

# PHYTON

## ANNALES REI BOTANICAE

VOL. 25. FASC. 1

PAG. 1—192

28. 2. 1985

Phyton (Austria)	Vol. 25	Fasc. 1	1—15	28. 2. 1985
------------------	---------	---------	------	-------------

### Carotinoide in Fichtennadeln II. Quantitative Untersuchungen

Von

Dieter GRILL und Hartwig W. PFEIFHOFER \*)

Mit 8 Abbildungen

Eingelangt am 17. Juni 1983

Key words: *Picea abies*, spruce, carotenes, xanthophylls

#### Summary

GRILL D. & PFEIFHOFER H. W. 1985. Carotenoids in spruce needles II. Quantitative investigations. — *Phyton* (Austria) 25 (1): 1—15 with 8 figures. — German with English summary.

Lutein has a share of more than 40 per cent of the total carotenoid content and is therefore the main component. In spruce needles occurring xanthophylls as lutein, neoxanthin and violaxanthin show an annual rhythm with a maximum of those pigments in winter.  $\alpha$ -carotene is more or less contrary in its seasonal fluctuation to  $\beta$ -carotene. Needles contain more  $\alpha$ -carotene in summer and autumn,  $\beta$ -carotene, however, dominates in winter and spring. Before flushing of the young leaves, in the one year old ones only little amounts of carotenoids are to be found. Besides of endogenous factors, the pigment content depends on external influences. There exist significant differences in the quantitative composition of carotens and xanthophylls between needles grown in sun respectively in shade. Moreover, light induced reversible changes of xanthophylls have been proven. With higher needle age the pigment content first increases, while up to the forth needle age-class a decreasing tendency is recognizable.

\*) Anschrift der Verfasser: Prof. Dr. D. GRILL und Dr. H. W. PFEIFHOFER, Institut für Pflanzenphysiologie der Karl-Franzens-Universität Graz, Schubertstraße 51, A-8010 Graz (Austria).

## Zusammenfassung

GRILL D. & PFEIFHOFER H. W. 1985. Carotinoide in Fichtennadeln II. Quantitative Untersuchungen. — *Phyton (Austria)* 25 (1): 1—15, mit 8 Abbildungen. — Deutsch mit englischer Zusammenfassung.

Von den Carotinoiden fällt der Hauptanteil von über 40% der Gesamtmenge auf das Lutein. Die in den Fichtennadeln vorhandenen Xanthophylle (Lutein, Neoxanthin, Violaxanthin) sind einem jahreszeitlichen Rhythmus unterworfen, wobei die Blätter im Winter am meisten von diesen Pigmenten enthalten.  $\alpha$ - und  $\beta$ -Carotin verlaufen zueinander mehr oder weniger entgegengesetzt. So ist in den Nadeln im Sommer und Herbst mehr  $\alpha$ -Carotin vorhanden,  $\beta$ -Carotin hingegen im Winter und Frühjahr. Vor dem Austrieb der jungen Nadeln sind in den einjährigen durchwegs minimale Mengen von Carotinoiden zu finden. Außer endogenen Faktoren ist der Pigmentgehalt auch äußeren Einflüssen unterworfen. Es gibt signifikante Unterschiede zwischen Licht- und Schattennadeln in der mengenmäßigen Zusammensetzung von Carotin und Xanthophyll und darüber hinaus wurden auch lichtinduzierte reversible Xanthophyllumwandlungen in den Nadeln nachgewiesen. Mit zunehmendem Nadelalter nimmt bei der Fichte zunächst der Pigmentgehalt zu, doch wird ab dem vierten Nadeljahrgang eine abnehmende Tendenz erkennbar.

### 1. Einleitung

Da die Lebensvorgänge der Fichte einem jahreszeitlichen Rhythmus unterworfen sind, der einerseits endogenen Ursprungs ist, andererseits von Tageslänge und Temperatur gesteuert wird (SCHMIDT-VOGT 1977), schwankt auch ihr Pigmentgehalt mit der Jahreszeit. Daneben spielen auch Umweltfaktoren wie Licht eine wesentliche Rolle. In mehreren Arbeiten stand bisher vor allem das Chlorophyll im Mittelpunkt. Große Untersuchungsintervalle und genügende Berücksichtigung der Fichtennadelrassen führten zu sehr divergierenden Ergebnissen (vgl. GRILL, POLZ & PFEIFHOFER 1983).

Über Carotinoide liegen dagegen relativ wenig Ergebnisse vor und auch hier sind sie ähnlich wie über Chlorophyll z. T. sehr unterschiedlich. Überdies erfassen die Arbeiten die Carotinoide oft nur in deren Gesamtheit. Nach GOODWIN 1980 weisen die Blätter aller Gefäßpflanzen  $\beta$ -Carotin, Lutein, Violaxanthin und Neoxanthin auf, wobei häufig auch  $\alpha$ -Carotin, Zeaxanthin und Antheraxanthin hinzukommen können. Auch bei der Fichte ist mit dieser Pigmentausrüstung zu rechnen (PFEIFHOFER & GRILL 1984).

Hier soll nun dargestellt werden, wie die einzelnen Komponenten sich jahreszeitlich verhalten und welchen Einfluß das Alter der Nadeln, aber auch unterschiedliche Lichtverhältnisse, ausüben.

### 2. Material und Methode

Das Nadelmaterial stammte aus mehreren Gebieten der Steiermark mit relativ sauberer Luft. Im wesentlichen jedoch wurden

Proben von einer rund 20jährigen Aufforstung in der Nähe von Graz entnommen. Der Jahresgang wurde an ein- und demselben Baum untersucht, wobei die Proben jeweils von der Südseite und immer zwischen 9 und 10 Uhr gesammelt wurden. Das Untersuchungsintervall betrug höchstens 14 Tage. Die Bestimmung der Pigmente erfolgte im wesentlichen nach HAGER & MEYER-BERTENRATH 1966 mit Modifikationen von PFEIFHOFER & GRILL 1984.

