©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Phyton (Austria)	**Vol. 29**	Fasc. 3 Sonderband „Zillertal"	(147)–(161)	21. 11. 1989

Feinstruktur der Chloroplasten von *Picea abies* verschiedener Standorte im Höhenprofil „Zillertal"

Von

Günther ZELLNIG und Manfred GAILHOFER*)

Mit 14 Abbildungen

Eingelangt am 8. Juni 1989

Key words: *Picea abies,* chloroplasts, ultrastructure.

Summary

ZELLNIG G. & GAILHOFER M. 1989. Chloroplast ultrastructure of *Picea abies* of different sites in the altitude profile "Zillertal" (Austria). – Phyton (Austria) 29 (3, Special issue "Zillertal"): (147)–(161), 14 figures. – German with English summary.

Ultrastructure of chloroplasts of one- to three-years old spruce needles (*Picea abies* [L.] KARST.) from three different sites in the „Zillertal" (Austria) were investigated during February – August 1988. The results showed that samples taken in February and especially in August are more suitable for structural analysis than those taken during April and June. This is due to natural seasonal changes in chloroplast structure during spring and at the beginning of summer. In the chloroplasts of all sites an increase in the number of plastoglobuli is obvious in the third year needles. This is most distinct in the February samples of site 3. Besides chloroplasts of all sites show changes in the electron-opacity of plastoglobuli. They often are inhomogenously stained or even translucent. In chloroplasts of site 1 and 2 also swellings of the intrathylakoidal space occur. In addition site 2 chloroplasts show a poor developed thylakoid-system in the first year needles. The results indicate changes in the metabolism at a very early stage of needle development.

Zusammenfassung

ZELLNIG G. & GAILHOFER M. 1989. Feinstruktur der Chloroplasten von *Picea abies* verschiedener Standorte im Höhenprofil „Zillertal". – Phyton (Austria) 29 (3, Sonderband „Zillertal"): (147)–(161), 14 Abbildungen. – Deutsch mit englischer Zusammenfassung.

---

*) Dr. G. ZELLNIG, Doz. Dr. M. GAILHOFER, Institut für Pflanzenphysiologie der Karl-Franzens-Universität Graz, Schubertstraße 51, A-8010 Graz, Austria.

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Ein- bis dreijährige Fichtennadeln (*Picea abies* [L.]. KARST.) von Bäumen an drei verschiedenen Standorten im Höhenprofil „Zillertal" wurden in der Zeit von Februar – August 1988 hinsichtlich ihrer Chloroplastenultrastruktur untersucht. Es zeigte sich, daß die Probetermine im Februar und besondes im August für die Strukturanalysen am geeignetsten sind, während im April und Juni natürliche jahreszeitliche Umstrukturierungen in den Chloroplasten eine Zustandsbeurteilung erschweren. Bei allen drei Standorten ist in den dreijährigen Chloroplasten eine deutliche Zunahme der Plastoglobuli-Zahl festzustellen. Dies ist im Februar bei Standort 3 besonders ausgeprägt. Weiters zeigten die Chloroplasten aller Standorte Veränderungen in der Kontrastierbarkeit der Plastoglobuli. Diese sind öfters inhomogen kontrastiert oder sogar gänzlich elektronenoptisch hell. Bei den Chloroplasten von Standort 1 und 2 konnten ferner Erweiterungen des intrathylakoidalen Raumes, bei Standort 2 zusätzlich ein sehr schwach entwickeltes Thylakoidsystem im 1. Jahrgang festgestellt werden. Die Resultate lassen auf eine frühzeitige Veränderung im Stoffwechsel der untersuchten Nadeln schließen.

Einleitung

Ultrastrukturelle Untersuchungen an Koniferennadeln wurden bereits in einer Vielzahl aufgrund verschiedenartiger Wald- und Baumschädigungen durchgeführt (GODZIK & KNABE 1973, SOIKKELI 1981a, PARAMESWARAN & al. 1985, SCHMITT & al. 1986). Dabei stand aber meist eine Schadensanalyse in Zusammenhang mit mehr oder weniger bekannten Luftschadstoffen im Vordergrund. Öfters wurden aber andere Parameter, die ebenfalls die Ultrastruktur beeinflussen, wie Klima, Nährstoffversorgung oder Jahreszeit gar nicht erfaßt oder berücksichtigt. Die meisten Angaben in diesen ultrastrukturellen Untersuchungen gibt es über Fichten und Föhren, wobei hauptsächlich auf Chloroplasten eingegangen wird. Dies scheint darin begründet zu sein, daß in Chloroplasten bereits Veränderungen (Schädigungen) festzustellen waren, in anderen Organellen wie z. B. im Kern oder in Mitochondrien aber nicht (vgl. MEYBERG & al. 1988). Auch bei einer natürlichen Alterung von Blättern zeigen Chloroplasten als erste Organellen Anzeichen von Störungen (vgl. BISWAL & BISWAL 1988). Um nun Schädigungen zuordnen zu können, ist es wichtig, Informationen über den Alterungsprozeß und die jahreszeitlichen Veränderungen in den Chloroplasten zu besitzen. Derartige Untersuchungen an Nadeln liegen aber nur sehr spärlich vor (CHABOT & CHABOT 1975, SENSER & al. 1975, SOIKKELI 1978), außerdem sind sie in ihren Angaben durchaus nicht einheitlich (SUTINEN 1987a, MEYBERG & al. 1988).

Deshalb erscheint es wichtig, weitere Daten über den Entwicklungsverlauf in unterschiedlich alten Nadeln über einen längeren Zeitraum (Februar-August) zu erhalten. Aus diesem Grund wurden nun im Rahmen der vorliegenden Arbeit Fichtennadeln des 1. und 3. Jahrganges von Bäumen unterschiedlicher Höhenstufen hinsichtlich ihrer Chloroplastenstruktur untersucht und verglichen.

