoff in der Luft gemessen. Es ist daher schwierig, die auf die Gesundheit am stärksten wirksamen Substanzen zu isolieren.

Die Auswertungen von LAVE und SASKIN richten sich vorwiegend auf Langzeitwirkungen von Luftverunreinigungen. Das Interesse richtete sich mehr auf die Ursache von Erkrankungen als auf Faktoren, die unmittelbar zum Tode führten. Daher waren Daten der Morbidität nützlicher als die der Mortalität.

Die der Luftverunreinigung zugeordneten Kosten basieren auf Schätzungen der Krankheitskosten von D.P. RICE (1966). Ein von RICE angegebener Posten "Andere direkte Kosten" blieb wegen mangelnder Spezifizierung unberücksichtigt. LAVE und SESKIN stellen daher dahin, daß ihre Schätzungen der direkten Kosten (für Krankenhaus, häusliche Betreuung, ärztliche Behandlungen u.a.) zu niedrig liegen, möglicherweise um mehr als 50 %.

Zur Schätzung der indirekten Kosten wurde versucht, die der Volkswirtschaft durch Krankheit, Unpäßlichkeiten und vorzeitigen Tod entstehenden Verluste zu benennen, und zwar aufgrund der eingetretenen Verdienstauffälle. Schon einleitend hatten die Autoren die Vermutung ausgesprochen, daß der größere Nutzen der Luftreinhaltung in einer Erhöhung der "Lebensqualität" gegenüber anderen, leichter meßbaren Kategorien zu finden ist.

Aus den von ihnen zitierten Veröffentlichungen berechnen LAVE und SESKIN schließlich nach dem Stand des Jahres 1963 die "Gesundheitskosten der Luftverunreinigung". Sie geben dabei jeweils an, welche Kosten bei einer 50%igen Erniedrigung der Luftverunreinigung in den größeren Stadtgebieten der USA schätzungsweise jährlich eingespart werden. Sie betragen

bei der Bronchitis 250 bis 500 Millionen \$ infolge eines 25 bis 50%igen Rückganges von Mortalität und Morbidität (jährliche Kosten der Bronchitis in den USA: 930 Millionen \$);

beim Lungenkrebs 33 Millionen \$ infolge eines etwa 25%igen Rückganges der Mortalität;

bei den Erkrankungen der Atemwege 1222 Millionen \$ infolge eines 25%igen Rückganges von Mortalität und Morbidität (jährliche Kosten der respiratorischen Erkrankungen in den USA: 4887 Millionen \$);

bei den Herzkrankheiten 468 Millionen \$ infolge eines zehnpromtigen Rückganges der Mortalität;

bei den allgemeinen Krebserkrankungen 390 Millionen \$ infolge eines 15%igen Rückganges der heutigen Kosten.

Die angegebenen Kosten sind nicht alle gleich sicher. Daher schätzen LAVE und SESKIN die jährlichen Gesamtkosten, die bei einer 50%igen Erniedrigung der Luftverunreinigung in den Großstadträumen der USA eingespart werden können, auf 2080 Millionen \$.

Als rohe Schätzung wird eine Ersparnis von 4,5 % aller mit der Morbidität und Mortalität zusammenhängenden wirtschaftlichen Kosten benannt, wenn die Luftverunreinigung in dem angegebenen Maße erniedrigt wird.

In einer weiteren amerikanischen Studie über die "Gesundheitskosten der Luftverunreinigung (N.N. 1970) wurde der Versuch gemacht, eine quantitative Beziehung zwischen Morbidität sowie Mortalität und der Luftverunreinigung herzustellen. Für diese Untersuchung wurde ein einfaches lineares mathematisches Modell angewendet. Nähere Ausführungen können hier nicht gebracht werden, weil die Veröffentlichung leider nicht zur Verfügung stand und dem Referat der Arbeit nur allgemeine Angaben zu entnehmen sind.

S. ENGSTROM (1970) berichtet, daß im Industriegebiet von Göteborg (Schweden) gegenüber ländlichen Gebieten die Erkrankungen der Atemwege um 65 % höher liegen. Aus diesem Befund wird auf einen jährlichen Verlust von 24 Millionen \$ durch den Ausfall von einer halben Million Arbeitstagen in den großen Industriegebieten Schwedens aufgrund von Luftverunreinigungen geschlossen.

In der Bundesrepublik Deutschland stellte H. SEEMANN (1965) Untersuchungen über die wirtschaftliche Bedeutung der Bronchitis-Morbidität an. Die Bronchitis und verwandte Krankheiten sind in erster Linie mit der Wirkung von Luftverunreinigungen in Beziehung zu setzen. Die Studie wurde zwar nicht mit der Zielrichtung einer Zuordnung von Krankheitskosten zur Luftverunreinigung unternommen; sie läßt jedoch bedingte Schlüsse in diesem Sinne zu.

SEEMANN berechnete für die Pflichtmitglieder der Ortskrankenkassen mit sofortigem Anspruch auf Barleistungen in der Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 1958 bis 1960 folgende Barleistungen in DM pro Jahr:

	15- bis 45- jährige	Alle Alters- gruppen
Ärztliche Behandlung	2.413.471	3.889.633
Arzneien	1.198.333	1.931.275
Krankenhilfe, Barleistungen	24.404.776	51.782.069
Krankenhaus	2.105.839	6.341.724
	<hr/>	<hr/>
	30.122.419	63.944.701

Die Ortskrankenkassen umfassen in der Bundesrepublik Deutschland mehr als die Hälfte aller Mitglieder der Krankenversicherung. Die Erhebung von SEEMANN ist daher sehr aufschlußreich, wenn auch das bewertete Kollektiv nicht als repräsentativ für die Gesamtbevölkerung der Bundesrepublik bezeichnet wird. Die untersuchte Kategorie umfaßte 4,7 Millionen Männer und 2,5 Millionen Frauen. Von den Ortskrankenkassenmitgliedern blieben die "Pflichtmitglieder ohne sofortigen Anspruch auf Barleistungen", die "Freiwilligen Mitglieder und Rentner" und die "Familienangehörigen" unberücksichtigt.

Bei der Bewertung der Krankheitsarten-Statistik der Ortskrankenkassen für die Jahre 1958 bis 1960 ist zu berücksichtigen, daß seither die Bevölkerungszahl, der Anteil älterer Leute und die Kosten für die oben benannten Leistungen zum Teil erheblich gestiegen sind. Die Kosten von damals- fast 64 Millionen DM - liegen heute wesentlich höher.

Der Anteil der Bronchitis an der Gesamtzahl der Arbeitsunfähigkeitsfälle bei Pflichtmitgliedern der Ortskrankenkassen mit sofortigem Anspruch auf Barleistungen lag in den Jahren 1958-1960 bei den Männern zwischen 3,4 und 4,0 % und bei den Frauen zwischen 2,8 und 3,1 %. Die Arbeitsunfähigkeitsdauer betrug im Durchschnitt 1958, 1959 und 1960 24,2 Tage bei den Männern und 20,9 Tage bei den Frauen.

In der Todesursachenstatistik der Bundesrepublik Deutschland von 1958, 1959 und 1960 betrug der Anteil der an Bronchitis Gestorbenen im Mittel bei den Männern 1,72 % und bei den Frauen 0,99 %. SEEMANN weist dabei darauf hin, daß sich bei der gegenwärtigen Mortalitätsstatistik viele Bronchitisfälle der Registrierung entziehen.

Zur Prüfung der Bedeutung der Bronchitis als Invaliditätsgrund zieht SEEMANN die Statistik der deutschen Rentenversicherungen der Arbeiter und Angestellten heran. Der Anteil der wegen Bronchitis Berufsunfähigen an der Gesamtzahl der Versicherten betrug 1960 0,2 ‰ bei Männern und 0,07 ‰ bei Frauen, der der Erwerbsunfähigen 0,13 bzw. 0,04 ‰. An allen Rentenzugängen infolge Krankheiten war die Bronchitis bei Männern mit 2,66 % und bei Frauen mit 0,68 % beteiligt. Die berufsspezifische Invalidität war häufiger als die völlige Erwerbsunfähigkeit. SEEMANN weist darauf hin, daß diese relativ niedrigen Anteile nicht unterschätzt werden dürfen, weil Bronchitis als Berentungsgrund in Deutschland nur selten angegeben wird. Wenn Lungenemphysem und Lungenasthma zusammen mit der Bronchitis betrachtet werden, entfallen auf diese Gruppe deutliche Anteile der Rentenfälle, insbesondere bei Männern über 50 Jahren. Für das Jahr 1959 betrug die Invalidisierungszugänge bei den Arbeitern (Berufs- und Erwerbsunfähigkeit zusammen) in Prozent:

	Männer	Frauen
bis unter 40 Jahren	1,5	1,7
40 - 45 Jahre	4,6	1,9
45 - 50 Jahre	7,7	3,3
50 - 55 Jahre	12,0	3,2
55 - 60 Jahre	15,0	3,5
60 - 65 Jahre	14,2	3,0

Die Erhöhung der Rentenzahlungen im Jahre 1959 infolge Invalidisierung wegen Bronchitis, Lungenemphysem und Lungenasthma beziffert SEEMANN mit 10,6 Millionen DM bei Männern und 0,8 Millionen DM bei Frauen. Die Zahlen bezeichnet er aber nur als die "Größenordnung der verausgabten Beträge".

Die Studie von SEEMANN konnte nicht auf Kinder und alte Leute - und damit besonders anfällige Bevölkerungsgruppen - eingehen.

11.1.3 Kosten für Vegetationsschäden

Obwohl sich die durch Luftverunreinigungen an der Vegetation verursachten Schäden - zumindest im Vergleich zur Ermittlung von Gesundheitsschäden - relativ einfach abschätzen lassen, finden sich im Schrifttum nur wenige quantitative Angaben. Beim Studium der Literatur aus mehreren Jahrzehnten entsteht der Eindruck, daß Veröffentlichungen der Kosten von Immissionschäden an Pflanzen in letzter Zeit im Verhältnis zum stark angewachsenen gesamten Fachschrifttum seltener geworden sind. Eine solche Entwicklung kann durchaus auf eine Zunahme fachlicher Erkenntnisse über die Schwierigkeit der Materie zurückzuführen sein, die ausreichend gesicherten Aussagen entgegenstehen. Diese Zurückhaltung in bezug auf Kostenschätzungen kann jedoch auch durch wirtschaftliche Interessen bedingt sein.

Die fachlich-wissenschaftliche Offenlegung eines Entschädigungsprozesses, den die von-Tiele-Winckler'sche Verwaltung in Kattowitz Ende des vorigen Jahrhunderts gegen mehrere oberschlesische Berg- und Huttenwerksbesitzer anstrebte, hat in der heutigen Zeit kein Beispiel. Es ging damals um eine Jahresentschädigung von fast 70.000 Mark für Forstschäden durch überwiegend schwefeldioxidhaltige Abgase. Das Gutachten im Sinne der Forstwirtschaft [17], das Gegengutachten für die Industrie [18] und eine Erwiderung darauf [19] wurden in Buchform veröffentlicht. SCHRÖTER [32] führt in seinem 1908 erschienenen Buch in einer heute nicht mehr üblichen Offenheit zahlreiche Emissionsquellen in Sachsen und deren finanzielle Ersatzleistungen für Rauchschäden auf.

Eine heute viel geübte Praxis dürfte die außergerichtliche Entschädigung land- oder forstwirtschaftlicher Betriebe unter mehr oder weniger strikter Verschwiegenheit sein. Die Entschädigungsleistungen werden nach dem normalen Ertrag landwirtschaftlicher Kulturen unter den örtlichen Verhältnissen berechnet.

Angaben über Zahlungen für Vegetationsschäden werden nur selten veröffentlicht und dringen auch in internen Fachkreisen wenig durch. Eine Ausnahme bildet zum Beispiel die Arbeit von J.J. DUMONT und J.M. FOLZ (1972; siehe Abschnitt 11.1.1.2, Seite 45).

K. GARBER [27, Seite 28] schreibt, daß den (nicht näher bezeichneten) Berichten aus 21 Ländern zu entnehmen ist, daß im Vergleich der Waldfläche zur Größe der Länder das Problem der Immissionsschäden in Deutschland mit einer Fläche von ca. 75.000 Hektar geschädigter Wälder (rd. 50.000 ha in der Bundesrepublik, hauptsächlich Ruhrgebiet; etwa 25.000 ha in der DDR, vornehmlich im Süden des Landes) nach wie vor die größte Bedeutung hat. Die Forstwirtschaft stellt wegen der Empfindlichkeit der Nadelbäume gegen SO₂-Immissionen ein besonderes Problem der Wirkungsforschung dar (vgl. Kapitel 8, Seite 21). H.G. DÄSSLER (1969) gibt die derzeit immissionsbeeinflusste Waldfläche in der DDR sogar mit mehr als 200.000 ha an und beziffert den jährlichen Schaden an der forstlichen Produktion auf mehrere Millionen Mark.

Eine Zusammenstellung des Bundesministeriums für Ernährung und Forsten, die ebenfalls von GARBER veröffentlicht wurde und in der Tabelle 22 wiedergegeben ist, führt die ermittelte bzw. geschätzte Größe der durch Immissionen geschädigten Kulturflächen in Ländern der Bundesrepublik Deutschland auf; die geschädigte Waldfläche ist dort niedriger angesetzt als in der oben angeführten Schätzung von 50.000 ha.

A. KLOKE (1972) nimmt an, daß Einwirkungen auf die Vegetation sich auf einen Gürtel von 3 bis 10 km Entfernung vom Emissionsgebiet und auf einen Streifen von 100 m vom Straßen- bzw. Autobahnrand beschränken. Der Autor folgert - ohne damit das Problem der Umweltverschmutzung bagatellisieren zu wollen -, "daß z.Zt. für die Ernährung von Mensch und Tier

keine akute Gefahr besteht, da nur ca. 7 % unserer gärtnerischen und landwirtschaftlichen Nutzflächen im Einflußbereich von Immissionen liegen."

Nach W. HÖLTE (1972) wurde bereits 1964 von der Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz für die Jahre 1960 bis 1963 ein Gesamtschaden für die Land- und Forstwirtschaft sowie für den Gartenbau in den immissionsbelasteten Gebieten des Landes Nordrhein-Westfalen in Höhe von jährlich etwa 100 Millionen DM geschätzt. Entsprechende Zahlen aus neuerer Zeit liegen noch nicht vor. HÖLTE nimmt an, daß die wirtschaftliche Bedeutung der immissionsbedingten Pflanzenschäden heute eher höher als niedriger einzuschätzen ist. Die jährliche Schadenssumme von 100 Millionen DM führt auch GARBER [27, Seite 27] als Mitteilung des Landwirtschaftsministeriums von Nordrhein-Westfalen an und gibt folgende Kostenanteile an: Ackerbau rd. 33, Gartenbau 33, Forstwirtschaft 14 und Viehhaltung rd. 17 Millionen DM.

Den jährlich in den USA durch Luftverunreinigungen an Pflanzen verursachten Schaden benennt H. JOHNSON (1968) mit 500 Millionen \$. Als schädigende Gase werden Ozon, Schwefeldioxid, Fluor, Äthylen und photochemischer Smog aufgezählt. Diese Schadenssumme liegt deutlich über der Angabe von L.B. BARRETT und T.E. WADDELL [57] (vgl. Abschnitt 11.1.1.5, Seite 54, und Tabellen 17 und 18).

T.C. WEIDENSAUL und N.L. LACASTE (1970; [14], Seite 132) beziffer-ten für das Jahr 1969 im Staat Pennsylvania folgende Schäden an der Vegetation: 3,2 Millionen \$ direkte Ernteschäden; 200.000 \$ Schäden an Rasen, Stauden und Ziersträuchern; 39.000 \$ Holzverluste; 56.000 \$ Schäden an Blumen und Blattpflanzen. Die Summe der unentdeckten Schäden wurde auf 3,5, die gesamten indirekten Kosten auf zusätzlich 8 Millionen \$ geschätzt. Als wichtigste Schadstoffe werden - in der Reihenfolge ihrer Bedeutung -

Oxydantien, Schwefeloxide, Blei, Chlorwasserstoff, Stäube, Herbizide und Äthylen benannt. Die quantitative Verteilung der Schäden auf Pflanzengruppen und Schadstoffe ist in der Tabelle 23 wiedergegeben. Den Schwefeloxiden werden 194.200 \$ von der Gesamtschadenssumme von 3,5825 Millionen \$ (5,4 %) zugeordnet.

A.A. MILLECAN (1971) beziffert die durch Luftverunreinigungen verursachten Ernteschäden in Kalifornien auf 25.690.680 \$; davon entfielen allein auf die Zitrusfrucht-Plantagen im Raum Los Angeles fast 20 Millionen \$. Den wirksamen luftfremden Substanzen wurden folgende prozentualen Schadensanteile zugeschrieben: Ozon 50 %, Peroxyacylnitrate 18 %, Fluoride 15 %, Äthylen 14 %, Schwefeldioxid 2 %, Staub 1 %.

Der Oxydantiengehalt der Luft hat in Europa sicher nicht den hohen Anteil einer **Schadwirkung** auf Pflanzen, der ihm in den USA zugeschrieben wird.

11.1.4 Kosten für Schäden an Sachgütern

Schätzungen der Kosten für Schäden an Sachgütern sind wesentlicher Bestandteil von umfassenden Berichten der ökonomischen Auswirkung von Luftverunreinigungen (vgl. Abschnitt 11.1.1, Seite 33). Manche Veröffentlichungen haben jedoch diesen ökonomischen Gesichtspunkt zum alleinigen oder überwiegenden Ziel. PARRISH (1963) beziffert die jährlich durch Luftverunreinigungen in den kontinentalen Staaten der USA verursachten Kosten auf 6 Milliarden \$ für Nutzwertverluste, Pflegeaufwand und vorzeitige Reparaturen. Als geschädigte Objekte benennt er Mauerwerk (Steine, Beton, Ziegel), Metalle in allen Formen (Baukonstruktionen, Ausrüstungen, Metallwaren), Dekorations- und Schutzanstriche, Pflanzen, Textilien, Gummi, Kunststoffe, Leder, Papier, Isolationsmaterialien, Liegenschaften, Kunstgegenstände, Skulpturen, Architekturen und historische Kunstgegenstände. J.E. YOKOM (1968) stellte mittels einer Fragebogen-Aktion in amerikanischen Gemeinden mit unterschiedlichen Luftverunreinigungen, jedoch mit ähnlichen übrigen Bedingungen fest, daß die Kosten für Schädigungen sich von 30-40 \$ pro Person in wenig belasteten Gebieten bis zu 240 \$ pro Person in Washington, D.C., bewegten. Diese Kosten entstanden überwiegend privaten Personen und bezogen sich auf folgende 4 Kategorien: Außenwände und Fenster von Häusern; Innenwände, Fenster, Drapierungen, Decken, Tapeten; Wäschereikosten; Haar- und Gesichtspflegemittel. Der Überblick betrifft nicht die Kosten für den Unterhalt von Mauerwerk, Schutzmaßnahmen, Pflanzenschäden und Nutzwertverluste. S. ENGSTROM (1970) schätzt die Schäden durch Metall-Korrosionen in den großen Industriegebieten Schwedens auf jährlich 100 Millionen \$.

11.2 Auf Schwefeldioxid-Immissionen zurückgeführte Schäden

Kosten für Wirkungen der Luftverunreinigung speziell durch Schwefeldioxid werden im Schrifttum nur selten behandelt.

