

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 156 (2005)

Heft: 2

Artikel: Effiziente Erfassung der Kronendichte mit Hilfe fotografischer Senkrechtaufnahmen

Autor: Coch, Thomas / Bertiller, René / Trachsler, Beat

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1098030>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 01.05.2026

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

Effiziente Erfassung der Kronendichte mit Hilfe fotografischer Senkrechtaufnahmen

THOMAS COCH, RENÉ BERTILLER UND BEAT TRACHSLER

Keywords: Terrestrial photogrammetry; canopy density; photography; monitoring. FDK 53 : 58

1. Einführung

Aus waldbaulicher und naturschutzfachlicher Sicht stellt die Kronendichte von Waldbeständen eine wichtige Kenngrösse dar. Öffnungen im Kronendach steuern wesentlich den Energiehaushalt der darunter liegenden Schichten, weil sowohl die direkte als auch die indirekte Einstrahlung von Kronenlücken profitieren. Vermehrter Lichtgenuss führt dann etwa zur Einleitung der Baumartenverjüngung, zur Aktivierung der Samenbank im Oberboden, zur Vitalisierung einer bis dahin sterilen Krautschicht oder zur allgemeinen Erhöhung der biologischen Bodenaktivität durch die Erwärmung des Oberbodens (vgl. OTTO 1994).

Unter der Prämisse des naturnahen Waldbaus tendieren heutige Waldbestände eher zu einem dichten Gefüge, wodurch viele Lichtzeiger als Relikte historischer schlagweiser Bewirtschaftungsformen in Bedrängnis geraten sind (ROSSMANN 1996). Um besonders bemerkenswerte Populationen solcher Arten zu bewahren, werden Programme zur Förderung lichter Waldstrukturen aufgelegt, die zum Teil erhebliche Pflegeaufwendungen verlangen (GERSTER & JUTZ 2001). Eine Erfolgskontrolle solcher Massnahmen kann sich prinzipiell an drei Objekten orientieren:

- Die zu entwickelnden Pflanzen- und Tierpopulationen werden einem Monitoring unterzogen, um positive Bestandestrends dokumentieren zu können. Methodisch ist ein solches Monitoring je nach betrachteter Artengruppe sehr aufwendig, da voll quantitativ gearbeitet werden muss. Ausserdem bestehen Probleme, beobachtete Populationsentwicklungen auf konkrete Eingriffe zurückzuführen, da die Populationsgrösse von vielen Faktoren (z.B. Diasporenbank, Fauna, Störungen) beeinflusst wird (z.B. TREIBER 1997).
- Die Steuergrösse «einfallendes Licht» wird direkt gemessen. Gegenüber dem Monitoring der begünstigten Pflanzen- und Tierpopulationen besteht der Vorteil, dass nicht erst durch mehrjährige Untersuchungen ein Trend dargestellt werden kann. Trotzdem gestaltet sich die Messung des biotisch wirksamen Lichts als problematisch, da sich zur inhomogenen Verteilung der Lichtflecken die unterschiedliche Bedeutung einzelner Wellenlängen gesellt (DIACI & THORMANN 2002, GENDRON *et al.* 1998, SCHNEIDER *et al.* 1991).
- Die Dichte des Kronenraums als von der Auflichtung unmittelbar betroffene Kenngrösse lässt sich sehr exakt aus Fernerkundungsdaten gewinnen (z.B. PISOKE 2000). Jedoch sind diese nur ausnahmsweise zeitnah zur Verfügung und können mit Blick auf den Aufwand nicht ernsthaft für die oftmals kleinen Auflichtungsflächen separat angefordert werden.

Deshalb beschäftigt sich dieser Beitrag mit einer Methode, die vom Boden aus genaue und reproduzierbare Werte zur effektiven Kronendichte liefert, ohne besondere Anforderungen an Bearbeiter und Ausrüstung zu stellen. Selbstverständlich ist den Autoren bekannt, dass mit dem Einzug der terrestrischen Laserscanner- oder Radartechnologie Methoden be-

reitstehen, die hochgenau strukturelle Kennwerte von Waldbeständen zu erfassen vermögen (z.B. PARKER *et al.* 2004). Wir gehen jedoch davon aus, dass eine Beurteilung des Lichtraummanagements in der Praxis noch eine geraume Zeit ohne grossen apparativen Aufwand durchgeführt wird (vgl. KÄRCHER *et al.* 1997). Das konkrete Vorgehen knüpft unmittelbar an eine bereits in MÜHLENBERG (1993) dargestellte Methode an, in der anhand von Senkrechtaufnahmen mit einer Telebrennweite kleine Ausschnitte des Kronenraums auf ihre Himmelsanteile überprüft werden. DOHRENBUSCH (1989) schlug ein ähnliches Verfahren für forstliche Zwecke vor. Das fotografische Prinzip der Senkrechtaufnahme in den Kronenraum kann heute auf der Basis digitaler Aufnahme- und Weiterverarbeitungstechniken sehr arbeits- und kosteneffizient weiterentwickelt werden, was einen Einsatz anstelle der in forstlichen Bestandesansprachen üblichen Schätzungen bzw. verbalen Klassifizierungen diskussionswürdig erscheinen lässt und die Integration in forstliche Strukturaufnahmetechniken generell nahe legt (KÄRCHER *et al.* 1997, MEYER *et al.* 2001). Wir erhoffen uns von der nachfolgend beschriebenen Methode eine ähnlich erfolgreiche praktische Anwendung, wie es für den Sonnenkompass vor allem im Gebirgswaldbau gelten kann (SCHÜTZ & BRANG 1995).

