

Technische Universität Dresden
Sektion Forstwirtschaft Tharandt
Wissenschaftsbereich Bodenkunde und Standortslehre
(Wissenschaftsbereichsleiter Prof. Dr. habil. Dr. h. c. H. J. Fiedler)

Zur Beurteilung von Immissionsbelastungen im Harz durch Nadelanalysen in Fichtenaufwüchsen

Von **Wolfgang Nebe** und **Thomas Roßbach**

Mit 1 Abbildung und 8 Tabellen

(Eingegangen am 9. Mai 1989)

1. Einleitung

Zum Auftreten neuartiger Waldschäden in Fichtenbeständen liegt für die Mittelgebirge der DDR ein grober Überblick vor (Nebe u. a. 1987 a, Heinsdorf u. a. 1988). Anschließend gezielte Untersuchungen vermittelten Kenntnisse über die regionale Verbreitung und standörtliche Bindung der Immissionsbelastungen wie z. B. für Thüringen (Nebe, Ilgen und Gastinger 1989, Nebe und Lucas 1989, Fiedler und Heinze 1989). Entsprechende Untersuchungen liegen für den Niedersächsischen Harz vor (Stock 1988).

Ziel der vorliegenden Arbeit sind diagnostische Untersuchungen zur Verbreitung und Intensität neuartiger Waldschäden an Fichte im DDR-Bereich des Harzes. Die Erhebung baut auf älteren regional-standörtlichen Untersuchungen und den kartierten Einheiten der Standortserkundung auf. Dadurch werden Aussagen zur geologisch-geographischen Bindung von Schadmerkmalen und zur praktischen Umsetzung der erzielten Ergebnisse ermöglicht.

2. Untersuchungsmaterial und -methoden

2.1. Standorte

Die 29 Probestellen verteilen sich auf einen Höhenbereich von 330 m über NN im östlichen Unterharz bis zu 920 m über NN im westlichen Oberharz. Sie liegen im jeweiligen Gebirgsbereich der Staatlichen Forstwirtschaftsbetriebe Wernigerode mit 7, Blankenburg mit 10, Ballenstedt mit 6, Hettstedt mit 5 Flächen und Sangerhausen mit 1 Probestelle.

Vom geologischen Ausgangsmaterial her konzentriert sich die Probenahme auf schwach nährstoffversorgte Grundgesteine, weil arme Standorte die nadelanalytisch faßbaren Auswirkungen von Immissionsbelastungen zuerst zeigen. Gut nährstoffversorgte Standorte wurden nur vergleichsweise analysiert. Damit schränkte sich die Probenahme auf bestimmte geologische Einheiten und Grundgesteine ein (Abb. 1), deren Bezeichnung und Charakterisierung den Untersuchungen von Schröder und Fiedler (1975) folgten.

Das Brocken- und Ilsestein-Massiv sowie der Ackerbruchbergzug gehören geomorphologisch zum Oberharz, die Tanner Zone und das Ramberg-Massiv zum Mittelharz, die anderen geologischen Einheiten zum Unterharz.

Die Standorte über armen Eruptivgesteinen konzentrieren sich auf das Brockengranit-Massiv, das Ilsesteingranit-Massiv sowie das Ramberggranit-Massiv mit dem

geologisch zugehörigen Auerberg-Quarzporphyr-Massiv. Bei hoher Ausstattung mit Phosphor und Kalium sind diese Eruptivgesteine mit 0,08 bis 0,46 ‰ MgO und 0,51 bis 0,86 ‰ CaO sehr schwach mit Erdalkalien versorgt (Tab. 1).