S. MEYERS (1972) von der Environmental Protection Agency in Washington, D.C., gab in einem Vortrag - ohne nähere Quellenhinweise - die Schätzungen der jährlichen Schäden durch Schwefeldioxid in den USA mit folgenden Geldwerten an:

1. Schäden an Materialien	0,5 - 4,5 Milliarden \$
2. Vegetation	35 - 75 Millionen \$
3. Verluste an Vermögenswerten	2,6 - 4,1 Milliarden \$

MEYERS schätzt die jährlichen Gesamtkosten für die Schäden durch Schwefeldioxid an Gesundheit, Vegetation und Vermögenswerten auf gut 8 Milliarden \$. Diese Summe stimmt mit den Angaben von L.B. BARRETT und T.E. WADDELL [57] (vgl. Abschnitt 11.1.1.5, Seite 54, sowie Tabelle 17) überein. Die Schätzung der gesundheitlichen Auswirkungen geht auf die Arbeit von L.B. LAVE und E.P. SESKIN (1970) (siehe Abschnitt 11.1.2, Seite 64) zurück. Diese Autoren beziffern die jährlichen Kosten aller Erkrankungen der Atemwege mit 4,887 Milliarden \$ und setzen bei einer 50%igen Verminderung der Luftverunreinigung in den Großstadtgebieten eine Ersparnis von 1,222 Milliarden \$ voraus.

Die schwedische Regierung legte zur Umweltschutz-Konferenz der Vereinten Nationen eine Studie vor [8], die die Schäden sowohl durch den Schwefeldioxid-Gehalt der atmosphärischen Luft als auch durch den Schwefelsäure-Gehalt von Niederschlägen behandelt und dabei insbesondere auf grenzüberschreitende Luftverunreinigungen eingeht. Zu einigen Teilaspekten sind auch Schätzungen der verursachten Kosten benannt.

In bezug auf den SO₂-Gehalt der Luft faßt die schwedische Studie zusammen, daß

kein Hinweis auf eine den Schwefeloxiden zuzuordnende erhöhte Sterblichkeit besteht, Metallkorrosionen klar erwiesen sind, direkte Einwirkungen auf die Vegetation, insbesondere auf Nadelhölzer, deutlich erfaßt wurden.

Den schwefelsäurehaltigen Niederschlägen werden Auswirkungen auf Ackerland, Wälder und Gewässer zugeschrieben. Durch Versäuerung von Böden wird ein jährlicher Ernterückgang in Schweden von 0,3 % pro Jahr - d.h. 10 - 15 % bis zum Jahre 2000 - befürchtet. Auf die vermutete Auswirkung übersäuerter Gewässer auf die Fischwirtschaft wurde schon im Kapitel 7 (Seite 19) eingegangen.

Die schwedische Studie gibt in einer Zusammenstellung, die hier als Tabelle 24 in deutscher Übersetzung wiedergegeben ist, einen weitgehenden Überblick über die Kosten von Korrosionen und Korrosionsschutz und über die Entwicklung dieser Kosten unter verschiedenen Voraussetzungen. Für das Jahr 1970 werden diese Kosten mit 2,09 Milliarden schwedischen Kronen veranschlagt.

E. DAHL (1971) bewertet die Schwefeldioxid-Emissionen eines 100 m hohen Kraftwerksskamins. Auf schwedische Berechnungen fußend schätzt er die Gesamtsumme für verursachte Schäden auf 140 \$ pro Tonne Schwefelsäure-Emission. Diese interessante, auf den Verursacher von Emissionen bezogene Kostengröße verleitet zu Umrechnungen, obwohl erhebliche Unsicherheitsfaktoren vorhanden sind: Die Auswirkungen gleichartiger Abgase hängen stark von der Nutzungsart des betroffenen Gebietes, von den Emissionsbedingungen (z.B. Schornsteinhöhe) und von meteorologischen Gegebenheiten ab.

Alle bisher zitierten Kostenangaben bezogen sich auf Gebiete oder auf Einwohner und enthalten vornehmlich jährliche Schadens-

raten. Berechnungen von jährlichen Schäden aus der von DAHL angegebenen Schadensgröße wurden im folgenden unter den Voraussetzungen angestellt, daß 1 t SO₂ = 1,5 t H₂SO₄ und 1 \$ = 2,50 DM bzw. 0,25 £ entsprechen. Es ergaben sich dann folgende theoretische Kosten:

1. USA

(SO₂-Emission: 33,2 Millionen t/a,
siehe Tabelle 20)

"H₂SO₄-Emission": ca. 50 Millionen t/a

"Kosten" (bei 140 \$/t H₂SO₄): 7 Milliarden \$

Die errechnete Zahl stimmt mit der Schätzung von BARRETT und WADDELL von 8,295 Milliarden \$ Kosten, die der Luftverunreinigung durch Schwefeldioxid zuzuordnen sind, recht gut überein (siehe Tabelle 17).

2. Bundesrepublik Deutschland

(SO₂-Emission: 3,6 Millionen t/a,
siehe Tabelle 1)

"H₂SO₄-Emission": 5,4 Millionen t/a

"Kosten": 1,89 Milliarden DM

Die Kosten entsprechen etwa 30 DM pro Kopf der Bevölkerung. Wenn 40 % des Gesamtschadens durch Luftverunreinigungen dem Schwefeldioxid zugeschrieben werden, dann erhöhen sich die jährlichen Kosten auf 75 DM pro Kopf der Bevölkerung, eine Summe, die im Bereich der Schätzung seitens der Bundesregierung (50 bis 100 DM pro Jahr) liegt (vgl. Abschnitt 11.1.1.3, Seite 52, und 12). Der o.a. Ansatz von 40 % für den Schadensanteil des Schwefeldioxids wurde aufgrund britischer (Eggerton-Bericht, siehe Seite 35) und amerikanischer Angaben (Tabelle 17) geschätzt.

3. Vereinigtes Königreich von Großbritannien

(SO₂-Emission: 6 Millionen t/a,
siehe Seite 3)

"H₂SO₄-Emission": 9 Millionen t/a

"Kosten": 315 Millionen £

Diese Summe liegt deutlich über den in Großbritannien - vornehmlich im Beaver-Report (S. 33) - geschätzten Kosten der Luftverunreinigung. Nur wenn man nach J.R. GOSS (1967) (Seite 44) von einer gegenüber dem Beaver-Report höheren Schätzung der Schäden ausgeht und Preis-erhöhungen seit der Erhebungen zum Beaver-Report berücksichtigt, liegen die sich aus der Schadensgröße nach DAHL ergebenden "Kosten" in einem etwa übereinstimmenden Bereich. Die SO₂-Emission pro Kopf der Bevölkerung ist in Großbritannien deutlich höher als in der Bundesrepublik Deutschland.

In der Tschechoslowakei verursachen jährliche Schwefeldioxid-Emissionen von 3,4 Millionen t nach H. LUX (1971) Forstschäden von umgerechnet etwa 90 Millionen \$. Das durch Luftverunreinigungen beeinflusste Waldgebiet wird mit 160.000 Hektar, die geschädigte Kulturfläche mit insgesamt 600.000 Hektar angegeben.

S.N. LINZON (1970) berichtet über Untersuchungen von langfristigen Forstschäden durch Schwefeldioxid unter dem Einfluß des Sudbury Hüttenwerksbezirks in Ontario. Als Testbaum bei zehnjährigen Studien (1953 - 1963) diente die weiße Kiefer. Allein für diese Bäume wurde der Wachstumsverlust durch chronische und akute Schäden auf jährlich 117.000 \$ innerhalb der engeren Rauchzone des Hüttenwerksbezirks geschätzt.

Über eine gerichtliche Schadensschätzung durch das LANDGERICHT HAMBURG (1965) in einem Zivilprozeß von Gemüsebauern gegen ein Hüttenwerk in Hamburg (20.000,- DM Schäden) wurde - als im übrigen seltene Ausnahme - im Fachschrifttum berichtet.

12. Methodologie der Abschätzung von Schäden durch Luftverunreinigungen

Grundzüge der Methodologie zur Abschätzung von Schäden durch Luftverunreinigungen wurden von R.G. RIDKER [52] recht eingehend dargestellt (vgl. Kapitel 10, Seite 30 bis 32).

Als Methoden zur Ermittlung von Schäden durch Luftverunreinigungen sind prinzipiell

direkte Schätzungen und

indirekte Schätzungen

möglich.

Direkte Schätzungen betreffen meist die Schäden bei Einzelwirtschaften, so in der Landwirtschaft, der Forstwirtschaft, dem Gartenbau oder der Bauwirtschaft. Sie führen zu Angaben über Wertverluste durch Minderung oder Ausfall von Einnahmen zum Beispiel infolge qualitativer oder quantitativer Ernteinbußen. Die Bedeutung dieser Schäden liegt weitgehend im ökonomischen und oft im zivilrechtlichen Bereich.

Indirekte Schätzungen der Schäden durch Luftverunreinigungen gehen grundsätzlich in 2 Schritten vor sich:

1. Feststellung des Schadens an einem Objekt (oder Objektgruppe) oder innerhalb eines Gebietes,
2. Schätzung des der Luftverunreinigung zuzuordnenden Anteils.

Beide Schritte sind mit Unsicherheiten behaftet, insbesondere der Schritt 2. Diese Art der Kostenschätzung kann nicht mit hohen Forderungen an die Genauigkeit belegt werden, unter anderem auch, weil gewöhnlich einfache, rechnerisch leicht zu handhabende Zahlenwerte oder Faktoren angesetzt werden sollen oder müssen. Die indirekten Schätzungen sind jedoch für die Erfassung der ökonomischen Auswirkungen von Luftverunreinigungen auf Volkswirtschaften unentbehrlich. Sie dienen

auch als ökonomische Begründung für Maßnahmen zur Luftreinhaltung und haben daher eine erhebliche politische Bedeutung. Direkte Schätzungen und zu begrenztem Teil auch indirekte Schätzungen der durch Luftverunreinigungen verursachten Schäden können einer experimentellen Überprüfung zugänglich sein. Beide Schätzmethoden sollen zu ökonomischen Bewertungen führen. Die rein ökonomischen Wertmaßstäbe werden jedoch dem Problem der Luftverunreinigung - weder allgemein noch speziell für Schwefeldioxid - nicht gerecht werden können.

Die Auswirkung der Luftverunreinigung auf den Menschen manifestiert sich meist viel stärker in Belästigungen als in - nur selten schlüssig nachweisbaren - Schädigungen. Es werden psychologische und ästhetische Bereiche betroffen, die zu dem in heutiger Zeit geprägten Begriff "Lebensqualität" zählen. Diese Bereiche können jedoch gerade auch im Falle des Schwefeldioxids von erheblicher praktischer und ökonomischer Bedeutung sein. Die "Indikator-Funktion", die dem Schwefeldioxid wegen seiner Allgegenwart in verunreinigter Luft und wegen seiner guten analytischen Erfassbarkeit zukommt, kann dazu führen, daß in der Öffentlichkeit der Schwefeldioxid-Gehalt der atmosphärischen Luft mit der Luftverunreinigung schlechthin identifiziert wird. SO₂-Meßdaten, wie sie zum Beispiel in den Tabellen 2 bis 11 niedergelegt sind, können das lufthygienische "Image" einer Stadt oder eines Gebietes mit durchaus ökonomischen Folgen prägen. Zum Beispiel kann seitens der Bevölkerung

dem Wohnen in einer Stadt mit hoher Luftverunreinigung durch Schwefeldioxid eine geringe "Lebensqualität" beigemessen und an einen Umzug gedacht werden und der industriellen Entwicklung eines Gebietes ein erheblicher Widerstand unter Hinweis auf die bereits vorhandene Belastung des Luftraumes mit Schwefeldioxid entgegengesetzt werden.

Wenn oben darauf hingewiesen wurde, daß das Schwefeldioxid stellvertretend für den Komplex Luftverunreinigung betrachtet wird, so sei hier noch vermerkt, daß die Vermeidung der Emission von Schwefeldioxid auch mit der Vermeidung anderer Emissionen verbunden sein kann.

Für eine Bewertung der Gesamtheit der negativen Folgen von Luftverunreinigungen bedarf es neben den oben angeführten direkten und indirekten Schätzungen zusätzlicher "Schätzungen von ästhetischen und psychologischen Auswirkungen". Die hier zu erwartenden quantitativen Werte sind sicherlich mit größeren Ungenauigkeiten als die Ergebnisse indirekter Schätzungen behaftet. Somit ergibt sich die unbefriedigende Situation, daß gerade diejenigen Schätzmethoden die größten Unsicherheiten aufweisen, welche in der Regel die höchsten wirtschaftlichen Kosten bewerten sollen.

Vorschläge für eine Methodologie für die Abschätzung von Schäden durch die Luftverunreinigung - so auch durch Schwefeldioxid - können nicht in dem Sinne verstanden werden, daß langdauernde und kostspielige Forschungsprogramme aufgestellt werden sollen. Solche Programme dürfen insbesondere nicht Maßnahmen zur Luftreinhaltung verzögern, deren Notwendigkeit schon aus dem heutigen Wissensstand und ohne zusätzliche ökonomische Analyse abgeleitet werden kann. Grundsätzlich sind die negativen Auswirkungen der Luftverunreinigung und der relativ hohe Anteil von Schwefeloxiden daran bekannt. Unanfechtbare Aussagen können auch mit sehr umfangreichen Untersuchungen nicht erzielt werden, weil sich wichtige Teilbereiche - insbesondere in bezug auf eine Beeinflussung des Menschen - einer quantitativen Bewertung weitgehend entziehen. Die im Schrifttum angegebenen Schätzungen der Kosten der Luftverunreinigung sind vor allem aus diesem, auch für die Zukunft geltenden Grund in ihrer absoluten Höhe recht unsicher. Es gibt auch Literaturangaben, nach denen sich soziale Zusatzkosten (Umweltschäden) jeglicher Quantifizierung entziehen [42, Seite 317].

Methodische Untersuchungen über Schäden durch Luftverunreinigungen wird man meist nicht auf einzelne Substanzen - so Schwefeldioxid oder Schwefeloxide - abstellen können. Es bieten sich eher spezielle Untersuchungen auf die Auswirkung von Abgasgruppen wie der Rauchgase von Feuerungsanlagen an, die einen erheblichen Anteil an der gesamten Verunreinigung der atmosphärischen Luft haben und bei denen Schwefeldioxid eine wesentliche oder die dominierende schädliche Komponente ist.

Die nur seltenen Angaben in der Fachliteratur über Schäden durch die Luftverunreinigung allgemein oder speziell durch Schwefeloxide sind verständlich in Anbetracht einerseits der schwierigen Materie und der unsicheren Untersuchungsmethoden und andererseits der wirtschaftlichen und politischen Brisanz quantitativer Angaben.

Für eine Erweiterung der heutigen, sehr lückenhaften Erkenntnisse können folgende Untersuchungsprogramme vorgeschlagen werden:

1. Ökonomische Quantifizierung qualitativer Befunde über die Schädigung von Schwefeldioxid auf Pflanzen und auf Materialien.

Über die Schädigung von verschiedenartigen Nutzpflanzen durch Schwefeldioxid sind zahlreiche Untersuchungen durchgeführt worden. Eine quantitative Schätzung von ökonomischen Schäden ist auf der Basis von Anbauflächen von Nutzpflanzen und von Meßwerten der SO_2 -Konzentration in der Luft denkbar. Ähnliche Schätzungen können Schäden an Materialien betreffen. Auswertungen müßten unter Einsatz der elektronischen Datenverarbeitung vorgenommen werden.

2. Abschätzung von Schwefeldioxid-Schadwirkungen über die Ausbreitungsrechnung für Abgase.

Auf der Basis von Ergebnissen des Programms 1 (quantitative Schätzwerte der ökonomischen Schäden an Pflanzen und an Sachgütern) wäre zu berechnen, welche SO_2 -Immissionen

und damit verbundene Schädigungen von Objekten durch vorgegebene Abgasquellen zu erwarten sind. Eine solche Studie wäre besonders interessant, weil sie im juristischen Sinne das "Verursacherprinzip" betrifft und im ökonomischen Sinne Unterlagen für Kosten-Nutzen-Analysen erwarten läßt. Der Idealfall wäre hier eine Kostenangabe für die pro Auswurfmenge zu erwartenden Schäden.

3. Zusammenstellung von Gerichtsurteilen über Entschädigungsleistungen für Schäden durch Luftverunreinigungen.

Möglichkeiten und Aussagen einer solchen Studie lassen sich hier nicht voraussehen.

4. Kostenschätzungen für den Anteil der durch Luftverunreinigungen bedingten Krankheitsfälle bei epidemiologischen Untersuchungen.

Ökonomische Betrachtungen werden bei epidemiologischen Untersuchungen gewöhnlich nicht angestellt. Gesundheitspolitisch können sie auch nicht relevant sein. Trotzdem wäre eine quantitative Aussage im Sinne der hier gegebenen Problematik sehr interessant.

5. Durchführung und Auswertung von Fragebogen-Aktionen zur Ermittlung des "Stellenwertes" der Luftverunreinigung im Bewußtsein der Bewohner eines belasteten Gebietes.

Zur Vermeidung emotionaler Äußerungen und zur Gewinnung eines möglichst objektiven Bildes sollten Befragungen nicht zu augenfällig auf das Problem Luftverunreinigung gerichtet sein. Jedoch sollte zu etwa folgenden Fragen eine Meinung ermittelt werden:

Welcher überwiegende Grund besteht für einen möglicherweise geplanten Umzug? (Hier ist der "Wert" einer Arbeitskraft eine ökonomisch bezifferbare Größe).

Welche negativen Eindrücke prägen das Bild des Wohnortes?

Besteht die Bereitschaft für einen eigenen finanziellen Beitrag zur Luftreinhaltung und in welchem Maß? (Wegen des Bezugs der Studie auf Schwefeloxide käme insbesondere eine Verteuerung von Brennstoffen und eine Erhöhung des Strompreises in Frage).

13. Zusammenfassung und Diskussion

Für die hier vorgelegte Literaturstudie über die ökonomischen Konsequenzen der Luftverunreinigung durch Schwefeldioxid wurden insbesondere die folgenden eingehenden Veröffentlichungen herangezogen, die sich bei der Durchsicht zahlreicher Fachbücher und vieler Jahrbände von Fach- und Referatenzeitschriften als die ergiebigsten erwiesen hatten (vgl. Bibliographie und Zeitschriftenliteratur):

R.G. RIDKER [52] (USA)

Beaver-Report [49] (Großbritannien)

G. PANNETIER (1957) (Frankreich)

J.J. DUMONT und J.M. FOLZ (1972) (Frankreich)

L.B. BARRETT und T.E. WADDELL [57] (USA)

L.B. LAVE und E.P. SESKIN (1970) (USA)

H. SEEMANN (1965) (Deutschland)

T.C. WEIDENSAUL und N.L. LACASTE [14], Seite 132 (USA)

Bericht der schwedischen Regierung [8]

L. LAMMARELLA (1970) (Italien)

Die Veröffentlichungen über wirtschaftliche Schäden durch Luftverunreinigungen betreffen überwiegend den Gesamtkomplex der Schadstoffe und nicht einzelne Komponenten. Auf Schwefeldioxid bezogene Untersuchungen sind somit selten. Zum Beispiel gehen die umfangreichen Berichte des US Department of Health, Education, and Welfare [3] und des Committee on the Challenges of Modern Society der NATO [6] über "Luftqualitätskriterien für

Schwefeloxide" auf den besonderen Gesichtspunkt der durch SO₂-Immissionen verursachten wirtschaftlichen Kosten gar nicht ein. Unter diesen Gegebenheiten konnte bei der hier vorgelegten Studie trotz der auf Schwefeldioxid bezogenen Aufgabenstellung nicht auf Veröffentlichungen verzichtet werden, die sich mit Schätzungen der Gesamtkosten der Luftverunreinigung befassen.

