Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss foresty journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 136 (1985)

Heft: 3

Artikel: Waldsterben : Forstschädlinge und Luftverschmutzung

Autor: Baltensweiler, Werner

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-764467

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 15.07.2025

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

Waldsterben: Forstschädlinge und Luftverschmutzung[1]

Von *Werner Baltensweiler*
(Aus dem Institut für Phytomedizin der ETH Zürich, CH-8092 Zürich)

Oxf.: 425:453:48

Den beiden Herren em. Prof. für Forstentomologie Dr. A. Pfeffer, Tschechoslovakische Akademie der Wissenschaften, Prag, und Dr. P. Bovey, Entomologisches Institut der ETH Zürich, in Würdigung ihrer wissenschaftlichen Leistungen zum 80. Geburtstag in Dankbarkeit gewidmet.

1. Einleitung

Für einmal ist vom Angelsächsischen ein Wort aus der deutschen Sprache entlehnt worden: das Waldsterben. Tatsächlich kennt das Englische keinen Begriff, der die vielseitige Bedeutung dieses Wortes, sei es nun emotional, ökonomisch oder wissenschaftlich gemeint, auch nur annähernd beinhaltet. Weil das Waldsterben als ökologische Erscheinung nicht auf eine einfache Weise erklärbar ist, überraschte auch das gegenseitige Überwälzen der Verantwortlichkeit für die allgemeine Luftverschmutzung nicht. Und umgekehrt werden die Forstleute immer wieder an die Arbeit von *H.F. Fleming,* Oberforst- und Wildmeister in Sachsen, aus dem Jahre 1724 erinnert: Klimabedingtes Waldsterben und das «Wurm-Geschmeisse» habe es schon früher gegeben. Falls man jedoch diesen Bericht aufmerksam und unvoreingenommen liest, stellt man überraschenderweise fest, dass selbst H.F. Fleming das Waldsterben nicht leicht erklären konnte:

§ 8: «Woher und durch was [für] Ursachen dergleichen Gewürme und Geschmeisse generiert werde, ist nicht so leicht zu sagen; ob sie anderswo etwan bey grossen Winden herbygeführt werden, oder ob solche die bösen Nebel, Thaue, grosse Dürre, oder Influenzen des Himmels erzeugen. Man sollte fleissiger bey erfahrnen Jagd- und Forst-Bedienten Erkundigung einziehen, . . .»

Wenn jedoch die Fachwelt angeklagt wird, vor einer gefährlichen Auslösung des Waldsterbens durch die Luftverunreinigung nicht schon lange gewarnt zu haben, muss folgendes gesagt sein: Es ist richtig, dass das Problem «Luftverunreinigung» in jüngster Zeit als etwas Nebensächliches verkannt worden ist. Ein

[1] Aus dem Englischen übersetztes und überarbeitetes Referat, gehalten an der gemeinsamen Tagung der beiden IUFRO-Arbeitsgruppen «Populationsdynamik von Forstinsekten» und «Integrierte Bekämpfung von Scolytidae» in Göttingen (BRD), 12. bis 18. August 1984.

Vergleich der Behandlung des Problems in den Lehrbüchern kann dies belegen: Im zweibändigen Werk «Forstschutz» von *Hess-Beck* (1914–1916) waren von 1017 Seiten deren 30 dem Problem der Rauchschäden gewidmet, in Schwerdtfegers «Waldkrankheiten» (1981, 4. Auflage, 486 S.) genügten noch 8 Seiten. Es stimmt, dass selbst die Forstwissenschaft von der Entwicklung überrascht wurde, zwar weniger durch die Sache an sich, als durch die Plötzlichkeit und das Ausmass der Erscheinung. *Smith* (1981) schreibt in seinem umfassenden Lehrbuch «Air Pollution and Forests»: «Severe impact of air pollutants on forests are dramatic, but judged relatively unimportant because of their extremely localized nature». Um jedoch korrekt zu sein, muss jene Gruppe von Forstwissenschaftern erwähnt werden, die in der IUFRO-Arbeitsgruppe «Luftverunreinigung» zusammengeschlossen seit 1957 in 10 Tagungen und über 300 Vorträgen das Problem «Luftverunreinigung und Wald» diskutiert hat. Allein, die Warnungen wurden nicht gehört.

Es dürfte von allgemeinem Interesse sein, die Bedeutung der Forstinsekten in einem unter Luftverschmutzung leidenden Wald zu kennen. Mangels entsprechender persönlicher Kenntnisse stützen sich die nachfolgenden Ausführungen auf die einschlägige Literatur. Infolge der stark voneinander abweichenden Lebensweisen werden dabei die Borkenkäfer von den blatt- und nadelfressenden Insekten getrennt behandelt.

