

Aus dem Institut für Geographie und Geoökologie
der Akademie der Wissenschaften der DDR,
Bereich Ökologisch-ökonomische Systeme
(Bereichsleiter: Dr. sc. H. Kroske)

Düngung als ökologische Komponente zur Stabilisierung der Vitalität immissionsgefährdeter Wälder

Von **Horst Paucke**

Mit 6 Abbildungen und 2 Tabellen

(Eingegangen am 23. Juni 1977)

1. Ziel

Vorliegende Arbeit hat zum Ziel, wesentliche Wirkungszusammenhänge zwischen Düngung und immissionsgeschädigten Waldökosystemen zu erfassen. Ausgangspunkt dafür bilden die physiologischen Schädigungen, die durch SO_2 -Immissionen an Nadelbäumen hervorgerufen werden, sich in akuten und chronischen Prozeßabläufen manifestieren und von morbiden bis zu letalen Erscheinungsformen reichen. Dabei soll sichtbar gemacht werden, wie bestimmte Düngungskomponenten in das physiologische Geschehen eingreifen und toxische Prozesse abschwächen bzw. kompensieren. Da die Düngung weniger über die Blattoorgane als vielmehr über das Wurzelsystem wirkt, wird versucht, die vielfältigen ökologischen Prozesse zu skizzieren, die durch die Düngung ausgelöst bzw. beeinflusst werden, um die grundlegenden und komplexen Beziehungen zu verdeutlichen, die zwischen SO_2 -Immissionen und Düngung bestehen.

2. Einfluß von SO_2 -Immissionen auf Nadelwälder

Wintergrüne Nadelwälder sind durch SO_2 -Immissionen besonders stark gefährdet, weil die Nadeln auch im Winter trotz Drosselung der Atmungstätigkeit SO_2 über die Spaltöffnungen aufnehmen, das gerade im Winterhalbjahr in außerordentlich hoher Konzentration in industriellen Ballungsgebieten vorhanden ist, die durchschnittlich weit über dem empfohlenen MIK-Wert (Maximale Immissions-Konzentration) für Pflanzen liegt (Paucke, Möller und Lux 1976). Die wesentlichsten Faktoren für die Immissionswirkung sind vor allem die Schadstoffkonzentration und deren Einwirkungsdauer. Außerdem spielen die Toxizität des Schadstoffes, die relative Rauchempfindlichkeit der Pflanzenart bzw. der Einzelpflanze, die entwicklungsphysiologische Phase der Pflanze zum Zeitpunkt der Schadstoffeinwirkung und die Prädisposition der Pflanze, die sich in ihrer Vitalität und im Ernährungszustand zeigt, eine große Rolle. Darüber hinaus tragen alle ökologischen Bedingungen, die eine Erweiterung der Spaltöffnungen fördern (Licht, Wärme, Luftfeuchtigkeit), dazu bei, daß sich die Schadwirkung der toxischen Stoffe verstärkt (Däfler 1976; Börtitz 1976).

Um eine genauere Vorstellung von den Beziehungen zwischen Schadgas und Schädigung zu erhalten, wurde der Versuch unternommen, die toxische Wirkung von Schwefeldioxid in ihren wesentlichsten Phasen in einem Schema (Abb. 1) zu erfassen und den Unterschied zwischen chronischen und akuten Schädigungen zu verdeutlichen.

Auf die Assimilationsorgane und damit auf die Gesamtpflanze bezogen, heißt das, daß je nach Immissionsintensität entweder chronische Wirkungen in Form von Chlorophylldefekten auftreten, die Funktionsstörungen und Ertragsdepressionen verursachen, oder akute Wirkungen in Form von Protoplasmadefekten vorkommen, die innere und äußere Pflanzenteile zerstören (Keller 1964). Daraus ergibt sich, daß chronische Schädigungen in erster Linie physiologische Schädigungen darstellen, die äußerlich nur schwer zu erkennen sind. Die Grenze zwischen beiden Schädigungsarten ist fließend, allein schon deshalb, weil SO_2 nicht einseitig nur auf das Chlorophyll oder nur auf das Protoplasma wirkt, sondern gleichzeitig beide Pflanzenbestandteile angreift. Bei geringen SO_2 -Konzentrationen treten keine Störungen auf, weil dann das SO_2 offensichtlich in den Sulfatstoffwechsel einbezogen wird. Erst wenn die pflanzenverträglichen Schwellenwerte überschritten sind, kommt es zu Schädigungen und zur Ausprägung der spezifischen Schadenssymptome.

