

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber: Schweizerischer Forstverein
Band: 149 (1998)
Heft: 11

Artikel: Licht bis auf den Waldboden : waldbauliche Möglichkeiten zur Optimierung des Lichteinfalls im Walde
Autor: Schütz, Jean-Philippe
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-766139>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 30.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Licht bis auf den Waldboden: Waldbauliche Möglichkeiten zur Optimierung des Lichteinfalls im Walde¹

Von Jean-Philippe Schütz

Keywords: Bio-diversity; light; structuring; seed bank; coppice with standards; irregular shelterwood; primeval forest.

FDK 18: 23: 24

Einleitung

Im folgenden werden die Waldbaumöglichkeiten diskutiert, um im Sinne der Pflege der Biodiversität, insbesondere durch Schaffung geeigneter Biotopbedingungen die auf Licht angewiesenen, im Wald lebenden und empfindlichen Organismen zu erhalten bzw. zu fördern. Von erhaltungsbiologischer Seite aus wird befürchtet, dass der seit Mitte des letzten Jahrhunderts eingesetzte Trend der Vorratssteigerung im Wald und der Überführung in Hochwälder zur Verdunkelung der Bestockungen führt und somit zur Verminderung der Lebenschancen von Organismen, die auf Licht angewiesen sind. Es dürfte diejenigen Organismen besonders betreffen, die für den Lichtgenuss nicht nach oben oder nach aussen ausweichen können. Die Überlegungen richten sich somit primär auf die Waldbodenvegetation. Solche erhaltungsbiologische Überlegungen sind in angemessener Weise in unsere Waldbauentscheidungen aufzunehmen, weil der moderne polyvalente Waldbau anstrebt, multifunktionelle Bedürfnisse möglichst flächendeckend zu erfüllen.

Es werden zuerst die unterschiedlichen Strategien des Überlebens der Pflanzenorganismen in Waldökosystemen diskutiert. Dann soll der Frage der Prinzipien der Vegetationsdynamik bzw. der natürlichen Sukzession nachgegangen werden, bevor man sich mit den waldbaulichen Möglichkeiten beschäftigt, das Licht ins Bestandesinnere, d. h. bis auf den Waldboden zu bringen.

¹Nach einem Referat, gehalten am 17. November 1997 im Rahmen der Montagskolloquien der Abteilung für Forstwissenschaften der ETH Zürich.

Wenn es darum geht, für die Erhaltung lichtbedürftiger, bedrohter Pflanzen- oder Tierarten geeignete Waldbaulösungen zu finden, sind in der Tat nicht notwendigerweise immer interventionelle Lösungen anzustreben, sondern die biologisch rationellen, weil ihre Chancen, langfristig erfolgreich zu sein, meistens grösser sind. Das heisst, es sind Lösungen anzustreben, welche möglichst die natürliche Entwicklungsdynamik nachahmen und erlauben, mit minimaler Eingriffsmenge zum Ziel zu kommen. Es sind kurzum naturopportunistische Lösungen gefragt (*Schütz, 1997*). Wenn wir darüber hinaus die Kosten betrachten, wird klar, dass nur ökonomisch tragbare Lösungen sowie nur jene, welche die anderen Interessen mitberücksichtigen, Erfolg versprechen.

Prinzipien der Reproduktion und des Überlebens der Pflanzen

Licht ist der Motor für die Photosynthese, für die Entwicklung und Fortpflanzung aller Grünpflanzen. Es stellt also die unabdingbare Bedingung zu deren Erhaltung dar. Diese sogenannten Primärproduzenten stehen zuoberst in der trophischen Hierarchie aller Organismen und beeinflussen somit die ganze trophische Kette. Weil darüber hinaus die Pflanzen nur begrenzt ausweichen können, ist es begründet, sich primär mit den Pflanzen zu beschäftigen, wenn es um die Gestaltung der Waldbiotope bezüglich der Lichtbedürfnisse geht.

Im Laufe der Phylogenese haben die Grünpflanzen verschiedene Strategien entwickelt, um mit dem Faktor Lichtmangel umzugehen. Im wesentlichen gehen diese Strategien dahin, entweder ans Licht heranzuwachsen bzw. auszuweichen oder sich an den Schatten anzupassen. Dies entspricht den zwei möglichen Hauptwegen der ökologischen Anpassung an äussere Wirkungen, nämlich «avoidance or resistance» (vermeiden bzw. ausweichen einerseits oder widerstehen andererseits).

Die Organismen mit kleinster Konkurrenzkraft bezüglich Licht und der geringsten Fähigkeit, sich über den Boden zu erheben, und ohne die Möglichkeit auszuweichen, sind verurteilt, andere Überlebensstrategien zu entwickeln. Dies kann entweder über den Weg der Reproduktion (Bildung einer enormen Samenmenge als Grundlage zum Ausweichen an einen günstigeren Ort durch Beförderung durch irgendeinen Vektor) oder den Weg der Anpassung geschehen.

Diesen Weg des Anpassens an schattige Bedingungen hat die Pflanzengruppe der Moose gefunden. Sie kommen präferenziell unter dunklen immergrünen Koniferenwäldern vor. Eine andere Überlebensstrategie, nämlich die des Ausweichens, haben viele krautige Pflanzen gefunden; sie verfügen über eine enorme Fruktifikation und über lange Zeit überlebensfähige, keimruhende Samen im Boden. Diese sogenannten versteckten Samenbanken (*buried seed banks*) können über mehrere Jahrzehnte dank hoher physiologischer

Dormanz überleben (Rees, 1988; Venable *et al.*, 1988; Brown *et al.*, 1986). So hat Reiser (1993) im Saarland gezeigt, dass sich nach einer generationslangen Monokultur der Fichte die verschwundene Bodenvegetation praktisch in gleicher Zusammensetzung wie vorher wieder einstellt, sobald eine naturkonforme Bestockung hergestellt wird.

Die Gehölzpflanzen haben sich dank der Möglichkeit der Verholzung einen entscheidenden Vorteil angeeignet, welcher ihnen einerseits die Fähigkeit gegeben hat, lang zu überleben, und andererseits, in die Höhe zu wachsen und somit ans Licht zu gelangen. Der letzte entscheidende Schritt in der Evolution ist die Fähigkeit, akroton, d. h. aufrecht zu wachsen (Crabbé, 1987), siehe *Abbildung 1*. Dies ist der Grund, warum Bäume die grössten Vorteile besitzen, ans Licht heranzuwachsen und somit normalerweise Schlussglied einer Sukzession bilden.

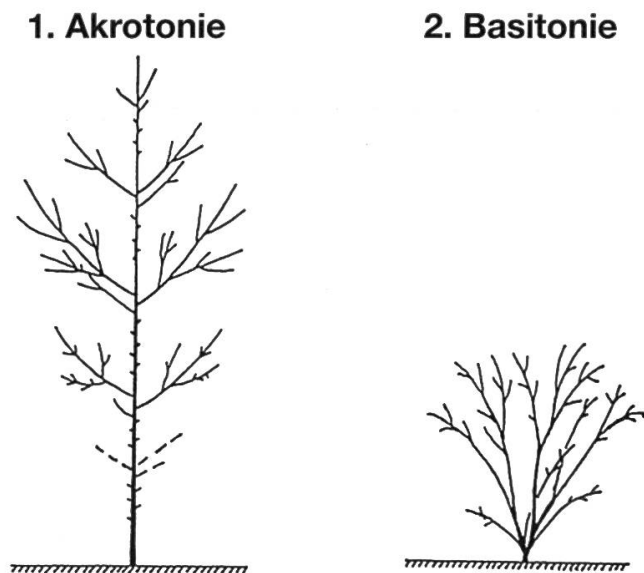


Abbildung 1. Grundtypen der Morphogenese bei den Gehölzpflanzen (nach Crabbé, 1987).

Aus diesen Erkenntnissen können wir einen ersten Schluss ziehen. Wenn in einem Wald, aus welchem Grund auch immer, Bäume der Oberschicht, die das Kronendach bilden, verschwinden und dadurch Licht ins Waldinnere eindringen kann, übernehmen zuerst die nächst geeigneten vorhandenen Organismen die Lichtumsetzung. Sie profitieren von der ungewöhnlichen Lichtzufuhr, um sich breit zu machen, weiter zu etablieren; unter Umständen verschliessen sie auf ihrem Niveau das weitere Eindringen des Lichtes. Es sind in der Reihenfolge ihrer Wettbewerbsfähigkeiten und erreichten Staturen zuerst die niederen Holzgewächse (d. h. der Baumunterwuchs oder die Sträucher), die perennierenden Pflanzen und schliesslich die annuellen. Dies gilt nur so lange, bis die Bäume ihre Herrschaft wieder durchsetzen. Die am wenigsten wettbewerbsfähigen Pflanzen, die Blütenpflanzen, kommen praktisch nie zum Lichtgenuss oder nur in ganz speziellen Situationen, wenn alle anderen wett-

bewerbsfähigeren Pflanzenarten vorübergehend im Nachteil sind. Das ist der Fall bei starken menschlichen Einwirkungen wie nach Kahlschlag, d. h. nach einer vollständigen Nutzung des Baum- und Strauchbestandes, oder, wenn auch in geringerem Masse, bei flächigem Zerfall des Baumbestandes.

