

Aus der Sektion Forstwirtschaft der Technischen Universität Dresden  
Wissenschaftsbereich Bodenkunde und Standortslehre  
(Leiter des Wissenschaftsbereiches: Prof. Dr. habil. Dr. h. c. mult. H. J. Fiedler)

## **Standort, Ernährung und Wachstum der Schwarzkiefer auf Gips-, Kalk- und Silikatstandorten Nordthüringens**

Von Martin Heinze, Jens Eichenberg und Hans Joachim Fiedler

Mit 9 Tabellen

(Eingegangen am 26. Juni 1989)

### 1. Einleitung

In Nordthüringen wurde und wird die Schwarzkiefer zur Aufforstung von Waldstandorten und Ödlandflächen benutzt. Das betrifft in dieser Landschaft neben Flächen auf Silikat- und Kalkgestein in bemerkenswertem Maß auch Gipsstandorte, die in solcher Verbreitung und Reinheit sonst nicht im Lande auftreten. Aus diesem Grund bieten sich hier einmalige Untersuchungs- und Vergleichsmöglichkeiten für Ernährung und Wachstum der Schwarzkiefer.

### 2. Material und Methodik

Das Untersuchungsgebiet umfaßt den Südhazrand, das Kyffhäusergebirge und die Hainleite mit Silikat-, Muschelkalk- und Zechsteingips-Standorten im Bereich der Staatlichen Forstwirtschaftsbetriebe Sangerhausen und Nordhausen. Es wurden 7 Jungwuchsbestände und 8 Altbestände von *Pinus nigra* var. *austriaca* untersucht (s. Tab. 1 und 2). Außerdem wurden 3 Jungwuchsbestände und 1 Altbestand der Gemeinen Kiefer (*Pinus silvestris* L.) in vergleichbarer Lage in die Untersuchung einbezogen (Eichenberg 1989).

Bei den Jungwuchsbeständen wurde im September 1985 auf jeder Probefläche von 10 normalwüchsigen Bäumen jeweils 1 Seitentrieb des obersten Wirtels abgeschnitten und bei 70 °C getrocknet. Triebe und Nadeln wurden getrennt, gewogen und in der Länge gemessen, die Triebe auch im Durchmesser.

In den Schwarzkiefer-Altbeständen wurden Probeflächen so ausgewählt, daß sowohl Gipsstandorte (4fach) als auch die in der Landschaft auftretenden Vergleichsstandorte auf Kalk- und Silikatgestein (jeweils 2fach) vertreten waren. In den ausgewählten Beständen wurden 25 Ar große Probeflächen eingemessen und die darauf stockenden Bäume in Brusthöhe (1,3 m) vollgekluppt. Im November 1987 wurden auf den Probeflächen jeweils 5 herrschende Bäume (Spitzenhöhenstämme mit dem Durchmesser des Zentralstammes der 10 stärksten Stämme pro ha) gefällt. Von den Haupttrieben des 1., 4., 8. und 12. Wirtels wurden Nadeln aller vorhandenen Jahrgänge jahrgangsweise getrennt entnommen. Danach wurden die Baumhöhen gemessen und Stammscheiben für die Stammanalyse aus 0,2; 1,3; 5,4; 9,5; 13,6; 17,7 und 21,8 m Baumhöhe geschnitten. Die Altershöhenwerte wurden flächenweise gemittelt. Aus diesen Mittelwerten (s. Tab. 9) wurden Kurven manuell konstruiert, aus denen sich die Höhe im Alter von 80 Jahren inter- bzw. extrapolieren ließ. Die Nadeln wurden bei 70 °C getrocknet. Von jeder Fläche wurden aus gleichen Anteilen je Baum Mischproben – nach Nadelalter und -position getrennt – hergestellt. Im Sommer 1988 wurden auf allen Altbestand-Probeflächen Bodenprofile gegraben und beschrieben, wobei auch die Bodenvegetation aufgenommen wurde. Im Labor wurden die Nadelproben durch Mahlen homogenisiert. Der Stickstoffgehalt wurde nach dem Kjeldahl-Aufschluß teils titrimetrisch, teils colorimetrisch mit dem ADM 300 bestimmt (Fiedler et al. 1989), wobei auf strenge Vergleichbarkeit der erhaltenen Werte geachtet wurde. Die Bestimmung von K und Ca erfolgte flammenphotometrisch, die von Mg, Mn, Fe und Zn atomabsorptionsspektrophotometrisch

