©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

ISSN 0018-0637 · Hercynia N. F. · Leipzig · 26 (1989) 2 · S. 157–172

Aus der Sektion Forstwirtschaft der Technischen Universität Dresden
Wissenschaftsbereich Bodenkunde und Standortslehre
(Wissenschaftsbereichsleiter: Prof. Dr. H. J. Fiedler)

Schäden am Assimilationsapparat von Waldbeständen auf Kalk- und Silikatstandorten Thüringens und Möglichkeiten zu ihrer Reduzierung

Von **Hans Joachim Fiedler** und **Martin Heinze**

Mit 5 Tabellen

(Eingegangen am 2. Dezember 1987)

1. Einleitung

Im Verlauf der letzten Jahre wurden immissionsbedingte neuartige Schäden an Koniferenbeständen für viele mittel- und westeuropäische Mittelgebirge in verschiedener qualitativer und quantitativer Ausprägung beschrieben. Die meisten Arbeiten behandeln saure Silikatstandorte, doch liegen aus der BRD und Frankreich auch Schadbeobachtungen für Kalkstandorte vor.

Im folgenden werden die Kalkstandorte Thüringens in die Immissionsbetrachtungen einbezogen und hinsichtlich der Schadausbildung mit den Silikatstandorten verglichen. Dies erfolgt, um eine Entwicklung immissionsbedingter Waldschäden auf Kalkstandorten rechtzeitig erkennen und ihr begegnen zu können und um über den Vergleich mit den Schadsymptomen auf Silikatstandorten grundsätzliche Kenntnisse über die Schadursachen und Kausalketten neuer Waldschäden zu erlangen.

2. Allgemeine Übersicht

Als Ursachen der Symptome neuer Waldschäden gelten Ernährungsstörungen, die dadurch hervorgerufen werden, daß Immissionen Nährelemente verstärkt aus den Nadeln und Blättern waschen und dadurch jene Elemente ins Minimum bringen, die der Boden entsprechend seiner Ausstattung in nicht ausreichender Menge der Pflanze für den erforderlichen Ausgleich nachliefern kann. Bisher sind unter dieser Hypothese vor allem die Elemente Ca, Mg, K und Zn ins Blickfeld gerückt. Wegen ihrer spezifischen Funktionen ist regional mit unterschiedlichen Symptomen im Bereich „neuartiger Waldschäden" zu rechnen (Tomlinson 1987).

Magnesium wird bei Mangel von älteren in jüngere Gewebe verlagert, weshalb junge Nadeln gewöhnlich von Chlorosen verschont bleiben, während die älteren Nadeln in charakteristischer Weise vergilben (s. Fiedler 1989).

Kalium wird gleichfalls in die wachsenden Gewebe verlagert, in Fichtennadeln treten bei < 40 mg K/g TM Chlorosen auf. Bei Laubbäumen beginnt die Gelbfärbung als Folge von Kaliummangel im zeitigen Sommer am Blattrand und schreitet in Richtung der Blattadern fort. Später werden die Blattränder nekrotisch und braun. Die Schäden beginnen in der Baumspitze mit der Ausbildung kleiner Blätter, die später abfallen und tote Zweige hinterlassen. Bei Koniferen werden zuerst die älteren Nadeln gelb, da das K aus ihnen in die jüngsten Nadeln abwandert. Bald darauf werden jedoch alle Nadeln gelb und fallen ab.

©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

2.1. Ernährungsstörungen bei neuartigen Waldschäden

Neuartige Waldschäden treten vorrangig in Fichtenbeständen aller Altersklassen auf sauren, erdalkaliarmen Böden in allen Höhenlagen der Mittelgebirge, bevorzugt aber in den höheren Lagen, auf. In Frankreich hat sich die Fichtenvergilbung seit 1984 stark ausgebreitet (Bonneau 1986), und auch in Mitteleuropa nimmt das betroffene Areal noch zu. Die Bestände sind reichlich mit N, P, S und über sauren Magmatiten und armen klastischen Sedimenten auch mit K versorgt, während die Ernährung mit Ca und Zn angespannt und die mit Mg unzureichend ist (Tab. 1). Die Nährelementgehalte nehmen bei Mg und Zn mit steigendem Nadelalter ab. Der Mg-Mangel korreliert mit der Gelbfärbung und z. T. auch mit dem Verlust älterer Nadeln. Die Nadelchlorosen sind an stärkere Einstrahlung gebunden und treten bevorzugt an der dem Licht zugekehrten Zweig- bzw. Nadeloberseite auf. Diese photoinduzierte Gelbspitzigkeit ist in Abhängigkeit von der Jahreszeit unterschiedlich stark ausgeprägt. Im Frühjahr nach dem Austrieb sehen die Bestände relativ gesund aus, die Schadsymptome verschärfen sich gegen den Herbst. Hohe N-Gehalte der Nadeln verstärken die disharmonische Ernährung und die Vergilbung, die durch ein weites N : Mg-Verhältnis charakterisiert ist. Am Beispiel der Vogesen wies Savarin (1986) einen Zusammenhang zwischen den Entnadelungsgraden, dem Mg-Gehalt der Nadeln und dem Verhältnis austauschbares Mg/austauschbares Al im Mineralboden nach. Für einen heute stark geschädigten Fichtenbestand auf Granit in den Vogesen konnte 1970/72 noch ein optimaler Mg-Nadelspiegelwert von 0,15 % nachgewiesen werden, bis 1984 verschlechterte sich die Mg- und, abgeschwächt, auch die Ca-Versorgung, während sich die von N und P verbesserte (Chichery 1972, Landmann et al. 1987). Damit wird die für den Thüringer Wald von Nebe et al. (1987) ermittelte analoge Abnahme des Mg-Gehaltes bestätigt.

Kaupenjohann et al. (1987) stellten an einem Standort im Fichtelgebirge (Selb) fest, daß die K-Aufnahme der Bestände mit steigendem Säureeintrag auf Grund der Desorption von Mg und Ca erschwert wird. Stark säurebelastete Fichten (4–6 kg H^+/ha · a) sind schlecht mit K versorgt, bei geringer säurebelasteten Fichten (1,5–2 kg H^+/ha · a) reicht die K-Versorgung aus, aber es tritt Mg-Verarmung auf. Ein Absinken des K-Ernährungszustandes der Fichte wurde auch für Quarzitstandorte des Langen Berges (Thüringen) nachgewiesen (Nebe 1988).

Eine bessere natürliche wie künstliche Ausstattung der Böden mit Erdalkalien bzw. KMg hemmt die Schadausbildung, indem die Ionen-Nachlieferung an die Nadeln zur Deckung der Auswaschungsverluste bzw. zur Säurekompensation erleichtert wird. So fand Reteau (1986) anhand von Infrarot-Falschfarbenaufnahmen eine negative Beziehung zwischen Bestandesschäden und Trophie des Muttergesteins, wie dies analog von Nebe et al. (1987) für Standorte unterschiedlicher Trophie sowie alte Kalkungsflächen (Mg-haltige Kalke) im Thüringer Wald nachgewiesen werden konnte (s. a. Tab. 1). Eine Abschwächung neuer Waldschäden durch vorangegangene Kalkung (einschließlich Mg) wiesen auch Bauch et al. (1985) sowie Kreutzer (1984) nach.