Dieses Phänomen der graduellen Ausnützung des einfallenden Lichtes nach dem Prinzip des Nächstgeeigneten kann man sehr schön am Beispiel des sogenannten Mittelwaldes veranschaulichen (siehe *Abbildung 2*). 1983 hat unsere Professur diese früher weitverbreitete Nutzungsform versuchsweise an zwei Orten wieder eingeführt, so wie sie früher in unseren Gegenden praktiziert wurde. Man vergisst heute, dass Mittelwälder extrem baumarme Strukturen hatten; zumindest war die Oberschicht so aufgelöst, dass weiter unten genügend Licht einfiel für eine optimale, sogar vielleicht maximale Entwicklung der Hauschicht aus Stockausschlägen. Dafür wurden Vorräte in der Größenordnung von 40 bis 80 m³/ha angestrebt (*Schütz und Rotach, 1993*). Wenige Jahre nach dem Mittelwaldhieb nehmen die Stockausschläge derart überhand und bilden eine kompakte, überdichte homogene Schicht, dass es auf dem Waldboden wieder völlig dunkel ist. Die Stockausschläge verhindern sogar, dass die Naturverjüngung der Bäume hochkommen kann. Je besser der Standort, um so schneller der Wuchs der Stockausschläge, so dass schon drei bis vier Jahre nach dem Hieb eine undurchlässige kompakte Schicht gebildet wird. Dies erfolgt schneller als im Falle einer ordentlichen Naturverjüngung



Abbildung 2. Entwicklung der Hauschicht 13 Jahre nach dem Haupthieb in der Mittelwald-Ver-suchsfläche der Professur für Waldbau der ETH Zürich auf dem Höggerberg (Waldamt der Stadt Zürich).

unter ähnlichen Schirmverhältnissen. Das ist übrigens einer der waldbaulichen Gründe, warum der Mittelwaldbetrieb bestimmt nicht geeignet ist, Licht bis auf den Waldboden gelangen zu lassen, und dies neben weiteren Nachteilen wie der äusserst schlechten Produktionsökonomie dieser Betriebsart (*Schmid*, 1989; *Bally et al.*, 1997). Zur Schaffung von vielfältigen Laubwäldern mit strukturiertem Kronenraum, die aus erhaltungsbologischen Gründen unbestritten Vorteile aufweisen, sind eigentlich angepasste Formen des Hochwaldes wie lichte (d. h. plenterartige) Hochwälder wesentlich geeigneter, effizienter und ökonomischer (*Schütz*, 1997).

Wie kommt Licht im Naturwald (Urwald) auf den Boden?

In der Phylogenese haben sich die Organismen an für sie akzeptable Lebensbedingungen angepasst. So gibt es Organismen, die typisch sind für den Wald oder für Wiesen, für Fluren und viele andere Biotope. Erhaltungsbologisch ist es bedeutsam zu wissen, welche Organismen zum Wald gehören und welche zu andern Formationen. Nicht notwendigerweise deshalb, um nur ursprüngliche Waldorganismen im Wald zu fördern, sondern um die Anpassungsgrenzen, z. B. gegenüber Lichtverhältnissen zu verstehen. Weil der Wald naturgemäss eher dunkel ist, scheint er grundsätzlich kein ideales Biotop für lichtbedürftige Organismen zu sein. Die Frage, wann und wo und für welche Organismen es im Wald noch genügend Licht gibt, soll aus der Analyse der Naturwalddynamik abgeleitet werden.

Das Beispiel der natürlichen Entwicklung der praktisch reinen Buchenwälder soll hier exemplarisch herangezogen werden, erstens, weil nun grosse Forschungserkenntnisse über die Dynamik solcher Wälder bestehen, namentlich durch die Arbeiten von *Korpeľ* in der Slowakei (*Korpeľ*, 1982, 1995), und zweitens, weil diese Waldformation im temperierten Zentraleuropa und insbesondere in schweizerischen Verhältnissen weitgehend natürlich vorkommen würde. Buchenwälder sind also für uns recht repräsentativ, zumindest für mittlere Höhenlagen.

Obwohl im Buchenurwald immer wechselnde Strukturen und Aspekte anzutreffen sind, die mit ihrer Formenvielfalt den interessierten Besucher immer wieder beeindrucken, kann man heute die generellen Gesetzmässigkeiten der Waldentwicklung bzw. der Erneuerungsform genügend abstrahieren, um einige allgemeingültige Regeln herauszuarbeiten. Wir können im Fall der natürlichen Entwicklung und Erneuerung der Buchenwälder die drei folgenden allgemein gültigen Eigenschaften hervorheben.

1. In bezug auf die Erneuerung bzw. Generationsabfolge weiss man heute, dass die Buche im Urwald im Normalfall sich selbst folgt, ohne Zwischenschaltung einer Phase aus Pionierbaumarten (*Korpeľ*, 1995). Generell gilt dies auch für die wichtigen anderen Waldformationen wie Eichen-, Fichten-

und Tannen-Buchen-Wälder. Im klassischen Schema der ontogenetischen Waldsukzession gemäss *Abbildung 3* erfolgt die Erneuerung normalerweise im kleineren Kreislauf, und dies mit Ausschluss der Plenterphase. Diese kommt, zumindest in Buchen- und Eichenwäldern, praktisch nie vor (*Reh*, 1993) und bei anderen Formationen eher selten (*Korpeľ*, 1982). Sogar im Fall der Tannen-Buchen-Urwälder, die naturgemäss am besten strukturiert sind, macht die Plenterphase zwischen 0 und 14% der Waldfläche aus (*Pintaric*, 1978; *Mayer et al.*, 1980; *Schrempf*, 1986). Bezüglich Baumartenzusammensetzung weisen also die europäischen Urwälder einen hohen Grad an Beständigkeit (Homöostase) auf. Der entwicklungsdynamisch massgebende Faktor ist die Ontogenese, d. h. die natürliche Alterung.

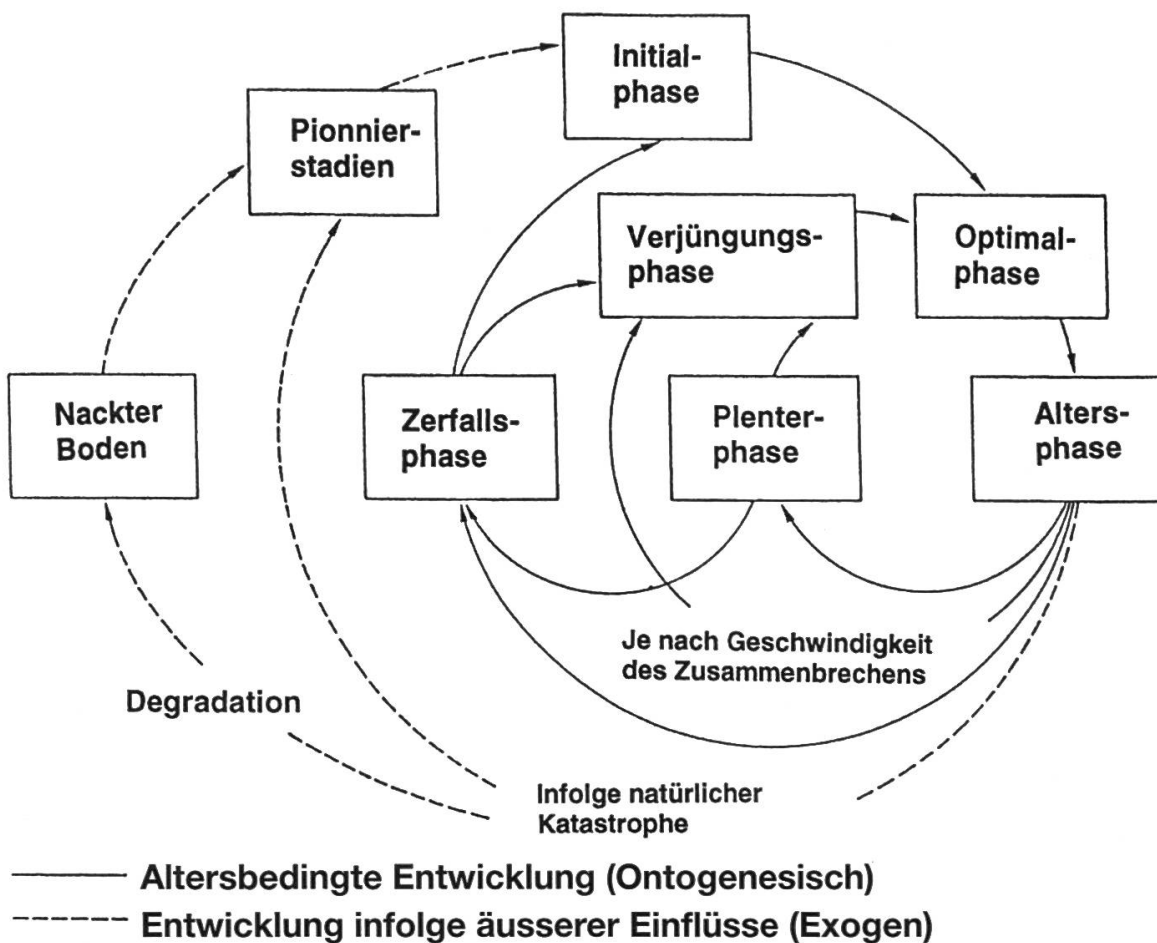


Abbildung 3. Schematische Darstellung der Sylvigenese in natürlichen Waldökosystemen. Nach *Leibundgut*, 1978, und *Mayer et al.*, 1979, in: *Schütz und Matter*, 1992.

