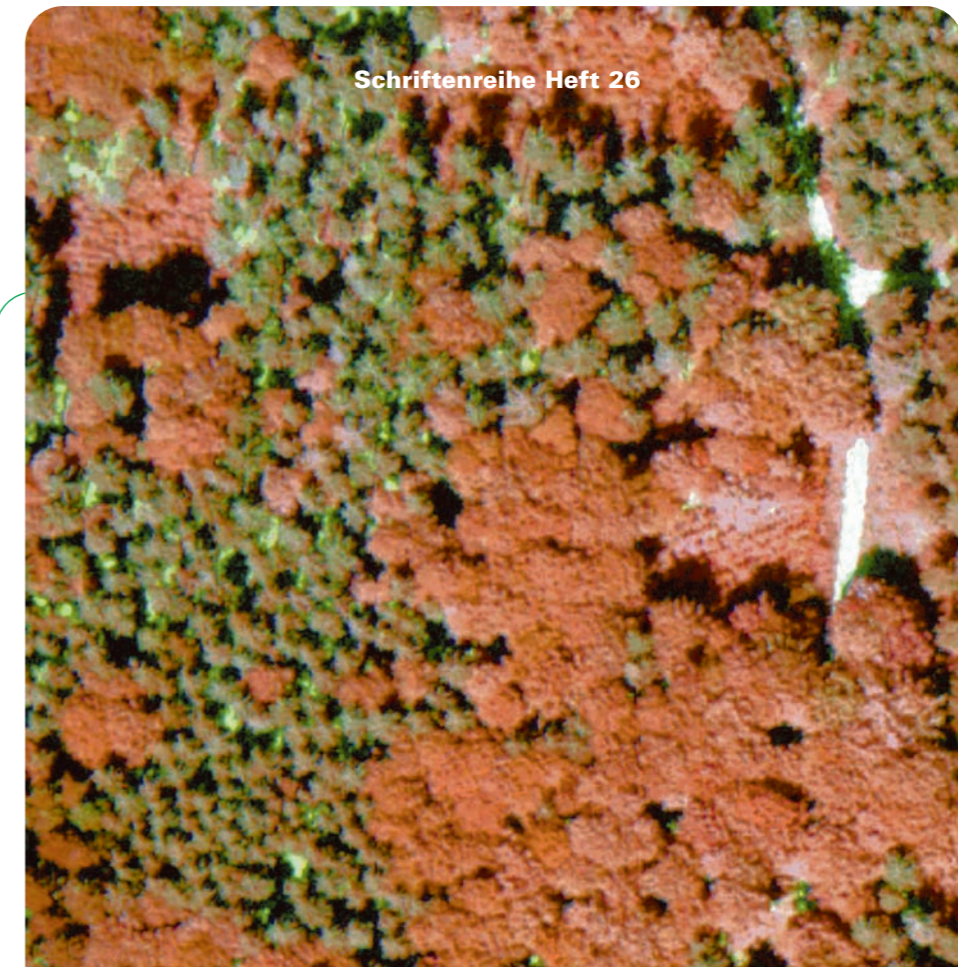




Das Lebensministerium

In der Schriftenreihe des LFP sind bisher die folgenden Titel erschienen:

Erstausgabe	Waldfunktionenkartierung
Heft 1/1994	Forstpflanzenzüchtung – Quo vadis?
Heft 2/1995	Wald und Klima
Heft 3/1995	Erhaltung und Förderung forstlicher Genressourcen
Heft 4/1995	Übersicht der natürlichen Waldgesellschaften
Heft 5/1995	Genetik und Waldbau der Weißtanne, Bd. I und II
Heft 6/1996	Waldumbau – Beiträge zum Kolloquium
Heft 7/1996	Wald und Boden
Heft 8/1996	Forstliche Wuchsgebiete und Wuchsbezirke im Freistaat Sachsen
Heft 9/1996	Waldbiotopkartierung in Sachsen
Heft 10/1996	Empfehlungen geeigneter Herkünfte forstlichen Saat- und Pflanzgutes für den Anbau im Freistaat Sachsen (Herkunftsempfehlungen)
Heft 11/1997	Waldklimastationen
Heft 12/1997	Möglichkeiten einer integrierten Bekämpfung des Blauen Kiefernprachtkäfers
Heft 13/1998	Forstpflanzenzüchtung für Immissions schadgebiete
Heft 14/1998	Der Waldzustand im Nationalpark Sächsische Schweiz nach den Ergebnissen der Permanenten Stichprobeninventur 1995/96
Heft 15/1998	Zuordnung der natürlichen Waldgesellschaften zu den Standortformengruppen (Ökogramme)
Heft 16/1998	Sanierung von Waldschadensflächen im extremen Immissions schadgebiet unter besonderer Berücksichtigung des Nichtstaatswaldes
Heft 17/1998	Wald- und Forstökosysteme auf Kippen des Braunkohlenbergbaus in Sachsen – ihre Entstehung, Dynamik und Bewirtschaftung – Biogeochemisches Potenzial ausgewählter Baumarten auf meliorierten, immissionsbeeinflussten Standorten des Erzgebirges
Heft 18/1999	Waldumbau auf Tieflands- und Mittelgebirgsstandorten
Heft 19/1999	Bodenzustandserhebung (BZE) in den sächsischen Wäldern (1992–97)
Heft 20/2000	Leitfaden forstliche Bodenschutzkalkung in Sachsen
Heft 21/2000	Empfehlungen zur Wiedereinbringung der Weißtanne
Heft 22/2000	Der sächsische Wald im Dienst der Allgemeinheit
Heft 23/2000	Die Baum- und Straucharten Sachsens – Charakterisierung und Verbreitung als Grundlagen der Generhaltung
Heft 24/2002	Waldvegetation – Vegetationsuntersuchungen in sächsischen Wäldern (Level I und II)
Heft 25/2002	
Heft 26/2003	Luftbild-Interpretation – Bestimmungsschlüssel für die Beschreibung von strukturreichen Waldbeständen im Color-Infrarot-Luftbild



Luftbild-Interpretation

Bestimmungsschlüssel für die Beschreibung von strukturreichen Waldbeständen im Color-Infrarot-Luftbild

Herausgeber

LANDESFORSTPRÄSIDIUM (LFP), Bonnewitzer Straße 34, 01796 Pirna, OT Graupa
Telefon: (0 35 01) 542-0
Telefax: (0 35 01) 542-213
E-Mail: lfp.graupa@lfp.smul.sachsen.de, Internet: <http://www.forsten.sachsen.de/lfp>

Redaktion/Gestaltung

LANDESFORSTPRÄSIDIUM (LFP)

Redaktionsschluss

Juni 2003

Der Luftbildinterpretationsschlüssel für strukturreiche Bestände wurde durch die **Arbeitsgruppe FORSTLICHER LUFTBILD-INTERPRETEN (AFL)** erarbeitet. Die AFL ist ein Zusammenschluss von Fernerkundungsexperten aus dem deutschsprachigen Raum, die sich mit Fragen zur Standardisierung, Anwendung und Qualitätskontrolle von analogen und digitalen Luftbildinterpretationen und zur Optimierung der Luftbildaufnahme befasst.

Derzeitige AFL-Geschäftsführung

ARMIN TROYCKE, BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT, Am Hochanger 11, 85354 Freising
Tel.: (0 81 61) 71 49 57, E-Mail: tro@lwf.uni-muenchen.de

Autoren

BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT
BFH, INSTITUT FÜR FORSTÖKOLOGIE UND WALDERFASSUNG EBERSWALDE

BUNDESAMT UND FORSCHUNGSZENTRUM FÜR WALD, WIEN
FORSCHUNGSANSTALT FÜR WALDÖKOLOGIE UND FORSTWIRTSCHAFT RHEINLAND-PFALZ
FORSTLICHE VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT BADEN-WÜRTTEMBERG
LANDESFORSTPRÄSIDIUM (SACHSEN)
SCHERRER INGENIEURBÜRO AG, NESSLAU (CH)
TU BERLIN, INSTITUT FÜR LANDSCHAFTSARCHITEKTUR

UNIVERSITÄT FREIBURG, ABT. FERNERKUNDUNG UND LIS

UMWELTBUNDESAMT, WIEN
UNIVERSITÄT FÜR BODENKULTUR, INST. FÜR VERMESSUNG, FERNERKUNDUNG UND LIS, WIEN

ARMIN TROYCKE
RAINER HABERMANN
DR. BARBARA WOLFF
MANFRED GÄRTNER
FRIEDRICH ENGELS
UWE BROCKAMP
KARINA HOFFMANN
HANS-ULRICH SCHERRER
PROF. DR. HARTMUT KENNEWEG
PROF. DR. BIRGIT KLEINSCHMIT
DR. PETRA ADLER,
DR. MATTHIAS DEES,
DR. CLAUD-PETER GROSS
GEBHARDT BANKO
TATJANA KOUKAL

Auflage

500

ISBN

3-932967-29-3

Bezug

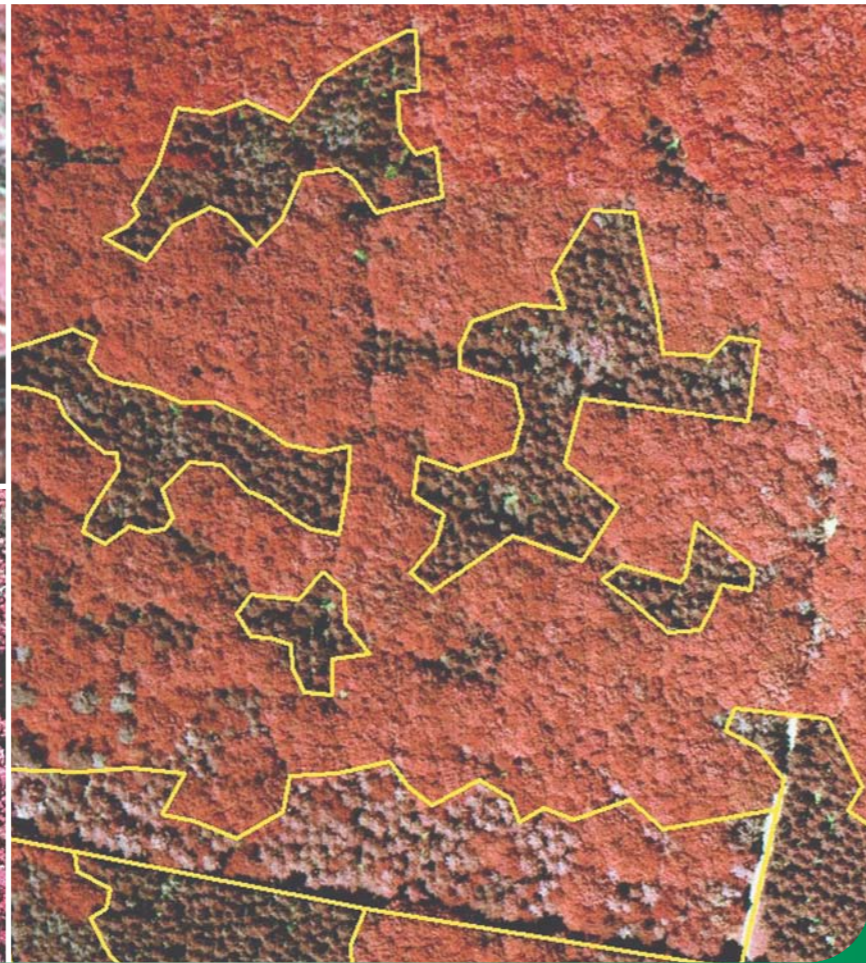
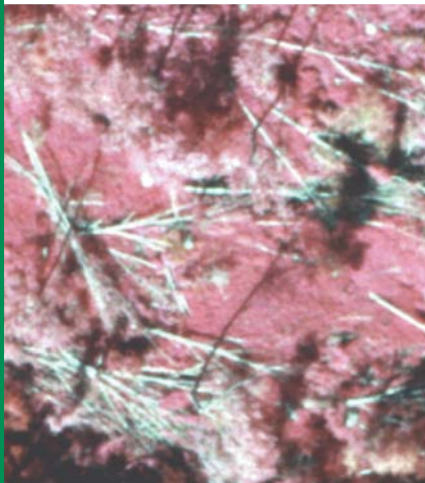
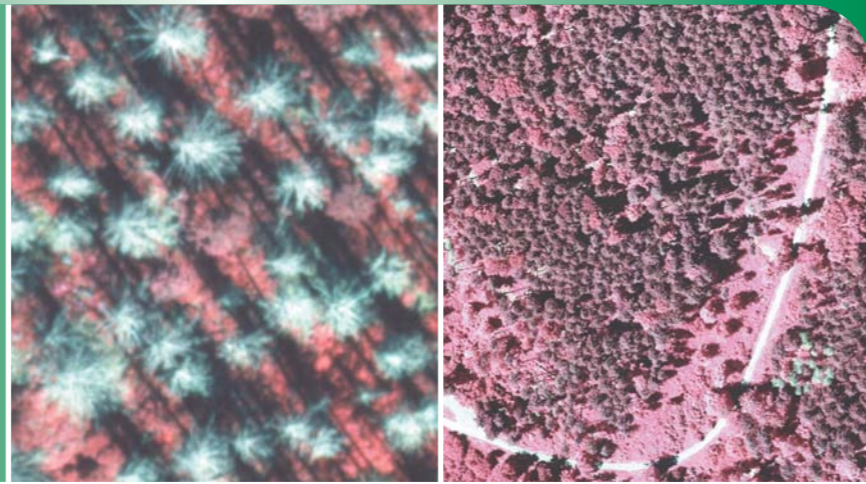
über LANDESFORSTPRÄSIDIUM

Gedruckt auf Papier aus 100 % chlorfrei (tcf) gebleichtem Zellstoff

Verteilerhinweis: Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit heraus gegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlhelfern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Luftbildinterpretationsschlüssel – Bestimmungsschlüssel für die Beschreibung von strukturreichen Waldbeständen im Color-Infrarot-Luftbild

Arbeitsgruppe
Forstlicher
Luftbildinterpreteten
(AFL)



Inhalt

1	Präambel	4
1.1	Einleitung	4
1.2	Ziel des Interpretationsschlüssels	4
1.3	Voraussetzungen für die Anwendung des Schlüssels	5
1.3.1	Gültigkeitsbereich	5
1.3.2	Anforderung an das Personal	5
1.3.3	Anforderungen an das Bildmaterial und die Geräte	5
1.3.4	Aufbau des Interpretationsschlüssels	6
1.4	Hinweise zur Anwendung des Interpretationsschlüssels	7
1.4.1	Anpassung des Schlüssels, Zusatzinformationen	7
1.4.2	Kontrolle und Ergänzungen der Ergebnisse	7
1.4.3	Schlussbemerkung und Ausblick	7
2	Luftbild-Interpretationsschlüssel für strukturreiche Waldbestände	8
2.1	Flächengröße	9
2.2	Lücken	9
2.3	Deckungsgrad gesamt	12
2.4	Lückenbereinigter Deckungsgrad	12
2.5	Schichtung	12
2.6	Baumarten und Baumartenanteile	12
2.7	Wuchsklassen (natürliche Altersklassen)	13
2.8	Mischung	13
2.9	Verteilung	14
2.10	Mittlere Baumhöhe	15
2.11	Mittlere Kronenlänge	15
2.12	Mittlere Bestandeshöhe (H_m)	15
2.13	Durchschnittlicher Kronendurchmesser und dessen Verteilung	15
2.14	Kronenform	16
3	Rauigkeit eines Bestandes (einer Befundeinheit)	17
3.1	Kronendach-Rauigkeit (R_D)	18
3.1.1	Diversität des Höhengaufbaues (D_H)	18
3.1.2	Diversität der Nachbarschaft (D_N)	20
3.1.3	Mittlere Eintiefung (S_E)	20
3.1.4	Kronendach-Rauigkeit (R_D)	21
3.2	Kronenschluss-Rauigkeit (R_S)	21
3.2.1	Vorläufige Kronenschluss-Rauigkeit (R_{S-1})	21
3.2.2	Zuschläge für Lücken (Flächenanteil und Anzahl)	23
3.3	Bestandes-Rauigkeit (R_B)	24
4	Kronenzustand und dessen Verteilung	25
4.1	Kronenzustand einzelbaumweise	25
4.2	Kronenzustand bestandesweise	25
4.3	Kronenzustandsverteilung	26

5	Ermittlung des Totholzanteiles	27
5.1	Totholzart	27
5.2	Verteilung des Totholzes	28
5.3	Menge des Totholzes	29
5.4	Weiterführende Literatur	29
6	Waldränder	31
6.1	Waldränder und Waldrandstrukturen	31
6.2	Quantitative Bewertung	31
6.3	Qualitative Bewertung	32
6.4	Weiterführende Literatur	34
7	Literaturverzeichnis Kapitel 1 bis 4	35
8	Anhang	36
8.1	Kennziffern für Baumarten- und Wuchsklassenvielfalt	36
8.2	Ableitung von Entwicklungsphasen	38
8.3	Aufnahmeblatt für Luftbildinterpretation nach Bestimmungsschlüssel für die Beschreibung von strukturreichen Waldbeständen (Befundeinheiten) im CIR-Luftbild	42
8.4	Schematische Bildbeispiele für verschiedene Deckungsgrade	43
8.5	Stereogramme	44
8.6	Glossar	46
8.7	Abbildungsverzeichnis	47
8.8	Tabellenverzeichnis	48

1 Präambel

1.1 Einleitung

Die Bedeutung des naturnahen, ungleichaltrigen und stark differenzierten Waldes nimmt immer mehr zu. Neben die produktionsorientierten Ziele treten zunehmend nicht wirtschaftliche Aspekte wie Biodiversität, Biotopmonitoring, Naturwaldforschung, Habitatsuntersuchungen sowie Schutzwald- und Landschaftsmonitoring und diese stehen teilweise auch im Vordergrund. Die wachsende Bedeutung der Naturraumforschung erfordert eine nachvollziehbare Beschreibung und Erhebung dieses Bereiches der Landschaft. Bei der Anwendung von Luftbildern in strukturreichen Wäldern ist es notwendig, einen standardisierten Interpretationsschlüssel zu benutzen, um eine weitgehende Vereinheitlichung der Interpretation zu erreichen.

1.2 Ziel des Interpretationsschlüssels

Eine einheitliche Terminologie und ein gleicher Aufbau eines Interpretationsschlüssels gewährleisten, dass zeitlich und räumlich unterschiedliche Luftbildinterpretationen vergleichbar werden. Dadurch eignen sich Luftbilddauswertungen besonders zur Durchführung von überregionalen Vergleichen und zur Erstellung von Zeitreihen. Der vorliegende Schlüssel soll die Interpretation von sehr differenzierten und ungleichaltrigen, eben „strukturreichen Beständen“ ermöglichen.

Der Schlüssel versucht, die Raumstruktur und Diversität durch aussagekräftige, im Luftbild erhebbare Parameter zu beschreiben. Dabei werden die Artenvielfalt, Nachbarschaftsverhältnisse, Durchmischung und Dimensionsdifferenzierungen in einer abgegrenzten Fläche (Befundeinheit) nach ihrer horizontalen und vertikalen Dimension beurteilt.

Es ergeben sich so zum Beispiel Hinweise auf die Naturnähe (Habitate), die durch zusätzlich erhobene Merkmale wie Totholz, Bestandeslücken oder Störungen ergänzt werden.

Dies bildet wiederum die Grundlage für den Vergleich bewirtschafteter/unbewirtschafteter Wälder und erlaubt Veränderungen in Form von Zeitreihen darzustellen, hilft aber auch bei der Nutzungsplanung und Nachhaltigkeitskontrolle.

Der Begriff „strukturreich“ wird hier stellvertretend für ungleichaltrigen und sehr differenzierten Wald verwendet. Darunter wird ein Urwaldrest oder Naturwaldreservat ebenso verstanden wie ein ungleichaltrig bewirtschafteter Wald (Plenterwald), Schutzwaldbereiche, Waldgrenzen im Gebirge oder an Moorflächen, aufgelöste Heidebestände oder Waldsukzessionsflächen auf militärischem Übungsgelände, Halden, Brachland oder aufgelassene Almen.

Im vorliegenden Schlüssel werden die luftbildsichtbaren Merkmale nur beschrieben. Auf eine Wertung oder Gewichtung dieser Merkmale wird jedoch vorerst bewusst verzichtet. Eine wertende Beurteilung der Parameter orientiert sich an der Zielsetzung und Fragestellung der jeweiligen Untersuchung sowie am Untersuchungsgebiet selbst. Die Entscheidung über die Gewichtung verbleibt in jedem Fall beim Anwender des Interpretationsschlüssels.