Die recht unterschiedlichen Ansichten verschiedener Autoren über die Möglichkeiten von Kostenschätzungen mag folgendes Beispiel demonstrieren: DUMONT und FOLZ (1972) bezeichnen eine Zusammenstellung von globalen Kosten durch Luftverunreinigungen als "absurd". Sie verzichten auf Kostenangaben für das gesamte Frankreich oder pro Einwohner (Seite 46). Im Beaver-Report [49] werden zwar die nach Schadensursachen aufgliederten Kosten der Luftverunreinigung für das Vereinigte Königreich von Großbritannien angegeben (Seite 33 bis 44). Eine Aufteilung von Schadensursachen nach Substanzen oder Substanzgruppen wird aber ausgeschlossen (Seite 43). BARRETT und WADDELL [57] veröffentlichten hingegen kürzlich recht weitgehende Kostenzusammenstellungen für die USA, bei denen nach Emissionsquellen, nach Schadstoffen und nach Wirkungen differenziert wird (Seite 54 bis 61, Tabellen 17 und 18).

Die meisten Ermittlungen und Schätzungen der durch Luftverunreinigungen verursachten Kosten stammen aus den Vereinigten Staaten von Amerika. Dort ist auch ein spezielles Buch zu diesem Thema erschienen (R.G. RIDKER [52]) sowie eine spezielle Studie über die mit der Luftverunreinigung zusammenhängenden Kosten der Gesundheit durchgeführt worden (L.B. LAVE und E.P. SESKIN (1970)). Die von verschiedenen Autoren angegebenen Beträge differieren zum Teil sehr stark. A.V. KNEESE (1966) wie auch N.L. LACASSE und T.C. WEIDENSAUL [14], Seite 132⁷ geben an, daß in den letzten Jahren Kosten zwischen 4 und 20 Milliarden \$ pro Jahr angegeben wurden. Nach KNEESE wurde

seinerzeit (1966) die Schadenssumme von 11 Milliarden \$ am häufigsten zitiert, welche das abgerundete Produkt von 60 \$ mal Bevölkerungszahl der USA im Jahre 1958 ist. McCALDIN führte 1962 an, daß sich die jährlichen Kosten durch Luftverunreinigungen in den USA zwischen 2 und 12 Milliarden \$ bzw. 10 bis 60 \$ pro Einwohner bewegen. Gesundheitliche Aspekte wurden dabei meist nicht einbegriffen. Der neueste und auch am weitesten reichende Bericht wurde von L.B. BARRETT und T.E. WADDELL 57 veröffentlicht. Dort sind für das Jahr 1968 Kosten in Höhe von 16,132 Milliarden \$ angegeben (Seite 61, Tabellen 17 und 18), das heißt etwa 80 \$ pro Kopf der Bevölkerung. Mit dieser Summe werden die bisherigen Schätzwerte zum Teil deutlich übertroffen.

Aus dem Bereich der Europäischen Gemeinschaft lagen umfassende Berichte nur aus dem Vereinigten Königreich von Großbritannien (Beaver-Report), aus Frankreich (G. PANNETIER (1957); J.J. DUMONT und J.M. FOLZ (1972)) und aus Italien (L. MAMMARELLA (1970); ENI-Bericht 60) vor. Keiner dieser 5 Berichte enthält Schätzungen über den Anteil des Schwefeldioxid an den verursachten Kosten. Der Beaver-Report und die Veröffentlichung von PANNETIER müssen zumindest teilweise als zeitlich überholt angesehen werden. Es muß jedoch vermerkt werden, daß gerade der Beaver-Report Untersuchungen und Diskussionen über die ökonomischen Konsequenzen der Luftverunreinigung weltweit stark befruchtet hat. Dieser Bericht enthält keine Schätzungen der Kosten für Schädigungen der menschlichen Gesundheit. Der neueste der 5 Berichte, die Veröffentlichung von DUMONT und FOLZ, enthält bewusst nur wenige quantitative Kostenangaben.

Spezielle Kostenschätzungen für die Luftverunreinigung durch Schwefeldioxid sind insbesondere in dem Bericht von BARRETT und WADDELL 57 (Tabelle 17), sowie in einer Veröffentlichung von S. MEYERS (1972) (Seite 76) für die USA angegeben. Diese Autoren benennen rd. 8 Milliarden \$ und somit etwa 40 \$ pro Kopf der Bevölkerung und Jahr. Die schwedische Regierung schätzt die

Kosten für Korrosion und Korrosionsschutz in bezug auf Schwefeldioxid auf jährlich rd. 2 Milliarden Schwedenkronen. Das sind umgerechnet pro Kopf der Bevölkerung rd. 50 \$. Die Kosten für Schäden an Materialien durch Schwefeldioxid in den USA errechnen sich aus den Angaben von BARRETT und WADDELL auf nur rd. 10 \$ pro Kopf im Jahre 1968.

Besonders interessant erscheint eine Schätzung von E. DAHL (1971), die den Emissionen eines Kraftwerkes Schäden von 140 \$ pro Tonne Schwefelsäure-Auswurf (etwa 240 DM/t SO₂) zuordnet. Die Ergebnisse von Umrechnungen mit dieser Kosten-größe auf nationale Kostensummen stimmten mit andersartig berechneten Schäden durch Schwefeldioxid näherungsweise überein (Seite 77 bis 79). Den Anteil des Schwefeldioxids als Schadensursache bei verunreinigter Luft gibt der Egerton-Bericht aus dem Jahre 1945 für Großbritannien mit 44 % an. Aus den Angaben von BARRETT und WADDELL errechnen sich 51 % (Tabelle 17 : 8,295 von 16,132 Milliarden \$). Letzterer Anteil erscheint etwas hoch, weil die summarisch ermittelten Wohnwertverluste und Gesundheitsschädigungen allein den Substanzen Schwefeloxide und Staub zugeordnet wurden. Kohlenmonoxid und organisch-chemische Verbindungen blieben unberücksichtigt.

Einzelwirtschaftliche Schäden werden relativ häufig durch Schwefeldioxid verursacht, insbesondere an land- und forstwirtschaftlichen Kulturen. Sie werden gewöhnlich durch gütliche Einigung oder durch Zivilprozesse geregelt und dringen in ihrem Gesamtausmaß nur wenig an die Öffentlichkeit. Schon vor der Jahrhundertwende waren Entschädigungsleistungen von 10.000 bis 70.000 Mark für Beeinträchtigungen der Land- oder Forstwirtschaft gefordert und auch gezahlt worden [17, 18, 19, 32]. Die Bezeichnung "Rauchschäden" weist hier recht deutlich auf Schwefeldioxid als wirksame Komponente.

Schwefeldioxid ist auf Grund seines häufigen Vorkommens in der bodennahen Luft und wegen seiner Reaktionsfähigkeit sicherlich eine wesentliche Komponente bei der schädlichen Auswirkung der Luftverunreinigung. Bei der Beeinflussung der menschlichen Gesundheit ist jedoch eine isolierte Betrachtungsweise nicht möglich. Schwefeldioxid wirkt sich grundsätzlich zusammen mit anderen Fremdstoffen der Luft - insbesondere Stäuben - aus.

Wirkungen schwefeloxidhaltiger Luftverunreinigungen auf Tiere haben keine praktische oder ökonomische Bedeutung. Spezifische Schädigungen der Vegetation durch Schwefeldioxid sind eindeutig. Deren ökonomische Bedeutung wird bei den vorliegenden Schätzungen im Vergleich einerseits zu Schädigungen durch andere Substanzen und andererseits zur Schädigung der menschlichen Gesundheit und von Materialien nicht sehr hoch eingestuft. Der schädigende Einfluß von Schwefeldioxid auf Materialien ist klar erwiesen. Die relative ökonomische Bedeutung der verursachten echten Schäden an Sachgütern wird dann verwischt, wenn diese in einer Rubrik "Materialschädigungen" zusammen mit Reinigungs- und Waschkosten aufgeführt werden, die durch die Luftverstaubung bedingt sind.

Bei quantitativen Schätzungen der ökonomischen Konsequenzen der Luftverunreinigung können psychologische und ästhetische Gesichtspunkte, die zum Bereich des Begriffes "Lebensqualität" zählen, nur schwer ausreichend bewertet werden. Wirtschaftliche Nachteile sind zum Beispiel dadurch gegeben, daß in Gebieten mit überhöhten Luftverunreinigungen mit einer Abwanderung oder einer erschwerten Ansiedlung von Arbeitskräften sowie mit einem Widerstand der Bevölkerung gegen weitere industrielle Entwicklungen zu rechnen ist.

Die begrenzten Möglichkeiten ökonomischer Studien in bezug auf die Wirkung von Luftverunreinigungen beziehungsweise von Schwefeldioxid können diese Arbeitsrichtung nicht zum dominierenden Gradmesser von Maßnahmen zur Luftreinhaltung

werden lassen. (Von dieser Aussage ist eine Kosten-Nutzen-Analyse in bezug auf die günstigsten technischen Maßnahmen zur Reinhaltung der Luft nicht betroffen.)

Die ökonomischen Konsequenzen der Luftverunreinigung - allgemein und durch Schwefeldioxid - werden in der europäischen Fachliteratur nur selten angesprochen. Die hier bestehenden Lücken dürften ebenso auf die Unsicherheit der Materie wie auf einen Forschungsrückstand zurückzuführen sein. Vorschläge für einschlägige Untersuchungsprogramme wurden hier im Kapitel 12 zusammengestellt.

Zur Bewertung von Immissionsschäden könnte man auf Schätzwerte der internationalen Literatur zurückgreifen und hätte dabei die fachlich für den allgemeinen Fall meist wenig gesicherte Aussage mit dem politischen Nutzen abzuwägen. Solche Schätzwerte sind zum Beispiel die oben benannten 240 DM Kosten pro Tonne SO_2 -Emission (nach DAHL) oder 100 DM Kosten pro Einwohner (der USA) und Jahr für Schäden durch Schwefeldioxid.

Eine Vertiefung der Kenntnisse der quantitativen Wirkung von Schwefeldioxid (vornehmlich im Komplex mit anderen Luftverunreinigungen) auf den Menschen - auf seine Gesundheit, sein Wohlbefinden und seine Leistungsfähigkeit - sowie auf Materialien wäre wünschenswert. Der Wissensstand über Vegetationsschäden erscheint vergleichsweise weiter fortgeschritten. Der Zeitaufwand insbesondere für epidemiologische Untersuchungen darf aber nicht technische Maßnahmen zur Abgasreinigung aufhalten. Die Emissionen von Schwefeldioxid werden in Zukunft immerhin noch steigen (Seite 4), wenn keine Gegenmaßnahmen ergriffen werden.

Summary and Discussion

The present review of literature on the subject of the economic consequences of air pollution by sulphur dioxide is based in particular upon the following detailed studies which proved to be the most valuable sources among numerous books published in the field of air pollution and many volumes of journals containing original papers and abstracts that had to be examined (cf. References to literature and journals):

R.G. RIDKER [52] (USA)

Beaver-Report [49] (United Kingdom)

G. PANNETIER (1957) (France)

J.J. DUMONT and J.M. FOLZ (1972) (France)

L.B. BARRETT and T.E. WADDELL [57] (USA)

L.B. LAVE and E.P. SESKIN (1970) (USA)

H. SEEMANN (1965) (Germany)

T.C. WEIDENSAUL and N.L. LACASTE [14, page 132] (USA)

Report by the Swedish Government [8]

L. MAMMARELLA (1970) (Italy)

Most studies that have been published on the subject of economic damage caused by air pollution refer to the individual components. Thus, studies referring to sulphur dioxide are rare. The comprehensive reports by the U.S. Department of Health, Education, and Welfare [3] and the NATO Committee on the Challenges of Modern Society [6] on "Air Quality Criteria for Sulphur Oxides" do not make any mention of the special aspect of economic costs caused by the action of sulphur dioxide present in ambient air. Under these conditions, the present study had to include publications dealing with estimates of the total costs of air pollution, despite the fact that its objectives were limited to sulphur dioxide.

Authors are differing widely in their opinion as to the possibility of estimating costs which may be demonstrated by the following example. DUMONT and FOLZ (1972) characterised a compilation of global costs due to air pollution as "absurd". Thus, they did not give costs for the whole of France or per capita of its population (p. 46). Although in the Beaver Report [49] costs of air pollution by causes of damage are given for the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland (pp. 33-44), a classification by substances or groups of substances is ruled out (p. 43). On the other hand, quite detailed figures of costs for the United States differentiated by effluent sources, pollutants, and effects were published recently by BARRETT and WADDELL [57] (pp. 54-61, tables 17 and 18).

Most of the findings and estimates of costs caused by air pollution have their origin in the United States of America. A book dealing especially with this subject has also been published there (R.G. RIDKER [52]) and a special study on costs of health care associated with air pollution (L.B. LAVE and E.P. SESKIN (1970)). Figures given differ considerably from one author to another. Like A.V. KNEESE (1966), N.L. LACASSE and T.C. WEIDENSAUL [14, p. 132] state that amounts between 4 and 20 thousand million of dollars have been spent in recent years. Most frequently, a total damage of \$ 11,000,000,000 has been quoted from KNEESE (1966), this figure representing the rounded result of multiplying \$ 60 by the national population of the U.S. in 1958. In 1962, McCALDIN gave the annual costs due to air pollution in the U.S. as amounting to 2-12 thousand million or \$ 10 - \$ 60 per capita of population. In most cases aspects of health have not been considered. The most recent and most extensive report was published by L.B. BARRETT and T.E. WADDELL [57]. They mention a figure of \$ 16,132,000,000 for 1968 (p. 61, tables 17 and 18) which would correspond to about \$ 80 per capita of population. This figure is clearly in excess of the previous estimates.

From within the European Communities, comprehensive reports were available only from the United Kingdom (Beaver Report), France (G. PANNETIER (1957); J.J. DUMONT and J.M. FOLZ (1972)), and Italy (L. MAMMARELLA (1970); ENI Report [60]). None of these five reports is giving any estimates of the proportion of costs caused by sulphur dioxide. At least in part, both the Beaver Report and PANNETIER's paper have to be considered as outdated. It should, however, be mentioned that the Beaver Report has been a considerable stimulus, on a world-wide scale, for studies and discussions of the economic consequences of air pollution. This report does not include estimates of the costs of damage to human health. The most recent of the five reports by DUMONT and FOLZ is giving deliberately few quantitative cost figures.

Special estimates of costs of air pollution by sulphur dioxide have been given in particular in the report by BARRETT and WADDELL [57] (Table 17) as well as in a paper by S. MEYERS (1972) (p. 76) for the United States. These authors give figures of about \$ 8,000,000,000, i.e. appr. \$ 40 per capita of population and year. The annual cost of corrosion and corrosion protection associated with sulphur dioxide is estimated by the Swedish Government to be about 2 thousand million of Swedish crowns. This would correspond to appr. \$ 50 per capita. According to BARRETT and WADDELL, costs of damage to material caused by sulphur dioxide in the U.S. would work out as only \$ 10 per capita for the year 1968.

Of particular interest appears to be an estimate by E. DAHL (1971) assigning damage in the amount of \$ 140 to each ton of sulphuric acid emitted by a power station (appr. DM 240 per ton of SO₂ emitted). When converting costs of this magnitude into national costs and comparing them with costs of damage due to sulphur dioxide calculated in a different way, an

approximate coincidence is found (pp. 77-79). The Eger-ton Report (1945) is giving a proportion of 44 % for sulphur dioxide as a source of damage by air pollution. From the data given by BARRETT and WADDELL, a figure of 51 % may be derived (Table 17: \$ 8,295,000,000 out of \$ 16,132,000,000). The last mentioned proportion seems to be somewhat high because of losses of residential property and damage to health are assigned to sulphur oxides and particulates alone and without taking into consideration carbon monoxide and organochemical compounds.

There is frequent individual economic damage caused by sulphur dioxide, in particular to agricultural crops and forests. Such damage is commonly settled by amicable arrangement or lawsuit before a civil court. Of their total extent, only little comes to public knowledge. Even before the turn of the century, damages between 10,000 and 70,000 marks for impairment of agriculture or forestry had been claimed and were in fact paid [17, 18, 19, 327]. The name "smoke damage" used is clearly pointing to sulphur dioxide as the active component.

On account of its frequent occurrence in the atmosphere near the ground and its reactivity, sulphur dioxide is certainly an essential contributor to negative effects of air pollution. With reference to its influence upon human health, it is not possible to consider it separately. The effects of sulphur dioxide are principally combined with other air pollutants, especially particulates.

The effects of air pollutants containing sulphur dioxide upon animals are of no practical or economic importance. However, specific damage to vegetation caused by sulphur dioxide is undoubted. When compared with damage by other substances, on the one hand, and damage to human health

and materials, on the other, their economic damage is not rated high in the estimates at hand. The damaging effect of sulphur dioxide upon materials has been proved beyond doubt. The relative economic importance of genuine damage to materials caused is masked where such damage is mentioned under a heading such as "material damage", together with cleaning and laundry costs due to dusty air.

Within quantitative estimates of the economic consequences of air pollution, and adequate evaluation of psychological and aesthetic aspects in the meaning of the German term "**Lebensqualität**" (quality of life) is a difficult task. For example, economic disadvantages may be given where in areas of excessive air pollution an emigration of labour obstacles to their settlement as well as public opposition to further industrial development are to be expected.

In view of the limited possibilities of economic studies with regard to the effects of air pollutants and, in particular, of sulphur dioxide, this approach will not become the dominating criterion of air pollution control measures. (This statement does not refer to ~~cost-benefit~~ analyses to select the most favourable ~~technical~~ measures of air pollution control.)

The economic consequences of air pollution in general and of pollution caused by emission of sulphur dioxide are discussed only rarely in the relevant European literature. The existing gaps appear to be due to the uncertain nature of the subject as well as to a delay of research. Proposals for corresponding research programmes are listed in chapter 12.

To evaluate damage caused by pollutants in ambient air, recourse could be made to estimates in the international literature. Then, the statements made which experts do not

consider as fully confirmed in the general case had to be weighed against the political benefit. Estimates of this type are figures as given above, viz. DM 240 per ton of SO₂ emitted (according to DAHL) or DM 100 as cost per inhabitant (of the U.S.) and year due to sulphur dioxide.

It would be desirable to deepen knowledge of the quantitative action of sulphur dioxide (mostly combined with other air pollutants) upon man - his health, well-being, and fitness - and upon materials. When comparing with the knowledge on damage to vegetation, the latter appears to be far more advanced. However, the time required in particular for epidemiological studies must not delay technical measures for a cleaning of exhaust gases. There will still be an increase of sulphur dioxide emissions (p. 4) if no counter-measures are taken.