2. Konventionelle forstliche Verfahren zur Bestimmung der Bestockungs- oder Kronendichte

Im Rahmen formalisierter forstlicher Bestandesbeschreibungen erfolgt in der Regel die Einschätzung der Kronendichte indirekt über zwei Wege:

- Mit Hilfe einer visuellen Einschätzung wird der betrachtete Waldbestand in seinem Raumgefüge beurteilt und Kategorien zwischen «dicht geschlossen» und «lückig» («räumig» in Baden-Württemberg) zugeordnet (ZÖHRER 1980). Die Einstufung ist subjektiv, lässt sich aber aufgrund des geringen Differenzierungsniveaus (fünf Kategorien) von erfahrenen Forsteinrichtern leicht und nachvollziehbar durchführen.
- Zur Bestandesbeschreibung gehört auch die Einschätzung des so genannten Bestockungsgrades: Ursprünglich vergleicht hier der Taxator lediglich den stehenden Holzvorrat mit einem «Norm-Vorrat» aus wachstumkundlichen Modellen, indem er diesen mit dem gegebenen Vorrat ins Verhältnis setzt. Stimmen beide Vorräte überein, nimmt der Bestockungsgrad den Wert «1» an, geringere gegebene Vorräte lassen den Bestockungsgrad auf einen Wert unter «1» absinken. Typische Waldbestände eines Pflegeprogramms «Lichte Wälder» weisen Bestockungsgrade zwischen 0,3 und 0,7 auf (GERSTER & JUTZ 2001, ROSSMANN 1996).

Differenzierte ökologische Einschätzungen zum geänderten Strahlungshaushalt nach Pflegegebielen erlaubt keines der beiden konventionellen Verfahren. Zudem ist der Einsatzbereich des Bestockungsgrades strenggenommen beschränkt

auf Altersklassenbestände, weil nur hier der Vergleich mit Ertragstabellen oder anderen wachstumskundlichen Modellen zulässig ist.

Für detaillierte waldbauliche Studien bedient man sich daher zusätzlich typischer freilandökologischer Methoden in Form einer direkten Messung des einfallenden Lichtes (DIACI & THORMANN 2002, BRUNNER 1994) oder einer kumulativen Messmethode der für eine bestimmte Zeitperiode eingehenden Strahlungsenergie (Ozalidpapier-Methode, Invertzucker-Methode, vgl. MÜHLENBERG 1993). Beide Verfahrenstypen können mit vertretbarem Aufwand nicht für grössere Flächeneinheiten durchgeführt werden, wenn die Lichtverteilung walddtypisch sehr inhomogen ausfällt. Da aber dauernd lichte Wälder typischerweise einen kleinflächig ändernden Beschirmungsgrad von 30 bis 70% aufweisen (GERSTER & JUTZ 2001), ist der Bezug auf grössere Flächeneinheiten unbedingt erforderlich. Auch das in MÜHLENBERG (1993) vorgeschlagene Verfahren bedingt wegen fehlender Automatisierung der Auswertung einen sehr hohen Arbeitsaufwand, wenn für grössere Bestände repräsentativ gearbeitet werden soll.

3. Technik der Senkrechtaufnahme

Bei der Weiterentwicklung einer Methode zur fotografisch unterstützten Ermittlung der Kronendichte sind wir von folgenden Überlegungen ausgegangen:

- Die Methode soll mit handelsüblichen Kameras durchführbar sein und sich nicht auf kostenintensive Sonderausführungen stützen. Ebenso soll die Methode nicht auf einen bestimmten Kamerateyp fokussiert sein, sondern unabhängig von speziellen technischen Eigenschaften funktionieren. Hier bestehen deutliche Unterschiede zu ebenfalls vorgeschlagenen Methoden zur fotografischen Dokumentation der Vertikalstruktur von Waldbeständen (COCH 2003).
- Es soll eine Messgenauigkeit erzielt werden, die deutlich über dem Niveau konventioneller Schätzungen des Bestockungsgrades liegt. Allerdings zielt diese Genauigkeit nicht auf einen absoluten Wert (z.B. potenzielle Gesamtsumme der einfallenden direkten und indirekten Strahlung), sondern auf den Vergleich zweier oder mehrerer Bestände. Hierzu werden relative Werte in Form von Verhältniszahlen (Himmelspixel zu Gesamtpixeln eines Bildes) erhoben.
- Die Methode sollte unabhängig von der Ausformung des Geländes einsetzbar sein. Am Hang beispielsweise erschwert eine in der Aufsicht des Luftbildes «zusammengeschobene» Kronenschicht die korrekte Ansprache der Kronendichte. Gestützt auf terrestrische Kronenfotos relativiert sich dieses Problem, weil die unterschiedlichen Bildmassstäbe als Folge unterschiedlicher Abstände zum Kronenraum ausgleichend wirken: Die weiter entfernten Kronen der Bäume im Oberhang verlieren aufgrund des kleineren Massstabs in dem Ausmass an Pixeln, wie die näheren Kronen der Bäume unterhalb des Aufnahmestandorts das Ergebnis stärker beeinflussen. Dieser Effekt kommt ebenso bei der Verwendung des Horizontoskops zum Tragen (SCHÜTZ & BRANG 1995).
- Die Methode sollte unabhängig von jahreszeitlichen Aspekten sein. Hierzu testeten wir Kronenaufnahmen sowohl im belaubten wie auch im unbelaubten Zustand. Natürlich muss unabhängig davon zum Vergleich unterschiedlicher Eingriffe oder Flächen der jeweils gleiche phänologische Zustand herangezogen werden.
- Die Datendichte sollte repräsentative Aussagen für den betrachteten Bestand erlauben. Angestrebt ist dazu ein Aufnahmeanteil von 100% der gesamten Bestandeskronenfläche. Je nach verwendeter Brennweite bzw. Bildwinkel des Aufnahmeobjektivs entspricht dies in seiner Auflösung

