

RABOTNOV, T. A.:

Phytozoölogie. Struktur und Dynamik natürlicher Ökosysteme

26 Abbildungen, 24 Tabellen, 243 Seiten
Eugen Ulmer, Stuttgart, 1995, DM 98,-

Das Lehrbuch «Phytozoölogie» von T. A. Rabotnov ist aus den Vorlesungen hervorgegangen, welche der Verfasser an der Biologischen Fakultät der Moskauer Lomonossow-Universität von 1967 bis 1987 gehalten hat. Die vorzügliche Übersetzung des in Russisch bereits in dritter Auflage erschienenen Werkes besorgte A. Netschajev. Es ist in sieben Hauptkapitel gegliedert: Grundlagen – Wechselbeziehungen zwischen Pflanzen und deren Konsorten – Wechselbeziehungen zwischen den Pflanzen in Phytozönosen – Die Organisation der Phytozönosen – Die Produktivität der Phytozönosen – Sukzessionen – Klassifikation und Ordination.

Das Grundlagenkapitel ist kurz gehalten, aber für die Terminologie sehr wichtig; es schafft eine eindeutige, klare Begriffsbestimmung. Die konsequente Verwendung von klar definierten Begriffen zeichnet Rabotnovs Werk als wissenschaftlich vorbildlich aus.

Die beiden Kapitel über die Wechselbeziehungen beruhen auf vielen Ergebnissen von Experimenten. Die Darstellung ist induktiv und stellt die Funktionen und Prozesse in den Mittelpunkt: Die Organismen werden nach Funktionen, nicht nach der Taxonomie beurteilt. Zentral sind die primären Standortsfaktoren. Ein gebührendes, in unseren Breiten eher vernachlässigtes Gewicht kommt dem Einfluss der Pflanzen auf den Standort zu, was sympathischerweise am Beispiel der Wälder abgehandelt wird.

Das Kapitel «Die Organisation der Phytozönosen» ist umfangmässig das gewichtigste. Inhaltlich breitet es einen reichen Schatz von Erfahrungen der russischen Forscher aus und lässt eine erfreuliche Unvoreingenommenheit walten. Ob es sich um die Mosaikstruktur, um Fluktuationen oder Sukzessionen handelt – Rabotnov ist jederzeit in der Lage, den Sachverhalt ohne jeglichen Dogmatismus einleuchtend darzustellen. Dass jede Pflanzenart in ökologischer Hinsicht individuell ist, das ist ja schliesslich kein Dogma, sondern eine schlichte Tatsache. Die Produktivität der Phytozönosen ist eher stiefmütterlich behandelt – mit

Recht, denn entsprechende Daten sind wohl kaum übertragbar, und die Prinzipien sind hinreichend klar dargelegt.

Dagegen ist das Kapitel «Sukzessionen» sehr gewichtig und auch ergiebig. Es umfasst eine gute Darstellung – nicht Kritik – der historischen Entwicklung des Begriffs ohne viel wenn, würde und hätte. Zur Klassifikation und Ordination arbeitet Rabotnov sehr schön heraus, dass sie sich nicht widersprechen, sondern ergänzen: es kommt allein auf den Zweck, das Ziel der Arbeiten an. Mit Verfahrenstechniken wird der Leser deshalb kaum konfrontiert.

Das Werk wird bestimmt bald in einer zweiten Auflage erscheinen müssen. In dieser könnten einige Schönheitsfehler leicht behoben werden: Für russische Studenten mag die Zitierung von Darwins Untersuchungen nach der russischen Edition von 1936 zweckdienlich sein – im deutschen Sprachraum nützt sie wenig, und für kleinblättrige Wälder und Breitlaubwälder wären geläufigere Ausdrücke einzusetzen. Dass ein *Piceetum nudum* mit einem Buchenwald ohne Unterwuchs gleichgesetzt wird (S. 212), geht wohl zulasten des Übersetzers. Für ein Lehrbuch enthält das Werk bemerkenswert wenig Tabellen. Nach Tabelle 19 nimmt die Artenvielfalt im Verlauf der Sukzession zu – der Text behauptet das Gegenteil. Texte zu Tabellen schaffen entweder Redundanz oder Widersprüche. Beide sind entbehrlich. Fazit: Das sachlich und sprachlich hervorragende Lehrbuch stellt eine wirkliche Bereicherung der Literatur dar. *Walter Keller*

Waldwachstumskundliche Untersuchungen an Fichten-Rotten der subalpinen Höhenstufe¹

Von *Gerhard Strobel*

Keywords: *Picea abies*; forest growth; forest structure; «Rotte» structure.

FDK: 174.7 Picea: 228: 56: (23)

1. Gebirgswälder naturnah bewirtschaften

1.1 Notwendigkeit waldwachstumskundlicher Forschung

Die Wachstumsbedingungen der Wälder in Hochgebirgslagen unweit der Waldgrenze heben sich grundsätzlich von jenen der Wälder tieferer Lagen ab. Die Standortbedingungen sind klimatisch extrem und wechseln sowohl mit der Hangexposition als auch kleinräumig. Wälder in Steillagen der subalpinen Klimastufe sind ständigen Gefährdungen, beispielsweise durch Lawinen und Steinschlag, ausgesetzt. Sie sind nicht nur selbst latent gefährdet, sondern haben infolge dieser Situation herausragende Schutzfunktionen zu erfüllen – beim direkten Schutz tiefer gelegener Ortschaften, Strassen und Bahnlinien vor Lawinenabgängen und Steinschlag angefangen bis hin zum vorbeugenden Schutz vor Erosion und Hochwasser.

Vor diesem Hintergrund besteht ein wachsendes Interesse daran, die Wälder so zu bewirtschaften, dass sie ihre Schutzfunktionen bestmöglich erfüllen können. Wie aber muss ein subalpiner Wald strukturell aufgebaut sein, um den Störungen standhalten zu können?

Antwort darauf können Untersuchungen in vom Menschen weitgehend unbeeinflussten Hochlagenbeständen geben.

¹ Nach einem Vortrag, gehalten am 11. November 1996 im Rahmen der Montagskolloquien der Abteilung für Forstwissenschaften der ETH Zürich.

1.2 Rottenstruktur

In naturnahen Gebirgsfichtenwäldern tritt häufig das Phänomen der Rottenbildung in Erscheinung. Baumkollektive unterschiedlicher Grösse und Zusammensetzung grenzen sich gegenüber ihrer Umgebung mehr oder weniger deutlich ab. Die Rottenstruktur gilt als den extremen klimatischen Bedingungen sehr gut angepasst und wird von zahlreichen Autoren, zumeist aus waldbaulicher Sicht, beschrieben (*Bavier 1910, Kuoch und Amiet 1970, Hillgarter 1971, Kuoch 1972, Kalhs 1974, Mayer und Ott 1991, Mlinšek 1975, Indermühle 1978, Bischoff 1984, Zeller 1993*). Sie wird als stabil gegenüber Naturereignissen und Störungen wie Lawinen und Steinschlag, aber auch gegenüber Schneelasten gehalten. Rottenstruktur bedeutet ferner eine Risikoverteilung, denn selbst der völlige Ausfall eines Kollektivs braucht den Gesamtbestand nicht zu beeinträchtigen. Er bietet vielmehr die Ausgangsbasis für die neuerliche Rottenansamung und damit für einen langfristigen Strukturerhalt.

1.3 Zielsetzung

Zielsetzung dieser Untersuchung war es, an einem geeigneten, naturnahen Beispiel die Rottenstruktur auf der Ebene eines Bestandesausschnittes, auf der Ebene des Baumkollektivs «Rotte» sowie auf Einzelbaum-Ebene zu analysieren und deren Entwicklungen zu verfolgen.