Der Interpretationsschlüssel listet beispielhaft Möglichkeiten der Quantifizierung und Klassenbildung für die einzelnen luftbildsichtbaren Merkmale auf. Darüber hinaus werden Möglichkeiten zur Verknüpfung der einzelnen Merkmale zu aggregierten Kennziffern aufgezeigt. Es bleibt dem Anwender des Schlüssels überlassen, ob manche Merkmale numerisch gezählt oder flächig geschätzt werden. Ebenso ist es möglich, anwenderspezifische, individuelle Klassenbildungen für einzelne Merkmale selbst zu definieren. Einzelne Merk-

male können auch, müssen aber nicht zu weiteren für das Untersuchungsgebiet relevanten Kennziffern verknüpft werden. Wesentlich ist jedoch, dass bei Wiederholungserhebungen zu Vergleichszwecken nach denselben Kriterien, Klassenbildungen und Verknüpfungen beurteilt wird wie bei der Ersterhebung.

Interpretationsschlüssel müssen präzise erarbeitet sein, um Missverständnisse auszuschließen. Obwohl allgemein gültig, berücksichtigen sie nur idealtypische Kriterien und können nicht den gesamten Bereich aller möglichen Variationen abdecken. Daher sind in Spezialfällen Ergänzungen notwendig. Festgehalten werden soll auch, dass eine völlige Übereinstimmung zwischen terrestrischer Erhebung und Luftbildinterpretation

nicht zu erwarten ist, weil bei beiden Erhebungsverfahren nicht exakt die gleichen Kriterien erfasst werden können.

Der vorliegende Interpretationsschlüssel soll eine Hilfestellung in der Bestimmung, Schätzung beziehungsweise Messung strukturrelevanter Merkmale sein. Mit Hilfe der digitalen Photogrammetrie können in strukturreichen Beständen über die klassische Luftbildinterpretation hinaus spezielle Bestandesmerkmale abgeleitet werden (beispielsweise aus dem digitalen Kronenoberflächenmodell). Für deren Einsatz ist jedoch eine entsprechend teurere Geräteausstattung notwendig als für die herkömmliche, traditionelle Auswertung von Luftbildern mit Hilfe von Interpretationsschlüsseln.

1.3 Voraussetzungen für die Anwendung des Schlüssels

1.3.1 Gültigkeitsbereich

Der vorliegende Schlüssel wurde im Hinblick auf strukturreiche Bestände und Bestandesteile erstellt. Sie zeichnen sich durch sehr einheitlichen Altersaufbau, Baumartenverteilung und Mischungsverhältnisse oder durch besondere Naturnähe aus. Genauso kann dieser Schlüssel auch in einheitlichen, gleichförmigen Beständen angewandt werden, was bei der vergleichenden Interpretation über eine ganze Waldregion sogar geboten erscheint.

Bei der Anwendung des Schlüssels ist auf die jeweilige länderspezifische Walddefinition zu achten. Dies gilt vor allem für die Merkmale, Flächengröße und Bestockung. Sind keine Pflanzen erkennbar, ist die Zugehörigkeit zur Waldfläche (Holzboden, Nichtholzboden) bei der Luftbildinterpretation mit Hilfe der jeweiligen Walddefinition, durch Vergleich mit Nachbarflächen oder durch terrestrische Kontrollen zu entscheiden.

1.3.2 Anforderung an das Personal

Der vorliegende Interpretationsschlüssel erfordert ausreichendes theoretisches Wissen über ökologische Zusammenhänge im Wald und praktische Erfahrung im Umgang mit Luftbildern. Daher setzt die Anwendung des Schlüssels voraus, dass die Interpreten über ausreichende forstliche Grundkenntnisse verfügen und luftbilderfahren sind.

1.3.3 Anforderungen an das Bildmaterial und die Geräte

Der Schlüssel wurde für den Color-Infrarotfilm Kodak 2443 (CIR) oder vergleichbare Produkte mit einem mittleren Bildmaßstab von circa 1 : 10 000 entwickelt. Das Bildmaterial muss den im Abschnitt 4.2 von Blatt 1 der VDI-Richtlinie 3793 beschriebenen Qualitätsanforderungen entsprechen. Insbesondere eine gute Farbdifferenzierung ist für die Baumartenerkennung jüngerer Bäume notwendig. Die Verwendung eines größeren Bildmaßstabes (z. B. 1 : 5 000) erleichtert die Differenzierung der einzelnen Baumarten in jüngerem Stadium. Bei großmaßstäbigen Bildern ist darauf zu

achten, nicht über den für die spezifische Fragestellung notwendigen Detaillierungsgrad hinauszugehen.

Die Interpretation von Strukturmerkmalen ist grundsätzlich auch mit anderen Filmarten (Schwarz/Weiß-Infrarot, Colorfilm) und mit kleinerem Bildmaßstab möglich, in diesen Fällen ist der vorliegende Interpretationsschlüssel anzupassen. Da dabei aber Interpretationsunsicherheiten stark zunehmen, wird der Einsatz des CIR-Filmes empfohlen.

Die Interpretation erfolgt grundsätzlich nur bei stereoskopischer Betrachtung. Betrachtungsgeräte mit hochwertiger Optik, variabler Vergrößerung und normierbarer Beleuchtung werden empfohlen.

1.3.4 Aufbau des Interpretationsschlüssels

Der Schlüssel gliedert sich in

- Beschreibung der einzelnen erhebbaren Merkmale
- Totholzerhebung
- Erfassung von Waldrändern
- Beispiel für Kennziffernbestimmung (Nähe)
- Beispiel für Merkmalskombinationen (Waldentwicklungsphasen)
- Muster-Erhebungsblatt
- Schematische Beispiele für Deckungsgrade
- Stereogramme
- Glossar

Zusätzlich sollten unter Beachtung der landesspezifischen Walddefinition auch die zum Wald gehörenden Freiflächen aufgenommen werden. Für die Freiflächen ist in der Regel eine terrestrische Verifikation erforderlich, da im Luftbild nicht immer eine sichere Trennung von Wald- und Nichtwaldflächen möglich ist und auf Jungwuchsflächen vorhandene Pflanzen nicht immer zu erkennen sind (z. B. Vergrasung). Die Mitberücksichtigung von Freiflächen ermöglicht eine vollständige Waldflächenbilanz im Untersuchungsgebiet.

Für den praktischen Einsatz eignen sich Bildmaßstäbe von 1 : 5 000 bis 1 : 15 000, wobei die minimale Größe einer Befundeinheit mit rund 1 ha, die optimale Größe mit rund 5 ha empfohlen wird. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass bei größeren Bildmaßstäben (1 : 5 000) die Güte der Interpretation deutlich besser ist als bei kleineren Bildmaßstäben (1 : 15 000).

Oft ist die Befundeinheit an vorgegebene Abgrenzungen gemäß der Forsteinrichtung oder Bewirtschaftungspraxis gebunden. Sie kann sich aber auch aufgrund einer besonderen Fragestellung ergeben. Dabei ist zu beachten, dass die Form, Größe und Abgrenzung einer Befundeinheit einen wesentlichen Einfluss auf das Interpretationsergebnis hat. Umgekehrt kann aufgrund von Interpretationsergebnissen durch Kombination von Merkmalen eine Befundeinheit ermittelt und abgegrenzt werden.

1.4 Hinweise zur Anwendung des Interpretationsschlüssels

1.4.1 Anpassung des Schlüssels, Zusatzinformationen

Die Verwendung des vorliegenden allgemeingültigen Schlüssels erlaubt eine Reduzierung der Vorarbeiten. Es ist nicht mehr erforderlich einen kompletten Interpretationsschlüssel zu erstellen, sondern ausreichend den vorliegenden Schlüssel auf seine Anwendbarkeit zu prüfen und gegebenenfalls zu ergänzen. Hierzu können auch terrestrische Außenaufnahmen notwendig sein.

Regionale und zeitlich begrenzte Besonderheiten, die im Schlüssel nicht berücksichtigt sind, aber einen wesentlichen Punkt der Erhebung darstellen, müssen terrestrisch überprüft und in den Merkmalskatalog des Schlüssels eingebaut werden. Dabei können weitere Unterteilungen und Unterklassen für diese Sonderbereiche eingefügt werden. Die im Muster-Erhebungsblatt angeführten Merkmale können daher je nach aktueller Fragestellung entweder speziell ergänzt oder es können auch im Zuge der Erhebung nicht relevante Merkmale weggelassen werden. Die vorgegebene Gliederung und Nomenklatur des Schlüssels bleibt dabei jedoch verbindlich.

Es ist unumgänglich, die vorgesehenen Interpretationen an den Außenaufnahmen zur Anpassung des Schlüssels an die örtlichen Gegebenheiten und die für den vorliegenden Bildflug relevanten Merkmale und Besonderheiten zu beteiligen. Dadurch und durch eine ausreichende Schulungsphase wird die Beurteilungsqualität wesentlich verbessert.

1.4.2 Kontrolle und Ergänzungen der Ergebnisse

Eine stichprobenartige Kontrolle und allenfalls Ergänzung der Interpretationsergebnisse durch Außenaufnahmen ist notwendig. Insbesondere sind terrestrische Ergänzungsaufnahmen für Freiflächen, Schattenbereiche und Flächen, die im Luftbild nicht eindeutig interpretiert werden konnten, durchzuführen.

1.4.3 Schlussbemerkung und Ausblick

In jüngerer Zeit werden die unterschiedlichsten Luftbildinterpretationsschlüssel für Naturraum- und Biotopkartierungen verwendet. Sie enthalten häufig terrestrische Merkmale und folgen überwiegend einer vegetationskundlichen Semantik. Der hier vorgestellte Interpretationsschlüssel baut auf luftbildsichtbaren Merkmalen auf. Er macht eine Luftbildinterpretation damit besser nachvollziehbar und überprüfbar, er erlaubt somit eher die Vergleichbarkeit der Ergebnisse. Die Verwendung dieses Schlüssels bietet sich für einen fachübergreifenden Anwenderkreis an. Neben forstlichen und waldökologischen Fragestellungen können auch solche der Landschaftsökologie, Landesplanung, des Biotopmanagements und Umweltmonitorings bearbeitet werden. Für die immer mehr in den Mittelpunkt rückenden naturnahen Wälder mit ihrer stark ausgeprägten Strukturierung bietet sich das Luftbild als Erhebungsmedium aufgrund des guten Überblickes und der flächigen Informationsgewinnung besonders an. Der vorliegende Interpretationsschlüssel dient als wichtiger Beitrag zur Standardisierung, Vereinheitlichung und damit Vergleichbarkeit von Luftbildauswertungen. Er erlaubt aber auch eine individuelle Gestaltung und Gewichtung der einzelnen erhobenen Merkmale zur Anpassung an die spezielle Zielsetzung einer Untersuchung.

2 Luftbild-Interpretationsschlüssel für strukturreiche Waldbestände

Für die Beschreibung von strukturreichen Waldbeständen (Befundeinheiten) können eine Reihe von Merkmalen aus Color-Infrarot-Luftbildern erhoben werden, welche im Folgenden näher beschrieben werden. Diese Merkmale dienen dazu, den sehr komplexen Begriff „strukturreich“ auf wesentliche Kenngrößen zu reduzieren.

Die Erfassung einzelner Merkmale kann generell mit verschiedenen Methoden erfolgen:

- Interpretieren und/oder Schätzen
- Messen
- Automatische Erfassung.

Das vorliegende Papier beschränkt sich auf die Erfassung der Merkmale mittels Interpretation bzw. Schätzung und ist objektiv und nachvollziehbar.

Die Erfassung der beschriebenen Einzelmerkmale ist ein wichtiger Schritt, jedoch nicht ausreichend um den komplexen Bereich „strukturreich“ zu beschreiben. Dazu ist die Verknüpfung von Einzelmerkmalen zu aussagekräftigen Kenngrößen notwendig. Die dargestellten Verknüpfungsregeln sind abgeleitet aus dem forstlichen Wissen über strukturelle Zusammenhänge. Diese Verknüpfungsregeln stellen somit einen Kompromiss zwischen „Götterblick“ und „komplizierten mathematischen Modellen“ dar.

Es werden sowohl Merkmale der horizontalen Struktur (Textur) als auch der vertikalen Struktur beschrieben und Parameter für die Erhebung des Totholzes erläutert. Dabei wird versucht, die Reihung der Beschreibung der einzelnen Merkmale jener Abfolge anzupassen, in welcher üblicherweise ein Luftbildinterpret einen Waldbestand beurteilt und charakterisiert.

Die Struktur eines Waldbestandes (Befundeinheit) setzt sich aus horizontalen und vertikalen

Komponenten zusammen, wobei durch die teilweise Überschneidung beider Bereiche eine eindeutige Zuordnung zur jeweiligen Komponente nicht immer möglich ist. Auf Luftbildern können folgende Merkmale meist gut beurteilt werden:

- Baumarten und deren Anteile
- Verteilung von Baumarten und Bäumen
- Mischungsform
- Deckungsgrad (Überschirmung)
- Natürliche Altersklassen (Wuchsklassen)
- Schichtung
- Schätzung von Baum- und Bestandeshöhen
- Kronendurchmesser, Kronenlänge, Kronenform
- Kronenzustand und dessen Verteilung
- Charakterisierung der unmittelbaren Nachbarn analog KRAFT
- Lücken
- Bodensicht.

2.1 Flächengröße

Die Flächengröße einer Befundeinheit kann entweder durch herkömmliche geometrische Flächenermittlung (Dreiecks-, Vierecksberechnung) aus dem Luftbild ermittelt werden (Achtung auf geländebedingt sich ändernden Bildmaßstab!), wird jedoch oft aus der Forsteinrichtung übernommen (vgl. Präambel).

2.2 Lücken

Die Lücke ist eine räumliche Unterbrechung (Unstetigkeit) des **homogenen Deckungsgrades**. Generell werden Lücken erst ab einem **Deckungsgrad von über 0,4** erhoben. In der Forsteinrichtung werden Freiflächen > 0,2 ha auch als Kleinblößen bezeichnet. Als Anhaltspunkt für die Mindestgröße einer Lücke gilt das **Fehlen von ca. 3 Baumkronen** – auch in einer Reihe – des Altbestandes unter Berücksichtigung des aktuellen Deckungsgrades bzw. eine Fläche von etwa 25 x 10 m² in der Natur (0,025 ha). Die Maximalgröße einer Lücke ergibt sich durch die Kartierschwelle mit rund 1 ha.

Es wird jeweils das überwiegende Vorkommen in der Befundeinheit beschrieben. Liegende oder stehende Totbäume unterbrechen eine Lücke nicht. Lineamente (Forststraßen, Wege, Schneisen, Trassen) sind eine linienförmige Öffnung des Kronendaches und werden erst ab einer Breite von einer Baumkrone erhoben. Bei geringerer Breite und/oder geschlossenem Kronendach ist kaum Einfluss auf die Rauigkeit eines Bestandes zu erwarten.

Erhebbare Attribute für Lücken sind:

- Anzahl
- Flächenanteil an Gesamtfläche
- Art
- Form
- Größe
- Verteilung.

Zusätzlich erhebbare Merkmale über Größe, Größenverteilung und räumliche Verteilung können je nach Zielsetzung in eigenen Merkmalskatalogen (z. B. groß, mittel, klein, gleich

groß, verschieden groß usw.) festgehalten werden.

Anzahl der Lücken (Anz. Lü):

Bei der Angabe der Lückenanzahl sind verschiedene individuelle Klasseneinteilungen möglich (z. B. 1; 1–5; 5–10 gezählt, gemessen, geschätzt, Prozentanteil)

Als Zusatzinformation kann der Anteil von Wegen/Schneisen/Trassen an der Gesamtanzahl der Lücken angegeben werden.

Flächenanteil an der Gesamtfläche (% Lü an Gesamtfläche):

Der Flächenanteil und damit das Ausmaß der Lücken wird in Prozent der Gesamtfläche angegeben.

Art der Lücken (Art Lü):

Beurteilt wird die überwiegende bzw. dominierende Art aller Lücken.

Code	Art
1	ohne Bodenvegetation
2	mit Bodenvegetation, aber nur Gras, Krautschicht
3	mit Bodenvegetation als Strauchschicht (wenn erkennbar); wenn noch höhere Vegetation erkennbar, dann ist es schon eigene Schicht
4	Lineamente (Forststraßen, Wege, Schneisen, Trassen)
5	Lücken und Lineamente gemischt
8	nicht beurteilbar (Schatten)

Tab. 1: Art der Lücken

Form der Lücken (Form Lü):

Die Einteilung erfolgt in anwendungsspezifischer Form, die in Zusammenhang mit den zugrundeliegenden lückenbildenden Prozessen und Eingriffen steht (Orientierung, Größenverteilung, Längserstreckung). Beurteilt wird die überwiegende bzw. dominierende Form aller Lücken.

Code	Form
1	rund
2	länglich
3	unregelmäßig
4	hangparallel
5	länglich in Falllinie
6	hufeisenförmig
7	gemischt
9	sonstige

Lückengröße (Größe Lü):

In Abhängigkeit von der Flächenausdehnung der Lücke kann die Unterteilung in 4 Klassen erfolgen. Beurteilt wird die überwiegende bzw. dominierende Lückengröße.

Code	Ungefähre Flächengröße der Einzellücke	Ungefähre Anzahl der fehlenden Baumkronen
2	0,01–0,03 ha (Trupp)	3– 5
3	0,04–0,10 ha (Gruppe)	6–10
4	0,11–0,50 ha (Horst)	> 10
5	> 0,50 ha (Kleinbestand)	

Verteilung der Lücken (Verteilung Lü):

Hier wird die räumliche Verteilung der Lücken in der Befundeinheit beschrieben. Beurteilt wird die überwiegende bzw. dominierende Lückenverteilung.

Code	Verteilung
1	gleichmäßig
2	ungleichmäßig
3	geklumpt
4	in Falllinie
9	sonstige

Bodensicht:

Die Zuverlässigkeit der Bodensicht ist von vielen Faktoren abhängig, wie z. B. Sonnenstand, Aufnahmewinkel, Lage im Luftbild, Schatten, Überschirmungsgrad etc. Diese Faktoren sind allesamt Merkmale der Befundeinheit. Die Bodensicht dient als Qualitätsmaß für die Messung bzw. Schätzung der Baumhöhe.

Zerschneidungsklassen:

Forststraßen, Trassen, Schneisen und Wege (Lineamente) in Beständen, die zu einer Öffnung des Kronendaches breiter als 1 Baumkronen führen, verursachen deren Zerschneidung. Die Häufigkeit der Lineamente als Maß für die Zerschneidung eines Bestandes kann in folgenden Klassen angegeben werden:

- unzerschnitten
- schwach zerschnitten
- stark zerschnitten.

Für die Einteilung in Zerschneidungsklassen sind die Anzahl und die Lauflänge der Linea-

mente entscheidend. Als Hilfsmittel zur Beurteilung der Anzahl und der Lauflänge der Lineamente pro Aufnahmeeinheit kann die zu interpretierende Fläche in ein Rasternetz von 100 x 100 Metern zerteilt werden (vgl. Abb. 1).

Code	Beschreibung Bodensicht
1	vorhanden flächig
2	vorhanden punktuell
3	nicht vorhanden (geometrische Eigenschaften)
4	nicht vorhanden (Bestandeseigenschaften)

Mit Hilfe dieses Gitternetzes werden die Lauflängen und der Flächenanteil der Lineamente geschätzt. Ein regelmäßiges Raster kann jedoch nur bei nicht zu stark verzerrten Luftbildaufnahmen (Verzerrung durch Geländehöhenunterschiede) angewendet werden.

Bei der Beurteilung der Lineamente ist deren natürlicher Verlauf in der unmittelbaren Umgebung bei der Interpretation zu berücksichtigen (erkennbare Fortsetzung eines Lineamentes nach kurzfristig geschlossenem Kronendach).