Bibliographie

- [1] Stern, A.C.: Air Pollution, 2nd Edition.
Academic Press, New York - London 1968
- [2] US Department of Health, Education, and Welfare:
Sulfur Oxides and Other Sulfur Compounds.
A Bibliography with Abstracts.
Public Health Service Publication No. 1093,
Bibliography Series No. 56,
Washington, D.C., 1965
- [3] US Department of Health, Education, and Welfare:
Air Quality Criteria for Sulfur Oxides.
National Air Pollution Control Administration
Publication No. AP-50,
Washington, D.C., 1969
- [4] Ullmanns Encyklopädie der technischen Chemie, 3. Aufl.
Urban & Schwarzenberg,
München - Berlin - Wien 1968
- [5] Kutzelnigg, A. und R. Ergang: Atmosphärische Korrosion
der Metalle. Bd. 17 der Reihe "Korrosion".
Verlag Chemie, Weinheim 1965
- [6] Committee on the Challenges of Modern Society, NATO:
Air Pollution - Air Quality Criteria
for Sulfur Oxides.
November 1971
- [7] Berge, H.: Immissionschäden (Gas-, Rauch- und
Staubschäden). In: Sorauer, Handbuch
der Pflanzenkrankheiten, Band I.
7. Aufl., 4. Lieferung. Verlag
Paul Parey, Berlin - Hamburg 1970

- [8] Royal Ministry for Foreign Affairs,
Royal Ministry of Agriculture:
Air pollution across national
boundaries. The impact on the
environment of sulphur in air
and precipitation.
Sweden's case study for the United
Nations conference on the human
environment.
Kungl. Boktryckeriet P.A. Norstedt
& Söner, Stockholm 1971
- [9] Ministry of Technology, Warren Spring Laboratory:
The Investigation of Atmospheric Pollution
1958-1966. Thirtieth Report. Her
Majesty's Stationery Office, London 1967
- [10] World Health Organization: Air Quality Criteria and
Guides for Urban Air Pollutants. Report
of a WHO Expert Committee.
Technical Report Series No. 506, Genf 1972
- [11] Die Emission von Schwefelverbindungen. Die Entwick-
lung der Emissionsmengen in der Bundes-
republik Deutschland. VDI-Berichte Nr. 186,
VDI-Verlag, Düsseldorf 1972
- [12] Bundesminister des Innern: Materialien zum Umweltpro-
gramm der Bundesregierung 1971. Deutscher
Bundestag, 6. Wahlperiode, zu Drucksache
VI /2710
- [13] US Environmental Protection Agency: Compilation of
Air Pollutant Emission Factors (Revised).
Office of Air Programs Publication
No. AP-42, Research Triangle Park, North
Carolina 1972

- [14]** Englund, H.M. und W.T. Beery: Proceedings of the
Second International Clean Air Congress.
Held at Washington, D.C., December
6-11, 1970. Academic Press, New York -
London 1971
- [15]** Haselhoff, E.: Grundzüge der Rauchschadenskunde.
Verlag Gebrüder Borntraeger,
Berlin 1932
- [16]** Holmes, J.A., E.C. Franklin und R.A. Gould: Report
of the Selby Smelter Commission.
Government Printing Office, Washington 1915
- [17]** Reuss, C.: Rauchbeschädigung in dem von Tiele-Winckler'
schen Forstreviere Myslowitz-Kattowitz.
Insbesondere Ermittlung, Bewertung und Ver-
teilung des Rauchschadens.
Verlag F.A. Lattmann, Goslar 1893
- [18]** Borggreve, B.: Waldschäden im Oberschlesischen Industrie-
bezirk nach ihrer Entstehung durch Hütten-
rauch, Insektenfraß etc. Eine Rechtfertigung
der Industrie gegen folgenschwere falsche
Anschuldigungen.
D.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a.M.
1895
- [19]** Reuss, C.: Rauchbeschädigung in dem Gräflich v.
Tiele-Winckler'schen Forstreviere Myslowitz-
Kattowitz. Nachtrag zu dem Werke gleicher
Bezeichnung v. Jahre 1893 und Entgegnung
auf die Schrift "Waldschäden im Oberschle-
sischen Industriebezirk pp. von Professor
Dr. B. Borggreve".
Verlag J. Jäger & Sohn, Goslar 1896

- 20** Arbeits- und Sozialminister des Landes Nordrhein-Westfalen: Reinhaltung der Luft in Nordrhein-Westfalen. Bericht zum Kongreß Reinhaltung der Luft in Düsseldorf vom 13. bis 17. Oktober 1969. Verlag für Wirtschaft und Verwaltung Hubert Wingen, Essen 1969
- 21** Guderian, R. und H. Stratmann: Freilandversuche zur Ermittlung von Schwefeldioxidwirkungen auf die Vegetation. III. Teil: Grenzwerte schädlicher SO₂-Immissionen für Obst- und Forstkulturen sowie für landwirtschaftliche und gärtnerische Pflanzenarten. Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen Nr. 1920. Westdeutscher Verlag, Köln-Opladen 1968
- 22** Handbuch für Lebensmittelchemie, 2. Aufl., Bd. VIII, 2. Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg - New York 1969
- 23** Lewis, T.R., M.O. Amdur, M.D. Fritzhand und K.I. Campbell: Toxicology of Atmospheric Sulfur Dioxide Decay Products. Environmental Protection Agency Publication No. AP-111 (1972)
- 24** World Health Organization: Air Pollution. Genf 1961. Deutsche Übersetzung von W.H.K. Schladitz: Die Verunreinigung der Luft. Verlag Chemie, Weinheim/Bergstraße 1964
- 25** Mc Cabe, L.C.: Air Pollution. Proceedings of the United States Technical Conference on Air Pollution. Mc Graw-Hill Book Company, New York - Toronto - London 1952

- [26] Magill, P.L., F.R. Holden und C. Ackley:
Air Pollution Handbook.
Mc Graw-Hill Book Company,
New York - Toronto - London 1956
- [27] Garber, K.: Luftverunreinigung und ihre Wirkungen.
Verlag Gebrüder Borntraeger, Berlin 1967
- [28] American Industrial Hygiene Association:
Air Pollution Manual. Part. I:
Evaluation. Detroit 1960
- [29] Meetham, A.R.: Atmospheric Pollution.
Its Origins and Prevention. 3. Aufl.
Pergamon Press, Oxford - London -
Edinburgh - New York - Paris - Frankfurt
1964
- [30] Haselhoff, E. und G. Lindau: Die Beschädigung der
Vegetation durch Rauch. Handbuch zur
Erkennung und Beurteilung von Rauch-
schäden. Verlag Gebrüder Borntraeger,
Leipzig 1903
- [31] Stoklasa, J.: Die Beschädigungen der Vegetation
durch Rauchgase und Fabriksexhalationen.
Urban & Schwarzenberg, Berlin - Wien 1923
- [32] Schröter, E.: Die Rauchquellen im Königreiche Sachsen
und ihr Einfluß auf die Forstwirtschaft.
Heft 2 der Sammlung von Abhandlungen über
Abgase und Rauchschäden. Verlag Paul Parey,
Berlin 1908
- [33] Schikorr, G.: Häufige Korrosionsschäden an Metallen
und ihre Vermeidung. Verlag Konrad Wittwer,
Stuttgart 1960
- [34] Schikorr, G.: Korrosionsverhalten von Zink. Bd. I: Ver-
halten von Zink an der Atmosphäre.
Metall-Verlag, Berlin 1962

- [35] Prefecture de Paris, Direction generale de l'action sanitaire et sociale, Laboratoire d'hygiène de la Ville de Paris: Étude de la pollution atmosphérique dans la région parisienne. Bulletin mensuel.
- [36] Instituut voor Gezondheidstechniek TNO: Analyse van de smogsituatie in de Randstad Holland. Werk-rapport G 500 (1971)
- [37] Reichel, G. und W.T. Ulmer: Luftverschmutzung und unspe-zifische Atemwegserkrankungen. Ergebnisse epidemiologischer Untersuchungen. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1970
- [38] Deutscher Industrie- und Handelstag: Kostenfaktor: Reine Luft. Die Leistungen der deutschen Industrie für die Luftreinhaltung von 1969 bis 1971. Endergebnisse einer Erhebung des Deutschen Industrie- und Handelstages. Bonn, Dezember 1972
- [39] Air Pollution - Proceedings of the First European Congress on the Influence of Air Pollution on Plants and Animals, Wageningen, April 22 to 27, 1968. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen 1969
- [40] Seemann, H.-G.: Die Sterblichkeit an Krankheiten der Atmungsorgane und anderer ausgewählter Todesursachen in Nordrhein-Westfalen 1950/51 nach Kreisen unter Berücksichtigung etwaiger Einflüsse der Luftverschmutzung. Schriftenreihe des Zentralverbandes der Ärzte für Naturheilverfahren, 19. Band, Medizinisch-literarischer Verlag, Uelzen 1966

- 41** Seemann, H.-G.: Die Sterblichkeit an Krankheiten der Atmungsorgane und anderen ausgewählten Todesursachen in Nordrhein-Westfalen 1960 - 1962 nach Kreisen unter Berücksichtigung etwaiger Einflüsse der Luftverschmutzung. Schriftenreihe des Zentralverbandes der Ärzte für Naturheilverfahren, 21. Band, Medizinisch-literarischer Verlag, Uelzen 1968
- 42** Zur Problematik des Verursacherprinzips. Ergebnis der internationalen Expertengespräche am 2. und 3. Juni 1972. Erich Schmidt Verlag, Berlin 1972
- 43** Air Pollution Control Association: APCA Abstracts, Volume I (1955) - XV (1970).
- 44** US Environmental Protection Agency: Air Pollution Abstracts, Volume 1 (1970)- 3 (1972)
- 45** Environment Agency: Quality of the Environment in Japan, 1972. Japanese Government Publications Service Center, Tokyo 1972
- 46** Environment Agency: Air Pollution Control in Japan. Report Submitted for the United Nations Conference on the Human Environment, 1972
- 47** Staub (ab 1965: Staub - Reinhaltung der Luft) Heft 1 (1936) - Band 33 (1973), Heft 3
- 48** Lawther, P.J., A.E. Martin und E.T. Wilkins: Epidemiology of Air Pollution. Report on a Symposium. Public Health Papers No. 15, World Health Organization, Genf 1962

- [49] Committee on Air Pollution: Report. Presented to Parliament by the Minister of Housing and Local Government, the Secretary of State for Scotland and the Minister of Fuel and Power by Command of Her Majesty. Her Majesty's Stationary Office, London 1954
- [50] Institut für Ökologische Chemie:
Dosis-Wirkungs-Beziehungen von Luftverunreinigungen beim Menschen unter besonderer Berücksichtigung von Ballungsgebieten. Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung m.b.H. München 1973
- [51] US Environment Protection Agency: Guide to Research in Air Pollution. Publication No. AP-47, Research Triangle Park, North Carolina, 1972
- [52] Ridker, R.G.: Economic Costs of Air Pollution. Studies in Measurement. 4. Druck. Praeger Publishers, New York-Washington-London 1971
- [53] International Union of Air Pollution Prevention Associations: International Clean Air Congress, London, 4-7 October 1966. Proceedings: Part. I. The National Society for Clean Air, London 1966
- [54] United Nations Conference on the Human Environment, Stockholm 15-16 June 1972. Bibliography
- [55] Central Office of Information for the British Overseas Trade Board: Towards Cleaner Air. A Review of British Achievements, London 1973
- [56] Shaw, S. und J.S. Owens: The Smoke Problem of Great Cities. Constable & Co., Ltd., London 1925
- [57] Barrett, L.B., und T.E. Waddell: Cost of Air Pollution Damage: A Status Report. US Environmental Protection Agency, Publication No. AP-85, Research Triangle Park, North Carolina 1973

- [58] Conseil de l'Europe: Conférence européenne sur la Pollution de l'Air. Strasbourg, 24 juin - 1er juillet 1964
- [59] Spence, J.W., und F.H. Haynie: Paint Technology and Air Pollution: A Survey and Economic Assessment. Office of Air Programs Publication No. AP-103. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina 1972
- [60] ENI-Ente Nazionale Idrocarburi: Economic Costs and Benefits of an Antipollution Project in Italy. Summary Report of a Preliminary Evaluation. Special Issue for the United Nations Conference on the Human Environment, Stockholm, 1972

Zeitschriftenliteratur

- BLEASDALE, J.K.A.: Atmospheric pollution and plant growth. Nature (London) 169, 376-377 (1952)
- BOURELLY, T.: La pollution atmosphérique dans la région parisienne. Cahier du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment No.120, Cahier 1038, Juni 1971
- BREUER, W. und K. WINKLER: Schwefeldioxid-Immissionen bei aus-tauscharmen Wetterlagen. Staub 25, 98-101 (1965)
- BROCKE, W. und H. SCHADE: Die Luftverunreinigung durch Abgase aus der Verbrennung von Brennstoffen in stationären Anlagen der Bundesrepublik Deutschland. I. Teil: Die SO₂-, NO_x- und Feststoffemissionen im Jahre 1969 und eine Prognose über die Entwicklung bis 1980. Staub - Reinhaltung der Luft 31, 473-478 (1971)
- BUCK, M., S. KÜLSKE und H. IXFELD: Smogwarndienst im Lande Nordrhein-Westfalen. Achte Mitteilung der Ergebnisse des II. Meßprogramms nach § 7 des Immissionsschutz-gesetzes NW für die Zeit vom 26. Oktober 1970 bis zum 24. Oktober 1971. Schriftenreihe der Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen Heft 25, 65-100 (1972)

- COMMINS, B.T. und R.E. WALLER: Observations from a ten-year study of pollution at a site in the City of London. Atmospheric Environment 1, 49-68 (1967)
- CRAXFORD, S.R. und M.-L. WEATHERLEY: Dispersal of airborne effluents. Air pollution in towns in the United Kingdom. Phil. Trans. Roy. Soc. London, A. 269, 503-513 (1971)
- DAHL, E.: Kostnader ved utslipp av svoveloksyder i atmosfæren. Tek. Ukeblad (Oslo) 118, Nr. 50, 15-16 (1971) Ref.: Air Pollution Abstracts (U.S. Environmental Protection Agency) 3, No. 5, 111 (1972)
- DÄSSLER, H.-G.: Industrieemissionen und Vegetationsschäden. Zschr. gesamte Hygiene u. Grenzgeb. 15, 827-829 (1969)
- DEUTSCHER INDUSTRIE- UND HANDELSTAG: Kostenfaktor: Reine Luft. Die Leistungen der Deutschen Industrie für die Luftreinhaltung von 1969 bis 1971. Endergebnisse einer Erhebung des Deutschen Industrie- und Handelstages. Bonn 1972
- DRINKER, P.: Death during the severe fog in London and environs, dec. 5 to 9, 1952. Arch. industr. Hyg. occupat. Med. 7, 275-276 (1953)
- DUMONT, J.J. und J.M. FOLZ: Le coût des effets de la pollution atmosphérique. Pollution Atmosphérique 14, 329-352 (1972)
- ENGSTROM, S.: Ta bort svaveldioxiden. Tek. Tidskr. 100, Nr. 18, 22-24, 26, 28 (1970) Ref.: Air Pollution Abstracts (U.S. Environmental Protection Agency) 2, Nr. 10, 4-5 (1971)
- FREY, P.: Luftverunreinigung oder Verwitterung? Umwelt Heft 2, 22-23 (1973)
- GARTRELL, F.E., F.W. THOMAS und S.B. CARPENTER: Atmospheric oxidation of SO₂ in coal-burning power plant plumes. Amer. industr. Hyg. Assoc. J. 24, 113-120 (1963)

- GERHARD, E.R. und H.F. JOHNSTONE: Photochemical oxidation of sulfur dioxide in air. *Industr. Engin. Chem.* 47, 972 - 976 (1955)
- GOSS, J.R.: Corrosion by air pollution - a review. *Proceedings of the Conference of the National Society for Clean Air, Blackpool* (1967)
- GRÄFE, K.: SO₂-Registrierungen in Hamburg von 1958 - 1972. *Städtehygiene* 23, 286 - 290 (1972)
- HENSCHLER, D., A. STIER, H. BECK und W. NEUMANN: Geruchsschwellen einiger wichtiger Reizgase (Schwefeldioxid, Ozon, Stickstoffdioxid) und Erscheinungen bei der Einwirkung geringer Konzentrationen auf den Menschen. *Archiv Gewerbepathologie und Gewerbehygiene* 17, 547 - 570 (1960)
- HÖLTE, W.: Zusammenstellung von Immissionsschadensfällen in der Zeit von 1953 bis 1972 nach Gutachten der Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. *Schriftenreihe der Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen Heft 26*, 80 - 82 (1972)
- JOHNSON, H.: The high cost of foul air. *The Progressive Farmer*. April 1968
- KATZ, M.: Photoelectric determination of atmospheric sulfur dioxide, employing dilute starch-iodine solutions. *Analytic. Chem.* 22, 1040 - 1047 (1960)
- KLOKE, A.: Die Belastung der gärtnerischen und landwirtschaftlichen Produktion und Erntegüter durch Immissionen. *Berichte über Landwirtschaft* 50, H. 1, 57 - 68 (1972)
- KNEESE, A.V.: How much is air pollution costing us in the United States? *Proceedings: The Third National Conference on Air Pollution, Washington, D.C., December 12 - 14, 1966*. Public Health Service Publication No. 1649, 529 - 538
- LAHMANN, E. und K.-E. PRESCHER: Schwefeldioxid-Immissionen in der Umgebung von Kraftwerken. *Staub - Reinhaltung der Luft* 32, 390 - 392 (1972)

- LANDGERICHT HAMBURG: Teil- und Zwischenurteil vom 20.10.1964
(Freie Schadensschätzung nach § 187 ZPO bei summierten
SO₂-Immissionen) Ref.: Staub 25, 375 (1965).
- LAVE, L.B. und E.P. SESKIN: Air pollution and human health.
Science (Washington) 169, 723-733 (1970)
- LINZON, S.N.: Economic effects of sulphur dioxide on forest
growth. Preprint, Air Pollution Control Association,
Annual Meeting, St. Louis, Mo., June 14-18, 1970.
Ref.: Air Pollution Abstracts (U.S. Environmental Protec-
tion Agency), 2, Nr. 6, 162 (1971)
- LÖBNER, A.: Ergebnisse von Staubbiederschlagsmessungen an
verschiedenen Orten Deutschlands in den Jahren 1953 bis
1959. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden-
und Lufthygiene Nr. 15 (1960)
- LUX, H.: Forstliche Rauchschadprobleme in der Slowakei.
Soz. Forstwirtschaft. 21, Nr. 2, 60-62 (1971)
Ref.: Air Pollution, Abstracts (U.S. Environmental
Protection Agency) 3, Nr. 6, 129 (1972)
- MAMMARELLA, L.: L'incidenza economica dell' inquinamento
dell' aria in Italia: un tentativo di stima globale.
In: L' Inquinamento Atmosferico in Italia. Rept. 27 (1970),
S. 96-114. Ref.: Air Pollution Abstracts (U.S. Environ-
mental Protection Agency) 2, No. 4, 146 (1971)
- McCALDIN, R.O.: Economics of air pollution. Presented at the
Conference on Air Pollution Control, Cincinnati, Oct. 23,
1962. Ref.: NAPCA Abstract Bulletin 1, No. 6, 131.
- MEYERS, S.: Scope of the SO₂ problem in the United States.
Presented at the American Institute of Chemical Engineers
Symposium on "How to Conform to the New Sulfur Dioxide
Regulations" held at the Stouffer Inn in Indianapolis,
Indiana on May 12, 1972