2. Zu den Massenvermehrungen der Borkenkäfer

Bereits 1839 machte sich Wiegmann Gedanken darüber, ob die Borkenkäfer nur kranke oder aber auch gesunde Bäume befallen können (in *Schimitschek,* 1969). Solche Überlegungen führten im Laufe der Zeit zur Einteilung der Borkenkäfer in sogenannte primäre und sekundäre Schädlinge, das heisst in Arten, welche entweder nur gesunde oder nur geschwächte und kranke Bäume befallen. Die Einteilung an sich ist nicht falsch; sie verhinderte aber in ihrer etwas dogmatischen Aussage lange die differenziertere Betrachtung der sehr dynamischen Wechselbeziehung Pflanze-Insekt. Zunächst stellt sich die Frage wie die Borkenkäfer überhaupt die Wirtsbäume und unter diesen die befallsfähigen erkennen. Bei *Dendroctonus frontalis,* einem gefürchteten Borkenkäfer der Föhrenbestände in den Südstaaten der USA, sind diese Auswahlmechanismen zwar nur unvollständig bekannt *(Coulson,* 1980), doch dürften dabei sowohl geruchliche und visuelle Reize als auch zufälliges Suchen beteiligt sein. Kürzlich wurde gezeigt, dass dem räumlich und zeitlich zufälligen Auftreten von Blitzeinschlägen eine entscheidende Bedeutung in der artspezifischen Überlebenstrategie des Käfers zukommt (Coulson et al., 1983). Die 20 bis 70 Föhren, die durchschnittlich pro Jahr und km^2 vom Blitz getroffen werden, geben leichtflüchtige Wundstoffe ab. Einige wenige dieser Bäume werden von einzelnen Käfern

gefunden. Beim Eindringen ins Phloem werden sodann nicht nur vom Baum, sondern auch vom Käfer neue Duftstoffe abgegeben. Dieses kombinierte Signal verstärkt die Lockwirkung und löst damit eine rasche Kolonisierung des Baumes aus. Die rasche Folge von 3 bis 9 Generationen/Jahr und Geschwisterbruten führen dann leicht zu verheerenden Massenvermehrungen. Wegen des raschen und flächigen Absterbens der Bestände brechen aber diese Gradationen schon nach 2 bis 3 Jahren wieder zusammen *(Payne,* 1980).

Der gefährlichste Borkenkäfer Europas, *Ips typographus,* weist nur ein bis zwei, in besonders warmen Sommern drei Generationen pro Jahr auf. *Schwerdtfeger* (1957) zählt seit 1850 fünf grossräumige Massenvermehrungen mit Einschlägen von mehr als 1 Million Festmeter auf, die alle nach Trockenperioden von Arealen mit Windwurf- und Schneebruchschäden oder Kahlfrassschäden durch die Nonne *(Lymantria monacha)* ausgingen. Die genau gleiche Folge von Ereignissen wurde bei der jüngsten Borkenkäfer-Katastrophe in Skandinavien *(Bakke,* 1983, *Maksymov,* 1980) beobachtet. *D. frontalis* und *I. typographus* sind Beispiele von Borkenkäfern, deren Massenvermehrungen in räumlicher und zeitlicher Hinsicht extrem unterschiedlich, aber nach ähnlichen Mechanismen ablaufen:

	Räumliche Entstehung	*Dauer*
Dendroctonus frontalis	lokal	kurz, 2 bis 3 Jahre
Ips typographus	grossräumig	lang, 5 bis 7 Jahre

Raffa und *Berryman* (1983) gingen der Frage nach, ob sich die Resistenz der Wirtsbäume oder aber die Aggressivität der Borkenkäfer zu Beginn einer Massenvermehrung von *Dendroctonus ponderosae,* einer Scolytidae auf *Pinus ponderosae* im Nordwesten der USA, ändere. Sie stellten in sorgfältig geplanten Freilandversuchen fest, dass sich im Verlaufe einer beginnenden Massenvermehrung die geruchliche Umwelt der Käfer drastisch wandelt. Während in der noch individuenarmen Latenzphase der erfolgreiche Befall geschwächter Bäume das Angebot geeigneten Brutmaterials zusehends erschöpft, wächst bei einer Übervermehrung nach der Art einer positiven Rückkoppelung die Menge der Käfer und des Brutmaterials zunehmend an. Der Befall gesunder Bäume, das heisst die Entwicklung von *D. ponderosae* vom sekundären zum primären Schädling kann somit zwanglos als eine normale Kolonisierung durch eine Vielzahl von Käfern verstanden werden. Durch den gleichzeitigen Befall wird der Abwehrmechanismus der Bäume erschöpft. Dieser Vorgang ist oft schwierig zu erkennen, weil Phloemdicke und Harzfluss gegenläufige Auswirkungen auf die Populationssdynamik der Käfer ausüben. Ein dickes Phloem bietet wohl optimale Brutbedingungen, hat aber auch einen reichlichen Harzfluss zur Folge wodurch eine erfolgreiche Besiedlung der Stämme verhindert wird. Harzterpene werden aber auch zur Bildung der Aggregationspheromone gebraucht. Solche gegensätzliche Wirkungen werden als Grund dafür angegeben, dass in den ozongeschädigten *Pinus ponderosa*-Beständen östlich von Los Angeles keine