2.2. Ernährungsstörungen von Koniferen und Buche auf Kalkstandorten

Auf kalkhaltigen Böden wird der atmosphärische Säureeintrag (H_2SO_4, HNO_3) neutralisiert, das Bodenangebot an Ca und häufig auch an Mg ist ausreichend. Kalkstein enthält dagegen nur Spuren an K, die beschleunigte Verwitterung durch Säureeintrag könnte sogar das Verhältnis von austauschbarem Ca : K erweitern. Aluminium scheidet als Antagonist bei der Wurzelaufnahme der Erdalkalien aus (Tab. 2). Auf den Thüringer Kalkstandorten dominieren jedoch keineswegs Böden, bei denen der Karbonatgehalt im Feinboden bis in den A_h-Horizont reicht, vielmehr ist das jeweilige Kalkgestein meist von tonigen bis schluffigen Decken überzogen, die im Feinboden keine volle Basensättigung aufweisen (Apel 1988, s. a. Meiwes 1985). Die aus den

©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Tabelle 1. Beispiele für normale und gestörte Ernährung einjähriger Fichtennadeln auf Silikat- und Kalkstandorten bzw. Böden unterschiedlicher Trophie

Ernährung/Gebiet/Trophie	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Zn
	[%]					[ppm]	
normale Ernährung							
a) Thüringer Wald (Silikatb.)[1]	1,40–2,00	0,12–0,25	0,45–1,20	0,20–0,65	0,08–0,20	200–5000	30–70
Niedere Tatra (Silikatb.)[2]	1,18–2,13	0,12–0,23	0,55–1,10	0,17–0,70	0,08–0,14	160–1030	
Liptauer Tatra (Silikatb.)[2]	1,12–1,79	0,13–0,29	0,57–0,78	0,30–0,61	0,08–0,14	380–660	52–72
b) Weiße Tatra (Karbonatb.)[2]	1,33–1,55	0,19–0,34	0,60–1,02	0,31–0,55	0,08–0,11	80–405	60–85
gestörte Ernährung							
a) Thüringer Wald (Silikatb.)[1]	1,27–1,88	0,16–0,26	0,88–1,33	0,14–0,33	**0,05**–0,07	855–945	27–48
Vogesen (Silikatb.)[3]	1,35–1,50	0,15–0,19	0,60–0,80	0,15–0,30	0,07–0,11		**10**
Vogesen (Silikatb.)[3] stark geschädigte Bäume				0,18	**0,045**		
Ebnat (Silikatb.)[4] stark geschädigte Bäume			**0,29**	0,49			
Oberwarmensteinach (Fichtelgeb.; Braunerde-Podsole aus Phyllit)[5]	1,46 1,48	0,24 0,15	0,93 0,51	0,22 0,21	**0,045** 0,063	(40jährig, 3. Wirtel) (100jährig, 3. Wirtel)	
Wülfersreuth (Fichtelgeb.; podsol. Braunerde aus Phyllit)[5]	1,52 1,58	0,23 0,18	0,73 0,65	0,27 0,24	0,095 0,085	(40jährig, 3. Wirtel) (100jährig, 3. Wirtel)	
Selb (Fichtelgeb.; eutrophe Braunerden aus Basalt)[5]	1,35 1,38	0,22 0,15	0,71 0,42	0,59 0,50	0,112 0,122	(40jährig, 3. Wirtel) (100jährig, 3. Wirtel)	
b) Kloaschau (Bayer. Kalkalpen; Dolomitschutt-Rendzina)[5]	**0,94**	**0,11**	**0,29**	0,51	0,215	(120jährig, 3. Wirtel)	
Dischingen (BRD; Kalkverwitterungslehm auf Weißjura)[4]	1,14–1,45	0,14–0,15	**0,37**–0,45	0,59–0,73	0,13–0,14	900	26–33
Immendingen (BRD; Rendzina auf Braunjura)[4]	**1,01**	0,12	0,83	0,68	0,07	**3**	28
Mangelbereiche	<1,30	<0,13	<0,40	(0,1)–<0,3	<0,07	<20	<13

[1] Nebe et al. (1987) [2] Fiedler et al. (1974) [3] Landmann et al. (1987) [4] Hüttl; Zöttl (1986) [5] Kaupenjohann et al. (1987)

©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Nadeln ausgewaschenen Ca- und Mg-Ionen können vermutlich trotzdem über eine verstärkte Aufnahme dieser Ionen aus dem Boden voll kompensiert werden. Dies trifft wahrscheinlich aber nicht für das an der Pufferung im Kronenraum gleichfalls beteiligte und aus den immissionsgeschädigten Nadeln ausgewaschene Kalium zu, das von Natur aus schwächer angeboten und dessen Aufnahme durch Ca als Antagonist gehemmt wird. Damit lägen also entgegengesetzte Verhältnisse wie auf Standorten über saurem magmatischem Gestein vor, wo die Bevorratung mit K hoch und die Löslichkeit und damit Auswaschung des K unter den Bedingungen saurer Niederschläge geringer als bei Ca und Mg ist (Reuss, Johnson 1986). Auf Kalkstandorten ist daher bei saurem Niederschlag Kaliummangel in den Nadeln und damit ein abweichendes Schadbild möglich (Tab. 1). Nach Mishra und Rehfuess (1984) beträgt für verschiedene Bodentypen über Dolomit der bayerischen Alpen das wasserlösliche und austauschbare K weniger als 2 % des Gesamt-K. Die Tonfraktion ist auf diesen Standorten die bedeutendste potentielle Quelle aller K-Fraktionen mit Ausnahme des wasserlöslichen K. Die wasserlösliche Fraktion ist mit dem Gehalt an organischen Kohlenstoff positiv korreliert.

Fichtenbestände über Kalkverwitterungslehmen und Schichtlehmen des Weißen Jura (BRD) weisen mit 3–4 mg $K \cdot g^{-1}$ TM unzureichende K-Ernährung auf (Hüttl 1985, s. a. Tab. 1). Die mittleren Ca-Gehalte laufen den K-Werten entgegen, bei größeren Nadelverlusten zeigen sie zunehmende Tendenz. Die N-, P-, Mg-, Mn- und Zn-Spiegel korrelieren dagegen nicht mit den Verlustprozenten der Nadeln. Auch korreliert die Mg-Ernährung nicht mit der Verfärbungsintensität. Die meist bei älteren Nadeln auftretende chlorotische bzw. zitronengelbe z. T. auch rotbraune Verfärbung beruht auf K-Mangel. Der K : Ca-Bereich für ausgeglichene Versorgung von 0,8–2,4 wird mit Werten von 0,5–0,7 nicht erreicht, wohl aber das optimale K : Mg-Verhältnis von 2,2–6,4 mit Werten von 2,4–2,6. Auch für das Gebiet des französischen Jura wird vermutet, daß N-, P- und K-Mangel eine größere Bedeutung als Mg-Mangel besitzt (Landmann et al. 1987). Kreutzer sowie Rehfuess (s. Papke et al. 1986) fanden erhebliche Schäden an Fichte, Kiefer und Buche auf der Münchener Kalkschotterebene und in den Bayerischen Kalkalpen. So waren 1984 im Hohenkirchner Forst auf Parabraunerden und Pararendzinen über fluvioglazialen Sedimenten 30 % der Fichten schwach und 30 % mittelstark geschädigt. Bei der Kiefer zeigten 25 % der Bäume schwache, 50 % mittlere und 10 % starke Schäden (Kreutzer, s. Papke et al. 1986). Die Fichten waren mit N, P, Ca und Mg gut, mit K aber knapp ernährt (Rehfuess, s. Papke et al. 1986). Die Schäden stellten sich an älteren Fichten seit 1980 und 1981 mit Nadelrötung im Herbst und vorzeitigem Schütten älterer Nadeljahrgänge und Kronenverlichtung, aber ohne Vergilbungserscheinungen ein. Seit 1983 bildeten die Fichten Proventivsprosse auf den Hauptästen. Als auslösende Faktoren werden Wassermangel und Frost angesehen. Ein direkter Einfluß von SO_2 und Photooxidantien gilt als wenig wahrscheinlich, eine Schädigung durch Säureeintrag in Baumkrone und Boden als möglich.