2. Untersuchungsobjekt und -methoden

2.1 Untersuchungsfläche Uaul Tgom

In etwa 1700 m Meereshöhe wurde eine etwas über einen Hektar grosse, zusammenhängende Fläche am Osthang des Lehrreviers Sedrun ausgewählt. Diese Fläche, nordöstlich des St. Gotthard nahe dem Oberlauf des Vorderreins gelegen, zeichnet sich durch besonders gut ausgebildete Rottenstrukturen aus. Die durchschnittliche Hangneigung liegt bei 80%, die Jahresniederschlagswerte erreichen rund 1300 mm bei Durchschnittstemperaturen von etwa 3°C (Quelle: Klimaatlas der Schweiz).

2.2 Geländeaufnahmen

Als Basisinformation zur Auswertung von Struktur- und Konkurrenzgrössen wurden die X, Y- und Höhenkoordinaten eines jeden Baumes benötigt. Die Koordinaten wurden aus Azimut, Vertikalwinkel und Schrägdistanz berechnet, die von frei gewählten Fixpunkten aus mit Fernrohrbussole, Massband und zur Kontrolle mit Ultraschall-Entfernungsmesser eingemessen wurden. Über einen mit einem DISTOMAT TC 1600 eingemessenen Polygon-

zug konnten die Fixpunkte an das Schweizer Koordinatennetz angebunden werden. Auf diese Weise wurden 1169 Bäume, davon 572 über 1,3 m Höhe aufgenommen.

Als baumspezifische Parameter wurden Scheitelhöhe, Brusthöhendurchmesser, Durchmesser in 7 m Höhe, Kronenform und Kronenlänge sowie Besonderheiten hinsichtlich des Gesundheitszustands festgehalten. Nachwuchsbäume ab rund 20 cm Höhe sind nach Höhe und Wurzelhalsdurchmesser erfasst worden. Das Alter wurde bei Altbäumen über Bohrspanproben in Stammfusshöhe, bei Nachwüchsen durch Triebzählungen, geschätzt.

Zur exemplarischen Analyse des Entwicklungsgangs von Rotten wurden drei Rotten unterschiedlichen Entwicklungsstadiums eingeschlagen und per Stammanalyse in Brusthöhe und in fünf gleichmässig über den Stamm verteilten Höhen vermessen. Als Kronenparameter wurden stichprobenartig Astlängen und Astwinkel festgehalten. Zur Analyse der Höhenwachstumsgänge wurden sowohl die Ergebnisse der Stammanalyse als auch die im Gelände direkt gemessenen Triebblängen verwendet.

2.3 Auswertungen

Die Merkmale eines rottenförmig aufgebauten Bestandes sind auf unterschiedlichen Ebenen untersucht worden, auf der des gesamten Bestandesausschnitts, des Rottenkollektivs und des Einzelbaums. Auf der Ebene der Rotte sowie des Bestandesausschnitts treten Fragen der qualitativen und quantitativen Erfassung der Struktur und Textur hinzu. Ein weiterer Aspekt, auf den hier nicht näher eingegangen werden soll, ist die Modellierung und Quantifizierung der Konkurrenzverhältnisse unter den spezifischen Bedingungen des Gebirgswaldes, insbesondere des Geländereiefs und der aus klimatischen Gründen besonderen Bedeutung des Lichthaushalts (*Strobel 1995*). Es werden statische (Bestandeseigenschaften, Rotten-Kenngrössen, Einzelbaum-Merkmale) und dynamische Aspekte (Baumwachstum, Rottenentwicklung, Texturveränderung) berücksichtigt.

Nachfolgend soll der Blick vorrangig auf Ergebnisse der Bestandes-, Rotten-, Einzelbaum- und Texturanalysen gelenkt werden.

3. Bestandeseigenschaften

3.1 Horizontaler Bestandaufbau

Der kleinflächige Wechsel im horizontalen Bestandaufbau kommt in *Abbildung 1* zum Ausdruck. Kronenablotungen wurden zu einem in die Horizontale projizierten Polygonzug verbunden. Den Bestandesausschnitt *Uaul Tgom* kennzeichnet ein kleinflächiger Wechsel von dicht bestockten Flächen-

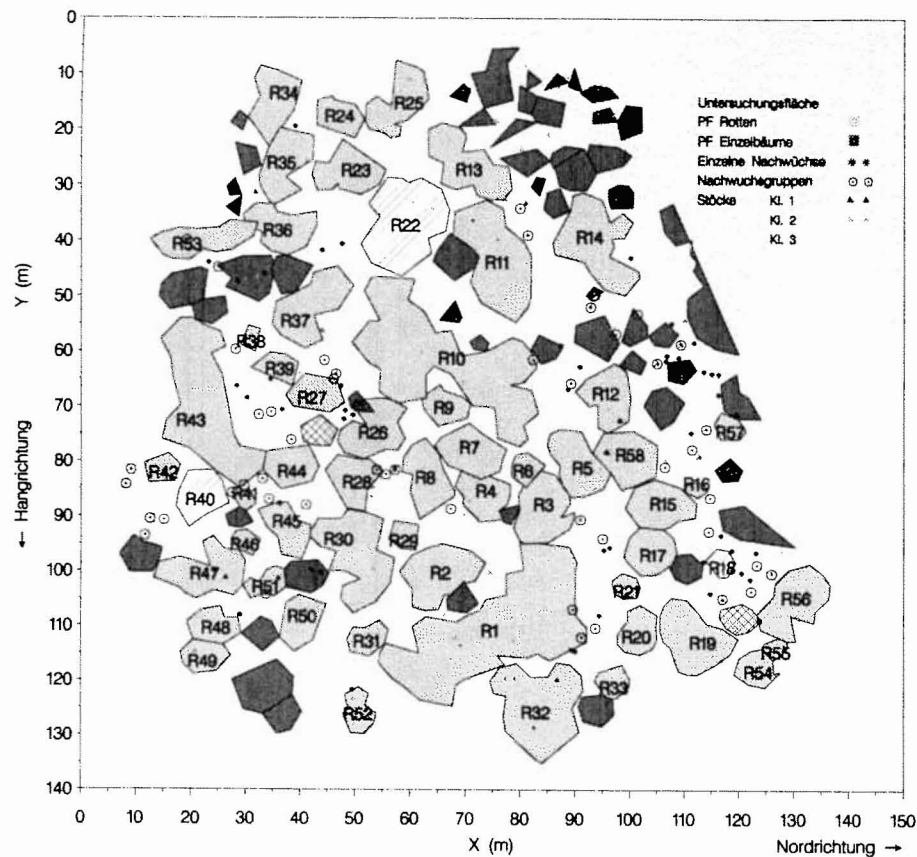


Abbildung 1. Horizontalprojektion der Untersuchungsfläche Uaul Tgom/Sedrun mit den Kronen-Projektionsflächen (PF) von Rotten und Einzelbäumen. Grösse der Untersuchungsfläche in Horizontalprojektion: 1,07 ha. Zur Stammanalyse entnommene Rotten sind schraffiert, entnommene Einzelbäume kreuzweise schraffiert hervorgehoben. Bei der Interpretation der Flächenverteilung von Rotten und Einzelbäumen ist in Erinnerung zu rufen, dass die Horizontalprojektion der im Durchschnitt etwa 40 gon (80%) geneigten Fläche zu Verzerrungen führt. Sich auf der Abbildung scheinbar berührende Kronen können – räumlich betrachtet – deutlicher voneinander abgegrenzt sein, als es die Projektion vermuten lässt.

Die Lage von einzelnen Nachwüchsen, Nachwuchsgruppen und alten Stöcken ist in *Abbildung 1* durch Einzelsymbole markiert. Um Randeffekte gering zu halten, wurde die Fläche so abgegrenzt, dass möglichst wenige Rotten durchschnitten wurden. Nach Norden und Süden begrenzen zum Teil grössere unbestockte Hangabschnitte die Untersuchungsfläche. Die Freiflächen sind überwiegend durch die Heidelbeere (*Vaccinium myrtillus*) und truppweise durch die Grünerle (*Alnus viridis*) besiedelt.

abschnitten, Einzelbäumen und Freiflächen. Dichtbestockte Partien lassen sich, bei klarer Abgrenzung gegeneinander, selbständigen Textureinheiten, den Rotten, zuordnen.