Bei allen angegebenen Werten handelt es sich um Mittelwerte von mindestens 3 Bestimmungen. Der Variabilitätskoeffizient des Mittelwertes ist durchwegs mit  $\pm 5\%$  zu veranschlagen.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Einfluß von Licht auf das Carotinoidmuster

##### 3.1.1 Licht- und Schattennadeln

Von einer am Rand einer dichten Aufforstung stehenden ca. 20-jährigen Fichte wurde das Carotinoidmuster der Licht- und Schattennadeln bestimmt (Probenzahl je 8).

Xanthophylle und  $\alpha$ -Carotin sind in den Schattennadeln zwischen 33% und 71% mehr zu finden als in Sonnennadeln,  $\beta$ -Carotin hingegen um 21% weniger. Die Unterschiede sind hochsignifikant (Tab. 1). Bei gleichem Frischgewicht weisen Schattennadeln um 19% weniger Trockengewicht auf als die Sonnennadeln. Da das Trockengewicht bei den Pigmentanalysen als Bezugsgröße diente, sind die Unterschiede zwar zum Teil, aber keinesfalls ausschließlich auf die Differenz des Nadel Trockengewichtes zurückzuführen.

##### 3.1.2 Lichtinduzierte reversible Xanthophyllumwandlungen

Nach HAGER 1967 a, HAGER & STRANSKY 1970 u. a. können lichtinduzierte reversible Xanthophyllumlagerungen bei Pflanzen auftreten.

Tabelle 1

Pigmentgehalt (mg/g TG) von Sonnen- und Schattennadeln sowie Signifikanz der Unterschiede im Gehalt der Pigmente (Oktober 1980)

Pigment	Sonnennadeln $\bar{x} \pm s_x$	Schattennadeln $\bar{y} \pm s_y$	$\frac{\bar{y} - \bar{x}}{\bar{x}} \cdot 100$
$\alpha$ -Carotin	0,094 $\pm$ 0,013	0,161 $\pm$ 0,013	+71%***
$\beta$ -Carotin	0,166 $\pm$ 0,017	0,131 $\pm$ 0,008	-21%***
Violaxanthin	0,150 $\pm$ 0,036	0,213 $\pm$ 0,017	+42%***
Lutein	0,331 $\pm$ 0,044	0,440 $\pm$ 0,060	+33%***
Neoxanthin	0,141 $\pm$ 0,019	0,214 $\pm$ 0,040	+52%***
Trockengewicht	0,42 $\pm$ 0,024	0,34 $\pm$ 0,018	-19%***

\*\*\* = Signifikanz  $P < 0,001$

ten, weshalb auch Fichtennadeln auf eine derartige Reaktion orientierend untersucht wurden.

Je 2 g Nadeln wurden für 30 Minuten an die Sonne gelegt bzw. bei gleicher Temperatur dunkel aufbewahrt. Nach rascher Aufarbeitung zeigte sich, daß die ins Dunkel gelegten Fichtennadeln  $48 \mu\text{g/g}$  TG weniger Zeaxanthin, aber  $44 \mu\text{g}$  mehr Violaxanthin als die belichteten Nadeln besaßen. Die Differenz im Gehalt der übrigen Pigmente lag im Bereich des methodischen Fehlers.

Der Effekt von Licht auf die Violaxanthin- und Zeaxanthinkonzentrationen entspricht den Erwartungen, denn im Starklicht überwiegt beim Xanthophyllzyklus die Abspaltung des Epoxidsauerstoffes.

Das Diepoxi-Carotinoid Violaxanthin wird über Antheraxanthin (ein Monoepoxid) zu Zeaxanthin umgewandelt, das keine Epoxidgruppe besitzt.

Im Schwachlicht herrscht bei Anwesenheit von Sauerstoff die „Rückreaktion“ vor, weshalb die Fichtennadeln nach Verdunkelung weniger Zeaxanthin, aber mehr Violaxanthin aufweisen als die von der Sonne beschienenen Nadeln.

Antheraxanthin, das als Zwischenprodukt nur in geringen Konzentrationen auftritt (vgl. HAGER 1967 a, b), konnte kaum nachgewiesen werden.

Die reversiblen Xanthophyllumwandlungen sind insofern für die Interpretation der Versuchsergebnisse wichtig, als die Konzentrationen von Violaxanthin, Antheraxanthin und Zeaxanthin nur über den augenblicklichen Gleichgewichtszustand zwischen Hin- und Rückreaktion Auskunft geben.

Bei unseren Nadelproben herrschte die lichtunabhängige Epoxidierungsreaktion vor, da vom Zeitpunkt des Sammelns bis zur Aufarbeitung stets einige Zeit verstrich, während der die Proben im Dunkeln gehalten wurden. Aber aus den oben genannten Gründen wäre es ohnehin wenig sinnvoll, den momentanen Zustand des lichtinduzierten Xanthophyllzyklus vom Baum selbst festzuhalten, da er ja nur die Abhängigkeit von Außenfaktoren wiedergeben würde. In der Regel wird auf die Gesamtmenge aus Antheraxanthin, Zeaxanthin und Violaxanthin verwiesen und diese im weiteren für Vergleiche herangezogen.

### 3.2 Jahreszeitliche Veränderungen des Carotinoidgehaltes

Alle Carotinoide weisen ein ausgeprägtes jahreszeitliches Verhalten auf, wobei der Jahresgang in vier Abschnitte gegliedert werden kann und zwar in Sommer, Winter und je einer dazwischenliegenden, kurzdauernden Phase im Herbst bzw. vor dem Austrieb im Frühjahr.