Tab. 1. Mittlere Nährelement-Ausstattung definierter Grundgesteine im Untersuchungsgebiet nach Schröder und Fiedler (1975)

Gestein	Anz. d. Anz.	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO	Probeflächen
Brocken-Kerngranit	13	0,28	5,44	0,46	0,86	2, 3
Ilsestein-Granit	4	0,08	6,20	0,15	0,61	4, 5
Ramberg-Granite	3	0,19	4,63	0,08	0,66	18–23
Auerberg-Quarzporphyr	4	0,15	6,56	0,30	0,66	29
Acker-Bruchberg-Quarzit	43	n. b.	n. b.	0,30	0,25	6, 7
Kieselschiefer	11	0,05	0,60	0,43	0,79	} 11, 12, 15, 17, 24, 25, 26, 27,
kieselig-quarzitische Tonschiefer	21	0,21	2,52	2,01	1,60	
Tanner Grauwacke	10	0,10	4,03	2,57	1,31	
verschiedene Grauwacken	40	0,15	1,43	1,55	1,01	13, 14, 16, 28
Tonschiefer:						
Bandschiefer	79	0,18	2,51	2,38	2,06	} 1, 10
Wissenbacher Schiefer	16	0,15	3,21	3,06	1,37	

In den Metamorphiten schwanken die Nährelementgehalte erheblich. Extrem arm an Erdalkalien und erfahrungsgemäß auch an Kalium sind die Ackerbruchberg-quarzite. Im Selke- und im Südharz-Kieselschieferzug treten über Kieselschiefer ziemlich arme, über quarzitischen und kieseligen Tonschiefern auch weniger arme Bodenverhältnisse auf. In der Tanner, Selker, Südharzer und Hasselfelder Grauwacken- und Tonschiefer-Zone wechseln die Nährstoffgehalte der Grundgesteine stark. Sie reichen von geringer bis zu einer guten Ausstattung. Hierzu ist auch der Tonschieferstandort 1 zu rechnen, der an der Grenze zwischen Brocken-Massiv und Blankenburger Faltenzone liegt (Abb. 1).

Die Bezeichnung der Bodenformen und ihre Trophie-Einstufung (Tab. 2) wurden von den jeweiligen Standortskarten übernommen, wobei die jüngste Bearbeitung in Wernigerode zugrunde lag (Gröbner und Schwanecke 1985). Die Aufteilung der Bodenformen in die Trophiestufen M und M⁻ nahm auf Wunsch der Verfasser Schwanecke (1986, 1988) vor. Hinsichtlich des Wasserhaushaltes dominiert auf den terrestrischen Bodenformen die Stufe durchschnittlich wasserversorgt. Einzelne Flächen sind reliefbedingt unterdurchschnittlich wasserversorgt. Diese Abweichungen haben nach den Erfahrungen aus dem Tambacher Raum (Nebe und Lucas 1989) keinen Einfluß auf die Fragestellung.

Die Zuordnung der Probeflächen zu den Klimastufen der Standortserkundung enthält die Tab. 3. In Tab. 4 sind die standörtlichen Kriterien Höhenstufe und Trophiestufe für die Probeflächen zusammenfassend dargestellt.

Bei der standortkundlichen Auswertung der Versuchsergebnisse mußten gerichtete Veränderungen bestimmter Standortmerkmale berücksichtigt werden. Die Meereshöhe fällt vom Oberharz mit dem Brocken-Massiv zum Unterharz hin ab. Damit verbunden gehen die Niederschläge zurück, die Temperaturen steigen an und es vollzieht sich der Übergang vom ozeanisch zum kontinental geprägten Klima.

Abb. 1. Verteilung der Probeflächen auf die geologischen Einheiten des Harzes nach Schröder und Fiedler (1975)



Tab. 2. Bodenformen der Probeflächen nach Gröbner und Schwanecke (1985)