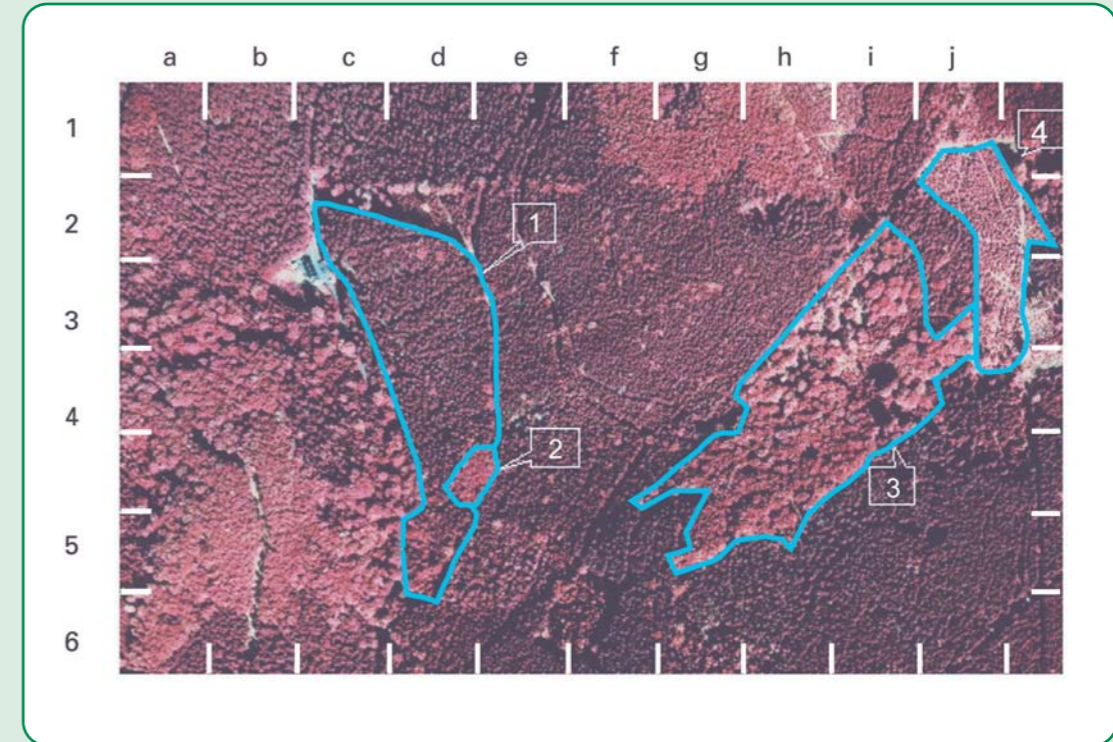


Abb. 1: Beispiele für Zerschneidungsklassen (CIR-Luftbild 1 : 7 000, verkleinerte Darstellung)

Beispiel	1	2	3	4
Zerschneidungsklasse	stark zerschnitten	unzerschnitten	unzerschnitten	stark zerschnitten
Code	2	0	0	2
Darstellung um 50 % reduziert im Vergleich zu Abb. 1				

Tab. 6: Beispiele für Zerschneidungsklassen (vgl. Abb. 1)

Tab. 2: Form der Lücken

Tab. 3: Lückengröße

Tab. 4: Verteilung der Lücken

Tab. 5: Bodensicht

Tab. 7:
Zerschneidungs-
klassen

Code	Klasse	Beschreibung	Anzahl/ha	Lauflänge/ha
0	unzerschnitten	Aufnahmeeinheit ohne Lineament	0	0
1	schwach zerschnitten	Aufnahmeeinheit wird durchquert von schmalen Lineamenten geringer und mittlerer Lauflänge bzw. von kurzen breiten Lineamenten	1	> 0–100 m oder > 0–5 %
2	stark zerschnitten	Aufnahmeeinheit wird durchquert von schmalen Lineamenten großer Lauflänge bzw. von längeren Stücken breiter Lineamente	> 1	> 100 m oder > 5 %

2.3 Deckungsgrad gesamt

Der Gesamt-Deckungsgrad wird in 1/10 Stufen ausgewiesen und kann maximal 10/10 erreichen. Er kann auch verbal beschrieben werden (gedrängt, dicht, geschlossen, ...). Deckungsgrad, Überschirmung, Überschirmungsgrad, Kronenschluss, Kronenschlussgrad und Schlussgrad werden in diesem

Schlüssel synonym verwendet. Wesentlich ist der Unterschied zum Bestockungsgrad, der im Unterschied zum Deckungsgrad Werte größer als 1 annehmen kann, da er sich an einem Bestockungsgrad aus Ertragstafeln orientiert. Schematische Bildbeispiele für verschiedene Deckungsgrade sind im Anhang dargestellt.

2.4 Lückenbereinigter Deckungsgrad

Der lückenbereinigte Deckungsgrad beschreibt den Deckungsgrad **ohne** Berücksichtigung der Lücken, d. h. die Befundeinheit wird gedanklich um die Lücken vermindert

und vom verbleibenden Rest der Deckungsgrad geschätzt.
Berechnung:
lückenbereinigter DG = DG gesamt/(1%-LÜ)

2.5 Schichtung

Die Beurteilung der Schichtung ist in der Regel nur bei einem Deckungsgrad der Oberschicht von weniger als 70% möglich.

Bei einem Deckungsgrad unter 30 % wird nur mehr eine allfällige Verjüngung angesprochen.

2.6 Baumarten und Baumartenanteile

Die Baumartenanteile werden in 10%-Stufen oder nach Zehntelanteilen nach ihrem Überschirmungsgrad angeschätzt. Dies deckt sich i. d. R. nicht mit der terrestrischen Anteilssprache nach bspw. Volumen oder Grundfläche. Baumarten mit geringerem Anteil als

10 % können der Vollständigkeit halber mit angeführt werden.
Die Abkürzung für die jeweilige Baumart entspricht dem landesüblichen Buchstaben- oder Zifferncode.

Code	Einheit	Ausscheidungskriterien
1	einschichtig	keine Mittel- oder Unterschicht vorhanden
2	zweischichtig (Ober- mit Unterschicht)	Unterschicht bzw. Verjüngung vorhanden (mind. Deckungsgrad 30%)
3	zweischichtig (Ober- mit Mittelschicht)	Mittelschicht vorhanden (mind. Deckungsgrad 30%)
4	mehrschichtig (Ober-, Unter- und Mittelschicht sichtbar)	Unter- und Mittelschicht mit je mind. 30% Deckungsgrad vorhanden
5	stufig (einzeln gemischt), Plenterwald	Bedingungen: a.) Vorkommen von mindestens 3 Entwicklungsstufen b.) jede Entwicklungsstufe > 20% c.) Jungwuchs oder Stangenholz muss vorhanden sein
6	kleinflächig gemischt	
7	Verjüngung (inkl. Zwergstrauch, Latsche und Grünerle)	a.) vereinzelt) wenn b.) häufig) Deckungsgrad c.) flächig) kleiner 30%
8	nicht interpretierbar	

Tab. 8:
Schichtung (mod.
nach SCHERRER:
Schweizer Interpretationsschlüssel
Mittelland)

2.7 Wuchsklassen (natürliche Altersklassen)

Die Beurteilung des Altersaufbaues erfolgt durch Schätzung der Anteile der Wuchsklassen (natürlichen Altersklassen) an der überschirmten Fläche in 1/10 (vgl. AFL-Schlüssel 1998, 1999).

Die Einteilung folgt dem üblichen Schema der natürlichen Altersklassen (Jungwuchs, Dichtung, Stangenholz, Baumholz, Alt-/Starkholz). Aufgrund der schwierigen Unterscheidungsmöglichkeit werden in diesem Schlüssel die beiden Wuchsklassen Jungwuchs und Dichtung in einer gemeinsamen Klasse erhoben.

Code	Beschreibung	Einheit
1	Jgw, Di	Jungwuchs und Dichtung
2	Sth	Stangenholz
3	Bh	Baumholz
4	Ah	Altholz, Starkholz

Tab. 9:
Wuchsklassen
(natürliche Altersklassen)

Eine feinere Differenzierung ist anwenderbedingt möglich (z. B. Differenzierung in schwaches und starkes Baumholz).

2.8 Mischung

Bestandesteile, die sich durch verschiedene Wuchsklassen (natürliche Altersklassen) oder in ihrer Baumartenzusammensetzung wesentlich voneinander unterscheiden, werden je nach ihrer Größe und Form klassifiziert. Die Beschreibung der Mischungsform erfolgt für jede im Bestand vorkommende Baumart bzw. für jede Wuchsklasse, d. h. auch für die bestandesbildende Baumart.
Ein Trupp ist eine kleine Einheit, auf deren Flä-

che im höheren Bestandesalter ca. 3 bis 5 Bäume Platz haben (< 20 m Durchmesser). Bestandesteile mit einem Durchmesser von ca. 20 bis 40 m (entspricht einer Baumlänge im Altholz) werden als Gruppe bezeichnet. Ein Horst beschreibt Bestandesteile mit einem Durchmesser von ca. 40 bis 80 m. Als Streifen werden langgestreckte Bestandesteile bezeichnet (verändert nach DENGLER/RÖHRIG, 1980).

Tab. 10:
Mischungsform
für Baumarten
und
Wuchsklassen

Code	Definition der Mischungsform für Baumarten und Wuchsklassen	Ungefähre Flächengröße der Einzelmerkmale	Ungefähre Anzahl der Baumkronen
1	baumweise	Einzelmischung	1– 2
2	truppweise	0,01–0,03 ha	3– 5
3	gruppenweise	0,04–0,10 ha	6–10
4	horstweise	0,11–0,50 ha	> 10
5	kleinbestandesweise	> 0,50 ha	
6	reihen- oder streifenweise		
7	flächig (bestandesbildende BA)		

Der bestandesbildenden Baumart wird als Mischungsform das Attribut „flächig“ zugeordnet.

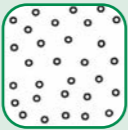
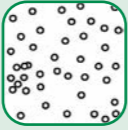

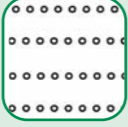
Baumarten mit geringerem Anteil als 10 % können der Vollständigkeit halber mit angeführt werden.

2.9 Verteilung

Die Baumartenverteilung auf der Fläche kann beschrieben werden durch die baumartenunabhängige Anordnung der Individuen auf der gesamten Befundeinheit (vgl. Tab. 11).

In Tab. 12 ist eine mögliche Tabellenform für die Ansprache der Baumarten nach Flächenanteilen und Mischungsformen dargestellt.

Tab. 11:
Baumverteilung

Code	Beschreibung	Einheit
1	gleichmäßig	
2	ungleichmäßig/zufällig	
3	geklumpt	
4	regelmäßig in Reihen	

	Baumart	Wuchsklasse					
		Baumartenanteil [%]		Jungwuchs/ Dickung	Stangenholz	Baumholz	Altholz
Baumart	Baumart 1	50	%	20		30	
			Mi-form 1			3	
	Baumart 2	30	%	10	20		
			Mi-form	3	2		
		%				
			Mi-form				
	Baumart n	20	%			10	10
			Mi-form			1	2
	Baumart x				einige		
	Baumart y					einige	
	Summe	100					

Tab. 12:
Ansprache der Baumarten nach Flächenanteil und Mischungsform

2.10 Mittlere Baumhöhe

Die Bestimmung der mittleren Baumhöhe kann durch Messung an Oberhöhenstämmen (in Metern) oder durch Schätzung erfolgen. Die Verlässlichkeit der Baumhöhenmessung ist

von der vorhandenen/nicht vorhandenen Bodensicht abhängig. Eine Interpolation der Geländehöhe (Bodenoberfläche) ist nur über relativ kurze Distanzen in homogenem Gelände zulässig.

2.11 Mittlere Kronenlänge

Die mittlere Kronenlänge wird geschätzt und erfolgt in Prozent der Baumhöhe. Sie ist nicht

messbar und schwierig zu schätzen (vgl. Parameter „Eintiefung“).

2.12 Mittlere Bestandeshöhe (H_m)

Bei gleichaltrigen Beständen wird ein Mittelwert der Baumhöhe (Oberhöhe) geschätzt, bei ungleichaltrigen Beständen die mittlere

Bestandeshöhe aller Bäume geschätzt und in Metern angegeben.

2.13 Durchschnittlicher Kronendurchmesser und dessen Verteilung

Da der Deckungsgrad die eigentliche Kronenverteilung im Bestand nicht eindeutig beschreiben kann, ist es erforderlich, einen weiteren Parameter als Maß für die Standraumverhältnisse zu erheben. Dabei bieten sich 3 Möglichkeiten an:

Bei der Luftbildinterpretation ist die Ermittlung der Kronendurchmesser die praktikabelste Methode. Größe und Verteilung der Kronendurchmesser auf der Fläche sind abhängig von:

- Kronendurchmesserverteilung
- Baumabstände
- luftbildsichtbare Kronenanzahl

- Baumart
- Bestandesdichte
- Wuchsklasse (natürliche Altersklasse)
- Standort

Einfluss auf die Durchmesserbestimmung haben Bestandesstruktur, Kronengröße, soziologische Stellung des Baumes, Maßstab und Qualität des Luftbildes.

Der Kronendurchmesser ist nur in lockeren bis räumigen Beständen fehlerfrei ermittelbar.

In Abhängigkeit von der erforderlichen Genauigkeit werden verschiedene Verfahren der Erfassung des Kronendurchmessers unterschieden:

- Messverfahren
- Schätzverfahren

Messverfahren

Für *wissenschaftliche Arbeiten* erfolgt die Ermittlung (Messung) des Kronendurchmessers durch photogrammetrische Punktbestimmung oder aus Kronenkarten, die als Ergebnis analytisch-photogrammetrischer Kartierungen entstanden sind.

Vereinfacht kann die Messung des Kronendurchmessers mit Messlupen oder aus Kro-

nenkarten, die nach einfacher Projektion von Hand gezeichnet wurden, erfolgen.

Aus digitalisierten Luftbildern ist der Kronendurchmesser (halb)automatisiert mittels Schwellwertverfahren (SCHNEIDER 1978) oder bildverstehenden Expertensystemen (HAENEL et. al. 1987) ermittelbar.

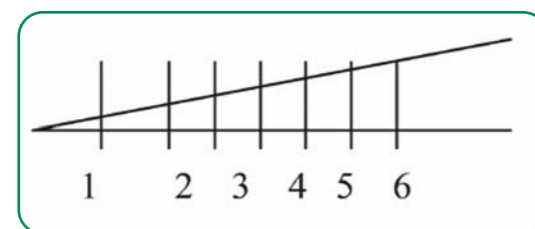
Schätzverfahren

Praxisorientierte Verfahren basieren auf der Bestimmung des Kronendurchmessers unter Verwendung von

- Messkeilen (vgl. Abb. 2),
- Vergleichskreisen (vgl. Abb. 3) oder
- Punktrastern, Gitterrastern (Ausählung von Punkten, Quadraten; nur bei größeren Bildmaßstäben, ab 1 : 5 000)

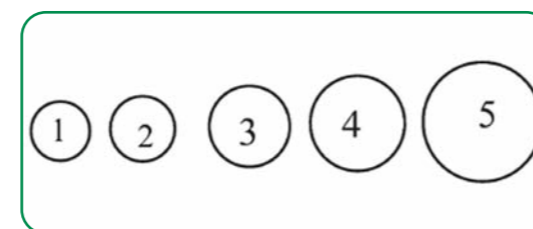
Diese Methoden sind maßstabsabhängig und sollten unter Verwendung eines Stereoskops erfolgen.

■ □ Abb. 2:
Messkeil-Verfahren
(Crown wedges)



Folie mit Messkeil
(Winkel 1,5 ° mit Scala)

□ ■ Abb. 3:
Vergleichskreis-Verfahren
(Dot type crown scales)



Folie mit Kreisen unterschiedlicher
Größe wird vorbei geschoben und der
entsprechende Kreis ausgewählt

2.14 Kronenform

Die Kronenform ist stark abhängig von Baumart, Wuchsklasse, Konkurrenz, Stellung im Bestand, Bestandesbehandlung und Gesundheitszustand. Bei der Verwendung größerer Maßstäbe und der Auswertung einzelner Bäume oder kleiner Gehölze kann die Form der Krone in Kronenkarten dokumentiert oder verbal beschrieben werden.

In der einschlägigen Literatur (EU-MANUAL 2000, POSTLER 1999) werden Empfehlungen für die Auswertung von Einzelbäumen gegeben.

3 Rauigkeit eines Bestandes (einer Befundeinheit)

Die Rauigkeit ist ein wichtiges Merkmal für die Oberflächenbeschaffenheit eines Bestandes. Eine Kennziffer dafür kann aber nicht mehr, wie bei den vorher gehenden Merkmalen, direkt erhoben werden. Explizite Verknüpfungsmodelle werden benötigt, um aus den primären Merkmalen diesen komplexen Parameter herzuleiten. Anzustreben ist eine Eichung bzw. Verifizierung der Ergebnisse des Verknüpfungsmodells mit Daten, die aus digitalen Baumoberflächenmodellen abgeleitet werden können.

Bei der Rauigkeit ist zwischen unterschiedlichen Bezugsebenen für den Begriff „Rauigkeit“ zu unterscheiden:

- **Rauigkeit der Kronenoberfläche:** bezieht sich auf eine einzelne Baumkrone und ist im vorliegenden Interpretationsschlüssel für den Bildmaßstab ca. 1 : 10 000 **nicht beurteilbar**.
- **Rauigkeit des Kronen-Daches R_D :** beschreibt die Vertikalstruktur bei homogener Überschildung ohne Berücksichtigung von Lücken.
- **Rauigkeit des Kronen-Schlusses R_S :** beschreibt die Vertikalstruktur aufgrund von geringer Überschildung und Lücken der Befundeinheit.
- **Rauigkeit des Bestandes R_B :** betrachtet die Gesamtoberfläche des Bestandes (Befundeinheit) unter Berücksichtigung des Bewuchses (Kronendach) und der Überschildung.

Die Ermittlung der endgültigen Bestandes-Rauigkeit R_B setzt sich aus den beiden Komponenten Kronendach-Rauigkeit R_D und Kronenschluss-Rauigkeit R_S zusammen. Es wird zuerst die Ermittlung dieser beiden Einzelkomponenten R_D und R_S besprochen und abschließend deren Verknüpfung zur Bestandes-Rauigkeit R_B vorgenommen.

$$R_D + R_S = R_B$$

Aus dem Luftbild können einige sehr wichtige Merkmale zur Charakterisierung der Rauigkeit eines Bestandes abgeleitet werden. Jedes dieser Merkmale wird unabhängig ermittelt und anschließend über vordefinierte Regeln verknüpft. Die Art und Gewichtung der Verknüpfung der einzelnen Merkmale spielt eine zentrale Rolle, da sie das Ergebnis ganz erheblich beeinflussen kann.

Diese Merkmale sind:

- Diversität des Höhenaufbaues D_H
- Diversität der Nachbarschaft D_N (Nachbarschaftsverhältnisse)
- mittlere Eintiefung S_E des Kronendaches zwischen den einzelnen Baumkronen
- Deckungsgrad gesamt
- lückenbereinigter Deckungsgrad
- Lücken mit Anzahl und Anteil an nicht überschilderter Fläche

3.1 Kronendach-Rauigkeit (R_D)

Zur Bestimmung der Kronendach-Rauigkeit werden die folgenden Interpretationsparameter bestimmt:

- Diversität des Höhengaufbaues D_H
- die Diversität der Nachbarschaft D_N
- die mittlere Eintiefung S_E .

Mit den Prozentwerten der 3 Baumhöhenklassen wird in der Triangelgrafik der D_H -Wert in 5 Stufen ermittelt: Dabei werden auf die strichlierten Linien der entsprechenden Baumhöhenklasse an der Position ihres jeweiligen Prozentanteils Senkrechte gezogen und miteinander zum Schnitt gebracht. Der Schnittpunkt ergibt den entsprechenden Wert D_H (vgl. Abb. 4 und 5).

3.1.1 Diversität des Höhengaufbaues (D_H)

Es werden 3 Baumhöhenklassen (vgl. Tab. 13) eingeführt und deren Anteile in Prozenten geschätzt.