Massenvermehrungen von *D. ponderosae* aufkamen *(Cobb et al.,* 1968). Über ein ähnliches Beispiel berichtete *Templin* (1962) aus der Industrieregion von Leipzig, wo die Bastkäfer *Blastophagous piniperda* und *Phaenops cyanea* in den stark immissionsgeschädigten Föhrenbeständen eine geringere Dichte aufwiesen als in den weiter entfernten, ungeschädigten Beständen. *Keller* (1984) betont, dass Pflanzen auf geringe Intensitäten von Luftverschmutzung reagieren, lange bevor sichtbare Symptome erkannt werden können. Falls diese grundsätzliche Feststellung wirklich bestätigt würde, bedeutet dies, dass die Empfindlichkeit der Bäume gegenüber den Borkenkäfern dauernd erhöht ist. Als Folge davon wird nicht nur die mittlere Populationsdichte der Borkenkäfer ansteigen, sondern es werden auch grössere finanzielle Mittel zu deren Überwachung und zur Ausübung einer sauberen Forstwirtschaft aufgewendet werden müssen.

3. Blattfressende Forstschädlinge

Massenvermehrungen blatt- und nadelfressender Insekten sind im Gegensatz zu den Übervermehrungen der Borkenkäfer schwieriger mit konditionierenden Einflüssen in Verbindung zu bringen. Obwohl zahlreiche Versuche in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts, dafür eine Erklärung zu finden, scheiterten, erlauben sie, in Verbindung mit neuen Erkenntnissen folgende Aussagen zu machen:

1. Die Zeitspanne, in welcher sich die Massenvermehrungen verschiedener Schädlinge wiederholten, verringerte sich im Mittel von etwa 14 Jahren am Ende des 18. Jahrhunderts auf etwa 6 Jahre zu Beginn des 20. Jahrhunderts *(Carpenter,* 1940).

2. Die Häufigkeit, das Ausmass und die Intensität der Massenvermehrungen verstärkten sich im Laufe der letzten 200 Jahre beträchtlich *(Blais,* 1983; *Eidmann,* 1931; *Klimetzek,* 1979; *Seitschek,* 1982).

3. Relativ seltene Insekten wurden zu Schädlingen in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts *(Führer,* 1983), oder bekannte Forstschädlinge weisen hohe Populationsdichten an Orten auf, wo dies früher nie beobachtet wurde *(Schwenke et al.,* 1982).

Obwohl zweifellos vermehrte Kenntnisse und eine bessere Dokumentation wesentlich zur ersten Feststellung beitragen, widerspiegeln die drei Aussagen zusammen eine Erscheinung, für die, unkritisch betrachtet, leicht die Luftverschmutzung verantwortlich gemacht werden könnte. Im Interesse der wissenschaftlichen Objektivität ist es aber unumgänglich, zuerst die Wirkungen von Klima und forstlicher Bewirtschaftung zu untersuchen.

3.1 Klima und Massenvermehrungen von Forstschädlingen

Die Schwankungen des Klimas während der letzten 200 Jahre sind gut dokumentiert *(Rudloff,* 1967; *Schönwiese,* 1979). In unserem Zusammenhang sind besonders zwei überdurchschnittlich warme Perioden in Zentraleuropa, nämlich 1890 bis 1900 und 1940 bis 1950, von Bedeutung. In diesen Zeiträumen beobachtete man zum Beispiel in Finnland eine stete Zunahme verschiedener Schmetterlingsarten südlicher Herkunft, seit 1930 aber sogar Massenvermehrungen *(Kaisila,* 1962). Die Analyse des Auftretens von Forstschädlingen ergab ähnliche Resultate. So häuften sich die Übervermehrungen von Schädlingen der Waldföhre im nördlichen Bayern und in der Pfalz westlich des Rheins seit 1890 und erneut seit 1920 (Klimetzek, 1979). Unerwarteter Schadenfrass der Nonne *(Lymantria monacha)* im Alpenraum auf über 1000 m bestätigen deren Begünstigung durch höhere Temperaturen *(Pschorn-Walcher,* 1954; Maksymov, 1965).