Gestein	Bodenform	Trophiestufe		Probefläche
		1	2	
			1986 1988	
ERUPTIVGESTEINE				
Brocken-Kerngranit	Trudenstein-Granit-Braunpodsol	Z	— —	2, 3
Ilsestein-Granit	Schierker Granit-Braunerde	M	M ⁻ —	4
	Birkenkopf-Granit-Braunerde	M	M ⁻ —	5
Ramberg-Granite	Victorshöhe-Granit-Braunerde	M	— —	18
	Ballenstedter Granit-Braunerde	M	— —	19–23
	Auerberg-Porphyr-Braunerde	M	— —	29
METAMORPHITE				
Acker-Bruchberg-Quarzite	Klapperberg-Quarzit-Podsol	A	— —	6, 7
Kieselschiefer	Ballenstedter Kiesel-schiefer-Braunerde	M	M ⁻	12, 24–27
Schiefer und Grauwacke	Ballenstedter Schiefer-Braunerde	M	— M ⁻	15, 17
	Elender Schiefer-Braunerde	M	— M ⁻	1, 8
	Königshof-Schiefer-Braunstagnogley	M	— M ⁻	9, 10, 11, 14
	Meiseberg-Grauwacke-Braunerde	K	— —	13
	Striepe-Grauwacke-Braunerde	K	— —	28
	Mittelberg-Schiefer-Braunerde	K	— —	16

1 Gröbner u. a., 1985

2 Schwanecke

Tab. 3. Übersicht zu den Klimastufen der Probeflächen nach Gröbner und Schwanecke (1985)

Klimastufe	Höhe über NN	Jahresmittelwerte Niederschlag (mm)	Temperatur °C
Kff sehr feuchte Kammlagen	> 850	1200–1500	< 3,5
Hff sehr feuchte höhere Berglagen	580–850	800–1300	4,8–5,5
Hf feuchte höhere Berglagen	550–600	700– 800	5,5–6,5
Mff sehr feuchte mittlere Berglagen	350–600	750–1100	5,0–6,5
Mf feuchte mittlere Berglagen	300–560	650– 850	5,3–7,0
Uf feuchte untere Berglagen	200–470	550– 800	6,1–8,2

Tab. 4. Zuordnung der Probeflächen zu den Klima- und Trophiestufen der Standortkartierung

Klimastufen	Trophiestufen nach Schwanecke (1988)					Summe
	A	Z	M ⁻	M	K	
Kff	—	2,3	—	—	—	2
Hff	6,7	—	1, 4, 5	—	—	5
Hf	—	—	—	18, 19 23, 29	—	4
Mff	—	—	9, 10, 11	—	—	3
Mf	—	—	8, 12, 14, 15, 17	20, 21 22	13, 16	10
Uf	—	—	24, 25, 26, 27	—	28	5
Summe	2	2	15	7	3	29

Luv-Lee-Effekte am Ramberg und Auerberg unterbrechen dieses gerichtete Klimagefälle.

2.2. Bestände

Die Probebestände gehören mit 5 bis 18 Jahren größtenteils zur I. Altersklasse. Im Oberharz mußten auch Bestände der II. Altersklasse in die Untersuchungen einbezogen werden. Die Probeflächen entsprechen im äußeren Erscheinungsbild dem regionaltypischen, durchschnittlichen Aussehen. Dies betrifft die Kronenausbildung, Benadelung und gegebenenfalls die Ausprägung der Chlorosen.

2.3. Nadelprobenahme und -analyse

Auf jeder Probefläche wurde von 6 bis 10 herrschenden Bäumen im September 1986 ein Seitenzweig aus dem 3. Wirtel abgeschnitten. Nach Zerlegung des Haupttriebes in den 1-, 2- und 3jährigen Teil wurden die Nadeln getrennt getrocknet, zu Flächenmischproben vereinigt und gemahlen. Nach üblicher Analysenvorbereitung wurden

N nach Kjeldahl, aus der salzsauren Aschelösung,

P kolorimetrisch,

K und Ca flammenphotometrisch,

Mg, Mn, Cu, Zn und Fe atomabsorptionsspektrophotometrisch bestimmt.