Tabelle 1. Kriterien zur Rottenansprache im Gelände.

1) Abgrenzung zwischen den Rotten	
Indizien zur Rottenabgrenzung	Beurteilungskriterien:
tiefreichende, lebende Krone	Benadelung bis zu den Astspitzen
Abstände zu Nachbarbäumen außerhalb der Rotte	Kronenberührungspunkte zu dritten Bäumen
Lebensfähigkeit lichtbedürftiger Vegetation	Höhe und Deckungsgrad
2) räumliche Verteilung	
<i>Typische Baumverteilungsvarianten innerhalb und zwischen den Rotten</i>	
A	geringe Abstände innerhalb der Rotte bei gleichzeitiger deutlicher Abgrenzung nach außen (typische Ausprägung)
B	geringe Abstände innerhalb der Rotte, geringe Abstände zwischen den Rotten
C	rel. große Abstände innerhalb der Rotte, deutliche Abgrenzung des Rottenkollektivs (Übergangsstadium zum Solitärcharakter einzelner Rottenglieder)
D	rel. große Abstände zwischen den Rottengliedern bei geringem Abstand zwischen den Rotten (Übergangsstadium zur gleichförmigem Bestandesaufbau)
3) Entwicklungszustand und Vertikalstruktur	
Indizien zur Rottenabgrenzung	Beurteilungskriterien:
Entwicklungsstadium und Höhendifferenzierung	h, d, und Altersverteilungen
Verteilung der „Entwicklungsstufen“	h, d, und Altersverteilungen
4) Homogenität innerhalb der Rotte	
Links: homogene Rotte, rechts inhomogene Rotte bezüglich der Verteilung ihrer Bäume	
5) Ursprünglichkeit	
Indizien	Beurteilungskriterien:
Ausmaß menschlicher Eingriffe	Anzahl, Größe und Verrottungszustand von Stöcken Lücken im Kronenmantel der Rotte

Die Rottenabgrenzung wurde im Gelände zunächst anhand einiger subjektiver Kriterien zur Rottenansprache vorgenommen (Tabelle 1). Die gegenseitige Abgrenzung von Rotten und der Verteilung der Bäume innerhalb und zwischen den Rotten waren massgebliche Kriterien zur Festlegung der Untersuchungsfläche. Entwicklungszustand und Vertikalstruktur dienen der quantitativen Beschreibung der verschiedenen Rotten. Nach den Kriterien *Homogenität* und *Ursprünglichkeit* wurden möglichst «ideale» Rotten für die Stammanalysen ausgewählt.

Dem Ideal einer Rote – einer selbständigen Textureinheit mit einem kegelförmigen Vertikalbau und einem gemeinsamen, langen Kronenmantel – kommen jüngere Rotten am nächsten, die sich aus «Primärkollektiven» entwickelt haben. Darunter sind von früher Jugend an nahe beieinander stehende, von der Umgebung räumlich isolierte Bäume zu verstehen. Wenn benachbarte Primärkollektive durch die Ausdehnung ihrer Kronen zusam-

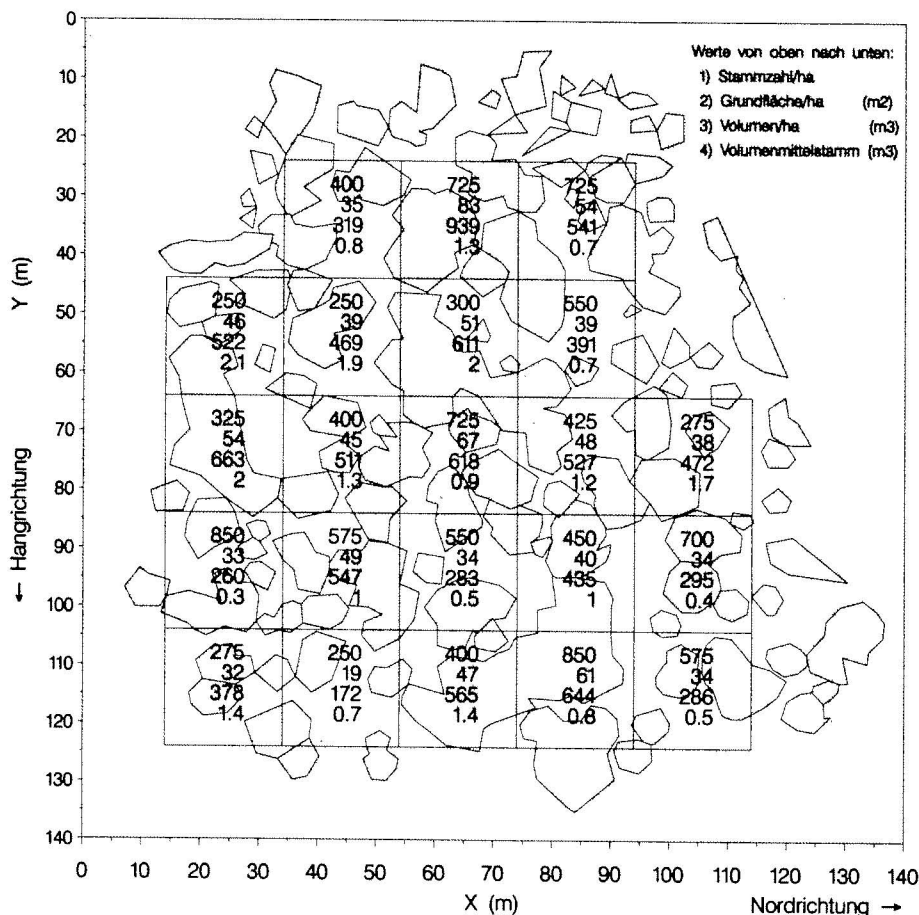


Abbildung 2. Lokale Dichten von Stammzahlen, Grundflächen, Vorrat und Volumenmittelstamm auf je 400 m² grossen Rasterflächen. Grundlage: alle lebenden Bäume über 1.3 m Höhe, n = 510. Grau unterlegt: Kronenprojektionsflächen der Rotten und Einzelbäume.

menwachsen und die Äste ihrer Randbäume ineinanderzugreifen beginnen, bilden sich «Sekundärkollektive». Je grösser der Abstand zwischen den ehemaligen Primärkollektiven oder Einzelbäumen ist, umso stärker verändert sich die ursprüngliche Rottengestalt und umso mehr weicht sie von der anfänglichen Kegelform ab.

In *Abbildung 2* wird die horizontale Heterogenität durch eine Aufteilung der Fläche in 20x20 m grosse Quadrate sichtbar gemacht, für die jeweils Stammzahl, Grundfläche, Volumen und Volumenmittelstamm auf einen Hektar hochgerechnet wurden.