3.2 Forstliche Bewirtschaftung

Obwohl Klimaschwankungen die Populationsdynamik von Forstinsekten deutlich beeinflussten, vermochten sie aber die Waldvegetation Europas in den letzten 2000 Jahren nicht entscheidend zu verändern. Dass sich die Zusammensetzung der Wälder trotzdem geändert hat, ist dem Menschen zuzuschreiben, und dieser Einfluss war seit 1800 besonders stark. Damals betrug das Verhältnis von Laubholz zu Nadelholz 7:3, heute ist es gerade umgekehrt *(Plochmann,* 1983). In der Folge des Nadelholzanbaues erhöhte sich die Produktivität in 150 Jahren um das vierfache, aber ebenso wuchs die Häufigkeit grossräumiger Massenvermehrungen der Nadelholzschädlinge (Klimetzek, 1979; *Komarek,* 1931; Schwerdtfeger, 1981). In beispielhafter Weise sind diese Zusammenhänge für das Waldgebiet der Pfalz bekannt: Weil dort seit 1925 die Buche anstelle der Waldföhre begünstigt wurde, traten seither anstelle der Massenvermehrungen des Kiefernspanners *(Bupalus piniarius)* solche des Buchenrotschwanzes *(Dasychira pudibunda)* verstärkt auf (Klimetzek, 1972). Nach Blais (1983) sind auch die Gradationen des Tannentriebwicklers *(Choristoneura fumiferana)* im Nordosten Kanadas, wo seit 1951 allein in der Provinz New Brunswick im Jahresdurchschnitt über 1 Million ha Wald mit Insektiziden behandelt werden *(Task-Force,* 1976), in ihrem Ausmass auf die menschlichen Eingriffe in das Wald-Ökosystem zurückzuführen. Kahlschlag von Beständen zur Papierholzgewinnung, die Verhütung von Waldbränden und die Verwendung von Insektiziden lassen Balsamtannen-Weissfichtenbestände heranwachsen, welche optimale Vermehrungsbedingungen für den Tannentriebwickler bringen.

3.3 «Neue» Forstschädlinge

Praktisch unbekannte nadelfressende Insekten befielen in den letzten Jahren verschiedenerorts die Fichte *(Tabelle 1)*.

Tabelle 1.

Art	*Region*	*Wirt**	*Referenz*
Cephalcia falleni Dalm.	Polen	1	Sierpinski, 1984
Gilpinia pallida, Klug.	Kärnten	1	Schmutzenhofer, 1973
Cephalcia abietis L.	Zentraleuropa	1	Schwenke *et al.*, 1982
Epinotia pygmaeana Hb.	Schweiz	1	Maksymov, 1983
Zeiraphera diniana Gn.	Zentraleuropa	1	Pfeffer, 1930, Prell, 1930, Sierpinski, 1984, Šrot und Švestka, 1980
	Grossbritannien	2, 3	Day, 1984
Operophthera brumata L.	Schottland	3	Stoakley, 1984

* 1 *Picea abies* 2 *Pinus contorta* 3 *Picea sitchensis*

Sierpinski (1984) bezeichnet diese Arten als sogenannte Bioindikatoren der Luftverschmutzung, und tatsächlich lässt das zeitliche und räumliche Auftreten der Schädlinge einen solchen Zusammenhang vermuten. Ebenso nennt Führer (1983) einige dieser Arten in Beziehung zur Luftverschmutzung, erwähnt aber gleichzeitig, dass bis jetzt noch kein eindeutiger Beweis für einen Kausalzusammenhang geleistet werden konnte. Die wissenschaftliche Erfahrung lehrt uns leider, dass auch in weiterer Zukunft keine rasche Antwort zu erwarten ist.

Die angeführten Beispiele dürften jedoch gezeigt haben, dass sowohl Witterung wie auch die Bewirtschaftung das Auftreten von Massenvermehrungen bestimmen. Es scheint jedoch eine Ausnahme zu geben: *Zeiraphera diniana,* der graue Lärchenwickler. Dieser Wickler verheerte die subalpinen Lärchen-Arvenwälder seit 1850 sechzehn Mal. Obschon dreimal kühles und nasses Wetter das typische Schadenausmass im Engadin deutlich beeinflusste, wurde die Periodizität nicht verändert. Jahrringuntersuchungen aus der Periode der «kleinen Eiszeit» im 17. Jahrhundert und auch im 18. Jahrhundert erbrachten aber den Nachweis, dass zum Beispiel im Goms die zyklische Fluktuation unterdrückt war *(Schweingruber,* 1979). Damit wären auch die Massenvermehrungen des Lärchenwicklers keine Ausnahme von der Regel, doch stellt die unerwartete Verheerung der Fichtenwälder im Erzgebirge von 1924 bis 1931 nach wie vor ein Rätsel dar. Bis ins 15. Jahrhundert hinein war diese Gegend mit einem zusammenhängenden Buchen-Tannenwald bestockt, um 1800 begann die rasche Umwandlung in einen Fichtenwald *(Müller,* 1935). Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurde erstmals vermutet, dass die übermässig auftretenden Rauhreif- und Windwurfschäden den aus der böhmischen Industrieregionen kommenden und ungehindert über die kahlen Südhänge aufsteigenden Winden zuzuschreiben seien:

«Nicht zu widerlegen ist jedoch die bis heute von den meisten erzgebirgischen Forstbeamten aufgestellte Behauptung, dass die Nebel- und Rauhreifbildung durch die kohlenstoffschwangere Luft im Gebiete des nordwestböhmischen Braunkohlebeckens eine wesentliche Verstärkung erfährt, . . .» *(Döbele,* 1935).