etwa 12 bis 20 punktuellen Strahlungs- bzw. Horizontoskopmessungen pro Hektar. Insbesondere Vergleiche unterschiedlicher Auflichtungsintensitäten sollen durch das Verfahren auf hohem Genauigkeitsniveau möglich sein. Natürlich muss berücksichtigt werden, dass eine 100-prozentige Abdeckung der Kronenprojektionsfläche keinesfalls einer repräsentativen Erhebung der inhomogenen Einstrahlungsverhältnisse auf der Bodenoberfläche gleichkommt. Diese Problematik tritt ebenso bei der Verwendung des Horizontoskops in Erscheinung (SCHÜTZ & BRANG 1995).

- Die Auswertung der Daten sollte weitgehend automatisiert erfolgen, auch hier ohne kostenintensive Hard- oder Software erforderlich zu machen.

Für eine Senkrechtaufnahme wird die Kamera mit Hilfe des Stativs in Höhe von einem Meter über dem Oberboden so ausgerichtet, dass die Filmbene exakt waagrecht ausgerichtet ist. Zusätzlich kann auch der genaue Aufnahmepunkt terrestrisch oder per GPS eingemessen werden, wobei wir aufgrund der automatisierten Bildauswertung tendenziell vorschlagen, durch ein dichtes Netz an Senkrechtaufnahmen die Messdichte von vornherein auf ein repräsentatives Niveau zu heben und damit auf die exakte Wiederholung der Einzelaufnahmen verzichten zu können. Da das Verfahren schnell und problemlos durchgeführt werden kann, ist eine Abdeckung von 100% der Kronenprojektionsfläche mit vertretbarem Aufwand möglich. Zur Festlegung der einzelnen Aufnahmestandorte bietet sich ein systematisches Vorgehen entlang vorher festgelegter Transekte an. In der unten beschriebenen analogen Aufnahmekonfiguration mit mässig starkem Weitwinkelobjektiv (90° horizontaler Bildwinkel) wird bei jeder Aufnahme ein Quadrat von 30 m Kantenlänge auf dem Niveau der Kronenhöhe (bei angenommener Baumhöhe von 30 m) abgebildet, wodurch sich bei einem gewünschten Aufnahmeanteil von 100% ein Aufnahmepunkt pro 30 Meter entlang der Transektlinie und ein ebensolcher Abstand der Transektlinien

Tabelle 1: Technische Rahmenbedingungen der Senkrechtaufnahme.

Höhe des Aufnahmepunktes:	Variabel, bewährt haben sich 10 bis 100 cm (gemessen von der Filmbene senkrecht bis zur Bodenaufgabe), je niedriger der Wert, um so stärker bestimmt die Kraut- und untere Strauchschicht das Lichtangebot
Ausrichtung der Kamera:	Filmbene waagrecht, Kamerabodenplatte nach Norden ausgerichtet
Filmmaterial (bei analoger Fotografie):	Schwarz-weiss-Negativfilm mit mindestens 100 Linienpaaren/mm Auflösung
Sensortyp (bei digitaler Fotografie):	Mindestens drei Millionen effektive Pixel
Objektiv (Brennweite):	Grundsätzlich variabel; innerhalb einer Messkampagne muss nur unter den jeweils gleichen Bedingungen gearbeitet werden. Gute Erfahrungen haben wir mit folgenden Konstellationen gemacht: 24 mm (bei Kleinbildformat) bzw. 38 mm (bei 6 x 6-Format), Fokus auf 2 m fixiert, abgeblendet auf 11. Bei digitaler Kamera: maximale Weitwinkelstellung verwenden.
Belichtung:	Belichtungszeit wird durch Anmessen der Himmelsfläche ermittelt, starke Unterbelichtung der Stämme

Tabelle 2: Materialkosten für zwei unterschiedliche Konfigurationen der Senkrechtaufnahmen (in CHF, erhoben im Dezember 2004).

Material	Aufnahmetechnik	
	Digital (CCD-Sensor mit fünf Millionen Pixel, manuelle Einstellmöglichkeiten)	Analog (Hasselblad SWC, 6 x 6 cm Negativformat, feste Brennweite Zeiss Biogon 2,8/38 mm)
Kamera (inkl. Objektiv)	900.–	6000.–
Stativ	200.–	500.–
Speicherkarte (256 MB)	200.–	–
Fernauslöser	100.–	40.–
Summe	1400.–	6540.–

ergibt. Je nach verwendeter Brennweite des Objektivs sind diese Werte entsprechend anzupassen. Eine exakte Herleitung ist nicht erforderlich, wenn in allen zu vergleichenden Beständen mit dem gleichen Aufnahmeraster gearbeitet wurde.

Die eigentliche Aufnahme beginnt mit der korrekten Ausrichtung der Kamera. Das Objektiv der konventionellen Kamera ist auf Blende 11 abzublenden und auf eine Entfernung von 2 m zu fokussieren. Bei Digitalkameras ist – wenn möglich – entsprechend vorzugehen. Zumindest sollte der Autofokus ausgeschaltet werden, um unterschiedlichen Fokussierebenen und damit unterschiedlichen Bildmassstäben zu begegnen.