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

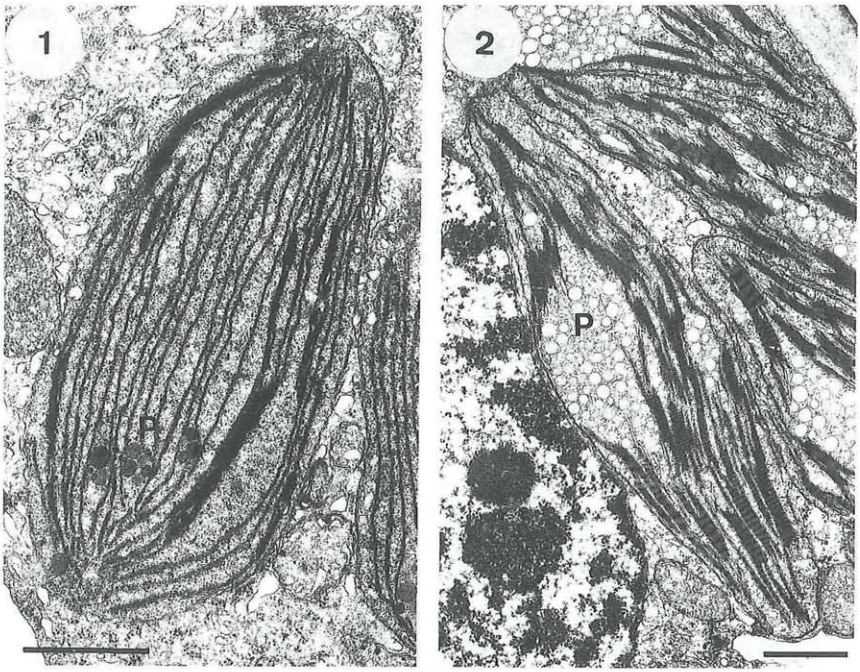


Abb. 1 und 2: *Picea abies,* Standort 1, Mesophyllzellen.

Abb. 1: einjährige Nadel im Februar; Chloroplast mit zahlreichen Stromathylakoiden und inhomogen kontrastierten Plastoglobuli (P).

Abb. 2: desgl. dreijährige Nadel; Chloroplast mit gut ausgebildeten Granathylakoiden und vermehrten elektronenoptisch hellen Plastoglobuli (P), Maßeinheit = 1 µm.

Fig. 1 and 2: *Picea abies,* site 1, mesophyll cells, February.

Fig. 1: First year needle; chloroplast with numerous stromathylakoids and inhomogenously stained plastoglobuli (P).

Fig. 2: Third year needle; chloroplast with well developed grana-thylakoids and an increased number of lightened plastoglobuli (P.) Bar=1 µm.

Material & Methode

Untersucht wurden Chloroplasten von Mesophyllzellen von Nadeln des 1. und 3. Jahrganges (Jg.) von *Picea abies* (L.) KARST. von Standorten in 3 verschiedenen Höhenstufen im Zillertal: 1 (700 m Seehöhe) „Schwendberghof", 2 (1000 m Seehöhe) „Talwiese", 3 (1520 m Seehöhe) „Stockaste". Die Probenahme erfolgte 1988 in den Monaten Februar, April, Juni und August.

Ca. 1 mm^3 große Quer- und Längsschnitte der vorderen Nadelhälfte wurden 12–14 h in 3% Glutaraldehyd in Cacodylatpuffer (pH 7,2) fixiert und anschließend

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

3 h im Puffer ausgewaschen. Danach wurden die Schnitte 2 h mit 1% OsO_4 nachfixiert, anschließend entwässert und in Polarbed eingebettet (vgl. GLAUERT 1974, HAYAT 1981).

Die Ultradünnschnitte wurden mit Bleicitrat und Uranylacetat nachkontrastiert und mit einem Philips CM 10 Elektronenmikroskop untersucht.

Zur Ermittlung von relativen Flächenanteilen wurde jede Plastide 4 x mit einem 1 cm Vielzweckgitter vermessen. Die angegebenen Werte stellen Mittelwerte dar. Verwendet wurden die Proben des 1. und 3. Jg. vom Februar und August 1988 der Standorte 1, 2 und 3.

Ergebnisse

Standort 1 „Schwendberghof"

Februar: In dieser Jahreszeit sind in den Chloroplasten einjähriger Nadeln viele Stroma-, aber nur wenige Granathylakoide ausgebildet. Plastoglobuli kommen im normalem Ausmaß vor, sie sind meist elektronenoptisch dunkel dargestellt (Abb. 1). Im 3. Jg. sind jedoch Chloroplasten mit gut

---

Abb. 3–6: *Picea abies,* Standort 1, Mesophyllzellen.

Abb. 3: Einjährige Nadel, April; Chloroplast mit schwach ausgebildeten Granathylakoiden und einzelnen Anschwellungen des intrathylakoidalen Raumes (Pfeile), Stärke (S).

Abb. 4: desgl. Juni; Chloroplast mit größeren Grana, Stärke (S).

Abb. 5: desgl. August, Chloroplast mit gut entwickeltem Thylakoidsystem, inhomogen kontrastierten Plastoglobuli (S) und einem peripheren membranfreien Stromabereich (*).

Abb. 6: Dreijährige Nadel im August; Chloroplast mit gut entwickeltem Thylakoidsystem, einzelnen Erweiterungen des intrathylakoidalen Raumes (Pfeile) und vielen, elektronenoptisch hellen Plastoglobuli (P). Maßeinheit=1μm.

Fig. 3–6: *Picea abies,* site 1, mesophyll-cells.

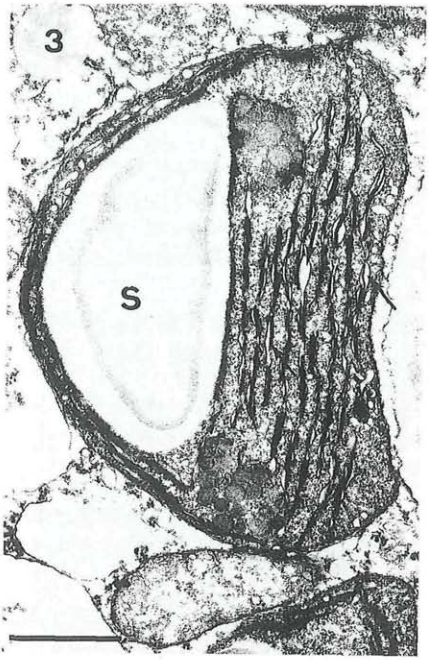
Fig. 3: First year needle, April; chloroplast with few granathylakoids and swellings of the intrathylakoidal space (arrows), starch (S).