3. Untersuchungsergebnisse

3.1. Das Ernährungsniveau der Fichte im Untersuchungsgebiet

Auf allen Probeflächen zeigen die Nadelspiegelwerte eine mangelhafte bis kritische Mg-Ernährung an. Das gesamte Untersuchungsgebiet wurde also von Immissionsschäden erfaßt. Ferner liegt zusätzlich im größeren Umfang ein leichter N-Mangel vor, während K-Mangel auf wenige Standorte beschränkt bleibt. Bei den Elementen Ca und Zn wird die Mangelgrenze vereinzelt erreicht, aber nicht sicher unterschritten. Die Cu- und Fe-Spiegelwerte liegen im optimalen Versorgungsbereich. Dasselbe trifft für die Elemente P und Mn zu, bei denen die Grenzkonzentrationen nach den inzwischen erworbenen Erfahrungen bisher zu hoch angesetzt worden sind (Tab. 5). Die Prüfung der standörtlichen Bindung von Ernährungsmängeln kann sich also auf die Elemente Mg, N, K, Ca und Zn konzentrieren.

Tab. 5. Mittelwerte und Streubreite der Nadelspiegelwerte 1986 im Vergleich zu Grenzwerten für mangelfreies Wachstum in 1jährigen (Nebe u. a. 1987) und 3jährigen Nadeln (Evers und Schöpfer 1988)

Element	Untersuchungsgebiet				Grenzwerte f. mangelfr. Wachstum	
	1jährige Nadeln		3jährige Nadeln		1jährige Nadeln	3jährige Nadeln
	Spanne	\bar{x}	Spanne	\bar{x}		
N ‰	1,14—1,60	1,34	0,92—1,28	1,09	> 1,40	—
P ‰	0,11—0,23	0,16	0,08—0,20	0,12	> 0,12	—
K ‰	0,31—0,93	0,70	0,38—0,91	0,66	> 0,45	> 0,30
Ca ‰	0,22—0,81	0,43	0,28—1,48	0,73	> 0,20	> 0,20
Mg ‰	0,031—0,082	0,060	0,020—0,071	0,037	> 0,08	> 0,06 ⁺
Mn ppm	190—4120	1280	120—4180	1970	> 200	—
Fe ppm	50—162	78	62—212	119	> 30	—
Cu ppm	2,4—5,6	3,5	1,6—3,6	2,4	> 2 ⁺⁺	—
Zn ppm	23—71	39	16—71	39	> 30	> 11

⁺ Erfahrungswerte nach eigenen Untersuchungen

⁺⁺ nach Materna (1962)

3.2. Ernährungsstörungen in Fichtenbeständen in Abhängigkeit von Standortsmerkmalen

In den Kamm- und Hochlagen sind die Depressionen im Mg- und Ca-Ernährungszustand der Fichte am stärksten ausgeprägt (Tab. 6). Die Unterschiede zwischen den aufeinanderfolgenden Klimastufen sind bei Ca größtenteils, bei Mg in der Regel signifikant. Die N-, K- und Zn-Spiegelwerte der Fichtennadeln differieren nicht nach den Klimastufen.

Der ozeanische Charakter des Klimas nimmt ostwärts ab. Eine Bindung des Ernährungszustandes an dieses Gefälle ist nachweisbar, wenn Standorte gleicher Höhen- und Trophiestufe gegenübergestellt werden. Für einen solchen Vergleich bieten sich Standorte des Ilsestein-Massivs im Westen und des Ramberg- und Auerbergmassivs im Osten an (Tab. 7). Für neuartige Waldschäden sind die Mg-, Ca- und Zn-Spiegelwerte relevant. Sie weisen übereinstimmend ein Ost-West-Gefälle des Ernährungszustandes aus, am Brocken wurden tiefere Werte gemessen als am Ramberg.

Zwischen Trophiestufe und Ernährungszustand bestehen bei den Elementen Mg, K und N klare Beziehungen, während zu den Ca- und Zn-Spiegelwerten kein Zusammenhang besteht. Auf den Standorten der Trophiestufen A, Z, M⁻ und M herrscht durchgehend Mg-Mangel, wobei zwischen den 4 Trophiestufen keine nennenswerte Differenzierung vorliegt. Nur die 3 kräftigen Standorte erreichen den Grenzbereich mangelfreier Versorgung (Abb. 8).