Tabelle 1. Beschreibung von Standort und Bestockung der Jungwuchsbestände

Fläche	Revier/ Abteilung	Landschaft	Höhe ü. NN  [m]	Ex- posi- tion	Hang- nei- gung  [°]	Jahres- mittel d. Luft- temp. [°C]	Jahres- nieder- schlags- summe [mm]	geolog. Substrat	Haupt- boden- form	Stand- orts- gruppe	Baum- art	Alter  [Jahre]	An- zahl der Probe- bäume
Kj1	Wollers- leben 3118 a <sup>1</sup>	Hainleite	280	—	0	8,3	> 600	Unterer Muschel- kalk	Flach- Deckton- Braun- erde	Uff-R3	SKi	11	10
Kj2	Wollers- leben 3118 a <sup>2</sup>	Hainleite	320	—	0	8,3	> 600	Unterer Muschel- kalk	Flach- Deckton- Braun- erde	Uff-R3	SKi	14	10
Kj3	Neustadt 2513 b <sup>1</sup>	Hainleite	n. b.	—	0	7,7	600–700	Unterer Muschel- kalk			SKi	13	10
Gj1	Leimbach 2619 a <sup>8</sup>	Südharz- rand (Alter Stolberg)	280	SW	10	7,7	600–700	Zech- stein- gips	Gips- Rendzina	Uf-K3	SKi GKi	9 9	10 5
Gj2	Leimbach 2615 a <sup>7</sup>	Südharz- rand (Alter Stolberg)	320	S	30	7,7	600–700	Zech- stein- gips	Gips- Rendzina	Uf-K3	SKi GKi	19 19	10 4
Gj3	Rathsfeld 1082 a <sup>2</sup>	Kyffhäuser- gebirge	290	S	10	7,8–8	500	Zech- stein- gips		Ut-R3	SKi GKi	13 13	10 9
Gj4	Gipswerk Rottlebe- rode	Alter Stolberg (Halde)	200	—	0	7,7	600	Gips- abfälle	Gips- Rohboden	—	SKi	12	10

Tabelle 2. Beschreibung von Standort und Bestockung der Altbestände

Fläche	Revier/ Abteilung	Landschaft	Höhe ü. NN  [m]	Exposi- tion	Hang- nei- gung  [°]	Jahres- mittel d. Luft- temp. [°C]	Jahres- nieder- schlags- summe [mm]	geolog. Substrat	Stand- orts- gruppe	Baum- art	Alter  [Jahre]	Anzahl der Probe- bäume
Ga1	Rathsfeld 1 1081 a <sup>3</sup>	Kyffhäuser- gebirge	250	SW	5	7,8—8	500	Zechstein- Stink- schiefer mit Gipsmehl	Ut-R3	SKi	69	3
Ka1	Rathsfeld 2 1081 a <sup>3</sup>	Kyffhäuser- gebirge	220	W (Hang- mulde)	3	7,8—8	500	Stink- schiefer	Ut-R3	SKi	68	3
Sa1	Kelbra 1247 d	Kyffhäuser- gebirge	300	W (Hang- schulter)	2	7,8	500	Karbon- Arkose- sandstein	Um-K2	SKi	91	5
Ga2	Breitungen 2013 a <sup>4</sup>	Südharz- rand	260	— (wellig)	0—5	8	500—540	Zechstein- gips	Um-K2	SKi	95	5
Ga5	Breitungen 2013 a <sup>3</sup>	Südharz- rand	250	— (wellig)	0—5	8	500—540	Zechstein- gips	Um-K2	GKi	89	5
Ga3	Uftrungen 2252 d <sup>2</sup>	Südharz- rand	280	SW (Ober- hang)	10	7,6	700	Zechstein- gips	Uf-K2w	SKi	59	5
Ga4	Leimbach 1 2619 a <sup>7</sup>	Südharz- rand (Alter Stolberg)	300	SW	15	7,7	600—700	Zechstein- gips	Uf-K3	SKi	89	5
Ka2	Leimbach 2 2620 Nb <sup>5</sup>	Südharz- rand (Alter Stolberg)	300	W	20	7,7	600—700	Zechstein- Stink- schiefer	Uf-K3	SKi	82	5
Sa2	Leimbach 3 2502 a <sup>1</sup>	Südharz- rand	220	SW	20	8	500—540	Quartär- Schotter über Bunt- sandstein	Um-K3	SKi	105	3

Tabelle 3. Bodenprofilbeschreibungen

Fläche	Schicht	Horizont	Tiefe cm u. Fl.	Substrat	Körnungsart		Humus- gehalt	Farbe	Festig- keit	Durch- wurze- lung	relief- bedingte Wasser- haush.- stufe	Bodenform
					Grob- boden	Fein- boden						
Ga1	I	A <sub>h1</sub>	0–8	kalkig-toniges Gemisch	—	tL	h	dunkel- grau	lo	×	5	Kolluvial- Gips- rendzina
		A <sub>h2</sub>	8–35		tL	h	dunkel- grau	lo	×			
	II	35–80	Gemisch aus Gipsmehl, Stink- schiefer u. einz. gerundeten Quarzen	st (10)	L	h'	hellgrau	lo	—			
	III	80–120		Gipsmehl-Ton- Gemisch in Wechselagerung	st (10)	lT	—	hellgrau	f	—		
Ka1	I	A <sub>h</sub>	0–2		Gips-Stink- schiefer-Zersatz mit Löß	st (5)	tL	$\bar{h}$	dunkel- grau	lo	×	4
		A <sub>h</sub>	2–25	tL			h	hellgrau	lo	×		
	II	A <sub>h</sub>	25–60	Gips-Stink- schiefer-Zersatz mit Löß	tL	h	hellgrau	lo	×			
	III	A <sub>h</sub>	>60		Gips-Stink- schiefer-Zersatz mit Löß	lT	$\bar{h}$	dunkel- grau	mü	×		
Sa1	I	A <sub>h</sub> /B <sub>v</sub>	0–25	Arkosesand- stein		st (10)	lS	h'	rotbraun	mü	×	6
	II	C <sub>v</sub>	25–70	Arkosesand- stein	st (50)	lS	—	rotbraun	f	—		