Mittels externem Belichtungsmesser oder der Kamerainnenmessung ist die Himmelsfläche anzumessen, so dass die Bäume stark unterbelichtet werden. Eine Möglichkeit zur Messwerterspeicherung erleichtert die gleiche Belichtung der ganzen Bildreihe. Beim Fotografieren ist Sorge zu tragen, dass bildwichtige Teile nicht durch den eigenen Körper oder Gegenstände verdeckt werden. Ideal ist daher die Verwendung eines längeren Drahtauslösers bzw. eines drahtlosen Fernauslösers. *Tabelle 1* fasst die Rahmenbedingungen der Senkrechtaufnahme zusammen. Grundsätzlich können die Parameter «Höhe des Aufnahmepunktes» und «Brennweite des Objektivs» beliebig variiert werden unter der Voraussetzung, dass alle Bilder einer Messkampagne unter gleichen Bedingungen entstanden sind.

Um Unwägbarkeiten des Entwicklungsprozesses zu begegnen, kann grundsätzlich jede Aufnahme dreifach angefertigt

werden unter Anwendung der Belichtungsreihentechnik, d.h. mit einer Stufe Unter- bzw. Überbelichtung. Wir haben jedoch die Erfahrung gemacht, dass dieses bei Verwendung von belichtungstoleranten Schwarz-Weiss-Filmen (z.B. Kodak CPN 400) nicht erforderlich ist.

In der Wahl des Kameratyps gibt es keine prinzipiellen Einschränkungen. Um Vergleichbarkeit zu gewährleisten, muss jedoch auch hier für eine Messkampagne bzw. innerhalb der gesamten Untersuchung der gleiche Kameratyp verwendet werden. In den Pilotstudien arbeiteten wir mit handelsüblichen Digitalkameras, Kleinbildkameras und Mittelformat-Kameras, ohne dass grundsätzliche Unterschiede in der Auswertbarkeit der Ergebnisse zu beobachten waren. Sollen die ästhetisch durchaus ansprechenden Kronenfotos noch anderen Zwecken als der automatisierten Auswertung der Kronendichte dienen, ist es ratsam, auf die Mittelformatkamera zurückzugreifen, die bei Verwendung hochauflösender Filme (z.B. Fuji Acros 100 oder Kodak Technical Pan) problemlos Vergrößerungen bis in den Quadratmeterbereich erlaubt.

Zwei sinnvoll erscheinende Konfigurationen werden in *Tabelle 2* dokumentiert. Die Angaben zu Marktpreisen unterliegen insbesondere im Bereich der digitalen Fotografie starken Schwankungen.

Im Fall der Verwendung analoger Kamera müssen zusätzlich die Kosten für das Filmmaterial sowie das Scannen einkalkuliert werden.

4. Automatisierte Auswertung digitaler Kronenfotos

Zur Auswertung der Kronenbilder müssen digitale Fotos vorliegen. Werden die Kronenbilder mit einer Digitalkamera erstellt, speichert man sie im Idealfall bereits als Graustufenbilder ab. Sind sie als Farbbilder (vgl. *Abbildung 1*) gemacht worden, müssen sie zuerst in Graustufenbilder umgewandelt werden. Diesen Vorgang erledigt ein Bildbearbeitungsprogramm (z.B. Adobe Photoshop CS). In einem nächsten Bearbeitungsschritt sollen alle Kronenpixel schwarz erscheinen und alle Himmelspixel weiss mit dem Ziel, den Anteil der Himmelspixel an der Gesamtpixelmasse zu berechnen (*Tabelle 3*). Dieser dient als zentraler Kennwert, weil er in direktem Verhältnis zur potenziellen Strahlungssumme steht, die das Kronendach zu durchdringen vermag (EVANS & COOMBE 1959). Dazu führt

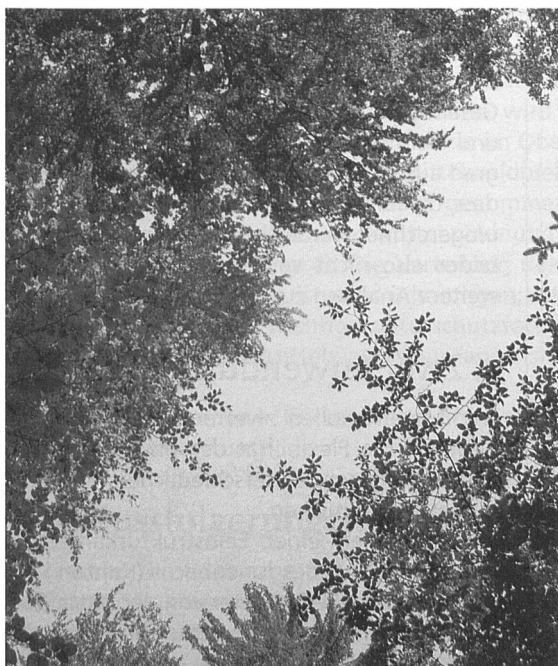


Abbildung 1: Original-Farbbild (links) als Ausgangsbasis und gleiches Bild, mit Adobe Photoshop umgewandelt in ein Quasi-Schwarz-Weissbild (rechts).