Tab. 6. Mittlere Mg- und Ca-Spiegelwerte der Nadeln in den Klimastufen

Klimastufe	Mg ‰		Ca ‰	
	1jährige Nadeln	3jährige Nadeln	1jährige Nadeln	3jährige Nadeln
Kff	0,061	0,035	0,27	0,34
Hff	0,048	0,033	0,35	0,51
Hf	0,052	0,026	0,47	0,81
Mff	0,069	0,037	0,39	0,65
Mf	0,062	0,038	0,43	0,78
Uf	0,069	0,047	0,56	1,01

Tab. 7. Mittlere N-, Ca-, Mg- und Zn-Spiegelwerte im West-Ost-Gefälle des Harzes auf Eruptivgesteins-Standorten der Hochlagen

Standort	N ‰		Ca ‰		Mg ‰		Zn ppm	
	1jähr. Nadeln	3jähr. Nadeln						
Ilsestein-Massiv Flächen 4 und 5, 570 m über NN	1,31	1,10	0,28	0,38	0,040	0,024	28	31
Ram- u. Auerberg-Massiv Flächen 18, 19, 23, 29 550 m über NN	1,51	1,15	0,47	0,81	0,052	0,026	40	36

Die N-Spiegelwerte steigen von den armen zu den kräftigen Standorten signifikant an. Die Probeflächen auf den Trophiestufen A, Z und M⁻ zeigen leichten N-Mangel, auf den Trophiestufen M und K dagegen mangelfreie N-Ernährung an.

Der K-Mangel beschränkt sich auf die Quarzitstandorte der Trophiestufe A. Auf allen anderen Trophiestufen ist die Kaliumernährung mangelfrei und wenig differenziert.

Tab. 8. Mittlere Mg-, N- und K-Spiegelwerte der Nadeln in den Trophiestufen

Trophie- stufen	Mg ‰		N ‰		K ‰	
	1jährige Nadeln	3jährige Nadeln	1jährige Nadeln	3jährige Nadeln	1jährige Nadeln	3jährige Nadeln
A	0,052	0,037	1,22	1,01	0,40	0,47
Z	0,061	0,035	1,31	1,15	0,60	0,55
M ⁻	0,061	0,039	1,29	1,06	0,72	0,69
M	0,053	0,030	1,44	1,12	0,74	0,68
K	0,077	0,045	1,43	1,18	0,86	0,68

3.3. Wechselbeziehungen zwischen den Nadelspiegelwerten

Zwischen den Schlüsselementen für neuartige Waldschäden Mg, Ca und Zn bestehen Korrelationen. Die aus dem Thüringer Raum bekannten Wechselbeziehungen wurden bestätigt (Nebe und Lucas 1989). Für den Harz ist ferner interessant, ob die Mg- und N-Spiegelwerte miteinander korrelieren. In den 1- bis 3jährigen Nadeln bestehen zwischen N und Mg negative Beziehungen mit den Korrelationskoeffizienten 0,34, 0,55 und 0,42. Das konventionelle Signifikanzniveau von 5 ‰ wird in den 1jährigen Nadeln knapp über-, in den 2- und 3jährigen Nadeln deutlich unterschritten. Steigende N-Konzentrationen in den Nadeln bedingen fallende Mg-Spiegelwerte. Bei guter N-Ernährung wird die immissionsbedingte Mg-Ernährungsstörung verschärft.

4. Diskussion

Die 29 Probeflächen verteilen sich auf die Klimastufen und geologischen Einheiten im Harzbereich der DDR, die für neuartige Waldschäden an Fichtenbeständen relevant sind. Trocken-warme Gebiete außerhalb des Fichtenverbreitungsgebietes am Ost- und Südrand des Harzes blieben unberücksichtigt, Gebiete mit vorwiegend nährstoffreichen Grundgesteinen wurden nur vergleichsweise untersucht. Ferner wurden traditionell immissionsbelastete Gebiete im Raum Elbingerode ausgeschlossen, weil

sich hier klassische und neuartige Waldschäden sowie alkalische Staubbelastungen überlagern.