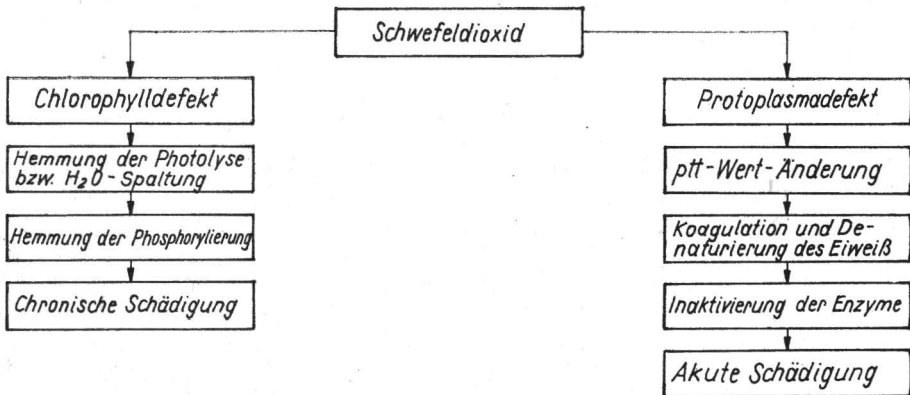


Abb. 1. Chronische und akute Schädwirkungen durch Schwefeldioxid

Obwohl der Chemismus der SO_2 -Wirkung in der Pflanzenzelle noch nicht bis ins Detail bekannt ist, geht aus den bisherigen Untersuchungsergebnissen jedoch hervor, daß der Einfluß von SO_2 auf die Assimilationsorgane einen mehr oder weniger tiefen Eingriff in den Photosynthese-Stoffwechsel darstellt. Daher ist die Reaktion der Pflanze auf Schadstoffe insbesondere an Veränderungen des CO_2 -Stoffwechsels erfassbar. Trotz der Kompliziertheit und Komplexität der bei der Photosynthese ablaufenden physiologischen, biophysikalischen und biochemischen Prozesse (Wießner 1975) sind die direkten Angriffspunkte des SO_2 in der Pflanzenzelle aber bereits bekannt. So gehen die akuten Schädigungen auf einen direkten Säureangriff auf das Protoplasma zurück, in dessen Folge eine Denaturierung des Plasmaeiweißes infolge Koagulation auftritt. Damit geht eine Inaktivierung der Enzyme einher, da ihre Wirksamkeit an das Vorhandensein von lebendem Plasmaeiweiß gebunden ist. Dagegen resultieren chronische Schädigungen aus einer Verhinderung der kontinuierlichen Übertragung photochemischer Energie auf das CO_2 , wodurch Photolyse und Phosphorylierung gehemmt werden. Diese Hemmungen äußern sich in Verdrängungs- und Konkurrenzreaktionen sowie in der Behinderung des Elektronentransports, so daß der normale Ablauf des für den Stoffaufbau und die Energiegewinnung so wichtigen Zitronensäurezyklus nicht mehr gewährleistet ist (Abb. 2). Dies wiederum löst physiologische Kettenreaktionen aus, die sich hauptsächlich in Defekten im Stoff- und Wasserhaushalt repräsentieren, die die Lebenstätigkeit der Bäume beeinträchtigen und zu Resistenz- und Vitalitätsverlusten führen (Abb. 3).