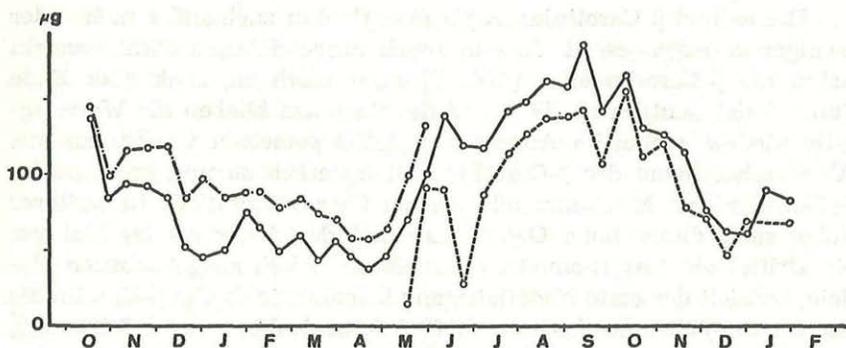


Abb. 1. Jahresgang des  $\alpha$ -Carotingehaltes ( $\mu\text{g/g}$  Trockengewicht)  
 ..... = Jg. 1977, ————— = Jg. 1978, ————— = Jg. 1979

### 3.2.1 Carotine

Mitte Mai enthielten die frisch ausgetriebenen Fichtennadeln  $14 \mu\text{g/g}$  TG-Carotin (Abb. 1). In den folgenden Wochen nahm die Menge auf das 6,5fache zu und stieg, von 2 starken Schwankungen im Juni und September ausgenommen, bis auf einen Höchstwert Mitte Oktober an ( $154 \mu\text{g/g}$  TG). Im zweiten Jahrgang, der im Durchschnitt rund  $1/3$  mehr  $\alpha$ -Carotin enthält als der erste, nahm die  $\alpha$ -Carotinemenge vom Mai weg ebenfalls stark zu und erreichte ihren Jahreshöchstwert bereits im September. Die im 1. Jahrgang beobachteten Schwankungen, insbesondere jene im Juni, fielen beim 2. Jahrgang geringer aus. Im Spätherbst und Winter herrschte in beiden Jahrgängen die Abnahme dieses Pigments vor und kann Ende Dezember rund  $70\%$  des Maximums betragen. In beiden Jahrgängen steigen allerdings die Werte wieder geringfügig im Jänner an, bleiben aber bis zum Austrieb im Mai niedrig. Der Jahresmittelwert beträgt beim 1. Jahrgang  $0,079 \pm 0,038 \text{ mg/g TG}$  und beim 2. Jahrgang  $0,106 \pm 0,037 \text{ mg/g TG}$ .

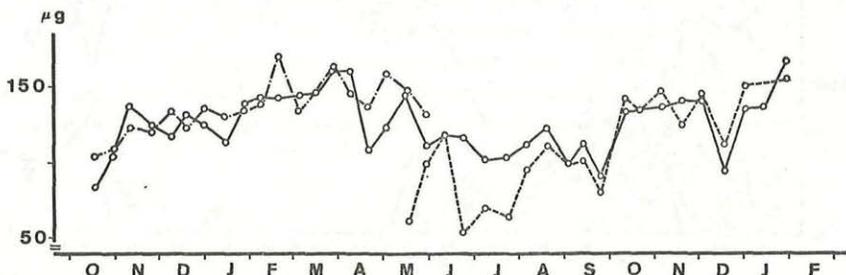


Abb. 2. Jahresgang des  $\beta$ -Carotingehaltes ( $\mu\text{g/g}$  Trockengewicht)  
 ..... = Jg. 1977, ————— = Jg. 1978, ————— = Jg. 1979

Die  $\alpha$ - und  $\beta$ -Carotinjahresgänge verlaufen zueinander mehr oder weniger entgegengesetzt. In den frisch ausgetriebenen Fichtennadeln nahm die  $\beta$ -Carotinmenge (Abb. 2) zwar rasch zu, sank aber Ende Juni wieder deutlich ab. Während des Sommers blieben die Werte relativ niedrig, wobei im August  $11 \mu\text{g/g TG}$  gemessen werden konnte. Ab Oktober nahm der  $\beta$ -Carotingehalt neuerlich zu und erreichte im Spätwinter sein Maximum mit Werten über  $160 \mu\text{g/g TG}$ . In weiterer Folge sank dieser hohe Gehalt zur Zeit des Austriebs im Mai um ein Drittel ab. Ausgenommen natürlich die frisch ausgetriebenen Nadeln, enthielt der erste Nadeljahrgang beinahe gleich viel  $\beta$ -Carotin als der zweite (Jahresdurchschnitt  $0,117 \pm 0,031$  1. Jg.;  $0,129 \pm 0,020$  mg/g TG 2. Jg.) Auch die einzelnen Schwankungen verlaufen bei beiden Jahrgängen, bis auf die ganz jungen Nadeln, annähernd synchron.

### 3.2.2 Xanthophylle

Wie bereits früher berichtet, besteht zwischen Violaxanthin und Zeaxanthin ein lichtabhängiges Gleichgewicht, wobei Antheraxanthin als Zwischenprodukt fortwährender Umwandlungen fungiert. Für die Auswertung unserer Untersuchungen wurde immer die Summe aus diesen drei Xanthophyllen herangezogen, wenn auch die Einzelkomponenten in Abb. 3 dargestellt sind. Auffällig ist hier, daß Zeaxanthin

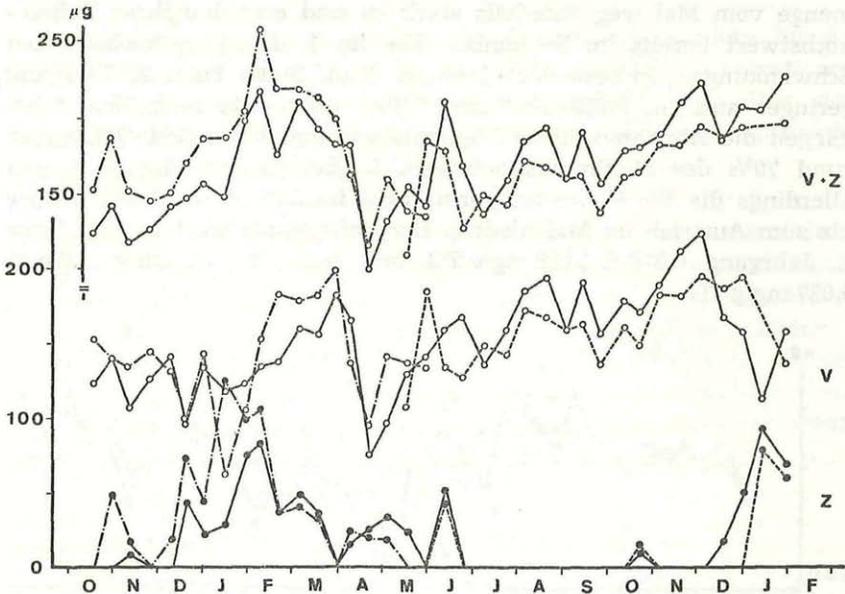


Abb. 3. Jahresgang des Violaxanthin- (V) und Zeaxanthingehaltes (Z) sowie der Summe beider Pigmente ( $\mu\text{g/g}$  Trockengewicht)

--- = Jg. 1977, — = Jg. 1978, - - - = Jg. 1979

trotz gleicher Versuchsbedingungen hauptsächlich während der Wintermonate isoliert werden konnte und Antheraxanthin während der Jahresganguntersuchungen überhaupt nicht nachweisbar war.