Auf Rendzinen über Kalkschutt und -fels der Bayerischen Kalkalpen waren 1984 > 50 % der Fichten und 67 % der Buchen schwach bis mittelstark geschädigt (Kreutzer, s. Papke et al. 1986). Auf der Elendsalm (1150 m ü. NN, steiler Südhang, flachgründige Moderrendzina auf Dolomit-Hangschutt) sind 80–140 Jahre alte Fichten seit 1981 weniger vital (Rehfuess, s. Papke et al. 1986). Ältere Nadeln haben gelbe Spitzen (K-Mangel) und werden vorzeitig abgeworfen, im unteren Kronenbereich sind jüngste Triebe gelblich verfärbt (Mn-Mangel). Einzelne Bäume und Baumgruppen sterben ab. Der Boden ist arm an P und K und reich an Ca und Mg. Die basische Bodenreaktion hemmt die Aufnahme von Mn, Fe, B und Cu. Deshalb sind die Bäume mit Wasser, N, P, K, Fe und Mn unterversorgt (prädisponierender Streß), mit Ca und Mg dagegen gut ernährt (Tab. 3). Der K-Mangel senkt die Trockenheits- und Frost-

©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Tabelle 2. Analysen von Kalkstein und Vergleichsgesteinen.
Werte von 1. aus Richter (1975), von 2. nach Tomlinson (1987)

Gestein	Ca	Mg	K	Mn	Al	Zn	molares Verhältnis Al/Ca	(Ca + Mg)/K
			[Masse-%]			[ppm]		
1. Kalke (Clarke-Werte)	30,4	4,76	0,14	0,04				266,5
Karbonatgestein (Clarke-Wert)				0,11		26		
Basiskalk } (Steudnitz	35,0	1,25	0,15	0,10				241,0
Wellenkalk } bei Jena)	38,3	0,07	0,11					340,7
Wellenkalk (Plesse bei Göttingen)	35,9	0,58	0,19	0,02				189,2
Muschelkalk (Göttingen)	36,9	0,49	0,23					159,9
Muschelkalk (Göttingen)	36,8	0,42	0,18					203,2
Muschelkalk (Göttingen)	38,2	0,43	0,08					474,5
Unterer Muschelkalk	39,7	0,62	0,13					305,6
(Hessen: Maar, Hedemünde)	35,2	0,23	0,29					119,7
Nodosus-Kalke (Baden-Baden)	35,4	0,59	0,23					154,3
Kalksteine (Baden)	38,7	0,07	0,15					252,5
Dolomite (mittl. Muschelkalk, Thüringer Becken)				0,0001–1 $\bar{x} = 0{,}0146$				
Karbonatgesteine Thüringens (außer Dolomite)				0,0001–1 $\bar{x} = 0{,}0281$		3–5 $\bar{x} = 3{,}9$		
2. Granit	0,4	0,04	5,43		7,64		27,5	0,09
Basalt	5,8	3,62	6,45		8,42		2,12	1,79
Kalkstein	30,4	4,76	0,27		0,43		0,02	136,4

©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

resistenz. Auswaschung von K und Mn aus den Nadeln durch Einwirkung von Photooxidantien und sauren Niederschlägen verschärft den Mangel (Immissionswerte an SO_2 und NO_x: 8–10 bzw. 4–20 µg/m³ Luft im Jahresmittel, 812 µg S/g Nadeltrockenmasse).

Tabelle 3. Ernährung von alten Fichten auf der Elendsalm (Bayerische Kalkalpen) (nach Rehfuess, s. Papke 1986)

Gesundheitszustand	Nadelalter [Jahre]	Elementgehalte					
		K	Ca [%]	Mg	Mn	Fe [ppm]	Zn
gesund (20 % Nadelverlust)	0,5	0,43	0,34	0,16	32	28	39
krank (60 % Nadelverlust)	0,5	0,30	0,28	0,18	20	29	27
gesund	3,5	0,31	0,63	0,17	23	42	31
krank	3,5	0,17	0,47	0,20	16	34	17

Glavac (1987) stellt für 120jährige Buchen auf Rendzina über Muschelkalk bei Kassel (pH 7,5) typische Symptome neuartiger Waldschäden fest. Mit zunehmender Erkrankung nahmen ferner die Blattflächengrößen und die Blattwassergehalte ab, während die im Labor getestete Kationenauswaschung (Ca, Mg, K, Zn) in gleicher Richtung zunahm. Trotz der dadurch wahrscheinlich gemachten erhöhten Auswaschungsverluste bei geschädigten Bäumen wiesen diese meist keine Abnahme der Mineralstoffgehalte in ihren Blättern auf. Nur schwer geschädigte Bäume zeichneten sich durch deutliche Kaliumverluste aus, die Ca- und Mg-Verluste konnten also i. d. R. kompensiert werden.

Da ältere Blattanalysen von Beständen über Kalk aus Thüringen kaum vorliegen, besteht ein dringender Bedarf an Basisvergleichswerten.

3. Untersuchungsbefunde in Thüringen

Gegenstand der Untersuchungen im Frühjahr und Sommer 1987 waren hauptsächlich die Muschelkalkstandorte im NE- und SW-Vorland des Thüringer Waldes im Bereich der Staatlichen Forstwirtschaftsbetriebe Weimar, Meiningen, Suhl, Hildburghausen und Sonneberg. Zum Vergleich wurden angrenzende Buntsandsteinstandorte des Hügellandes und Hochlagenstandorte auf Porphyr und Schiefer begutachtet. Die Standorte liegen teils im Lee des Thüringer Waldes und der Rhön, überwiegend aber im Luv des Thüringer Waldes.

3.1. Neuartige Waldschäden auf Silikatstandorten

Auf Porphyrstandorten zwischen 600 und 660 m ü. NN am SW-Abhang des westlichen Thüringer Waldes (in der Mehrzahl der Wetterlagen Luvseite) sind die Nadeln von Fichtenkulturen und -beständen vergilbt, das Wachstum der Kulturen stockt. Die Nadeln weisen im Sommer 1987 deutlichen Magnesiummangel auf, die Ca- und die Zn-Ernährung sind schwach (Tab. 4). In den Nadeln einer stark geschädigten Kultur liegen auch die Stickstoffspiegel überraschend tief, obwohl den Pflanzen nach Kahlschlag durch beschleunigte Mineralisierung der Humusauflage ausreichend Stickstoff verfügbar sein sollte.

Auch auf Schieferstandorten in 600–850 m ü. NN wurden von den dort wirtschaftenden Forstleuten starke Schäden an der Fichte beobachtet. Hier gehen örtlich

©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Tabelle 4. Elementgehalte und Wassergehalt von Fichtennadeln Anfang August 1987 aus dem StFB Meiningen, Oberförsterei Schmalkalden, Grundgestein Porphyr; Standortsgruppe Mff–M3, 600–660 m ü. NN

Bestand/Probe	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	Zn (ppm)
3jährige Kultur								
weniger geschädigt								
1jährige Nadeln	1,26	0,13	0,48	0,24	0,050	612	76	21
2jährige Nadeln	1,31	0,09	0,34	0,45	0,040	912	116	28
stärker geschädigt								
1jährige Nadeln	0,96	0,12	0,50	0,21	0,052	732	51	21
2jährige Nadeln	1,03	0,11	0,37	0,36	0,034	1098	105	30
15jähriger Bestand								
1. Wirtel	1,46	0,21	1,08	0,24	0,050	599	64	34
7. Wirtel								
1jährige Nadeln	1,46	0,14	0,82	0,33	0,036	616	72	28
2jährige Nadeln	1,42	0,10	0,74	0,42	0,022	779	72	18
3jährige Nadeln	1,23	0,09	0,76	0,51	0,018	870	92	15
4jährige Nadeln	1,10	0,09	0,75	0,50	0,018	820	84	18
110jähriger Bestand								
7. Wirtel								
1jährige Nadeln	1,33	0,16	0,60	0,42	0,044	1614	111	34
2jährige Nadeln	1,37	0,13	0,43	0,67	0,032	2920	111	21
3jährige Nadeln	1,33	0,11	0,38	0,73	0,026	2670	121	23
4jährige Nadeln	1,28	0,10	0,33	0,73	0,026	2590	140	22

©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

5jährige, geschlossene, stark vergilbte Kulturen ein. Das Schwergewicht der Schäden liegt jedoch in den mittelalten Fichtenbeständen. So wurden schlaffe Triebe mit dunkelgelben bis braunen Nadeln festgestellt. Es besteht der Verdacht, daß in diesem Falle neben Erdalkali- auch Kalimangel vorhanden ist, wie dies schon auf dem Quarzit-Standort „Langer Berg" bei Gehren nachgewiesen worden ist (Nebe 1987).