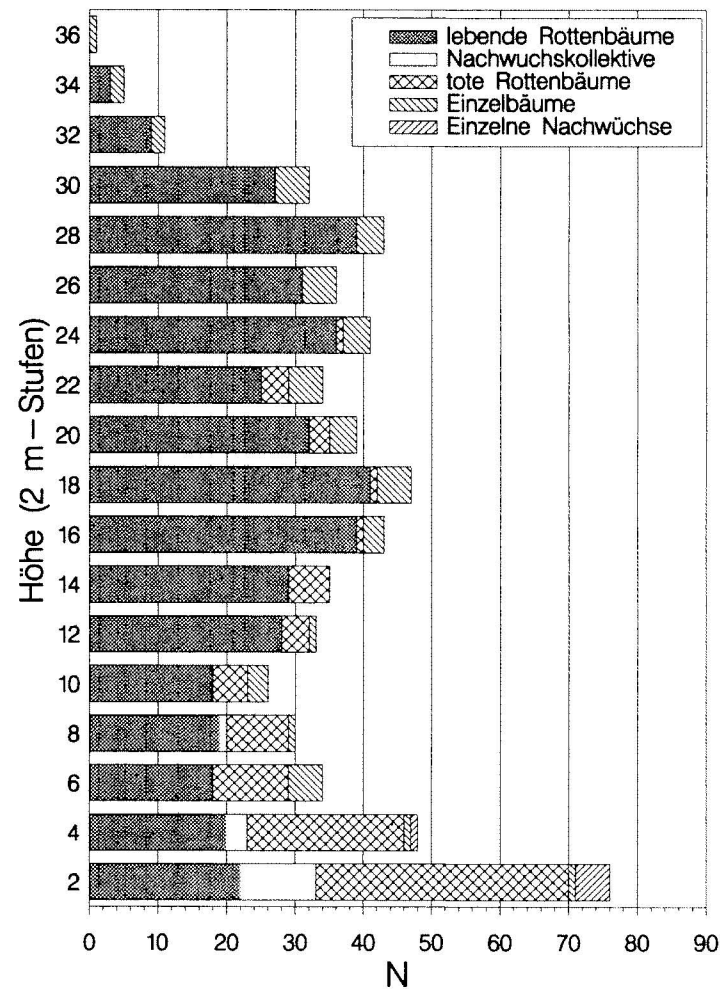


Abbildung 3. Verteilung der Stammzahl auf Höhenstufen (alle Bäume > 1.3 m, n = 614, Fläche: 1,07 ha).

Die Stammzahl variiert zwischen 250 Bäumen/ha auf lichten Partien und 850 Bäumen/ha. Entsprechend breit ist die lokale Dichte der Grundfläche und des Vorrats gestreut, nämlich zwischen 19 m²/ha und 83 m²/ha bzw. 172 m³/ha und 940 m³/ha. Der Volumenmittelstamm liegt zwischen 0,3 und 2,1 m³, wobei der Maximalwert auf einem lichten, aus wenigen Altbäumen bestehenden Bestandesausschnitt erreicht wird.

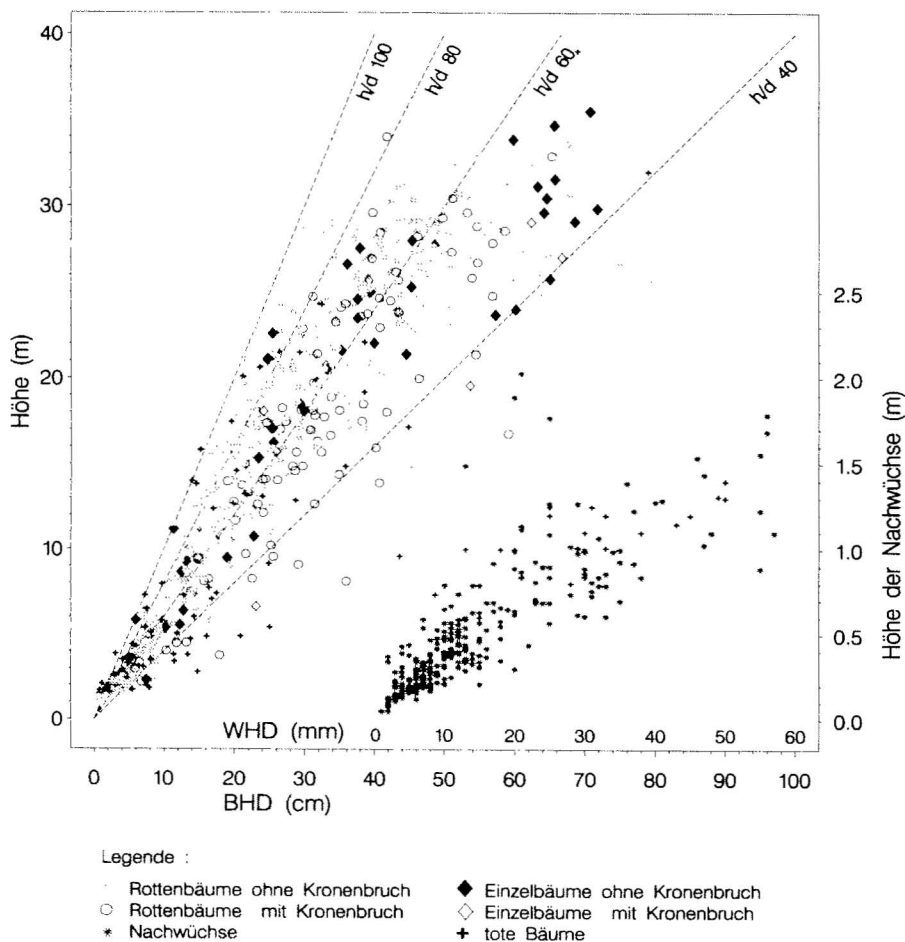


Abbildung 4. Verhältnis von Höhe und Brusthöhendurchmesser (BHD m.R.) bei Rotten und Einzelbäumen und Verhältnis von Höhe und Wurzelhalsdurchmesser (WHD m.R.) bei Nachwüchsen. Bäume mit festgestellten überwachsenen oder frischen Kronenbrüchen sind getrennt von Bäumen ohne sichtbare Kronenbrüche aufgeführt. Die Isolinien bezeichnen die Schlankheitsgrade (h/d-Werte) 40–100.

3.2 Vertikaler Bestandesaufbau

Die Höhenverteilung der Bäume auf der gesamten Fläche belegt eine vielschichtige Vertikalstruktur (Abbildung 3). Im Unterschied zu einschichtigen Beständen ist jede Höhenstufe mit Bäumen vertreten. Allerdings sind die Höhenstufen bis 15 m Höhe im Vergleich zu jenen bis 30 m Höhe etwas unterrepräsentiert. Die Mortalität ist in den Höhenstufen bis 10 m hoch. Dies ist vor allem ein Ausdruck der intensiven Differenzierungsprozesse innerhalb der Rotten.

3.3 Bestandesstabilität und Kronenbrüche

Wenn man unter Stabilität die physikalische Stabilität des einzelnen Baumes versteht, so kommt dem Schlankheitsgrad (h/d-Wert) als einfach zu ermittelnde Weisergröße eine besondere Bedeutung zu (Abetz 1976). Er informiert indirekt über die Schwerpunktlage von Stamm und Krone. Über den Schlankheitsgrad kann die Standfestigkeit gegenüber Wind und Schneebelastung beurteilt werden (Abbildung 4).

Die h/d-Werte liegen beim Gesamtkollektiv der Bäume über 1,3 m Höhe mit wenigen Ausnahmen zwischen 40 und 100. Im Brusthöhendurchmesserbereich um 20 cm streut die Mehrheit der Bäume im Bereich zwischen 60 und 80, in den oberen Durchmesserstufen um 60. Der Abnahmetrend der Schlankheitsgrade mit zunehmendem Durchmesser ist augenfällig. Über 35 cm Durchmesser liegen alle Bäume unter h/d 80, oberhalb etwa 55 cm BHD unter h/d 60.

Es ist zu erkennen, dass geringe h/d-Werte in vielen Fällen auf Kronenbrüche zurückzuführen sind. Da bei einem Fünftel der aufgenommenen Bäume ehemalige oder aktuelle Kronenbrüche feststellbar sind (Tabelle 2), ist für den untersuchten Bestand ein wesentlicher Einfluss von Kronenbruchereignissen auf die Bestandesstabilität zu vermuten.

Tabelle 2. Beobachtete Kronenbrüche (1,07 ha, n = 510)

	Anzahl	%
Bäume mit aktuellem ¹ Kronenbruch	48	9,5
Bäume mit altem Kronenbruch	45	8,9
Bäume mit mehreren alten Kronenbrüchen	9	1,8
Summe	102	20,1

¹ Zum Aufnahmezeitpunkt war noch kein neuer Gipfeltrieb gebildet.