Fläche	Schicht	Horizont	Tiefe cm u. Fl.	Substrat	Körnungsart		Humus- gehalt	Farbe	Festig- keit	Durch- wurze- lung	relief- bedingte Wasser- haush.- stufe	Bodenform
					Grob- boden	Fein- boden						
		C	>70	Arkosesand- stein	Sandstein		—	rotbraun	f	—		
Ga2		A <sub>h</sub>	0–5	Gipsmehl		UL	h'	hellgrau- braun	lo	×	(5)	Gips- <sup>3)</sup> Rendzina
und			5–100	Gipsmehl	st (0–20)	UL		hellgrau- braun bis hellgrau- rotbraun	lo	×		
Ga5												
Ga3		A <sub>h</sub>	0–2	Gipsmehl		UL	h'	grau	lo	×	6	Gips- Rendzina
		C <sub>v</sub>	2–50	Gipsmehl		UL	—	grauweiß	lo	×		
		C	>50	fester Gips		—	—	grauweiß	f	—		
Ga4		A <sub>h</sub>	0–6	Gipsmehl		UL	h'	weißgrau	lo	×	7	Gips- Rendzina
		C <sub>v</sub>	6–40	Gipsmehl		UL	—	weißgrau	lo	×		
		C	>40	fester Gips		—	—	weißgrau	f	—		
Ka2	I	A <sub>h1</sub>	0–6	Stinkschiefer- verwitterungs- material	st (20)	IT	h	dunkel- graubraun	lo	×	7	Kalk- Rendzina
	II	A <sub>h2</sub>	6–30		st (70)	IT	h'	graubraun	mü	×		
	III	A <sub>h2</sub> /C	>30	plattiger Stink- schiefer, Über- gangsbereich	st (80)	IT	—	graubraun	f	(×)		
Sa2	I	A <sub>h</sub> B <sub>v1</sub>	0–4 4–45	Sand-Schotter- Fließerde (jüng. Decke)		IS IS	h h'	dunkel- braun	lo lo	×	5	Schotter- Braunerde
	II	B <sub>v2</sub>	45–80	(ältere Decke)		IS	—	hellbraun	lo	×		
	III	C <sub>v</sub>	>80	Schotter	Kies (50)	S	—	braungrau	mü	—		

- 1) Durch Akkumulation zuerst humusreichen, dann -ärmeren Substrats nimmt der Humusgehalt nach oben ab. Bei 100 cm evtl. Beginn des vom Kolluvium begrabenen Bodens.
- 2) gekapptes Profil.
- 3) durch Einstürze kleinräumig stark wechselnde Lagerung aus Gipsmehl, festen Gipsblöcken, Schloten mit Rohhumus und Tonauflagen.

Abkürzungen:

Körnungsart: T – Ton, L – Lehm, U – Schluff, S – Sand, st (Vol.‰ Anteil) – steinig,  
I – lehmig, t – tonig

Humusgehalt: h' h, h – schwach, mäßig, stark humos

Festigkeit: lo – locker, mü – mürbe, f – fest

Durchwurzelung: × – durchwurzelt

und die von P colorimetrisch (Fiedler et al. 1988). Als statistische Auswertungsverfahren dienten die Varianz-, Korrelations- und Regressionsanalyse sowie nichtparametrische Testverfahren, wie der Zeichentest, der Mann-Whitney-Test und der Spearmansche Rangkorrelationstest (Weber 1986). Als Irrtumswahrscheinlichkeit für die Ablehnung der Nullhypothese (Annahme signifikanter Differenzen) wurde  $\alpha = 0,05$  gewählt.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1. Böden

Die Böden (s. Tab. 3) sind bis in die Gegenwart durch Subrosion (bei Gips und Kalk als Grundgestein) und anthropogene Erosion und Akkumulation (auf allen Grundgesteinen) geprägt. Deshalb wurden diese Standorte bevorzugt mit Schwarzkiefer aufgeforstet. Eine bodentypologische Einordnung in die bekannten Bodentypen fällt oft schwer. Es überwiegen Gips- und Kalk-Rendzinen. Auf trockenen Kalk- und Gipsstandorten zersetzt sich die Streu der Schwarzkiefer schwer, so daß sich rohhumusartige Auflagen bilden.

#### 3.2. Bodenvegetation

Auf allen untersuchten Kalk- und Silikatstandorten und auf den Gipsstandorten G2 und G3 sind Stickstoffzeiger wie *Rubus idaeus*, *Dactylis glomerata*, *Sambucus nigra*, *Urtica dioica* und *Senecio fuchsii* vertreten (s. Tab. 4). Bei K1 und G2 ist das vorwiegend als Hinweis für bessere Humusmineralisation unter frischeren Bedingungen (auch Frischezeiger treten auf) zu werten, bei den Standorten S1, S2, K2 und G3 aber mehr als eine anthropogene Beeinflussung, die von der Bewirtschaftung benachbarter landwirtschaftlicher Flächen und Gärten herrührt.