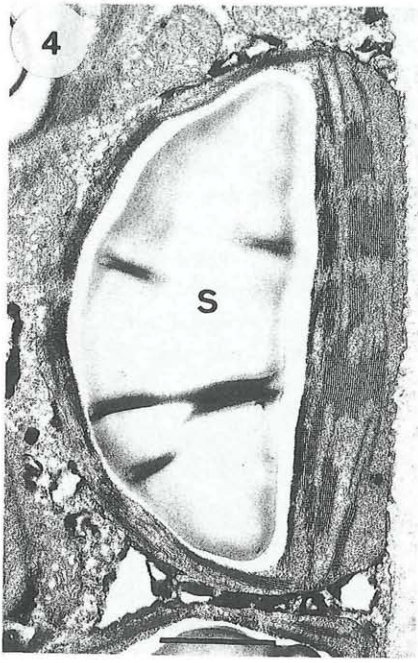
Fig. 4: idem, June; chloroplast with well developed granathylakoids, starch (S).

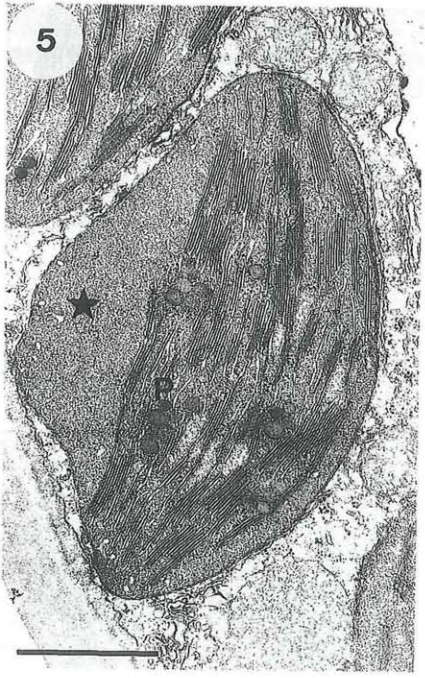
Fig. 5: idem, August; chloroplast with a well developed thylakoid-system, inhomogenously stained plastoglobuli (P) and a peripheral membrane-free stroma space (*).

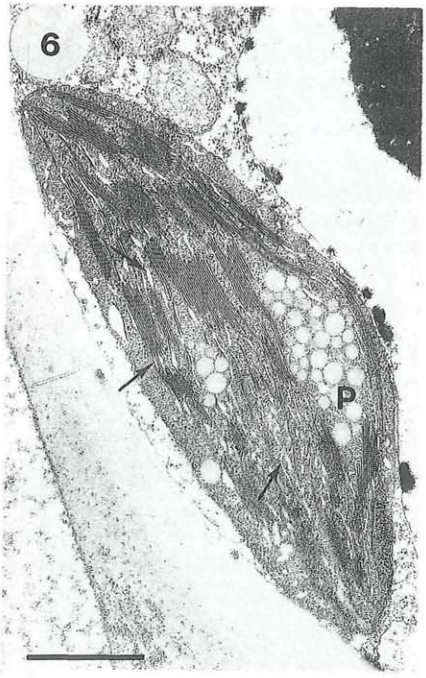
Fig. 6: Third year needle, August; chloroplast with a well developed thylakoid system, swellings of the intrathylakoidal space (arrows) and a high number of lightened plastoglobuli. Bar=1 μm.

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at









©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

ausgebildeten Grana und erhöhter Plastoglobuli-Anzahl zu finden. Letztere sind öfters elektronenoptisch hell (Abb. 2), teilweise aber auch inhomogen kontrastiert. Bei diesen Chloroplasten sind auch Formveränderungen festzustellen, sie sind öfters langgestreckt. Stärke ist sowohl im 1. als auch im 3. Jg. nur in geringem Ausmaß ausgebildet.

April–Juni: Bei diesen Probeterminen kommt es aufgrund des Neuaustriebes und bei der jahreszeitlichen Umstellung zu starken Veränderungen in den Nadeln. Diese betreffen auch die Chloroplasten, was zu großen Variationen innerhalb der Chloroplastenstruktur führt. Deshalb werden für diese Termine nur größere Trends beschrieben.

Im April weisen die Chloroplasten im 1. Jg. schon einige größere Stärkekörner auf, das Membransystem zeigt aber immer noch relativ

---

Abb. 7–10: *Picea abies,* Standort 2, Mesophyllzellen.

Abb. 7: Einjährige Nadel, Februar; Chloroplast mit reduziertem Thylakoidsystem und einer etwas erhöhten Anzahl von inhomogen kontrastierten Plastoglobuli (P), Stärke (6).

Abb. 8: Dreijährige Nadel, Februar; Chloroplast mit kleineren Grana, vermehrten aufgehellten Plastoglobuli (P) und elektronendichten Globuli im Bereich der intrathylakoidalen Erweiterungen (Pfeile).

Abb. 9: Einjährige Nadel, August; Chloroplast mit kleineren Grana, inhomogen kontrastierten Plastoglobuli (P) und kleinerem membranfreien Stromabereich (*), Stärke (S).

Abb. 10: Dreijährige Nadel, August; Chloroplast mit größeren Grana und einzelnen Anschwellungen des intrathylakoidalen Raumes (Pfeile), vermehrten elektronenoptisch hellen Plastoglobuli (P) und einem membranfreien Stromabereich (*). Maßeinheit=1 μm.

Fig. 7–10: *Picea abies,* site 2 mesophyll-cells.