Stratifiziert man die aufgenommenen Kronenbrüche nach dem Wuchsort der betreffenden Bäume, wird erkennbar, dass die Einzelbäume im Mittel niedrigere Schlankheitsgrade aufweisen als Rottenbäume (Tabelle 3). Auf-

fallend sind die deutlichen Unterschiede zwischen Randbäumen und Zentralbäumen². Daraus geht hervor, dass die Stabilitätsunterschiede zwischen den Bäumen innerhalb der Rotte mindestens ebenso gross sein können wie die zwischen Rotten- und Einzelbäumen. Bei Rottenbäumen mit Kronenbrüchen sind die Schlankheitsgrade im Mittel um 20% geringer als bei nicht gebrochenen Rottenbäumen. Bei Einzelbäumen ist der Unterschied zwischen gebrochenen und nicht gebrochenen Bäumen geringer. Eine Erklärung dieses Befunds ist, dass bei Einzelbäumen aufgrund ihrer Schaftstatik eher nur die Wipfel gebrochen werden, wohingegen bei Rottenbäumen, insbesondere bei Zentralbäumen, Kronenbrüche gravierender sind.

Tabelle 3. Mittlere Schlankheitsgrade bei Rotten-Randbäumen, Bäumen im Rotteninnern (Zentralbäume) und Einzelbäumen.

	Rottenbäume		Einzelbäume
	Randbäume	Zentralbäume	
ohne Kronbruch	65 (19)	73 (21)	59 (14)
n	239	90	38
mit Kronbruch	52 (12)	58 (13)	52 (16)
n	61	33	8

In Klammern: Standardabweichung (s). Sehr alte Kronenbrüche sind an Bäumen im Gelände oft nicht zu erkennen, vor allem wenn sie bereits vor Jahrzehnten überwachsen worden sind. Die wirkliche Anzahl an Kronenbrüchen dürfte daher höher liegen.

Der sehr langsame Fäulefortschritt in der kühlen subalpinen Klimazone hat zur Folge, dass die Kronenbruchereignisse beim langkronigen Baum kaum zu einem Schaden, wohl aber zu einer Stabilisierung des Baumes beitragen. Bei ihm geht nur relativ wenig von seiner Assimilationsmasse durch den Bruch verloren. Bei den Zentralbäumen hingegen sind die Folgen schwerwiegender. Wegen der ungünstigeren Baumstatik liegt die Bruchstelle einerseits tendenziell tiefer, andererseits büsst der Baum wegen der kürzeren Kronen relativ grössere Kronenteile ein.

² Als Randbäume wurden alle vitalen Rottenbäume mit einseitigen, langen Kronen bezeichnet; Zentralbäume sind alle übrigen Bäume im Rotteninnern ohne wesentlichen Anteil am äusseren Kronenmantel.

4. Rottenkenngrössen

4.1 Stammzahl und Flächenausdehnung

Die aufgenommenen Rotten sind überwiegend stammzahlarm. Von 58 Rotten bestehen lediglich 14 aus mehr als 10 lebenden Bäumen (Abbildung 5). Allerdings haben die wenigen stammzahlreichen Rotten die grösste Flächenausdehnung mit bis über 500 m² Kronenprojektionsfläche (Abbildung 6).

Bei 50 von 58 untersuchten Rotten (84%) liegen die Kronenprojektionsflächen unter 130 m², entsprechend einem Kreisdurchmesser von etwa 13 m. Die mittlere Kronenprojektionsfläche von 89 m² entspräche bei Kreisform der Rotte einem Durchmesser von etwa 10,6 m, rund dem doppelten Durchmesser eines durchschnittlichen Einzelbaums (5,4 m).

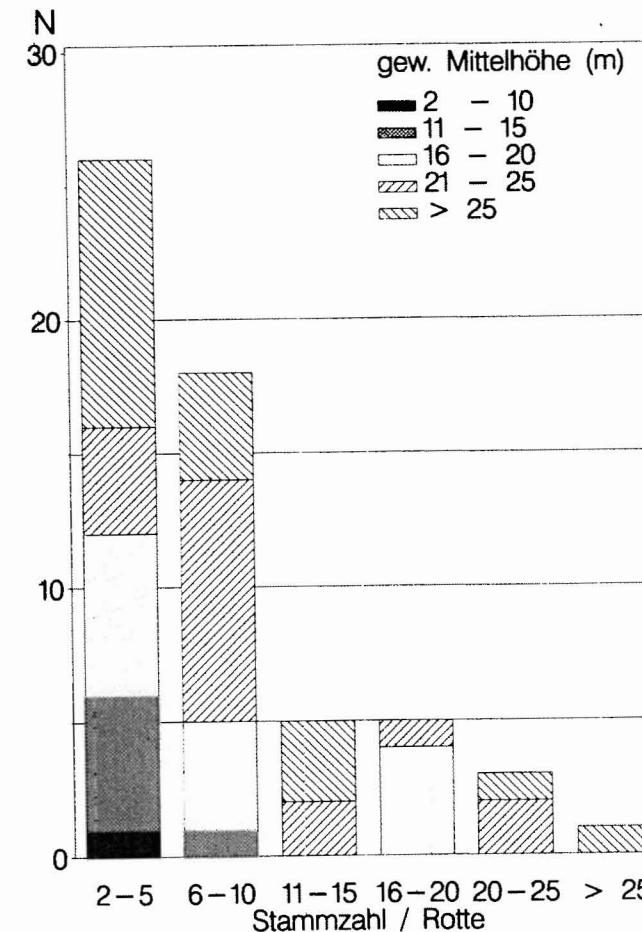


Abbildung 5. Häufigkeit aller Rotten nach Stammzahl und gewichteter Mittelhöhe (h₁). (58 Rotten/484 lebende Bäume).

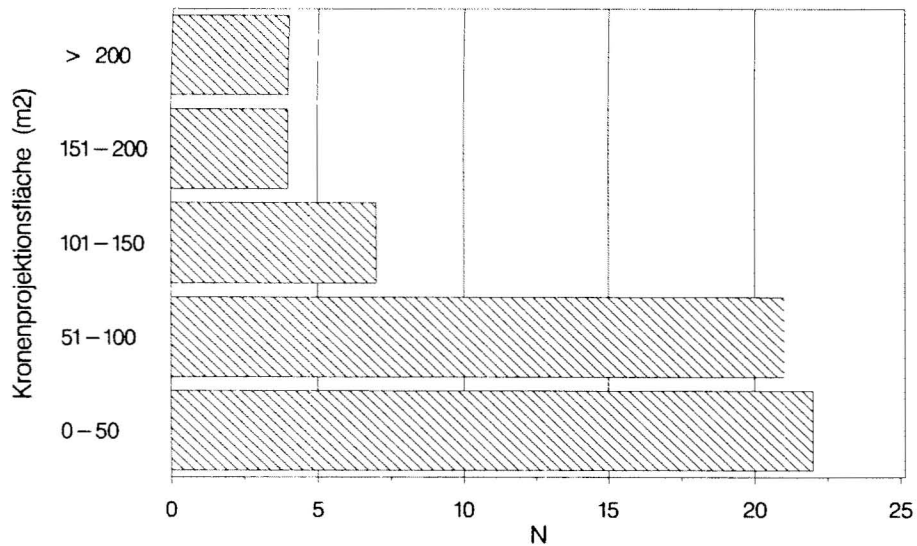


Abbildung 6. Häufigkeiten der Kronen-Projektionsflächen von 58 Rotten. (Arithm. Mittel: 89 m², s=92 m², Min.=8 m², Max.= 518 m², n = 58).