- MICHELSON, I., und B. TOURIN: Comparative method for studying costs of air pollution. Public Health Reports 81, 505 - 511 (1966)
- MILLECAN, A.A.: A survey and assessment of air pollution damage to California vegetation in 1970. Environmental Protection Agency Contract CPA 70-91, Rept. APTD -0694 (1971) Ref.: Air Pollution Abstracts (U.S. Environmental Agency) 3, No. 1 (Supplement), 144 (1972)
- N.N.: The health costs of air pollution. Congressional Record 116 (150), S 14394 - S 14402 (1970) Ref.: Air Pollution Abstracts (U.S. Environmental Protection Agency) 2, No. 3, 148 (1971)
- N.N.: Der Dom im Wettlauf mit der Zeit. Umwelt H. 6, 38 - 39 (1972)
- OLSON, R.E.: Nature of economic losses resulting from the effects of air pollutants on plants. Preprint, Air Pollution Control Association, Annual Meeting, St. Louis, Mo., June 14 - 18, 1970 Ref.: Air Pollution Abstracts (U.S. Environmental Protection Agency) 2, No. 12, 117 (1971)
- PANNETIER, G.: Technique Sanitaire Municipal 52, 73 (1957); zitiert nach 24
- PARKER, A.: The destructive effects of air pollution on materials. Colliery Guardian 191, H. 4937, 447 - 450 (1955). Ref.: Staub H. 47, 733 (1956)
- PARRISH, E.M.: Effects of air pollution property damage and visibility. Preprint, presented at the Pennsylvania Air Pollution Control Inst., Pennsylvania State University, Sept. 9-13, 1963. Ref.: NAPCA Abstract Bulletin 1, No. 3, 409

- PRINCE, R. und F.F. ROSS: Sulphur in air and soil.
Water, Air, and Soil Pollution 1, 286 - 302 (1972)
- RENZETTI, N.A. und G.J. DOYLE: Photochemical aerosol formation in sulfur dioxide-hydrocarbon systems. Internat. J. Air Pollution 2, 327 - 345 (1960)
- RICE, D.P.: Estimating the cost of illness. Public Health Service Publication No. 947-6 (1966)
- RIEDERER, J.: Die Wirkungslosigkeit von Luftverunreinigungen beim Steinerfall. Staub - Reinhaltung der Luft 33, 15 - 19 (1973)
- ROSS, F.F.: Anhydride sulfureux SO₂ (1970 - 1972).
La Tribune du CEBEDAU 25, 456 - 460 (1972)
- SEEMANN, H.: Die sozialmedizinische Bedeutung der "Bronchitis" in der Bundesrepublik Deutschland aus statistischer Sicht. Bundesgesundheitsblatt 8, 321 - 329 (1965)
- STEIGER, H. und A. BROCKHAUS: Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Luftverunreinigungen und Mortalität im Ruhrgebiet. Naturwissenschaften 53, 498 (1966)
- STEIGER, H. und A. BROCKHAUS: Untersuchungen zur Mortalität in Nordrhein-Westfalen während der Inversionswetterlage Dezember 1962. Staub - Reinhaltung der Luft 31, 190 - 192 (1971)
- STEPHANY, H.: Ziele und Wege der Emissionsverminderung. Staub - Reinhaltung der Luft 28, 51 - 56 (1968)
- TRÁVNÍČEK, Z.: Effects of air pollution on textiles, especially synthetic fibres. International Clean Air Congress, London, 4-7 October 1966. Proceedings, Part I, 224 - 226 (1966)

- UHLIG, H.H.: The cost of corrosion in the United States.
Corrosion 51, 29 - 33 (1950)
- UPHAM, J.B.: Atmospheric corrosion studies in two metropolitan areas. Journal of the Air Pollution Control Association 17, 398 - 402 (1967)
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE: Maximale Immissions-Konzentrationen (MIK). Schwefeldioxyd. VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft, Berlin und Köln: Beuth-Vertrieb. VDI 2108 (1961)
- WEBER, E.: Contribution to the residence time of sulfur dioxide in a polluted atmosphere. J Geophys. Research 75, 2909 - 2914 (1970)
- WEIDENSAUL, T.C. und N.L. LACASSE: Results of the statewide survey of air pollution damage to vegetation. Preprint, Air Pollution Control Association, Annual Meeting, St. Louis, Mo., Juni 14 - 18 (1970) Ref.: Air Pollution Abstracts (U.S. Environmental Protection Agency) 2, No. 4, 147 (1971)
- YOKOM, J.E.: The cost of air pollution - effects and control. Tenn. Ind. Hyg. News 25, No. 3, 1 - 3 (1968) Ref.: NAPCA Abstract Bulletin 1, No. 2, 117
- ZAHN, R.: Über Schwefeldioxid-Wirkungsgrenzen für Pflanzen. Staub - Reinhaltung der Luft 29, 375 - 376 (1969)

**Tabelle 1: Gesamte Schwefelemission in der Bundesrepublik
Deutschland und in Berlin (West)**

Quelle: VDI-Berichte Nr.186, VDI-Verlag, Düsseldorf
1972

Emissionsquellen	Schwefelemission							
	in 1000 t				in %			
	1960		1970		1960		1970	
Verbrennungsanlagen	1404,5		1688,9		90,5		93,8	
Schwefelsäurefabriken	22,9		14,4		1,7		0,8	
Clausanlagen	11,1	38,0	7,9	22,3	0,7	2,4	0,4	1,2
Aluminiumhütten	0,9		1,1		0,1		0,1	
Übrige NE-Metallhütten, etc. (Produktionsbetrieben)	1,0	1,9	1,2	2,3	0,1	0,2	0,1	0,2
Eisenerz-Sinteranlagen	97,3	97,3	75,5	75,5	6,3	6,3	4,2	4,2
Sonstige industrielle Prozesse einschl. Industriemüllverbrennung *)	10,0	10,0	10,0	10,0	0,6	0,6	0,6	0,6
Industrielle Prozesse insgesamt	147,2		110,1		9,5		6,2	
Gesamte Emission	1551,7		1799,0		100,0		100,0	
Industrie								
Dampfkesselfeuerungen	836,9		1193,7		55,6		66,4	
Industriefeuerungen	67,3		50,8		4,3		2,8	
Industrieprozesse	147,2		110,1		9,5		6,1	
Gasfeuerungen (80%)	17,6	1095,4	15,0	1369,6	1,1	70,5	0,8	76,1
Hausbrand								
feste und flüssige Brennstoffe	344,0		363,6		22,2		20,2	
Gasfeuerungen (20%)	4,4	348,4	3,7	367,3	0,3	22,5	0,2	20,4
Verkehr	107,9		62,1		7,0		3,5	
Insgesamt:	1551,7		1799,0		100,0		100,0	

*) geschätzt

Tabelle 2:

**Monatsmittelwerte der SO₂-Konzentration (µg/m³ Luft) in deutschen Städten im Jahre 1971.
Auswertung kontinuierlich-automatischer Messungen**

Bundesland Stadt Meßort	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Baden - Württemberg												
Karlsruhe 1)												
Knielingen	180	120	100	80	120	50	50	160	80	100	120	120
Kaiserallee	260	90	130	110	70	50	60	40	70	70	80	90
Eggenstein	130	90	100	100	100	100	60	40	60	90	120	120
Kernforschungs-Institut	130	80	90	80	90	80	110	80	70	90	110	100
Bayern												
München 2)												
Landshuter Allee	260	90	10	50	10		10			40	50	80
Müllerstr.	20	50	30	40	40	20	10	20	40	40	40	70
Krankenhaus Schwabing	120	60	70	30	10	10	10	10	30	10	20	20
Bayerstr.	80			20	10	10	20	20	30	30	30	60
Aidenbachstr.	120	40	60	30	20			10	30		30	50
Fernsehturm	70	40		20	20	20	30	30	30	40	50	60
Berlin 3)												
Jungfernheide	387	165	160	134	116	92	109	88	48	127	136	123
Steglitz	461	230	233	183	197	139	160	72	58	111	114	126
Dahlem	285	112	213	205	93	53	43	66	61	107	102	111
Hamburg 4)												
St. Pauli, Neuer Kamp	280	140	140	100	60	60	60	60	90	120	160	220
Hessen												
Frankfurt 5)												
Innenstadt, Feldbergstr.	374	160	151	134	80	65	74	68	85	150	170	228
Kassel 6)												
Ludwig-Mond-Str.	269	182	181	88	76	47	31	29	60	87	78	92
Wiesbaden 6)												
Viktoriastr.	230	96	110	105	49	27		45	83	80	101	137
Hanau 6)												
Eberhardschule	175	38	33	46	38	35	40	38	52	77	82	79
Niedersachsen												
Salzgitter-Lebenstedt 7)												
Ostrand		64	52	83	69	54	73	106	69	30	48	75
Saarland												
Völklingen 8)												
Feuerwehr	130	100	130	120	100	70	80	50	80	80	90	100
Nordrhein-Westfalen												
Köln 9)												
Eifelwall	150	110	120	100	70	60	60	50	80	100	100	120
Buchforst	120	60	90	90	50	40	40	40	60			
Ehrenfeld	150	110	110	100	80	50	70	60	120	110	120	130
4-Wochen Perioden	21.12.	18.1.	15.2.	15.3.	12.4.	10.5.	7.6.	5.7.	2.8.	30.8.	27.9.	25.10.
	17.1.	14.2.	14.3.	11.4.	9.5.	6.6.	4.7.	1.8.	29.8.	26.9.	24.10.	21.11.
												19.12.
Düsseldorf 10)												
Düsseldorf	205	121	137	128	78	79	55	73	45	67	93	110
Duisburg	267	127	171	154	124	118	95	93	110	108	132	175
Oberhausen	320	117	205	178	159	136	69	98	101	100	98	161
Bottrop	300	160	182	158	141	110	111	80	80	91	131	190
Essen-Mitte	248	111	168	137	115	108	87	95	62	103	104	151
Essen-Süd	166	72	127	110	88	99	68	75	52	73	73	98
Gelsenkirchen	289	117	157	141	121	100	90	84	78	92	110	166
Wanne-Eickel	286	128	174	131	95	81	84	79	69	85	110	155
Recklinghausen	268	145	145	131	98	81	70	70	80	76	128	145
Bochum	253	125	185	153	108	96	91	89	65	91	95	140
Castrop-Rauxel	260	143	189	159	128	106	117	99	74	118	130	191
Dortmund	232	101	169	120	103	71	88	88	62	87	107	132
Hagen	233	124	167	116	88	76	89	62	57	89	106	135

- Meßinstitute:
- 1) Landesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Immissions- und Strahlenschutz, Karlsruhe
 - 2) Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, München
 - 3) Institut für Wasser-, Boden- und Luftthygiene des Bundesgesundheitsamtes, Berlin-Dahlem
 - 4) Hygienisches Institut der Freien und Hansestadt Hamburg
 - 5) Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Frankfurt
 - 6) Meß- und Prüfstelle der Gewerbeaufsichtsverwaltung des Landes Hessen, Kassel
 - 7) Stahlwerke Peine-Salzgitter AG
 - 8) Staatliches Institut für Hygiene und Infektionskrankheiten, Saarbrücken
 - 9) Institut für Lebensmittel-, Wasser- und Luftuntersuchungen der Stadt Köln
 - 10) Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Essen

Tabelle 3:

Ergebnisse von SO₂-Immissionsmessungen in deutschen Städten in der Zeit von Oktober 1969 bis September 1970
(in Nordrhein-Westfalen - außer Köln - November 1969 bis Oktober 1970)

Meßstation	Anzahl der Einzelwerte (30-Minuten-Mittelwerte)	Arithmetisches Jahresmittel mg/m ³	Maximales Mittel über			50 %- Wert der Summenhäufigkeit mg/m ³	95 %- Wert der Summenhäufigkeit mg/m ³	Prozentuale Überschreitungshäufigkeit der SO ₂ -Konzentration von		
			1 Monat	24 Std.	30 Min.			0,2	0,5	1,0
			mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³			mg/m ³		
Baden-Württemberg										
Karlsruhe										
West	14.650	0,13 +	0,31 +	0,97 +	1,54	0,09 +	0,43 +	22,87 +	3,71 +	0,15
Kaiserallee	14.895	0,09	0,22 +	0,49	1,34	0,08 +	0,29 +	9,98 +	0,65 +	0,01
Mannheim										
Rheinau	9.865	0,09	0,25 +	0,35	1,33	0,08 +	0,29 +	10,40 +	1,05	0,09
Mitte	14.449	0,10	0,28 +	0,88 +	1,60 +	0,08 +	0,30 +	11,16	1,86 +	0,53 +
Bayern										
München										
Landshuter Allee	16.853	0,04	0,08	0,42 +	1,25	0,03	0,13	3,69	0,48 +	0,05 +
Müllerstraße	16.481	0,05	0,17 +	0,61 +	1,36	0,04	0,19	4,80	1,16 +	0,15 +
Krankenhaus Schwabing	16.162	0,04	0,12	0,20	0,53	0,03	0,10	2,89	0,22	0
Westendstraße	16.225	0,04	0,14 +	0,60 +	1,11	0,03	0,13	4,33	0,49 +	0,03 +
Bayerstraße	16.756	0,05	0,12	0,24	1,20	0,04	0,11	3,27	0,09	0,02
Aidenbachstraße	13.990	0,03	0,07	0,29 +	0,53	0,02	0,11	2,90	0,08 +	0
Fernsehturm	16.490	0,06	0,10	0,28	0,62	0,05 +	0,14	4,50	0,50 +	0
Berlin										
Jungfernheide, Wasserwerk	16.787	0,178 +	0,328 +	0,66	1,03	0,12 +	0,48 +	28,13 +	4,31 +	0,01
Steglitz, Schloßstraße	16.785	0,255 +	0,513 +	0,88 +	1,16	0,20 +	0,64 +	49,85 +	10,27 +	0,54 +
Hamburg										
Innenstadt, Gorch-Fock-Wall	17.653	0,13 +	0,25 +	0,54	1,24	0,08	0,38 +	17,0 +	2,6 +	0,07 +
St. Pauli, Neuer Kamp	16.067	0,17 +	0,36 +	0,83 +	1,50	0,11 +	0,54 +	30,9 +	6,1 +	0,47 +
Hessen										
Frankfurt										
Innenstadt, Feldbergstraße	14.525	0,120	0,263	0,50 +	1,29 +	0,07	0,32	16,0	0,9 +	0,01 +
West, Ackermannschule	11.331	0,140 +	0,323 +	0,75 +	1,49 +	0,07	0,47 +	22,0 +	3,8 +	0,01 +
Nahe Ostbahnhof	4.908	2)	0,246 +	0,36	0,77	0,06	0,27	9,0	0,6 +	0
Kassel										
Ludwig-Mond-Straße	14.222	0,143 +	0,295 +	0,48 +	1,02	0,08 +	0,35 +	22,1 +	2,6 +	0,3 +
Wiesbaden										
Viktoriastraße	10.099	0,144 +	0,290 +	0,63 +	1,19 +	0,09 +	0,36 +	22,4 +	2,1 +	0,1 +
Niedersachsen										
Salzgitter-Lebenstedt										
	15.788	0,084	0,260 +	0,68	1,41	0,05	0,29	8,2	1,7 +	0,05
Nordrhein-Westfalen										
			3)	4)						
Düsseldorf	8.348	0,098	0,208 +	0,58 +	1,19 +	0,08 +	0,25	9,40	0,53	0,04 +
Duisburg	8.571	0,150	0,303 +	1,20 +	>2,45 +	0,10	0,44	23,16	4,03 +	0,37
Oberhausen	8.607	0,142	0,250	0,76	1,14	0,09	0,44	21,18	3,96	0,09
Bottrop	8.564	0,159	0,309	0,80	1,14	0,12	0,44	27,86	3,44	0,08
Essen-Mitte	8.062	0,142	0,342	1,69 +	2,44 +	0,10	0,39 +	20,83	2,23	0,52 +
Essen-Süd	8.029	0,106 +	0,245 +	0,90 +	1,69 +	0,07	0,29	12,78 +	1,06	0,21 +
Gelsenkirchen	8.335	0,153	0,324	1,18 +	1,59 +	0,11	0,41	23,61	2,72	0,38 +
Wanne-Eickel	8.597	0,158 +	0,327 +	1,05 +	>2,45 +	0,12 +	0,39 +	26,68	2,41 +	0,29 +
Recklinghausen	7.666	0,151 +	0,257 +	0,74 +	1,29 +	0,12	0,39 +	24,94	1,68 +	0,05
Bochum	8.296	0,142	0,339 +	1,37 +	1,89 +	0,10	0,37 +	20,35 +	2,36 +	0,36 +
Castrop-Rauxel	8.550	0,172 +	0,316 +	0,94 +	1,44 +	0,13 +	0,40 +	33,60 +	2,30 +	0,16 +
Dortmund	8.331	0,128	0,236	0,90	1,39	0,10	0,31	18,10	1,30	0,08
Hagen	8.269	0,116 +	0,216 +	0,51 +	1,24	0,09 +	0,28 +	14,77 +	0,51	0,01
Köln										
Eifelwall	16.891	0,10	0,18 +	0,35 +	0,79 +	0,08	0,23 +	10,62 +	0,20 +	0
Buchforst	16.683	0,07	0,09	0,22	0,48	0,06	0,15	2,20	0	0
Ehrenfeld	16.688	0,08	0,17 +	0,33 +	0,64	0,07	0,19	4,85 +	0,10	0
Rheinland-Pfalz										
Ludwigshafen										
Luitpold-Schule 1)	15.436	0,06	0,09	0,33	1,40	0,05	0,20	5,03	0,46	0,06
Saarland										
Völklingen										
Feuerwehr	16.622	0,09 +	0,13	0,42 +	1,02 +	0,08 +	0,27 +	9,12 +	0,61 +	0,01 +

+ Zunahme gegenüber dem Vorjahr

1) Neue Meßstelle gegenüber dem Vorjahr

2) Nicht berechnet wegen zu weniger Einzelwerte

3) In Nordrhein-Westfalen (außer Köln) 4-Wochen-Mittelwerte

4) In Nordrhein-Westfalen (außer Köln) 60-Minuten-Mittelwerte

Tabelle 4:

Ergebnisse von SO₂-Immissionsmessungen in deutschen Städten in der Zeit von Oktober 1970 bis September 1971
(in Nordrhein-Westfalen - außer Köln - November 1970 bis Oktober 1971)