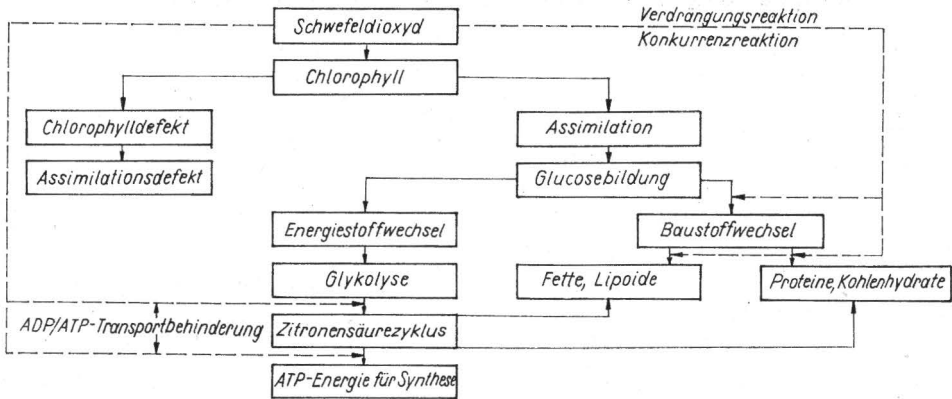


Abb. 2. Assimilationsdefekt durch SO₂-Immission

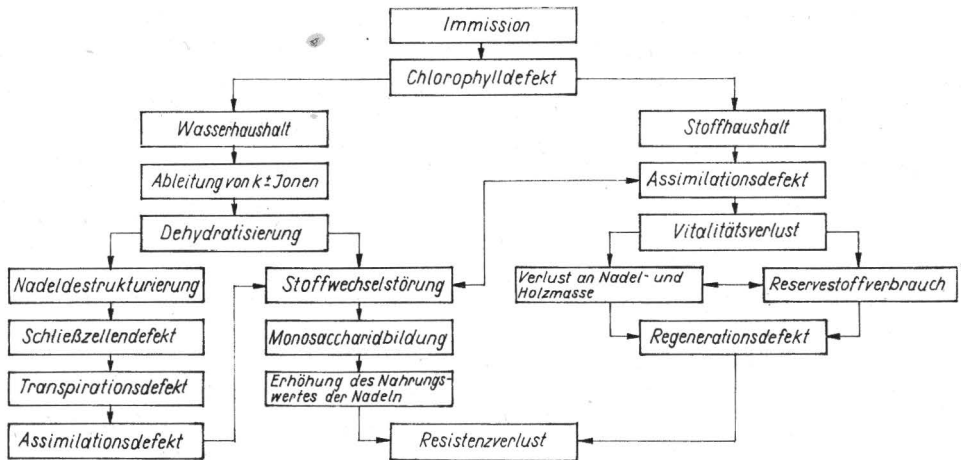


Abb. 3. Wirkung von SO₂-Immissionen auf die Lebenstätigkeit der Bäume

3. Einfluß der Düngung auf Immissionschäden

Die Düngung vor allem von Stickstoff greift in diesen Stoffwechselprozeß vitalitätsfördernd ein. Das wird sichtbar in einer Reihe von Merkmalen und Eigenschaften, die zu den Wirkungen von SO₂-Immissionen im Gegensatz stehen und diese in gewissem Maße aufheben (Tab. 1). Düngungsversuche in Rauchschadensgebieten erbrachten bei der Fichte (*Picea abies* L.) (Lampadius und Häussler 1962) und bei der Kiefer (*Pinus silvestris* L.) (Krauss 1966, 1970, 1972 und 1973) den Beweis dafür. Sie erhärteten die Erkenntnis, daß N-Düngung der Vitalitätsminderung bei Koniferen aufgrund von SO₂-Immissionen entgegenwirkt. In Abhängigkeit von Menge und Dauer der Immission kann die Ausbildung der Schadsymptome daher zeitweise oder völlig verhindert werden. Bei bereits eingetretener Schädigung bewirkt Düngung in der Regel eine Aufhebung der Schadsymptome, soweit es sich nicht bereits um prämortale oder mortale Erscheinungen handelt. Der Trend ist dann gegenläufig zur Immissionswirkung (Abbildungen 4, 5 und 6) (Paucke, Möller und Lux 1975).