4.2 Flächenform

Je unregelmässiger die Form der Kronenprojektionsfläche ist, umso grösser ist der Kontakt des Kollektivs zur Umwelt. Positiv ausgedrückt steigt damit seine Gesamt-Kronenmantelfläche und damit die potentielle Assimilationsoberfläche. Negativ ausgedrückt vergrössert sich die Angriffsfläche gegenüber ungünstigen Einflüssen von ausserhalb (Abbildung 7). Als relatives Mass der Kompaktheit eines Kollektivs wird das Verhältnis von dessen Projektionsflächenumfang zum Umfang eines Kreises gleicher Fläche verwendet (U%-Wert). Der Vergleich orientiert sich zweckmässigerweise am Kreis, der Figur mit dem absolut kleinsten Verhältnis von Umfang zu Fläche.

Vor allem bei jüngeren Rotten ähnelt die Projektionsfläche der Kreisform (Rotten 15–21, 33, 40–42, 46). Bei älteren, zusammengewachsenen Rotten ist die Kronenprojektionsfläche unregelmässiger. Höhere U%-Werte deuten auf eine sekundäre Aggregation aus zwei oder mehreren Kollektiven hin. Bei hohen Werten um 150% handelt es sich um Rotten, die aus mehreren Kollektiven und Einzelbäumen zusammengewachsen sind (Rotten 1 und 10). Sie können als Grenzfälle³ der Rottenausscheidung bezeichnet werden, da die Verbindung zwischen den einzelnen Teilkollektiven nicht sehr intensiv ist.

³ Grenzfälle sind auch die als Einzelbäume aufgenommenen Bäume im nordwestlichen Teil der Fläche, die zwar zum Teil im Kronenschluss mit Nachbarbäumen stehen, aber keinen gemeinsamen, tiefreichenden Kronenmantel haben und deshalb nicht als zu einer Rotte gehörend bezeichnet werden.

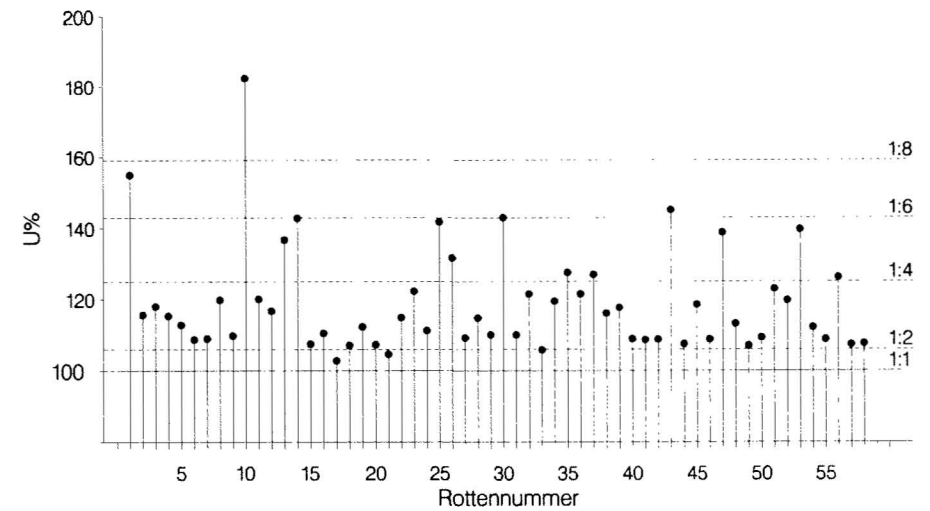


Abbildung 7. Verhältnis des Rottenumfangs zu dem eines flächengleichen Kreises (in %). Zum Vergleich (Hilfslinien): Umfang des Kreises (100%) und von Ellipsen unterschiedlicher Relation von kleiner zu grosser Achse (rechts).

Die Bandbreite von Rottenformen zeigt, dass die grosse Variabilität in Form und Aufbau zwangsläufig zu fließenden Übergängen zwischen günstigen Rottenstrukturen und grösseren, weniger gut differenzierten Bestandesgruppen führt.

5. Stammanalysen an Einzelbäumen

Die Form des Baumschaftes ist mehr als jede andere waldwachstumskundlich erfassbare Grösse Ausdruck der Individualität des Baumes. Sie lässt Schlüsse auf seine soziale «Rangordnung» und seine physikalische Stabilität zu. Einen Eindruck des Spektrums der auf der Fläche *Uaul Tgom* vorgefundenen Schaftformen vermittelt Abbildung 8.

Über einen langen Zeitraum unbeeinträchtigt erwachsene Bäume zeichnen sich durch ein weitgehend gleichmässiges und konzentrisches Wachstum über die ganze Schaftlänge hinweg aus. Vorherrschende Rottenbäume sind in der Schaftform kaum von den untersuchten, weitgehend mit freien Kronen erwachsenen Einzelbäumen zu unterscheiden. Baum 16 beispielsweise konnte seine Krone nach Süden gegen eine Freifläche von gut zehn Meter Durchmesser hin ungehindert entfalten. Mit einem Schlankheitsgrad von 61 (h/d o.R.) zählt er zu den stabilisierenden Gerüstbäumen der Rotte. Ähnliche Schaftformen sind bei anderen Bäumen mit vergleichbarer Kronenexpansion zu beobachten.

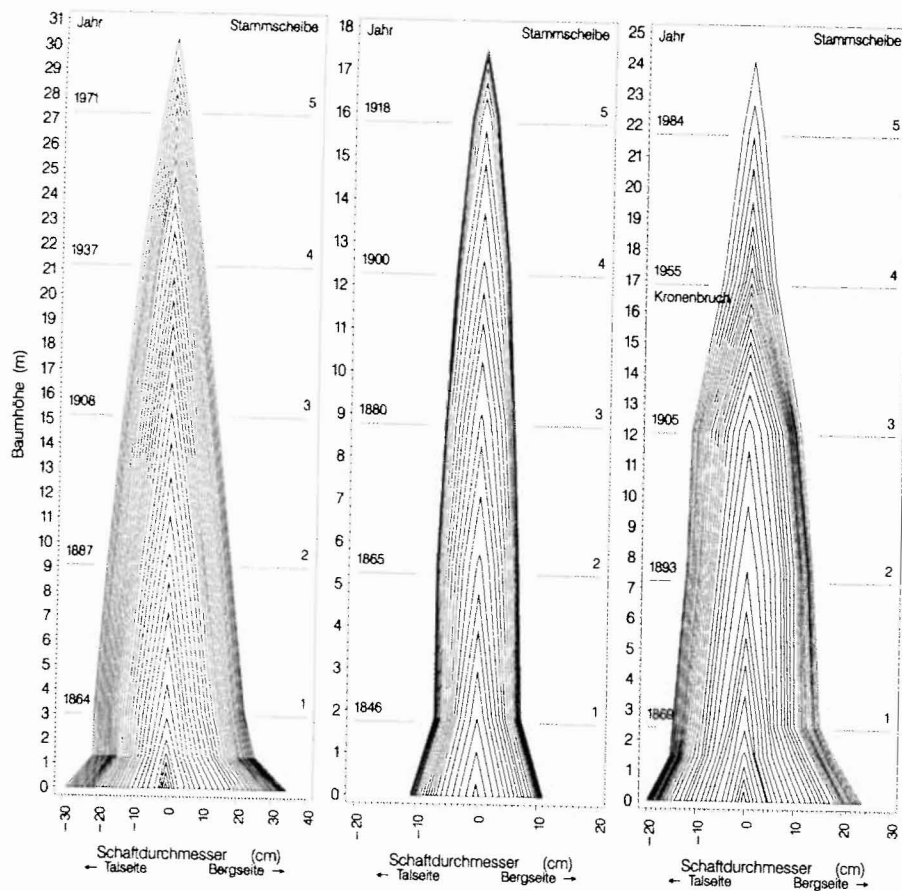


Abbildung 8. Schaftformen von Rottenbäumen auf der Untersuchungsfläche Uaul Tgom. Rottenbäume der Rotte 22

von links: Wuchsort

Baum 16 Rottenrand

Baum 9 Rottenzentrum

Baum 21 Rottenrand (Zwiesel nach Kronenbruch; nur ein Zwieselast dargestellt)

Der Abstand der Umhüllungslinien entspricht jeweils dem Zuwachs einer 5jährigen Periode bis zum Jahr der Fällung 1993 bzw. bis zum Todesjahr 1960 (Baum 22/9). Links des Schaftes sind die Jahreszahlen des jeweils marknächsten Jahrrings, rechts die Sektionsnummer der entnommenen Stammsscheibe vermerkt. Eine mögliche Krümmung der Stammachse wird durch die Graphik nicht abgebildet.