Im Jahre 1924 begann die erste, etwa 100 000 ha umfassende Massenvermehrung des Lärchenwicklers *(Prell,* 1930; *Pfeffer,* 1930). Seit 1950 verursachten wiederholte Massenvermehrungen des Lärchenwicklers sowie Schneebruch und Luftverschmutzung die Zerstörung von mehr als 100 000 ha Wald *(Wentzel,* 1982). Die Agonie der Fichtenwälder im Erzgebirge charakterisiert in drastischer Weise die Entwicklung des «Waldsterbens» *(Abbildung 1).* Prell schrieb 1930 das plötzliche Auftreten des Lärchenwicklers auf Fichte einer Mutation zu. Heute wissen wir, dass diese Ansicht nicht zutrifft. Über die eigentlichen Ursachen dieser Massenvermehrungen auf Fichte sind wir aber nach wie vor im unklaren, obwohl *Z. diniana* zu den am besten untersuchten Forstinsekten gehört. Eine Analyse der Witterungsbedingungen ergab seinerzeit, dass diese die Überlebensbedingungen der Fichtenform begünstigt hatten *(Baltensweiler,* 1966), doch es ist nicht auszuschliessen, dass auch andere Prozesse in noch unbekannter Weise eine auslösende Wirkung ausübten.

Witterung und forstliche Bewirtschaftung tragen somit dazu bei, dass die Massenvermehrungen von Forstinsekten in den letzten 200 Jahren verstärkt aufgetreten sind. Von den beiden Einflüssen ist zweifellos jener des Menschen auf die natürliche Umwelt der wichtigere. Nur damit lässt sich zum Beispiel das

Abbildung 1. Entwaldete Hochflächen im Erzgebirge. Rechts: Fichtenbestand; linker Bildrand: Buche. Der Hügel am Horizont auf einer Höhenlage von 900 m war früher nach Aussagen der lokalen Forstleute bis zur Krete bewaldet. (Aufnahme: *B. Schmid)*

Ausbleiben der Heuschreckeninvasionen verstehen wie sie noch bis ins letzte Jahrhundert hinein häufig waren, oder etwa auch das Verschwinden des Maikäfers aus Zentraleuropa.

4. Luftverschmutzung – Pflanze – Insekt

Obwohl in den letzten Jahren die Meldungen über Massenvermehrungen von Insekten im Zusammenhang mit Immissionen stark zugenommen haben, geben nur wenige Arbeiten Anhaltspunkte über ursächliche Interaktionen. Auf Abgasemissionen längs Autobahnen wurden Massenvermehrungen von Raupen aus der Familie der Schadspinner und von Blattläusen auf Bäumen und Sträuchern in England *(Port* und *Thompson*, 1980) und in der Schweiz *(Flückiger et al.,* 1978; *Braun* und Flückiger, 1984) zurückgeführt. *Dohmen et al.* (1984) erzielten im Freilandexperiment mit SO_2 und NO_2 sowie der Stadtluft von London ein ähnlich starkes Populationswachstum der schwarzen Bohnenblattlaus auf Erbse wie es in den ausgedehnten Erbsenkulturen östlich Londons beobachtet wird. Weil dem Stickstoff in verschiedenster Form für die Ernährung der Insekten grösste Bedeutung zukommt *(Lawton* und *McNeill,* 1979) überrascht es nicht, wenn die Anreicherung der Nahrung mit essentiellen Nährstoffen zu Massenvermehrungen führt.

In einer ausführlichen Arbeit über die Veränderungen der Fauna in Föhrenbeständen infolge von Fluor- und SO_2-Immissionen aus einer nahegelegenen Industrieanlage bei Roumare (Seine-Maritime) kommt *Villemant* (1979) zum Schluss, dass phytophage Insekten durch die Verschmutzung gefördert werden, die Populationsdichte von zoophagen und lichnophagen Arten aber verringert wird. Es zeigt sich, dass Schlupfwespen sehr unterschiedlich reagieren. So fehlen in der Nähe der Emissionsquelle die ectoparasitären Schlupfwespen währenddem die Endoparasitoide eher häufig sind. Obwohl diese Beobachtung vermuten lässt, dass Fluoride und Schwefeloxide die Ectoparasitoide ähnlich wie die Biene direkt schädigen *(Alstad et al.,* 1982) und zudem der katastrophale Befall durch den Kiefernknospentriebwickler und das Fehlen der artspezifischen Parasitoide von *Rhyacionia buoliana* räumlich auffälligerweise übereinstimmen, erlaubte der Umfang der Untersuchungen nicht, einen direkten ursächlichen Nachweis für diese Massenvermehrung zu liefern.