Auf sandigem Buntsandstein tritt südlich von Suhl in Höhenlagen zwischen 550 und 650 m ü. NN an einzelnen Fichten die für die Gebirgshochlagen typische Gelbfärbung auf. Die Schäden breiten sich also nach den tieferen Lagen zu aus. Auf gleichem Grundgestein im Sonneberger Gebiet um 500 m ü. NN ist die Fichte in einem älteren Fi-Ki-Mischbestand noch grün, hat aber verkahlte Lamettazweige und bildet viele Proventivtriebe, ohne daß Fraßschäden oder Kotsäcke der im Gebiet auftretenden Fichtengespinstblattwespe augenfällig wären.

Die Kiefer weist auf dem gleichen Standort 3–4 gesunde Nadeljahrgänge auf.

3.2. Schadausprägung bei Waldbeständen auf Röt und Muschelkalk

Die Muschelkalk- und Rötstandorte werden hier gemeinsam behandelt, da sie standortsgeographisch eng zusammengehören und die Substrate des Rötsockels bei regulärer Lagerung häufig von Muschelkalkschutt der darüber folgenden Wellenkalk-Steilstufe überrollt und somit chemisch den Muschelkalksubstraten ähnlich sind.

Auf diesen Standorten treten zwei Schadgruppen auf: Schäden, die sich auf Emissionen industrieller Tierhaltungen und deren Folgeeinrichtungen (Gülleteiche, Gülleausbringungsflächen) zurückführen lassen, sowie Schäden, die vermutlich durch die regionale Immissionssituation hervorgerufen werden. Die Gruppen können nicht immer eindeutig abgegrenzt werden, vor allem nicht an Waldrändern, an denen die Bäume durch Extreme des natürlichen Klimas, durch regionale Immissionen und durch Immissionen von den angrenzenden landwirtschaftlichen Flächen mehrfach belastet sind. Bei der Erforschung der Schadursachen sollte als standörtliche Besonderheit beachtet werden, daß auf den Muschelkalkstandorten Koniferen und Buchen häufig regelhaft verteilt sind. Mit Fichte wurden oft ertragsschwache Äcker, mit Kiefer Hutungen und Triften aufgeforstet. Die Buchen stocken meist auf alten Waldböden.

3.2.1. Schäden durch Stickstoffeintrag

In den letzten 10–15 Jahren entstanden zahlreiche größere industrielle Tierhaltungen der Landwirtschaft. Jede dieser Tierhaltungen ist inzwischen von einer Zone von ungefähr 1000 m Radius umgeben, innerhalb derer Waldbestände geschädigt sind. Die Schäden reichen bis zum vollständigen Absterben der Bäume in unmittelbarer Nähe zur Anlage. Hier dominiert die direkte Wirkung der emittierten Gase, vor allem NH_3, H_2S, Mercaptane und Methylamine, auf den Assimilationsapparat (Dässler 1986). Es werden alle Baumarten, einschließlich der Schwarzkiefer, geschädigt. Vermutlich auf Eintrag von Stickstoffverbindungen sowie weiterer Agrochemikalien aus landwirtschaftlichen Flächen in den Wald sind Schäden an Waldrändern und in Feldgehölzen zurückzuführen. Die Schäden scheinen sich in der Nähe von Flächen, die intensiv begüllt werden, zu häufen. Eine statistische Analyse liegt dazu allerdings nicht vor. In den Feldgehölzen und an Waldrändern dominieren als Bodenpflanzen Brennessel und Holunder.

Ältere Kiefern besitzen 2–3 Nadeljahrgänge. Die diesjährigen Nadeln sind gelblich, die vorjährigen grün. Im Herbst werden die Nadeln stärker gelb und sterben teilweise ab. Schwarzkiefern sind gesünder als Kiefern. An den Fichten lassen sich 5–6 Nadeljahrgänge feststellen. Im unteren Kronenteil ist die Verkahlung am stärksten, doch sind die Lamettazweige fast bis zur Baumspitze verkahlt. Einige Buchen fallen durch struppige und geringere Belaubung auf, so daß die Äste sichtbar bleiben.

©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Die Blätter haben z. T. gelbe Interkostalfelder bei grünen Blattadern. Am Waldrand sterben die Koniferen ab, während die Buche sich noch hält. Zwischen den Individuen einer Baumart werden genetische Unterschiede offensichtlich. Kranke Bäume stehen unmittelbar neben gesunden.

3.2.2. Regionale Schäden

Auf den Muschelkalkstandorten zu beiden Seiten des Thüringer Waldes treten an Fichte, Kiefer und Buche Symptome auf, die als erste Zeichen einer regionalen Schädigung gedeutet und näher untersucht werden müssen.

Im Vergleich zu den angrenzenden Silikatstandorten der Hochlagen erscheint die Fichte hier zwar noch grün und relativ gesund, zumal sie noch bis zu 9 Nadeljahrgänge trägt. Sie verkahlt aber von innen heraus und besitzt einen größeren Anteil an dürrem Feinreisig als früher (vorwiegend an den Seitenzweigen 2. Ordnung, den Lamettazweigen). An einzelnen Fichten werden die ältesten Nadeln gelb. Ansonsten sind gerade diese Bäume voll benadelt. Im Zustand der Fichten sind auch auf diesen Standorten bemerkenswerte individuelle, wahrscheinlich genetisch bedingte Unterschiede zu sehen.

Am stärksten fallen auf den Kalkstandorten die Schäden an der Kiefer auf. Neben gesunden Beständen, die z. T. sogar überaltert sind, gibt es Bereiche, in denen Kiefern einzeln, in Gruppen oder auch flächenhaft gelb werden, die älteren Nadeljahrgänge abwerfen und innerhalb weniger Jahre ohne offensichtliche Ursache absterben. Diese Erscheinung zeigte sich vereinzelt auch in früheren Jahrzehnten und wurde als Kalkchlorose bezeichnet. In den letzten Jahren hat diese Erscheinung aber beträchtlich zugenommen. Die Kiefernkronen verlichten außerdem, wenn sich viele männliche Blüten bilden, die nach ihrem Abfall nur Nadelrosetten um die Triebe zurücklassen. Ob starke männliche Blüte als krankhafte Reaktion zu werten ist, läßt sich derzeit nicht entscheiden. Von der Erkrankung der Kiefer sind vor allem die Waldrandzonen betroffen. Außerdem scheint sich die Erkrankung auf Standorten auf Röt, den hangenden tonigen Myophorienschichten und auf Muschelkalk-Hangrutschmassen über Röt zu häufen. Sie tritt dort auch an Schwarzkiefer auf. Diese Standorte sind aber gleichzeitig oft Waldrandzonen. Es ist unklar, ob die Erkrankung am Boden, an der Waldrandwirkung und der Nachbarschaft landwirtschaftlicher Flächen liegt oder einfach am bevorzugten Kiefernanbau und deshalb Kiefernvorkommen auf diesen ehemaligen Triftflächen. Es gibt aber auch gesunde Waldränder, und andererseits werden kranke Kiefern auch im Inneren größerer Bestandskomplexe gefunden. Trockene Standorte scheinen nicht stärker betroffen zu sein als besser wasserversorgte. Die Schwarzkiefer vergilbt wesentlich seltener, bleibt aber auch nicht vollkommen davon verschont.