Im gesamten Untersuchungsgebiet wurden Ernährungsstörungen an Fichte nachgewiesen, die für neuartige Waldschäden typisch sind. Auf den armen, ziemlich armen und mittelmäßig nährstoffversorgten Standorten (Trophiestufen A, Z, M⁻ und M) herrscht durchgehend Magnesiummangel. Nur auf den kräftigen Standorten (Trophiestufe K) ist die Fichte annähernd optimal mit Mg versorgt. Die Intensität des Mg-Mangels nimmt von den höheren zu den unteren Lagen sowie von den westlich zu den östlich gelegenen Gebieten ab.

Auf den Standorten der Trophiestufen A, Z und M⁻ wird der Mg-Mangel von einer unzureichenden Stickstoffversorgung begleitet. Der N-Mangel ist nur schwach ausgeprägt und wird durch die mangelhafte N-Mineralisierung in den für diese Standorte typischen Rohhumusaufgaben verursacht (Nebe 1986). Auf bisher untersuchten vergleichbaren Standorten mit stärkerer Immissionsbelastung wie z. B. im westlichen Thüringer Wald trat dieser N-Mangel nur sporadisch auf. Vermutlich haben hier N-Einträge in Verbindung mit den Immissionen das Defizit bereits beseitigt (Nebe und Lucas 1989).

Auf Standorten der Trophiestufe A über Quarzit kommt zum Mg- und N-Mangel noch ein ausgeprägter K-Mangel hinzu. Er ist für arme skelettreiche Böden mit mächtigen Rohhumusaufgaben typisch und wird durch den immissionsbedingten Anioneneintrag verschärft.

Die Zink-Ernährung ist nicht deutlich an die Standortmerkmale Trophie- und Klimastufe gebunden. Lediglich bei starkem ozeanischem Klimaeinfluss ist eine Verschärfung der Zn-Ernährungsstörungen zu vermuten. Kritische Zinkspiegelwerte konzentrieren sich auf geologisch abgrenzbare Standorte über Brocken- sowie Ilsestein-Granit und Grauwacken der Tanner-Zone. Zn ist außerordentlich beweglich in Pflanzen und sauren Böden und damit auswaschungsgefährdet. Es ist aber auch wesentlicher Bestandteil anthropogen bedingter Kontaminationen und damit allgegenwärtig. Zur sauberen Beurteilung der Zn-Ernährung sind vertiefende, nadelanalytische Untersuchungen erforderlich.

Die Ca-Ernährung der Fichte ist im Untersuchungsgebiet zwar gestört, aber nach bisherigem Kenntnisstand noch mangelfrei. Die niedrigsten Ca-Konzentrationen und eine ausbleibende Ca-Akkumulation in den älteren Nadeljahrgängen wurden in den Hochlagen und in stärker ozeanisch geprägten Gebieten gefunden. Zur Trophie der Standorte zeigt die Ca-Ernährung im Harz ähnlich wie im Tambacher Raum keine Beziehung (Nebe und Lucas 1989).

Die Ernährungsstörungen der Fichte bei den Elementen Mg, Ca, Zn und K stimmen mit den Symptomen der Hochlagenerkrankung überein. Sie konzentrieren sich wie im Westharz (Stock 1988) und in anderen Mittelgebirgen auf arme bis mittelmäßig nährstoffversorgte Standorte. Der Angriff von Photooxidantien sowie von sauren Niederschlägen auf Nadeloberflächen und die Kationenauswaschung aus den Oberböden führen zu Defiziten bei der Aufnahme der genannten Nährelemente. Durch entsprechende Düngungen können die Ernährungsmängel vorübergehend behoben werden. Die Krankheitsursachen bleiben jedoch wirksam.