Meßstation	Anzahl der Einzelwerte (30-Minuten-Mittelwerte)	Arithmetisches Jahresmittel mg/m ³	Maximales Mittel über			50 %- Wert der Summenhäufigkeit mg/m ³	95 %- Wert der Summenhäufigkeit mg/m ³	Prozentuale Überschreitungshäufigkeit der SO ₂ -Konzentration von		
			1 Monat	24 Std.	30 Min.			0,2	0,5	1,0
Baden - Württemberg										
<u>Karlsruhe</u>										
West	11.898	0,10	0,18	0,85	1,52	0,08	0,30	12,77	1,43	0,17 +
Kaiserallee	15.876	0,10 +	0,26 +	0,68 +	1,36 +	0,04	0,28	12,40 +	1,25 +	0,04 +
<u>Mannheim</u>										
Rheinau	13.164	0,12 +	0,26 +	0,58 +	1,41 +	0,09 +	0,39 +	16,91 +	2,51 +	0,11 +
Mitte	15.269	0,09	0,16	0,48	1,38	0,08	0,24	8,42	0,71	0,03
Bayern										
<u>München</u>										
Landshuter Allee	15.088	0,06 +	0,26 +	0,71 +	1,60 +	0,05 +	0,18 +	4,80 +	1,15 +	0,15 +
Müllerstraße	16.877	0,05	0,13	0,83 +	1,40 +	0,04	0,20 +	4,95 +	1,20 +	0,15
Krankenhaus Schwabing	16.314	0,04	0,12	0,34 +	0,73 +	0,03	0,10	2,90 +	0,20	0
Bayerstraße	14.859	0,03	0,08	0,19	0,43	0,02	0,07	2,50	0	0
Aidenbachstraße	14.927	0,05 +	0,12 +	0,35 +	0,86 +	0,04 +	0,13 +	4,00 +	0,50 +	0
Fernsehturm	16.769	0,03	0,07	0,24	0,40	0,02	0,08	2,50	0	0
<u>Berlin</u>										
Jungfernheide, Wasserwerk	15.573	0,157	0,387 +	0,78 +	1,60 +	0,12	0,42	20,72	3,37	0,21 +
Steglitz, Schloßstraße	15.745	0,206	0,461	0,91 +	1,47 +	0,17	0,53	37,98	5,65	0,62 +
Dahlem, Corrensplatz 1)	16.603	0,120	0,285	0,62	1,19	0,08	0,32	16,15	1,11	0,04
<u>Hamburg</u>										
St. Pauli, Neuer Kamp	13.666	0,12	0,28	0,77	1,38	0,08	0,37	15,9	2,0	0,18
Steilshoop, Steilshooper Str. 1)	16.481	0,11	0,24	0,76	1,41	0,05	0,32	11,0	1,8	0,3
Hessen										
<u>Frankfurt</u>										
Innenstadt, Feldbergstr.	15.153	0,142 +	0,374 +	0,77 +	1,20	0,07	0,39 +	15,0	2,0 +	0,01
<u>Kassel</u>										
Ludwig-Mond-Straße	12.884	0,113	0,269	0,86 +	1,38 +	0,06	0,35	16,4	2,1	0,5 +
<u>Wiesbaden</u>										
Viktoriastraße	9.911	0,111	0,230	0,46	1,56 +	0,06	0,31	17,5	1,8	0,03
<u>Hanau 1)</u>										
Eberhardschule	11.276	0,068	0,175	0,35	0,68	<0,03	0,18	6,2	0,19	0
Niedersachsen										
<u>Salzgitter-Lebenstedt</u>										
	13.962	0,064	0,106	0,27	1,08	0,05	0,15	2,2	0,13	0,01
Nordrhein-Westfalen										
2) 3)										
<u>Düsseldorf</u>	8.453	0,097	0,205	0,37	1,09	0,07	0,24	9,64 +	0,24	0,02
<u>Duisburg</u>	8.466	0,137	0,267	0,49	1,44	0,10	0,36	20,56	1,84	0,05
<u>Oberhausen</u>	8.494	0,138	0,320 +	0,67	1,24 +	0,09	0,39	20,72	2,55	0,14 +
<u>Bottrop</u>	8.381	0,143	0,300	0,57	1,09	0,11	0,34	22,52	1,56	0,01
<u>Essen-Mitte</u>	8.537	0,119	0,248	0,51	1,19	0,09	0,28	14,20	0,89	0,02
<u>Essen-Süd</u>	8.129	0,087	0,166	0,38	0,84	0,07	0,22	7,26	0,26	0
<u>Gelsenkirchen</u>	8.657	0,127	0,289	0,58	1,24	0,09	0,32	16,25	1,46	0,03
<u>Wanne-Eickel</u>	8.536	0,125	0,286	0,59	1,14	0,09	0,31	15,41	1,12	0,01
<u>Recklinghausen</u>	8.661	0,121	0,268 +	0,52	1,94 +	0,09	0,30	16,83	0,90	0,06 +
<u>Bochum</u>	8.548	0,122	0,253	0,45	1,04	0,09	0,28	14,37	0,81	0,01
<u>Castrop-Rauxel</u>	8.513	0,142	0,260	0,53	1,09	0,10	0,34	22,07	1,34	0,01
<u>Dortmund</u>	8.594	0,113	0,232	0,44	1,04	0,08	0,28	13,31	0,64	0,01
<u>Hagen</u>	8.400	1,112	0,233 +	0,47	0,99	0,09	0,27	12,67	0,37	0
<u>Köln</u>										
Eifelwall	16.983	0,09	0,15	0,37 +	0,73	0,07	0,22	7,62	0,88 +	0
Buchforst	14.931	0,07	0,12 +	0,30 +	0,84 +	0,05	0,17 +	2,83 +	0,03 +	0
Ehrenfeld	16.498	0,10 +	0,15	0,29	0,78 +	0,08 +	0,22 +	7,34 +	0,07	0
Rheinland-Pfalz										
<u>Ludwigshafen</u>										
Luitpold-Schule	16.354	0,08 +	0,22 +	0,58 +	1,50 +	0,05	0,29 +	10,06 +	1,15 +	0,06
Greifenau-Schule 1)	10.449 4)	0,04	0,07	0,19	0,93	0,04	0,10	1,20	0,06	0
<u>Mainz</u>										
Stadtwerke 1)	11.654 5)	0,06	0,16	0,31	0,74	0,05	0,15	3,97	0,01	0
Saarland										
<u>Völklingen</u>										
Feuerwehr	15.615	0,09	0,13	0,58 +	1,04 +	0,08	0,27	9,11	0,80 +	0,01

+ Zunahme gegenüber dem Vorjahr

1) Neue Meßstelle gegenüber dem Vorjahr

2) In Nordrhein-Westfalen (außer Köln) 4-Wochen-Mittelwerte

3) In Nordrhein-Westfalen (außer Köln) 60-Minuten-Mittelwerte

4) Ausfall der Werte von Oktober bis Januar } Die aufgeführten Kenngrößen liegen niedriger als bei Mitberücksichtigung

5) Ausfall der Werte von Oktober bis Dezember } der Wintermonate zu erwarten wäre

Tabelle 5:

**Ergebnisse von SO₂-Immissionsmessungen in deutschen Städten in der Zeit von Oktober 1971 bis September 1972
(in Nordrhein-Westfalen - außer Köln - November 1971 bis Oktober 1972)**

Meßstation	Anzahl der Einzelwerte (30-Minuten-Mittelwerte)	Arithmetisches Jahresmittel mg/m ³	Maximales Mittel über			50 %- Wert der Summenhäufigkeit mg/m ³	95 %- Wert der Summenhäufigkeit mg/m ³	Prozentuale Überschreitungshäufigkeit der SO ₂ -Konzentration von		
			1 Monat	24 Std.	30 Min.			0,2	0,5 mg/m ³	1,0
Baden-Württemberg										
<u>Karlsruhe</u>										
West Kaiserallee	15.261	0,08	0,12	0,49	1,21	0,07	0,23	6,08	0,28	0,03
	7.525	0,07	0,10	0,22	0,95	0,06 +	0,19	3,84	0,13	0
<u>Mannheim</u>										
Rheinau	12.153	0,09	0,17	0,30	0,90	0,07	0,24	10,58	0,54	0
Mitte	13.435	0,08	0,16	0,37	1,38	0,07	0,24	8,95 +	0,71	0,02
Bayern										
<u>München</u>										
Landshuter Allee	16.483	0,04	0,11	0,22	0,47	0,03	0,07	2,00	0	0
Müllerstraße	16.672	0,03	0,09	0,27	0,61	0,02	0,06	1,50	0,02	0
Krankenhaus Schwabing	16.066	0,02	0,06	0,12	0,36	0,01	0,04	0,80	0	0
Bayerstraße	16.826	0,03	0,06	0,20 +	0,52 +	0,02	0,05	1,00	0,02 +	0
Aidenbachstraße	15.068	0,02	0,05	0,17	0,64	0,01	0,10	2,40	0,15	0
Fernsehturm	17.409	0,04 +	0,07	0,16	0,53 +	0,03 +	0,11 +	2,50	0,15 +	0
<u>Berlin</u>										
Jungfernheide, Wasserwerk	16.275	0,114	0,226	0,68	1,12 +	0,08	0,33	14,87	1,51	0,01
Steglitz, Schloßstraße	17.117	0,128	0,237	0,66	1,40	0,09	0,36	17,56	1,76	0,05
Dahlem, Corrensplatz	15.568	0,105	0,212	0,43	0,65	0,08	0,27	12,34	0,30	0
<u>Hamburg</u>										
St. Pauli, Neuer Kamp	16.081	0,14 +	0,25	1,50 +	2,51 +	0,09 +	0,41 +	20,0 +	2,8 +	0,26 +
Hessen										
<u>Frankfurt</u>										
Innenstadt, Feldbergstraße	16.147	0,125	0,260	0,56	0,79	0,08 +	0,30	15,0	0,75	0
Nied 1)	14.229	0,102	0,228	0,53	0,85	0,05	0,26	10,0	0,08	0
Offenbach 1)	14.423	0,076	0,140	0,29	0,82	0,04	0,19	4,3	0,01	0
<u>Kassel</u>										
Ludwig-Mond-Straße	14.247	0,080	0,176	0,32	0,91	0,03	0,23	11,0	0,2	0
<u>Wiesbaden</u>										
Viktoriastraße 2)	5.656	0,125 +	0,239 +	0,32	0,58	0,08 +	0,27	16,3	0,3	0
Hanau										
Eberhardschule	9.299	0,081 +	0,094	0,24	0,88 +	0,06 +	0,18	5,3	0,2 +	0
Niedersachsen										
<u>Salzgitter-Lebenstedt</u>										
	15.747	0,070 +	0,194 +	0,47 +	0,92	0,05	0,22 +	5,7 +	0,4 +	0
Nordrhein-Westfalen										
<u>Düsseldorf</u>										
	8.496	0,093	0,135	0,28	1,89 +	0,07	0,21	7,03	0,09	0,01
<u>Duisburg</u>										
	8.621	0,135	0,188	0,56 +	1,29	0,10	0,34	20,86 +	1,35	0,01
<u>Oberhausen</u>										
	8.570	0,137	0,246	0,73 +	1,24	0,08	0,43 +	20,46	3,52 +	0,08
<u>Bottrop</u>										
	8.426	0,130	0,209	0,56	0,89	0,09	0,34	19,68	1,35	0
<u>Essen-Mitte</u>										
	8.544	0,117	0,193	0,47	1,09	0,09	0,29 +	15,36 +	0,40	0,01
<u>Essen-Süd</u>										
	8.209	0,093 +	0,135	0,31	2,24 +	0,07	0,23 +	8,13 +	0,12	0,01 +
<u>Gelsenkirchen</u>										
	8.571	0,128 +	0,197	0,49	1,24	0,09	0,32	18,17 +	0,92	0,05 +
<u>Wanne-Eickel</u>										
	8.592	0,124	0,182	0,42	1,39 +	0,10 +	0,28	15,81 +	0,56	0,05 +
<u>Recklinghausen</u>										
	8.606	0,111	0,178	0,41	0,94	0,08	0,28	14,27	0,23	0
<u>Bochum</u>										
	8.591	0,118	0,183	0,56 +	1,39 +	0,10 +	0,27	13,28	0,35	0,03
<u>Castrop-Rauxel</u>										
	8.630	0,136	0,204	0,45	1,14 +	0,11	0,32	21,44	0,73	0,03
<u>Dortmund</u>										
	8.493	0,106	0,154	0,51 +	1,14 +	0,08	0,25	11,75	0,26	0,02
<u>Hagen</u>										
	8.606	0,105	0,149	0,36	0,64	0,09	0,23	9,10	0,21	0
<u>Köln</u>										
Eifelwall	17.293	0,09	0,16 +	0,26	0,64	0,07	0,21	6,29	0,05	0
Buchforst	12.602	0,08 +	0,10	0,18	0,54	0,07 +	0,17	1,83	0,01	0
Ehrenfeld	16.883	0,10	0,17 +	0,29	0,61	0,08	0,24 +	8,92 +	0,04	0
Rheinland-Pfalz										
<u>Ludwigshafen</u>										
Luitpold-Schule	7.341 5)	0,07	0,16	0,78 +	1,41	0,06 +	0,26	8,09	1,46 +	0,26 +
Albert-Schweitzer-Schule 1)	11.011 5)	0,06	0,11	0,26	0,70	0,05	0,15	3,75	0,15	0
Greifenau-Schule	10.021 5)	0,08 +	0,13 +	0,31 +	1,11 +	0,07 +	0,20 +	5,89 +	0,20 +	0,02 +
Mainz										
Stadtwerke	11.867 5)	0,05	0,11	0,34 +	0,58	0,05	0,15	1,31	0,02 +	0
Saarland										
<u>Völklingen</u>										
Feuerwehr	10.059	0,11 +	0,19 +	0,41	1,10 +	0,10 +	0,29 +	15,62 +	0,30	0,01

+ Zunahme gegenüber dem Vorjahr

1) Neue Meßstelle gegenüber dem Vorjahr

2) Ausfall von April bis September

3) In Nordrhein-Westfalen (außer Köln) 4-Wochen-Mittelwerte

4) In Nordrhein-Westfalen (außer Köln) 60-Minuten-Mittelwerte

5) Ausfall der Werte von Juni bis September

6) Ausfall der Werte von Juli bis September

Die aufgeführten Kenngrößen liegen höher als bei Mitberücksichtigung der Sommermonate zu erwarten wäre

Tabelle 6: Ergebnisse von SO₂-Immissionsmessungen in µg/m³ im Raum Paris in der Zeit von Oktober 1971 bis September 1972 (Quelle: BULLETIN MENSUEL de la Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris)

Meßstelle	Maximales Mittel über 1 Tag	Meßstelle	Maximales Mittel über 1 Tag
Rue des Hospitalières Saint-Gervais	522	Bois de Boulogne	529
Tour Saint-Jacques (1er étage)	471	Avenue Parmentier	514
Tour Saint-Jacques (sommets)	552	Rue de Ménilmontant	469
Rue de la Paix	472	Route de Vaugirard	575
Rue de la Légion d'Honneur	565	Rue du Havre	674
Avenue Parmentier	576	Boulevard Berthier	814
Rue Jules Ferry	711	Rue Ferdinand Flocon	696
Porte de la Chapelle	574	Rue Robert Planquette	390
Avenue Valvein	401	Rue de la Providence	469
Rue Copernic	651	Rue Delambre	721
Rue de Richelieu	632	Rue de la Brèche-aux-Loups	462
Hôpital Beaujon	713	Dispensaire municipal, Rue du Chemin de Fer	573
Rue des Grilles	504	Ecole rue de Sèvres	649
Rue des Bauches	712	Ecole rue Lazare-Hoche	640
Rue Fondary	649	Ecole M. 25, rue Auguste Blanqui	385
			171
			242
			220
			197
			237
			269
			294
			164
			220
			276
			234
			190
			280
			245
			171

Tabelle 7 SO₂-Konzentrationen in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in den Niederlanden während einer Smogperiode
(17. September bis 7. Oktober 1971)
(Quelle: Analyse van de smogsituatie in de Randstad Holland, Instituut voor
Gezondheidstechniek TNO, Werkrapport G 500 (1971))

T a g	13.9.	14.9.	15.9.	16.9.	17.9.	18.9.	19.9.	20.9.	21.9.	22.9.	23.9.	24.9.	25.9.
Vlaardingen, Rathaus													
Tagesmittel	56	36	70	101	180	178	190	162	253	195	330	98	119
Maximaler 30-Min.-Wert	140	194	201	336	535	392	586	278	464	422	752	215	452
Vlaardingen, Watertoren													
Tagesmittel	46	59	75	93	152	163	148	99	156	116	244	77	76
Maximaler 30-Min.-Wert	122	240	268	222	548	486	930	216	370	335	655	204	363
Delft, TNO-Gelände													
Tagesmittel	105	158	197	(238)	(287)	(189)	260	377	595	504	302	(216)	
Maximaler 30-Min.-Wert	168	288	454	(295)	(355)	(230)	538	696	916	910	478	(254)	
T a g	26.9.	27.9.	28.9.	29.9.	30.9.	1.10.	2.10.	3.10.	4.10.	5.10.	6.10.	7.10.	1971
Vlaardingen, Rathaus													
Tagesmittel	102	203	168	302	251	257	204	202	96	155	230	176	
Maximaler 30-Min.-Wert	208	476	452	541	507	482	429	586	176	306	407	300	
Vlaardingen, Watertoren													
Tagesmittel	56	112	120	225	239	230	184	179	81	133	216	212	
Maximaler 30-Min.-Wert	186	275	323	524	554	725	655	524	198	268	550	308	
Delft, TNO-Gelände													
Tagesmittel				(372)	252	243	295	272	181	277	267	157	
Maximaler 30-Min.-Wert	-	-	-	(687)	407	421	529	544	347	690	620	248	
An den Tagen, für die eingeklammerte Ergebnisse angegeben sind, fehlten mehr als ein Drittel der 48 Halbstundeneinzelwerte.													

Tabelle 8 Jahresmittelwerte der SO₂-Konzentration (in µg/m³) im Vereinigten Königreich von Großbritannien
(WARREN SPRING LABORATORY, THIRTY-SECOND REPORT [9])

Anzahl der Meßstellen	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965
a) außerhalb von London											
22	240	225	229	252	202	197	201	216	180	175	
31		203	206	223	183	183	180	202	171	166	
49			205	230	190	178	184	200	168	163	
78				220	183	168	173	189	162	158	
b) London											
12	296	260	276	310	252	233	238	287	270	264	
17		246	262	301	238	220	225	268	241	238	
21			252	287	228	212	214	255	233	228	
23						211	213	252	231	227	
26							210	245	224	220	

Tabelle 9 Schwefeldioxid-Immissionen in London
(nach B.T. COMMINS und R.E. WALLER 1967)

Jahreszeitliche und jährliche Mittelwerte der SO₂-Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$
am St. Bartholomew's Hospital (ab 1964 am Medical College, 200 m vom erster
Standort entfernt)

	Sommer	Winter	Jahr
1954 - 1955	269	485	377
1955 - 1956	213	500	356
1956 - 1957	272	310	291
1957 - 1958	196	425	310
1958 - 1959	117	423	270
1959 - 1960	222	462	342
1960 - 1961	286	591	438
1961 - 1962	302	437	370
1962 - 1963	207	459	390
1963 - 1964	202	350	270
1964 - 1965	174	363	268
1965 - 1966	174	331	253
1954 - 1959	213	429	321
1959 - 1964	244	505	374
1954 - 1964	229	467	348

Höchste Meßwerte der Schwefeldioxid-Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ während Perio-
den mit hoher Luftverunreinigung

Winter	Zeit der Episode	Dauer der Episode Tage	Höchstes Tagesmittel	Höchstes Stundenmittel
1955 - 1956	4. - 6. 1.1956	3	1430	
1956 - 1957	18. - 19.11.1956	2	1373	
1957 - 1958	3. - 5.12.1957	3	3335	4200
	30. - 31. 1.1958	2	1350	2430
1958 - 1959	28. - 30. 1.1959	3	1850	4570
	16. - 19. 2.1959	4	1584	4460
1959 - 1960	12. - 13.11.1959	2	1467	3260
1960 - 1961	7. - 9.12.1960	3	1338	1510
	9. - 10. 3.1961	2	1164	1370
1961 - 1962	21. - 22.11.1961	2	1052	2230
1962 - 1963	3. - 7.12.1962	5	3834	5650
	23. - 26. 1.1963	4	1968	3060
	25.2. - 2. 3.1963	6	1206	1480
1963 - 1964	21. - 22. 1.1964	2	1548	2200

Tabelle 10: Ergebnisse von Schwefeldioxid-Immissionsmessungen in ppm*) in den Vereinigten Staaten von Amerika. Meßwerte des Continuous Air Monitoring Program aus den Jahren 1962-1967 6

S t a d t Meßzeitintervall	Maximum im Jahre**)					
	1962	1963	1964	1965	1966	1967
Chicago						
Stunde	<u>0,86</u>	<u>1,69</u>	1,12	1,14	0,98	1,11
Tag	<u>0,36</u>	0,71	<u>0,79</u>	0,55	0,48	0,65
Monat	<u>0,18</u>	0,33	<u>0,35</u>	0,27	0,27	0,32
Jahr	0,10	0,14	<u>0,18</u>	0,13	<u>0,09</u>	0,12
Cincinnati						
Stunde	0,46	0,48	0,55	<u>0,57</u>	<u>0,41</u>	0,42
Tag	0,11	0,11	0,14	<u>0,18</u>	<u>0,10</u>	0,13
Monat	<u>0,04</u>	<u>0,06</u>	<u>0,06</u>	<u>0,06</u>	0,05	<u>0,04</u>
Jahr	0,03	0,03	<u>0,04</u>	0,03	0,03	<u>0,02</u>
Philadelphia						
Stunde	<u>1,03</u>	0,85	0,84	0,94	<u>0,66</u>	0,77
Tag	<u>0,35</u>	<u>0,46</u>	0,43	<u>0,35</u>	0,36	<u>0,35</u>
Monat	0,13	<u>0,12</u>	<u>0,15</u>	0,13	0,13	0,13
Jahr	0,09	<u>0,06</u>	0,09	0,08	0,09	<u>0,10</u>
Washington						
Stunde	0,38	0,48	<u>0,62</u>	<u>0,35</u>	0,45	0,37
Tag	0,18	0,25	0,22	0,20	<u>0,25</u>	<u>0,15</u>
Monat	0,10	<u>0,11</u>	0,09	0,08	0,10	<u>0,07</u>
Jahr	<u>0,05</u>	<u>0,05</u>	<u>0,04</u>	<u>0,05</u>	<u>0,04</u>	-

*) 1 ppm SO₂ ≈ 2,8 mg SO₂/m³.