2. Im Urwald findet eine einigermaßen klare Generationsabfolge statt und nicht ein System von kontinuierlich individueller Erneuerung wie im Plenterwald. Der Hauptgrund ist in der Fähigkeit der Biomassenakkumulation zu suchen. Weil sich die Bestockung infolge der Alterung punktuell auflösen beginnt, gibt es am Anfang der Altersphase eine Art schirmartige oder kleinlochartige Kronendachöffnung. Dadurch kann sich die schatten-

tolerante Folgegeneration installieren. Erst im fortgeschrittenen Stadium des Zerfalls gibt es eine flächige Auflösung des Kronendaches. Im Fall der Buchenurwälder erfolgt dies in gruppen- bis horstgrossen Flächen. *Korpeľ* (1982) erwähnt für die Buchenurwälder eine Form der Auflösung im Zerfallsstadium in Lücken von 0,2 bis 0,5 ha. Weil der Prozess vom Beginn der Kronenauflösung bis zur aktiven Entwicklung der Folgegeneration lang dauert, kann man die allgemeine Form des Generationswechsels als eine Verjüngung mit recht langer Überlappung der Generationen bezeichnen. *Korpeľ* (1995) stellte fest, dass in den Buchenurwäldern der Vorrat praktisch nie unter 400 bis 600 m³/ha fällt. Das ist übrigens der Grund, warum es keine Plenterphase geben kann. Wir haben in den Buchen-Plenterwäldern Thüringens bei Untersuchungen der Nachwuchsbäume (Stangen der untersten BHD-Stufe, d. h. 10 cm) zeigen können, dass ihr Wachstum Null wird, wenn die Grundfläche 27 m² überschreitet (*Schütz*, 1997). Das entspricht einer Vorratshaltung von 300 m³/ha (siehe *Abbildung 4*). Folgerichtig kann es bei den reinen Buchenwäldern keinen Nachwuchs von unten mehr geben, wenn die Vorratshaltung diese Grenze von 300 m³/ha überschreitet.

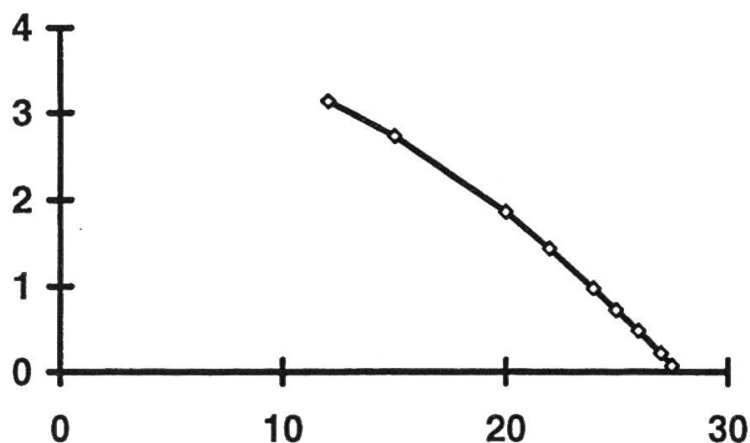


Abbildung 4. Durchmesserzuwachs der Nachwuchsbäume (BHD-Stufe 10 cm) in Funktion der Bestockungsdichte in den Buchenplenterwald-Versuchsflächen Langula (Thüringen). Nach *Schütz*, 1997.

3. Zwischen den Phasen einer aktiven Generationsabfolge, welche aber im Grunde vergleichbar ist mit einem sehr lange dauernden Schirmschlag, gibt es auch entsprechend lange Phasen, in denen die Bestockung recht dunkel, homogen geschlossen und eher gleichförmig dasteht. Es sind die Stadien des Heranwachsens und der Optimalentwicklung (siehe *Abbildung 5*). Auch wenn *Korpeľ* den Begriff Hallenstruktur für einen solchen Waldaufbau verwirft, besteht kein Widerspruch darin, dass Buchenurwälder aspektmässig während langen Phasen recht dunkel und in der Struktur regelmässig sind. Auf alle Fälle ist das Kronendach geschlossen. Die Be-

stockung ist meistens zwei- und mehrschichtig, aber in jeder Schicht mehr oder weniger homogen strukturiert.

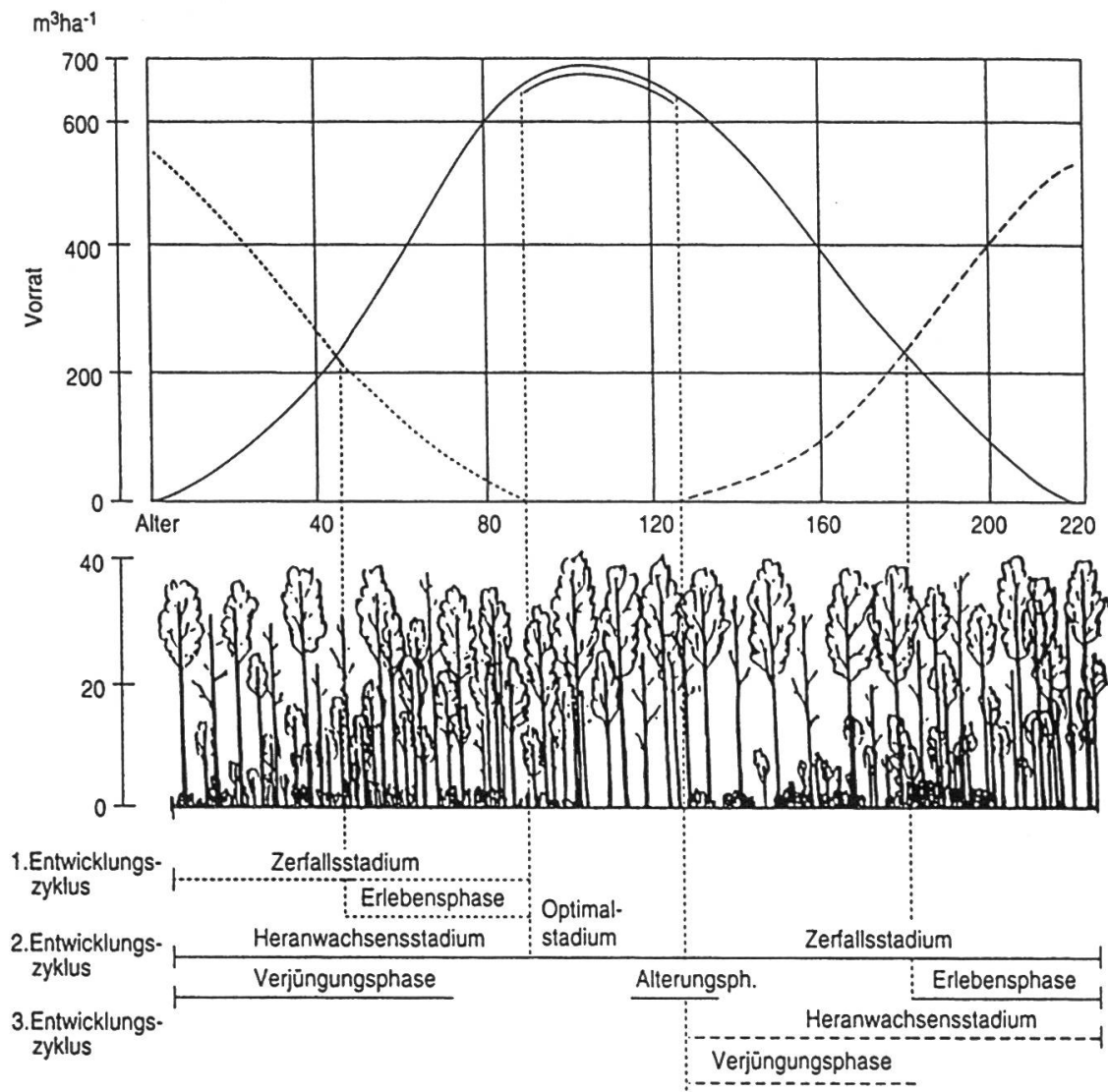


Abbildung 5. Generationswechsel und Überlappung von Entwicklungszyklen in Buchenurwäldern. Nach Korpel, 1995.

Bezüglich Lichteinfall bis auf den Waldboden kann folgendes geschlossen werden: Nur während der Phase aktiver flächiger Auflösung des Kronendaches und nur während relativ kurzer Zeit gibt es Licht tief bis ins Waldesinnere. Weil im Urwald die ganze Biomasse an Ort bleibt und die Verjüngung schon seit längerer Zeit installiert ist, gibt es praktisch keine Blosslegung des Bodens wie im Falle des Kahlschlages. In diesem Sinne kann man auch beim eher seltenen grossflächigen Zerfall, ökologisch und biotopmässig gesehen, nie eine Situation feststellen, die bezüglich Blosslegung des Bodens vergleichbar ist mit dem bewirtschafteten Wald.