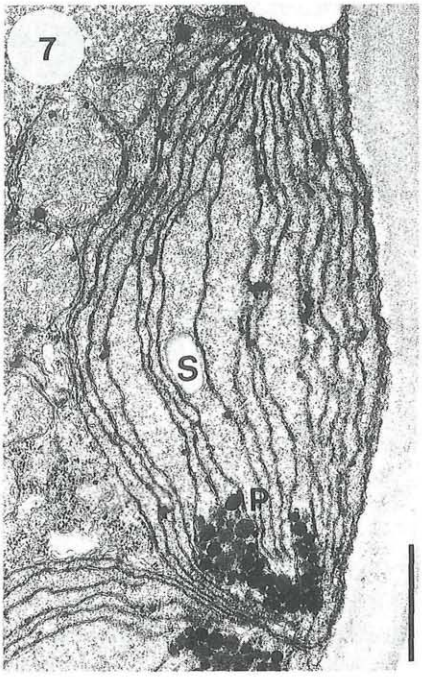
Fig. 7: First year needle, February; chloroplast with a reduced thylakoid system and a slightly increased number of inhomogenously stained plastoglobuli (P), starch (S).

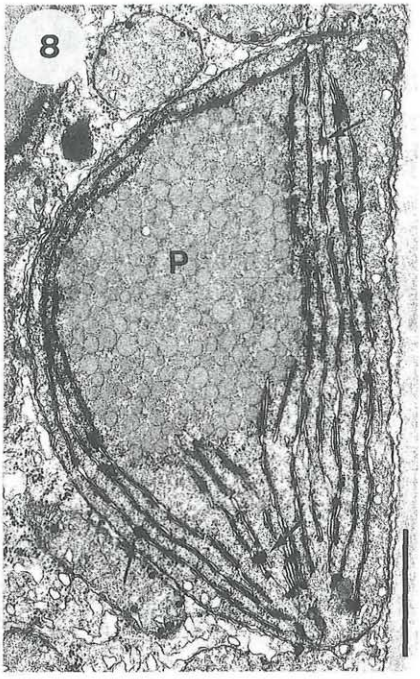
Fig. 8: Third year needle, February; chloroplast with small grana, an increased number of lightened plastoglobuli (P) and electron-opaque globuli near or in the intrathylakoidal space (arrows).

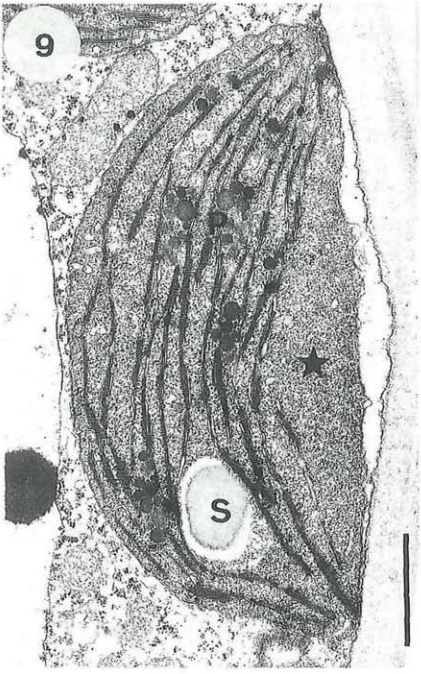
Fig. 9: First year needle, August; chloroplast with small grana, inhomogenously stained plastoglobuil (P) and a small membran-free stroma space (*), starch (S).

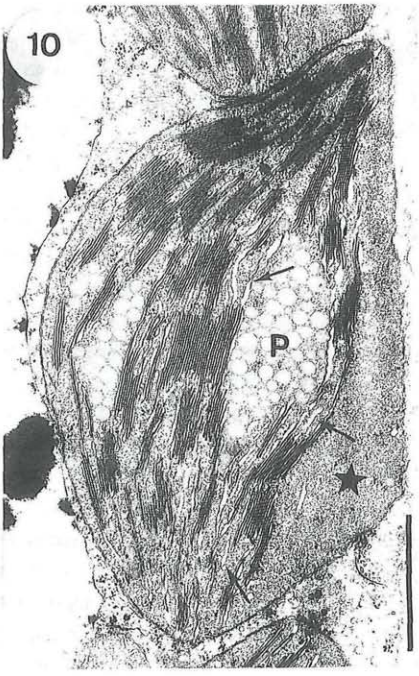
Fig. 10: Third year needle, August; chloroplast with well developed grana-thylakoids, swellings of the intrathylakoidal space (arrows) increased number of lightened plastoglobuli (P) and a membrane-free stroma space (*). Bar=1 μm.

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at









©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

schwach ausgebildete Grana und vereinzelte intrathylakoidale Anschwellungen (Abb. 3). Häufig sind nun an der Peripherie der Chloroplasten Vesikel festzustellen.

Im Juni beinhalten die Chloroplasten des 1. Jg. hauptsächlich mächtige Stärkekörner, ihr Membransystem zeigt nun schon gut entwickelte Grana (Abb. 4). Die Plastoglobuli sind elektronenoptisch dunkel und in den Juni-Proben nur in geringer Anzahl vorhanden. Die dreijährigen Chloroplasten zeigen hinsichtlich der Stärke ein ähnliches Bild wie die einjährigen. Die mächtigen Stärkekörner führen öfters zu starken Verformungen der Chloroplasten. Das Thylakoidsystem ist generell gut entwickelt. Die Zahl der Plastoglobuli, die meist elektronenoptisch dicht sind, ist im April deutlich erhöht. Im Juni sind einige, oft inhomogen kontrastierte oder helle Plastoglobuli zu beobachten. Periphere Vesikel treten hier ebenfalls auf.

August: Die Chloroplasten des 1. Jg. besitzen ein sehr gut entwickeltes Thylakoidsystem mit großen Grana, inhomogen kontrastierte Plastoglobuli und teilweise große, periphere, membranfreie Stromabereiche. Letztere bedingen oft stärkere Verformungen der Chloroplasten (Abb. 5). Vereinzelt treten auch Anschwellungen des intrathylakoidalen Raumes auf. Stärke kommt in normalem Ausmaß vor. Bei den dreijährigen Chloroplasten fällt zusätzlich die erhöhte Anzahl der Plastoglobuli, die öfters elektronenoptisch hell sind, auf (Abb. 6). Im 1. und 3. Jg. treten nun auch verstärkt periphere Vesikel auf.