***) Höchste und niedrigste Werte sind unterstrichen.

Tabelle 11: Jahresmittelwerte des Schwefeldioxidgehalts der Luft in japanischen Städten in ppm 45

Stadt Meßstation	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
Tokyo Oberbürgermeister- amt	0,048	0,045	0,043	0,074	0,077	0,066	0,063	0,054	0,043
Yokohama Kanagawa Gesund- heitszentrum	-	-	-	0,024	0,028	0,03	0,04	0,030	0,041
Kawasaki Daishi Gesund- heitszentrum	-	-	-	0,11	0,11	0,10	0,07	0,060	0,052
Yokkaichi Isozu	-	-	0,075	0,083	0,059	0,081	0,052	0,051	0,039
Osaka Hygiene-Institut	-	-	-	0,051	0,084	0,078	0,082	0,073	0,063

Tabelle 12: Sulfate (als SO_3 berechnet) in Niederschlägen
in Berlin in $\text{g}/100 \text{ m}^2$. Monat
(April 1953 bis März 1973)

Jahr	Dahlem (Wohngebiet, Vorort)	Charlottenburg (Innenstadt)
1953/54		74
1954/55	77	99
1955/56	119	113
1956/57	84	105
1957/58	62	71
1958/59	74	98
1959/60	48	69
1960/61	66	78
1961/62	58	69
1962/63	41	50
1963/64	49	60
1964/65	55	71
1965/66	58	78
1966/67	63	77
1967/68	53	72
1968/69	58	83
1969/70	47	72
1970/71	50	79
1971/72	42	59
1972/73	56	71

Tabelle 13

Schwefel in Niederschlägen in Großbritannien

(K. PRINCE und F.F. ROSS 1972)

O r t	Som- mer	Win- ter	Som- mer	Win- ter	Som- mer	Win- ter	Som- mer	Win- ter	Som- mer	Win- ter	Som- mer				
	1959	59/ 60	1960	60/ 61	1961	61/ 62	1962	62/ 63	1963	63/ 64	1964	64/ 65			
	a) Mittlere monatliche Konzentrationen von Schwefel im Regenwasser [$\mu\text{g/l}$]														
Leeds	3,97	2,6	3,48	2,32	3,56	4,70	2,44	4,33	2,92	4,05	5,39	5,34	3,18	2,81	2,75
Rothamsted	2,88	2,25	2,23	1,81	1,62	1,74	1,74	2,51	1,92	3,33	3,58	3,48	2,28	3,11	2,20
Eskdalemuir	1,81	1,26	1,32	0,95	0,99	1,20	0,98	1,23	1,32	1,75	1,42	0,98	1,35	0,87	1,54
	b) Jährlicher Schwefelniederschlag [kg/ha]														
Leeds	15,18	18,36	21,46	19,98	21,26	19,58	15,50	13,86	18,22	16,14	15,54	13,88	18,96	22,94	21,98
Rothamsted	15,60	15,32	15,0	21,58	8,98	9,61	10,24	10,42	10,45	13,75	12,31	8,71	14,94	14,76	14,70
Eskdalemuir	25,82	33,84	15,80	13,86	10,94	15,64	17,47	11,82	18,26	16,44	18,26	12,88	18,54	12,02	18,42

Tabelle 14: Ergebnisse epidemiologischer Untersuchungen
über die Wirkung von Schwefeldioxid 3

<u>Konzentration $\sqrt{\text{mg SO}_2/\text{m}^3}$ Luft</u>	<u>Beobachteter Effekt</u>
ca. 1,5 als 24-Stunden-Mittel und gleichzeitig hoher Staubge- halt	Erhöhte Mortalität (Ergebnis aus den USA)
ca. 0,715 (und höher) als 24-Std.-Mittel und 0,75 mg Staub/ m^3	Erhöhte tägliche Todesrate (Ergebnis aus England)
ca. 0,5 als 24-Std.-Mittel und niedriger Staubgehalt	Erhöhte Mortalität (Ergebnis aus Holland)
0,3 - 0,5 (24-Std.-Mittel) und niedriger Staubgehalt	Vermehrte Aufnahme alter Personen in Krankenhäusern und häufigeres Fernbleiben von der Arbeitsstelle, insbesondere von älteren Personen (Ergebnisse aus Holland)
ca. 0,715 (24-Std.-Mittel) und erhöhter Staubgehalt	Starker Anstieg der Erkrankungs- rate bei Patienten über 54 Jahre mit schwerer Bronchitis (USA)
ca. 0,6 (24-Std.-Mittel) und Rauch-Konzentrationen von ca. 0,3 mg/m^3	Ausgeprägte Symptome bei Patienten mit chronischen Lungenerkrankungen (England)
0,105 - 0,265 als Jahresmittel und Rauch-Konzentrationen von ca. 0,185 mg/m^3	Häufigere Erkrankungen der Atem- wege und der Lunge (Italien)
ca. 0,12 (Jahresmittel) und Rauch-Konzentrationen von ca. 0,1 mg/m^3	Häufigere und schwerere Erkran- kungen der Atemwege bei Kindern (England)
ca. 0,115 (Jahresmittel) und Rauch-Konzentrationen von ca. 0,16 mg/m^3	Erhöhte Mortalität bei Bronchitis und Lungenkrebs (England)

Tabelle 15 Aufwendungen der Industrie in der Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 1969 bis 1971 für die Luftreinhaltung. Ergebnis einer Umfrage des Deutschen Industrie- und Handelstages 38

	Millionen DM	
Investitionskosten		2.021,5
davon für		
bestehende Anlagen	683,2	
neue Anlagen	1.059,1	
sonstige Maßnahmen	279,2	
Unterhaltskosten		1.128,4
davon für		
bestehende Anlagen	860,3	
neue Anlagen	216,5	
sonstige Maßnahmen	51,6	
Kosten für Forschung und Versuche		148,5
Summe:		3.298,4
=====		
Aufteilung nach Branchen:		
	Millionen DM	%
Bergbau	143,2	4,3
Steine, Erden, Energiewirtschaft	747,9	22,7
Eisen-, Stahl-, metallherstellungs- und -verarbeitende Industrie	1.134,6	34,4
Chemische Industrie, Mineralölindustrie	744,9	22,6
Sonstige Industrie	527,8	16,0
Summe:	3.298,4	100,0
=====		

Tabelle 16: Kosten der Luftreinhal tung für verschiedene industrielle Bereiche
in Großbritannien von 1958 bis 1968 [55]. Angaben in 1000 £

W e r k e	Investitions- kosten	Forschung und Entwicklung	Betriebskosten in 10 Jahren	Betriebskosten im letzten Jahr
Elektrizität	75.731	856	126.691	15.300
Zement	6.216	301	6.442	1.000
Erdöl	6.822	536	11.667	1.788
Gas	2.839	-	4.474	350
Kokereien	2.909	242	6.126	710
Kalk	976	4	707	118
Keramik	2.090	163	3.011	382
Eisen und Stahl	26.430	1.235	93.351	10.364
Nichteisenmetalle	5.762	656	16.449	2.262
Chemie	20.527	952	55.516	6.782
Summe:	150.302	4.945	324.434	39.056

Tabelle 17: Kosten der Schäden durch Luftverunreinigungen in den USA in Milliarden Dollar im Jahre 1968, nach Schadstoffen aufgliedert [57]

Wirkungen (Verlust-Kategorie)	SO _x	Staub	Oxydantien	NO _x	Summe
Wohneigenschaften (Wohnwertverluste)	2,808	2,392	-	-	5,200
Materialien	2,202	0,691	1,127	0,732	4,752
Gesundheit	3,272	2,788	-	-	6,060
Vegetation	0,013	0,007	0,060	0,040	0,120
=====	=====	=====	=====	=====	=====
Summe	8,295	5,878	1,187	0,772	16,132

Tabelle 18: Kosten der Schäden durch Luftverunreinigungen in den USA in Milliarden Dollar
im Jahre 1968, nach Quellen und Wirkungen aufgliedert [57]

Wirkungen	Stationäre Verfeuerung von Brennstoffen	Verkehrswesen	Industrielle Prozesse	Feste Abfälle	Verschiedenes	Summe
Wohneigenschaften (Wohnwertverluste)	2,808	0,156	1,248	0,104	0,884	5,200
Materialien	1,853	1,093	0,808	0,143	0,855	4,752
Gesundheit	3,281	0,197	1,458	0,119	1,005	6,060
Vegetation	0,047	0,028	0,020	0,004	0,021	0,120
Summe	7,989	1,474	3,534	0,370	2,765	16,132

Tabelle 19: Zusammenfassung und Reihenfolge von Schadensfaktoren 57

Nr.	M a t e r i a l	"Abnutzungswert" \$/Jahr	Gebrauchs- wert des exponierten Materials Mio \$	Ökonomischer Verlust Mio \$
1	Farben	0,50 · 10 ⁻¹	23,9	1195,0
2	Zink	0,29 · 10 ⁻¹	26,83	778,0
3	Zement und Beton	0,10 · 10 ⁻²	316,21	316,0
4	Nickel	0,25 · 10 ⁻¹	10,40	260,0
5	Baumwolle	0,40 · 10 ⁻¹	3,80	152,0
6	Zinn	0,26 · 10 ⁻¹	5,53	144,0
7	Synthetischer Gummi	0,10 · 10 ⁰	14,00	140,0
8	Aluminium	0,21 · 10 ⁻²	54,08	114,0
9	Kupfer	0,20 · 10 ⁻²	54,88	110,0
10	Wolle	0,40 · 10 ⁻¹	2,48	99,2
11	Natürlicher Gummi	0,10 · 10 ⁰	0,54	54,0
12	Gußeisen	0,50 · 10 ⁻²	10,76	53,8
13	Nylon-Fasern	0,40 · 10 ⁻¹	0,95	38,0
14	Zelluloseester-Fasern	0,40 · 10 ⁻¹	0,82	32,8
15	Ziegelsteine	0,10 · 10 ⁻²	24,15	24,2
16	Harnstoff und Melamin	0,10 · 10 ⁻¹	2,27	22,7
17	Papier	0,30 · 10 ⁻²	7,53	22,6
18	Leder	0,40 · 10 ⁻²	5,15	20,6
19	Bakelit	0,10 · 10 ⁻¹	1,98	19,8
20	Holz	0,10 · 10 ⁻²	17,61	17,6
21	Bausteine	0,23 · 10 ⁻²	7,65	17,6
22	Polyvinylchlorid	0,10 · 10 ⁻¹	1,54	15,4
23	Messing und Bronze	0,42 · 10 ⁻³	33,12	13,9
24	Polyester-Kunststoff	0,10 · 10 ⁻¹	1,37	13,7
25	Rayon-Fasern	0,40 · 10 ⁻¹	0,33	13,2
26	Magnesium	0,20 · 10 ⁻²	6,50	13,0
27	Polyäthylen-Kunststoff	0,10 · 10 ⁻¹	1,17	11,7
28	Acryl-Kunststoff	0,10 · 10 ⁻¹	1,00	10,0
29	Stahllegierungen	0,40 · 10 ⁻²	2,18	8,7
30	Polystyrol-Kunststoff	0,10 · 10 ⁻¹	0,85	8,5
31	Acryl-Fasern	0,40 · 10 ⁻¹	0,19	7,6
32	Azetat-Fasern	0,40 · 10 ⁻¹	0,19	7,6

Fortsetzung Tabelle 19

Nr.	M a t e r i a l	"Abnutzungswert" \$/Jahr	Gebrauchs- wert des exponierten Materials Mio \$	Ökonomischer Verlust Mio \$
33	Polyester-Fasern	0,40 · 10 ⁻¹	0,16	6,4
34	Polypropylen-Kunststoff	0,10 · 10 ⁻¹	0,64	6,4
35	Acrylonitril-Butadien-Styrol-Kunststoff	0,10 · 10 ⁻¹	0,61	6,1
36	Epoxyde	0,10 · 10 ⁻¹	0,47	4,7
37	Zellulose-Kunststoff	0,10 · 10 ⁻¹	0,40	4,0
38	Bituminöses Material	0,10 · 10 ⁻³	22,45	2,2
39	Graueisen	0,50 · 10 ⁻³	3,86	1,9
40	Nylon-Kunststoff	0,10 · 10 ⁻¹	0,17	1,7
41	Polyolefin-Fasern	0,40 · 10 ⁻¹	0,04	1,6
42	Rostfreier Stahl	0,85 · 10 ⁻⁴	18,90	1,6
43	Tonrohre	0,10 · 10 ⁻²	1,44	1,4
44	Azetat-Kunststoff	0,10 · 10 ⁻¹	0,12	1,2
45	Schmiedeeisen	0,16 · 10 ⁻²	0,58	0,9
46	Chrom	0,75 · 10 ⁻³	1,08	0,8
47	Silber	0,12 · 10 ⁻²	0,57	0,7
48	Gold	0,10 · 10 ⁻³	5,80	0,6
49	Flachglas	0,10 · 10 ⁻⁴	28,59	0,3
50	Blei	0,11 · 10 ⁻³	2,18	0,2
51	Molybdän	0,25 · 10 ⁻³	0,51	0,1
52	Keramik	0,10 · 10 ⁻⁴	1,93	0,02
53	Kohle und Graphit	0,10 · 10 ⁻⁵	0,30	0,00
Summe:				3800,00

Tabelle 20: Schätzungen der Emissionen in den USA für das Jahr 1968
in Millionen Tonnen pro Jahr 57

Quellengruppe	CO	Staub	SO _x	C _n H _m	NO _x
Verkehrswesen	63,8	1,2	0,8	16,6	8,1
Brennstoffverfeuerung in stationären Quellen	1,9	8,9	24,4	0,7	10,0
Industrielle Prozesse	9,7	7,5	7,3	4,6	0,2
Abfallbeseitigung	7,8	1,1	0,1	1,6	0,6
Verschiedenes	16,9	9,6	0,6	8,5	1,7
Summe	100,1	28,3	33,2	32,0	20,6

Abelle 21: Kosten für mit Luftverunreinigungen verbundene Krankheiten in den USA im Jahr 1958
(nach R.G. RIDKER (527))

Kostenart	Mit ausgewählten Krankheiten verbundene Kosten in Millionen Dollar							
	Krebs des Atemsystems	Chronische Bronchitis	Akute Bronchitis	Erkältungs- krankheiten	Lungen- entzündung	Emphyseme	Asthma	Summe
Vorzeiti- ger Tod	518	18	6		329	62	59	992
Vorzeiti- ges Begräb- nis	15	0,7	0,2		13	2	2	32,9
Behand- lung	35	89		200	73		138	535
Abwesen- heit	112	52		131	75		60	430
Summe:	680	159,7	6,2	331	490	64	259	1989,9

Tabelle 22: Ermittelte bzw. geschätzte Größe der durch Immissionen geschädigten Kulturflächen in einigen Ländern der Bundesrepublik Deutschland. (Nach Feststellung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten für das Jahr 1960.) / 27, Seite 287

L a n d	W a l d		Fläche in ha Landwirtschaft Obst- und Gartenbau		Unterglaskulturen	
	vorhanden	geschädigt	vorhanden	geschädigt	vorhanden	geschädigt
Baden-Württemberg	1.274.000	730 =0,057 %	1.920.000	900 =0,047 %	367,3	2,00 =0,545 %
Bayern	2.282.000	3.120 =0,136 %	3.962.000	1.680 =0,042 %	314,7	4,00 =1,271 %
Hessen	827.000	783 =0,095 %	1.000.000	+	170,5	+
Niedersachsen	934.000	3.493 =0,374 %	2.948.000	+	248,3	0,04 =0,016 %
Nordrhein-Westfalen	815.000	25.000 =3,067 %	2.026.000	50.000 =2,468 %	673,3	100,0 =14,852 %
Rheinland-Pfalz	750.000	1.282 =0,171 %	965.000	260 =0,027 %	92,0	+
Saarland	81.000	+	133.500	+	18,6	+

+ Erhebung nicht vorgenommen bzw. Schätzung z.Zt. nicht möglich.

Tabelle 23: Direkte Ernteverluste in Pennsylvania in 100 \$ pro Jahr, nach Ernteart und charakteristischem Fremdstoff geordnet (nach N.L. LACASSE und T.C. WEIDENSAUL, in 14, Seite 134)

Ernte	Stäube	HCl	SO ₂ und/ oder H ₂ SO ₄	Äthylen	Cumol	Oxydan- tien	Blei	Herbi- zide	CS Gas schlag von Petro- res leum Pro- dukten	An- de- res	Summe
Feldanbau (kommerziell)	33		32			360	1.640		15	4	2.084
Obst und Gemüse (kommerziell)			7			30.008					30.015
Obst und Gemüse (nicht kommer- ziell)	3				0,6						3,6
Bäume (Bauholz) (kommerziell)		200	194								394
Weihnachtsbäume (kommerziell)			141								141
Bäume (Schatten, Schmuck;nicht kommerziell)		1.000	106		27						1.133
Blumen u. Blatt- pflanzen (kommerziell)	261			92				140		72	565
Blumen u. Blatt- pflanzen (nicht kommerziell)			0,2		0,2	2		0,5			2,9
Rasen u. Sträucher (nicht kommerziell)			1.462		25						1.487
Summe	297	1.200	1.942,2	92	52,8	30.370	1.640	140,5	15	4	35.825,5

Tabelle 24: Kosten für Korrosion und Korrosionsschutz in Schweden in Millionen Schwedenkronen pro Jahr in bezug auf einige wichtige Konstruktionsmaterialien, die der Außenluft ausgesetzt sind. Die Angaben betreffen die Jahre 1970, 1982 und 2000. Der Einfluß der Schwefelverbindungen ist für verschiedene Alternativen der zukünftigen Entwicklung angegeben 8

Material	Kosten der Oberflächenbehandlung Krone/m ²	Gesamtfläche, die der Luft ausgesetzt ist m ² · 10 ⁶			Alternative (siehe Fußnoten)								
		Jahr			I		II		III		IV		
		1970	1982	2000	1982	2000	1970	1982	2000	1982	2000	1982	2000
Galvanisierter Stahl		240	297	465	140	230	80	110	180				
Profilstahl	6,50	36	45	71						90	150	70	120
Flachstahl	0,80	9	11	18	40	70	30	30	60	30	50	30	50
Nickel-plattierter Stahl	30 ¹⁾	636	788	1235	1160	1820	910	1130	1780	1110	1750	1080	1700
Holz mit Anstrich	15	535	663	1038	1420	2260	1070	1340	2130	1320	2040	1290	1990
Stahl mit Rostschutzfarbe	18				2760	4380	2090	2610	4150	2250	3990	2470	3860
Summe:													

- 1) Die Kosten schließen 70 % Zuschlag für Grundmaterial ein.
- I Die Großstadtatmosphäre bleibt unverändert; 1982 erreichen die Kleinstädte die Werte der Großstädte, die dann konstant bleiben.
- II Die gegenwärtige Situation bleibt unverändert.
- III 1982 sind die Großstadt-Werte auf das Niveau der Kleinstädte reduziert. Beide Werte bleiben dann konstant.
- IV 1982 sind die Großstadt-Werte auf die der Kleinstädte reduziert, die Kleinstadt-Werte sind auf die Hälfte vermindert; beide Werte bleiben dann konstant.