Tabelle 4. Pflanzenarten in der Strauch- und Krautschicht der Altbestandsprobeflächen

Fläche	Pflanzenarten
Ga1	<i>Viburnum lantana</i> , <i>Crataegus spec.</i> , <i>Rosa canina</i> , <i>Ligustrum vulgare</i> , <i>Cornus sanguinea</i>
Ka1	<i>Rubus idaeus</i> , <i>Rubus fruticosus s.l.</i> , <i>Dactylis glomerata</i> , <i>Melica nutans</i> , <i>Poa nemoralis</i> , <i>Mycelis muralis</i>
Sa1	<i>Lonicera xylosteum</i> , <i>Sambucus nigra</i> , <i>Crataegus spec.</i> , <i>Rubus idaeus</i> , <i>Cornus sanguinea</i> , <i>Urtica dioica</i> , <i>Arctium spec.</i> , <i>Mycelis muralis</i> , <i>Lapsana communis</i> , <i>Carduus nutans</i> , <i>Ranunculus spec.</i> , <i>Geranium robertianum</i> , <i>Chaerophyllum temulum</i>
Ga2	<i>Rubus fruticosus</i> , <i>Rubus idaeus</i> , <i>Crataegus spec.</i> , <i>Dryopteris carthusiana</i> , <i>Dryopteris filix-mas</i> , <i>Urtica dioica</i> , <i>Hieracium sylvaticum</i> , <i>Senecio fuchsii</i> , <i>Deschampsia flexuosa</i> , <i>Oxalis acetosella</i>
Ga3	<i>Rubus idaeus</i> , <i>Atropa belladonna</i> , <i>Senecio fuchsii</i> , <i>Melica nutans</i>

Ga4	<i>Frangula alnus</i> , <i>Cornus sanguinea</i> , <i>Polygonatum multiflorum</i> , <i>Reseda lutea</i> , <i>Euphorbia cyparissias</i> , <i>Anthericum ramosum</i> , <i>Sesleria varia</i> , <i>Carex humilis</i>
Ka2	<i>Frangula alnus</i> , <i>Corylus avellana</i> , <i>Prunus spinosa</i> , <i>Sorbus aucuparia</i> , <i>Senecio fuchsii</i> , <i>Dactylis glomerata</i>
Sa2	<i>Sambucus nigra</i> , <i>Crataegus spec.</i> , <i>Ranunculus spec.</i> , <i>Polygonatum odoratum</i>

### 3.3. Ernährung und Wachstum der Jungwuchsbestände

#### 3.3.1. Nadelspiegelwerte (Tab. 5)

Von besonderem Interesse ist der Vergleich zwischen den Gruppen der natürlichen Kalk- und Gipsstandorte. Die Schwarzkiefern sind auf Gips geringer mit Phosphor und Magnesium und besser mit Zink ernährt. Bei N, K, Ca, Mn und Fe ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Standortgruppen. Bemerkenswert sind der allgemein hohe K-Nadelspiegel, obwohl die Kalk- und Gipsböden wenig Kalium bieten, und das niedrige Ca-Niveau, das die Schwarzkiefer trotz des hohen Ca-Angebots dieser Böden in den Nadeln hält. Die Eisenernährung ist über alle Standorte außer dem Standort Kj 3 (Neustadt) ausgeglichen.

Auf der Gipshalde finden die Schwarzkiefern wesentlich andere Ernährungsbedingungen vor als auf den natürlichen Gipsstandorten. So sind die Bäume auf der Halde besser mit P, K und Mg versorgt. Auch an den anderen erfaßten Nährelementen leiden die Schwarzkiefern auf der Halde keinen Mangel.

Setzt man die Summe der N-, P- und K-Nadelspiegel = 100 %, so ergibt sich für die Kalkstandorte ein N : P : K-Verhältnis von 56 : 7 : 38, für die Gipsstandorte ein solches von 60 : 4 : 36, worin sich die schwächere P-Ernährung der Schwarzkiefern auf Gips ausdrückt. Die gute P- und K-Ernährung auf der Gipshalde spiegelt sich in dem N : P : K-Verhältnis von 47 : 7 : 46 wider.

Die Nadelspiegelwerte korrelieren teilweise gesichert miteinander, N, Mn und Zn positiv ( $r = 0,80 \dots 0,86$ ), Mg und Zn negativ ( $r = - 0,77$ ).

Im Vergleich zu den Nadeln der Gemeinen Kiefer sind die Schwarzkiefernadeln ärmer an N, P, Ca, Mg, Mn, Fe und Zn und reicher an K. Auf dem Gipsstandort Gj2 (Revier Leimbach, trockener Südhang) sind beide Kiefernarten schwach mit Mn ernährt.

#### 3.3.2. Nadel- und Triebwachstum (Tab. 6)

Die Schwarzkiefern der Muschelkalkfläche Neustadt (Kj3) haben die signifikant längsten Nadeln. Ihnen folgen die Bäume auf der Gipshalde (Gj4) und den Gipsstandorten (Gj1 und Gj3). Auf den flachgründigen Muschelkalkflächen (Kj1 und 2) und am trockenen Gipssüdhang (Gj2) sind die Nadeln am kürzesten. Ähnlich wie die Nadelnlänge stufen sich die anderen erhobenen Kennwerte des Wachstums ab (geprüft mit dem Spearman'schen Rangkorrelationskoeffizienten). Die Gips- und Kalkstandorte unterscheiden sich nicht gesichert voneinander (Ergebnis des Mann-Whitney-Tests).

Zwischen dem Kaliumnadelspiegel und den Wachstumsgrößen Nadellänge und -masse sowie Trieblänge, -masse und -durchmesser ergaben sich gesicherte Korrelationskoeffizienten zwischen 0,70 und 0,85. Negative Korrelationen ( $r = - 0,72 \dots - 0,86$ ) fanden sich zwischen Fe-Nadelspiegel und Nadellänge sowie Mg-Nadelspiegel und Trieblänge bzw. -masse.

Gegenüber der Gemeinen Kiefer (s. Tab. 6) sind bei der Schwarzkiefer die Nadeln länger und schwerer und die Triebe dicker, jedoch nicht immer länger.