Standort 2 „Talwiese"

Februar: Die Chloroplasten zeigen eine ähnliche Struktur wie die von Standort 1 und enthalten im 1. Jg. nur wenige Thylakoide und Grana. Die Zahl der Plastoglobuli ist etwas erhöht, sie sind meist inhomogen kontrastiert (Abb. 7). In dreijährigen Nadeln besitzen die Chloroplasten ein besser entwickeltes Thylakoidsystem und einige Grana. Die Anzahl der Plastoglobuli ist stark erhöht, sie sind elektronenoptisch heller als im 1. Jg. (Abb. 8). Manchmal sind bei den Chloroplasten Deformationen und periphere, membranfreie Stromabereiche festzustellen. In beiden untersuchten Jahrgängen treten einige Vesikel an der Peripherie der Chloroplasten auf.

April–Juni: Die Chloroplasten des 1. und 3. Jg. werden beherrscht von mächtigen Stärkekörnern. Das Thylakoidsystem ist generell besser entwikkelt als im Februar. Im 3. Jg. kommen weiterhin Chloroplastendeformationen mit membranfreien, peripheren Bereichen und Plastoglobuli-Akkumulationen vor. Letztere zeigen oft starke Unterschiede hinsichtlich ihrer Kontrastierbarkeit. Weiters kommen auch einige Vesikel an der Chloroplastenperipherie vor.

August: Die Chloroplasten besitzen im 1. Jg. nur kleinere Grana in ihrem Thylakoidsystem. Die Plastoglobuli sind öfters elektronendicht, teilweise aber inhomogen kontrastiert. Ihre Zahl erscheint etwas erhöht. An

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

der Peripherie kommen kleine, membranfreie Stromabereiche, die aber zu keinen stärkeren Deformationen führen, vor (Abb. 9). Stärke ist in normalem Ausmaß vorhanden. Im 3. Jg. fällt ein gut entwickeltes Thylakoidsystem mit großen Grana auf. Gelegentlich kommen Erweiterungen des intrathylakoidalen Raumes vor. Die Plastoglobuli sind meist inhomogen kontrastiert, oft auch homogen elektronenoptisch hell, und ihre Anzahl weiter erhöht. Die membranfreien Bezirke treten auch hier auf (Abb. 10). In beiden Jahrgängen treten auch Vesikel an der Peripherie auf.

Zusätzlich fallen in den Chloroplasten dieses Standortes meist runde, elektronendichte, ca. 80 nm große Globuli auf. Diese scheinen meist an den Thylakoiden oder im Bereich intrathylakoidaler Erweiterungen zu liegen (Abb. 8).

Standort 3 „Stockaste"

Februar: Die Chloroplasten einjähriger Nadeln besitzen ein etwas besser entwickeltes Thylakoidsystem mit zum Teil gut ausgebildeten Grana, die aus bis zu 9 Thylakoiden bestehen können. Weiters kommen inhomogen kontrastierte Plastoglobuli in normaler Anzahl vor. Die Plastiden haben öfters einen unregelmäßigen Umriß, manchmal erscheinen sie auch amöboid. In den peripheren Bereichen sind keine Thylakoide, manchmal aber Vesikel zu beobachten (Abb. 11). Im 3. Jg. sind die Chloroplasten durch ein gut entwickeltes Thylakoidsystem und einer stark vermehrten Anzahl inhomogen kontrastierter oder elektronenoptisch heller Plastoglobuli charakterisiert. Außerdem sind öfters Deformationen der Chloroplasten und periphere, membranfreie Stromabereiche festzustellen (Abb. 12). In den Chloroplasten dieser Proben ist ebenfalls nur sehr wenig Stärke ausgebildet.

April–Juni: Hier zeigt sich ein ähnliches Bild wie bei den anderen Standorten, die Chloroplasten des 1. und 3. Jg. sind beherrscht von riesigen Stärkekörnern. Diese sind auch die Ursache für starke Chloroplastendeformationen. Im Thylakoidsystem sind nun auch Anschwellungen des intrathylakoidalen Raumes festzustellen, sonst zeigen sich keine Veränderungen im Vergleich zum Februar. Die Anzahl der Plastoglobuli ist im 3. Jg. weiterhin erhöht, sie sind entweder elektronenoptisch dicht oder inhomogen kontrastiert.

August: Im 1. Jg. besitzen die Chloroplasten ein normal entwickeltes Thylakoidsystem mit kleineren Grana. Die Plastoglobuli sind meist elektronenoptisch dicht und ihre Anzahl erscheint normal. Vereinzelt sind aber auch aufgehellte Plastoglobuli zu beobachten (Abb. 13). Weiters können kleine, membranfreie Stromabereiche und einzelne Stärkekörner vorkommen. Im 3. Jg. fallen in den Chloroplasten mächtige Grana und eine vermehrte Anzahl meist aufgehellter Plastoglobuli auf (Abb. 14).

Die aus Chloroplastenprofilen errechneten relativen Flächenanteile von Stroma, Thylakoiden, Plastoglobuli und Stärke zeigten eine steigende

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Tendenz des prozentuellen Plastoglobulianteiles im 3. Jg. Dies ist im Februar bei Standort 3 extrem ausgeprägt (vgl. Tab. 1). Außerdem ist im August bei den Standorten 2 und 3 im 3. Jg. eine fallende Tendenz des Stroma/Thylakoid-Quotienten festzustellen.

Diskussion

Die untersuchten Chloroplasten der drei Standorte zeigen im Februar bis auf Unterschiede in der Kontrastierbarkeit der Plastoglobuli einen weitgehend ähnlichen Aufbau. Die im 1. Jg. festgestellten Reduktionen von Granathylakoiden, Chloroplastendeformationen und peripheren, membranfreien Stromabereiche werden auch von CHABOT & CHABOT 1975 für *Abies* und SENSER & al. 1975 für *Picea* beschrieben. SOIKKELI 1978 berichtet jedoch über normal ausgebildete Stroma- und Granathylakoide während des Winters in *Picea*-Chloroplasten. Dieser Unterschied dürfte darauf zurückzuführen sein, daß in der Arbeit von SOIKKELI 1978 Nadeln des 2. Jg. untersucht wurden. Denn auch bei unseren Untersuchungen zeigte sich, daß im Gegensatz zu den jüngsten Nadeln die des 3. Jg. gut entwickelte Grana in

---

Abb. 11–14: *Picea abies,* Standort 3. Mesophyllzellen.