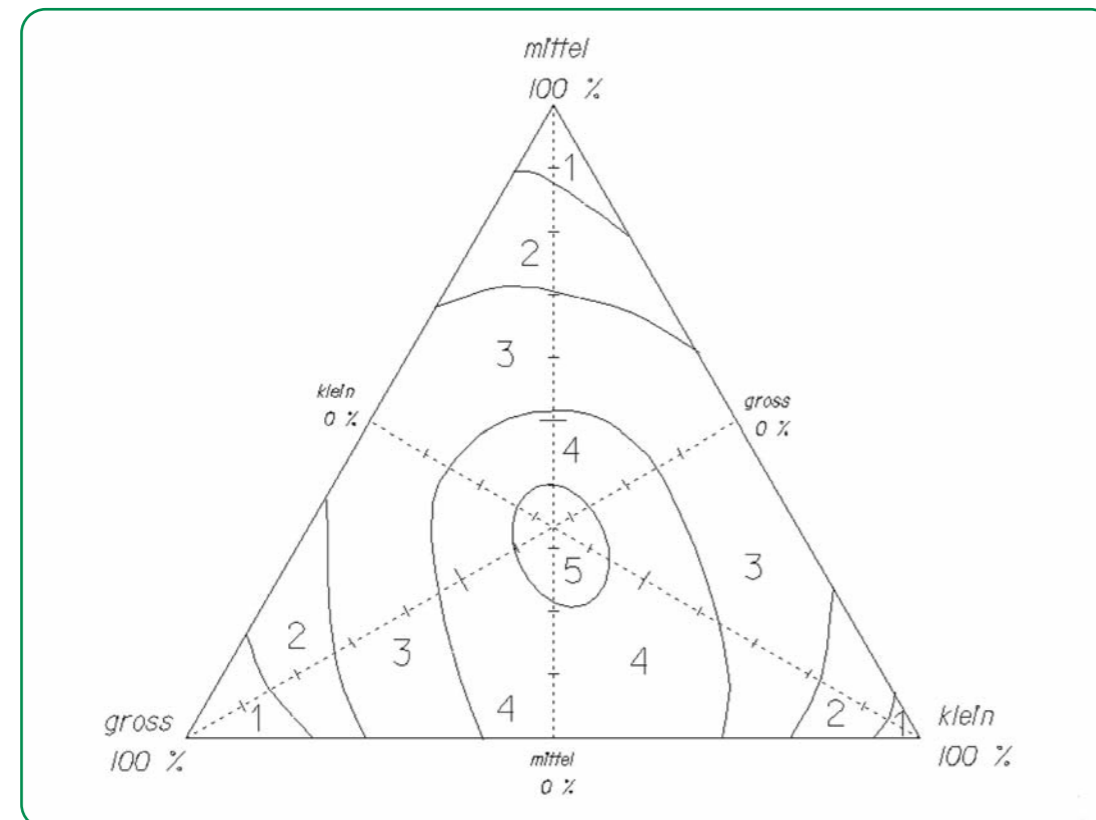
D_H -Wert	Beschreibung
1	sehr gleichförmig
2	gleichförmig
3	durchschnittlich
4	ungleichförmig
5	stark ungleichförmig

Tab. 13:
Diversität des Höhengaufbaues D_H

Tab. 14:
Baumhöhenklassen

Bezeichnung	Höhe	Entsprechung
groß	> 2/3 der Oberhöhe	Baumholz, Alt/Starkholz
mittel	1/3–2/3 der Oberhöhe	Stangenholz
klein	< 1/3 der Oberhöhe	Kultur, Jungwuchs, Dickung

Abb. 4:
Triangelgrafik zur Ermittlung des D_H -Wertes (Diversität des Höhengaufbaues)



Beispiel A:

Klein 1
Mittel 3
Groß 6

$D_H=3,0$

Beispiel B:

Klein 5
Mittel 1
Groß 4

$D_H=4,0$

Beispiel C:

Klein 3
Mittel 7
Groß 0

$D_H=2,0$

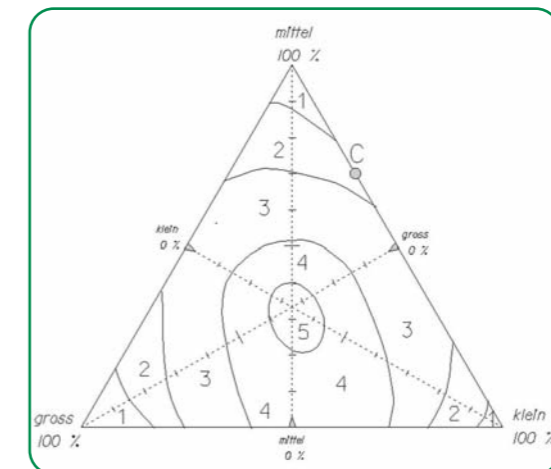
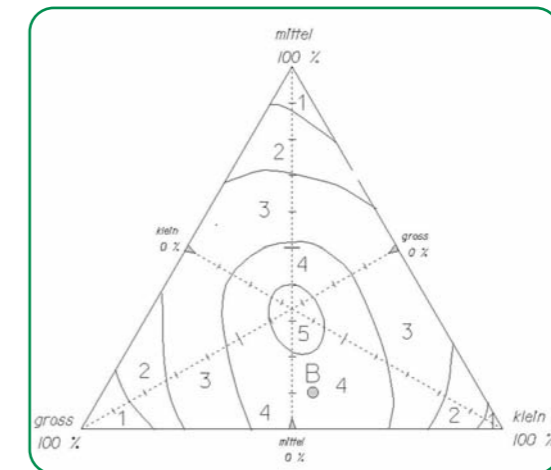
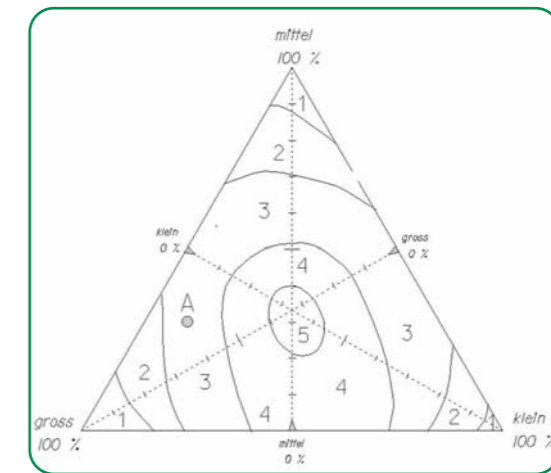


Abb. 5:
Ablesebeispiele für drei verschiedene Kombinationen von Baumhöhen in einem Bestand und dem entsprechenden D_H -Wert

3.1.2 Diversität der Nachbarschaft (D_N)

Die Nachbarschaftsverhältnisse der Einzelbäume innerhalb eines Bestandes werden in 5 Klassen in Hinblick auf die Baumhöhenklassen (vgl. Diversität der Höhe) ermittelt. Es wird für die Gesamtbeurteilung der Befundeinheit der **überwiegende Anteil der Zugehörigkeit eines Baumes zu seinen unmittelbaren Nachbarn** ermittelt.

D_N -Wert	Beschreibung
1	Nachbar gehört fast immer zur gleichen Baumhöhenklasse
2	Nachbar gehört überwiegend zur gleichen Baumhöhenklasse
3	Nachbarschaftsverhältnis ausgeglichen
4	Nachbar gehört selten zur gleichen Baumhöhenklasse
5	Nachbar gehört fast nie zur gleichen Baumhöhenklasse

Tab. 15: Diversität der Nachbarschaft D_N

3.1.3 Mittlere Eintiefung (S_E)

Darunter sind die relativen Höhenunterschiede zwischen den Baumkronen innerhalb der gesamten Befundeinheit zu verstehen, jedoch nicht zwischen Baumkronen und Bestandeslücken! Die Eintiefung berücksichtigt die Eigenheit der Baumarten und ihrer Kronenformen, aber auch vorangegangene Eingriffe (z. B. Hochdurchforstung) und damit auch stammzahlarme und stammzahlreichere Bestände. Die Eintiefung wird **nicht schichtweise beurteilt**, sondern berücksichtigt die Höhenunterschiede zwischen allen Bestandesmitgliedern und folgt in ihrer Einteilung etwa den Höhenunterschieden der natürlichen Altersklassen. Dabei wird der am häufigsten vorkommende Höhenunterschied (mittlere Eintiefung) zwischen den einzelnen Bestandesmitgliedern, in 5 Klassen unterteilt, geschätzt. Die Klassenbildung erfolgt in Meterbereichen bezogen auf die mittlere Eintiefung in einem Bestand. Bei sehr lockerem Deckungsgrad und freistehenden einzelnen Bäumen ist die größte Eintiefungsklasse (25 m) anzunehmen.

Je nach Anwendungsfall können aus den geschätzten Höhenunterschieden beliebige



Es beeinflussen sowohl die Anteile unterschiedlicher Baumhöhen (D_H) als auch deren Verteilung (D_N) die Struktur des Kronendaches. In Abb. 6 sind Bestände skizziert, die den gleichen Anteil unterschiedlich hoher Bäume aufweisen. Sie unterscheiden sich allerdings hinsichtlich der Verteilung bzw. der Nachbarschaftsverhältnisse.

Eintiefungsklassen gebildet werden. Als Beispiel ist eine Gliederung in 5 Klassen angeführt:

Klasse	Eintiefungsbereich (S_E)
1	0– 5 m
2	6–10 m
3	11–15 m
4	16–20 m
5	≥ 21 m

Tab. 16: Klassen für mittlere Eintiefung S_E

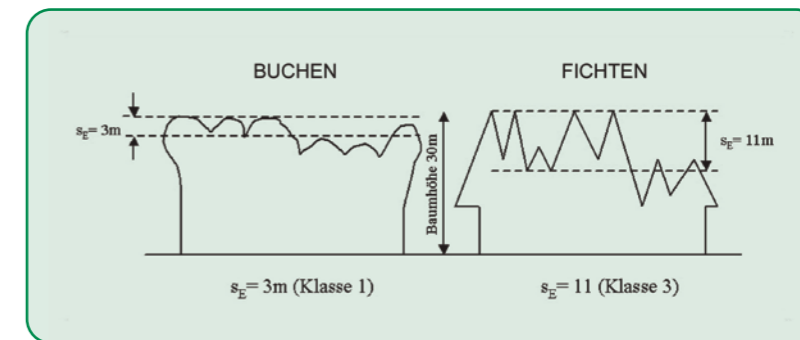


3.1.4 Kronendach-Rauigkeit (R_D)

Um die Faktoren Diversität des Höhenaufbaues D_H , Diversität der Nachbarschaft D_N und mittlere Eintiefung S_E zu verknüpfen, wurde ein Ansatz gewählt, der in Form einer Matrix die beiden Eingangsparameter D_H und D_N verbindet. Die mittlere Eintiefung wird dabei durch die Wahl der zutreffenden Klasse und deren Grafik berücksichtigt (vgl. Abb. 8).

Aus den Diagrammen ergibt sich eine endgültige Kronendach-Rauigkeit R_D in 5 Stufen.

$$R_D = f(D_H, D_N, S_E)$$



R_D ... Kronendach-Rauigkeit
 D_H ... Diversität des Höhenaufbaues
 D_N ... Diversität der Nachbarschaft
 S_E ... mittlere Eintiefung

R_D -Wert	Beschreibung
1	sehr glatt
2	glatt
3	mittel
4	rau
5	sehr rau

Abb. 7: Symbolische Grundriss- und Aufriss-skizzen (links) und Aufriss-skizzen (rechts) von Baumgruppen mit den skizzierten Schätzwerten für die Eintiefung S_E zwischen den einzelnen Baumkronen und der geschätzten Eintiefung S_E

Tab. 17: Kronendach-Rauigkeit R_D in 5 Stufen

3.2 Kronenschluss-Rauigkeit (R_S)

Die Ermittlung der Kronenschluss-Rauigkeit R_S kommt bei inhomogenen Beständen mit einer Überschirmung unter etwa 0,8 zur Anwendung, wobei auch Lücken enthalten sein können. Dabei werden die folgenden Merkmale ermittelt:

- mittlere Bestandeshöhe H_m der Befundeinheit
- lückenbereinigter Deckungsgrad
- Lückenanteil an der Gesamtfläche
- Anzahl der Lücken bezogen auf 1 ha.

Rauigkeit R_{S-1} . Dabei wird die mittlere Bestandeshöhe H_m mit dem lückenbereinigten Deckungsgrad gemäß der Tab. 18 oder Abb. 9 verknüpft (vgl. Tab. 18 und Abb. 9):

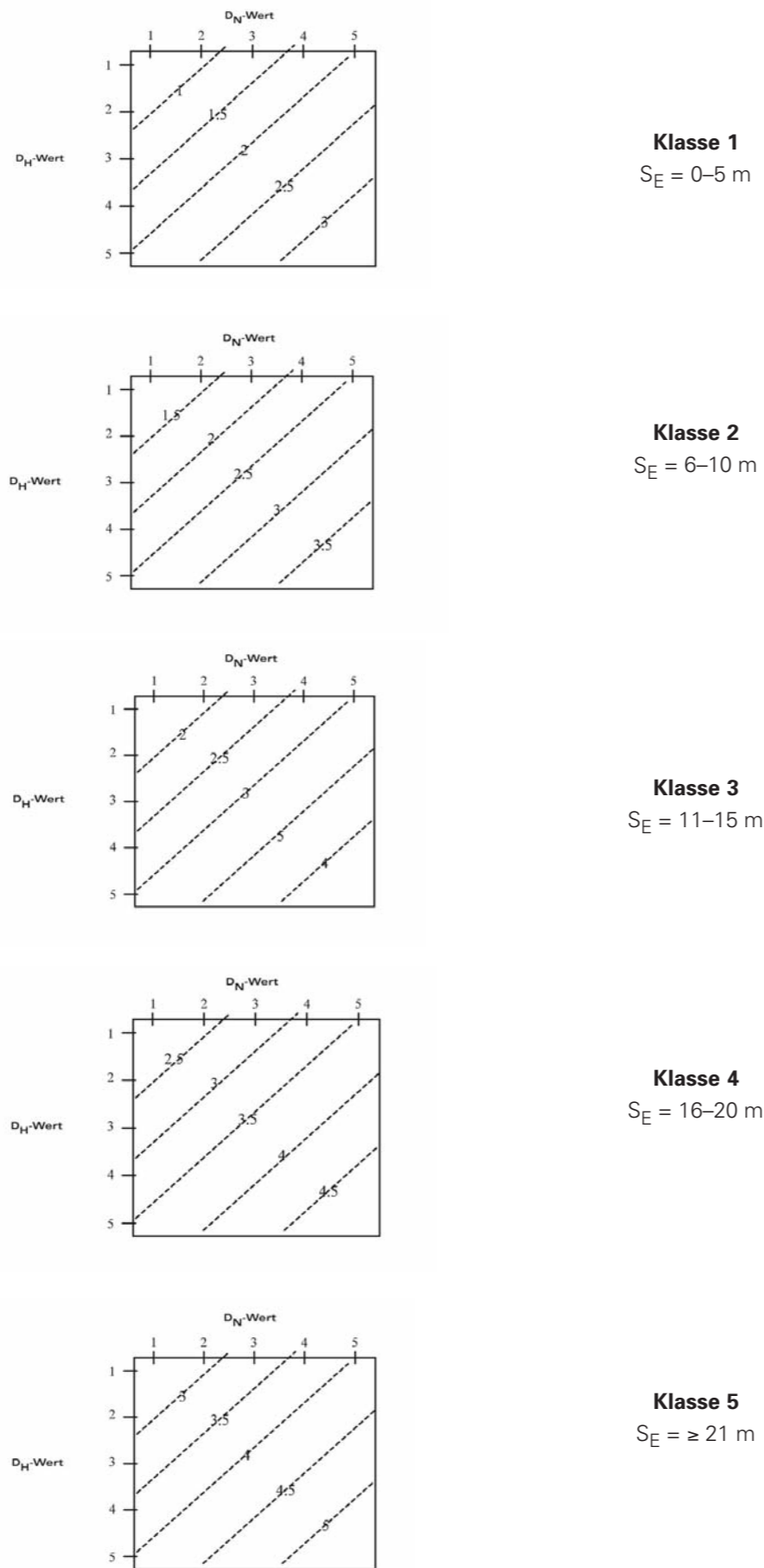
$$R_{S-1} = f(\text{mittlere Bestandeshöhe } H_m, \text{ lückenbereinigter Deckungsgrad})$$

$$R_{S-1} = \sqrt{H_m} * (1 - \ddot{U}) + 1$$

3.2.1 Vorläufige Kronenschluss-Rauigkeit (R_{S-1})

Die Verknüpfung der Merkmale mittlere Bestandeshöhe H_m und lückenbereinigter Deckungsgrad ergibt die vorläufige Kronenschluss-

Abb. 8:
Kronendach-Rauigkeit R_D :
Verknüpfung:
Diversität Nachbarschaft D_N – Diversität Höhengaufbau D_H in Abhängigkeit von den 5 Klassen der mittleren Eintiefung S_E



lückebereinigter Deckungsgrad	mittlere Bestandeshöhe H_m					
	40	30	20	10	5	2
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,9	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1
0,8	2,3	2,1	1,9	1,6	1,4	1,3
0,7	2,9	2,6	2,3	1,9	1,7	1,4
0,6	3,5	3,2	2,8	2,3	1,9	1,6
0,5	4,2	3,7	3,2	2,6	2,1	1,7
0,4	4,8	4,3	3,7	2,9	2,3	1,8
0,3	5,4	4,8	4,1	3,2	2,6	2,0

Tab. 18:
Vorläufige Kronenschluss-Rauigkeit R_{S-1} (Zusammenhang mittlere Bestandeshöhe H_m , lückebereinigter Deckungsgrad, vorläufige Kronenschluss-Rauigkeit)

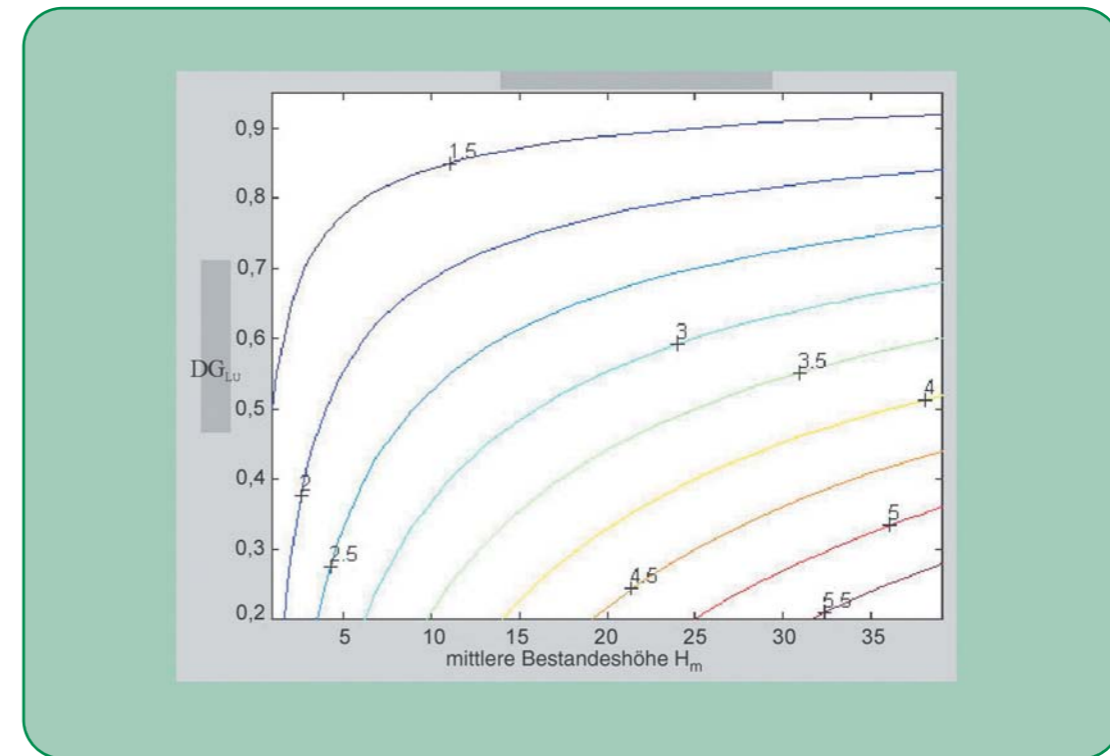


Abb. 9:
Vorläufige Kronenschluss-Rauigkeit R_{S-1} (Zusammenhang mittlere Bestandeshöhe H_m , lückebereinigter Deckungsgrad, vorläufige Kronenschluss-Rauigkeit)

Begründung:

- Mit Abnahme der Überschirmung wird ein Bestand rauer.
- Je höher der Bestand, desto größer ist die Höhendifferenz zwischen einem Einzelbaum und einem Bodenpunkt. Folglich nimmt die Rauigkeit mit zunehmender Höhe zu.

Die abnehmende Überschirmung hat jedoch einen größeren Einfluss als die Zunahme der Höhe auf die Rauigkeit des Kronenschlusses. Aus diesem Grund geht die Höhe nur mit ihrer Wurzel (vgl. Formel) ein. Der Faktor „1“ dient lediglich zur Skalierung von R_S zwischen 1 und 5 (bei zu erwartenden

Baumhöhen bis 40 m). Daraus ergibt sich der vorläufige Rauigkeitswert des Kronenschlusses. Vorhandene Lücken im Bestand müssen jedoch berücksichtigt werden und führen wie im Folgenden beschrieben zu einer Modifizierung dieses Wertes.

3.2.2 Zuschläge für Lücken (Flächenanteil und Anzahl)

Da der Flächenanteil und die Anzahl von eventuell vorhandenen Lücken einen wesentlichen Einfluss auf die Rauigkeit haben, werden diese

Tab. 19: Zuschlagszahl entsprechend der Anzahl der Lücken pro ha

Anzahl Lücken pro ha	Zuschlag Anzahl Lücken pro ha
≥ 3	1,5
2,5	1,25
2	1
1,5	0,75
1	0,5
0,5	0,25
0	0

Tab. 20: Zuschlagszahl entsprechend des prozentualen Lückenanteils an der Gesamtfläche

% Lücken an der Gesamtfläche	Zuschlag % Lücken
0	0
10	0,2
20	0,4
30	0,6
40	0,8
50	1

3.3 Bestandes-Rauigkeit (R_B)

Die Bestandes-Rauigkeit R_B ergibt sich aus der Summe der Kronendach-Rauigkeit R_D und der Kronenschluss-Rauigkeit R_S . Die Werte für die Bestandes-Rauigkeit R_B können von 1 (extrem glatt) bis 13 (extrem rau) schwanken. In Spezialfällen kann je nach dem Projektziel eine Gewichtung der Rauigkeiten vorgenommen werden (je nach der Zielsetzung, ob eher die Kronendach-Rauigkeit R_D oder die Kronen-

Merkmale herangezogen und in das Bewertungsmodell einbezogen. Die schon eingangs erhobenen Merkmale Anzahl und Anteil der Lücken dienen zur Bildung eines Zuschlagsfaktors, mit dem der Wert der Kronenschluss-Rauigkeit R_S korrigiert wird.

Dabei kommen Zuschläge bis 1,0 Einheiten **sowohl** bei 50 % Lücken **als auch** zusätzlich 1,5 Einheiten bei mehr als 3 vorhandenen Lücken/ha zur Anwendung, die Gesamtzuschlagszahl kann demnach maximal den Wert 2,5 erreichen.