Viele Forstschädlinge aus den Ordnungen der Schmetterlinge und der Hautflügler sind für ihre Polymorphismen morphologischer, physiologischer und ethologischer Art bekannt. Diese Polymorphismen vermitteln den Arten eine sehr grosse Anpassungsfähigkeit, um jene Stress-Situationen zu meistern, welche in zufälliger oder in einer von der Populationsdichte abhängigen Weise auftreten. Andererseits beeinflussen Witterung, Luftverschmutzung und Insektenfrass auch die Physiologie der Bäume auf mannigfache Art. Die Stärke dieser Einflüsse auf die Lebenskraft der Bäume kann durch die Verminderung des

Wachstums gemessen werden. Während nun aber die Einwirkung von Witterung und Insektenfrass früher oder später wieder nachlässt, scheinen die Folgen der Luftverschmutzung zuzunehmen und sich zu kumulieren. Jahrringanalysen haben ergeben, dass die Weisstanne *(Abies pectinata)* etwa 10 bis 20 Jahre, die Waldföhre *(Pinus silvestris)* etwa 20 bis 40 Jahre nach Beginn der Schädigung absterben (Schweingruber et al., 1983). Während einer derart lange andauernden Schwächung verändern sich die evoluierten Abwehrmechanismen gegenüber Insekten. Es ist unvermeidlich, dass besondere Morphe diese Gelegenheit ausnützen und sich derart vermehren, bis ihre Wirkung zum Tod des Baumes führt. Die langlebigen Bäume sind somit bei dieser neuen Umwelterscheinung «Luftverschmutzung» gegenüber den Insekten benachteiligt.

5. Schlusswort

Obwohl unser Verständnis der Massenvermehrungen von Forstschädlingen und ihr Einfluss auf die Waldökosysteme noch lange nicht zufriedenstellend ist, bedeutet die Luftverschmutzung eine neue, zusätzliche Variable in einem bereits sehr komplexen System. In Anbetracht der oft sehr unspezifischen und lange verzögerten Reaktion der Bäume auf Immissionen dürfte es nie möglich sein, einen direkten Kausalzusammenhang anzuführen, und dies gilt umsomehr für eine Interaktion Immission-Pflanze-Insekt. Die in der Physik oder in der Rechtssprechung übliche Auffassung, dass einer Ursache auch eine Wirkung entsprechen müsse, ist in diesem Falle fehl am Platz. Umfassende Fallstudien aus der Zeit vor der globalen Luftverschmutzung lehren uns, dass sowohl Klimaschwankungen als auch die Bewirtschaftung der Wälder zu einer Zunahme der Massenvermehrungen beigetragen haben. Diese Tatsache ist ein Beweis für die ausserordentlich rasche Anpassungsfähigkeit der Insekten. Desgleichen sind aber diese Insekten auch befähigt, direkte oder indirekte Veränderungen in ihrer Umwelt in der Folge der Luftverschmutzung rasch auszunützen und dabei das Waldsterben zu beschleunigen. Drei Schlussfolgerungen drängen sich auf:

- Die Luftverschmutzung muss so rasch wie möglich und so gut wie möglich eingeschränkt werden. Das Auftreten neuer Schädlinge an vielen Orten in der nördlichen Hemisphäre sollte eine Warnung sein.
- Um das Waldsterben so lange wie möglich hinauszuzögern, müssen die Wälder sorgfältig überwacht und wirkungsvolle Massnahmen gegen mögliche Massenvermehrungen vorgesehen werden.
- In besonderen Fällen sind autökologische und populationsökologische Studien zur Bedeutung des Polymorphismus von phytophagen Insekten im Zusammenhang mit der Luftverschmutzung zu fördern.

Résumé

Le dépérissement forestier: les insectes nuisibles en liaison avec la pollution atmosphérique

Les mécanismes et l'étendue de la pollution atmosphérique favorisant la multiplication massive d'insectes et accélérant en cela le dépérissement forestier sont complexes et ne sont que partiellement connus. Les pullulations de scolytes peuvent se développer dans le temps et dans l'espace de manières extrêmement différentes. Un point leur est cependant commun, à savoir que les mécanismes de défense des plantes-hôtes ont été auparavant affaiblis. Les causes déclenchant les gradations des insectes s'attaquant aux aiguilles et aux feuilles sont de nature plus diverse. Il est démontré que le climat favorable et l'exploitation forestière des 200 dernières années ont activé leur apparition. A côté de nombreux cas non élucidés, quelques exemples sont connus dans lesquels la pollution atmosphérique a entraîné une amélioration de l'offre des substances nutritives ce qui a conduit à des pullulements d'insectes suceurs de sucs végétaux. Dans d'autres cas nous avons des points de repère, comme quoi les pullulations de déprédateurs sont advenues à cause des dommages directs causés à la faune des parasitoides, on ne peut cependant le prouver formellement vu la complexité de la situation écologique. Les différentes substances nocives de l'atmosphère représentent pour la forêt de nouveaux facteurs de stress allant s'amplifiant, face auxquels les arbres, macrophites, comparés aux insectes phytophages, à vie courte et adaptables, sont désavantagés de façon durable et non naturelle. De là la nécessité impérieuse d'enrayer la pollution atmosphérique par tous les moyens et aussi rapidement que possible.