Tabelle 1. Wirkung der N-Düngung auf immissionsbeeinflusste Bäume und Bestände

Immissionswirkung	Düngewirkung
Verkleinerung der Nadeln	Vergrößerung der Nadeln
Destrukturierung der Nadeln	Strukturierung der Nadeln
Beschleunigung des Nadelfalls	Verzögerung des Nadelfalls
Auslichtung der Baumkrone	Verdichtung der Baumkrone
Beeinträchtigung der Photosynthese	Förderung der Photosynthese
Zerstörung des Chlorophylls	Aufbau des Chlorophylls
Vernichtung des Carotins	Synthese des Carotins
Verbrauch von Reservestoffen	Anreicherung von Reservestoffen
Verlust der Regenerationsfähigkeit	Erhöhung der Regenerationsfähigkeit
Beeinträchtigung der Stomatafunktion	Normalisierung der Stomatafunktion
Induktion von Wassermangel	Ausgleichung von Wassermangel
Störung des N-Haushalts	Verbesserung des N-Haushalts
Verschiebung des Eiweiß-Kohlehydrat-Stoffwechsel zugunsten von Monosacchariden	Regulierung und Steuerung des Eiweiß-Kohlehydrat-Stoffwechsels in normaler Richtung
Erhöhung des Nahrungswertes der Nadeln	Verminderung des Nahrungswertes der Nadeln
Förderung der Aggressivität von Schädlingen	Hemmung der Aggressivität von Schädlingen
Reduzierung der Widerstandsfähigkeit gegen Schadnoxen	Stabilisierung der Widerstandsfähigkeit gegen Schadnoxen
Verminderung der Vitalität	Erhöhung der Vitalität
Verursachung von Zuwachsverlusten	Verminderung von Zuwachsverlusten

Die Erhöhung der Vitalität bewirkt wiederum eine Verminderung der Anfälligkeit gegenüber Schadeinflüssen und hat somit eine Reduzierung der Schäden zur Folge. Das ist vor allem in Gebieten mit einer Dauerbelastung über $0,05 \text{ mg/m}^3 \text{ SO}_2$ in der Luft von großer wirtschaftlicher, ökologischer und landeskultureller Bedeutung, um eine starke Auslichtung bzw. völlige Vernichtung der Wälder zu verhindern und die nachfolgenden negativen Wirkungen zu vermeiden. Unter starken Immissionsbelastungen können die Schäden durch Düngung zwar nicht verhütet, wohl aber über eine Vitalitätserhöhung wesentlich vermindert werden. Erfolgsaussichten für Düngungsmaßnahmen bestehen nur auf Standorten geringer Trophie, bei denen insbesondere Mangel an Stickstoff vorliegt, der sich in schlechteren Ertragsklassen widerspiegelt. Schäden in der Ertragsklasse I (beste Standorte mit höchsten Ertragsleistungen) können durch Düngung nicht verhindert werden. Düngungsmaßnahmen wirken nur bei niedrigeren Bonitäten, bei denen ein gewisser Nährstoffmangel vorhanden ist.

Immissionswirkungen bringen den N-Mangel deutlicher zum Ausdruck und verschärfen die ernährungsphysiologische Situation. Sie sind um so größer, je größer das N-Defizit ist. Je größer das N-Defizit, desto größer ist wiederum die Düngungswirkung mit Stickstoff. Über das N-Optimum hinaus ist entsprechend dem Gesetz des Minimums von Liebig und dem biologischen Relativitätsgesetz von Lundegardh keine Wirkung durch Düngung hinsichtlich Vitalitäts- und Zuwachssteigerung mehr zu erzielen. N-Düngung steigert die physiologische Leistungsfähigkeit der Bäume und erhöht ihre ökologische Reaktionsfähigkeit, indem die Photosynthesetätigkeit aktiviert wird.

Unter der Voraussetzung, daß die Düngung nicht in Beständen der I. Bonität sowie nicht bei Total- und Letalschädigung erfolgt, gelten folgende Beziehungen: Der