Als Endergebnis erhält man den um die Lückenzuschlagszahlen verbesserten Wert der Kronenschluss-Rauigkeit R_S .

$$R_S = f(\text{mittl. Bestandeshöhe } H_m, \text{Überschirmung, Lücken})$$

$$R_S = R_{S-1} + Z_AnzLü/ha + Z_Lü$$

schluss-Rauigkeit R_S bzw. die Lückigkeit der Befundeinheit im Vordergrund steht).

$$R_B = R_D + R_S$$

R_B endgültige Bestandes-Rauigkeit (max. 13)
 R_D Kronendach-Rauigkeit (max. 5)
 R_S Kronenschluss-Rauigkeit (max. 5,5 + Zuschlag Lücken)

4 Kronenzustand und dessen Verteilung

Kronenzustand

Der Kronenzustand kann entweder einzelbaumweise oder bestandesweise ermittelt werden.

4.1 Kronenzustand einzelbaumweise

Bei einer einzelbaumweisen Ermittlung des Kronenzustandes werden in der Regel Stichprobenraster mit je nach Zielsetzung unterschiedlichen Rasterweiten und Designs angewendet. Alle Verfahren mit dem Einzelbaum als Interpretationsobjekt erfordern große Bildmaßstäbe und sind bei engen Stichprobennetzen arbeitsintensiv. Die Übertragung einzelbaumweise erhobener Befunde auf eine definierte Waldfläche erfordert ein entsprechend

zugeschnittenes Stichprobendesign. Die Besonderheiten des Luftbildes, wie Zentralperspektive und Maßstabsunterschiede je nach Geländehöhe, sind zu beachten. Für die Ermittlung des Kronenzustandes auf der Basis von Einzelbaumbewertungen wird auf die VDI-Richtlinie 3793 und das EU-Manual „Remote Sensing Applications for Forest Health Status Assessment“, Second Edition ISBN 92-828-8144-X verwiesen.

4.2 Kronenzustand bestandesweise

Die Erhebung flächendeckender Daten über den Waldzustand kann mit verschiedenen Verfahren geschehen. Diese unterscheiden sich durch unterschiedliche Klassifizierungsansätze, durch die Intensität der Aufnahme sowie durch die eingesetzten Bildmaßstäbe. Bei der Erfassung gravierender Bestandeschäden auf regionaler Ebene kann der Einsatz von Satellitendaten für die flächendeckende Schaderfassung sinnvoll sein. Neuere Aufnahmesysteme mit hoher geometrischer und radiometrischer Auflösung (z. B. IKONOS) erlauben digitale oder visuelle Kartierungen von Waldzuständen mit einem Zielmaßstab bis etwa 1 : 20 000.

Die methodische Lücke zwischen Einzelbaumerfassung mittels großmaßstäbiger Luftbilder und Satellitenfernerkundung wird durch zwei, auf kleinmaßstäbigen Luftbildern basierenden Verfahren geschlossen.

- HEIDINGSFELD (1993) schlägt eine flächenintegrierende, bestandesweise Luftbildinterpretation auf der Basis von Luftbildern mit einem mittleren Bildmaßstab von etwa 1 : 12 500 vor. Der Anteil deutlich geschädig-

ter Bäume wird anhand von Texturmerkmalen (Kronenmuster) der Bestandesoberfläche geschätzt und in 4 Stufen klassifiziert. Die erforderlichen Interpretationsschlüssel für Buchen- und Fichtenbestände sind im EU-Manual, Kap. 5.3 (European Commission 2001) dokumentiert.

- GROSS (1993) setzt ebenfalls CIR-Filmmaterial, aber mit noch kleineren Bildmaßstäben bis zu 1 : 20 000 ein. Seine Interpretationsschlüssel werden jeweils für das betreffende Untersuchungsgebiet neu entwickelt. In einer ersten Stufe der Interpretation werden die zu untersuchenden Waldgebiete anhand von Texturmerkmalen auf die dominierenden Baumarten hin stratifiziert, die abgegrenzten, homogenen Bestandesteile werden dann in einem zweiten Schritt aufgrund ihrer spektralen Reflexion in 3 Schadklassen eingeteilt. In gewissem Sinne wird damit das moderne, segmentorientierte Klassifizierungsverfahren (ecognition) durch einen analog-visuellen Ansatz vorweggenommen.

4.3 Kronenzustandsverteilung

Bei der einzelbaumweisen Interpretation kann die Verteilung der Kronenzustände analog der Definition der Mischungsform für Baumarten

und Wuchsklassen (Tab. 10) und der Baumverteilung (Tab. 11) beschrieben werden (vgl. Tab. 21 und Tab. 22).

Tab. 21: Räumliche Verteilung der Kronenzustände (analog Tab. 10 „Mischungsform für Baumarten und Wuchsklassen“)

Code	Räumliche Verteilung der Kronenzustände (analog Tab. 10)	Ungefähre Flächengröße der Einzelmerkmale	Ungefähre Anzahl der Baumkronen
1	baumweise	Einzelmischung	1– 2
2	truppweise	0,01–0,03 ha	3– 5
3	gruppenweise	0,04–0,10 ha	6–10
4	horstweise	0,11–0,50 ha	> 10
5	kleinbestandesweise	> 0,50 ha	
6	reihen- oder streifenweise		
7	flächig (bestandesbildende BA)		

Tab. 22: Verteilung der Kronenzustände (vgl. Tab. 11)

Code	Baumverteilung	Beispiel
1	gleichmäßig	
2	ungleichmäßig/zufällig	
3	geklumpt	
4	regelmäßig in Reihen	

5 Ermittlung des Totholzanteiles

Die im Folgenden vorgestellte Ermittlung des Totholzanteiles basiert auf Arbeiten und Publikationen von PROF. B. KLEINSCHMIT, geb. HOFFMANN (HOFFMANN, B. 2001; AKCA, A., KAHLE, M., HOFFMANN, B. 1997).

Bei der Interpretation des Totholzes werden die drei Parameter Totholzart, Verteilung des Totholzes und Menge des Totholzes erfasst.

5.1 Totholzart

Totholz im forstlichen Sinne ist jenes Holz, welches durch Absterben von Baumteilen oder ganzer Bäume stehend und liegend im Wald anfällt. Holz, welches zum Abtransport bereitgelegt wurde, gehört nicht zum Totholz. Bei der Kartierung werden nur solche Objekte als Totholz interpretiert, deren luftbildsichtbarer Teil keine lebensfähigen Bereiche mehr aufweist. Zopftrockniss oder Wipfelbrüche mit sichtbaren Grünästen im unteren Kronenbereich werden nicht als Totholz beurteilt, sondern können als Sondermerkmal aufgenommen werden.

Ist die Ursache des Absterbens erkennbar und von Interesse, kann diese ebenfalls als zusätzliches Merkmal aufgenommen werden. Mögliche Ursachen können z. B. Windwurf, Schneebruch, Lawinen, Käfer, Feuer oder Alterung sein.

Totholz ist sehr vielgestaltig und kann in allen Altersklassen auftreten. Die Tab. 23 beschreibt eine mögliche Klassifizierung. Die unterschiedlichen Totholztypen werden getrennt nach stehendem und liegendem Totholz sowie nach

Totholzart		Zersetzungsgrad	Anmerkung
Totholz stehend	stehender ganzer Baum oder Kronenteile	frisch abgestorben (Nadel-/Blattreste)	nur in der Oberschicht sichtbar
		beginnende Zersetzung (Feinreisig)	
		fortgeschrittene Zersetzung (Grobreisig)	
Totholz stehend	Restbaum durch Schaftbruch (> 1,3 m)	nicht interpretierbar	häufig durch Überschirmung oder Beschattung nicht sichtbar
	Baumstumpf bis 1,3 m		
Totholz liegend	liegender Baum	mit Wurzel-teller	Zersetzung oder fortgeschrittene Zersetzung durch Überschirmung, Beschattung oder Laubstreu nicht sichtbar
		frisch abgestorben	
		beginnende Zersetzung	
	liegender Baum	ohne Wurzel-teller	fortgeschrittene Zersetzung
		frisch abgestorben	
Stammteile, Äste, Schlagabraum		nicht interpretierbar	
Wurzel-teller			

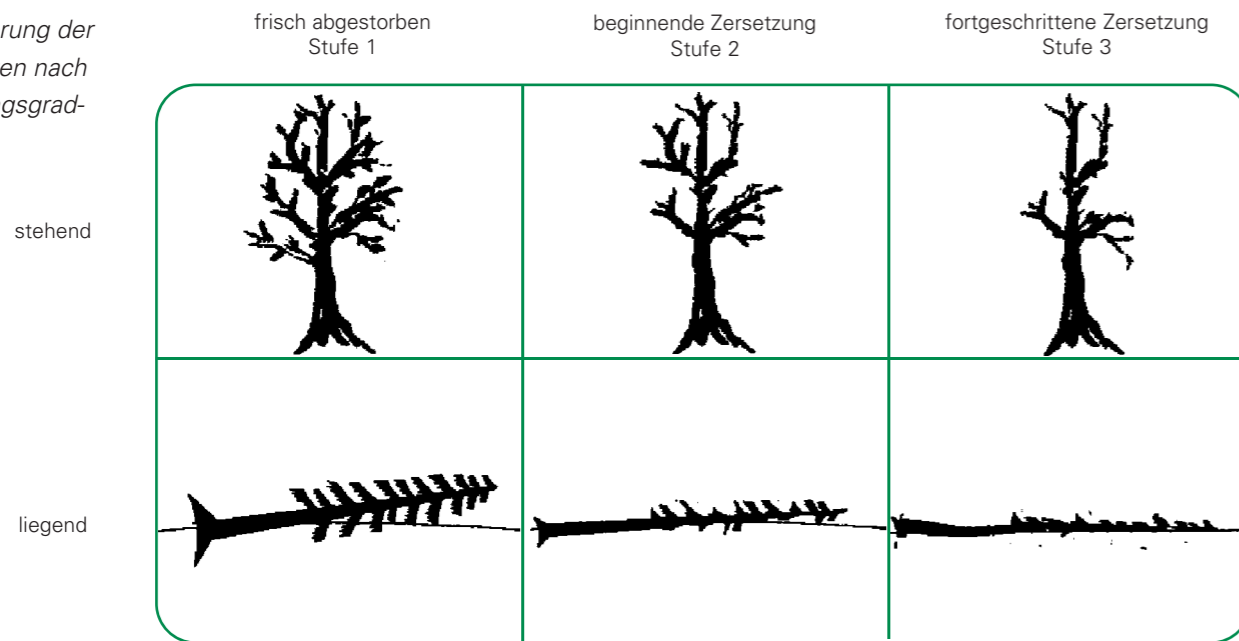
Tab. 23: Totholzarten und ihre Luftbildsichtbarkeit aus CIR-Luftbildern in der belaubten Zeit

unterschiedlichen Zersetzungsgraden aufgliedert. Im CIR-Luftbild ist durch die typischen Reflexionseigenschaften des abgestorbenen Baumes die Interpretation von stehendem Totholz in der Bestandesoberfläche gut möglich.

Die Aufnahme von liegendem und unterständigem Totholz ist dagegen stark vom Bestockungsgrad, dem Relief und der Totholzart abhängig. Übershirmung, Beschattung, Überdeckung mit Laub oder Moos sowie ähnlichen Reflexionseigenschaften von Laubstreu und

Totholz machen die Interpretation des liegenden Totholzes schwierig (HOFFMANN 2001, MÜNCH 1995). Auf flächigen Wüfen hingegen ist in den ersten Jahren nach dem Ereignis das liegende Totholz gut sichtbar. Die Beurteilung des Zersetzungsgrades (vgl. Abb. 10) hängt sehr stark vom Bildmaßstab ab. Am stehenden Totholz ist die Ansprache über den Aufbau der Kronen noch am einfachsten erkennbar, unterschiedliche Zersetzungsstufen an liegenden Bäumen oder Baumteilen sind oft nur schwer sichtbar.

Abb. 10: Klassifizierung der Totholzarten nach Zersetzungsgradstufen



5.2 Verteilung des Totholzes

Zur Beschreibung der räumlichen Verteilung können Begriffe aus der Forsteinrichtung verwendet werden. Die räumliche Verteilung des Totholzes

kann analog der Mischungsform nach Tab. 10 beurteilt werden (vgl. Tab. 24).

Code	Räumliche Verteilung von Totholz (analog Tab. 10)	Ungefähre Flächengröße	Ungefähre Anzahl der Baumkronen
1	baumweise	Einzelmischung	1– 2
2	truppweise	0,01–0,03 ha	3– 5
3	gruppenweise	0,04–0,10 ha	6–10
4	horstweise	0,11–0,50 ha	> 10
5	kleinbestandesweise	> 0,50 ha	
6	reihen- oder streifenweise		
7	flächig (bestandesbildende BA)		

Tab. 24: Räumliche Verteilung von Totholz (analog Tab. 10 „Mischungsformen für Baumarten und Wuchsklassen“)

5.3 Menge des Totholzes

Für die Festlegung der Totholzmenge aus dem Luftbild können in Abhängigkeit vom Inventurziel unterschiedliche Verfahren angewendet werden:

- Zählen der Stammzahl
- Einteilung nach Stammzahlklassen
- Schätzung des Flächenprozentes.

Bei seltenen Ereignissen, wie z. B. einzelstammweisen Ausfällen aufgrund natürlicher Alterung oder für Untersuchungen in Naturwäldern, wird die Anzahl der luftbildsichtbaren Totholzbäume optimalerweise durch **Zählen** erhoben. Tritt das Totholz flächig auf, so ist die Menge an toten Bäumen gut über ein **Flächenprozent** abzuschätzen (SCHERRER 2000). Eine direkte Schätzung des Totholzvolumens erscheint aufgrund der Verdeckung, Übershirmung oder Beschattung nicht praktikabel. Ist die genaue Anzahl von nicht so großer Bedeutung, so können Klassen gebildet werden.

Klasse	Kriterien
1	0–2 Bäume pro ha oder vereinzelt schwächeres, stehendes und liegendes Totholz (Stangenholz)
2	3–5 Bäume pro ha oder stehendes und liegendes Totholz, vereinzelt auch stärkere Dimensionen (Baumholz)
3	> 5 Bäume pro ha oder häufig vorhandenes, stärkeres stehendes und liegendes Totholz (Baum-Stark-Altholz)

Tab 25: Beispiel für Totholz-Stammzahlklassen (geändert nach PRIETZEL 1994)

5.4 Weiterführende Literatur

AKÇA, A., KAHLE, M. HOFFMANN, B. (1997): Waldmeßkundliche Wiederholungsaufnahme der 2 Kernflächen der Naturwaldzelle „Ochsenberg“ im Forstamt Paderborn. Zustandserfassung und Erfassung der Veränderungen. Ergebnisbericht für die Landesanstalt für Ökologie Bodenordnung und Forsten /Landesamt für Agrarordnung (LÖBF/LAFAO) Nordrhein-Westfalen.

HOFFMANN, B. (2001): Untersuchung zum Monitoring von Naturwäldern mit Hilfe von Geo-Informationssystemen, modernen Luftbildauswertungsverfahren und Geostatistik – dargestellt am Beispiel des nordrhein-westfälischen Naturwaldreservates Hellerberg. Diss. Univ. Göttingen. Cuvillier Verlag, Göttingen.

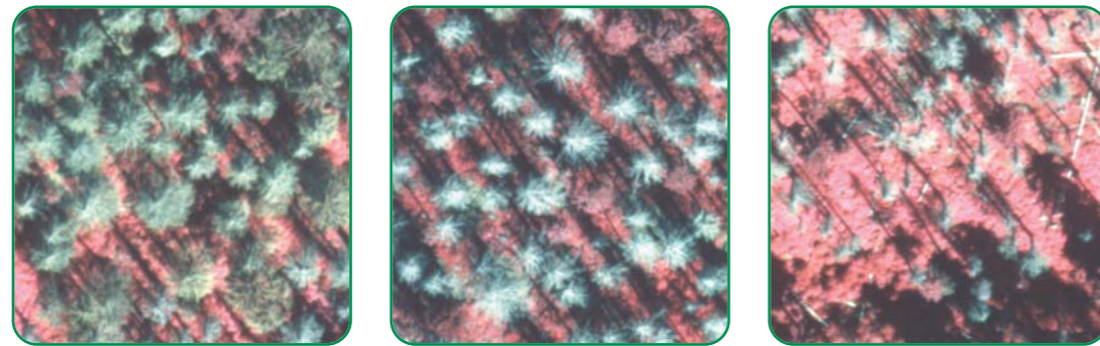
MEYER, P., BARTSCH, N. & AFL (2002): Merkblatt Methoden der Totholzerfassung im Walde, Kapitel 4 Fernerkundung. Erarbeitet im Auftrag der Sektion Waldbau des Deutschen Verbandes Forstlicher Forschungsanstalten.

MÜNCH, D. (1995): Dokumentation von Waldstrukturen mit Luftbildern aus der laublosen Zeit. Forst und Holz 50: 44–48.

PRIETZEL, U. (1994): Praxisorientierte Verfahren zur Totholzaufnahme in Wirtschaftswäldern. AFZ 2/1994: S. 96–98.

SCHERRER, H.U. (2000): Anleitung zur Erfassung von Sturmschäden im Wald anhand von Farbbildern im Maßstab 1 : 15 000. Interpretationshandbuch, Eigenverlag.

Abb. 11–13:
Totholz stehend
(Maßstab ca.
1 : 1 000)

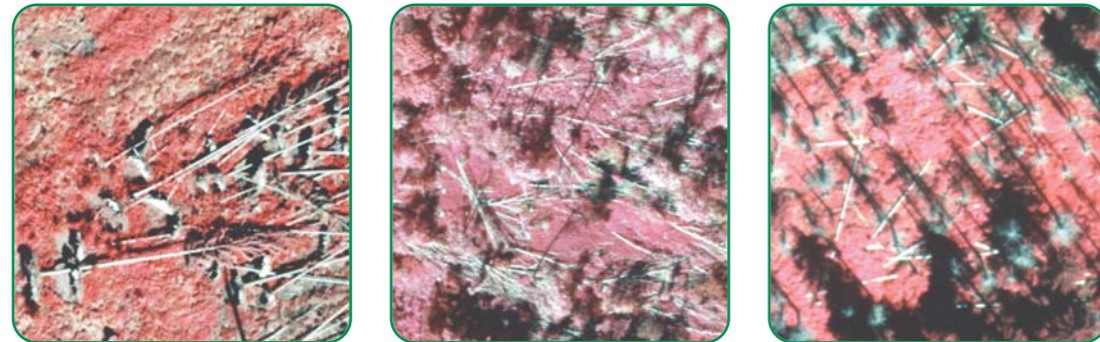


Stufe 1

Stufe 2

Stufe 3

Abb. 14–16:
Totholz liegend
(Maßstab ca.
1 : 1 000)

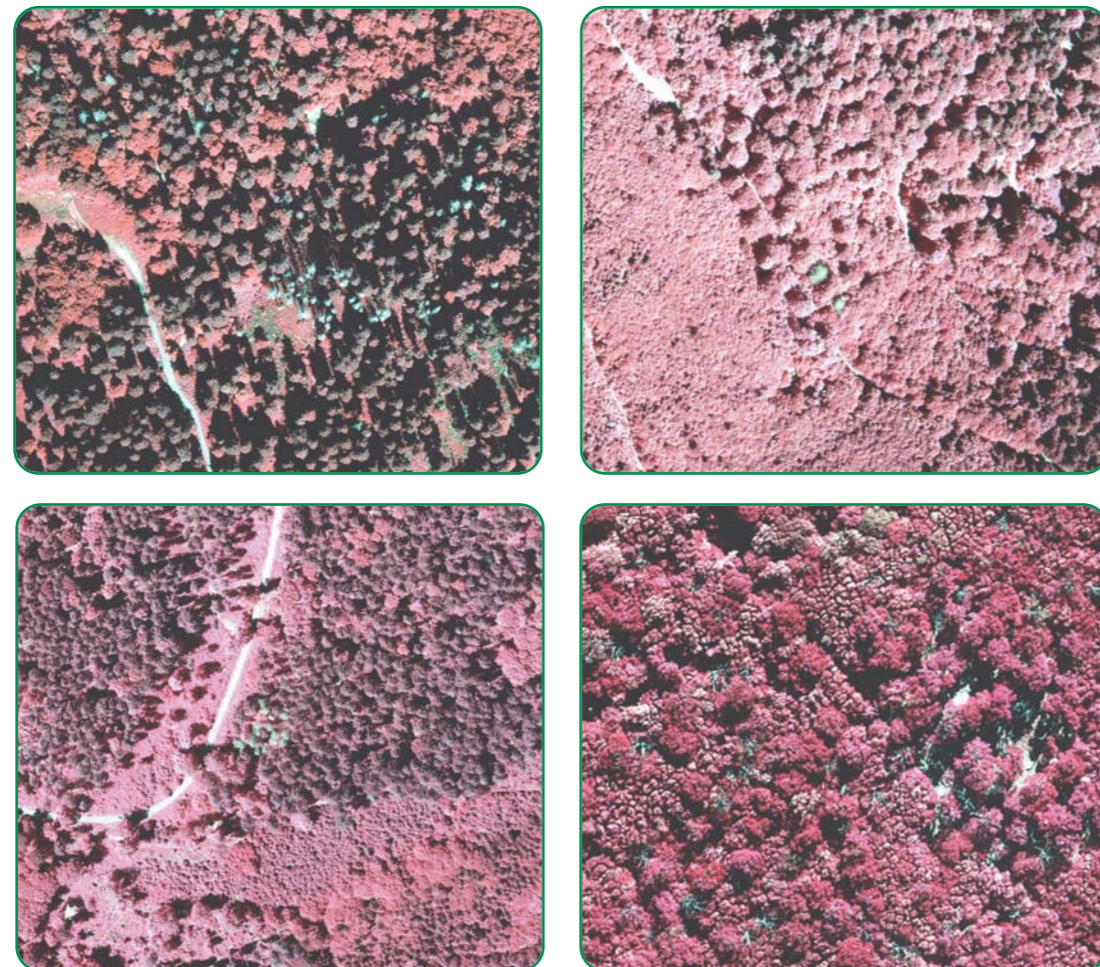


Stufe 1

Stufe 2

Stufe 3

Abb. 17–20:
Totholz stehend im
Bestand
(Maßstab ca.
1 : 5 000)



6 Waldränder

6.1 Waldränder und Waldrandstrukturen

Waldränder sind wichtige Elemente der Landschaft und als Grenze zwischen verschiedenen Landschaftselementen von besonderer Bedeutung:

- für die angrenzenden Landschaftselemente selbst, z. B. als Schutz vor Wind und Sturm, zu intensiver Sonneneinstrahlung oder gegen die Einwehung von Fremdstoffen,
- für den Artenreichtum sowohl der Pflanzen- wie auch Tierwelt,
- für das Landschaftsbild und den Erholungswert der Landschaft.