Tabelle 5. Elementgehalte in den Nadeln des obersten Wirtels der Jungwuchsbestände (Mittelwerte je Probefläche)

Fläche	N		P		K		Ca		Mg		Mn		Fe		Zn								
	SKi	GKi	SKi	GKi	SKi	GKi	SKi	GKi	SKi	GKi	SKi	GKi	SKi	GKi	SKi	GKi							
										[% TM]							[ppm TM]						
Kj1	1,22		0,131		0,55		0,35		0,182		40		90		45								
Kj2	1,08		0,134		0,86		0,26		0,123		40		89		44								
Kj3	1,37		0,177		1,06		0,27		0,109		20		47		47								
Gj1	1,71	1,95	0,100	0,118	0,91	0,79	0,26	0,30	0,071	0,078	164	186	80	94	70	74							
Gj2	1,04	1,55	0,099	0,126	0,81	0,58	0,32	0,59	0,085	0,095	12	15	92	97	53	58							
Gj3	1,46	1,74	0,081	0,084	0,77	0,64	0,22	0,33	0,068	0,083	76	244	94	108	63	69							
Gj4	1,19		0,181		1,17		0,38		0,118		38		96		49								

Tabelle 6. Massen und Größen von Nadeln und Trieben des obersten Wirtels der Jungwuchsbestände (Mittelwerte je Probefläche)

Fläche	Nadellänge		Nadelmasse an einem Trieb		Trieblänge		Triebdurchmesser		Triebmasse		Nadelmasse pro cm Trieb länge										
	SKi	GKi	SKi	GKi	SKi	GKi	SKi	GKi	SKi	GKi	SKi	GKi									
										[cm]		[g]		[cm]		[mm]		[g]		[g/cm]	
Kj1	8,6		5,1		14,8		4,5		1,6		0,34										
Kj2	9,3		10,0		28,1		7,0		6,4		0,36										
Kj3	12,3		17,2		32,7		8,3		9,4		0,53										
Gj1	10,4	7,1	13,0	10,7	34,5	45,0	8,2	8,0	8,8	10,2	0,38	0,23									
Gj2	8,7	5,1	8,5	6,7	29,0	28,2	6,2	4,8	5,3	2,8	0,29	0,24									
Gj3	10,3	5,0	16,0	6,0	35,6	23,7	9,0	4,9	11,4	3,1	0,45	0,25									
Gj4	10,6		19,9		34,4		9,5		10,2		0,58										



Tabelle 7. Elementgehalte in den Nadeln der Altbestände.

1 ist der Flächenmittelwert der einjährigen Nadeln des obersten Wirtels-  $\bar{x}$  der Flächenmittelwert der ein- bis vierjährigen Nadeln von den Hauptachsen des 4., 8. und 12. Wirtels.

Fläche	N		P		K		Ca		Mg		Mn		Fe		Zn	
	1	$\bar{x}$	1	$\bar{x}$	1	$\bar{x}$	1	$\bar{x}$	1	$\bar{x}$	1	$\bar{x}$	1	$\bar{x}$	1	$\bar{x}$
[% TM]												[ppm TM]				
Ga1	1,66	1,51	0,109	0,100	0,71	0,64	0,28	0,51	0,124	0,118	26	27	178	322	63	42
Ga2	1,44	1,44	0,126	0,109	0,71	0,63	0,22	0,30	0,110	0,102	300	400	218	301	75	55
Ga3	1,93	1,71	0,106	0,099	0,74	0,66	0,27	0,34	0,113	0,094	300	286	214	330	64	47
Ga4	1,20	1,43	0,095	0,081	0,82	0,56	0,20	0,48	0,098	0,123	12	13	130	245	48	47
Ka1	2,00	1,84	0,138	0,113	0,61	0,60	0,24	0,52	0,125	0,123	26	28	210	285	44	23
Ka2	1,52	1,62	0,108	0,085	0,60	0,60	0,35	0,44	0,128	0,105	20	24	112	228	72	45
Sa1	2,16	2,12	0,102	0,096	0,90	0,64	0,19	0,29	0,100	0,086	660	1131	218	319	63	52
Sa2	1,68	1,75	0,100	0,115	0,82	0,71	0,16	0,22	0,078	0,078	250	455	192	289	47	32
Ga5		1,97		0,19		0,69		0,70		0,12		685		294		77

### 3.4. Ernährung und Wachstum der Altbestände

#### 3.4.1. Elementgehalte in den Nadeln

Zum Flächen- und Standortsvergleich wurde der repräsentative Mittelwert der 1- bis 4jährigen Nadeln vom 4., 8. und 12. Wirtel benutzt (Tab. 7). Die Gips- und Kalkstandorte lassen sich häufig in einer gemeinsamen Gruppe anordnen, von der sich die Silikatstandorte deutlich abheben. Das trifft für N, K, Ca, Mg und Mn zu, wobei man bei allen Vergleichen die geringe Zahl der Bestände berücksichtigen muß. Die Schwarzkiefern auf den Silikatstandorten sind besser als auf den Gipsstandorten mit Stickstoff ernährt. Zu den Kalkstandorten ist solch eine Differenz nicht nachweisbar. Kalk- und Gipsstandorte unterscheiden sich untereinander nicht sicher. In der Kaliumernährung liegen die Kalkstandorte am tiefsten. Die Unterschiede zwischen den Standortgruppen sind aber nicht gesichert. Insgesamt enthalten die Schwarzkiefernadeln aber auf allen Standorten reichlich Kalium. Mit Calcium und Magnesium sind die Schwarzkiefern auf den Silikatstandorten geringer versorgt als auf den Gips- und Kalkstandorten, die sich nicht unterscheiden. Im Gegensatz dazu sind auf den sauren Silikatstandorten die Mn-Nadelspiegel am höchsten, auf den Kalkstandorten liegen sie ausgeglichen niedrig, auf den Gipsstandorten schwanken sie sehr stark (Minimalwert für Ga4), wahrscheinlich als Folge der in Gipsböden auftretenden starken pH-Unterschiede. Bezüglich Zink deutet sich eine bessere Versorgung auf den Gipsstandorten an. In der Phosphor- und Eisenernährung unterscheiden sich die Standortgruppen nicht. Die Eisenernährung ist insgesamt sehr ausgeglichen.