In bezug auf den flächenmässigen Anteil solcher Waldpartien mit aktiver Verjüngung und entsprechend günstigen Lichtverhältnissen, ist folgendes zu

beachten: Der Generationenzyklus ist im Urwald länger, in einem Verhältnis 1,7- bis 3,7mal grösser als im Wirtschaftswald (*Tabelle 1*). Folgerichtig gibt es im Wirtschaftswald mehr Flächenanteile in der Verjüngungsphase bzw. Waldpartien mit guten Lichtbedingungen, im gleichen Verhältnis von etwa 1,5- bis 3,5mal mehr. Dies gilt unter der Voraussetzung einer flächenmässig nachhaltigen Verjüngung des Wirtschaftswaldes.

Tabelle 1. Unterschiede zwischen Produktionszeiträumen im Wirtschaftswald und Lebensdauer der Generationen im Urwald.

<i>Baumarten (bestandes- bildend)</i>	<i>Produktionszeiträume im Wirtschaftswald¹ (Jahre)</i>	<i>Dauer des ontogenetischen Zyklus im Urwald² (Jahre)</i>	<i>Unterschied</i>
Fichte	110	350	3,2mal
Buche	150	250	1,7mal
Tanne	120	450	3,7mal
Eiche	150	300	2mal

¹Produktionszeiträume im Wirtschaftswald nach dem Zeitpunkt der Kulmination der Wertproduktivität (nach *Bachmann*, 1990).

²Dauer des ontogenetischen Zyklus in entsprechenden Waldformationen, nach *Korpel* (1995).

Dies erklärt, warum der Wirtschaftswald bezüglich Artenvielfalt an Tieren und Pflanzen günstigere Bedingungen vorweist als der Urwald, vorausgesetzt, die Bestockungen sind einigermaßen naturnah zusammengesetzt. Mehrere genügend breit angelegte wissenschaftliche Arbeiten, z. B. von *Ammer et al.* (1995) in Bayern oder von *Tomialojc* und *Wesolowski* (1990) in Bialowiesza für die Avifauna und schliesslich von *Flade* (1994), beweisen die bessere Artendiversität bewirtschafteter naturnaher Wälder (siehe auch *Abbildung 6*).

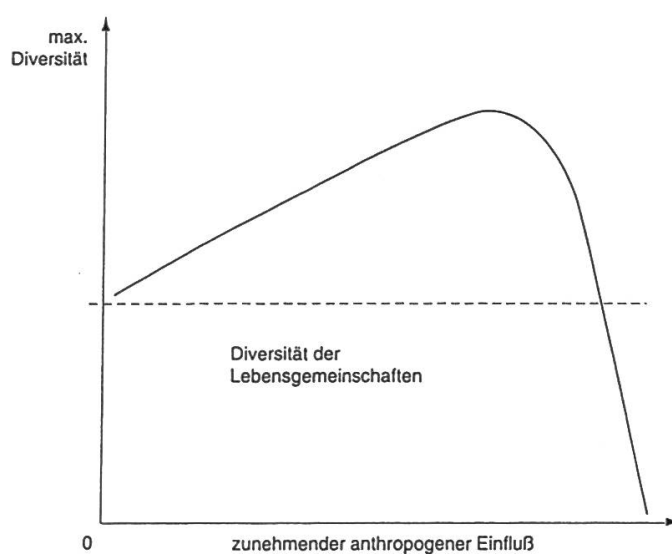


Abbildung 6. Zusammenhang zwischen Artendiversität im Wald und Grad anthropogenen Einflüssen. Nach *Waldenspuhl* (1991) in *Scherzinger* (1996).

Sind unsere Wälder wirklich dunkel geworden?

Dass unsere Wälder dunkler geworden sind, ist zumindest im Durchschnitt nicht abzustreiten. Die letzten Erhebungen des Landesforstinventars zeigen, dass 1995 der Durchschnittsvorrat der Schweizerwälder bei 362 m³/ha liegt und in den letzten 10 Jahren um 25 m³/ha zugenommen hat. Demgegenüber betrug der Durchschnittsvorrat der Mittelwälder des Kantons Zürich nach *Grossmann* (1931) beispielsweise 137 m³/ha. Mit der jetzigen rückläufigen Entwicklung der Wirtschaftlichkeit der Holznutzung kann eine noch deutlichere Akzentuierung der Tendenz zur Vorratshäufung für die nächsten Jahre prognostiziert werden.

Es ist interessant festzustellen, dass dieses Phänomen der Vorratskapitalisation seit kaum mehr als einem Jahrhundert, also seit kaum mehr als einer Waldgeneration besteht. Das ist insofern von Bedeutung, als das heutige Waldkleid bezüglich Strukturen und Zusammensetzung unter ziemlich anderen als den heutigen Bedingungen entstanden ist. Man vergisst gerne, dass unsere Wälder früher recht licht waren, weil sie sehr stark anthropogen benutzt wurden. So herrschte für unsere Laubwälder bis etwa in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts der sogenannte Mittelwaldbetrieb vor. In der Forstgeschichte kann man bezüglich Nutzungsintensität zwei unterschiedliche Phasen und entsprechend auch zwei Formen des Mittelwaldes unterscheiden. Während anderthalb Jahrhunderten, etwa ab Mitte des 18. Jahrhunderts gilt eine geregelte Form des Mittelwaldbetriebes, d. h. eine Waldnutzung, welche trotz niedriger Vorräte ausschliesslich der Holzproduktion gewidmet war. Vorher wurden die Wälder noch in einer offenen unregelmässigen Form des Mittelwaldes genutzt; neben der Holzproduktion spielte er auch für die Haustierhaltung eine bedeutende Rolle, direkt z. B. für Beweidung, indirekt für Streunutzung und Schneitelung.

Das Phänomen der zunehmenden Vorratsvermehrung ist also die Konsequenz einer klaren Nutzungspolitik, begründet mit der Restaurierung überstrapazierter Wälder. Dies führte zu einer konservativen Regelung des Holzherstellungsprozesses und zur Hervorhebung des Nachhaltigkeitsgedankens. Es war also das deklarierte forstpolitische Ziel der modernen Forstorganisationen ab Mitte des 19. Jahrhunderts. Dass unsere Wälder zuerst schleichend und ab Ende des Zweiten Weltkrieges in eine Überdrussspirale der Vorratshäufung gelangten, lässt sich auch mit dem nachlassenden Druck auf den Rohstoff Holz erklären, insbesondere als Energierohstoff. Dies steht zuerst in Zusammenhang mit der sukzessiven Ablösung der Holzkohle als Brennstoff durch die Mineralkohle ab 1860, später durch die breite Nutzung von flüssigen Fossilbrennstoffen.

Bezüglich Licht im Wald sagen die Durchschnittswerte des Vorrates eher wenig aus. Bei regelmässiger Beschirmung gibt es im Grunde eine rasche Extinktion des einfallenden Lichtes schon mit relativ lichten Bestockungen.

Entscheidend für das Eindringen des Lichtes bis auf den Boden ist das Vorhandensein von Bestockungslücken (Lichtungen) und deren räumliche Verteilung. Es ist nicht einmal sicher, ob mit der in den letzten Jahrzehnten feststellbaren Zunahme der Durchschnittsvorräte sich die Lichtverteilung im Wald letztlich so stark verschlechtert hat. Das Ganze muss im wesentlichen unter Berücksichtigung der Art und Weise der waldbaulichen Verjüngungstätigkeit betrachtet werden. Mit einer adäquaten, kleinflächig dezentralen, aber klar erkennbaren kollektiven Verjüngung in Gruppen bis Horsten, wie wir sie im Femelschlag praktizieren, konzentriert man den Lichteinfall auf die in Verjüngung begriffenen Waldpartien. Die Waldbaukonzepte für die Walderneuerung haben sich seit Mitte des 20. Jahrhunderts klar zu einer Verkürzung der Produktionszeiträume im Sinne der Produktionsoptimierung entwickelt. Begriffe wie optimale Verjüngungszeiträume (*Leibundgut*, 1960; *Bachmann*, 1968) wurden erkannt und führten in der Praxis gemeinsam mit Prinzipien von aktiven Durchforstungen generell zur Verkürzung der Umtriebszeit. Das führt logischerweise flächenmässig zur Vermehrung der Anteile der Verjüngungsflächen. Im Femelschlagsystem verschieben sich die dezentral entstehenden Verjüngungszentren zeitlich und örtlich immer weiter. Weil man in der Schweiz in der Periode der grossen Euphorie für die Plenterung – etwa zwischen 1900 und 1950 – praktisch nur einzelstammweise nutzte, waren unsere Wälder um 1950 – gesamthaft betrachtet – möglicherweise dunkler als heute, weil es an flächigen Verjüngungen fehlte. Zumindest lässt sich dies in unseren Wirtschaftsplänen mit deutlichem Manko an Jungwaldflächen aus dieser Zeit erkennen. Mit der Rückkehr zu einer kleinflächigen, aber klaren flächigen Ablösung der Generation im Femelschlagsystem hat man trotz des möglicherweise weiteren Anstiegs der durchschnittlichen Vorratsverhältnisse ein günstigeres Abwechslungsverhältnis zwischen lichten und dunklen Stellen in den Wald gebracht.

Eine Waldverjüngung im Femelschlagsystem ist im Grunde nichts anderes als eine Anwendung der Mosaik-Zyklus-Erneuerung des Naturwaldes nach *Aubréville* (1938), *Watt* (1947), *Shugart* (1984), *Remmert* (1985), *Oldeman* (1983, 1994). Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass im Wirtschaftswald der Boden längere Zeit blossgestellt bleibt und der Anteil an solchen Lichtstellen wesentlich höher ist als im Urwald.