Im Luftbild sind Waldränder im Allgemeinen gut erkennbar und zu kartieren, viele Interpretationen sind auch schon im Orthobild möglich.

Der Waldrand als Übergangsbereich kann als Linie ausgewiesen werden oder, mit einer gewissen Breite, auch als Fläche. Es kann auch zu fließenden Übergängen zwischen einer geschlossenen Waldfläche und offener Landschaft mit einzelnen Bäumen kommen. Solche Übergangszonen können als eigene Flächenkategorie ausgewiesen werden. Die Art der Kartierung und Lage der Abgrenzung (Parzellengrenze, Kronenmitte der Traufbäume, Außenrand der Traufbäume, Außenrand des Saumes, Weg etc.) hat auch einen Einfluss auf die Größe der angrenzenden Wald- bzw. Nichtwaldflächen. Bei der Abgrenzung sind die Zielsetzung des Projektes und die gesetzliche Walddefinition zu berücksichtigen.

Wegen der unterschiedlichsten Interessen, die

den Waldrändern als Grenzen in der Landschaft entgegengebracht werden, ist eine Bewertung schwierig. Jede Interessensgruppe hat ihre Idealvorstellungen und neigt zu unterschiedlicher Gewichtung der Teilelemente eines Waldrandes. Hierbei steht häufig eine bestimmte Funktion im Vordergrund.

Waldränder haben verschiedene Funktionen gleichermaßen zu erfüllen und unterliegen einer natürlichen Dynamik. Bei der Beurteilung ist mit einem Mosaik verschiedener qualitativer Ausprägungen zu rechnen. Als wichtigste Elemente bei der Beurteilung von Waldrändern haben sich seine Länge und Stufigkeit und hier die Breite der einzelnen Zonen (Saum aus Wildkräutern, Hochstauden und Gräsern; Mantel aus Sträuchern und Bäumen II. Ordnung; Baumzone aus Bäumen I. Ordnung) erwiesen. Für die Planung möglicher Pflege- oder Entwicklungsmaßnahmen sind die angrenzenden Landschaftselemente, die Exposition und die natürliche Altersstufe des Waldes von Bedeutung.

Im Folgenden werden Möglichkeiten der quantitativen und qualitativen Bewertung vorgeschlagen. Auf Basis dieser Merkmale kann versucht werden, den Grad der Erfüllung einer oder mehrerer Funktionen eines Waldrandes zu bewerten. Je nach der spezifischen Fragestellung des zu bearbeitenden Projektes empfiehlt es sich, nur eine Auswahl zu bearbeiten (z. B. nur Waldränder zur offenen Landschaft hin) oder die folgenden Merkmale durch Zusammenfassen mehrerer Klassen zu vereinfachen bzw. weiter zu differenzieren.

6.2 Quantitative Bewertung

Die quantitative Bewertung der Waldränder ist möglich mittels

- gemessener oder geschätzter Länge im vorgegebenen Bezugsgebiet,
- Zahl der Schnittpunkte mit einer vorgegebenen Transektlinie,

- anderer Landschaftsstrukturmaße „Landscape Metrics“ (area metrics; patch density; size and variability metrics; edge metrics; shape metrics; core area metrics; nearest neighbor metrics; diversity metrics; etc.) (MCGARIGAL, K. and MARKS, B.J. 1994; WALZ, U. 2001).

6.3 Qualitative Bewertung

Die qualitative Bewertung der Waldränder kann für einen bestimmten Abschnitt oder an einem Transekt Schnittpunkt durch die Beschreibung

- der angrenzenden Landschaftselemente (vgl. Tab. 26),
- ihrer Exposition (vgl. Tab. 27),

- ihres Verlaufes (vgl. Tab. 28),
- ihrer Artenzusammensetzung (vgl. Tab. 29),
- des Vorkommens natürlicher Alterstufen, ggf. Altersspanne (vgl. Tab. 30)
- ihrer Stufigkeit (vgl. Tab. 31)

vorgenommen werden.

■ □ Tab. 26: Angrenzende Landschaftselemente von Waldrändern

Code 1	Angrenzende Landschaftselemente, Wald zu ...
1	Wald = > Waldinnenrand
2	Grünland
3	Ackerland
4	Dauerkulturen
5	Ruderalflur, Sukzessionsfläche
6	Gewässer
7	Bebauung
8	Gartenland oder Park
9	Verkehrsfläche
10	Leitungstrasse
11	Sonstiges (Felsen, Steinbruch, Abbaufäche, Deponie, ...)
12	Übergangszone

□ ■ Tab. 27: Exposition von Waldrändern

Code 2	Exposition (Ausrichtung) in einer Himmelsrichtung oder in Grad/Gon
1	Nord
2	Nordost
3	Ost
4	Südost
5	Süd
6	Südwest
7	West
8	Nordwest

■ □ Tab. 28: Verlauf von Waldrändern

Code 3	Verlauf
1	geradlinig
2	geschwungen
3	eckig
4	gezackt
5	zerklüftet

□ ■ Tab. 29: Artenzusammensetzung von Waldrändern

Code 4	Artenzusammensetzung
1	wie unmittelbar angrenzender Wald
2	mit Beimischung anderer Arten einzeln
3	mit Beimischung anderer Arten wenig
4	mit Beimischung anderer Arten paritätisch
5	mit Beimischung anderer Arten überwiegend
6	andere Arten als angrenzender Wald

Tab. 30: Natürliche Altersstufe (ggf. Altersspanne) von Waldrändern

Code 5	Natürliche Altersstufe, ggf. Altersspanne (vgl. AFL 1998 und 1999)
1	der Traufbäume bzw. Bäume die den Waldrand bilden
2	des daran angrenzenden Waldbestandes

Code 6	Stufigkeit
1	steil, nur Trauf, Beastung der Randbäume nicht bis zum Boden
2	steil, nur Trauf, Beastung der Randbäume bis zum Boden
3	steil, mit Krautschicht, Hochstauden, Gräsern
4	steil, mit Strauchschicht
5	gestuft, mit Bäumen zweiter Ordnung und Strauchschicht
6	stark gestuft, gegliedert, mit Trauf, Bäumen zweiter Ordnung, Strauch- und Krautschicht
7	wechselnd zwischen den Typen
8	nicht erkennbar (beschattet)
9	zunehmende Auflösung in Einzelbäume

Tab. 31: Stufigkeit von Waldrändern

Waldinnenränder können je nach Fragestellung des Projektes, z. B. als Waldeinteilungslinien, Stabilitätselemente oder eigene Strukturen von Interesse sein. Waldinnenränder bestehen an Wald zu Wald-Grenzen und können durch deutlich unterschiedliche Wuchsklassen (natürliche Altersklassen), Schneisen, Trassen, Blößen oder Nichtholzboden gebildet werden. An unmittelbar aneinander grenzenden Waldbeständen liegen Waldinnenränder

dann vor, wenn sie sich in mindestens zwei Wuchsklassen (natürliche Altersklassen) unterscheiden (z. B. Baumholz zu Dickung, Blöße zu Stangenholz oder auch an Rändern von Nichtholzboden, Schneisen, Leitungstrassen usw.). Sie können dauerhafter Natur sein oder mit dem fortschreitenden Bestandeswachstum wieder verschwinden. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass die Randbäume Traufeigenschaften ausbilden.

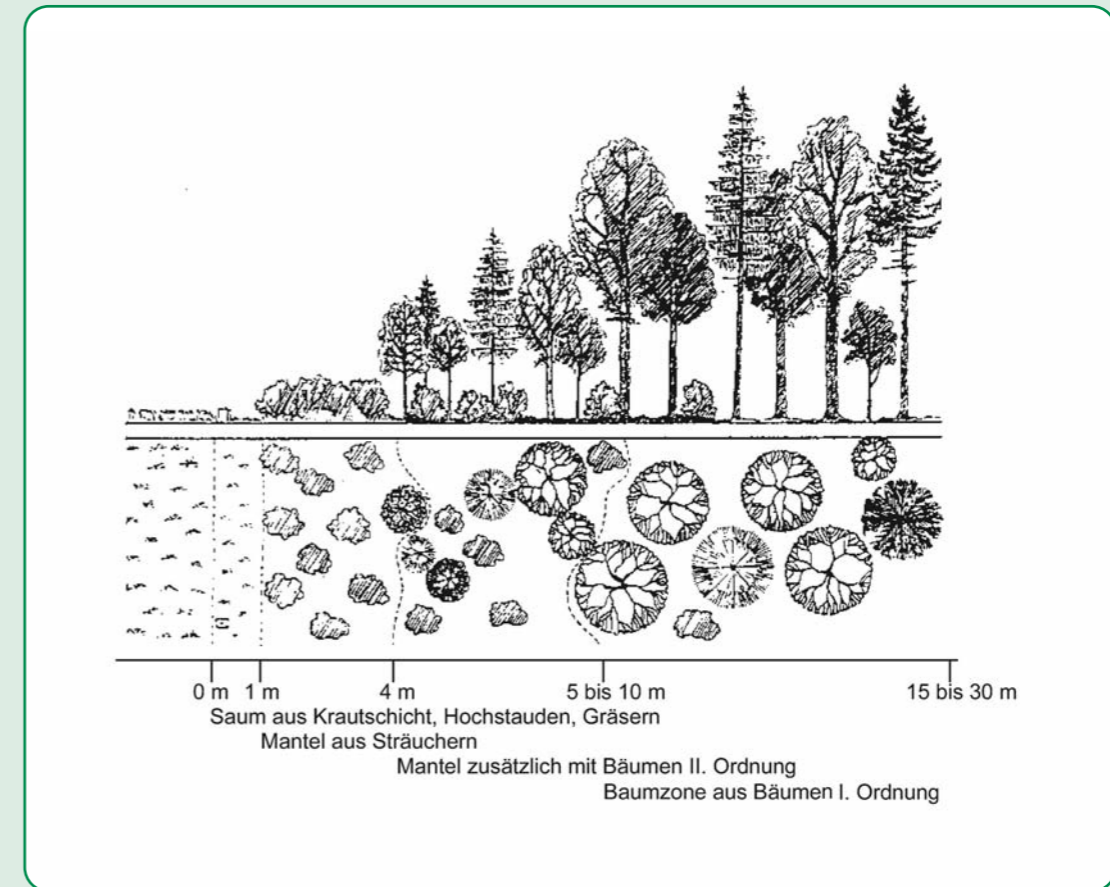


Abb. 21: Ideal aufgebauter Waldrand zur offenen Landschaft hin (Er sollte möglichst 30 m umfassen und alle charakteristischen Elemente enthalten.), verändert nach: Arbeitskreis Forstliche Landespflege 1991, S. 91

6.4 Weiterführende Literatur

- AID (HRSG. [1997]):** Waldränder gestalten und pflegen, Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Heft Nr. 1010
- AMMER, U., PRÖBSTEL, U. (1991):** Freizeit und Natur (Kap. 6.5.1.2.2.1 Der Waldrand), Verlag Paul Parey, 228 S.
- ARBEITSKREIS FORSTLICHE LANDESPFLEGE (HRSG. [1991]):** Waldlandschaftspflege (Kap. 9.4 Waldrandgestaltung), Verlag ecomed, 148 S.
- ARBEITSKREIS FORSTLICHE LANDESPFLEGE (HRSG. [1993]):** Biotoppflege im Wald (Kap. 2.5 Waldrand und Bestandesrandpflege), Kilda-Verlag, 230 S.
- BAYERISCHER FORSTVEREIN (HRSG. [1997]):** Sträucher in Wald und Flur (Kap. Waldrandgestaltung), Verlag ecomed, 569 S.
- COCH, T. (1995):** Waldrandpflege Grundlagen und Konzepte, Verlag Neumann, 240 S.
- DIETSCHI, T. (1992):** Der Waldrand als ökologische Ausgleichsfläche, Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 143 Jg. Nr. 7, S. 542–547
- MCGARIGAL, K. AND MARKS, B. J. (1994):** Fragstats-spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure; Version 2, Corvallis/Oregon, 67 pp + appendix.
- PATZ, G. (1999):** Anlage und Pflege von Waldrändern, in: Forstliche Forschung im nordostdeutschen Tiefland, Eberswalder forstliche Schriftenreihe Band III S. 98–101
- SPANGENBERG, A. (2002):** Stickstoffbelastung an Waldrändern, Untersuchungen in südbayerischen Regionen mit hoher Ammoniakemission, Forstliche Forschungsberichte München Nr. 190, 188 S.
- UMWELTBUNDESAMT (HRSG. [1991]):** Kosten und Wertschätzung des Arten- und Biotopschutzes (Kap. 4.1.6.1.7 Waldränder), Berichte 3/91, Verlag Erich Schmidt, 629 S.
- WALZ, U. (2001):** Charakterisierung der Landschaftsstruktur mit Methoden der Satellitenfernerkundung und der Geoinformatik, Berlin, 204 S.
- WSL (EIDGENÖSSISCHE FORSCHUNGSANSTALT FÜR WALD, SCHNEE UND LANDSCHAFT) (HRSG. [1993]):** Bewertung und Aufwertung von Waldrändern, Informationsblatt des Forschungsbereiches Landschaft Nr. 16
- WSL (EIDGENÖSSISCHE FORSCHUNGSANSTALT FÜR WALD, SCHNEE UND LANDSCHAFT) (HRSG. [1996]):** Wie bringt man Vielfalt in den Waldrand?, Informationsblatt des Forschungsbereiches Landschaftsökologie Nr. 31
- WSL (EIDGENÖSSISCHE FORSCHUNGSANSTALT FÜR WALD, SCHNEE UND LANDSCHAFT) (HRSG. [1997]):** Probleme bei Bewertung und Pflege von Waldrändern, Informationsblatt des Forschungsbereiches Landschaftsökologie Nr. 33

7 Literaturverzeichnis Kapitel 1 bis 4

- ARBEITSGRUPPE FORSTLICHER LUFTBILDINTERPRETEN (AFL[1996]):** mehrere Autoren; Luftbilddanwendungen in der Forstwirtschaft, 13 Artikel in der Allgemeinen Forst Zeitschrift/Der Wald, 51. Jahrgang, Heft 2, S 60–89.
- ARBEITSGRUPPE FORSTLICHER LUFTBILDINTERPRETEN (AFL [1998]):** Luftbild-Interpretationsschlüssel, Bestimmung der natürlichen Altersklasse von Waldbeständen im Color-Infrarot-Luftbild. LÖBF-Mitteilungen Nr. 1/1998, S 45–50.
- ARBEITSGRUPPE FORSTLICHER LUFTBILDINTERPRETEN (AFL [1999]):** Luftbild-Interpretationsschlüssel II, bestimmung der natürlichen Altersklassen und der Baumarten von Waldbeständen im Color-Infrarot-Luftbild. LÖBF-Mitteilungen Nr. 4/1999, S 51–56.
- DENGLER, A. (1980):** Waldbau auf ökologischer Grundlage. 5.Auflage. 1Bd. Röhrig, E.: Der Wald als Vegetationstyp und seine Bedeutung für den Menschen. Hamburg u. Berlin: Verlag Paul Paray
- EUROPÄISCHE KOMMISSION (Hrsg [1992]):** Anwendung der Fernerkundung zur Beurteilung des Gesundheitszustandes der Wälder. Verlag Walphot S.A., Belgien.
- EUROPEAN COMMISSION (HRSG. [2002]):** Remote Sensing Applications for Forest Health Status Assessment, Second edition. ISBN 92-828-8144-X
- GROSS, C.P. (1993):** Regionale Waldinventur zur Erfassung des Waldzustandes mit kleinmaßstäbigen CIR-Luftbildern. PhD Thesis, University of Freiburg, 126 S.
- HAENEL, S., PERLWITZ, W.; TREPTE, P. (1972):** Die Bestimmung forstlicher Bestandesdaten durch automatische Luftbilddauswertung mittels Digitaltechnik. I. Arch Ph. XIX-7
- HAENEL, S.; TRÄNKNER, H.; ECKSTEIN, W. (1987):** Automatische Baumkronenentdeckung im Luftbild der Weg durch den Engpass. Proc. 2. DFVLR Statusseminar Oberpaffenhofen 1987, S. 53–66.
- Heidingsfeld, N. (1993):** Neue Konzepte zum Luftbildeinsatz für großräumige permanente Waldzustandserhebungen und zur bestandesbezogenen Kartierung flächenhafter Waldschäden. Dissertation Universität Freiburg, 165 S.
- HILDEBRANDT, G. (1996):** Fernerkundung und Luftbildmessung für Forstwirtschaft, Vegetationskartierung und Landschaftsökologie. Wichmann Verlag, 1996, ISBN 3-87907-238-8.
- POSTLER, J. (1999):** Untersuchungen zu Einsatzmöglichkeiten des digitalen Stereoauswertesystems PHODIS ST für Aufgaben der Forsteinrichtung.- Diplomarbeit 1999, TU Dresden, Fakultät Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften, Institut für Forstökonomie und Forsteinrichtung, Tharandt, 63 S.
- SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, ERNÄHRUNG UND FORSTEN (SML) (Hrsg. [1995]):** Arbeitsanweisung zur bestandesweisen Zustandserfassung und Planung (Waldaufnahmebeleg). Dresden, 66 S.
- SCHNEIDER, W. (1978):** Extraction of textural signatures from forest aerial photographs using special purpose digital computer. I. Arch Ph. XXII – 7: 507–517
- VDI (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE [1993]) :** VDI 3793 Messen von Vegetationsschäden am natürlichen Standort, Blatt 1 Verfahren der Luftbilddaufnahme mit Color-Infrarot-Film, Blatt 2 Interpretationsschlüssel für die Auswertung von CIR-Luftbildern zur Kronenzustandserfassung von Nadel- und Laubgehölzen; Fichte, Buche, Eiche und Kiefer.
- WENK, G.; ANTANAITIS, V.; SMELKO, S. (1990):** Waldertragslehre- Berlin: Deutscher Landwirtschaftsverlag, 448 S., ISBN 3-331-00299-2

8 Anhang

Im Anhang wird beispielhaft eine mögliche Art der Ermittlung von Kennziffern für die Baumarten- und Wuchsklassenvielfalt (Naturnähe) einer Befundeinheit erläutert und ein Beispiel für die Ableitung von Waldentwicklungsphasen (Bestandesentwicklung in naturwaldähnlichen Beständen oder im Schutzwald) gezeigt.

Beigefügt ist weiterhin ein Muster-Formblatt zur Erhebung der einzelnen in einem CIR-Luftbild erhebbarer Merkmale einer strukturreichen Befundeinheit gemäß dem vorliegenden Schlüssel. Abhängig von Zielsetzung oder Auf-

gabenstellung können alle oder auch nur einige daraus besonders ausgewählte Merkmale beurteilt sowie zusätzliche spezifische Merkmale erhoben werden.

Schematische Bildbeispiele für verschiedene Deckungsgrade sollen die Beurteilung erleichtern.

Farbige Stereogramme, die mit einem einfachen Taschenstereoskop räumlich zu betrachten sind, zeigen abschließend dem Betrachter beispielhaft die wesentlichsten der im Schlüssel beschriebenen Merkmale.