Traduction: *S. Croptier*

Alstad, D.N., G.F. Jr. Edmunds, L.H. Weinstein (1982): Effects of air pollutants on insect populations. Ann. Rev. Entomol. *27:* 369–384.

Bakke, A. (1983): Host tree and bark beetle interaction during a mass outbreak of *Ips typographus* in Norway. Z. ang. Ent. *96:* 118–125.

Baltensweiler, W. (1966): Zur Erklärung der Massenvermehrung des Grauen Lärchenwicklers *(Zeiraphera griseana* Hb. = *diniana* Gn.) I. Die Massenvermehrungen in Mitteleuropa. Schweiz. Z. Forstwes. *117:* 466–491.

Blais, J.R. (1983): Trends in the frequency, extent and severity of spruce budworm outbreaks in eastern Canada. Can. J. For. Res. *13:* 539–547.

Braun, S., W. Flückiger (1984): Increased population of the aphid *Aphis pomi* at a motorway. 2. The effect of drought and deicing salt. Environ. Pollut. Series A, *36:* 261–270.

Carpenter, J.R. (1940): Insect outbreaks in Europe. J. Anim. Ecol. *9:* 108–147.

Cobb, F.W. Jr., D.L. Wood, R.W. Stark, J.R., Jr. Parmeter (1968): Theory on the relationships between oxidant injury and bark beetle infestation. Hilgardia *39,* 6: 141–152.

Coulson, R.N. (1980): Population Dynamics. In: The Southern Pine Beetle. Ed. by R.C. Thatcher, J.L. Searcy, J.E. Coster and G.D. Hertel. USDA For. Serv. Tech. Bull. 1631.

Coulson, R.N., P.B. Hennier, R.O. Flamm, E.J. Rykiel, L.C. Hu, T.L. Payne (1983): The role of lightning in the epidemiology of the Southern Pine Beetle. Z. ang. Ent. *96:* 182–193.

Day, K. (1984): Phenology, polymorphism and insect-plant relationships of the larch bud moth, *Zeiraphera diniana* (Guenée) (Lepidoptera: Tortricidae), on alternative conifer hosts in Britain. Bull. ent. Res. *74:* 47–64.

Döbele, E. (1935): Die Raureifbruchzone im Erzgebirge. Tharandter Forstl. Jbch. *86:* 565–650.

Dohmen, G.P., S. McNeill, J.N.B. Bell (1984): Air pollution increases *Aphis fabae* pest potential. Nature *307:* 52–53.

Eidmann, H. (1931): Zur Kenntnis der Periodizität der Insektenepidemien. Z. angew. Entomol. *18:* 537–567.

Fleming, H.F.v. (1724): Des Vollkommenen Teutschen Jägers Anderer Hauptteil. Leipzig, 1724: 75–77.

Flückiger, W., J.J. Oertli, W. Baltensweiler (1978): Observations of an Aphid Infestation on Hawthorn in the Vicinity of a Motorway. Naturwissenschaften *65,* 654–655.

Führer, E. (1983): Das Immissionsproblem und der Forstschutz. Allgemeine Forstzeitung *94:* 164–166.

Hess, R., R. Beck (1914): Der Forstschutz. Bd. 1, 4. Aufl. 537 S.

Kaisila, J. (1962): Immigration and Expansion der Lepidopteren in Finnland in den Jahren 1869–1960. Acta Entomolo. Fenn. *18:* 9–452.

Keller, T. (1984): Die Auswirkungen von Immissionen auf Waldbäume. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes. Bericht 255: 1–23.

Klimetzek, D. (1972): Das Vorkommen des Buchenrotschwanzes *(Dasychira pudibunda* L.) in der Pfalz. Allg. Forst- u. J.-Ztg. *143:* 192–195.

Klimetzek, D. (1979): Insekten-Grossschädlinge an Kiefer in Nordbayern und der Pfalz: Analyse und Vergleich 1810–1970. Inst. Forstzool. Univ. Freiburg i.Br. *2:* 5–173.

Komarek, J. (1931): Die Nonnen-Katastrofe in den Jahren 1917–1927. Rec. Trav. Inst. Rech. Agronom. ČSSR, Prague *78:* 5–256.

Lawton, J.H., S. McNeill (1979): Between the devil and the deep blue sea: on the problem of being a herbivore. In: Population Dynamics. Ed. by R.M. Anderson, B.D. Turner, and L.R. Taylor 20th Symp. British Ecol. Soc. Blackwell Sci. Publ. 1979.

Maksymov, J.K. (1965): Ein gefährlicher Forstschädling in den Walliser Alpen: Die Nonne. Wald und Holz, *47,* 4: 130–132.

Maksymov, J.K. (1980): Borkenkäferbekämpfung mit Hilfe von Pheromonen. Schweiz. Z. Forstwes. *131:* 821–832.

Maksymov, J.K. (1983): Apparition en masse de la petite tordeuse de l'épicea, *Epinotia (Asthenia) pygmaeana* Hb. dans les Alpes valaisannes. Schweiz. Z. Forstwes. *134,* 6: 455–458.