Tabelle 3: Arbeitsschritte, verwendete Programme und Zeitaufwand bei der Bildauswertung (Kenndaten des verwendeten Systems: 1 GB RAM, 2.2 GHz Prozessor, Windows 2000).

Arbeitsschritte	Verwendetes Programm	Zeitaufwand für das Auswerten von 20 digitalen Farbbildern (jeweils ca. 1,8 MB)
Umwandlung in Graustufenbilder Tonwertkorrektur (Erstellen eines Quasi-Schwarz-Weissbildes)	Adobe Photoshop 7,0 (Vorgänge als Aktion gespeichert)	Etwa 60 Sekunden
Pixelstatistik	ImageStat.jar	Etwa 10 Sekunden

Tabelle 4: Beispiel-Output des Programms ImageStat.jar: Die Spalte «Anteil» enthält den Wert für den Himmelsanteil des jeweiligen Kronenbildes.

Filename	Anzahl Pixel	Blaue Pixel	Anteil
DSCN2288A.jpg	1920000	704488	0,366920833
DSCN2290B.jpg	1920000	456377	0,237696354
DSCN2291C.jpg	1920000	421000	0,219270833
DSCN2292D.jpg	1920000	547850	0,285338542
DSCN2293E.jpg	1920000	500759	0,260811979

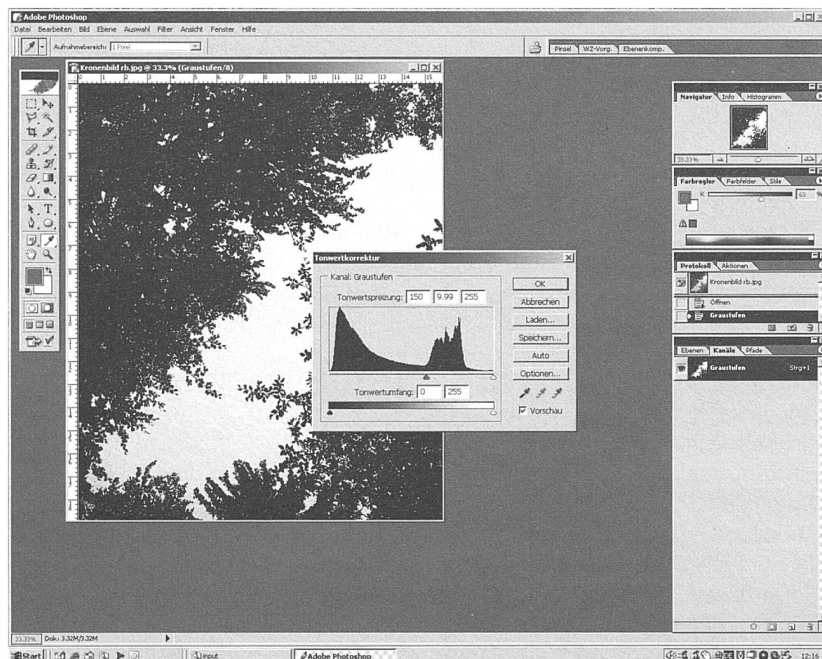


Abbildung 2: Tonwertkorrektur in Photoshop: Der untere Wert der Tonwertspannung wird auf 150 erhöht. Der obere Wert bleibt auf 256, der mittlere wird auf 9,99 gestellt. Damit erzeugt man ein Quasi-Schwarz-Weissbild.

man in Photoshop eine Tonwertkorrektur durch. Hierbei wird der untere Wert der Tonwertspannung z.B. auf 150 erhöht. Der obere Wert bleibt auf 256, der mittlere wird auf 9,99 gestellt (Abbildung 2). Werden diese Vorgänge von einem Farbbild zu einem Quasi-Schwarz-Weissbild als so genannte Aktion aufgezeichnet, können mittels Stapelverarbeitung sämtliche Bilder aus einem Dateiodner mit einem Klick in den gewünschten Modus umgewandelt werden (Tabelle 3).

Damit wird aus dem Kronenbild praktisch ein Schwarz-Weissbild (Abbildung 1). Dies lässt sich im so genannten Histogramm überprüfen. Ein Histogramm bildet die Häufigkeiten der Bildpunkte der gleichen Farbe über sämtlichen Tonwerten ab. Nach der durchgeführten Tonwertkorrektur weist das Histogramm eine grosse Häufigkeit über dem dunkelsten Schwarzwert und einige Spitzen über den helleren Werten auf. Die aufsummierten Häufigkeiten über den Weisswerten entsprechen den Himmelspixeln (vgl. Abbildung 2). Dividiert man nun die Himmelspixel durch die Gesamtzahl des Bildes, erhält man die nicht überschirmte Fläche. Um Verwechslungen mit dem Bestockungsgrad zu vermeiden, haben wir bewusst das Verhältnis Himmelspixel zu Gesamtzahl als Masszahl gewählt.

In Photoshop kann diese Auswertung nicht automatisiert durchgeführt werden. Dazu wurde an der Professur für Natur- und Landschaftsschutz das Bildanalysetool ImageStat.jar entwickelt, mit dem sich alle beschriebenen Vorgänge für eine grosse Menge von Bilddateien rasch durchführen lassen. Beim Programm handelt es sich um ein Java-Plug-in, das mit Bildern im jpg-Dateiformat arbeitet.

Der Output dieses Programms ist eine Excel-Datei, die für jedes Bild den Dateinamen, die Gesamtzahl der Himmelspixel und den daraus errechneten Bestockungsgrad ausgibt (Tabelle 4). Von Vorteil ist dabei, dass die Bilder lediglich in Graustufenbilder umgerechnet werden, die ursprünglichen Farbbilder also nicht verändert werden und für weitere Analysen zur Verfügung stehen.