Anlage 1

Ronald G. Ridker: Economic Costs of Air Pollution (Ökonomische Kosten der Luftverunreinigung) [52]

Inhaltsverzeichnis

- Kapitel 1. Einführung: Standard-Angaben als Bezugsrahmen
- Kapitel 2. Strategien zur Messung der Kosten der Luftverunreinigung
- Direkte Wirkungen: Die Kosten der Verunreinigung bei Fehlen von Gegenmaßnahmen
- Individuelle Gegenmaßnahmen
- Marktwirkungen
- Eine Vorausschau von Untersuchungen
- Kapitel 3. Ökonomische Kosten der mit Luftverunreinigungen zusammenhängenden Krankheiten
- Luftverunreinigung und schlechte Gesundheit
- Die ökonomischen Kosten einer Krankheit
- Luftverunreinigung und Krankheitskosten
- Kapitel 4. Studien über Verschmutzung und über Materialschäden
- Beweise von Handel und Industrie
- Beweise von Haushaltungen
- Ein Vorschlag
- Kapitel 5. Studie über den Fall einer Verunreinigungs-Episode
- Die Episode und ihre Auswirkung auf den Verschmutzungsgrad
- Das Untersuchungsmodell
- Analyse der Meßwerte
- Psychische Kosten und Haltung gegenüber Ausgaben zur Luftreinhaltung

- Kapitel 6. Vermögenswerte und Luftverunreinigung:
Eine Überkreuz-Studie einer Stadt
- Das Modell und seine Variablen
Berichtigungen für Multikollinearität
Schlußfolgerungen
- Kapitel 7. Vermögenswerte und Luftverunreinigung:
Eine Zeit-Folge-Studie
- Hintergrund und Näherungsmethode
Ergebnisse und Interpretationen
- Kapitel 8. Einige Ratschläge für zukünftige Studien
- Die Kosten der Verunreinigung in Abwesenheit
von Gegenmaßnahmen
Studien betreffs individueller Gegenmaßnahmen
Studien über den Vermögenswert

Anlagen

- A Bewertung der Hausfrauen-Tätigkeit
- B Detaillierte Tabellen zum Kapitel 3
- C Andere Studien über Krankheit und Luft-
verunreinigung
Sterblichkeitsraten und Luftverunreinigung
Abwesenheitszeiten durch Krankheit und
Luftverunreinigung
- D Der für Ermittlungen in Haushaltungen ver-
wendete Fragebogen
- E Beispiel von den im Kapitel 5 verwendeten
Fragebögen
- F Beschreibung und Quellen von Werten für
Kapitel 6
- G Zusammensetzung der in Kapitel 7 angesetzten
Vermögenswert-Indizes

Tabellen im Text

- 1 Derzeitiger Wert der wegen Todesfällen infolge ausgewählter Krankheiten entgangenen Verdienste
- 2 Begräbniskosten bei vorzeitigem Tod infolge bestimmter Krankheiten
- 3 Zusätzliche Kosten für mit Luftverunreinigungen verbundene Krankheiten
- 4 Kosten für die Innenreinigung kommerzieller Gebäude und Staubkonzentrationen (mit Korrelationskoeffizienten)
- 5 Luftverunreinigungs-Kenngrößen für Untersuchungsgebiete
- 6 Ausgewählte Antworten auf Fragen über Reinigung und Wartung in Untersuchungsgebieten
- 7 Ausgewählte unabhängige Variablen für Untersuchungsgebiete
- 8 Zahlungsbereitschaft (pro Monat) für die Luftreinhaltung
- 9 Interviews in verunreinigten Gebieten
- 10 Kosten für Reinigungen und Schäden bei dem Verunreinigungsfall in Syracuse
- 11 Verbesserte Kostenschätzungen
- 12 Zusammenstellung der Antworten auf Fragen zur Zahlungsbereitschaft
- 13 Zusammenstellung von Antworten auf Fragen über Prioritäten von Ausgaben, darunter für die Luftreinhaltung
- 14 Alternative Gleichungen für die Schätzung der mittleren Vermögenswerte nach der Volkszählung von 1960 für den Großstadtraum St. Louis

- 15 Schätzungen der Zunahme von Vermögenswerten bei vorgegebenen Abnahmen von Sulfat-Werten
- 16 Vermögenswerte und ausgewählte Kenngrößen bei vergleichenden Untersuchungen in St. Louis
- 17 Median- und Regressions-Werte für Vermögenswerte, 1957 bis 1965

Tabellen in den Anlagen

- 1 Gegenwärtiger Wert zukünftiger Einkommen nach Alter und Geschlecht für das Jahr 1960
- 2 Gegenwärtiger Wert der Einkommensverluste durch Todesfälle infolge Krebserkrankungen der Atemwege
- 3 Gegenwärtiger Wert der Einkommensverluste durch Todesfälle infolge chronischer Bronchitis
- 4 Gegenwärtiger Wert der Einkommensverluste durch Todesfälle infolge akuter Bronchitis
- 5 Gegenwärtiger Wert der Einkommensverluste durch Todesfälle infolge Emphysemen
- 6 Gegenwärtiger Wert der Einkommensverluste durch Todesfälle infolge Asthma
- 7 Gegenwärtiger Wert der Einkommensverluste durch Todesfälle infolge Pneumonie
- 8 Gegenwärtiger Wert von verschobenen Begräbnissen

Abbildungen

- 1 Gesamtkosten, Summe der Gesamtkosten und ~~Zusatzkosten~~
- 2 Häufigkeit der Anstriche bei elektrischen Schaltstationen in Beziehung zur Luftverunreinigung
- 3 Verunreinigtes Gebiet mit topographischen Gegebenheiten

- 4 Verunreinigungsgebiete und Orte von Befragungen
- 5 Diagramm für Reinigungskosten in Abhängigkeit von einem Luftverunreinigungsindex
- 6 Diagramm von Ansprüchen an Versicherungen in Abhängigkeit von einem Luftverunreinigungsindex
- 7 Hypothetische Beziehung zwischen Reinigungskosten und Luftverunreinigung
- 8 Untersuchungsgebiet in St. Louis
- 9 Median- und Regressions-Werte für Vermögenswerte, 1957 bis 1965

Anlage 2

Die ökonomischen Kosten

(Übersetzung aus dem Bericht des Committee on Air Pollution
("Beaver-Report"), London 1954)

Unser Zwischenbericht bezifferte einige frühere Schätzungen der Gesamtkosten der Luftverunreinigung auf 100 bis 150 Millionen £ pro Jahr. Alle Schätzungen sind notwendigerweise wegen des Mangels entsprechender Daten und wegen der großen Verschiedenartigkeit möglicher Schäden und Verluste etwas mutmaßlich. Viele Ereignisse lassen sich kaum nach dem Geldwert messen. Bei anderen ist das zwar möglich; es können aber nur wenige und ungenaue Informationen erhalten werden. Man kann jedoch begründete Schätzungen der breiten Größenordnung machen, indem man nur diejenigen spezifischen Fälle in Rechnung stellt, für die ein ungefährender Geldwert angegeben werden kann.

Die ökonomischen Auswirkungen der Verunreinigung können unter 2 Gesichtspunkten betrachtet werden: direkte Kosten und Nutzwert-Verlust.

Die direkten Kosten schließen ein: Waschen und Reinigung in Haushalten; Reinigung, Anstreichen und Reparaturen von Häusern; Korrosion von Metallen, welche nicht nur Kosten für Ersatzteile, sondern auch für Korrosionsschutz etc. verursacht. Schaden an Sachgütern; zusätzliche Beleuchtung; besondere Krankenhaus- und medizinische Behandlung etc.

Nutzwert-Verluste schließen zum Beispiel ein: Auswirkungen von Schäden an Boden, Ernte und Nutzvieh auf die Landwirtschaft; Störungen des Transportwesens; durch Krankheit reduzierte

Leistungsfähigkeit des Menschen.

Wir haben bei sehr verschiedenen Quellen Erhebungen über die Kosten für die beiden Schadensgruppen angestellt. Nach Prüfung aller Angaben, die wir zu erhalten vermochten, halten wir die Feststellung für gerechtfertigt, daß die Luftverunreinigung zur Zeit die Nation jährlich 250 Millionen £ allein für die Verluste kostet, die in Geldwert angegeben werden können. Im Anhang II ist erläutert, auf welche Weise diese Schätzung zustande kam.

Nicht enthalten ist der Wert des Brennstoffes, der durch unvollständige Verbrennung - einer der Hauptgründe für die Rauchbildung - verlorengelht. Dieser beträgt wahrscheinlich zwischen 25 und 50 Millionen £ pro Jahr. Dieser Verlust stellt eine Kohleverschwendung dar (wahrscheinlich immerhin 10 Millionen t), die die Nation sich nicht leisten kann und in der Zukunft sich noch weniger wird leisten können. Wie bereits angeführt sind auch diejenigen Kosten nicht enthalten, die nicht in Geldwert angegeben werden können, obwohl sie sehr hoch sein können, zum Beispiel Verluste an Glück und Gesundheit.

Es ist genug für den Beweis gesagt worden, daß die Luftverunreinigung, wie sie heute in diesem Land auftritt, ein soziales und wirtschaftliches Unglück erster Ordnung ist. Sie schadet nicht nur der Gesundheit und dem Glück des Menschen, sondern ist auch eine verschwenderische Vergeudung materieller Hilfsquellen. Die Ausgaben für Verhinderungsmaßnahmen würden nur einen Teil der Einsparungen ausmachen, die sich durch diese Maßnahmen ergeben würden. Die Forderung nach vorbeugenden Aktionen ist unüberhörbar. Nach allen Tatsachen, die wir hörten, und nach den Überlegungen, die wir zu diesem Problem anstellten, sind wir überzeugt, daß eine effektive Vorbeugung möglich ist. Wir waren im Verlauf unserer Untersuchungen von der Eindeutigkeit der Meinungen zu diesen beiden Punkten und von der wachsenden Forderung der Öffentlichkeit nach aktiven Maßnahmen stark beeindruckt.

Anlage 3

J.J. DUMONT und J.M. FOLZ: Le coût des effets de la pollution atmosphérique. Pollution Atmosphérique 14, 329 - 352 (1972)

Verzeichnis der Tabellen

- 1 Verteilung der Todesfälle auf die Hauptursachen im Jahr 1969
- 2 Anteil der "suspekten" Krankheiten an den Todesursachen in den Jahren 1958 bis 1969
- 3 Todesfälle infolge Krebs der Atemwege und gesamte Todesfälle durch Krebs in den Jahren 1958 bis 1968
- 4 Morbidität in 110 Krankenhäusern im Jahr 1969
- 5 Verteilung der Konsultationen und Arztbesuche auf die hauptsächlichsten Krankheiten im Jahr 1968
- 6 Affekte von längerer Dauer oder Pflege-Anforderungen für mehr als 6 Monate
- 7 Prüfungen beim Eintritt der Invalidität durch die Zentralverwaltung der Sozialversicherung
- 8 Morbidität einer Bevölkerungsgruppe (November 1965 bis Mai 1966). Klassifizierung der beobachteten Affekte
- 9 Untersuchungen über die Morbidität einer Bevölkerungsgruppe. Ersatzansprüche für Pflege, nach Art der Affekte untergliedert
- 10 Pflegekosten im Jahr 1967
- 11 Leistungen der Zentralverwaltung der Sozialversicherung für Krankheiten im Jahr 1970
- 12 Betrag der Leistungen von 1952 bis 1954 pro Versicherten, nach den hauptsächlichsten Kategorien der Diagnose aufgliedert

- 13 Einweisungen in öffentliche Krankenanstalten im Jahr 1968
- 14 Ärztliche Verschreibungen des Arzneimittelverbrauchs für
100 Personen in einem Monat

Anhang

- 1 Umsätze der Wäschereien im Jahre 1966
- 2 Angaben über die französische Bevölkerung im Jahr 1966
- 3 Mittlere Ausgaben für Wäschereien und Färbereien pro
Einwohner im Jahr 1966
- 4 Verbrauch von Kohle und Öl im Jahr 1966

Anlage 4

Larry B. Barrett und Thomas E. Waddell: Cost of Air Pollution Damage: A Status Report (Kosten der Schäden durch die Luftverunreinigung: Ein Bericht über den gegenwärtigen Stand) /57/

Inhaltsverzeichnis

- Kapitel 1. Einführung
Zweck
Hintergrund
Richtung
Methode
- Kapitel 2. Wirkungen auf die menschliche Gesundheit
Individuelle Studien
Nationale Schätzungen
- Kapitel 3. Wirkungen auf Sachgüter
Individuelle Studien
Nationale Schätzungen
- Kapitel 4. Wirkungen auf die Vegetation
Individuelle Studien
Nationale Schätzungen
- Kapitel 5. Schmutz
Individuelle Studien
Schlußfolgerungen
- Kapitel 6. Wirkungen auf die Gesundheit von Tieren
- Kapitel 7. Wirkungen auf ästhetische Eigenschaften
Individuelle Studien
Schlußfolgerungen
- Kapitel 8. Wirkungen auf den "Wohnwert"
Individuelle Studien
Nationale Schätzungen

- Kapitel 9. Prozeßwesen
- Kapitel 10. Kosten der Luftverunreinigung nach Kategorien
Emissionsquellen
Zuweisung von Kosten
- Kapitel 11. Diskussion
Schadensschätzungen
Informationslücken und Datengrenzen

Literaturhinweise (72 Zitate)

Tabellen im Text

- 1 Wirkungen von Fremdstoffen nach dem Typ des
Rezeptors
- 2 Kosten für mit Luftverunreinigungen verbundene
Krankheiten
- 3 Jährliche Gesundheitskosten der Luftverunreini-
gung
- 4 Ökonomischer Wert von Materialien, die der
Luftverunreinigung ausgesetzt sind
- 5 Zusammenfassung und Reihenfolge von Schadens-
faktoren
- 6 Geschätzte Kosten von Materialien, die gegen
Luftverunreinigungen beständig sind
- 7 Kosten der verkürzten Lebensdauer von Gummi-
produkten
- 8 Geschätzte Kosten der Farbbleichung bei
Textilien
- 9 Zusammenfassung der Daten von der Untersuchung
des Mellon-Institutes über Verschmutzungen

- 10 Zusammenfassung der Daten des Beaver-
Reports über Verschmutzungen
- 11 Beziehung von Reinigungs- und Wartungs-
diensten zum Staubgehalt der Luft
- 12 Reinigungskosten nach Betriebsstörung
einer Kesselanlage
- 13 Geldsummen, die Befragte in Morgantown
(West Virginia) jährlich für eine Verrin-
gerung der Luftverunreinigung bezahlen
würden
- 14 Nationale Kosten der Schäden durch Luft-
verunreinigungen im Jahre 1968, nach
Schadstoffen aufgegliedert
- 15 Nationale Kosten der Schäden durch Luft-
verunreinigungen im Jahre 1968, nach
Quellen und Wirkungen aufgegliedert
- 16 Schätzungen der gesamten Emissionen in
den USA im Jahre 1968

VERTRIEBSSTELLEN

Alle von der Kommission der Europäischen Gemeinschaften veröffentlichten Dokumente werden durch das Amt für amtliche Veröffentlichungen bei den nachstehenden Anschriften zu dem unten angegebenen Preis verkauft. Bei schriftlicher Bestellung bitte die genaue Referenz und den Titel des Dokumentes deutlich angeben.

DEUTSCHLAND (BR)

Verlag Bundesanzeiger
5 Köln 1 — Postfach 108 006
Fernschreiber : Anzeiger Bonn 08 882 595
Tel. (0221) 21 03 48
Postscheckkonto 834 00 Köln

BELGIEN

Moniteur belge — Belgisch Staatsblad
Rue de Louvain, 40-42 — Leuvenseweg 40-42
1000 Bruxelles — 1000 Brussel. — Tel. 12 00 26
CCP 50-80 — Postgiro 50-80

Nebenstelle :
Librairie européenne — Europese Boekhandel
Rue de la Loi 244 — Wetstraat 244
1040 Bruxelles — 1040 Brussel

GROßHERZOGTUM LUXEMBURG

*Amt für amtliche Veröffentlichungen
der Europäischen Gemeinschaften*
Case postale 1003 — Luxembourg 1
und 29, rue Aldringen, Bibliothek
Tel. 4 79 41 — CCP 191-90
Compte courant bancaire : BIL 8-109/6003/200

FRANKREICH

*Service de vente en France des publications
des Communautés européennes*
26, rue Desaix
75 Paris-15^e — Tel. (1) 306 5100
CCP Paris 23-96

ITALIEN

Libreria dello Stato
Piazza G. Verdi 10
00198 Roma — Tel. (6) 85 09
CCP 1/2640

Nebenstellen :
00187 Roma — Via del Tritone 61/A e 61/B
00187 Roma — Via XX Settembre (Palazzo
Ministero delle finanze)
20121 Milano — Galleria Vittorio Emanuele 3
80121 Napoli — Via Chiaia 5
50129 Firenze — Via Cavour 46/R
16121 Genova — Via XII Ottobre 172
40125 Bologna — Strada Maggiore 23/A

NIEDERLANDE

Staatsdrukkerij- en uitgeverijbedrijf
Christoffel Plantijnstraat
's-Gravenhage — Tel. (070) 81 45 11
Postgiro 42 53 00

GROßBRITANNIEN UND COMMONWEALTH

H.M. Stationery Office
P.O. Box 569
London S.E. 1

VEREINIGTE STAATEN VON AMERIKA

European Community Information Service
2100 M Street, N.W.
Suite 707
Washington, D.C., 20 037

IRLAND

Stationery Office
Beggar's Bush
Dublin 4

SCHWEIZ

Librairie Payot
6, rue Grenus
1211 Genève
CCP 12-236 Genève

SCHWEDEN

Librairie C.E. Fritze
2, Fredsgatan
Stockholm 16
Post-Giro 193, Bank Giro 73/4015

SPANIEN

Libreria Mundi-Prensa
Castello 37
Madrid 1

ANDERE LÄNDER

*Amt für amtliche Veröffentlichungen
der Europäischen Gemeinschaften*
Case postale 1003 — Luxembourg 1
Tel 4 79 41 — CCP 191-90
Compte courant bancaire : BIL 8-109/6003/200

PREIS : BF 195.-