Müller, G. (1935): Zur Forst- und Wirtschaftsgeschichte des Marienberger Forstbezirkes im Erzgebirge. Tharandter Forstl. Jbch. *86:* 121–164.

Payne, T.L. (1980): Life History and Habits. In: The Southern Pine Beetle. Ed. by R.C. Thatcher, J.L. Searcy, J.E. Coster and G.D. Hertel. USDA For. Serv. Tech. Bull. 1631.

Pfeffer, A. (1930): Der Lärchenwickler-*Enarmonia (Epinotia, Steganoptycha) diniana* Gn. *(pinicolana* Z.) Lesn. Pr. *9,* 1–24 (in tschechisch, Zusammenfassung in deutsch).

Plochmann, R. (1983): Seit 20 000 Jahren. Die Wandlungen des Waldes. Bild d. Wissensch. *12,* 89–95.

Port, G.R., J.R. Thompson (1980): Outbreaks of insect herbivores on plants along motorways in the United Kingdom. J. appl. Ecol. *17:* 649–656.

Prell, H. (1930): Der Graue Lärchenwickler *(Enarmonia diniana* Z.) Tharandter Forstl. Jbch. *81:* 49–92.

Pschorn-Walcher, H. (1954): Die «Zunahme» der Schädlingsauftreten im Lichte der rezenten Klimagestaltung. Anz. für Schädlingskunde *27:* 89–91.

Raffa, K.F., A.A. Berryman (1983): The role of host plant resistance in the colonization behavior and ecology of bark beetles (Coleoptera: Scolytidae). Ecological Monographs *53,* 1: 27–49.

Rudloff, H.v. (1967): Die Schwankungen und Pendelungen des Klimas in Europa seit dem Beginn der regelmässigen Instrumenten-Beobachtungen (1670). F. Vieweg und Sohn, Braunschweig, 370 S.

Schimitschek, E. (1969): Grundzüge der Waldhygiene. Paul Parey, Hamburg und Berlin, 167 S.

Schmutzenhofer, A. (1973): Zum Auftreten und zur Bekämpfung der Kiefernbuschhornblattwespe, *Gilpinia pallida* Klug. in Kärnten. Allg. Forstztg. *84:* 25–26.

Schönwiese, C.D. (1979): Klimaschwankungen. Verständl. Wiss.schaft Bd. 115, Springer Berlin, Heidelberg, New York.

Schweingruber, F.H. (1979): Auswirkungen des Lärchenwicklerbefalls auf die Jahrringstruktur der Lärche. Schweiz. Z. Forstwes. *130:* 1071–1093.

Schweingruber, F.H., R. Kontic, A. Winkler-Seifert (1983): Eine jahrringanalytische Studie zum Nadelbaumsterben in der Schweiz. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Bericht 253: 3–29.

Schwenke, W., U. Skatulla, K.L. Pausch (1982): Erkennen und Bekämpfen wichtiger Forstschädlinge. AFZ *37:* 429–442.

Schwerdtfeger, F. (1957): Die Waldkrankheiten. Paul Parey, Hamburg und Berlin, 2. Auflage, 485 S.

Schwerdtfeger, F. (1981): Die Waldkrankheiten. Paul Parey, Hamburg und Berlin, 4. Auflage, 486 S.

Seitschek, O. (1982): Die gegenwärtige Waldschutzsituation in Bayern. AFZ *37:* 423–428.

Sierpinski, Z. (1984): Über den Einfluss von Luftverunreinigung auf Schadinsekten in polnischen Nadelbaumbeständen. Forstw. Cbl. *103:* 83–91.

Smith, W.H. (1981): Air Pollution and Forests. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.

Šrot, M., M. Švestka (1980): Evaluation of the effectiveness of aerial action against caterpillars of the larch bud moth *(Zeiraphera diniana* Guen.) in 1980. In tschechisch, Zusammenfassung in englisch. Lesnická Práce *59:* 531–534.

Stoakley, J.T. (1985): Outbreaks of Winter moth, *Operophtera brumata* in young plantations of Sitka spruce in Scotland. Proceedings IUFRO meeting in Göttingen, August 13–17, 1984. Z. angew. Ent. *98:* (in press).

Task-Force (1976): Report of the Task-Force for evaluation of Budworm control alternatives. Dept. of Natural Resources, Fredericton, N.B.

Templin, E. (1962): Zur Populationsdynamik einiger Kiefernschadinsekten in rauchgeschädigten Beständen. Wiss. Z. Tech. Univ. Dresden *11,* 3: 631–637.

Villemant, C. (1979): Modifications de l'entomocenose du pin sylvestre en liaison avec la pollution atmosphérique en Fôret de Roumare (Seine-Maritime). Thèse Université P. et M. Curie, Paris 6.

Wentzel, K.F. (1982): Ursachen des Waldsterbens in Mitteleuropa. AFZ *37:* 1365–1368.