Abb. 11: Einjährige Nadel, Februar; amöboider Chloroplast mit kleinen Grana und membranfreiem Stromabereich (*).

Abb. 12: Dreijährige Nadel, Februar; Chloroplast mit kleinen Grana, einer vermehrten Anzahl aufgehellter Plastoglobuli (P) und membranfreiem Stromabereich (*).

Abb. 13: Einjährige Nadel, August; Chloroplast mit kleinen Grana und einem membranfreien Stromabereich (*).

Abb. 14: Dreijährige Nadel, August; Chloroplast mit mächtigen Grana und einer erhöhten Anzahl heller Plastoglobuli (P), Stärke (S). Maßeinheit = 1 µm.

Fig. 11–14: *Picea abies,* site 3, mesophyll-cells.

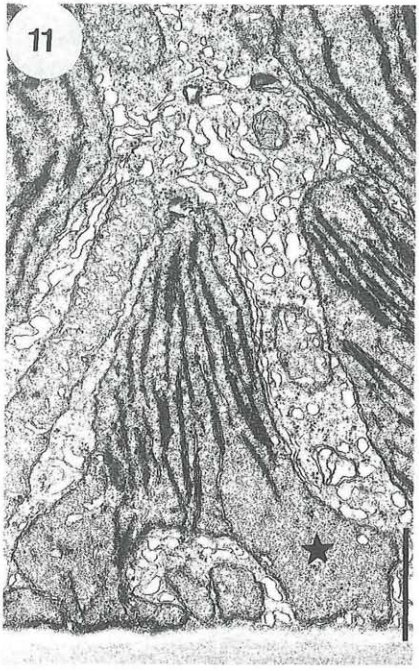
Fig. 11: First year needle, February; amoeboid chloroplast with small grana and a membrane-free stroma space (*).

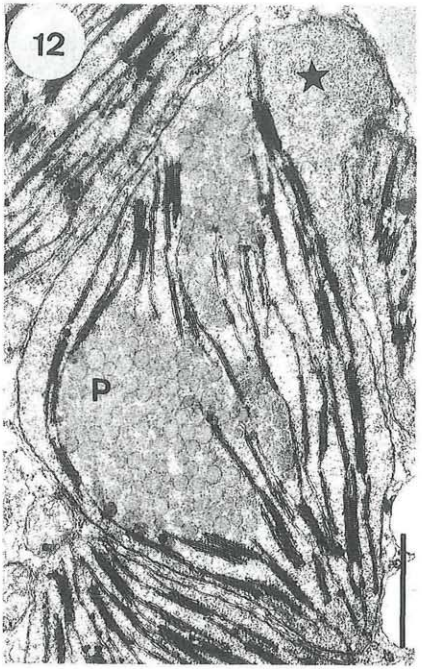
Fig. 12: Third year needle, February; chloroplast with small grana, an increased number of lightened plastoglobuli (P) and a membrane-free stroma space (*).

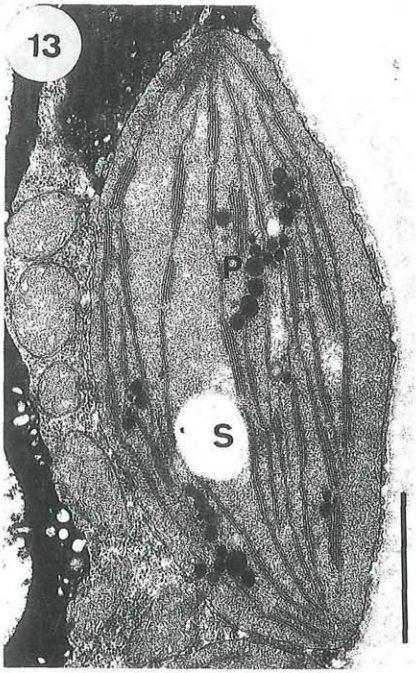
Fig. 13: First year needle, August; chloroplast with small grana and mainly electron-opaque plastoglobuli (P), starch (S).

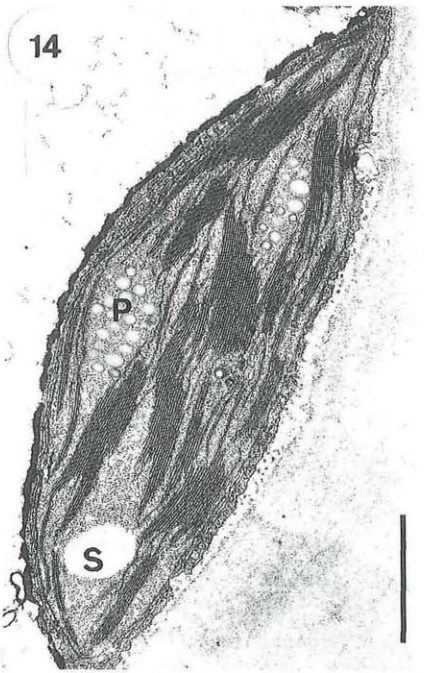
Fig. 14: Third year needle, August; chloroplast with well developed grana-thylakoids and an increased number of lightened plastoglobuli (P), starch (S). Bar=1 µm.

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at









©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 1 / Table 1

Errechnete relative Flächenanteile von Stroma (St), Thylakoiden (T), Plastoglobuli (P) und Stärke (S) aus Chloroplastenprofilen von Februar- (Werte in Klammern) und Augustproben. n = Zahl der vermessenen Plastiden.

Relative shares of the area of stroma (St), thylakoids (T), plastoglobuli (P), and starch (S), calculated from the profiles sampled in February (values in parentheses) and in August. n = number of the measured plastids.