Waldbauliche Möglichkeiten der Lichtkontrolle im Waldbestand

Wie bringt man effizient und möglichst lang Licht in den Waldbestand? Das ist eine an den Waldbau gerichtete Frage, welche man aufgrund des waldbaulichen Know-hows einigermaßen ableiten kann. Es gibt in der Tat effiziente und weniger effiziente und insbesondere bezüglich Dauer der Wirkung mögliche waldbauliche Mittel zur Kontrolle des einfallenden Lichtes.

Grundsätzlich wird es notwendig sein, zwischen zwei unterschiedlich wirkenden Wegen zu unterscheiden, nämlich einerseits der Schaffung eines mehr oder weniger lang dauernden günstigen Lichtklimas, im wesentlichen bei der Gestaltung der Bestockungen, also mittels Baumartenwahl bei der Bestandenerneuerung, und andererseits durch Eingriffe im Kronendach mit kurzfristig dauernder Wirkung. Beide Formen können einen Beitrag zur Förderung lichtbedürftiger Organismen leisten. Die erste wird das Überleben an Ort bewirken. Bei der zweiten besteht die Wirkung darin, dass die so entstehenden Lichtschächte (oder Licht-Patches) in einer bestimmten zeitlich-örtlichen Vernetzung stehen, die in Zusammenhang mit minimalen Vermehrungsbedürfnissen steht.

Man geht davon aus, dass in der Phylogenese die auf Licht angewiesenen Pflanzen sich im ständig wechselnden Mosaik von natürlich entstehenden Lichtungen durch Zerfall der Baumbestockung erhalten können. Heute weiss man, dass eine der Überlebensstrategien gewisser Blütenpflanzen darin besteht, überreichlich zu fruktifizieren. Weil ein wenn auch nur kleiner Teil ihrer Samen eine ausgeprägte physiologische Dormanz aufweist, können diese mehrere Jahrzehnte (im Extremfall mehrere Jahrhunderte, *Burnside et al.*, 1996) versteckt im Boden überleben. Schatten bzw. Infrarotlicht gehören zu den Faktoren der Ausprägung der Dormanz (*Pons*, 1991; *Bai et al.*, 1996).

a) unterschiedliche Formen des Lichtes

Zuerst ist es notwendig, sich zu überlegen, nicht nur zu welchem Zweck, sondern zusätzlich auch in welcher Form und Intensität das Licht angestrebt wird. Licht ist nicht nur für die Photosynthese notwendig, sondern auch für weitere physiologisch wichtige Prozesse der Pflanzenentwicklung und -vermehrung. Von der anfallenden Strahlung ist grundsätzlich zu unterscheiden zwischen direktem und diffusem Licht. Weil bei der Absorption durch das Kronendach die spektrale Struktur des transmittierten Lichtes verändert wird, gibt es unter dem Waldbestand ein Defizit im Wellenlängenbereich der Absorption durch die Photosynthese (blau bis hellrot) und dementsprechend eine Anreicherung im Bereich des Dunkelroten. Weil diverse Photorezeptoren der Pflanzen für verschiedene Prozesse wie Keimen, Blühen und Morphogenese in Wellenlängen des Hellroten stimuliert werden, spielt der Quotient von hellrotem Licht zu dunkelrotem Licht (Faktor Zeta, λ 655–665 / λ 725–735) eine wichtige Rolle (*Schmerber*, 1997). Zeta ist hoch in direktem Licht und tief im Schatten. Demnach soll heute die Lichtqualität als wichtiger Faktor bei der Erhaltung funktionstüchtiger Populationen betrachtet werden.

Direktes Licht ist bezüglich Photosynthese nicht immer positiv zu bewerten, weil es bei zu starker Einstrahlung zu Photoinhibizierung führt. Umgekehrt weiss man, dass eine ausgewogene Lichtverteilung, wie sie unter Schirm

vorkommt, günstiger und effizienter ist als kontrastierte Lichtveränderungen (Wayne und Bazzaz, 1993). Neuerdings interessiert man sich für die kleinen, ständig wandernden Lichtflecken unter einem Waldbestand, die für bis zu 50% der Photosynthese der Pflanzen auf dem Waldboden verantwortlich gemacht werden (Young *et al.*, 1979; Chazdon, 1988). In der Tat reagiert im halbschattigen Klima des Bestandesunterstandes die Photosynthese sehr schnell auf Veränderung der Lichtintensität, auch wenn sie von kurzer Dauer ist. Hingegen ist bezüglich Erwärmung direktes Licht bedeutsam. Dies ist übrigens der Grund, warum in der subalpinen Stufe direktem Licht eine grössere Bedeutung zukommt als diffusem.

b) Lichtregulierung durch die Transparenz des Kronendaches

Für gewisse Bodenpflanzen genügt es, günstige Lichtverhältnisse während eines Teils der Vegetationsperiode zu erhalten. Solche Pflanzen entwickeln sich unter winterkahlen Bestockungen und sind meistens auf das Frühlingslicht angewiesen. Darum ist die Waldbodenflora unter Laubbäumen anders als unter wintergrünen Bestockungen. Die Lichtextinktion kann aber grosse Variationen zwischen Baumarten aufweisen. So zeigen z. B. Lüpke *et al.* (1997), dass unter einem Eichenbestand wesentlich mehr Licht auf den Boden kommt (etwa 8%) als unter einer Buchenbestockung (2%). Dies deckt sich mit Beobachtungen der Bodenflora. So zeigen Simmons und Buckley (1992) in England, dass Eichen- und Laubmischwälder wesentlich günstiger auf die Vegetationsvielfalt wirken als Buchenwälder und selbstverständlich als reine wintergrüne Koniferen.

Unterschiede zwischen Baumarten in der Wirkung des Kronenlaubes auf die Extinktion des einstrahlenden Lichtes hängen im wesentlichen von der Art und Weise ab, wie die Blätter im Raum angeordnet und insbesondere orientiert sind. Bei der Beurteilung der zum Teil feststellbaren wesentlichen Unterschiede in der Kronendurchlässigkeit soll zwischen der Gruppe der sogenannten *mono-layers*, nach Horn (1971) z. B. Buchen, Linden, Ahorn, und den *multi-layers* (Birke, Vogelbeere oder sogar Esche) unterschieden werden (siehe *Abbildung 7*). Letztere lassen wesentlich mehr Licht einfallen, weil sie ihre Blätter parallel zu den Lichtstrahlen ausrichten.

Auch unter den Koniferen sind wesentliche Unterschiede festzustellen. Baumarten wie die Föhre, welche weniger Nadeljahrgänge behalten oder noch stärker die im Winterhalbjahr kahle Lärche wirken günstig auf die unter ihrem Schirm vorkommende Bodenflora. Föhre und Lärche weisen nach Bibby *et al.* (1989) eine ähnliche Floravielfalt wie Eichenmischwälder auf. In Mischbestockungen dominiert interessanterweise der Charakter der am meisten zur Lichtextinktion führenden Baumart, d. h. Buchen-Föhren-Mischungen reagieren wie die ungünstiger wirkende Buche.

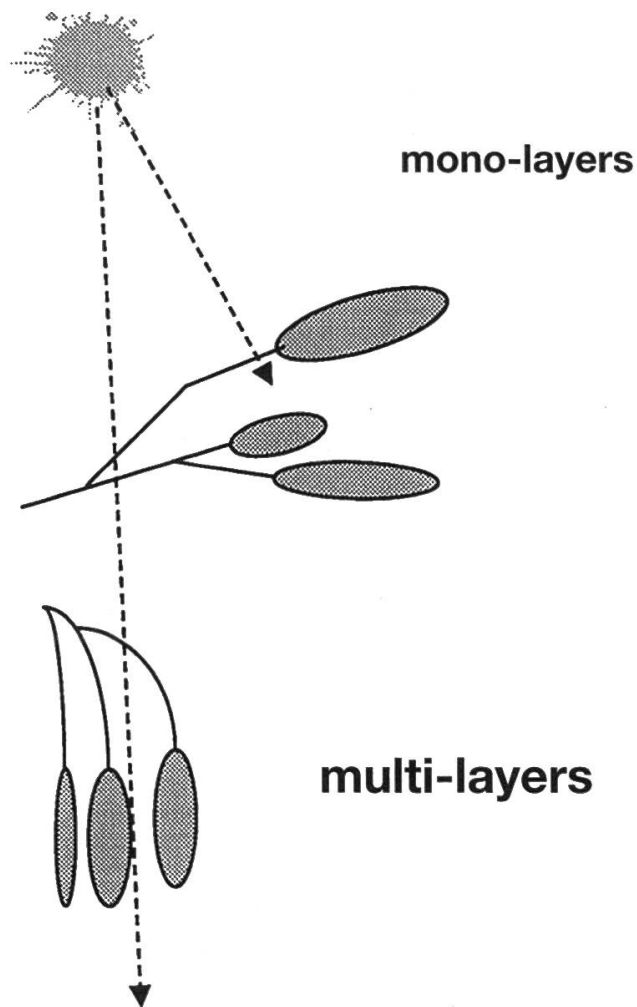


Abbildung 7. Unterschiede in der Kronendurchlässigkeit nach Anordnung des Laubes im Raum. Modelle der *mono-layers* und *multi-layers* nach Horn (1971).