Die Buche galt bisher, vor allem auf Kalk, noch als gesund, möglicherweise weil sie weniger auffällige und schlechter faßbare Schadsymptome zeigt. Es lassen sich aber auch an mittelalten Buchenbeständen auf Standorten, die durch örtliche Emittenten nicht belastet sind, Symptome in Form teilweise verkahlter Spitzen sowie gelber und eingerollter grüner Blätter feststellen, die vom bisher geläufigen Habitus gesunder Buchen abweichen und als Schäden gewertet werden müssen [zum Habitus von Buchenkronen s. auch Roloff (1986)].

Insgesamt ergibt sich für alle muschelkalk- und halkbeeinflußten Röt-Standorte in den unteren Berglagen nördlich und südlich des Thüringer Waldes ein weitgehend einheitliches Bild: Die Schäden am Assimilationsapparat nehmen von der Gemeinen Kiefer (Vergilbung, Kurznadeligkeit, Nadelverluste) über die Fichte (Nadelverluste) zur Buche (geringere Belaubung u. a.) und Schwarzkiefer ab. Die wenigen noch verbliebenen Tannen sind nicht stärker als die Fichte geschädigt. Durch konzentrierte Tierhaltung und Gülleausbringung werden Waldenklaven und Waldränder erheblich belastet. Die innerhalb von Waldkomplexen auftretenden Schäden müssen jedoch auf

©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

eine regionale Luftbelastung zurückgeführt werden. Der im Vergleich zu sauren Silikatstandorten erhöhte Erdalkaligehalt der Böden kann demnach Immissionsschäden nicht unterbinden. Sie treten jedoch in wesentlich schwächerer Form und anderer Ausbildung auf. Vermutlich können Wasser- und Kaliummangel als prädisponierender Streß wirken.

Tabelle 5. Nadelanalytische Kennwerte 121jähriger Kiefern auf Muschelkalkschutt über Röt bei Meiningen (Revier Sülzfeld) im Oktober 1986

a) Wassergehalt in % Frischmasse

	Position Alter[1] / Baum-Nr.	0/1	0/2	1/1	1/2	2/1	2/2	3/1	3/2
	1	59	53	58	54	59	54	60	54
	2	59	54	59	56	59	54	59	55
krank	3	60	55	60	55	60	56	60	54
	4	59	52	59	55	60	52	58	54
	5	57	52	59	53	57	53	58	54
	x̄	59	53	59	55	59	54	59	54
	6	57	54	58	54	59	55	58	54
	7	56	55	57	54	56	55	56	54
gesund	8	57	53	56	52	57	52	57	53
	9	58	54	56	54	56	54	56	53
	10	56	53	55	55	57	54	56	54
	x̄	57	54	56	54	57	54	57	54

b) Stickstoffgehalt in % Trockenmasse

	Position Alter[1] / Baum-Nr.	0/1	0/2	1/1	1/2	2/1	2/2	3/1	3/2
	1	1,84	1,65	1,66	1,58	1,63	1,51	1,62	1,57
	2	1,37	1,35	1,42	1,54	1,44	1,51	1,67	1,51
krank	3	1,89	1,71	1,85	1,71	1,83	1,79	1,71	1,85
	4	2,19	2,06	2,02	1,96	2,14	1,93	1,71	1,80
	5	1,56	1,76	1,49	1,71	1,49	1,86	1,64	1,75
	x̄	1,77	1,71	1,69	1,70	1,71	1,72	1,67	1,70
	6	1,62	1,81	1,73	1,80	1,79	1,77	1,82	1,84
	7	1,80	1,91	1,91	1,97	1,68	1,73	1,66	1,71
gesund	8	1,76	1,86	1,59	1,74	1,62	1,79	1,56	1,77
	9	1,47	1,45	1,41	1,44	1,63	1,51	1,46	1,57
	10	1,37	1,51	1,39	1,58	1,45	1,63	1,42	2,04
	x̄	1,60	1,71	1,61	1,70	1,64	1,69	1,58	1,79

[1] 0/1: Kronenspitze, diesjährige Nadeln
0/2: Kronenspitze, vorjährige Nadeln
1/1: 1,3 m unter der Kronenspitze, diesjährige Nadeln
1/2: 1,3 m unter der Kronenspitze, vorjährige Nadeln
2/1: 2,6 m unter der Kronenspitze, diesjährige Nadeln
2,2: 2,6 m unter der Kronenspitze, vorjährige Nadeln
3/1: 4,0 m unter der Kronenspitze, diesjährige Nadeln
3/2: 4,0 m unter der Kronenspitze, vorjährige Nadeln

©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Koniferen können künftig auf diesen immissionsbelasteten Standorten nur noch beschränkt angebaut werden. Sie sind durch Laubhölzer zu ersetzen, wobei auch deren Anbauerfolg fraglich ist. Bereits heute können zahlreiche Feldgehölze und Waldränder mit ihrer wichtigen ökologischen Funktion nicht mehr gehalten werden. Erste Untersuchungen zeigen, daß geschädigte Kiefernnadeln gute bis sehr gute Stickstoffernährung aufweisen und ihr Wassergehalt zumindest nicht reduziert ist (Tab. 5). Dort, wo der Stickstoff die Bäume über den Boden durch unharmonische Ernährung schädigt, sind Harmonisierungsdüngungen mit K und Mg als Therapie denkbar, bisher aber nicht erprobt.

4. Diskussion

Nadelverluste und -verfärbungen sind ein Indikator für die Vitalität der Koniferen. Danach sind auch auf den beschriebenen Kalkstandorten die Bestände weniger vital. Das wird auf eine Überlagerung natürlicher Streßfaktoren wie Trockenheit und Frost mit Streß durch regionale und örtliche (auch landwirtschaftliche) Luftverunreinigungen zurückgeführt. Bei Vergleichen von Nadelverlusten ist das Bestandesalter unbedingt zu berücksichtigen, da die Bäume mit zunehmendem Alter auf kritische Situationen empfindlicher reagieren (s. a. Andersson 1986). Obwohl es an exakten Nachweisen mangelt, ist anzunehmen, daß Bäume mit stärkeren Nadelverlusten auch schwächer wachsen. Künftig müssen die Schadsymptome genauer analysiert werden. So ist z. B. bei geringen Verkahlungen der Kammfichte häufig nicht zu entscheiden, ob dieser Anteil an dürrem Feinreisig für eine gesunde Fichte unter den gegebenen Standorts- und Bestandesbedingungen noch normal ist, da Koniferenkronen früher unter immissionsfreien Bedingungen nicht so intensiv nach den heute aktuellen Gesichtspunkten betrachtet wurden. Für die Fichte liegt jetzt eine genaue Analyse des Verzweigungssystems und Nadelfalls vor (Gruber 1987), die die Kronenbewertung für wissenschaftliche Untersuchungen erleichtert. Bezüglich der international vereinbarten Anspracheregeln für Nadelverluste und -verfärbungen sei auf den Handbuch-Entwurf (UNEP, UN-ECE 1986) verwiesen. Im Vergleich mit den Befunden von Gruber (1987) sollte die Benadelung der Fichte auf Kalkstandorten eingehend untersucht werden. An Kiefer und Buche sind systematische makro- und mikromorphologische sowie chemische Analysen des Assimilationsapparates, aber auch der Wurzeltracht notwendig, die bisher weitgehend fehlen. Der morphologische Habitus von Buchenkronen wurde von Roloff (1986) bereits eingehend untersucht. Chemische Analysen können Ernährungsstörungen aufdecken und damit Wege zeigen, diese durch Düngung zu beheben.

Um den Gesundheitszustand der Bestände auf Muschelkalkstandorten besser beurteilen zu können, sollte die regionale Verbreitung der Schäden und ihre Kopplung mit wichtigen Standortsfaktoren und vermuteten Einflüssen unter Verwendung statistischer Methoden festgestellt werden. Gehäufte Bindung an bestimmte Faktorenkonstellationen könnte auf mögliche Ursachen hinweisen. Im Vergleich zu Silikatstandorten sind die auf Muschelkalkstandorten festgestellten Schäden an Fichte gering und auf ältere Bestände beschränkt. Zumindest im Juli ist eine Vergilbung so gut wie nicht feststellbar und auch sonst von der Praxis nicht beobachtet worden. Auffällig sind dagegen die Nadelverluste an den hängenden Zweigen der Kammfichten und die starke Proventivtriebbildung, obwohl an diesen Bäumen bis über 10 Nadeljahrgänge vorhanden sind. Diese Symptome traten auf einem Buntsandsteinstandort verschärft auf. Für die Fichte auf Standorten der Unteren Lagen muß daher eine andere Kombination und Intensität von Streßfaktoren angenommen werden als bei der „Hochlagenerkrankung" auf sauren Silikatstandorten der mittleren und höheren Berglagen.