In den frisch ausgetriebenen Fichtennadeln wurden  $108 \mu\text{g/g}$  TG Violaxanthin + Zeaxanthin ermittelt. Nach einem vorübergehendem starken Anstieg im Juni nahm der Gehalt an diesen Pigmenten bis Winterende mit mehr oder weniger großen Schwankungen (Juli, September) zu. Hier ist auch zu vermerken, daß sich 1. und 2. Jahrgang sowohl mengenmäßig (Jahresdurchschnitt 1. Jg.  $0,167 \pm 0,029$ ;  $0,185 \pm 0,31$  2. Jg.) als auch verlaufsmäßig ähnlich verhält. Das Jahresmaximum wurde im Februar erreicht, wobei der 1. Jg.  $217 \mu\text{g/g}$  TG, der 2. Jg.  $258 \mu\text{g/g}$  TG enthielten. Bis vor dem Austrieb verringerte sich die Menge an Zeaxanthin + Violaxanthin um mehr als die Hälfte.

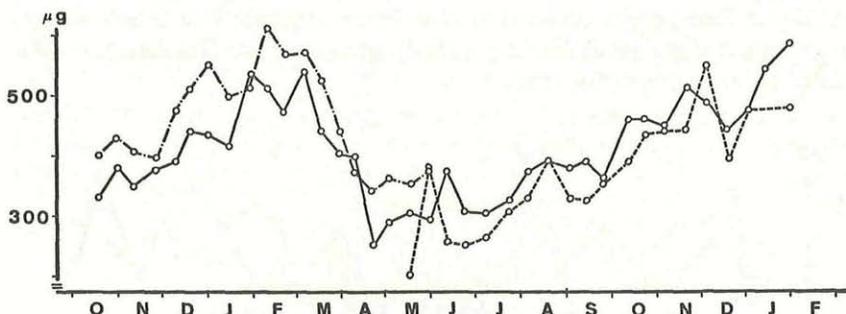


Abb. 4. Jahresgang des Luteingehaltes ( $\mu\text{g/g}$  Trockengewicht)

--- = Jg. 1977, — = Jg. 1978, - - - - = Jg. 1979

Der Luteingehalt (Abb. 4) macht fast die Hälfte (42%) der in Fichtennadeln nachweisbaren Carotinoidmenge aus. Er unterliegt jahreszeitlichen Schwankungen, wobei sich 1. und 2. Jahrgang wieder ähnlich verhalten, nur liegt der ältere Jahrgang mengenmäßig höher. Im Jahresdurchschnitt besitzt der 1. Jahrgang  $0,386 \pm 0,095 \mu\text{g/g}$  TG, der 2. Jahrgang  $0,429 \pm 0,091$ . Die frisch ausgetriebenen Fichtennadeln enthielten Mitte Mai bereits  $200 \mu\text{g/g}$  TG. Sie erreichten schon Ende Juli die Luteinmenge der älteren Nadeln mit rd.  $300 \mu\text{g/g}$  TG. Von den niedrigen Werten des Sommers ausgehend steigt der Luteingehalt, nur unterbrochen von Schwankungen im September und Dezember, gleichmäßig an und erreicht im Februar das Jahresmaximum mit Werten zwischen  $540 \mu\text{g/g}$  TG im 1. Jahrgang bzw.  $611 \mu\text{g/g}$  TG im 2. Jahrgang. Hierauf verringerte sich die Pigmentmenge rasch, so daß Ende April nur mehr die Hälfte des maximalen Luteingehaltes vorhanden war.

Wie bei den bisher besprochenen Xanthophyllen sind auch beim Neoxanthin (Abb. 5) die höchsten Werte im Winter und die niedrigsten

im Sommer und in den überwinterten Nadeln vor dem Austrieb zu verzeichnen. Auch hier stimmt der jahreszeitliche Verlauf zwischen 1. und 2. Jahrgang prinzipiell überein und auch hier besitzt der ältere Jahrgang etwas höhere Mengen ( $0,172 \pm 0,026$  mg/g TG 1. Jg. und  $0,151 \pm 0,030$  2. Jg. im Jahresmittel).

Abschließend sei noch auf das Verhältnis Frischgewicht — Trockengewicht verwiesen, da das Trockengewicht das Bezugssystem für die Pigmentmengenangabe darstellt. Wie Abb. 6 zeigt, bleibt das Trockengewicht der Fichtennadeln im Laufe eines Jahres ziemlich konstant. Die errechneten Pigmentschwankungen wurden daher nur geringfügig durch Schwankungen des Nadel Trockengewichts hervorgerufen. Am meisten ändert sich natürlich das Trockengewicht unmittelbar nach dem Austrieb der jungen Nadeln, als im Zuge der Nadelentwicklung die Trockenmasse der Fichtennadeln stark zunahm. In dieser Zeitspanne schwankte der Pigmentgehalt der frisch ausgetriebenen Nadeln scheinbar sehr stark, was aber als Trockengewichtseffekt angesehen werden muß.