Der gezielt angemessene Anbau der Lärche und Föhre dürfte unter Umständen eine günstige Wirkung auf die Floravielfalt ausüben, vorausgesetzt, dass die üppige Entwicklung einer Unterschicht oder eines Nebenbestandes von zu stark lichtverschleissenden Baumarten wie Buche oder Linde nicht gefördert wird. Auch könnte die Lärche günstige Wirkungen auf gewisse Tier- und Pflanzenarten ausüben. Wir haben selber eine winterliche Versammlung von mehreren Dutzend Waldohreulen in einem Lärchenbestand im Höniggerberg beobachtet, offensichtlich waren die besonderen Lichtverhältnisse und die Sicht bis auf den Boden für diese auf der Roten Liste stehende Vogelart attraktiv.

c) Wirkung von Durchforstungseingriffen

Kräftige regelmässige Baumentnahmen, wie sie bei Durchforstungen oder schirmartigen Lichtungshieben entstehen, scheinen nicht sehr effizient bezüglich Lichteinfall zu sein. In Wirklichkeit führt jede zu regelmässige Lichtung

des Kronendaches zu einer Reaktion der in der Oberschicht bleibenden Bäume, indem sie die so geschaffenen Zwischenräume ausnutzen, um ihre Kronen seitwärts auszudehnen und mit der Zeit das Kronendach wieder zu schliessen. Auch relativ starke Schirmauflösungen haben eine deutliche Kronenausdehnung der Oberschichtbäume zur Folge. Aus der Mittelwalderfahrung wissen wir, dass die seitlich praktisch völlig befreiten Oberständler, z. B. der Baumart Eiche, ihre Krone in wenigen Jahren (10) praktisch verdoppeln (Perrin, 1954).

Darüber hinaus führt die regelmässige Durchforstung zur Schaffung diffuser Lichtverhältnisse in den unteren Bestandesspartien im Bereich von 10 bis maximal 20% relativer Lichtintensität. Dieses Lichtklima ist für die Ansammler der Waldbäume oder die Entwicklung eines Unterwuchses recht günstig, aber nur für schattentolerante Arten, welche das einfallende Licht interzipieren und so verhindern, dass es bis auf den Bestandesboden gelangt. Diese Technik ist für die ordentliche Walderneuerung auf natürlichem Weg geeignet, ja, sogar als optimal zu betrachten. Sie ist aber eher weniger günstig für die Förderung des Lichteinfalles in der Krautschicht.

Ähnliche Bedingungen gelten für den Plenterwald, der in bezug auf eine Selbsterneuerung als höchst effizientes Waldbausystem anzusehen ist, aber für eine Optimierung der Lichtverhältnisse am Boden sicher nicht in den vorderen Rängen steht. Es ist auch unbestritten, dass der Plenterwald eher für schatten-ertragende Baumarten geeignet ist. Gemäss Untersuchungen von Cescatti (1996) finden wir wohl eine grosse Streuung der Lichtverhältnisse unter einem Plenterwald, welche aber im Bereich von 20 bis 30% des einfallenden Lichts ist.

d) Schaffung von Lichtschächten

Für optimale Lichtverhältnisse bis auf den Waldboden sind schliesslich nur die Lochstellung und allenfalls die Saumstellung geeignet. Selbstverständlich gilt diese Aussage nur für eine relativ begrenzte Dauer, nämlich so lange, als sich noch keine Folgegeneration von Waldbäumen entwickelt hat, d. h. rund 10 Jahre. Diese Verjüngungsstellungen können also für eine dauerhafte Erhaltung günstiger Lichtverhältnisse nur sinnvoll sein, wenn sie periodisch neu geschaffen werden.

Kleine Lücken, wie die Angaben von Roussel (1972) zeigen (siehe *Abbildung 8*), führen zu ähnlichen Lichtverhältnissen wie Schirmstellungen. Erst bei grösseren Lücken von zwei bis drei Baumhöhen Breite ist eine deutliche Zunahme der Lichtverhältnisse festzustellen. Die Saumstellung hat den Vorteil, dass sich eine günstige Kombination von einigermaßen geschlossenem Waldbestand und seitlicher ergiebiger Belichtung ergibt. Im Femelschlagssystem ist die Saumstellung in Zusammenhang mit Erweiterung der am Anfang eher kleinen dezentralen Verjüngungszentren von Bedeutung.

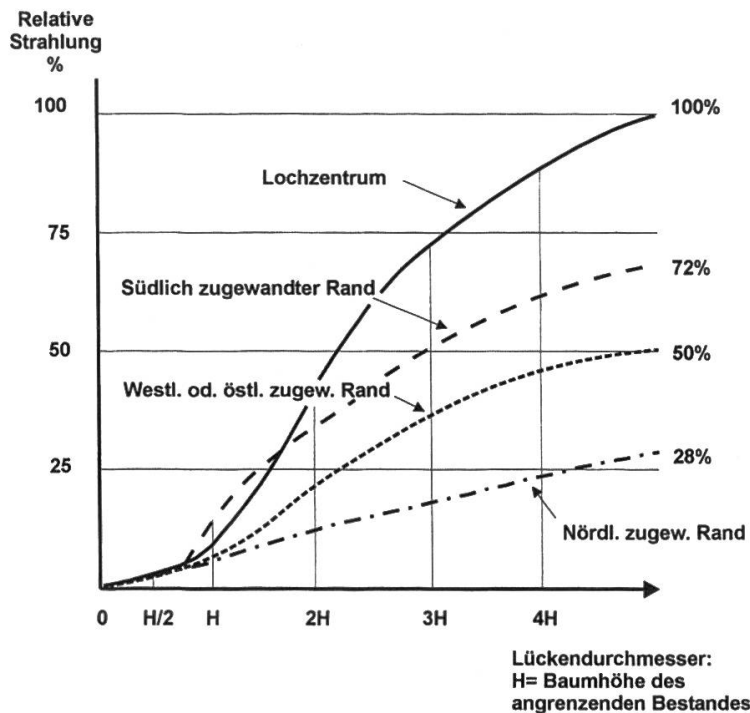


Abbildung 8. Strahlungsverhältnisse in kreisrunden Waldlücken in Abhängigkeit der Lochgrösse. Nach Roussel (1972).

Schlussfolgerungen

Der in der Schweiz praktizierte Femelschlag scheint für die Förderung von Licht im Walde eine der günstigsten waldbaulichen Methoden zu sein, weil sie zu einer dezentralen Vernetzung von kleineren und in der Erweiterungsphase grösseren Licht-Patches führt mit einer wenn auch vorübergehenden, aber trotzdem guten Konzentration der Lichtverhältnisse. Diese guten Eigenschaften werden von namhaften Erhaltungsbiologen wie *Scherzinger* (1996) als ideale Form zur Förderung der Biodiversität attestiert. Weil der schweizerische Femelschlag durch eine grosse Vielfalt von Hiebsformen und Hiebsgrössen gekennzeichnet ist (*Schütz*, 1994, 1997b), ergibt sich ein grosser Anwendungsspielraum. Dort, wo sehr lichtbedürftige Pflanzen besonders förderungswürdig sind, lässt sich ein eher grosszügiger und rascher Fortschritt in Zusammenhang mit Verjüngung von Lichtbaumarten, z. B. Eichen, sinnvollerweise realisieren. Werden nicht allzu grosse Verjüngungszentren angestrebt, lässt sich bei Bedarf das Lichtklima durch eine Kombination von Lückenstellung und Schirmstellung in den Lückenrändern verbessern. Aus der Mittelwalderfahrung wissen wir, dass zur Verjüngung der lichtbedürftigen Stieleiche die Kombination von regelmässiger Öffnung des Kronendaches mit grösseren Lücken (30 Aren Grösse) effizienter ist zur Konzentration des notwendigen Lichts als die regelmässige Auflösung der Bestockung (*Perrin*, 1954).

Offen bleibt die Frage, ob Anzahl und Verteilung der Licht-Patches im Femelschlagwald für die Erhaltung von besonders lichtbedürftigen Pflanzen

genügen und in welcher Vernetzung die Verjüngungspartien stehen müssen, damit eine laufende Erhaltung durch Ansamung der betroffenen Pflanzenarten garantiert ist. Um diese erhaltungsbiologisch äusserst wichtige Frage zu beantworten, sind genauere Kenntnisse über Verbreitungsart und -distanzen der Samen empfindlicher Pflanzen sowie über Dauer der tiefen Dormanz notwendig.

Zuletzt ist die Frage der Bedeutung des Waldrandes für dieses Problem kurz zu erwähnen. Grundsätzlich scheint der Waldrand gewisse Vorteile zu besitzen, weil auf einer Seite keine Beschattung und immer Seitenlicht herrscht. In Wirklichkeit ist der Waldrand für lichtbedürftige, niedrige Pflanzen kein besonders günstiges Biotop, weil er sehr dicht und permanent von einer üppigen Strauchschicht besiedelt ist, welche bestenfalls im Winter Licht bis auf den Boden zulässt. Auch bei entsprechender Pflege zur Belebung der Struktur des Waldrandes entwickeln sich äusserst rasch Sträucher nach vegetativer Vermehrung, welche einen dichten, relativ lichtundurchlässigen Saum bilden (Schütz und Guhl, 1996).