Die Kiefer tritt verstärkt in den Randstreifen zur landwirtschaftlichen Nutzungsfläche auf und ist damit besonders belastet, vermutlich nicht nur durch die Abdrift von

©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Agrochemikalien, sondern auch durch NH_3 und andere flüchtige N-Verbindungen, die auf den Feldern nach der Mineralstickstoff- und Gülledüngung entweichen.

Auf die beträchtlichen Ammoniakmengen aus Viehwirtschaft und Industrie, die in die Wälder eingetragen werden, weist auch Kuhn (1986) hin. In der Schweiz beträgt der Eintrag an Gesamt-N in die Wälder 20–30 kg/ha und Jahr. Er akkumuliert sich dort, verändert die Vegetation und stört die Ernährung und die Mykorrhiza-Symbiose der Bäume.

Über die chemische Beschaffenheit der Luft und luftchemische Umsetzungen an der Waldgrenze zu intensiv begüllten Flächen ist kaum etwas bekannt. Voraussetzung für die NH_3-Abgabe des Bodens ist ein pH-Wert > 6, der aber auch auf Mikrostandorten, wie nach Harnstoffdüngung, entstehen kann, bei der N-Verluste um 10 % stattfinden können. Die atmosphärische Verweilzeit von NH_3 beträgt wenige Tage. Ein wesentlicher Teil des atmosphärischen NH_3 wird entweder in Gasform oder als $(NH_4)_2SO_4$ in den Niederschlag inkorporiert und dem Boden als NH_4^+ wieder zugeführt. Der geringere Teil des NH_3 bildet Aerosole und fällt durch Sedimentation aus. Gewöhnlich kommt NH_3 als Spurengas im Konzentrationsbereich von 2–7 $\mu g/m^3$ vor. Die NH_3-Konzentration in der unteren Troposphäre ist von der Aktivität der Bodenmikroorganismen abhängig. Im Sommer ist daher mit einem erhöhten Angebot gegenüber Herbst und Winter zu rechnen. Mit steigender Höhe über NN nimmt die NH_3-Konzentration der Luft ab. Nur im Sommer erreichen NH_3- und SO_2-Konzentration vergleichbar hohe Werte, die über den NH_3-SO_2-Flüssigwasser-Prozeß die Bildung von $(NH_4)_2SO_4$-Teilchen ermöglichen. Im Winter übertrifft die dann erhöhte SO_2-Konzentration in der gesamten unteren Atmosphäre die verminderte NH_3-Konzentration um den Faktor 3 bis 4. Unter der Einwirkung von belasteter Luft aus Stallungen und über Gülleflächen kommt es sicher zu erheblichen Abweichungen von den natürlichen Verhältnissen, so daß NH_3-Schadwirkungen nicht auszuschließen sind.

Stickstoffverluste durch NH_3-Abgasung (s. a. Fenn und Hossner 1985) treten insbesondere dann auf, wenn NH_4-haltige Düngemittel auf kalkreichen Böden (> 6 % $CaCO_3$) bzw. Böden mit einem pH-Wert > 7 ausgebracht werden (Haunold 1986), wie dies für landwirtschaftliche Böden auf Muschelkalk und muschelkalküberrolltem Röt überwiegend zutrifft. Die NH_3-Verluste nehmen in der Reihenfolge $NH_4NO_3 < (NH_4)_2SO_4 < (NH_2)_2CO < NH_4OH$ zu. Der NH_4-Pool der Bodenlösung wird durch tierische Ausscheidungsprodukte, z. B. Gülle, gespeist. Erhöht sich die NH_3-Konzentration in der Bodenlösung durch Begüllung, steigt auch die NH_3-Abgasung in die Atmosphäre. Die Abgasung wird durch den Unterschied des NH_3-Partialdruckes in der Bodenlösung einerseits und in der Gasphase des Bodens und der angrenzenden Atmosphäre andererseits hervorgerufen. Die NH_3-Menge, die die Bodenlösung aufnehmen kann, sinkt mit steigender Temperatur. Gleichzeitig nimmt die mikrobielle Aktivität und damit die NH_3-Produktion aus organischen Düngern zu. Temperaturanstieg, Wind und Bodenaustrocknung (Einengung des Lösungsvolumens) fördern die NH_3-Abgasung. Solche Verhältnisse finden sich auf den biologisch aktiven, leicht erwärmbaren und austrocknenden Kalkböden. Hinzu kommt, daß sich im Sommer die Bodenlösung infolge der Verdunstung häufig zur Bodenoberfläche bewegt. In der Bodenlösung herrscht ein Gleichgewicht zwischen NH_4^+ und NH_3, das sich bei steigendem pH-Wert (> 7) nach NH_3 verschiebt, womit eine NH_3-Abgasung wiederum wahrscheinlicher wird.

Auf Böden mit hohem pH-Wert oder Kalkgehalt lassen sich die NH_3-Verluste senken, indem keine NH_4-, sondern NO_3-Dünger verwendet, NH_4-Dünger und Gülle in den Boden eingearbeitet (10 cm) sowie die N-Dünger bedarfsgerecht (Hauptgabe kurz vor dem Anbau) verabreicht werden.

Das entweichende NH_3 wird entweder direkt in die benachbarten Böden eingewaschen oder es reagiert mit dem SO_2 der Luft zu $(NH_4)_2SO_4$, das ebenfalls wieder in

©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

den Boden gelangt. Dort trägt es über die Oxidation zu HNO_3 zur Versauerung bei (s. Prenzel 1985).

Durch Denitrifikationsprozesse auf begüllten Flächen ist ferner mit einer erhöhten mikrobiologischen N_2O-Bildung zu rechnen. N_2O ist zwar ein inertes Gas, es ist aber auch der Hauptlieferant der Stickoxide NO und NO_2, die in Ballungsgebieten vorwiegend anthropogenen Ursprungs sind.

In der Stratosphäre vollzieht sich z. B. die Reaktion $N_2O + O \rightarrow 2\ NO$. NO kann auch durch Oxidation von NH_3 entstehen. Es tritt aber auch neben N_2O und N_2 bei der Denitrifikation auf. Die Verweilzeit von NO und NO_2, zusammengefaßt NO_x, beträgt wenige Tage. Im Gegensatz zu N_2O bilden NO und NO_2 Aerosole. In der Stratosphäre reduzieren die Stickoxyde NO und NO_2 die Ozon-Konzentration:

$$\begin{array}{l} NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2 \\ NO_2 + O \rightarrow NO + O_2 \\ \hline O + O_3 \rightarrow 2\ O_2 \end{array}$$

Bindung des NO_2 durch das OH-Radikal

$$OH + NO_2 \rightarrow HNO_3$$

senkt entsprechend die katalytische Zerstörung von Ozon (s. a. Georgi 1975, Seller 1975, Warneck 1975).

In jedem Fall ist NO_x neben SO_2 und O_3 ein wesentlicher Bestandteil der für die neuartigen Waldschäden verantwortlichen Gasmischung. Welche luftchemischen Umsetzungen sich bei verstärkter mikrobiologischer Erzeugung von NH_3, N_2O und NO im Sommer bei starker Einstrahlung vollziehen, bedarf dringend der Klärung. Kiefer und Fichte haben bei angrenzender intensiver landwirtschaftlicher Nutzung auf Röt und Wellenkalk keine Überlebenschance, sofern die Landwirtschaft künftig ihre Bewirtschaftungsmethoden an Waldrändern nicht ändert.