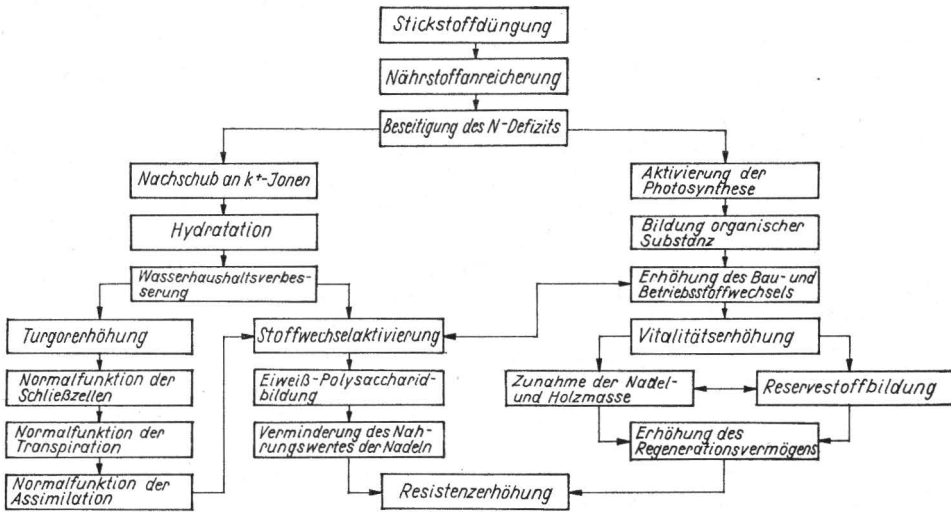


Abb. 4. Wirkung der N-Düngung auf die Lebenstätigkeit immisionsgefährdeter Bäume



Abb. 5. Vitalitätserhöhung durch Stickstoffdüngung

Düngungserfolg ist um so größer, je größer das N-Defizit ist, je schlechter die Standortstrophie ist und je mehr sich andere Standortsfaktoren im Optimum befinden. Je größer der Düngungserfolg, desto größer ist die Vitalität und damit die Resistenz gegen biotische und abiotische Schadnoxe. Nach Mitteilungen von Stebbins (1968) kann – wie gesicherte Experimente bei Flachs (*Linum perenne* L.) beweisen – die

durch reichliche Düngung des Bodens erreichte Vitalität der Pflanzen an ihre Nachkommen weitergegeben werden. Inwieweit solche Befunde auch auf Forstpflanzen zutreffen, müßte allerdings noch geprüft werden.

4. Komplexwirkung der Düngung

Die Düngung ruft in allen Bereichen der Biogeozönose Veränderungen hervor und beeinflusst dadurch die Widerstandsfähigkeit der Bäume gegen physikalische und biotische Belastungen in positiver oder negativer Weise. Dabei überwiegen die positiven Wirkungen. Mit der Düngung wird nicht nur einer Nährstoffverarmung, sondern auch einer Verschlechterung der Bodeneigenschaften entgegengewirkt, um leistungsfähige Baumbestände zu erzielen. Die Anreicherung mit Nährstoffen der ober- und unterirdischen Pflanzenteile durch Düngung hat dabei zwei Effekte: einmal eine Förderung des Wachstums und zum anderen eine Aktivierung der Tätigkeit von Mikroorganismen infolge schnellerer Zersetzung der von den Bäumen stammenden nährstoffreichen organischen Substanz. Das spiegelt sich in der Zahl der Mikroorganismen wider. Während im allgemeinen ein Gramm biologisch aktiver Boden im Durchschnitt bis zu 35 Millionen Mikroorganismen enthält, verringert sich diese Zahl auf 1,3 Millionen in Nadelwäldern mit Rohhumusaufgaben (Baule und Fricker 1967). Den größten Einfluß auf die Belegung der mikrobiellen Aktivität hat dabei die N-Düngung. Das trifft aber auch auf die Regenwurmtätigkeit zu, die vom Humus- und Nährstoffhaushalt stark abhängt. Dementsprechend ist auf fruchtbarem Waldboden mit ein bis zwei Tonnen je Hektar Regenwurmlengewicht zu rechnen. Diese Massen von Regenwürmern tragen zum Abbau der organischen Substanz und zum Aufbau von Ton-Humus-Komplexen von etwa 120 Tonnen je Hektar und Jahr, was dem Trockengewicht der Exkremente entspricht, bei und nehmen damit unmittelbaren Einfluß auf die Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit durch Verbesserung des Wasser- und Lufthaushaltes der Böden.