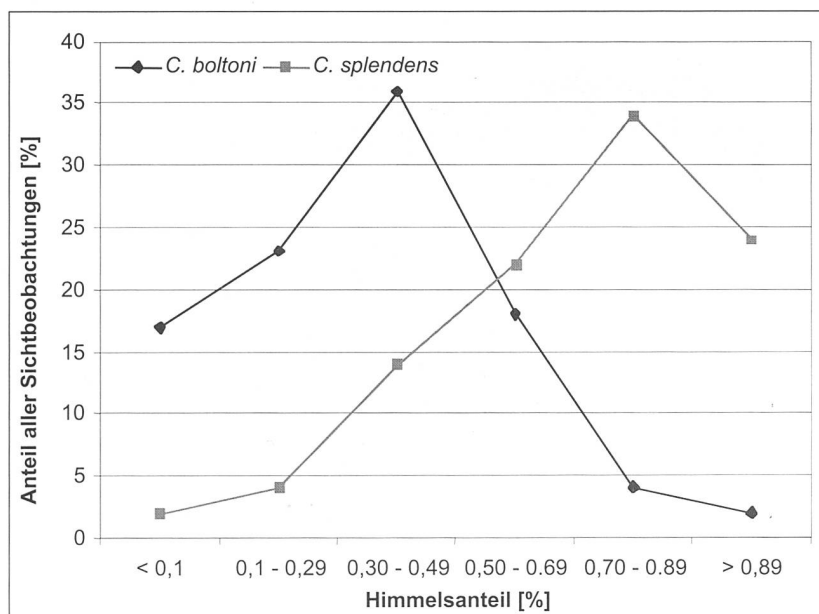


Abbildung 3: Beobachtungshäufigkeiten zweier Libellenarten (*Cordulegaster boltoni* und *Calopteryx splendens*) eines Quelllaufes des Jonenbachs (AG) – Ergebnisse aus 74 Einzelbeobachtungen zwischen 12.06. und 30.07.2004 (OELLBRUNNER & COCH in Vorbereitung).

5. Zwei Anwendungsbeispiele

Nachfolgend sollen zwei erste Anwendungsbeispiele die Flexibilität der Methode in der Bearbeitung sehr unterschiedlicher Fragestellungen verdeutlichen.

Im Rahmen einer Feinstrukturkartierung eines Quelllaufes des Jonenbachs (Kanton Aargau) wurden alle 30 Meter von der Mittellinie des Bachlaufes aus Senkrechtaufnahmen in das Kronendach angefertigt, um zu analysieren, in



Abbildung 4: Beispielaufnahmen zur Kronendichte in ehemaligen Mittelwaldbeständen des Freiburger Mooswaldes vor und nach dem Pflegehieb – Anteil Himmelspixel links 0,57, rechts 0,85 – in belaubtem Zustand würden die Unterschiede noch deutlicher ausfallen.

wieweit die Habitatpräferenzen der ansässigen Libellenarten *Cordulegaster boltoni* und *Calopteryx splendens* – beides Leitarten entsprechender Waldgewässer – mit dem Lichtangebot korrelieren. Dauerbeobachtungen zur Flugaktivität der Imagines lagen vor. Der Vergleich mit dem Kronenschlussgrad – dargestellt als Anteil der Himmelspixel an der Gesamtpixelmasse – führt zu der Annahme, dass *C. boltoni* mittel- bis mässig dicht bestockte Bestände bevorzugt und sowohl sehr offene wie sehr geschlossene Bereiche meidet (Abbildung 3). *C. splendens* dagegen bevorzugt im Gebiet die offenen Partien im Waldrandbereich und Freiland, wodurch eine Abstimmung der Waldpflege im Bestand auf diese Art wenig sinnvoll wäre. Für die Pflege der Bachufergehölze von kleinen Waldbächen bedeutet dies, dass anstelle des verbreiteten kleinflächigen Vorgehens im Lichtungshieb mit raschen Wechseln zwischen starker und geringer Einstrahlung als Folge die Einzelstammnahme und weitgehende Wahrung eines mässig geschlossenen Kronendaches sinnvoller erscheint. Eine Publikation mit weiteren Ergebnissen dieses Projekts ist in Vorbereitung (OELLBRUNNER & COCH in Vorbereitung).

Ein weiteres Anwendungsbeispiel stammt aus der Waldpflege. Im Rahmen der Wiederaufnahme eines traditionellen Mittelwaldbetriebes in den Mooswäldern der Freiburger Bucht (Südwest-Deutschland) sollte für die ersten Aushiebe der Zustand des Kronenraums vor und nach der Massnahme dokumentiert werden, um einem parallel anlaufenden Monitoringkonzept zu typischen Tierarten freilandökologische Rahmendaten zur Verfügung zu stellen (COCH & MÜLLER-BAUERFEIND 2002). Aus der Dokumentation wird deutlich, dass aufgrund einer ungünstigen Situation im Oberholz des Ausgangsbestandes nach erfolgtem Mittelwaldhieb eine bedeutend grössere Auflichtung in Kauf genommen werden musste, als es in der traditionellen Mittelwaldnutzung üblich gewesen wäre (Abbildung 4). Die Verteilung der wenigen verbliebenen Oberhölzer ist sehr inhomogen, so dass befürchtet werden muss, wichtige naturschutzfachliche Ziele der Revitalisierung des Mittelwaldes nur langfristig erfüllen zu können.