N- und Mn- sowie Ca- und Mg-Nadelspiegel korrelieren miteinander positiv ( $r = 0,70$  bzw.  $0,94$ ), K und Ca, K und Mg, Ca und Mn sowie Mg und Mn dagegen negativ ( $r = -0,73 \dots -0,81$ ).

Vergleicht man die Nadelspiegel des Schwarzkiefernbestandes Ga2 mit denen des benachbarten Bestandes Ga5 aus Gemeiner Kiefer (s. Tab. 7), so erweisen sich die Schwarzkiefernadeln als N-, P-, Ca-, Mg-, Mn- und Zn-ärmer. Auch der K-Spiegel liegt hier bei der Schwarzkiefer geringfügig tiefer, was nicht arttypisch ist. Der Befund an diesem Vergleichspaar gleicht bei den meisten Elementen dem Befund an den jungen Bäumen. Die Abweichungen bei K und Fe sind zufällig. Bei den Jungwuchs- und den Altbeständen brachte die Gegenüberstellung der Gips- und Kalkstandorte für N, K, Ca, Mn und Fe (Nadelspiegel ungefähr gleich) sowie Zn (über Gips höher) übereinstimmende Befunde. Die geringere P- und Mg-Versorgung auf Gips bestätigte sich an den Altbeständen nicht. Das kann daran liegen, daß die Kalkstandorte der Jungwuchs- und der Altbestände nicht gleich sind (Unterer Muschelkalk bei den Jungwuchsbeständen, Staßfurtkarbonat in Stinkschieferfazies (Zechstein; Ka2) und holozänes Kolluvium mit Stinkschieferbeimengungen (Ka1) bei den Altbeständen).

In den absoluten Element-Nadelspiegeln liegen die Jungwuchs- und die Altbestände (Probenahme 1985 bzw. 1987) auf ähnlichem Niveau. Lediglich auf den Gipsstandorten sind die Jungwuchsbestände in den Mg- und Fe-Konzentrationen gesichert kleiner als die Altbestände. Auf den Kalkstandorten bestätigt sich diese Differenz nicht (Befund des Tests von Mann und Whitney).

#### 3.4.2. Nadellänge und Nadelmasse

Nadellängen und -massen (Tab. 8) korrelieren eng miteinander. Sie sind auf dem trockenen Gipshang im Revier Leimbach im Alten Stolberg (Ga4) am niedrigsten, von dem auch die Probe Gj2 stammt, die ebenfalls sehr kleine Nadeln aufweist. Die schwersten und längsten Nadeln stammen von dem tiefgründig-humosen Kalk-(Kolluvial)-Standort Ka1 im Revier Rathsfeld.

Die Gruppen der Gips-, Kalk- und Silikatstandorte unterscheiden sich nicht voneinander.

Tabelle 8. Nadellängen und Nadelmassen in den Altbeständen.  
 $\bar{x}_{\text{Baum}}$  ist der Mittelwert aus den 1- bis 4jährigen Nadeln des 4., 8. und 12. Wirtels

Fläche	Nadellänge		Trockenmasse von 100 Nadeln	
	1jähr. Nadeln d. oberst. Wirtels	$\bar{x}_{\text{Baum}}$	1jähr. Nadeln d. oberst. Wirtels	$\bar{x}_{\text{Baum}}$
	[cm]		[g]	
Ga1	11,3	11,1	12,4	12,7
Ga2	10,7	10,9	11,8	12,1
Ga3	10,5	11,6	10,4	12,8
Ga4	8,8	9,4	7,7	11,5
Ka1	10,7	11,7	11,5	14,4
Ka2	9,2	10,5	11,3	12,0
Sa1	10,4	11,0	10,2	12,6
Sa2	10,5	11,2	11,5	12,6

Mit den Nadelspiegelwerten an P und Fe korreliert die Nadellänge positiv ( $r = 0,77$  bzw.  $0,67$ ). Der Phosphorgehalt hat auch eine positive Beziehung zur Nadelmasse ( $r = 0,65$ ). Die Zinkkonzentration korreliert negativ mit ihr ( $r = -0,74$ ).

### 3.4.3. Höhenwachstum

Die Gipsstandorte sind von allen untersuchten Standorten am stärksten differenziert (Tab. 9) und weisen sowohl die schlechtesten (Standort Ga4: trockener, steiler Südhang im Alten Stolberg) als auch die besten Wuchsleistungen auf (tiefgründige, wenig geneigte Böden mit bewegtem Mikrorelief der Standorte Ga2 (Breitungen) und Ga3 (Ufrungen)). Im Mittel unterscheiden sie sich aber nicht von den Kalk- und Silikatstandorten, sondern alle 3 Gruppen weisen ein ähnliches Höhenwachstum auf, d. h., chemische Unterschiede des Substrats wirken sich kaum auf das Wachstum aus.