Für die primär notwendige Erdalkali-Düngung eignen sich dolomitische Kalke (z. B. Kamsdorfer Mergel) oder besser mit Magnesit angereicherte dolomitische Kalke (z. B. Walddünger-Mg). Effektive Düngungen müssen von den kartierten Standortmerkmalen Bodenform und Trophie- sowie Klimastufe ausgehen. Von der Trophie her sind alle Standorte der Stufen A, Z, M und M⁻ für Düngungen geeignet. Damit wird das Untersuchungsergebnis aus dem Tambacher Raum bestätigt, auch die M-Standorte in die Düngungsprojekte einzubeziehen (Nebe und Lucas 1989). Klimatisch

gesehen müssen die Ca-Mg- Düngungen, wie bereits praktiziert, in den Kamm- und Hochlagen der StFB Wernigerode und Blankenburg beginnen und anschließend in den sehr feuchten und feuchten mittleren sowie unteren Berglagen fortgesetzt werden. Die gleiche Reihenfolge gilt für die Weiterführung der Düngung in den StFB Ballenstedt, Hettstedt und Sangerhausen. Ramberg- und Auerberg-Gebiet sind also in erster Linie, die trophiemäßig schwachen Standorte bis zur Klimastufe Uf anschließend vorzusehen.

Standorte der Trophiestufe A treten kleinflächig vorwiegend im StFB Wernigerode auf. Sie eignen sich für gezielte Kalium-Düngungen. Auch auf skelettreichen Bodenformen der Trophiestufen Z und M⁻ z. B. über Kieselschiefer kann sich nach Kalkungen der K-Ernährungszustand kritisch entwickeln. Es wird deshalb eine ständige nadelanalytische Überwachung dieser Standorte nach Kalkungen empfohlen.

Die Korrektur des leichten N-Mangels ist dagegen nicht erforderlich. Die A-, Z- und M⁻-Standorte eignen sich als natürliche Puffer für die immissionsbedingte N-Eutrophierung. Es kommt hinzu, daß sich N-Düngungen aufgrund der nachgewiesenen negativen Korrelation zwischen N und Mg voraussichtlich verschärfend auf das Mg-Defizit auswirken und auch aus diesem Grunde vermieden werden sollten.

Die vorliegenden Grundlagen und Düngeerfahrungen mit Zn reichen nicht aus, um Zn-Düngungen zu empfehlen. Die Abgrenzung geeigneter Flächen kann ferner nicht nach Trophiestufen geschehen. Abgrenzungskriterium für Zn-Mangel wird vermutlich die geologisch definierte Bodenform sein. Ferner muß bedacht werden, daß die für Zn-Düngungen lohnenden Standorte Ca-Mg-Düngungen erhalten, mit denen merkliche direkte Zn-Zufuhren mit den Kalk-Düngemitteln sowie eine festere Bindung des Zn im Boden durch pH-Wert- Erhöhung verbunden sind.

5. Zusammenfassung

In 29 Beständen der I. Altersklasse aus dem Verbreitungsgebiet der Fichte im östlichen, zur DDR gehörenden Harz wurden immissionsbedingte Ernährungsstörungen nadelanalytisch untersucht. Im gesamten Arbeitsgebiet herrscht auf grund- und stauwasserfreien Standorten mit armer, ziemlich armer und mittlerer Trophie latenter bis akuter Mg-Mangel. Ergänzend kommt auf Standorten der Trophiestufe A ein K-Mangel, auf Standorten der Trophiestufe A, Z und M⁻ ein leichter N-Mangel hinzu. Geologisch abgrenzbare Einheiten zeigen kritische Zn-Ernährungsbedingungen an. Die Ca-Nadelspiegelwerte liegen auf sehr niedrigem Niveau, Mangelgrenzwerte werden jedoch vermutlich nicht unterschritten.

Die Intensität der Ernährungsstörungen nimmt von den höheren zu den unteren sowie von den westlich gelegenen zu den östlichen Gebirgslagen ab.