Das wiederum bleibt nicht ohne Wirkung auf Ausbildung und Entwicklung des Wurzelsystems der Bäume. Während auf nährstoffärmeren Standorten der Boden tiefer als auf nährstoffreicheren durchwurzelt wird, läßt sich durch Düngung ein intensiver Bodenaufschluß erreichen. Der Baum bildet in diesem Falle aber nur soviel Feinwurzeln aus, wie für die Ernährung unbedingt notwendig sind. Die Wurzelbildung folgt damit dem Rationalitätsprinzip, das in erster Linie von den physikalischen und chemischen Eigenschaften des Bodens abhängt. Die Bestände mit ausgewogenem Mineralstoffangebot zeigen deshalb bei geringerer Durchwurzelungsintensität die bessere Ertragsleistung, die ein Ausdruck für eine größere Vitalität der Bäume ist. Die durch die Düngung ausgelöste biologische und ökologische Kettenreaktion schließt sich mit der Erhöhung der Vitalität und damit des Gesundheitszustandes und der Widerstandskraft, die eine große Bedeutung für die Forstschutzsituation haben, weil Krankheits- und Schädlingsbefall sehr oft die Folge eines ernährungsbiologisch schlechten Zustandes der Bäume sind. Das Massenaufreten von Forstschädlingen ist häufig an Standorte gebunden, deren Böden degradiert sind und deren Bestände den geringeren Bonitäten angehören. Bei optimal ernährten Bäumen kommen Krankheit und Schädlingsbefall nicht oder nur in geringem Umfang zum Ausbruch. Selbst wenn ein ausreichend mit Nährstoffen versorgter Bestand eine Kalamität erfährt, kann er sie durch eine bessere Regenerationsfähigkeit leichter überwinden.

Die Reaktion der Schädlinge auf die Düngungsmaßnahmen tritt vor allem in der Änderung der Populationsdichte und der Mortalität zutage (Tab. 2). Dabei kann zwischen der direkten und indirekten Wirkungsweise der Düngung auf die nadel-fressenden Schädlinge unterschieden werden. Um eine direkte Wirkung handelt es sich, wenn sie die Zusammensetzung der Nahrung in einer für die Schädlinge ungün-

stigen Weise verändert oder eine Störung der Physiologie der Insekten hervorruft. Als indirekt gilt eine Wirkung, wenn eine Festigung der Zellwände beim Holz erreicht oder eine Verschiebung der Entwicklungsstadien von Pflanzen und Insekten erzielt wird. Infolge der rascheren Verholzung der Gewebe werden einmal größere Energiemengen beim Fraß benötigt und zum anderen Verdauungsschwierigkeiten ausgelöst.

Tabelle 2. Einfluß der Düngung auf Populationsdichte und Mortalitätsrate nach Enderlein und Stein 1964

Schädling	Reduktions-%	Düngerart
Kiefernspanner-Puppen (<i>Bupalus piniarius</i> L.)	54	NPKCa
Fichtenblattwespe-Kokon (<i>Pristophora abietina</i> Christ.)	75	NCa
Kiefernbuschhornblattwespe-Kokon (<i>Diprion pini</i> L.)	29	NPK
Kiefernknospentriebwickler (<i>Evetria buoliana</i> Schiff.)	49	NPKMg

Ungeachtet der großen Möglichkeiten ist die Düngung aber nur ein Faktor aus einem Faktorenkomplex, der die Populationsdichte eines phytophagen Insektes bestimmt. Das zeigt sich im Zusammenhang zwischen Nährstoff- und Wasserhaushalt des Bodens und deren Auswirkung auf Baumwachstum und Befallsdisposition. Denn Wassermangel ruft nicht nur eine Störung des Wasserhaushaltes des Baumes hervor, sondern zugleich eine Störung seines N-Haushaltes. Die Folge ist eine Verschiebung im Eiweiß-Kohlehydrat-Stoffwechsel zugunsten von Monosacchariden, wodurch der Nahrungswert der Nadeln für Bestandesschädlinge erhöht wird, weil Polysaccharide von ihnen nur schwer verdaubar sind, daher gemieden werden. Mit Zunahme des Gehaltes an Monosacchariden in den Nadeln ist daher in der Regel mit einer Vermehrung der Fraßinsekten zu rechnen. Dieses komplexe ökophysiologische Geschehen kann nur durch Nährstoff- und Wassermangel einerseits induziert und durch Düngung andererseits abgeschwächt werden. Die Zusammenhänge zwischen Nahrungsqualität, Populationsentwicklung und Standortverhältnisse weisen darauf hin, daß die Standortbedingungen vor allem indirekt, nämlich über die chemische Zusammensetzung der