Auch hierzu werden in Kürze weitere Ergebnisse publiziert (COCH in Vorbereitung).

6. Schlussfolgerungen

Auch wenn die technische Entwicklung heute bereits automatisierte Strukturaufnahmen von Waldbeständen auf Basis von Laserscannern aus der Luft und terrestrisch erlaubt, ergeben sich nach unserer Einschätzung immer noch Arbeitsfelder

für einfache Verfahren ohne aufwendige technische Unterstützung. Mit der hier vorgestellten Methodik erhoffen wir uns eine Objektivierung der Beurteilung von Massnahmen des Lichttraummanagements von Wäldern, die ohne Fachspezialisten und weitgehend ohne komplizierte Technik auskommt und trotzdem Ergebnisse liefert, die einer visuellen Schätzung hinsichtlich Genauigkeit und Reproduzierbarkeit deutlich überlegen sind. Da das Verfahren nicht auf die Erhebung absoluter Grössen zielt, können komplizierte projektionsgeometrische Berechnungen unterbleiben. Zu beachten ist jedoch, dass innerhalb einer Messkampagne die Rahmenbedingungen der Kronenaufnahmen (verwendete Brennweite, Aufnahmehöhe, Stichprobendichte, Auswertungseinstellungen) gleich gehalten werden. Vordringliche Einsatzgebiete könnten in Wäldern mit speziellen Pflegeverpflichtungen (z.B. Sonderwaldreservate) oder mit besonderen Artenschutzfunktionen liegen – insbesondere, wenn es darum geht, eingeleitete Massnahmen in ihren unmittelbaren Auswirkungen qualifiziert zu dokumentieren oder den Umfang etwaiger Auflichtungen präzise anzugeben.

Zusammenfassung

Aus waldbaulicher und naturschutzfachlicher Sicht stellt die Kronendichte von Waldbeständen eine wichtige Kenngrösse dar. Konventionelle forstliche Verfahren erlauben aber keine differenzierten ökologischen Einschätzungen zum geänderten Strahlungshaushalt nach Pflegehieben. Es wird deshalb eine Methode vorgestellt, die vom Boden aus genaue und reproduzierbare Werte zur effektiven Kronendichte liefert, ohne besondere Anforderungen an Bearbeiter und Ausrüstung zu stellen. Die Technik der Senkrechtaufnahme wird sowohl für analoge wie auch für digitale Aufnahmetechnik dargestellt. Darüber hinaus wird ein eigens zur Auswertung von Kronenbildern entwickeltes Programm beschrieben, das eine automatisierte Auswertung digitaler Kronenfotos ermöglicht. Anhand zweier Beispiele (Feinstrukturkartierung der Gehölze entlang eines Quelllaufes, Dokumentation eines forstlichen Eingriffs der Wiederaufnahme traditioneller Mittelwaldbewirtschaftung) wird der Anwendungsbereich der Methode aufgezeigt. Die vorgestellte Methodik erlaubt eine Objektivierung der Beurteilung von Massnahmen des Lichttraummanagements von Wäldern (z.B. Sonderwaldreservate) die einer visuellen Schätzung hinsichtlich Genauigkeit und Reproduzierbarkeit deutlich überlegen ist.

Resumé

Saisie efficace de la densité des couronnes à l'aide de photos prises à la verticale

La densité des couronnes des peuplements forestiers constitue une donnée importante pour la sylviculture et la protection de la nature. Les méthodes forestières conventionnelles ne permettent cependant pas de réaliser des évaluations écologiques différenciées de la variation du rayonnement lumineux consécutive aux coupes. Pour cette raison, les auteurs de l'article proposent une méthode susceptible de fournir, depuis le sol, des valeurs précises et reproductibles de la densité effective des couronnes. Le procédé ne requiert pas d'exigences particulières en personnel et en équipement. La technique de la prise de vue verticale est présentée pour la photo analogique et digitale. Le document décrit en outre un programme développé spécialement pour analyser les images des couronnes et qui permet une interprétation automatisée des photos digitales. Deux exemples (cartographie détaillée des bosquets bordant un cours d'eau, documentation d'une intervention forestière visant à rétablir le régime traditionnel du taillis sous futaie) illustrent le domaine d'utilisation de la méthode. La marche à suivre proposée permet d'évaluer objectivement les mesures prises dans le cadre de la gestion de l'espace et de la lumière à l'intérieur des forêts (réserves forestières particulières, par exemple) et s'avère, au niveau de la précision et de la reproductibilité, nettement supérieure à une estimation visuelle.

Traduction: CLAUDE GASSMANN

Summary

Efficient data assessment of canopy density with the help of vertical photographic exposures

From the point of view of silvicultural and nature protection the canopies of forests represent an important characteristic value. However, conventional forestry methods do not allow for a differentiated ecological assessment of the changed situation of radiation following light tending interventions. The method presented here enables the collection of exact and reproducible values on the actual density of the canopy from the ground, which calls for no specialist demands on workers or equipment. The paper describes the technology of vertical exposures for both analogue and digital photographic technology. In addition, we present a specially developed programme, which allows the automatic evaluation of the digital canopy exposures. We give two examples for areas of application of the method (finely structured map of trees along a water course and documentation of forestry intervention for the resumption of traditional middle forest management). The presented methodology enables an objective assessment of measures to manage the conditions of light in forests (e.g., special forest reserves), which is significantly superior to a visual assessment with regard to accuracy and reproducibility.