Die Gemeine Kiefer (Ga5) bleibt mit 19,8 m im Alter 80 hinter der Höhenwuchsleistung der Schwarzkiefer auf gleichem Standort (Ga2) mit 22,0 m zurück, wobei dieser Rückstand erst im Alter von 50 Jahren einsetzt.

Die Höhe der Schwarzkiefer im Alter 80 korreliert positiv mit der Nadellänge ( $r = 0,65$ ) und mit der Eisenkonzentration in den Nadeln ( $r = 0,68$ ).

## 4. Diskussion

Die Schwarzkiefer variiert zwar von Probefläche zu Probefläche zum Teil deutlich in der Ernährung, reagiert aber insgesamt relativ wenig auf die chemisch ausgesprochen unterschiedlichen Böden der Gips-, Kalk- und Silikatstandorte. Außerdem weist sie an den meisten Elementen im Vergleich zur Gemeinen Kiefer niedrige Konzentrationen in den Nadeln auf, u. a. auch an Ca, selbst wenn sie auf Ca-reichen Böden stockt. Nur der Kaliumgehalt ist relativ hoch. Auch zum Wachstum zeigt die Ernährung nur selten eine Beziehung. Eine solche besteht zwischen K-Nadelspiegel und Nadel- und Triebwachstum der Jungwuchsbestände. Andererseits wird das geringste Wachstum auf bodenchemisch sehr verschiedenen, aber gleichermaßen trockenen Standorten festgestellt (Ga4: steiler Südhang, Ka2: steiler Südhang, flachgründig, Sa1: flachgründig). Am besten wachsen die Schwarzkiefern auf den besser wasserversorgten Standorten (z. B. Ga2 und Ga3). Das bestätigt den Charakter der Schwarzkiefer als Pionierholzart: Ihre Ernährungsansprüche sind gering, sie ist in bezug auf die chemischen Verhältnisse bodenvag und reagiert stärker auf physikalische Standortunter-

Tabelle 9. Kennwerte des Wachstums der gefällten Probestämme (Mittelwert je Fläche)

Fläche	Alter	Brust- höhen- durch- messer [cm]	Alter in bestimmten Höhen (Altershöhenkurve)						Alter bei Endhöhe		Höhe im Alter 80	
			0,2 m	1,3 m	5,4 m	9,5 m	13,6 m	17,7 m	21,8 m	[a]		[m]
	[a]		[a]						[a]	[m]	[m]	
Ga1	68	28,1	3	7	18	30	44	65		68	18,3	19,6
Ga2	94	37,3	3	8	16	29	42	69	78	94	23,5	22,0
Ga3	59	24,5	3	7	16	26	38	55		59	18,1	22,2
Ga4	88	26,5	3	12	27	43	65			88	16,3	15,4
Ka1	69	29,0	3	9	15	26	40	58		69	19,0	19,9
Ka2	85	29,8	3	12	25	38	55	75		85	19,0	18,3
Sa1	93	33,0	3	12	23	34	52	75		93	20,3	18,3
Sa2	103	38,0	3	9	17	38	55	66	96	103	22,3	19,6
Ga5	78	26,3	3	6	18	26	42	57		78	19,6	19,8

schiede (z. B. auf die Wasserversorgung). Sie ist fähig, benötigte Nährelemente, wie das Kalium, unter den verschiedensten Bedingungen aufzunehmen. Die gute Kaliumversorgung hilft der Schwarzkiefer vermutlich, mit trockenen Bedingungen zurechtzukommen. Darauf weist auch die Korrelation zwischen Kalium-Nadelspiegel und Nadel- und Triebwachstum hin. Gut mit Kalium versorgte Pflanzen transpirieren ökonomischer und können deshalb mehr Wasser für das Streckungswachstum einsetzen. Die Schwarzkiefer kann sich besser als die Gemeine Kiefer vor einer Überschwemmung mit nicht benötigten Ca-Ionen schützen. Darauf weisen die relativ niedrigen Ca-Nadelspiegel auch auf Ca-reichen Böden (Gips, Kalk) hin.

Die starken Unterschiede im Mn-Nadelspiegel beruhen auf der Variation der pH-Werte der Böden. Auf Gipsstandorten treten sowohl sehr niedrige als auch sehr hohe Mn-Konzentrationen in den Nadeln auf. Dies läßt sich damit erklären, daß der pH-Wert (KCl) von Gipsböden in Abhängigkeit vom Kalkgehalt zwischen 3,6 und 6,9 schwanken kann (Heinze, Fiedler 1984). Trotz der großen Differenzen im Mn-Nadelspiegel sind keine Mangel- oder Überschufssymptome zu beobachten.

Die Korrelationen mit dem Fe-Nadelspiegel sind mit größter Vorsicht zu bewerten, da die Fe-Werte sehr ausgeglichen sind und sich meist nur zufällig voneinander unterscheiden.