8.1 Kennziffern für Baumarten- und Wuchsklassenvielfalt

Aus der Kombination von einzelnen im Rahmen dieses Schlüssels erhobenen Merkmalen können je nach Fragestellung verschiedenste Kennziffern oder verbale Beschreibungen abgeleitet werden, die es erlauben, Hinweise auf die Naturnähe bzw. Biodiversität einer Befundeinheit zu geben.

Zu beachten dabei ist, dass die Bedeutung von Indices auch von den natürlichen Verhältnissen der Befundeinheiten abhängt; so ist z. B. ein Fichtenreinbestand im montanen Bergwald durchaus als natürliche Waldgesellschaft anzusehen.

Zu berücksichtigen ist weiterhin, dass methodisch bedingte Unterschiede in der Gewinnung solcher Merkmale für die Ermittlung von Kennziffern bestehen. Zwar sind aus dem Luftbild keine Daten über die Zusammensetzung der niederwüchsigen Vegetation (Moos, Gras, Kräuter, Sträucher, wie sie z. B. terrestrisch für die BRAUN-BLANQUET-Methode erhoben werden) möglich, aber die Vogelperspektive bietet eine bessere Übersicht über Baumarten, deren Verteilung und Mischung. Ebenso können natürliche Wuchsklassen, deren Anteile und Verteilungen aufgrund des besseren Überblickes aus der Luft besser geschätzt werden. Einzig unter sehr dichtem und ge-

schlossenem Kronendach können darunter verborgene weitere Baumschichten auf dem Luftbild nicht erkannt werden; diese Fälle sind in der Regel aber auch nicht strukturreiche Bestände und daher auch nicht Zielgruppe dieses vorliegenden Interpretationsschlüssels. Bei der Ermittlung von Kennziffern auf Basis einer Luftbildinterpretation ist daher immer auf die Erhebungsart „Luftbild“ hinzuweisen. Ein direkter Vergleich mit beispielsweise terrestrisch ermittelten Daten ist aufgrund der oben beschriebenen methodischen Unterschiede nicht sinnvoll.

Als Kennziffern bieten sich aus der Fülle der verschiedenen Maßzahlen und Formeln einerseits der Shannon-Index (SH) für die Baumartenvielfalt und andererseits die Vertikale Evenness (VE) für die Wuchsklassenverteilung an, da diese Indices weit verbreitet, geläufig, leicht nachvollziehbar und leicht berechenbar sind. Der Index für die Vertikale Evenness wird analog dem Shannon-Index, erweitert durch eine einfache Division, bestimmt.

Kennziffer Baumart (SHANNON-Index Luftbild SH_{LB})

Günstig hat sich erwiesen, bei der Berechnung des Shannon-Index SH_{LB} den Logarith-

mus naturalis (ln) zu verwenden, wenngleich auch der dekadische Logarithmus verwendet wird. Zwecks Vergleichbarkeit der Daten sollte jedoch bei vergleichenden Erhebungen immer eine Logarithmusart verwendet werden.

$$SH_{LB} = \sum (-\ln \pi) \times \pi$$

Dabei ist π der relative %-Anteil einer Baumart.

Kennziffer Wuchsklasse (Vertikale Evenness Luftbild VE_{LB})

Bei der Beurteilung der Vertikalen Evenness VE_{LB} werden nur drei Sammelwuchsklassen herangezogen, da auf dem Luftbild eine noch detailliertere Unterscheidung nicht verlässlich genug möglich ist. Die natürlichen Wuchsklassen Kultur, Jungwuchs und Dickung werden in eine Klasse zusammengezogen, das Alt-/Starkholz wird zwar angemerkt, aber nicht als eigene zusätzliche Wuchsklasse ausgewiesen. Oft lässt ein fließender Übergang vom Baumholz zum Alt-/Starkholz keine eindeutige Abgrenzung zu.

Durch die limitierte Anzahl von 3 möglichen Wuchsklassen wird bei der Berechnung der Index durch eine Division mit ln 3 standardisiert.

$$VE_{LB} = \sum (-\ln \pi) \times \pi / \ln 3$$

Dabei ist π der relative %-Anteil einer Wuchsklasse.

- Für Wuchsklassen ist die Vertikale Evenness VE_{LB} nur für 3 Schichten erhebbar (Jg/Di, St, Bh), daher Division mit ln 3 zur Standardisierung, sonst gleiche Vorgangsweise.
- Altholz/Starkholz wird extra angeführt, aber nicht als eigene Schicht definiert, weil sehr schwer von Baumholz zu unterscheiden! Die Erwähnung wird jedoch als wichtig angesehen (z. B. wegen Vogelnistplätzen, Epiphyten usw.).
- Der Überschirmungsgrad kann auch mehr als 100 % betragen (z. B. geschlossener Fichten-Jungwuchs mit Lärchen-Überhältern).
- Für jede einzelne nur gering vorkommende Baumart, die meist maximal 2- bis 3-%-Anteile hat, wird ein genereller Zuschlag von 0,1 zum Shannon Index dazugerechnet (2 % Baumartenanteil ergäbe den Wert 0,08; 3 % ergäbe den Wert 0,11).

Beispiel für den Wert des Index SH_{LB} bei verschiedenen Baumartenanteilen:

1 Baumart (Reinbestand)	1,0	0
2 Baumarten, Anteil	0,5 + 0,5	0,69
5 Baumarten, Anteil	0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,2	1,61

Befundeinheit		Kennziffer Baumarten SH _{LB}		Kennziffer Wuchsklasse VE _{LB}	
Fi	25% Bh	Fi 55%	0,55xln0,55=0,33	Bh 40%	0,40xln0,40=0,37
	20% St	Bu 30%	0,30xln0,30=0,36	St 30%	0,30xln0,30=0,36
	10% Di	Ta 10%	0,10xln0,10=0,23	Di 30%	0,30xln0,30=0,36
Bu	10% St	ei LÄ	0,10		
	20% Di	ei Bi	0,10		
Ta	10% Bh				
ei LÄ	einige Bh				
ei Bi	einige Bh				
		Summe	1,12	Summe	1,09 durch ln3=0,99

Tab. 32
Beispiel einer Befundeinheit und ermittelte Kennziffern SH_{LB} und VE_{LB}

Festlegungen bei der Ermittlung der Baumarten- und Wuchsklassen-Indices:

- Die Beurteilung erfolgt getrennt für Baumarten gesamt und Wuchsklassen gesamt.
- Für Baumarten kann der Shannon Index SH_{LB} mit unbegrenzter Baumartenanzahl ausgeschieden werden.

8.2 Ableitung von Entwicklungsphasen

am Beispiel der Kartierung von Waldentwicklungsphasen in naturnahen Buchenwäldern im Nationalpark Müritz (DR. C.P. GROSS)

Die im Folgenden dargestellte Ableitung von Entwicklungsphasen basiert auf Arbeiten von C.-P. GROSS zur Kartierung von Waldentwicklungsphasen in naturnahen Buchenwäldern im Nationalpark Müritz und dem AFL-Interpretationsschlüssel zur Auswertung von strukturreichen Beständen auf CIR-Luftbildern.

Waldentwicklungsphasen

Die vom Menschen ungestörte Entwicklung eines Waldbestandes vom Jungwald bis zum absterbenden Altbestand lässt sich in verschiedene Waldentwicklungsphasen einteilen, die einen geschlossenen, sich selbst erneuernden Zyklus bilden (LEIBUNGUT 1959 und 1978).

Die Zeitdauer der einzelnen Phasen ist unterschiedlich, auf eine rasche Entwicklung in der Jugend folgt ein langer, relativ stabiler Abschnitt (Optimalphase). Im Vergleich zu den anderen Phasen findet sich deshalb die Optimalphase in Naturwäldern besonders häufig.

Das Zyklusmodell impliziert zunächst eine überwiegend gerichtete, an Fließgleichgewichten orientierte und von der physiologischen Alterung der Individuen und Bestände geprägte Entwicklung. Die Kenntnis der bisherigen Waldentwicklung und ihres aktuellen Standes lässt Aussagen über die weitere Entwicklung des Waldbestandes zu. Störungen dieses Systems in Form von Stürmen, Insektenbefall oder Feuer üben jedoch einen azyklischen Einfluss auf die Waldentwicklung aus, indem sie den Entwicklungskreislauf unterbrechen und auf ein früheres Stadium zurückwerfen. REMMERT (1990) erweitert daher die Modellvorstellung um das Konzept einer räumlichen Aufgliederung der Wälder in ein Mosaik aus unterschiedlichen Entwicklungsphasen.

Je nach Betrachtungsebene können als kleinste Bezugsgröße innerhalb des Modells sowohl der Standardraum des Einzelbaumes (MEYER 1999) als auch ein Kollektiv von Bäumen definiert werden. Entsprechend der Betrachtungsebene, den gestellten Genauigkeitsanforderungen und dem zur Verfügung stehenden Datenmaterial unterscheiden sich die Zahl der ausgewiesenen Phasen und die Kriterien der Abgrenzung. Während für Kernflächen (MEYER 1999) und Stichproben (WEBER 1999) in der Regel metrische Daten verwendet werden können, ist die Erfassung großflächiger Einheiten überwiegend auf Strukturbeschreibungen angewiesen.

Interpretationsschlüssel

Ziel der Kartierung ist die flächendeckende Erhebung der Waldentwicklungsphasen. Als Grundlage für einen entsprechenden Interpretationsschlüssel werden die Vorschläge der Arbeitsgruppe Forstlicher Luftbildinterpreten (AFL) zur Beschreibung von strukturreichen Waldbeständen herangezogen. Der komplexe Begriff „strukturreich“ wird in dieser Anleitung auf Kenngrößen reduziert, die durch Interpretation und Schätzung aus Luftbildern abgeleitet werden können.

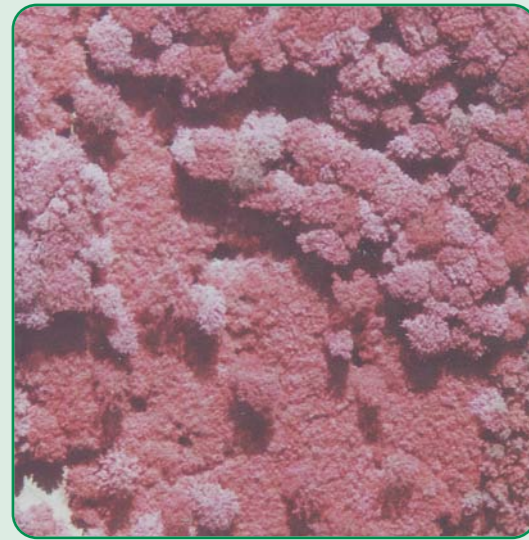
Im vorliegenden Falle der Kartierung von strukturreichen Buchenwäldern sind dabei die Kenngrößen Baumart und Baumartenmischung nicht relevant, da es sich um reine Buchenbestände handelt, gelegentlich vorkommende andere Arten spielen keine Rolle. Das gleiche gilt für das Merkmal „Zerschneidung“.

Das Beispiel auf S. 39 zeigt exemplarisch einen Interpretationsschlüssel „Waldentwicklungsphasen“ für nicht bewirtschaftete Buchenwälder. Grundlage dieses Schlüssels ist der AFL-Schlüssel „Strukturreiche Bestände“, Arbeitsanweisungen zu einzelnen Parametern, Codes und Definitionen werden dort geregelt.

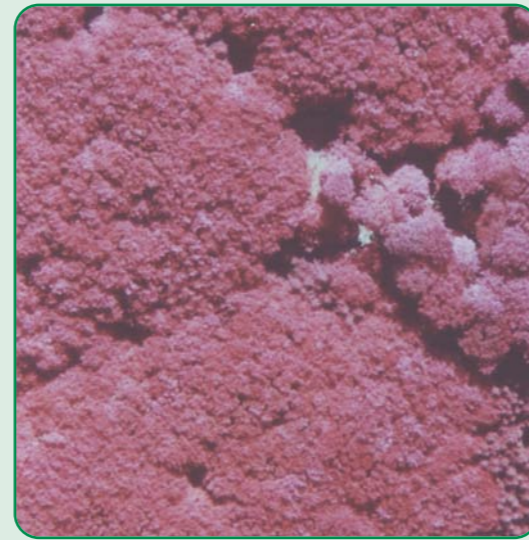
Terrestrische Beschreibung	Beschreibung im Luftbild				
	Lücken	DG	Schich	AKI vgl. Tab. 9	Baumvert
Verjüngungsphase: in Lücken oder zerfallendem Altbestand; Mindestgröße 2000 m ² - Deckung der Verjüngung /Jungbestand unter Derbholzstärke: > 50 % - Deckung des Altbestandes: < 0,5 - Grundflächenmittelhöhe: < 9 m	Anz.: wenige große Art: 2, (1), 8 Form: 1, 3, 7 Größe: 5, (4) Verteilung: 1 Bodensicht: 1	Gesamt: 2/10–5/10 Lückenber.: 8/10	2	Jgd/Di/Ah	3
Stangenholzphase: beginnend mit Erreichen Derbholzstärke; deutlicher Nettoaufbau an Holzbiomasse; kein Altbestand vorhanden - Deckung: ca. 1,0 - intensive Stammzahlreduktion von etwa 5 000 auf ca. 1000 Individuen pro ha - Grundflächenmittelhöhe: ca. 9–23m - relativer Lichtgenuss am Waldboden ca. 1– 2%	Anz.: keine Art: - Form: - Größe: - Verteilung: - Bodensicht: -	Gesamt: 10/10 Lückenber.: 10/10	1	Bh (Sth)	1
Optimalphase: deutlicher Nettoaufbau an Holzbiomasse - Deckung: ca. 1,0 - Stammzahlreduktion von ca. 1 000 auf ca. 200 Individuen pro ha; - Grundflächenmittelhöhe: ca. 23–37m - relativer Lichtgenuss am Waldboden: bis 5 %	Anz.: nur vereinzelt Art: 1 Form: 1 Größe: 1 Verteilung: 2 Bodensicht: 4	Gesamt: 9/10–10/10 Lückenber.: 10/10	1	Bh	1
Altersphase: kein Nettoaufbau an Derbholzmasse, aber Anstieg der Grundflächenmitteldurchmesser; Kronendachlücken, häufig infolge Ausfall ein zelner Altbuchen, können durch Seitenzu- wuchs der Kronen geschlossen bzw. verklei- nert werden; - Deckung: ca. 0,8–0,95 - Stammzahlen: ca. 100–200 Individuen pro ha - Grundflächenmittelhöhe: ca. 37–41m - relativer Lichtgenuss am Waldboden: bis 5% - Anteil an stehendem und liegendem Totholz steigt deutlich an	Anz.: wenig Art: 1 Form: 1, (3) Größe: 1, (2) Verteilung: 2 Bodensicht: 2 (4)	Gesamt: 8/10–9/10 Lückenber.: 10/10	1–(5)	Bh/Ah	2
Zerfallsphase: deutlicher Nettoabbau von Derbholzbiomasse, der nicht wesentlich durch Regenerationspro- zesse im Derbholzbestand ausgeglichen wird; Kronendachlücken können von Altbäumen nicht mehr geschlossen bzw. verkleinert werden; - Deckung: < 0,8 - Stammzahlen: < 100 Individuen pro ha - Grundflächenmittelhöhe: ca. > 41m - Deckung der Verjüngung bzw. Jungbestand unter Derbholzstärke: < 50 %; falls Deckung der Verjüngung bzw. des Jungbestandes > 50% und Deckung des Altbestandes < 0,5: Übergang in Verjüngungsphase - hoher Anteil an stehendem und liegendem Totholz	Anzahl: viele große und kleine Art: 1, (2) Form: 1, 3, 7 Größe: 2, 3, 4 Verteilung: 1 Bodensicht: 2	Gesamt: 5/10–7/10 Lückenber.: 8/10–9/10	2	Ah	2–3

Interpretationsschlüssel „Waldentwicklungsphasen“ für nicht bewirtschaftete Buchenwälder

Abb. 22–26:
Waldentwicklungs-
phasen in naturna-
hen Buchenwäldern
im Nationalpark
Müritz



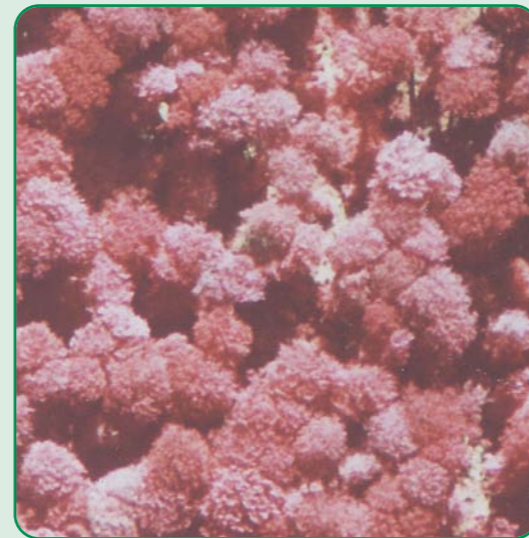
Verjüngungsphase



Stangenholzphase



Optimalphase



Altersphase



Zerfallsphase

Weiterführende Literatur

DEUTSCHER VERBAND FORSTLICHER FORSCHUNGSANSTALTEN, SEKTION FORSTLICHE BIOMETRIE UND INFORMATIK: 11. Tagung und Internationale Biometrische Gesellschaft deutsche Region, Arbeitsgruppe Ökologie, Herbstkolloquium, Freiburg 30. September bis 2. Oktober 1998. Die Grüne Reihe, Seite 7–37. ISBN 961-6020-23-4.

LEIBUNDGUT, H. (1959): Über Zweck und Methodik der Struktur- und Zuwachsanalyse von Urwäldern. SZFW 3, 111–124.

LEIBUNDGUT, H. (1978): Über die Dynamik europäischer Urwälder. AFZ 33, S. 686–690

MEYER, P. (1999): Bestimmung der Waldentwicklungsphasen und der Texturdiversität in Naturwäldern. Allg. Forst- u. J.-Ztg. 170, 203–211.

NEUMANN, M. (Hrsg.): FBVA Berichte, Band 120/2001: Österreichische Intensivbeobachtungsflächen (Level II), Beiträge zum 5. WBS-Seminar in Wien am 19.10.1999. Seite 59 ff. ISSN 1013-0713.

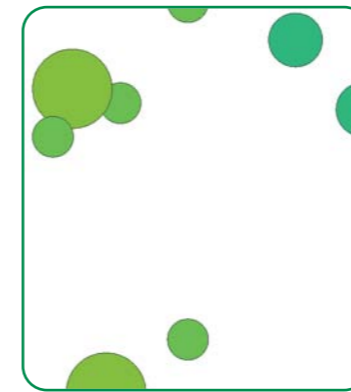
REMMERT, H. (1990): Das Mosaik – Zyklus – Konzept der Ökosysteme – eine Übersicht. NNA Berichte 3/3, 110–117.

WEBER, J. (1999): Ableitung von Waldentwicklungsphasen aus Strukturparametern Untersuchungen in Baden Württemberg. Buchen-Urwaldsymposium Bad Driburg, NUA-Seminarbericht Band 4, S 54–66.