Die beste Gegenmaßnahme gegen Waldschäden ist ausreichende Verringerung der Immissionen. Solange dieses Ziel nicht erreicht ist, müssen waldbauliche Maßnahmen helfen. Für neuartige Waldschäden haben sich bei Fichte auf sauren Silikatstandorten Düngungstechnologien für Mg, Ca und bedingt auch Zn herausgebildet, die z. B. in einer Bodendüngung mit an Mg- und Zn-angereichertem dolomitischem Kalk oder in einer kombinierten Dolomitbodendüngung und Mg-Blattdüngung bestehen. Für künftige Versuche wäre zu empfehlen, auf Schiefer- und Quarzit-Standorten neben dolomitischen Kalken lösliche K- und Mg-Düngemittel als Bodendüngung einzusetzen, deren Verwendung günstiger als die einer Blattdüngung erscheint, weil die Nährstoffe auf natürlichem Wege über die Wurzel aufgenommen sowie die Nadeloberflächen nicht verklebt und abgedunkelt werden. Als handelsübliche Düngemittel kämen z. B. Kali-Kieserit mit 6–10 % K_2O und mindestens 20 % MgO und Kieserit mit mindestens 25 % MgO in Betracht. Für die Behandlung von Schäden am Assimilationsapparat der Bäume auf Kalkstandorten liegen kaum Erfahrungen vor. In Frankreich werden in Testversuchen Kaliumsulfat (300 kg Substanz/ha) und Patentkali (30 % K_2O, 10 % MgO, beide als Sulfat, 600 kg Substanz/ha) eingesetzt (Bonneau, Landmann 1986), um die Vergilbung rückgängig zu machen. Ein in Ebnat (BRD) (600 m ü. NN, pH ($CaCl_2$) 5,1 in 20–30 cm, relativ hohe Basensättigung; molares Ca/K-Verhältnis 44,3) durchgeführter Düngungsversuch zu Fichte mit 250 kg K_2O und 400 kg $MgO \cdot ha^{-1}$ (Düngemittel mit 12 % K_2O und 18 % MgO) führte innerhalb einer Vegetationsperiode zum Wiederergrünen der Bäume, entsprechend wurde der K-Gehalt für gute Versorgung in den Bäumen erreicht. Trotz der hohen Mg-Gabe sank der Mg-Gehalt der Nadeln nach Düngung ab. Nach Hüttl (1987) führt Düngung mit 300 kg $K_2O \cdot ha^{-1}$ mit Kalimagnesia (30 % K_2O, 10 % MgO) zu Fichte auf Parabraunerde-Pseudogley mit Kalkverwitterungslehm der Weißjura-Formation zum Wiederergrünen

©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

der Bäume innerhalb einer Vegetationsperiode (Schwäbische Alb, 530 m über NN, ~ 700 mm Niederschlag, pH ($CaCl_2$) 5,0).

Für Kalkstandorte Thüringens wurde mit der blattanalytischen Untersuchung geschädigter Bestände und parallel dazu mit der Bearbeitung eines Kali-Düngungsversuches begonnen. Über das Spektrum der zur Verfügung stehenden K- und Mg-Dünger s. a. Fiedler (1986) und VEB Kombinat Kali 1986.

Die durch Abdrift von Agrochemikalien, vor allem aber durch die Auswirkungen konzentrierter Tierhaltung und Flächenbegüllung verursachten bzw. verstärkten Schäden an Waldrändern und Waldenklaven mit ihrer hohen landeskulturellen Bedeutung erfordern spezifische Bewirtschaftungsrichtlinien für die angrenzenden landwirtschaftlich genutzten Flächen. Die Ställe für konzentrierte Tierhaltung als auch die Begüllungsflächen sollten künftig in größerer Entfernung von Waldrändern liegen. Die Gemeine Kiefer ist standortsabhängig (Niederschlag) durch Schwarzkiefer oder Buche zu ersetzen, obwohl auch bereits die Buche Symptome zeigt, die auf atmogene Schädigung hinweisen. Trotzdem sollten alle Anstrengungen unternommen werden, Buchenpflanzen in der erforderlichen Menge für die Aufforstung dieser Standorte bereitzustellen und die Buche auf blattanalytischer Grundlage – wenn erforderlich – durch Düngung zu fördern. Zum Beispiel wäre eine K-Düngung zur Einstellung eines optimalen N/K-Verhältnisses zu versuchen. Als Düngemittel sind Kamex (38–42 % K_2O, als Chlorid, mindestens 3,5 % MgO) oder Kaliumsulfat (48–52 % K_2O) geeignet. Die Dosis hängt vom Ergebnis der Nadelanalyse ab und könnte in ersten Versuchen zwischen 100 und 150 kg K_2O/ha bemessen werden(s. a. Fiedler, Nebe u. Hoffmann 1973).

5. Zusammenfassung

Die auf Muschelkalk- und Rötstandorten der unteren Berglagen nördlich und südlich des Thüringer Waldes auftretenden Schäden am Assimilationsapparat von Waldbäumen sind wesentlich geringer als in benachbarten Gebieten mit neuartigen Waldschäden auf basenarmen Standorten der mittleren und höheren Lagen. Die Schäden nehmen in der Abfolge Schwarzkiefer, Buche, Fichte, Gemeine Kiefer zu, treten aber nicht flächendeckend auf. Stark chlorotische, abgängige Gemeine Kiefern wachsen bevorzugt in Grenzlagen zu landwirtschaftlich intensiv genutzten Flächen. Die außerhalb dieser Sonderstandorte regional auftretenden Schäden äußern sich bei der Kiefer in Kurznadeligkeit, schütterer Benadelung und schwacher Chlorose, bei der Kammfichte in stärkeren Nadelverlusten an den Lamettazweigen und beginnender Chlorose an älteren Nadeln sowie starker Bildung von Proventivtrieben. Die Buche weist vereinzelt die für neuartige Waldschäden beschriebenen Symptome auf (u. a. geringere Belaubung, Blattchlorose, einzelne kahle Äste). Tannen sind nicht stärker als die anderen Baumarten geschädigt. Parallel zur eingeleiteten blattanalytischen Untersuchung dieser Bestände auf ihr N/K-Verhältnis wird die Wirkung einer K(Mg)-Düngung geprüft.

Schrifttum

Andersson, F.: Acidic Deposition and its Effects on the Forests of Nordic Europe. Water, Air and Soil Pollution **30** (1986) 17–29.

Apel, K.: Zur Bodenbildung auf Muschelkalk am Nordrand des Thüringer Beckens. Diplomarb. TU Dresden, Tharandt 1988.

Bauch, J., H. Stienen, B. Ulrich und E. Matzner: Einfluß einer Kalkung bzw. Düngung auf den Elementgehalt in Feinwurzeln und das Dickungswachstum von Fichten aus Waldschadensgebieten. Allg. Forstz. **40** (1985) 1148–1190.

Bonneau, M.: Exposé de synthése. Programm DEFORPA. – Nancy 1986, 209–211.

©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Bonneau, M., und G. Landmann: Essais de fertilisation. Programm DEFORPA. – Nancy 1986, 203–207.

Chichery, M.: Enquéte sur les liaisons entre le milieu et la production sur granite du Valtin (Vosges). Champenoux: I. N. R. A. – C. N. R. F., Station de recherches sur les Sols forestiers et la Fertilisation, 1972 (Document interne).

Däßler, H.-G. (Hrsg.): Einfluß von Luftverunreinigungen auf die Vegetation. 3. Aufl., Jena: VEB Gustav Fischer Verlag 1986.

Fenn, L. B., und L. R. Hossner: Ammonia Volatilization from Ammonium or Ammonium-Forming Nitrogen Fertilizers. In: Stewart, B. A. (ed.): Advances in Soil Science. Tokyo: Springer-Verlag New York, Berlin, Heidelberg 1985 (Vol. 1), 123–169.