Mitherrschende und beherrschte Rottenbäume im Zentrum der Rotte sind vollformiger, wie am Beispiel des stark bedrängten Baumes 22/9 gezeigt werden kann. Er ist, vor allem im mittleren und oberen Schaftteil, walzenförmig im Gegensatz zu den kegelförmigen, abholzigen Schäften der Randbäume. Die durchweg relativ breiten Stammbasen (Stockhöhe), auch bei sonst voll-

formigen Bäumen, dürfen nicht ohne weiteres als Indiz für Stabilität angesehen werden, da vor allem in geneigtem Gelände Stützwurzeln oder auch Druckholzbildung hierfür Ursache sein können. Rottenbaum 22/21 ist als Beispiel für einen Baum aufgeführt, dessen Krone bereits mehrfach gebrochen worden ist. Der folgenreichste Kronenbruch 1948 führte zu einer Schaftverzwieselung.

6. Wachstum und Stabilitätsentwicklung von ausgewählten vorherrschenden Bäumen

Ein aussagefähiges Ergebnis von Stammanalysen sind Wachstumskurven. Sie lassen eine Einschätzung des Wuchspotentials des Standorts und der Wuchsdynamik der Bäume zu. Referenzentwicklungen wie z.B. Ertragstafeln erleichtern die Interpretation von Wachstumskurven. Für Hochlagenbestände sind geeignete Referenzdaten allerdings kaum verfügbar. Die von v. Guttenberg aus Hochgebirgsfichtenbeständen abgeleiteten Mittelkurven gestatten einen Vergleich, wenngleich sie in ihrer Struktur nicht der Untersuchungsfläche *Uaul Tgom* entsprechen.

Im Jahr 1915 veröffentlichte v. Guttenberg seine Untersuchungen zum Wachstum von Hochgebirgsfichten in den österreichischen Alpen. Zum Vergleich für den Wachstumsgang ausgewählter Bäume der Untersuchungsfläche werden die nach Standortklassen stratifizierten Mittelstämmen v. Guttenbergs (1915, S. 117 ff.) herangezogen. Wenngleich ein Grossteil seines Untersuchungsmaterials aus geschlossenen und annähernd gleichaltrigen Beständen stammt, eignet es sich besser für einen Vergleich als Wachstumskurven aus Tieflagenbeständen. Im «Schutzbezirk Rauris» bei Salzburg gewann er ausserdem zwei Altfichten, die bezüglich der Höhenlage am besten mit den Verhältnissen auf *Uaul Tgom* übereinstimmen. Fichte «Rauris 14» stammte aus 1650 m und «Rauris 20» aus 1700 m Meereshöhe. Sie wuchsen in anfänglich undurchforsteten und später durch zahlreiche Ausfälle licht gewordenen Beständen mit 380 (Rauris 14, 730 m³ Vorrat/ha) bzw. 300 Bäumen je Hektar (Rauris 20, 365 m³ Vorrat/ha) zum Entnahmezeitpunkt.

Höhenwachstum (Abbildung 9a) und Bonität

Die Entwicklung des Höhenwachstums der ausgewählten Bäume – zweier Einzelbäume und zweier Rottenrandbäume – verläuft auf *Uaul Tgom* in der Jugend zunächst parallel zu dem der v. Guttenberg'schen Mittelstämmen der fünften Standortklasse. Ab einem Stockalter von 30 bis 40 Jahren oder 2 bis 3 m Höhe wachsen die Bäume auf *Uaul Tgom* deutlich rascher als es die Anfangsbonität nach den v. Guttenberg'schen Wachstumskurven erwarten liesse. Sie wechseln mit Ausnahme des Einzelbaums 1 zwei Bonitätsstufen nach oben. Das Jugendwachstum des zunächst unterdrückten Einzelbaums 1 ähnelt in der Jugend dem der Fichte Rauris 20. Nach dem Ende der Schirmdruckphase im Alter 90 ist der Zuwachs beim Einzelbaum 1 konstant höher als bei «Rauris 20».

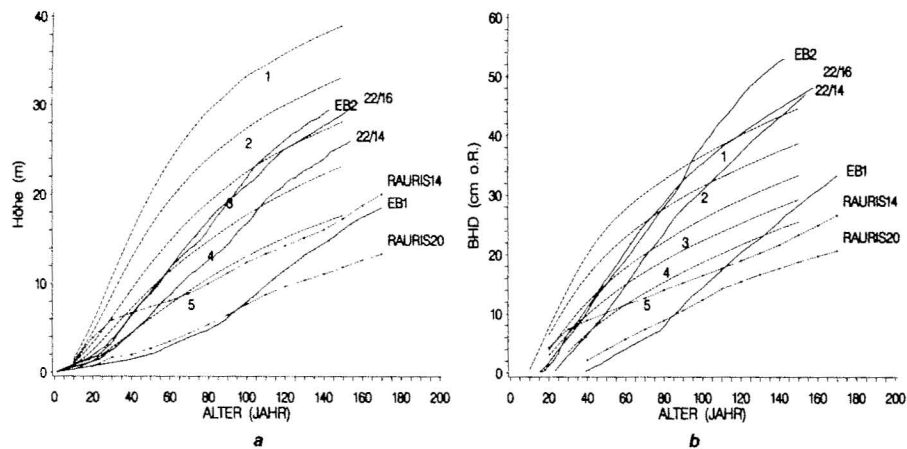


Abbildung 9 (a + b). Vergleich des Höhen- und Durchmesserwachstums ausgewählter Rotten- und Einzelbäume mit dem Wachstumsgang der Mittelstämme von v. Guttenberg.
a) Höhenwachstum b) Durchmesserwachstum
gestrichelt: Kurvenfächer der Mittelstämme nach v. Guttenberg,
durchgezogen: Einzelbäume und Rottenrandbäume der Fläche Uaul Tgom / Sedrun,
gepunktet: Vergleichsbäume Rauris 14 und Rauris 20.
(v. Guttenberg, 1915, S. 117ff., fünf verschiedene Standortsklassen)

Durchmesser (Abbildung 9b), Schlankheitsgrad (Abbildung 10a) und Volumenwachstum (Abbildung 10b)

Deutlicher unterscheidet sich das Durchmesserwachstum der Probestämme in 1,3 m Höhe vom Wachstum nach den Referenzkurven. Wären Einzelbaum 2 und die beiden Rotten-Randbäume in der Jugend nach dem Durchmesserwachstum noch der vierten Standortsklasse zugeordnet worden, so übersteigt ihr Wachstum im Alter 90 bis 140 selbst das Dickenwachstum der Mittelstämme der ersten Standortsklasse, Einzelbaum 2 sogar um bis zu 10 cm.

Die Entwicklung der Schlankheitsgrade unterscheidet sich bei den Rottenbäumen grundsätzlich von denen der Vergleichsbäume v. Guttenbergs. Liegen die h/d-Kurven der besseren Bonitäten der Mittelstämme zwischen 80 und 90 mit einer Kulminationsphase zwischen 80 und 110 Jahren, sinken die Schlankheitsgrade der dargestellten Rotten- und Einzelbäume auf Uaul Tgom rasch weit unter die der Vergleichskurven und bleiben alle auf einem konstanten Niveau um 60. Aus den h/d- Werten lassen sich für Uaul Tgom deutlich abholzigere Stammformen als die der v. Guttenberg'schen Mittelstämme ableiten.