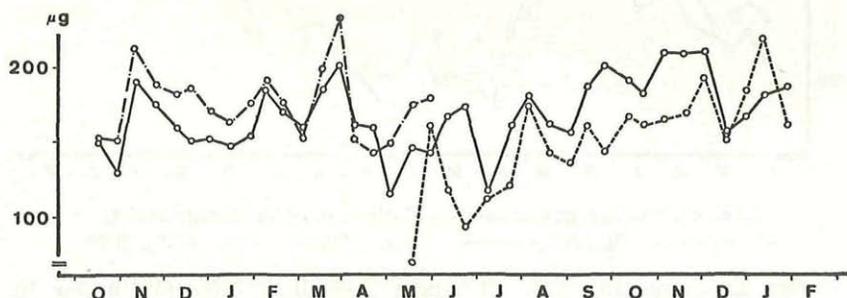


Abb. 5. Jahresgang des Neoxanthingehaltes ( $\mu\text{g/g}$  Trockengewicht)

..... = Jg. 1977, ————— = Jg. 1978, - - - - - = Jg. 1979

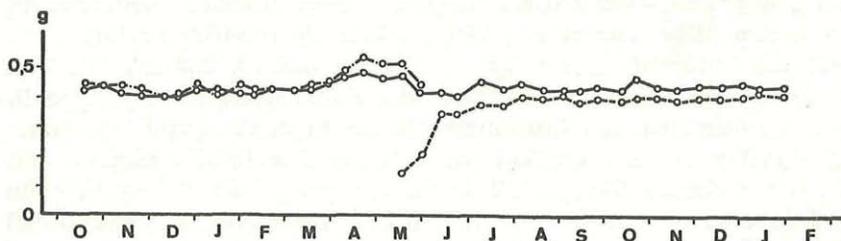


Abb. 6. Jahreszeitliche Schwankungen des Nadel Trockengewichtes ( $\text{g Nadel-trockengewicht/g Frischgewicht}$ )

..... = Jg. 1977, ————— = Jg. 1978, - - - - - = Jg. 1979

Zusätzlich ist auch der Temperaturverlauf während des Untersuchungszeitraums dargestellt (Abb. 7). Es handelt sich hier um die wöchentlich gemittelten Tagesdurchschnittswerte, Minimal- und Maximaltemperaturen. In 3 Fällen ist auf vom Mittelwert besonders abweichende Einzeltemperaturen des Minimums verwiesen.

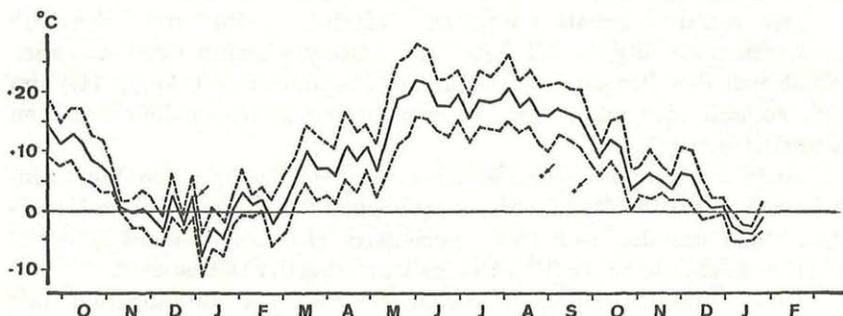


Abb. 7. Temperaturverlauf (Wochenmittel) während des Untersuchungszeitraumes. — — — = Maximal- bzw. Minimaltemperatur, — = Tagesmittel, Pfeile weisen auf stark abweichende Einzelwerte der Minimaltemperatur hin

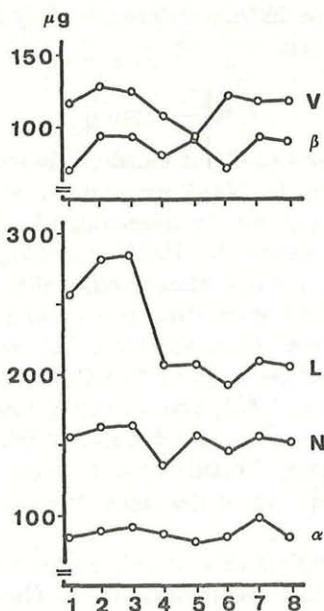


Abb. 8. Einfluß des Nadelalters auf den Carotinoidgehalt ( $\mu\text{g/g}$  Trockengewicht). V = Violaxanthin, L = Lutein, N = Neoxanthin,  $\alpha$ ,  $\beta$  =  $\alpha$ - bzw.  $\beta$ -Carotin

### 3.3 Einfluß des Blattalters auf den Carotinoidgehalt

Der Gehalt der gelben Pigmente schwankt in verschiedenen alten Nadeln (Abb. 8); sehr häufig lagen aber die Unterschiede im Bereich der methodisch bedingten Streubreite von  $\pm 5\%$ . Trotzdem soll auf die Tendenz hingewiesen werden, daß im 3. Jahrgang die höchsten Carotinoidmengen aller 8 untersuchten Jahrgänge auftreten.

Der  $\alpha$ -Carotingehalt schwankte lediglich gering und wich von durchschnittlich 88  $\mu\text{g/g}$  TG kaum ab. Hingegen nahm der  $\beta$ -Carotingehalt von den jungen Nadeln bis zum 3. Jahrgang (94  $\mu\text{g/g}$  TG) um 24% zu und schwankte dann in den älteren Fichtennadeln zwischen 70 und 93  $\mu\text{g/g}$  TG.

Auch der Violaxanthingehalt verzeichnete die höchsten Werte im zweiten und dritten Nadeljahrgang (129  $\mu\text{g/g}$  TG). In den älteren Nadeljahrgängen konnten nur mehr geringere Violaxanthinmengen beobachtet werden, die bis zu 29% kleiner waren als der Höchstwert.

Unter den Carotinoiden veränderte sich der Luteingehalt mit zunehmendem Alter am deutlichsten. Von 256  $\mu\text{g/g}$  TG in den jüngsten Nadeln stieg die Luteinmenge bis zum 3. Nadeljahrgang auf 284  $\mu\text{g/g}$  TG an. Mit durchschnittlich 204  $\mu\text{g/g}$  TG enthielten die Nadeln des 4. bis 8. Jahrganges um rund ein Viertel weniger Lutein.

Der Neoxanthingehalt erhöhte sich bis zum 3. Jahrgang auf 164  $\mu\text{g/g}$  TG und machte in den älteren Nadeljahrgängen um durchschnittlich 9% weniger aus.