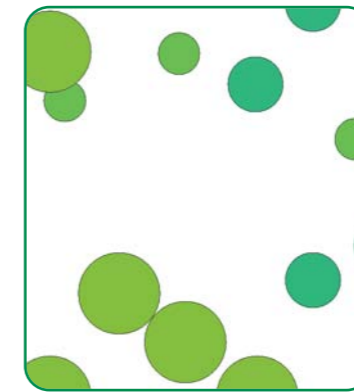
8.3 Aufnahmeblatt für Luftbildinterpretation nach Bestimmungsschlüssel für die Beschreibung von strukturreichen Waldbeständen (Befundeinheiten) im CIR-Luftbild

Arbeitsgebiet:	Bildflug: Bild-Nr.: Bildmaßstab:		Bearbeiter:						
Merkmal	Bestand		Herleitung						
Fläche (ha)									
Anz. Lü									
Anz. Lü/ha									
% Lü (an Gesamtfläche)									
Art Lü			Tab. 1						
Form Lü			Tab. 2						
Ø Größe Lü			Tab. 3						
Verteilung Lü			Tab. 4						
Bodensicht			Tab. 5						
Zerschneidungs-Klasse			Tab. 6						
Deckungsgrad gesamt									
lückenber. Deckungsgrad									
Schichtung			Tab. 8						
	Ba	Fl %	Mi	Vert	Ba	Fl %	Mi	Vert	Tab. 9, 10, 11
BA (alle Wuchsklassen)									
Flächenanteil % gesamt									
Mischung (Mi)									
Verteilung (Vert)									
Wuchsklasse (alle BA)	Wuchskl.	Fl %	Mi	Vert.	Wuchskl.	Fl %	Mi	Vert.	
Flächenanteil % gesamt	Jg, Di				Jg, Di				
Mischung (Mi)	St				St				
Verteilung (Vert)	Bh				Bh				
	dav. Ah				dav. Ah				
mittl. Baumhöhe									
mittl. Kronenlänge									
mittl. Bestandeshöhe									
Ø Kronendurchmesser									
Höhenklasse groß									Tab. 13
Höhenklasse mittel									
Höhenklasse klein									
Diversität Höhengaufbau D_H									Tab. 14, Abb. 4
Diversität Nachbarschaft D_N									Tab. 15
mittl. Eintiefungsklasse S_E									Tab. 16 (Schätzung)
Kronendach-Rauigkeit R_D									Abb. 8 oder Tab. 17
mittl. Bestandeshöhe (s. oben)									
lückenber. Deckungsgrad (s. oben)									
vorl. Kronenschluss-Rauigkeit	+				+				Tab. 18, Abb. 9
Zuschlag Anz. Lü/ha	+				+				Tab. 19 (Anz. Lü/ha)
Zuschlag % Lü (an GesFläche)									Tab. 20 (% Lü)
Kronenschluss-Rauigkeit R_S									
endgültige Bestandes-Rauigkeit R_B									
Kronenzustand									
Verteilung des Kronenzust.									Tab. 21 und 22
Anmerkungen									

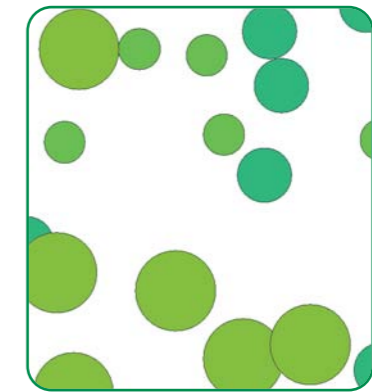
8.4 Schematische Bildbeispiele für verschiedene Deckungsgrade



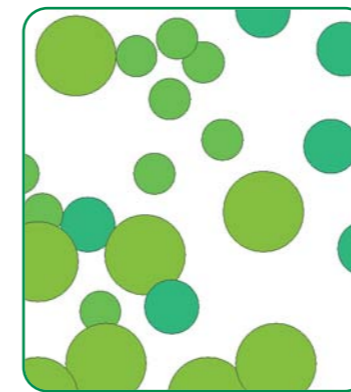
DG = 10 % = 1/10



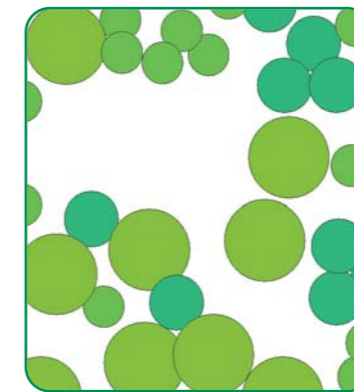
DG = 20 % = 2/10



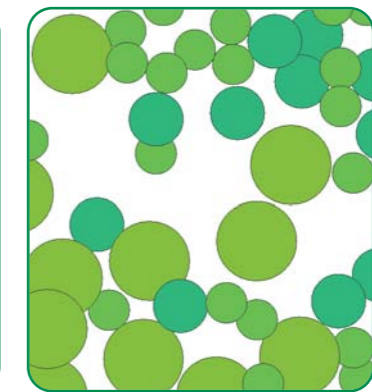
DG = 30 % = 3/10



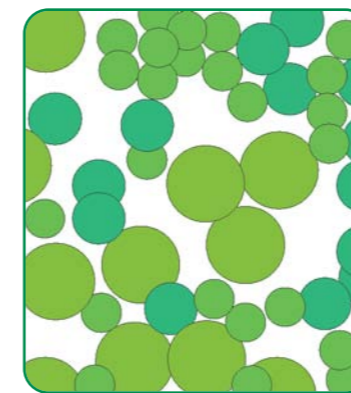
DG = 40 % = 4/10



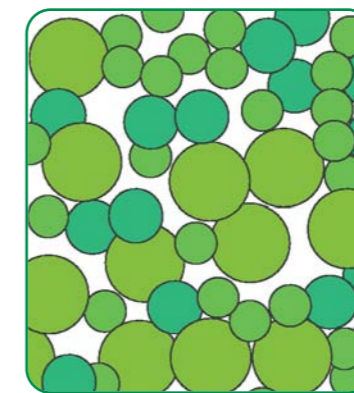
DG = 50 % = 5/10



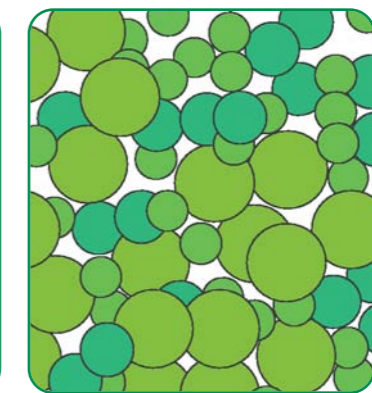
DG = 60 % = 6/10



DG = 70 % = 7/10



DG = 80 % = 8/10



DG = 90 % = 9/10

Quelle: H. U. Scherrer, Schweizer Interpretationsschlüssel Mittelland

8.5 Stereogramme

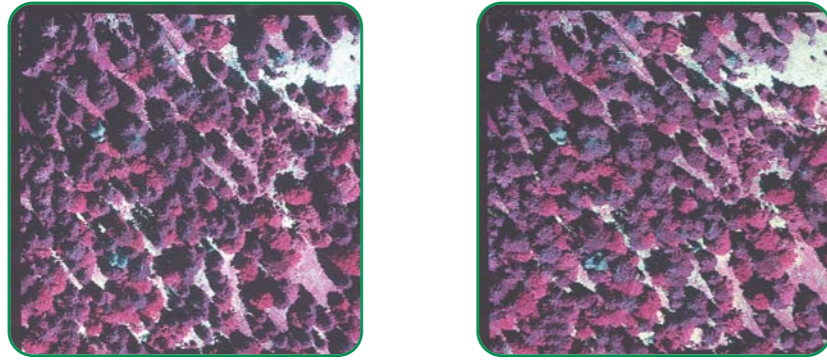


Abb. 27: Palascha, Österreich
Subalpiner FiTaBu-Wald, 1 600 m Seehöhe, steiler Südhang mit Felsplatten im NO. Gesamtüberschirmung 0.8, einzelne größere und viele kleinere Lücken in Fallrichtung mit Bodensicht (meist Gras, teilweise felsig), Hauptbestand Fi/Bu-Baumholz 5/4 mit Ta und einzelnen LÄ (im NW) ohne ausgeprägte Schichtung, horstweise Mischung. Unterschicht Fi-Horste (Dickung/Stangenholz) im Nordteil, sonst nur spärliche Verjüngung. Höhengaufbau stark ungleichförmig, Kronendach sehr rau. Stehendes und liegendes Fi-Totholz, Fichten mit schlechtem Kronenzustand.
Film: Kodak CIR 2443, mb ca. 1 : 5 000, BEV Wien, Zl. 37835/2000

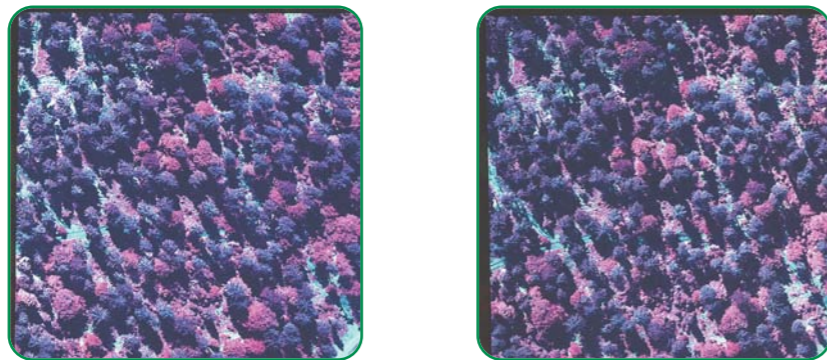


Abb. 28: Schöneben, Österreich
Montaner FiTaBu-Wald, 1 050 m Seehöhe, ebene Kuppenlage. Plenterwald mit Einzelstammnutzung und Schirmverjüngung, gut aufgeschlossen. Gesamtüberschirmung 0.8. Mehrere Lücken und Schneisen (Bringungswege) mit Bodensicht (Gras). Ober- und Mittelschicht Fi/Ta/Bu-Baumholz 7/2/1 mit Überschirmung 0.5, einzelbaumweise gemischt. Gut ausgeprägte Unterschicht mit Fi-Horsten (Dickung) und etwas Laubholz, Überschirmung 0.4. Höhengaufbau stark ungleichförmig, Kronendach sehr rau.
Film: Kodak SO 131, mb ca. 1 : 5 000, Tanne dunkel-weinrot, BEV Wien, Zl. 37835/2000

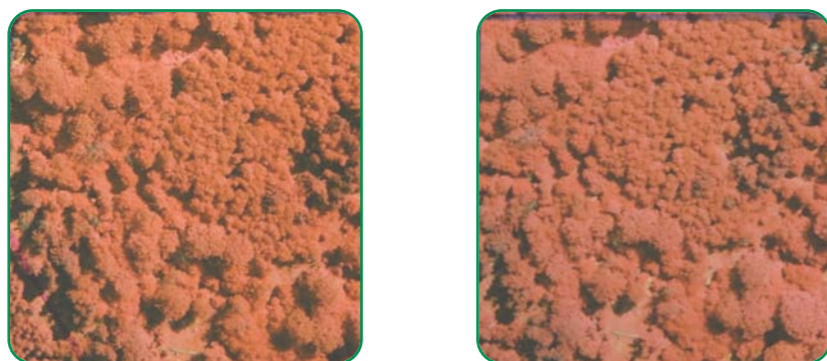


Abb. 29: Soonwald, Rheinland-Pfalz
Submontaner Buchenwald, 600 m Seehöhe, schwach geneigt, Talmulde nach Nord-Ost streichend. Gesamtüberschirmung 0.8.

Mehrere Lücken mit Bodensicht (Gras). Oberschicht Bu/Fi Baum/Altholz 7/3 mit Überschirmung 0.4, Mittel- und Unterschicht Bu/Bi/Ei/sonst. Laubholz mit Überschirmung 0.6, baum-/horstweise Mischung, teils kleinbestandesweise. Höhengaufbau ungleichförmig, Kronendach rau, im Laubholzbestand der Mittelschicht im N-Bereich glatt. Altholzbuchen mit schlechtem Kronenzustand (Verlichtungen). Wenig stehendes Totholz.
Film Kodak CIR 2443, mb ca. 1 : 5 000.



Abb. 30: Johannserkogel, Österreich
Kolliner EiHainBu-Wald, 350 m Seehöhe, eben, trocken. Gesamtüberschirmung 1.0, eine sehr kleine Lücke mit Bodensicht (Strauch). Oberschicht Bu-Altholz mit Ei/Esche, HainBu 8/1/1 mit Überschirmung 0.6. Gut ausgeprägte Mittel- und Unterschicht (schlecht sichtbar) mit weniger Bu/Ei, mehr HainBu, Es, sonstiges Laubholz und Überschirmung 0.5, baum-/horstweise Mischung. Höhengaufbau ungleichförmig, Kronendach rau.
Film: Kodak CIR 2443 II, mb ca. 1 : 4 000, BEV Wien, Zl. 37835/2000

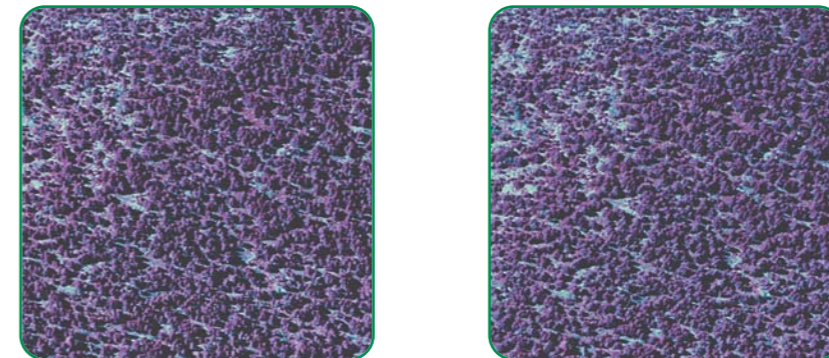


Abb. 31: Munt la Schera (Schweizerischer Nationalpark)
Subalpiner Bergföhrenwald auf Karbonatgestein, 2150 m Seehöhe, Kuppenlage/Nordhang. Gesamtüberschirmung 0.7. Größere und kleinere Lücken mit Bodensicht (Gras, Zwergsträucher, zum Teil felsig). Bergföhrenreinbestand. Oberschicht mit Überschirmung 0.4, oft rottenförmige Verteilung, Höhengaufbau ungleichförmig, Kronendach rau.
Film: Kodak CIR 2443, mb ca. 10 000, Darstellung vergrößert auf mb ca. 1 : 5 000

8.6 Glossar

Baumhöhenklassen:	Einteilung der Wuchsklassen in 3 Höhenklassen: klein (Jungwuchs/Dickung), mittel (Stangenholz), groß (Baumholz, Alt/Starkholz)
Befundeinheit:	zu betrachtende Interpretationseinheit auf die sich die jeweiligen Angaben beziehen; meist durch Forsteinrichtung oder Bewirtschaftungspraxis vorgegeben
CIR:	Color-Infrarot
Deckungsgrad:	hier: die von Kronen bedeckte Fläche in Zehnteln oder 10-%-Stufen der horizontalen Bodenoberfläche des Bestandes; Mehrfachüberschirmung wird nicht berücksichtigt
D_H :	Diversität des Höhengaufbaus; sie wird aus dem Anteilsverhältnis der Höhenschichten pro Befundeinheit abgeleitet
D_N :	Diversität der Nachbarschaft; Höhenschichtverhältnis, in dem benachbarte Bäume zueinander stehen
Freifläche:	nicht mit Bäumen bestockte Fläche
H_m :	Bestandesmittelhöhe
Kronenschlussrauigkeit:	Kennziffer, die aus mittlerer Bestandeshöhe, lückenbereinigtem Deckungsgrad, Lückenanteil an der Gesamtläche und der Anzahl der Lücken pro Hektar errechnet wird
Lineament:	langgestreckte Sonderform der Lücke (Wege, Trassen, Schneisen)
Lücken:	räumliche Unterbrechung der homogenen Überschirmung
lückenbereinigter Deckungsgrad:	Deckungsgrad einer Befundeinheit, nachdem die Lücken gedanklich abgerechnet worden ($D_G = D_G \text{ gesamt} / (1 - \% \text{Lü})$)
Mischungsform:	räumliche Verteilung und Größe von Merkmalen innerhalb einer Befundeinheit
Mittlere Eintiefung:	relative Höhenunterschiede zwischen den Baumkronen innerhalb der gesamten Befundeinheit, jedoch nicht zwischen Baumkronen und Bestandeslücken
Natürliche Altersklasse:	siehe Wuchsklasse
R_B :	Rauigkeit des Bestandes $R_B = R_D + R_S$
R_D :	Rauigkeit des Kronen-Daches
R_S :	Rauigkeit des Kronen-Schlusses
Schichtung:	vertikales Merkmal des Kronenraumes. Schichten werden analog den Baumhöhenklassen angesprochen. Ein Bestandesteil wird als eigene Höhenschicht angesprochen, wenn er mindestens einen Deckungsgradanteil von 30 % hat.
Schlussgrad:	siehe Deckungsgrad
S_E :	mittlere Eintiefung des Kronendaches zwischen den einzelnen Baumkronen
Totholz:	abgestorbene Bäume an denen keine lebenden Bereiche mehr erkennbar sind und abgestorbene Baumteile, die vom jeweiligen Baum separiert sind
Überschirmungsgrad:	siehe Deckungsgrad
Wuchsklassen:	= natürliche Altersklasse; Unterteilung in Jungwuchs, Dickung, Stangenholz, Baumholz und Alt/Starkholz
Zerschneidung:	Unterbrechung des Kronendaches durch Lineamente

8.7 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Beispiele für Zerschneidungsklassen (CIR-Luftbild 1 : 7 000, verkleinerte Darstellung)	11
Abb. 2:	Messkeil-Verfahren (Crown wedges)	16
Abb. 3:	Vergleichskreis-Verfahren (Dot type crown scales)	16
Abb. 4:	Triangelgrafik zur Ermittlung des D_H -Wertes (Diversität des Höhengaufbaus)	18
Abb. 5:	Ablesebeispiele für drei verschiedene Kombinationen von Baumhöhen in einem Bestand und dem entsprechenden D_H -Wert	19
Abb. 6:	Skizzen mit Erläuterungen zur Illustration der Höhendifferenzierung (immer 10 Bäume: 3 große, 4 mittlere, 3 kleine)	20
Abb. 7:	Symbolische Grundrisskizzen (links) und Aufrisskizzen (rechts) von Baumgruppen mit den skizzierten Schätzpunkten für die Eintiefung S_E zwischen den einzelnen Baumkronen und der geschätzten Eintiefung S_E	21
Abb. 8:	Kronendach-Rauigkeit R_D : Verknüpfung: Diversität Nachbarschaft D_N – Diversität Höhengaufbau D_H in Abhängigkeit von den 5 Klassen der mittleren Eintiefung S_E	22
Abb. 9:	Vorläufige Kronenschluss-Rauigkeit R_{S-1} (Zusammenhang mittlere Bestandeshöhe H_m , lückenbereinigter Deckungsgrad, vorläufige Kronenschluss-Rauigkeit)	23
Abb. 10:	Klassifizierung der Totholzarten nach Zersetzungsgradstufen	28
Abb. 11–13:	Totholz stehend (Maßstab ca. 1 : 1 000)	30
Abb. 14–16:	Totholz liegend (Maßstab ca. 1 : 1 000)	30
Abb. 17–20:	Totholz stehend im Bestand (Maßstab ca. 1 : 5 000)	30
Abb. 21:	Ideal aufgebauter Waldrand zur offenen Landschaft hin	33
Abb. 22–26:	Waldentwicklungsphasen in naturnahen Buchenwäldern im Nationalpark Müritz	40
Abb. 27:	Stereogramm Palascha, Österreich	44
Abb. 28:	Stereogramm Schöneben, Österreich	44
Abb. 29:	Stereogramm Soonwald, Rheinland-Pfalz	44
Abb. 30:	Stereogramm Johannserkogel, Österreich	45
Abb. 31:	Stereogramm Munt la Schera, Schweizerischer Nationalpark	45

8.8 Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Art der Lücken	9
Tab. 2:	Form der Lücken	10
Tab. 3:	Lückengröße	10
Tab. 4:	Verteilung der Lücken	10
Tab. 5:	Bodensicht	10
Tab. 6:	Beispiele für Zerschneidungsklassen (vgl. Abb. 1)	11
Tab. 7:	Zerschneidungsklassen	12
Tab. 8:	Schichtung (mod. nach Scherrer: Schweizer Interpretationsschlüssel Mittelland)	13
Tab. 9:	Wuchsklassen (natürliche Altersklassen)	13
Tab. 10:	Mischungsform für Baumarten und Wuchsklassen	14
Tab. 11:	Baumverteilung	14
Tab. 12:	Ansprache der Baumarten nach Flächenanteil und Mischungsform	15
Tab. 13:	Diversität des Höhengaufbaues D_H	18
Tab. 14:	Baumhöhenklassen	18
Tab. 15:	Diversität der Nachbarschaft D_N	20
Tab. 16:	Klassen für mittlere Eintiefung S_E	20
Tab. 17:	Kronendach-Rauigkeit R_D in 5 Stufen	21
Tab. 18:	Vorläufige Kronenschluss-Rauigkeit $R_{S,1}$ (Zusammenhang mittlere Bestandeshöhe H_m , lückenbereinigter Deckungsgrad, vorläufige Kronenschluss-Rauigkeit)	23
Tab. 19:	Zuschlagszahl entsprechend der Anzahl der Lücken pro ha	24
Tab. 20:	Zuschlagszahl entsprechend des prozentualen Lückenanteils an der Gesamtfläche	24
Tab. 21:	Räumliche Verteilung der Kronenzustände (analog Tab. 10 „Mischungsform für Baumarten und Wuchsklassen“)	26
Tab. 22:	Verteilung der Kronenzustände (vgl. Tab. 11)	26
Tab. 23:	Totholzarten und ihre Luftbildsichtbarkeit aus CIR-Luftbildern in der belaubten Zeit	27
Tab. 24:	Räumliche Verteilung von Totholz (analog Tab. 10 „Mischungsformen für Baumarten und Wuchsklassen“)	28
Tab. 25:	Beispiel für Totholz-Stammzahlklassen (geändert nach PRIETZEL 1994)	29
Tab. 26:	Angrenzende Landschaftselemente von Waldrändern	32
Tab. 27:	Exposition von Waldrändern	32
Tab. 28:	Verlauf von Waldrändern	32
Tab. 29:	Artenzusammensetzung von Waldrändern	32
Tab. 30:	Natürliche Altersstufe (ggf. Altersspanne) von Waldrändern	32
Tab. 31:	Stufigkeit von Waldrändern	33
Tab. 32:	Beispiel einer Befundeinheit und ermittelte Kennziffern SH_{LB} und VE_{LB}	37