Standort	Jg.	n	St (%)	T (%)	St : T	P (%)	S (%)
1	1	5 (3)	57,3 (54,4)	37,5 (43,9)	1,5 : 1 (1,2 : 1)	2,8 (1,8)	2,3 (–)
	3	5 (5)	50,4 (48,4)	34,0 (39,6)	1,5 : 1 (1,2 : 1)	15,6 (11,9)	– (–)
2	1	6 (6)	62,6 (54,7)	28,3 (32,7)	2,2 : 1 (1,7 : 1)	4,0 (11,3)	5,1 (1,4)
	3	8 (7)	51,0 (52,0)	32,3 (28,6)	1,6 : 1 (1,8 : 1)	9,1 (19,4)	7,3 (–)
3	1	6 (6)	56,2 (62,2)	37,8 (35,6)	1,5 : 1 (1,7 : 1)	5,4 (1,5)	0,6 (0,5)
	3	7 (3)	46,8 (47,4)	42,8 (31,8)	1,1 : 1 (1,5 : 1)	9,4 (20,9)	1,0 (–)

den Chloroplasten aufweisen. Es scheint also diesbezüglich ein Unterschied zwischen Nadeln des 1. Jg. und älteren zu bestehen.

Inhomogen kontrastierte Plastoglobuli, wie sie auch hier vorkommen, lassen auf eine veränderte Zusammensetzung dieser schließen. LICHTENTHALER 1970 berichtet über einen schwächeren osmiophilen Charakter und dadurch entstehende verschiedene Grautöne bei erhöhtem Carotinoidgehalt der Plastoglobuli von *Sarothamnus*-Chromoplasten. Die ebenfalls festgestellten Aufhellungen der Plastoglobuli werden einerseits öfters bei S-Belastungen (SOIKKELI 1981 a, b), andererseits in alternden Fichten-Chloroplasten (SUTINEN 1987 a, WULFF & al. 1988) beschrieben. BISWAL & BISWAL 1988 berichten in einer zusammenfassenden Arbeit über Chloroplastenalterung über eine Zunahme der Plastoglobuli-Zahl und -Größe, Desorganisation des Thylakoidsystems und Vesikelbildung als erste Zeichen der natürlichen Seneszenz in Blättern. Die häufig vorkommenden Plastoglobuli-Akkumulationen im 3. Jg. der drei Standorte (vgl. Tab. 1) stehen nicht im Einklang mit anderen Angaben für den normalen Alterungsprozeß in den Fichten-Chloroplasten. Eine deutliche Plastoglobuli-Zunahme soll bei ungeschädigten Chloroplasten erst im 5. (MEYBERG & al. 1988) bzw. 6. Jg. (WULFF & al. 1988) auftreten. Bei jüngeren Nadeln werden Plastoglobuli-Akkumulationen nur in Zusammenhang mit Schädigungen (SCHMITT & al. 1986, SUTINEN 1987 b) und damit einhergehender frühzeitiger Alterung (FINK 1988) beschrieben.

Die beobachteten Formveränderungen und peripheren, membranfreien Stromabereiche der Chloroplasten im Februar werden für diese Jahreszeit als „normal" angesehen (SENSER & al. 1975, SOIKKELI 1978). Derartige Chloroplasten mit stärkeren Deformationen sind aber auch in den untersuchten August-Proben, besonders bei Standort 1 festzustellen. In einer

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

zusammenfassenden Arbeit über die durch Luftschadstoffe und andere abiotische Faktoren verursachten histologischen und cytologischen Veränderungen, berichtet FINK 1988 über das Auftreten thylakoidfreier Stromabereiche in Zusammenhang mit saurem Regen und O_3 oder NO_2 begasten Blättern.

In der Zeit von April–Juni sind die Chloroplasten der drei Standorte gekennzeichnet durch erhöhte Stoffwechselaktivität. Dies kommt deutlich in den enormen Stärkemengen und den öfters festzustellenden Vesikeln zum Ausdruck. Zusätzlich sind nun auch Anschwellungen des intrathylakoidalen Raumes zu beobachten, eine Veränderung, die auch bei den August-Proben von Standort 1 und 2 vorkommen. Thylakoidanschwellungen treten nicht nur in Koniferen sondern auch in Angiospermen immer wieder bei Schädigungen auf. Sie werden z. B. in Zusammenhang mit SO_2- (WONG & al. 1977, KÄRENLAMPI & HOUPIS 1986) bzw. O_3-Belastungen (MIYAKE & al. 1984), generell starker Luftverschmutzung (PSARAS & CHRISTODOULAKIS 1987) oder Nährstoffmangel (FINK 1988) beschrieben. Da es parallel zu den Proben mit gasförmiger Belastung meistens Kontrollpräparate gibt, die diese Anschwellungen nicht zeigen, dürfte die Möglichkeit von Fixierungsartefakten auszuschließen sein. HUTTUNEN & SOIKKELI 1984 betrachten Thylakoiderweiterungen als keine spezifische Reaktion auf einen bestimmten Schadstoff, sondern als generelles Symptom einer akuten Schädigung. Dabei soll die normale Funktion der Membranen aufgrund starker Veränderungen auf molekularer Ebene gestört sein (LICHTENTHALER & BUSCHMANN 1984).

Bei den August-Proben zeigten sich einige Veränderungen, wie z. B. Chloroplastendeformationen, Thylakoidanschwellungen, Plastoglobuli-Aufhellungen und -Akkumulationen, im 1. und 3. Jg. von Standort 1 und 2. Bei Standort 3 konnten stärkere Veränderungen lediglich hinsichtlich der Plastoglobuli im 3. Jg. festgestellt werden. Weiters scheint auch das eher schwach entwickelte Thylakoidsystem mit kleinen Grana in den Chloroplasten des 1. Jg. von Standort 2 (vgl. Tab. 1) nicht der Jahreszeit zu entsprechen und wäre daher als abnorm anzusehen. Derartige Veränderungen werden auch von SUTINEN 1987b bei Fichten aus dem Taunus beobachtet und auf lang andauernde Einwirkung von Luftschadstoffen in geringer Konzentration zurückgeführt.