## 4. Besprechung

Wie bereits einleitend erwähnt wurde, existieren mehrere Arbeiten über Plastidenpigmente in Koniferennadeln, wobei vor allem das Chlorophyll im Mittelpunkt des Interesses stand.

Die Carotinoide wurden in Koniferen hingegen noch nicht so ausführlich untersucht. Jene 4 Carotinoide, die nach STRAIN 1966 in sämtlichen höher organisierten Pflanzen vorkommen sollen, wurden tatsächlich in allen untersuchten Fichtennadeln nachgewiesen. Es handelt sich hierbei um  $\beta$ -Carotin (13% des Carotinoidgehaltes der Fichtennadeln), Violaxanthin (16%), Lutein (42%) und Neoxanthin (17%). Aber auch  $\alpha$ -Carotin war zu durchschnittlich 10% in den Nadelproben vorhanden. Es tritt nach STRAIN 1966 häufig, aber nicht in allen Pflanzen auf und meist nur in geringen Mengen (vgl. auch GOODWIN 1980).

Als weitere Begleitpigmente waren gelegentlich Zeaxanthin und Antheraxanthin zu beobachten (PFEIFHOFER & GRILL 1984). Beide Xanthophylle machen im Jahresdurchschnitt ca. 2% des Gesamtcarotinoidgehaltes in Fichtennadeln aus und müssen eigentlich zum Carotinoid-Grundmuster gezählt werden, da sie in den Chloroplasten bei Um-

weltbedingungen ständig aus Violaxanthin gebildet werden (HAGER 1967).

Der Gehalt an den einzelnen Carotinoiden unterliegt ebenfalls jahreszeitlichen Schwankungen, was bereits einige Autoren feststellten, wobei allerdings — wie bei den Chlorophyllen — widersprüchliche Angaben gemacht werden. Meist wurde hiebei der Einfachheit halber nur der Gesamtcarotinoidgehalt untersucht.

OLLYKAINEN 1970 sowie NOVITSKAYA, MANTSYREVA & TRUBINO 1966 berichten von einem Maximum des Carotinoidgehaltes im Herbst. LEWANDOWSKA & JARVIS 1977 und MARKOVSKAYA 1978 beobachteten das Maximum im Winter, nach LINDER 1972 tritt es hingegen im Sommer auf. Bei unseren Untersuchungen erreichte der Gesamtcarotinoidgehalt im Winter Höchstwerte und Tiefstwerte im Frühjahr. Allerdings änderte sich der Gehalt der einzelnen Carotinoide nicht im gleichen Rhythmus. Der Gehalt an  $\alpha$ -Carotin wies Höchstwerte im September und Tiefstwerte im April auf, wie auch KOCH 1976 vermerkt. Entgegen KOCHS Meinung enthalten die Fichtennadeln bei unserer Untersuchung keineswegs immer gleich viel  $\alpha$ -Carotin wie  $\beta$ -Carotin. Der im Durchschnitt etwas höhere  $\beta$ -Carotingehalt schwankt außerdem im Laufe eines Jahres entgegengesetzt zum  $\alpha$ -Carotingehalt. Faßt man beide Carotine zusammen, ergibt sich ein ausgewogener Kurvenverlauf mit einem Maximum im Herbst. Das bestätigt weder die Ansicht von TSAREGORODTSEVA & NOVITSKAYA 1973, wonach der Carotingehalt ( $\alpha$ - und  $\beta$ -Carotin) konstant bleibt, noch den Befund von SOLNTSEV, RED'KO & VASIL'CHENKO 1971, wonach der Carotingehalt der Fichte ein Sommer- und ein Wintermaximum aufweist.

Die Ursachen für die unterschiedlichen Ergebnisse könnten die gleichen sein wie bei den Chlorophyllen: Fichten verschiedener Standorte oder Rassen wurden untersucht.

Jahreszeitlichen Schwankungen unterliegt auch der Gehalt der Xanthophylle Violaxanthin, Lutein, Neoxanthin und Zeaxanthin. Ihr Gehalt erreicht übereinstimmend im Februar und März ein Maximum und ein Minimum Ende April bis Anfang Mai.

Auf ein winterliches Maximum des Luteingehaltes weisen auch KOCH 1976 und POLZ 1979 hin. Bei unseren Erhebungen und den Untersuchungen von POLZ machte Lutein den weitaus größten Anteil am Gesamtcarotinoidgehalt aus, gefolgt von Neoxanthin und Violaxanthin, wie bereits oben hingewiesen wurde. Zeaxanthin war nur gelegentlich in geringen Mengen, vor allem im Winter, nachweisbar. Offensichtlich ist die Xanthophyllumwandlung durch geringere Enzymaktivität im Winter derart verlangsamt, daß trotz gleicher Versuchsbedingungen Zeaxanthin bis zur Aufarbeitung im Labor erhalten bleibt. KOCH 1976 erwähnt Violaxanthin und Neoxanthin überhaupt nicht, hat aber aus Fichtennadeln immer gleich viel Zeaxanthin wie

Lutein isoliert. Bei Serienuntersuchungen konnte STRAIN 1966 in höheren Pflanzen immer nur minimale Zeaxanthinmengen nachweisen. IDA 1981 untersuchte das Pigmentmuster von 32 Gymnospermen — darunter auch jenes der Fichte —, fand aber offensichtlich kein Zeaxanthin in den Probebäumen. Selbst wenn in den von uns untersuchten Nadelproben sämtliches Violaxanthin durch eine De-Epoxidierungsreaktion („Xanthophyllzyklus“) in Zeaxanthin umgewandelt worden wäre, hätten die Fichtennadeln trotzdem nicht einmal halb soviel Zeaxanthin enthalten wie Lutein.