Translation: ANGELA RAST-MAGERISON

Literatur

- BRUNNER, A. 1994: Ökologische Lichtmessung im Wald. Forstarchiv 65: 133–138.
- COCH, T.; MÜLLER-BAUERFEIND, M. 2002: Wiederaufnahme des Mittelwaldbetriebs im Opfinger Mooswald – ein Pilotprojekt zum Traditionsbezug multifunktional verstandener Forstwirtschaft. Nat.schutz und Landsch.plan 34, 6: 165–170.
- COCH, T. 2003: Describing and analysing vegetation structure in wooded land by using easy-to-handle photogrammetric features. Phytocoenologia 33, 4: 633–643.
- COCH, T. in Vorbereitung: Kronenaufnahmen als Hilfsmittel zur Planung von Pflegehieben in Schonwäldern der Oberrheinebene (Eichen-Hainbuchenwälder).
- DIACI, J.; THORMANN, J.-J. 2002: Ein Vergleich verschiedener Lichtmessmethoden in Buchennaturwäldern Sloweniens aus verjüngungsökologischer Sicht. Schweiz. Z. Forstw. 153: 39–50.
- DOHRENBUSCH, A. 1989: Die Anwendung fotografischer Verfahren zur Erfassung des Kronenschlussgrades. Forstarchiv 60: 151–155.
- EVANS, G.C.; COOMBE, D.E. 1959: Hemispherical and woodland canopy photography and the light climate. J. Ecol. 47: 103–113.
- GENDRON, F.; MESSIER, C.; COMEAU, P.G. 1998: Comparison of various methods for estimating the mean growing season percent photosynthetic photon flux density in forests. Agric. For. Meteorology 92, 1: 55–70.
- GERSTER, A.; JUTZ, X. 2001: Lichter Wald – Ergebnisse aus Erfolgskontrollen. Herausgegeben von der Fachstelle Naturschutz, Zürich, 15 S.
- KÄRCHER, R.; WEBER, J.; BARITZ, R.; FÖRSTER, M.; SONG, X. 1997: Aufnahme von Waldstrukturen. Arbeitsanleitung für Waldschutzgebiete in Baden-Württemberg. Mitt.Forstl.Vers.-Forsch.anst. Bad.-Württ. 199, 64 S.
- MEYER, P.; ACKERMANN, J.; BALCAR, P.; BODDENBERG, J.; DETSCH, R.; FÖRSTER, B.; FUCHS, H.; HOFFMANN, B.; KEITEL, W.; KÖLBEL, M.; KÖTHKE, C.; KOSS, H.; UNKRIG, W.; WEBER, J.; WILLIG, J. 2001: Untersuchungen der Waldstruktur und ihrer Dynamik in Naturwaldreservaten. IHW-Verlag, 107 S.
- MÜHLENBERG, M. 1993: Freilandökologie. UTB 595, 512 S.
- OELLBRUNNER, B.; COCH, T. in Vorbereitung: Feinstrukturkartierungen als Basis der Pflege und Entwicklung naturnaher Waldbäche.
- OTTO, H.-J. 1994: Waldökologie. Ulmer, Stuttgart, 391 S.
- PARKER, G.G.; HARDING, D.; BERGER, M. L. 2004: A portable LIDAR system for rapid determination of forest canopy structure. J. Appl. Ecol. 41: 755–767.
- PISOKE, TH. 2000: Die Waldstruktur im Bannwald Taubergiessen. Eine Luftbilddauswertung im strukturreichen Auerwald. Ber. Freibg. Forstl. Forsch. 22, 96 S.
- ROSSMANN, D. 1996: Lebensraumtyp Nieder- und Mittelwälder. Landschaftspflegekonzept Bayern, Band II.13, Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen; in Zusammenarbeit mit der Bayerischen Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege, München, 302 S.
- SCHNEIDER, H.; KÜPPERS, M.; SWAN, A.G. 1991: Nettophotosynthese- und Stomataverhalten der Blätter von Buchenkeimlingen (*Fagus sylvatica* L.) in Lichtflecken. Ver. Ges. Ökol. 20: 967–972.
- SCHÜTZ, J.-P.; BRANG, P. 1995: L'horizontoscope: un étonnant outil pratique de sylviculture, notamment en haute montagne. Bull. tech.-Office National des Forêts 28: 1–7.
- TREIBER, R. 1997: Vegetationsdynamik unter dem Einfluss des Wildschweins (*Sus scrofa* L.) am Beispiel bodensaurer Trockenrasen in der elsässischen Harth. Z. Ökol. Nat.schutz 6: 83–95.
- ZÖHRER, F. 1980: Forstinventur. Ein Leitfaden für Studium und Praxis. Parey-Verlag, Hamburg, 207 S.

Autoren

- Dr. THOMAS COCH, Diplom-Forstwirt, Professur für Natur- und Landschaftsschutz, ETH Zentrum, 8092 Zürich.
E-Mail: thomas.coch@env.ethz.ch.
- RENÉ BERTILLER, dipl. Forsting. ETH, Professur für Natur- und Landschaftsschutz, ETH Zentrum, 8092 Zürich.
E-Mail: rene.bertiller@env.ethz.ch.
- BEAT TRACHSLER, dipl. Math. ETH, Professur für Natur- und Landschaftsschutz, ETH Zentrum, 8092 Zürich.
E-Mail: beat.trachsler@env.ethz.ch.