Die Proben vom August erwiesen sich für eine Strukturanalyse besonders geeignet, da zu dieser Zeit keine Umstrukturierung aufgrund jahreszeitlicher Veränderungen zu erwarten ist. Deshalb ist mit normal entwickelten Chloroplasten ohne extreme Stärkevorkommen, die die Relation zu anderen Strukturelementen stark verändern, zu rechnen. Dadurch können Abnormitäten eher erfaßt und beurteilt werden. Derartige Bedingungen herrschen zwar auch während des Winters, aufgrund der natürlich veränderten Verhältnisse im Thylakoidsystem und hinsichtlich der Plastoglobuli ist eine Klassifizierung zu dieser Zeit jedoch erschwert.

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Danksagung

Die Forschungsarbeit wurde durch die finanzielle Unterstützung seitens des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung ermöglicht.

Herrn G. KLINGER, Frau Dr. I. MÜLLER und Frau M. MÜLLER sei für technische Assistenz gedankt.

Literatur

BISWAL U. C. & BISWAL B. 1988. Ultrastructural modifications and biochemical changes during senescence of chloroplastes. – Int. Rev. Cytol. 113: 271–321.

CHABOT J. F. & CHABOT B. F. 1975. Developmental and seasonal patterns of mesophyll ultrastructure in *Abies balsamea*. – Can. J. Bot. 53: 295–304.

FINK S. 1988. Histological and cytological changes caused by air pollutants and other abiotic factors. – In: SCHULTE-HOSTEDE S., DARRALL N. M., BLANK L. W., WELLBURN A. R. (eds.), Air Pollution and Plant Metabolism, pp. 36–54. – Elsevier Applied Science.

GLAUERT A. M. 1974. Fixation, dehydration and embedding of biological specimens. – In: GLAUERT A. M. (ed.), Practical Methods in Electron Microscopy. – North-Holland/Elsevier, Amsterdam, New York.

GODZIK S. & KNABE W. 1973. Vergleichende elektronen-mikroskopische Untersuchungen der Feinstruktur von Chloroplasten einiger *Pinus*-Arten aus den Industriegebieten an der Ruhr und in Oberschlesien. – In: Proceedings of the third international clean air congress, A164–170. – VDI-Verlag Düsseldorf.

HAYAT M. A. 1981 Fixation for Electron Microscopy. – Academic Press. New York, London, Sydney, San Francisco.

HUTTUNEN S. & SOIKKELI S. 1984. Effects of various gaseous pollutants on plant cell ultrastructure. – In: KOZIOL M. J. & WHATLEY F. R. (eds.), Gaseous air pollutants and plant metabolism, pp. 117–127. – Buttersworths.

KÄRENLAMPI L. & HOUPIS L. J. 1986. Structural conditions of mesophyll cells of *Pinus ponderosa* var. *scopulorum* after SO_2 fumigation. – Can. J. For. Res. 16: 1381–1385.

LICHTENTHALER H. K. 1970. Die Lokalisation der Plastidenchinone und Carotinoide in den Chromoplasten der Petalen von *Sarothamnus scoparius* (L.) WIMM ex KOCH. – Planta 90: 142–152.

– & BUSCHMANN C. 1984. Beziehungen zwischen Photosynthese und Baumsterben. – Allg. Forstz. 39: 12–16.

MEYBERG M., LOCKHAUSEN J. & KRISTEN U. 1988 Ultrastructural changes in mesophyll cells of spruce needles from a declining forest in northern Germany. – Eur. J. For. Path. 18: 169–175.

MIYAKE H., FURUKAWA A., TOTSUKA T. & MAEDA E. 1984. Differential effects of ozone and sulphur dioxide on the fine structure of spinach leaf cells. – New Phytol. 96: 215–228.

PARAMESWARAN N., FINK S. & LIESE W. 1985. Feinstrukturelle Untersuchungen an Nadeln geschädigter Tannen und Fichten aus Waldschadensgebieten im Schwarzwald. – Eur. J. For. Path. 15: 168–182.

PSARAS G. K. & CHRISTODOULAKIS N. S. 1987. Air pollution effects on the ultrastructure of *Phlomis fruticosa* mesophyll cells. – Bull. Environ. Contam. Toxicol. 38: 610–617.

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

SCHMITT U., LIESE W. & RUETZE M. 1986. Ultrastrukturelle Veränderungen in grünen Nadeln geschädigter Fichten. – Angew. Bot. 60: 441–450.

SENSER M., SCHÖTZ F. & BECK E. 1975. Seasonal changes in structure and function of spruce chloroplasts. – Planta 126: 1–10.

SOIKKELI S. 1978. Seasonal changes in mesophyll ultrastructure of needles of Norway spruce *(Picea abies)*. – Can. J. Bot. 56: 1932–1940.

– 1981a. A review of the structural effects of air pollution on mesophyll tissue of plants at light and transmission electron microscope level. – Savonia 4: 11–34.

– 1981b. The types of ultrastructural injuries in conifer needles of northern industrial environments. – Silva Fennica 15: 399–404.

SUTINEN S. 1987a. Cytology of Norway spruce needles. I. Changes during ageing. – Eur. J. Forest Path. 17: 65–73.

– 1987b. Cytology of Norway spruce needles. II. Changes in yellowing spruces from the Taunus Mountains, West Germany. – Eur. J. For. Path. 17: 74–85.

WONG C. H., KLEIN H. & JÄGER H.-J. 1977. The effect of SO_2 on the ultrastructure of *Pisum* and *Zea* chloroplasts. – Angew. Bot. 51: 311–319.

WULFF A., AHONEN J., KÄRENLAMPI L. & ROPPONEN L. 1988. Tree and needle age related ultrastructural changes in the mesophyll cells of Norway spruce needles from background and industrial areas in Finland. In: DICKINSON H. G. & GOODHEW P. J. (eds.) Proceedings of the 9th European Congress on Electron Microscopy (York) 3: 79–80.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Phyton, Annales Rei Botanicae, Horn

Jahr/Year: 1989

Band/Volume: 29_3

Autor(en)/Author(s): Zellnig Günther, Gailhofer Manfred Karl

Artikel/Article: Feinstruktur der Chloroplasten von Picea abies verschiedener Standorte im Höhenprofil "Zillertal". 147-161