Zusammenfassung

Die Konsequenz einer seit Ende des letzten Jahrhunderts konservativen Wald-erhaltungspolitik sowie die Veränderungen der Ansprüche an die Holzressourcen haben zu einer stetigen Steigerung der Holzvorräte in unseren Wäldern geführt, ein Prozess, der gemessen an der heutigen Wirtschaftlichkeit der Holznutzung bei weitem nicht abgeschlossen ist. Die daraus resultierende Verdunkelung der Waldbiotope ist ein relevantes erhaltungsbiologisches Problem geworden, insbesondere für auf Licht angewiesene Organismen und insbesondere solche, die nicht ausweichen können, nämlich nicht verholzte Pflanzen. Weil die Erhaltung vielfältiger Biozönos im Wald Bestandteil moderner multifunktionaler Waldnutzungskonzepte ist, sind diese Probleme sorgfältig zu analysieren. Es sollen effiziente (naturopportunistische) und insbesondere selbsttragende Formen der Förderung des Lichteinfalls bis auf den Waldboden gesucht werden. Diese Fragen werden aus der Sicht der reproduktions- und überlebensbiologischen Prinzipien analysiert, insbesondere der Strategien der Bildung von versteckten Samenbanken.

Der Vergleich mit der natürlichen Erneuerungsdynamik in europäischen Urwäldern wird herangezogen, insbesondere am gut bekannten Fallbeispiel der Buchenwälder. Es zeigt sich, dass der Urwald ein Erneuerungssystem mit hoher Beständigkeit in der Baumartenkombination aufweist, indem die Hauptbaumarten sich selbst folgen und die Erneuerung in langer Überlappung der Generation unter Schirm und mit patchartig kleinflächiger Auflösung des Kronendaches in der Abschlussphase erfolgt.

Die Schwierigkeit, Licht bis auf den Waldboden zu fördern, liegt darin, dass auf unseren guten Standorten nach kleiner Auflösung des Kronendaches der Lichteinfall von der nächstgeeigneten Pflanzengruppe, nämlich dem Unterwuchs bzw. den Sträuchern übernommen bzw. okkultiert wird, so dass das Licht praktisch nie oder nur sehr kurzfristig bis an die Krautschicht gelangt. Das zeigt die Erfahrung des Mittelwaldes.

Grundsätzlich kann das Lichtklima langfristig durch die Schaffung geeigneter Baumartenmischungen mit guter Kronentransparenz (Birke, Esche, Föhre, Lärche) erhalten werden. Regelmässige Baumentnahmen wie Durchforstungen oder schirmartige Hiebe scheinen hingegen kein effizientes Mittel zur Förderung des Lichteinfalles bis tief ins Bestandesinnere zu sein, weil sie die ohnehin an Schatten adaptierten Pflanzen fördern, welche im wesentlichen die Gewinner der Sukzession (namentlich die Forstpflanzen) sind. Eine Verjüngung in örtlich und zeitlich dezentral immer wieder fortschreitenden Lücken ist ein insgesamt viel effizienteres Konzept. Darum eignet sich das Femelschlagsystem besonders gut für diese Aufgabe, auf alle Fälle besser als der Mittelwaldbetrieb.

Résumé

Apport de lumière jusqu'au parterre forestier: Possibilités sylvicoles d'optimiser la pénétration de la lumière en forêt

La politique de la conservation de la forêt pratiquée depuis la fin du 19^e siècle, de même que les changements des besoins pour les ressources de la forêt ont eu pour conséquences une augmentation continue de la biomasse de nos forêts. Le processus n'est pas encore terminé quand on songe aux difficultés économiques toujours plus grandes de l'exploitation du bois. Il en résulte un assombrissement des biotopes que constitue la forêt. Ce problème a une incidence déterminante sur le plan de la conservation de la faune et de la flore et plus particulièrement des constituants exigeant en lumière et de surcroît incapables d'échapper c'est-à-dire les plantes non lignifiées. Dans la mesure où le maintien de biocénoses aussi diverses que possible devient un facteur important des concepts modernes de gestion multifonctionnelle de la forêt, il s'agit de bien analyser ce genre de problèmes et de trouver des solutions efficaces c'est-à-dire autoévolutives ou d'opportunisme naturel quant à la façon de favoriser l'apport de lumière jusqu'au parterre forestier. On aborde ces questions dans la perspective des principes de reproduction et de survie, notamment par le moyen de banques cachées de semences.

On fait une comparaison avec la dynamique évolutive des forêts vierges européennes, notamment à l'exemple maintenant bien documenté des hêtraies. Il s'avère que le système de renouvellement en forêt vierge se caractérise par un haut degré de constance quant à la composition des essences qui se succèdent à elles-mêmes. Le renouvellement se passe sous couvert en une longue durée de recouvrement des générations, avec en phase finale une ouverture du vieux peuplement en petits lambeaux disséminés.

La difficulté d'amener la lumière jusqu'au parterre forestier provient du fait que sur nos bonnes stations lorsque la canopée présente de petites ouvertures, la lumière incidente est captée au niveau du prochain groupe de plantes qui sont en général les arbres du sous-bois ou les buissons et qui en profitent pour se développer et empêcher une pénétration plus bas du rayonnement, de sorte que la lumière n'arrive pratiquement jamais au niveau du sol. Ce principe est parfaitement illustré à l'exemple du taillis sous futaie. Avec un effet à longue durée il est possible de favoriser la luminosité par la constitution de peuplements d'essences à couronne suffisamment diaphanes (bouleau,

frêne, pins, mélèzes). Par contre l'ouverture régulière du couvert par des éclaircies ou des coupes d'abri n'apparaît pas être un moyen efficace de favoriser la lumière jusqu'au sol, car cela favorise le développement de la végétation ligneuse sciaphile qui sera de toutes façons vainqueur du processus de succession. Une régénération en trouées décentralisées dans l'espace et le temps s'avère un moyen bien plus efficace. C'est pourquoi la régénération en coupe progressive par groupes est particulièrement appropriée, bien plus que le taillis sous futaie.

Summary

Light Down to the Forest Floor: Silvicultural Possibilities for Maximizing the Incidence of Light in Forests

The consequences of a conservationist forestry maintenance policy since the end of the last century as well as the demand for timber resources have led to a constant increase of the standing volume in our forests, a process that, when measured according to today's economics, is nowhere near being completed. The resulting darkening of the forest biotope has become a relevant problem of conservation biology especially for organisms dependent on light and more especially for those that cannot carry out avoidance, namely, non-lignified plants. These problems must be carefully analyzed because the maintenance of diverse biocenoses in the forests is a part of multifunctional utilization. Efficient (nature-opportunistic) and especially self-sustaining forms of promoting the incidence of light down to the floor of the forest must be searched for. These questions are analyzed from the point of view of the biological principles of reproduction and survival, especially the strategies of the creation of buried seed banks.

The comparison with the natural dynamics of renewal in European primeval forests is emphasized, especially in the well-known case example of the beech forests. It is shown that there exists in the primeval forests a regeneration system with great permanence in the combination of the trees species composition in that the main trees species follow each other and that the renewal consist in the combination between long overlapping of the generations under shelter and in the terminal phase in a patchy type of small-area resolution of the canopy.

The difficulty in encouraging light to reach to the forest floor lies in that, in our good site conditions, after small resolution of the canopy, the incidence of light is taken up or occultated by the next suitable plant groups, namely understory or shrubs so that the light practically never, or only for a very short period, reaches the undergrowth layer. This is demonstrated from the experience with coppices with standard systems. Basically, the light climate can be realized over the long term by means of the arrangement of suitable tree species mixtures with good canopy transparency (birch, ash, pine, larch). Regular tree removals such as thinning or shelterwood felling do not seem to be efficient methods for promoting the incidence of light into the depths of the stand because they promote the plants adapted to shade, namely the forest plants, which in any case are mostly the winners of the plant succession. A regeneration in local or over time decentralized ever-increasing gaps is overall a much more efficient concept. For this reason, the irregular shelterwood system is especially well suited for this task, in any case, better than the coppice system.