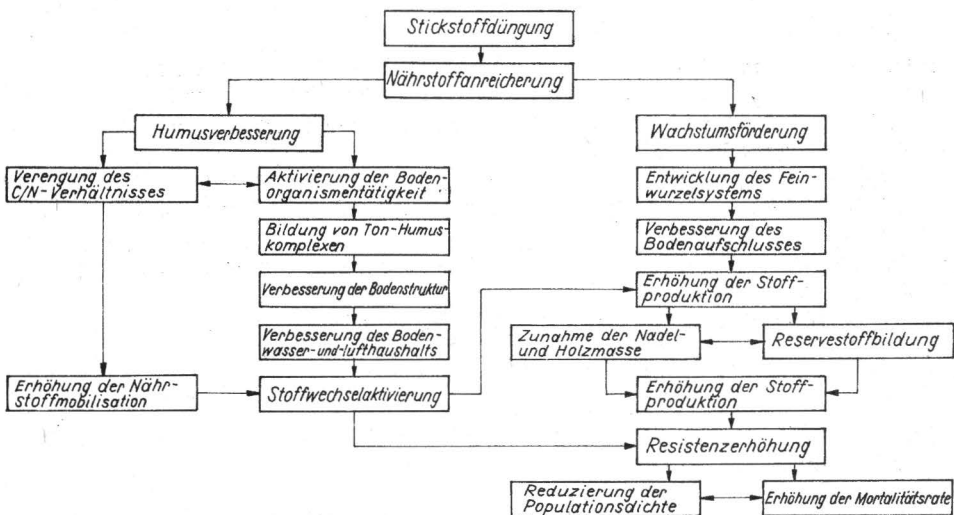


Abb. 6. Komplexwirkung von Stickstoffdüngungsmaßnahmen

Nadeln, auf die Schädlingspopulationen wirken. Auftretende Immissionen greifen in diesen Regelkreis belastend ein und können deshalb durch Düngungsmaßnahmen nur soweit in ihrer Wirkung ausgeglichen werden, inwieweit sich die Nährstoffe als ausschlaggebende, sich im Minimum befindliche und daher stabilisierend wirkende Komponenten erweisen (Fiedler, Nebe und Hoffmann 1973). Die Gesamtwirkungen von N-Düngungen auf SO₂-beeinflusste Waldbestände gehen aus den Abbildungen 4 bis 6 hervor.

5. Schlußfolgerungen

Im Vergleich zur Kiefer bestehen bei der Fichte zu den Fragen der Düngungswirkung in Immissionsgebieten noch erhebliche Erkenntnislücken. Um diese zu schließen, ist es notwendig, die bisherigen Untersuchungen auf alle Altersklassen und typische Fichtenstandorte, insbesondere in extremen Lagen, auszudehnen, wobei den unterschiedlichen Bestockungsgraden in den immissionsbeeinflussten Beständen große Aufmerksamkeit zu widmen ist. Bei Fichte und Kiefer sind noch Untersuchungen erforderlich, um den Anteil der Düngung bei der Minderung von Immissionsschäden gegenüber anderen Wirkungsfaktoren (Wasserhaushalt, Dürre, Frost, Temperatur) exakt zu ermitteln (Kundler u. a. 1970; Heinisch, Paucke, Nagel und Hansen 1976). Auf dieser Grundlage wird es erst möglich sein, den Faktorenkomplex, der auf Immissionsminderungen Einfluß nimmt, zu entflechten und die Wirkungen einzelner Faktoren zu bewerten.