Zur Therapie eignen sich gezielte Düngungen mit dolomitischen oder besser noch mit magnesitangereicherten dolomitischen Kalken sowie mit Kalium. N-Düngungen sollen unterbleiben, weil mit stärkeren N-Einträgen zu rechnen ist und die N-Düngung antagonistisch auf die Mg-Ernährung wirkt. Die Untersuchungsergebnisse reichen nicht aus, um eine Zn-Düngung zu empfehlen.

Schrifttum

- Evers, F. H., und W. Schöpfer: Darstellung der Ernährungs- und Belastungsverhältnisse der Fichte. Ergebnisse der Belastungsinventur Baden-Württemberg 1983. Allg. Forst- u. Jagd-Ztg. Frankfurt a. M. 159 (1988) 146-154.
- Fiedler, H. J., und M. Heinze: Schäden am Assimilationsapparat von Waldbeständen auf Kalk- und Silikatstandorten Thüringens und Möglichkeiten zu ihrer Reduzierung. *Hercynia N. F.* Leipzig 26 (1989) 157-172.

- Gröbner, F., und W. Schwanecke: Legende zu den Standortskarten des StFB Wernigerode. VEB Forstprojektierung Potsdam 1985.
- Heinsdorf, D., H. H. Krauß und P. Hippeli: Ernährungs- und bodenkundliche Untersuchungen in Fichtenbeständen des mittleren Thüringer Waldes unter Berücksichtigung der in den letzten Jahren aufgetretenen Umweltbelastungen. Beitr. Forstwirtschaft. Berlin **22** (1988) 160–167.
- Materna, J.: Kupfer-, Zink- und Mangengehalte in Fichtenbeständen. Deutsche Akad. Landwirtschafts-Wiss. Berlin, Tag.-Bericht **50** (1962) 45–52.
- Nebe, W.: Zur Düngung der Fichte in der I. Altersklasse auf grund- und stauwasserfreien Standorten. Arch. Acker-Pflanzenbau Bodenkd., Berlin **30** (1986) 381–388.
- Nebe, W.: Über immssionsbedingte Ernährungsstörungen an Fichte auf Kaliummangelstandorten. Richtig düngen – mehr ernten. Mitt. des VEB Kombinat Kali Sondershausen (1987) H. 2.
- Nebe, W., H. J. Fiedler, G. Ilgen und W. Hofmann: Immissionsbedingte Ernährungsstörungen der Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.) in Mittelgebirgslagen. Flora Jena **179** (1987 a) 453–462.
- Nebe, W., G. Ilgen, W. Gastinger: Immissionsbedingte Ernährungsstörungen in Fichtenbeständen auf Standorten unterschiedlicher Trophie. Beitr. Forstwirtschaft. Berlin **23** (1989) 17–25.
- Nebe, W., G. Ilgen, F. Leube, W. Hofmann, N. Stranzky und H. J. Fiedler: Zur Ernährung von Fichtenbeständen bei qualitativ unterschiedlichen Immissionen. Beitr. Forstwirtschaft. Berlin **2** (1987 b) 77–84.
- Nebe, W., und A. Lucas: Zur standörtlichen Bindung von Immsisionsschäden an Fichte im StFB Gotha. Beitr. Forstwirtschaft. Berlin **24** (1990) i. Dr.
- Schröder, H., und H. J. Fiedler: Nährstoffgehalt und Trophiegliederung waldbodenbildender Grundgesteine des Harzes. Hercynia N. F. Leipzig **12** (1975) 40–57.
- Stock, R.: Aspekte der regionalen Verbreitung neuartiger Waldschäden an Fichte im Harz. Forst u. Holz Hannover **43** (1988) 283–286.
- Schwanecke, W.: Schriftliche Mitteilung 1986 und 1988.

Dr. habil. Wolfgang Nebe
Dipl.-Forsting. Andreas Roßbach
Technische Universität Dresden
Sektion Forstwirtschaft
Wissenschaftsbereich Bodenkunde und Standortslehre
Pienner Straße 8
Tharandt
DDR - 8223