Die jahreszeitlichen Schwankungen des Pigmentgehaltes sind vor allem einem endogenen Rhythmus unterworfen, der von Außenfaktoren mitbeeinflusst wird. So dürften vor allem kurzfristige Pigmentänderungen witterungsbedingt sein und, wie man von Chlorophyll weiß, können sogar diurnale Schwankungen auftreten (POLZ 1979, HAWKINS *et al.* 1981). Vor allem junge Blätter scheinen empfindlicher auf die Außeneinflüsse zu reagieren, wie die starken Schwankungen zeigen und HAGER (1957) auch zu erwarten ist, wobei vor allem die Tagetemperatur ausschlaggebend sein dürfte. Allerdings ist die erste starke Pigmentzunahme der austreibenden Nadeln und der anschließende drastische Abfall im Juni wohl in erster Linie auf geändertes Trockengewicht zurückzuführen.

Jahreszeitlich fallen die einzelnen Abschnitte des Pigmentmusters mit funktionellen und strukturellen Änderungen der Chloroplasten zusammen, wobei im Herbst und Frühjahr die Umstellung stattfindet (SOIKKELI 1978, SENSER *et al.* 1975). Gerade während dieser Zeit treten bei Carotinoiden häufig Minima auf. Ähnliches wird auch von Chlorophyll berichtet (GRILL, POLZ & PFEIFHOFER 1983).

Großen Einfluß auf den Pigmentgehalt üben auch Lichtverhältnisse aus, wobei z. B. in beschatteten Tannen (PAULE 1977) und Fichten (LEWANDOWSKA & JARVIS 1977) erhöhte Chlorophyll- und Carotinoidgehalte gefunden wurden. Aber auch innerhalb eines Baumes unterscheidet sich der Pigmentgehalt der Sonnennadeln signifikant von jenen der Schattennadeln, wie auch KOCH 1976 feststellt. Unsere Bestimmungen ergaben, daß in einjährigen Schattennadeln der Gehalt an Xanthophyll um 30—50%, der an  $\alpha$ -Carotin sogar um 70% über dem gleichaltriger Sonnennadeln liegt; nur der Anteil an  $\beta$ -Carotin war in den Sonnennadeln höher. Unsere Angaben unterscheiden sowohl in qualitativer wie in quantitativer Hinsicht den denen KOCHS 1976, der wesentlich geringere Differenzen fand. Nach diesem Autor ist der Gehalt an  $\alpha$ - und  $\beta$ -Carotin gleich groß, in den Schattennadeln jedoch gleicherweise erhöht. Am ehesten sind die divergierenden Ergebnisse mit unterschiedlichen Lichtverhältnissen in der Baumkrone sowie mit individuellen Unterschieden zu erklären. Unsere Ergebnisse deuten eher auf eine Schutzfunktion der Carotinoide gegenüber einer

Photooxidation des Chlorophylls und weniger auf eine unmittelbare Beteiligung bei der Photosynthese (GOODWIN 1980) hin. So nahm der Quotient  $\alpha$ -Carotin/Lutein (= Derivat des  $\alpha$ -Carotins) in den Schattennadeln einen größeren Wert an als in den Sonnennadeln. Demnach könnte das Chlorophyll der Sonnennadeln dadurch vor der Photooxidation geschützt worden sein, daß  $\alpha$ -Carotin verstärkt zu Lutein oxidiert worden ist (vgl. BURNETT 1976).

Dem könnte man entgegen, daß Sonnennadeln weniger  $\alpha$ -Carotin und Lutein enthalten und der Schluß auf einen derartigen Schutzmechanismus daher nicht sinnvoll ist (vgl. KOCH 1976). Ob jedoch zur Beurteilung dieser Frage die absolute Pigmentmenge oder der Quotient aus dem Gehalt beider Pigmente zutreffender ist, sei dahingestellt.

Der Quotient zwischen  $\beta$ -Carotin und seinen Derivaten Violaxanthin, Neoxanthin und Zeaxanthin war hingegen in den Sonnennadeln höher. Hieraus irgendwelche Schlußfolgerungen zu ziehen, ist jedoch nicht so leicht möglich. Einerseits wird nämlich der Quotient  $\beta$ -Carotin/ $\beta$ -Carotinderivate aus dem Gehalt von 5 Carotinoiden berechnet. Zu dem wird  $\beta$ -Carotin als einziges Carotinoide in den Chloroplasten offensichtlich auf zwei voneinander getrennten Synthesewegen gebildet, wobei die zwei  $\beta$ -Carotin-Pools wahrscheinlich verschiedene Aufgaben erfüllen (GRUMBACH 1979).

Hinsichtlich der altersbedingten Änderungen im Pigmentgehalt der Fichtennadeln besteht in der Literatur soweit Einhelligkeit, als mit dem Nadelalter auch der Pigmentgehalt zunimmt. Allerdings gehen die Meinungen auseinander, bis zu welchem Jahrgang dieses Verhalten zu beobachten ist. Unsere Untersuchungen und jene von GRILL, POLZ & PFEIFHOFER 1983 bei Chlorophyll zeigten im 3. Nadeljahrgang einen maximalen Pigmentgehalt. Diese Tendenz war allerdings bei den Carotinoiden mit Ausnahme des Luteins nicht gut zu erkennen, weil die Schwankungen zum Teil noch im Bereich des methodisch bedingten Fehlers lagen. STÄLFELT 1927 beobachtete hingegen im 8. Nadeljahrgang ein Chlorophyllmaximum, KOCH 1976 ein Chlorophyll- und Carotinoideumaximum im 5. Jahrgang. Ab dem 4. Jahrgang nahm der Pigmentgehalt unseres Probestaumes wieder ab. An den altersbedingten Schwankungen der Quotienten zeigt sich, daß der Gehalt an Pigmenten ungleich stark zurückging und die Xanthophylle mehr betrifft als die Carotine, was insbesondere für Lutein —  $\alpha$ -Carotin gilt.

#### Literaturverzeichnis

- BURNETT J. H. 1976. Functions of Carotenoids other than in photosynthesis. — In: GOODWIN T. W. (Ed.), Chemistry and Biochemistry of Plant Pigments 1: 655—679. — Acad. Press, London—New York—San Francisco.