Literatur

- Ammer, U.; Detsch, R.; Schulz, U. (1995). Konzepte der Landnutzung. Forstwiss. Cbl. 114: 107–125.
- Aubréville, A. (1938). La forêt coloniale. Les forêts de l'Afrique Occidentale française. Sté. éd. géograph. maritime, Paris. 244 S.
- Bachmann, P. (1968). Untersuchungen zur Wahl des Verjüngungszeitpunktes im Waldbau. Diss. ETH-Z Nr. 4171, 108 S.
- Bachmann, P. (1990). Produktionssteigerung im Wald durch vermehrte Berücksichtigung des Wertzuwachses. Ber. Eidg. Forschungsanst. Wald Schnee Landschaft, Nr. 327, 73 S.
- Bai, Y.; Romo, J. T.; Hou, J. (1996). Phytochrome action in seed germination of fringed sage (*Artemisia frigida*). Weed Sci. 44: 109–113.
- Bally, B.; Schnider, F.; Busin, U. (1997). Energieholzproduktion in Mittel- und Niederwäldern der Schweiz. Vergleich der Wertschöpfung in der Hoch-, Mittel- und Niederwaldbewirtschaftung. Kurzbericht. Forschungsprogramm Biomasse. Bundesamt f. Energiewirtsch., Bern.
- Bibby, C. J.; Aston, N.; Bellamy, R. E. (1989). Effects of broadleaved trees on birds of upland conifer plantations in North Wales. Biol. Conservation 49: 17–29.
- Brown, J. S.; Venable, D. L. (1986). Evolutionary ecology of seed-bank annuals in temporally varying environments. Amer. Naturalist 127: 31–47.
- Burnside, O. C.; Wilson, R. G.; Weisberg, S.; Hubbard, K. G. (1996). Seed longevity of 41 weed species buried 17 years in Eastern and Western Nebraska. Weed. Sci. 44: 74–86.
- Cescatti, A. (1996). Selective cutting, radiative regime and natural regeneration in a mixed coniferous forest: a model analysis. In: Skovsgaard and Johannsen (Editors) Modelling regeneration success and early growth of forest stands. Proceeding IUFRO Conference held in Copenhagen, 10–13 June 1996. Danish Forest and Landscape Research Institute, Horsholm. 474–483.
- Chazdon, R. L. (1988). Sunflecks and their importance to forest understorey plants. Adv. Ecol. Res. 18: 1–63.
- Crabbé, J. (1987). Aspects particuliers de la morphogénèse caulinaire des végétaux ligneux et introduction à leur étude quantitative. Institut. Encouragem. Recherche Sci. Industrie Agric., Gembloux. 116 S.
- Flade, M. (1994). Die Brutvogelgemeinschaften Mittel- und Norddeutschlands. Grundlagen für den Gebrauch vogelkundlicher Daten in der Landschaftsplanung. IHW-Verlag, Eching. 879 S.
- Grossmann, H. (1931). Stärkeklassenverhältnisse im Oberholz des Mittelwaldes. Schweiz. Z. Forstwes. 82: 163–177.
- Hill, M. O. (1992). Discussion: mixtures as habitats for plants. In: Cannell; Malcolm and Robertson (Editors) The ecology of mixed-species stands of trees. Oxford Blackwell Scientific Publ., London. 301–303.
- Horn, H. C. (1971). The adaptive geometry of trees. Princeton Univ. Press, Princeton New Jersey. 144 S.
- Korpeľ, S. (1982a). Erkenntnisse über Entwicklung und Strukturdynamik der Naturwälder in der Slowakei mit Bezug auf Waldbautechnik. Tidsk. Skogsbruk. 90: 87–94.
- Korpeľ, S. (1982b). Degree of equilibrium and dynamical changes of the forest on example of natural forests of Slovakia. Acta Facult. Forest. Zvolen. 24: 9–31.
- Korpeľ, S. (1995). Die Urwälder der Westkarpaten. Fischer, Stuttgart. 310 S.
- Leibundgut, H. (1960). Die waldbauliche Planung als Mittel zur Erhöhung des forstwirtschaftlichen Erfolges. Schweiz. Z. Forstwes. 111, 11: 548–566.
- Leibundgut, H. (1978). Über die Dynamik europäischer Urwälder. Allg. Forst Z. 33: 686–690.
- Lüpke, B. v.; Welcker, B. (1997). Ein undurchforsteter Eichenbestand als Greenpeace Referenzfläche. In: Deutsch. Verb. Forstl. Forschungsanst., 12. Tagung der Sektion Waldbau 10.–12. Sept. 1997 in Arnsberg: 129–140.
- Mayer, H.; Neumann, M.; Sommer, H.-G. (1980). Bestandesaufbau und Verjüngungsdynamik unter dem Einfluss natürlicher Wilddichten im kroatischen Urwaldreservat Corkova Uvala/Plitvicer Seen. Schweiz. Z. Forstwes. 131: 45–70.
- Mayer, H.; Zuckrigl, K.; Schrempf, N.; Schlager G. (1987). Urwaldreste, Naturwaldreste und schützenswerte Naturwälder in Österreich. Institut für Waldbau Univ. Bodenkultur, Wien.

- Oldeman, R. A. A. (1983). Tropical rain forest, architecture, silvigenesis and diversity. In: S. L. Sutton; T. C. Whitmore and A. C. Chadwick (Editors) Tropical rain forest: Ecology and management. Blackwell, Oxford.
- Oldeman, R. A. A. (1990). Forests: elements of silvology. Springer, Berlin. 626 p.
- Oldeman, R. A. A. (1994). Sur les écosystèmes forestiers: quatre principes sylvologiques. *L'Italia Forest. Montana*. 49: 1–16.
- Perrin, H. (1954). Sylviculture; Tome II: Le traitement des forêts. Théorie et pratique des techniques sylvicoles. Ecole Nat. Eaux For., Nancy, 409 S.
- Pintaric, K. (1978). Urwald Perucica als natürliches Forschungslaboratorium. *Allg. Forst Z.* 33: 702–707.
- Pons, T. L. (1991). Induction of dark dormancy in seeds: its importance for the seed bank in the soil. *Functional Ecology*, 5: 669–675.
- Rees, M. (1988). Trade-offs among dispersal strategies in British plants. *Nature* 366: 150–152.
- Reh, J. (1993). Structure, development and yield conditions of beech virgin forests in the Popricny mounts. In: Symposium über die Urwälder. Forstl. Fakultät Techn. Univ. Zvolen, Zvolen. 23–25.
- Reiser, B. (1993). Die reale und die heutige potentielle natürliche Vegetation des fürstlichen Oettinger Forstes/Revier Hausen am nördlichen Rieswall. Diploma Thesis, Univ. des Saarlandes, Fachrichtung Biogeographie. 121 S.
- Remmert, H. (1985). Was geschieht im Klimax-Stadium? Ökologisches Gleichgewicht durch Mosaik aus desynchronen Zyklen. *Naturwissenschaften*. 72: 505–512.
- Roussel, L. (1972). Photologie forestière. Masson, Paris, 144 S.
- Scherzinger, W. (1996). Naturschutz im Wald. Qualitätsziele einer dynamischen Waldentwicklung. Ulmer, Stuttgart, 447 S.
- Schmerber, C. (1997). La lumière et la forêt. *Bull. Techn. Office Nat. For.* No 34, 167 S.
- Schmid, B. (1989). Gutachten, Projekt Niderholz, Teilprojekt Ertragsregelung. Fachstelle Naturschutz des Kantons Zürich, Interner Bericht.
- Schrempf, W. (1986). Waldbauliche Untersuchungen im Fichten-Tannen-Buchen-Urwald Rothwald und in Urwald-Folgebeständen. Verlag Verbandwiss. Ges. Österr., Wien, 147 S.
- Schütz, J.-Ph. (1994). Der naturnahe Waldbau Leibundguts: Befreiung von Schemen und Berücksichtigung der Naturgesetze. *Schweiz. Z. Forstwes.* 145, 6: 449–462.
- Schütz, J.-Ph. (1997). Sylviculture 2. La gestion des forêts irrégulières et mélangées. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne. 178 S.
- Schütz, J.-Ph. (1997b). La sylviculture proche de la nature face au conflit économie-écologie: panacée ou illusion? *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 1, 4: 239–247.
- Schütz, J.-Ph.; Matter, J.-F. (1992). Bedeutung der Totalwaldreservate für die waldbauliche Forschung. *Sihlwald Nachrichten* 5: 3–9.
- Schütz, J.-Ph.; Guhl, A. (1996). Interventions sylvicoles dans les lisières forestières courantes en connaissance de leur dynamique évolutive naturelle. *Schweiz. Z. Forstwes.* 147: 615–631.
- Schütz, J.-Ph.; Rotach, P. (1993). Mittelwaldbetrieb: nostalgische Illusion oder zukunftssträchtiges Waldbaukonzept?. *Wald Holz* 74, 7: 8–12.
- Shugart, H. H. (1984). A theory of forest dynamics: the ecological implications of forest succession models. Springer, New York. 278 S.
- Simmons, E. A.; Buckley, G. P. (1992). Ground vegetation under planted mixtures of trees. In: Cannell; Malcolm and Robertson (Editors) The ecology of mixed-species stands of trees. Oxford Blackwell Scientific Publ., London. 211–231.
- Smith, K. W. (1992). Bird populations: effects of tree species mixtures. In: Cannell; Malcolm and Robertson (Editors). The ecology of mixed-species stands of trees. Oxford Blackwell Scientific Publ., London. 233–242.
- Tomialojc, L.; Wesolowski, T. (1990). Bird communities of the primeval temperate forest of Bialowieza. In: A. Keast (Editor) Biogeography and ecology of forest bird communities. SPB Academic Publishing, The Hague NL. 141–165.
- Venable, D. L.; Brown, J. S. (1988). The selective interactions of dispersal, dormancy and seed size as adaptations for reducing risk in variable environments. *Amer. Naturalist* 131, 3: 360ff.
- Wayne, P. M.; Bazzaz, F. A. (1993). Birch seedling responses to daily time courses of light in experimental forest gaps and shadehouses. *Ecology* 74, 5: 1500–1515.

- Waldenspuhl, Th.* (1991). Waldbiotopkartierungsverfahren in der Bundesrepublik Deutschland. Schriftenr. Inst. Landespfl. Univ. Freiburg 17: 261 S.
- Watt, A. S.* (1947). Pattern and process in the plant community. *J. Ecology*. 13: 1–22.
- Young, D. R.; Smith, W.K.* (1979). Influence of sunflecks on the temperature and water relations of two subalpine understorey congeners. *Oecologia* 43: 195–205.

Verfasser:

Prof. Dr. Jean-Philippe Schütz, Professur für Waldbau, Departement Wald- und Holzforschung der ETH Zürich, CH-8092 Zürich.