Während sich die Gehalte der meisten Elemente in dem früher festgestellten Rahmen (Fiedler et al. 1987) befinden, weichen die Stickstoffgehalte nach oben ab. Das dürfte darauf zurückzuführen sein, daß sich im Gegensatz zu den früheren Untersuchungen, deren Probenahmestellen meist innerhalb größerer Waldkomplexe lagen, die hier bearbeiteten Probenflächen zu einem größeren Teil in der Nähe von Äckern, Gärten und Obstplantagen befanden (Ka1, Ka2, Ga3, Sa1, Sa2). Eine Beeinflussung durch Abdrift von Düngern und Agrochemikalien ist wahrscheinlich, wie auch die Bodenvegetation zeigt.

Die P-Nadelspiegel befinden sich ebenfalls im Bereich der Werte von Fiedler et al. (1987), im Vergleich mit den von Vien (1988) festgestellten Werten liegen sie an der unteren Grenze ausreichender Ernährung, nach Kriek u. v. d. Burg (1984) sogar im Mangelbereich.

Die von der Gipshalde erhaltenen Werte zeigen, daß die Ernährung auch der Schwarzkiefer auf solchen künstlichen Sonderstandorten in Abhängigkeit von den deponierten Stoffen und der physikalischen Beschaffenheit der Halde merklich von den natürlichen Verhältnissen abweichen kann.

## 5. Zusammenfassung

Im Gebiet der Hainleite, des Kyffhäusergebirges und des Südharzrandes wurden Jungwuchs- und Altbestände der Schwarzkiefer (*Pinus nigra* Arnold) und der Gemeinen Kiefer (*Pinus silvestris* L.) auf ihre Ernährung und ihr Wachstum untersucht. Die Schwarzkiefer enthält im Vergleich zur Gemeinen Kiefer weniger N, P, Ca, Mg, Mn und Zn und mehr K in den Nadeln.

Korrelationen zum Wachstum finden sich zwischen K-Nadelspiegel und Nadel- und Triebwachstum der Jungwuchsbestände. Die gefundenen Werte bewegen sich im früher festgestellten Rahmen, nur die Stickstoffkonzentrationen liegen teilweise ungewöhnlich hoch wegen Immissionen von benachbarten Feldflächen. Auf die bodenchemischen Unterschiede zwischen den Gips-, Kalk- und Silikatstandorten reagiert die Schwarzkiefer in Ernährung und Wachstum wenig oder nicht. Auf allen Standorten kann sie sich eine gute Kaliumernährung sichern. Das unterstreicht ihren Charakter als bodenvage, trockenheitsertragende Pionierbaumart.

### S u m m a r y

In the Hainleite region, Kyffhäuser mountains and at the southern border of the Harz-Mountains young growth and mature timber stands of black pine (*Pinus nigra* Arnold) and Scots pine (*Pinus silvestris* L.) were investigated with regard to their nutrition and growth. In comparison with the Scots pine the needles of black pine contain less N, P, Ca, Mg, Mn and Zn as well as more K. Correlations with growth were found between the K-content of the needles and the growth of needles and shoots of the young stands. The values found lie within the formerly established range, only the nitrogen concentrations are in part unusually high because of air pollution from neighbouring agricultural fields. As for nutrition and growth the black pine responds little or not to soil-chemical difference between gypsum, limestone and silicate sites. For this tree species good potassium nutrition is ensured on all sites. This underlines its character as a soil-vague, xerophytic pioneer species.

### S c h r i f t t u m

- Eichenberg, J.: Ernährung und Wachstum der Schwarzkiefer auf xerothermen Standorten Nordthüringens (Südharzrand) sowie der Tschechoslowakei und Ungarns. Diplomarb. Tharandt 1989.
- Fiedler, H. J., M. Heinze und H. Höhne: Nadelanalytische Erhebung an jungen Schwarzkiefern (*Pinus nigra* Arnold) auf Kalk- und Silikatstandorten Ostthüringens. Beitr. Forstwirtschaft. 21 (1987) 67–72.
- Fiedler, H. J., H. Höhne, G. Ilgen und E. Glowna: Der forstliche Gefäßversuch. Teil III: Bestimmung der Makro- und Mikronährstoffe in Pflanzenmaterial. Lehrbrief, Sektion Forstwirtschaft Tharandt, TU Dresden 1988.
- Fiedler, H. J., M. Heinze, G. Ilgen, H. Mai, E. Glowna, L. Baldauf, S. Müller und G. Mitschick: Bodenkundliches Praktikum. Lehrbrief der Reihe Bodennutzung und Bodenschutz. Sektion Forstwirtschaft Tharandt, TU Dresden (1989), im Druck.
- Heinze, M., und H. J. Fiedler: Chemische Eigenschaften von Gipsböden und ihren Begleitbodenformen im Kyffhäusergebirge. Hercynia N. F., Leipzig 21 (1984) 190–203.
- Kriek, W., und J. v. d. Burg: Schwarzkiefer in den Niederlanden. Allg. Forstzeitschrift 39 (1984) 590–593.
- Vien, N. V.: Beitrag zur Ernährungsphysiologie und Ernährung der Schwarzkiefer (*Pinus nigra* Arnold). Diss. TU Dresden, Tharandt 1988.
- Weber, E.: Grundriß der biologischen Statistik. 7. u. 9. Auflage, Fischer Verlag Jena 1972, 1986.

Dozent Dr. sc. silv. Martin Heinze  
 Dipl.-Forsting. Jens Eichberg  
 Prof. Dr. habil. Dr. h. c. mult. Hans Joachim Fiedler  
 Technische Universität Dresden  
 Sektion Forstwirtschaft  
 Wissenschaftsbereich Bodenkunde und Standortslehre  
 Piennner Straße 8  
 O-8223 Tharandt