6. Zusammenfassung

Die Arbeit behandelt den Einfluß der N-Düngung auf SO₂-beeinflusste Waldökosysteme. Dabei werden die physiologischen und ökologischen Wirkungen von SO₂-Immissionen auf Nadelwälder analysiert, um die Wirkung der N-Düngung auf Immissionsschäden zu verdeutlichen. Sie besteht in einer Erhöhung der Vitalität der Waldbiogeozönosen und damit der Baumbestände. Abschließend werden Empfehlungen für differenzierte Untersuchungen bei Kiefern- und Fichtenbeständen gegeben, um Faktoren, die neben der Düngung auf die Minderung der Immissionen Einfluß nehmen, zukünftig besser erfassen zu können.

Schrifttum

- Baule, H., und C. Fricker: Die Düngung von Waldbäumen. München, Basel, Wien: Bayerischer Landwirtschaftsverlag 1967.
- Börtitz, S.: Wirkungen von Immissionen auf Pflanzen, in: Däßler, H.-G.: Einfluß von Luftverunreinigungen auf die Vegetation. Jena: VEB Gustav Fischer Verlag 1976.
- Däßler, H.-G.: Einfluß von Luftverunreinigungen auf die Vegetation. Jena: VEB Gustav Fischer Verlag 1976.
- Enderlein, H., und G. Stein: Schädigungen der Kiefernwälder durch industrielle Eskalation und sich hieraus ergebende Folgerungen für den Forstschutz und den Waldbau. Sozialist. Forstw. 14 (1964) 21–23.
- Fiedler, H. J., W. Nebe und F. Hoffmann: Forstliche Pflanzenernährung und Düngung. Jena: VEB Gustav Fischer Verlag 1973.
- Heinisch, E., H. Paucke, H. D. Nagel und D. Hansen: Agrochemikalien in der Umwelt. Jena: VEB Gustav Fischer Verlag 1976.
- Keller, T.: Industrielle Immissionen und Forstwirtschaft. Schweiz. Z. Forstw. 115 (1964) 228–255.
- Krauss, H. H.: Düngungsversuche in rauchgeschädigten Kiefernbeständen der Dübener Heide. Arch. Forstw. 15 (1966) 1145–1163.
- Krauss, H. H., u. a.: Nadeluntersuchungsdienst für die Diagnose der Düngebedürfnisse und die Erfolgskontrolle bei der Großflächendüngung der Kiefer mit Stickstoff und Kalium im Tiefland der DDR. Forschungsbericht Eberswalde 1970.

- Krauss, H. H.: Grundmodell für Planung, Projektierung, Organisation und Finanzierung von großflächigen Bestandsdüngungen der Kiefer. Forschungsbericht. Eberswalde 1972.
- Krauss, H. H.: Erprobtes Düngemodell der StFB Cottbus und Weißwasser sowie Vorlage von Karten und Flächenregistern der düngedürftigen Flächen der VVB Cottbus. Forschungsbericht. Eberswalde 1973.
- Kundler, P., u. a.: Mineraldüngung. Berlin: VEB Landwirtschaftsverlag 1970.
- Lampadius, F., und D. Häussler: Therapie gegen Rauchschäden durch Düngung. Wiss. Z. TU Dresden 11 (1962) 1417-1424.
- Paucke, H., D. Möller und E. Lux: Studie zur Untersuchung der Beziehungen zwischen Emission und dem Gefährdungsgrad der Biosphäre. Teil 1: Grundlagen zur Modellerstellung am Ökosystem Wald. Forschungsber. AdW der DDR. Berlin 1975.
- Paucke, H., D. Möller und E. Lux: Studie zur Untersuchung der Beziehungen zwischen Emission und dem Gefährdungsgrad der Biosphäre. Teil 2: Analyse und Prognose der SO₂-Emissionssituation von 1950 bis 2000 im Raum Bitterfeld und deren Auswirkung auf das Waldgebiet Dübener Heide. Forschungsber. AdW der DDR. Berlin 1976.
- Stebbins, G. L.: Evolutionsprozesse. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag 1968.
- Wiefner, W.: Bioenergetik bei Pflanzen. Jena: VEB Gustav Fischer Verlag 1975.

Dr. sc. Horst Paucke
Institut für Geographie und Geoökologie
der Akademie der Wissenschaften der DDR
Bereich Ökologisch-ökonomische Systeme
DDR - 1199 Berlin
Rudower Chaussee 5