- GOODWIN T. W. 1980. The biochemistry of the Carotenoids. Vol. I: Plants. — Chapman and Hall, London—New York.
- GRILL D., POLZ I. & PFEIFHOFFER W. 1983. Chlorophyll und Chlorophyllabbau in Fichtennadeln. — *Phyton (Austria)* 23: 275—287.
- GRUMBACH K. H. 1981. Untersuchungen zur intraplastidären Kompartimentierung der Chloroplastenlipide. — *Ber. Deutsch. Bot. Ges.* 94: 113—119.
- HAGER A. 1957. Über den Einfluß klimatischer Faktoren auf den Blattfarbstoffgehalt höherer Pflanzen. — *Planta* 49: 524—560,  
— 1967 a. Untersuchungen über die lichtinduzierten reversiblen Xanthophyllumwandlungen an *Chlorella* und *Spinacia*. — *Planta* 74: 148—172.  
— 1967 b. Untersuchungen über die Rückreaktion im Xanthophyllcyclus bei *Chlorella*, *Spinacia* und *Taxus*. — *Planta* 76: 138—148.
- HAGER A. & MEYER-BERTENRATH T. 1966. Die Isolierung und quantitative Bestimmung der Carotinoide und Chlorophylle von Blättern, Algen und isolierten Chloroplasten mit Hilfe dünnschicht-chromatischer Methoden. — *Planta* 69: 198—217.
- HAGER A. & STRANSKY H. 1970. Das Carotinoidmuster und die Verbreitung des lichtinduzierten Xanthophyllcyclus in verschiedenen Algenklassen III. Grünalgen. — *Arch. Mikrobiol.* 72: 68—83.
- HAWKINS C. D. B., LISTER G. R., FINK R. R. & VIDAVER W. E. 1981. Short-term pigment changes in Norway spruce needles. — *Physiol. Plant.* 51: 175—180.
- IDA K. 1981. Eco-physiological studies on the response of taxodiaceous conifers to shading, with special reference to the behavior of leaf pigments 1. Distribution of carotenoids in green and autumnal reddish brown leaves of gymnosperms. — *Bot. Mag. Tokyo* 94 (1033): 41—54.
- KOCH W. 1976. Blattfarbstoff von Fichte (*Picea abies* (L.) KARST.) in Abhängigkeit von Jahresgang, Blattalter und -typ. — *Photosynthetica* 10: 280—290.
- LEWANDOWSKA M. & JARVIS P. G. 1977. Changes in chlorophyll and carotenoid content, specific leaf area and dry weight fraction in Sitka Spruce, in response to shading and season. — *New Phytol.* 79: 247—256.
- LINDER S. 1972. Seasonal variation of pigments in needles. A study of Scots Pine and Norway Spruce seedlings grown under different nursery conditions. — *Stud. For. Suec.* 100: 1—37.
- MARKOVSKAYA E. F. 1978. Carotenoids in different organs of *Pinus sylvestris* L. (*Pinaceae*). — *Bot. Zh. (Leningr.)* 63: 437—441.
- NOVITSKAYA YU. E., MANTSYREVA L. V. & TRUBINO G. I. 1966. Annual dynamics of plastid pigments in the spruce-deciduous plantings in the north. — In: KOROVIN A. I. (Ed.), *Ustoich. Rast. Nizk. Polozhitel'nyy Temp. Zamorozkam Puti Ee Pouysh.*, Mater. Simp. 1966 (Pub. 1969): 110—115. — Nauka, Moskau. (Cf. Chem. Abstr. 74, 39448e).
- OLLYKAINEN A. M. 1970. Plastid pigments in spruce needles. — *Izv. Vyssh. Ucheb. Zaved. Les. Zh.* 13: 150—151. (Cf. Chem. Abstr. 73, 127724b)
- PAULE L. 1977. Content of pigments in assimilatory organs of silver fir (*Abies alba* MILL.). — *Biologia (Bratisl.)* 32: 729—737.
- PFEIFHOFFER W. & GRILL D. 1984. Carotinoide in Fichtennadeln. I. Qualitative Untersuchungen. — *Phyton (Austria)* 24 (2): 283—293.

- POLZ I. 1979. Chlorophyll und Chlorophyllabbau in Coniferen in Abhängigkeit von verschiedenen Außenbedingungen. — Diss. Graz.
- SCHMIDT-VOGT H. 1977. Die Fichte Bd. I. — Parey, Hamburg—Berlin.
- SENER 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.
- SOLNISEV K. M., RED'KO N. V. & VASIL'CHENKO S. S. 1971. Dynamics of carotene build up in spruce needles as a function of the season of the year and the time of a day. — *Tr. Beloruss. Sels'kokhoz. Akad.* 90: 99—102.
- STÄLFELT M. G. 1927. Periodische Schwankungen im Chlorophyllgehalt wintergrüner Pflanzen. — *Planta* 4: 201—213.
- STRAIN H. H. 1966. Fat-soluble chloroplast pigments: Their identification and distribution in various Australian plants. — In: GOODWIN T. W. (Ed.), *Biochemistry of Chloroplasts* 1: 387—406. Acad. Press, London—New York.
- TSAREGORODTSEVA S. O. & NOVITSKAYA Yu. E. 1973. State of pigments in the buds of coniferous trees during the winter-spring period. — *Fiziol. Rast.* 20: 1052—1056. (Cf. Chem. Abstr. 80, 80102z).

## Recensiones

- BECK-MANNAGETTA Günther, MALY Karl/BJELČIĆ Želka 1983. *Flora Bosnae et Herzegovinae, IV Sympetalae, Pars 4*, Glavni urednik [Hauptredakteur] SLIŠKović Teofil. — In: Zemaljski Muzej Bosne i Hercegovine u Sarajevu, Prirodnačko Odjeljenje [Landesmuseum von Bosnien und Herzegovina in Sarajevo, Naturwissenschaftliche Abteilung], Posebno izdanje [Sonderausgabe], Knjiga IV [Band IV]. — 8°, 188 Seiten, brosch. — Sarajevo.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Phyton, Annales Rei Botanicae, Horn](#)

Jahr/Year: 1985

Band/Volume: [25\\_1](#)

Autor(en)/Author(s): Pfeifhofer Hartwig Wilfried, Grill Dieter

Artikel/Article: [Carotinoide in Fichtennadeln II., Quantitative Untersuchungen. 1-15](#)