Fiedler, H. J.: Forstdüngung gegen negative Immissionswirkungen im Mittelgebirgsraum. Arch. Nat.schutz Landsch.forsch., Berlin **26** (1986) 117–131.

Fiedler, H. J.: Die „Hochlagenerkrankung" der Fichte in bodenkundlich-standortskundlicher Sicht. Arch. Nat.schutz Landsch.forsch., i. Dr. (1989).

Fiedler, H. J., W. Nebe, und F. Hoffmann: Forstliche Pflanzenernährung und Düngung. Jena: VEB Gustav Fischer Verlag 1973.

Fiedler, H. J., W. Nebe, und R. Šaly: Výzive kosedreviny (Pinus mugo Turra), Smreka (Picea abies Karst.) a limby (Pinus cembra L.) v subalpinskom a smrekovom pásme Liptovských a Belanských Tatier. Lesnicky casopis **20** (1974) 231–246.

Georgii, H. W.: Die aerosolbildenden Spurengase. In: Die chemische Zusammensetzung der unteren Atmosphäre. Promet **5** (1975) 2 u. 3, 21–25, Deutscher Wetterdienst, Offenbach a. M.

Glavac, V.: Calcium-, Magnesium-, Kalium- und Zink-Gehalte in Blättern eines immissionsgeschädigten Rendzina-Buchenwaldes. Allg. Forstz. **12** (1987) 303–305.

Gruber, F.: Das Verzweigungssystem und der Nadelfall der Fichte (Picea abies [L.] Karst.) als Grundlage zur Beurteilung von Waldschäden. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme/Waldsterben Göttingen, Reihe A, **26** (1987) 254 S.

Haunold, E.: Vermeidung von Stickstoffverlusten. Bodenkultur **37** (1) 1986 7–21.

Hüttl, R. F.: „Neuartige" Waldschäden und Nährelementversorgung von Fichtenbeständen (Piecea abies Karst.) in Südwestdeutschland. Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen, H. 16 (1985).

Hüttl, R. F.: „Neuartige" Waldschäden, Ernährungsstörungen und Düngung. Allg. Forstz. **12** (1987) 289–299.

Hüttl, R. F., Zöttl, H. W.: „Neuartige" Waldschäden und diagnostische Düngungsversuche. Erstes gemeinsames wissenschaftliches Kolloquium der Oberrheinischen Universitäten „Umweltforschung in der Region". Strasbourg 1986.

Kaupenjohann, M., R. Hantschel, W. Zech, und R. Horn: Mögliche Auswirkungen „Sauren Regens" auf die Nährstoffversorgung von Wäldern. Kali-Briefe (Büntehof), **18** (1987) 631–638.

Kreutzer, K.: Mindern Düngungsmaßnahmen die Waldschäden? Allg. Forstz. **39** (1984) 771–773.

Kuhn, N.: Die Luftverschmutzung überdüngt den Waldboden. In: Sanasilva-Waldschadensbericht 1986. Bern und Birmensdorf, Bundesamt für Forstwesen und Landschaftsschutz, Bern, und Eidgen. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf, (1986) 19–21.

Landmann, G., M. Bonneau und M. Adrian: Le dépérissement du sapin pectiné et de l'epicéa commun dans le massif Vosgien est-il en relation avec l'état nutritionnel des peuplements? (Hängt das Absterben der Weißtanne und der Gemeinen Fichte in den Vogesen mit der Ernährungslage der Bestände zusammen?). R. F. F. **39** (1987) 1, 5–11.

Meiwes, K.-J.: Bioelementbilanz eines Buchenwald-Ökosystems auf Kalkgestein. Mitteilgn. Dt. Bodenkundl. Ges. **43**/II (1985) 981–985.

Mishra, V. K., und K. E. Rehfuess: Distribution of K-Fractions in Forest Soil Profiles. Bavarian Alps. J. Tree Sci., **2** (1984) 74–80.

Nebe, W.: Über immissionsbedingte Ernährungsstörungen an Fichte auf Kalimangelstandorten. In: Richtig düngen – mehr ernten, 1987, H. 2.

©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Nebe, W., G. Ilgen, F. Leube, W. Hofmann, N. Stranzky und H. J. Fiedler: Ernährung von Fichtenbeständen bei qualitativ unterschiedlichen Immissionen. Beitr. Forstwirtsch., Berlin **21** (1987) 2, 77–84.

Nebe, W., G. Ilgen und W. Gastinger: Beziehungen zwischen Standortstrophie und Ernährungsstörungen bei Fichte in den Hoch- und Kammlagen des Mittleren Thüringer Waldes. Vortrag zur Jahrestagung 1987 der AWiG Suhl, Bezirksfachkommission Forstwirtschaft.

Papke, H. E., S. Krahl-Urban, K. Peters und Ch. Schimansky: Waldschäden – Ursachenforschung in der Bundesrepublik Deutschland und den Vereinigten Staaten von Amerika. Herausgeber: Projektträgerschaft für Biologie, Ökologie und Energie der Kernforschungsanlage. Jülich 1986.

Prenzel, J.: Verlauf der Ursachen der Bodenversauerung. Z. dt. geol. Ges., Hannover **136** (1985) 293–302.

Reteau, F.: Étude par télédetection du dépérissement des foréts. Utilisation de la photographie sérienne sur le massif des Vosges. Memcire de 3 éme année de l'École nationale des Ingénieurs des Travaux des Eaux et Foréts, 1986.

Reuss, J. O., und D. W. Johnson: Acid deposition and the acidification of soils and waters. New York: Springer-Verlag 1986.

Richter, B.: Spurenelementgehalte bodenbildender Gesteine der Mittelgebirge und Mittelgebirgsvorländer. Dipl.-Arbeit Halle 1975.

Roloff, A.: Morphologie der Kronenentwicklung von Fagus sylvatica L. (Rotbuche) unter besonderer Berücksichtigung möglicherweise neuartiger Veränderungen. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme/Waldsterben, Bd. 18, Göttingen 1986, 177 S.

Savarin, E.: Incidence de l'acidification du sol sur la nutrition du Sapin pectiné et de l'Épicéa commun dans les Vosges. Mise en relation avec le dépérissement forestier. Champenoux: I. N. R. A. – C. R. F., Station de recherches sur les Sols, la Microbiologie et la Nutrition des Arbres forestiers, 1986 (Document interne).

Seiler, W.: Der Kreislauf von CO_2, H_2, N_2O und CH_4. In: Die chemische Zusammensetzung der unteren Atmosphäre. Promet 5 (1975) 2. u. 3., 14–17, Deutscher Wetterdienst Offenbach a. M.

Tomlinson, G. H.: Nutrient deficiencies and forest decline. Pulp & Paper. Canada **88** (1987) 50–54.

UNEP/UN-ECE: Methoden und Kriterien für einheitliche Stichprobennahme, Erfassung, Überwachung (Monitoring) und Analyse der Auswirkungen von Luftverunreinigungen auf Wälder. Global Environmental Monitoring System 1986. Handbuch-Entwurf.

VEB Kombinat Kali: Kali aus der DDR. Sondershausen 1986.

Warneck, P.: Aktuelle Fragen zum Ozonproblem. In: Die chemische Zusammensetzung der unteren Atmosphäre. Promet 5 (1975) 2. u. 3., 11–14, Deutscher Wetterdienst, Offenbach a. M.

Prof. Dr. habil. H. J. Fiedler
Dozent Dr. sc. M. Heinze
Technische Universität Dresden
Sektion Forstwirtschaft
Bereich Bodenkunde und Standortlehre
Pienner Straße 8
DDR - 8223 Tharandt

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Hercynia

Jahr/Year: 1989

Band/Volume: 26

Autor(en)/Author(s): Fiedler Hans Joachim, Heinze Martin

Artikel/Article: Schäden am Assimilationsapparat von Waldbeständen auf Kalk- und Silikatstandorten Thüringens und Möglichkeiten zu ihrer Reduzierung 157-172