Aufgrund der Abholzigkeit steigt der Volumenzuwachs, verglichen mit dem Bonitätsfächer, auf Uaul Tgom nicht im gleichem Mass wie der Durchmesserzuwachs an. Die stärkste Differenzierung im Volumenzuwachs ist beim direkten Vergleich der Bäume auf Uaul Tgom untereinander zu erkennen. Im

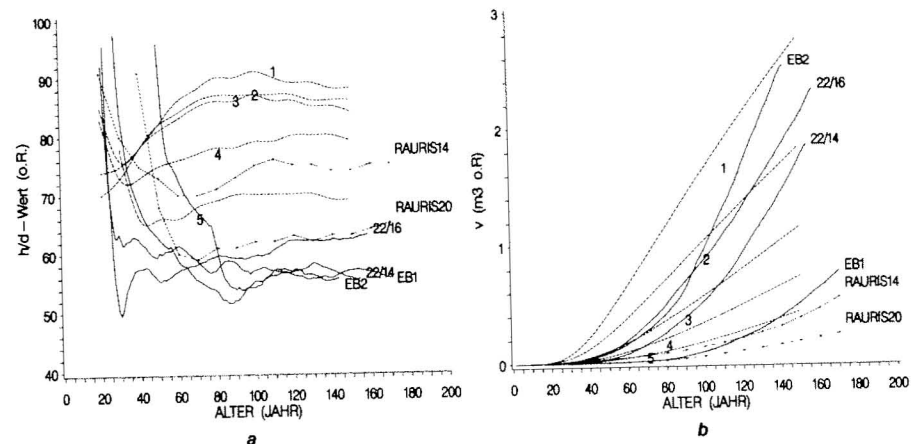


Abbildung 10 (a + b). Vergleich von h/d-Wert-Entwicklung und Volumenwachstum ausgewählter Rotten- und Einzelbäume mit dem Wachstumsgang der Mittelstämme von v. Guttenberg.
a) Schlankheitsgrad b) Volumenwachstum
gestrichelt: Kurvenfächer der Mittelstämme nach v. Guttenberg,
durchgezogen: Einzelbäume und Rottenrandbäume der Fläche Uaul Tgom / Sedrun,
gepunktet: Vergleichsbäume Rauris 14 und Rauris 20
(v. Guttenberg, 1915, S. 117ff., fünf verschiedene Standortsklassen)

Alter 140 ist der Einzelbaum 2 dem Rotten-Randbaum 16 über 0,6, dem Randbaum 14 sogar um einen Festmeter im Volumenwachstum voraus. Vermutlich vor allem wegen des verzögerten Höhenwachstums in der Jugend erreicht der Einzelbaum 1 im Alter 140 erst ein Schaftvolumen (o.R.) von 0,35 m³. Damit liegt er aber immer noch über den Vergleichsbäumen Rauris 14 und Rauris 20.

Zusammenfassend lässt der Vergleich mit den v. Guttenberg'schen Mittelstämmen folgendes festhalten:

- Im Hinblick auf die Bonität zum Entnahmezeitpunkt ist der Wachstumsverlauf der Beispielfichten auf Uaul Tgom gegenüber den von v. Guttenberg untersuchten Mittelstämmen aus Hochwaldbeständen in der Jugend verzögert. Dies ist möglicherweise auf die ungeschützteren Aufwuchsbedingungen der Einzelbäume und Primärkollektive auf Uaul Tgom in der Jugendphase zurückzuführen.
- Ist die gefährdete Höhenzone durchwachsen, steigt bei freistehenden Bäumen und den Rottenrandfichten das Wachstum kontinuierlich steiler an als das der Mittelstämme von v. Guttenberg.

Entscheidend für die Beurteilung der physikalischen Stabilität ist die in ihrer Deutlichkeit bemerkenswerte Erkenntnis, dass die Schlankheitsgrade sowohl bei den Einzelbäumen als auch bei den Rotten-Randbäumen wesentlich unter denen der von v. Guttenberg untersuchten Gebirgsfichten liegen.

7. Rottenentwicklung

Am Beispiel der jüngsten der entnommenen Rotten (Rotte 18) soll die Entstehung und Entwicklung einer Primärrotte exemplarisch dargestellt werden (Abbildung 11).

Mit der Ansamung um die Jahrhundertwende formiert sich 1915 zunächst ein kleines Kollektiv von nahe beieinanderstehenden Bäumen. Zwischen und im Randbereich dieser ersten Bäumchen samten sich in den folgenden Jahrzehnten weitere Fichten an, die während der nächsten Jahrzehnte in einen intensiven Differenzierungsprozess eingetreten sind. Zum Fällzeitpunkt präsentierte sich Rotte 18 als gut differenzierte, kegelförmige Primärrotte – nach allen Seiten durch einen praktisch bis zum Erdboden reichenden Kronenmantel begrenzt.

Entstehung der Rotte 18 (Abbildung 12, Abbildung 13)

Zwischen 1900 und 1910 samten sich die heute vorherrschenden bis mit-herrschenden Bäume an (1,2,3,7). Während einer zweiten Ansamlungsperiode um 1925 keimten vier weitere Bäume talseits im Randbereich dieser Gruppe, die zu jenem Zeitpunkt maximal einen Meter hoch war.

Im Konkurrenzkampf um Licht und damit auch um Wärme spielt die Höhenentwicklung eine entscheidende Rolle. Bei kleinflächig wechselnder Bestandesstruktur und stark geneigtem Standort hängen die Konkurrenzvorteile des einzelnen Baumes aber nicht nur von dessen absoluter Baumhöhe ab. Durch die Geländeneigung bedingt, können die Gipfel zweier benachbarter Bäume mit gleich langem Schaft einen beträchtlichen Höhenunterschied aufweisen. Bei einem Stammabstand von beispielsweise vier Metern und einer Geländeneigung von 40 gon kann dieser Höhenunterschied nahezu drei Meter ausmachen. Eine ebenso wichtige Rolle spielt der Wuchsort innerhalb der Rotte. Randbäume haben gegenüber Bäumen im Rottenzentrum bei gleicher Höhe entscheidende Vorteile, denn der lichtexponierte Teil des Kronenmantels ist weitaus grösser. Die Beteiligung der Krone am Rottenkronenmantel ermöglicht andererseits auch kleineren Bäumen Überlebenschancen.

Als Vergleichsmaßstab für die Wuchsdynamik innerhalb einer Rotte wird die absolute Meereshöhe des jeweils höchsten Gipfeltriebs der Rotte verwendet. Er wird in Abbildung 13 als dynamische obere Bezugsgrenze benutzt. Die untere Bezugshöhe ist auf das Stammfußniveau des untersten Baumes festgelegt⁴. Aussagefähig ist nicht in erster Linie der Höhenunterschied zum Nachbarbaum, sondern die Veränderung der Höhenentwicklung der Bäume im gegenseitigen Vergleich.

Als Vorstellungs- und Interpretationshilfe ist die Wuchskonstellation innerhalb der Rotte nützlich (Abbildung 12). Der geschätzte Ansamlungszeitpunkt gibt über die zeitliche Reihenfolge der Keimung Auskunft⁵.

⁴ Während der Ansamlungsphase ist die Graphik nicht interpretierbar, da sich mit der Keimung eines Baumes oberhalb der Wuchsorte der übrigen Kollektivbäume Schwankungen der Kurven ergeben können. Dort sind Unschärfen auch durch die lineare Interpolation des Wachstums zwischen der Stockhöhe und der Höhe der untersten entnommenen Stammscheibe (in 1/10 der Baumhöhe) gegeben.

⁵ Lage der Rotten auf der Untersuchungsfläche siehe Abbildung 13.

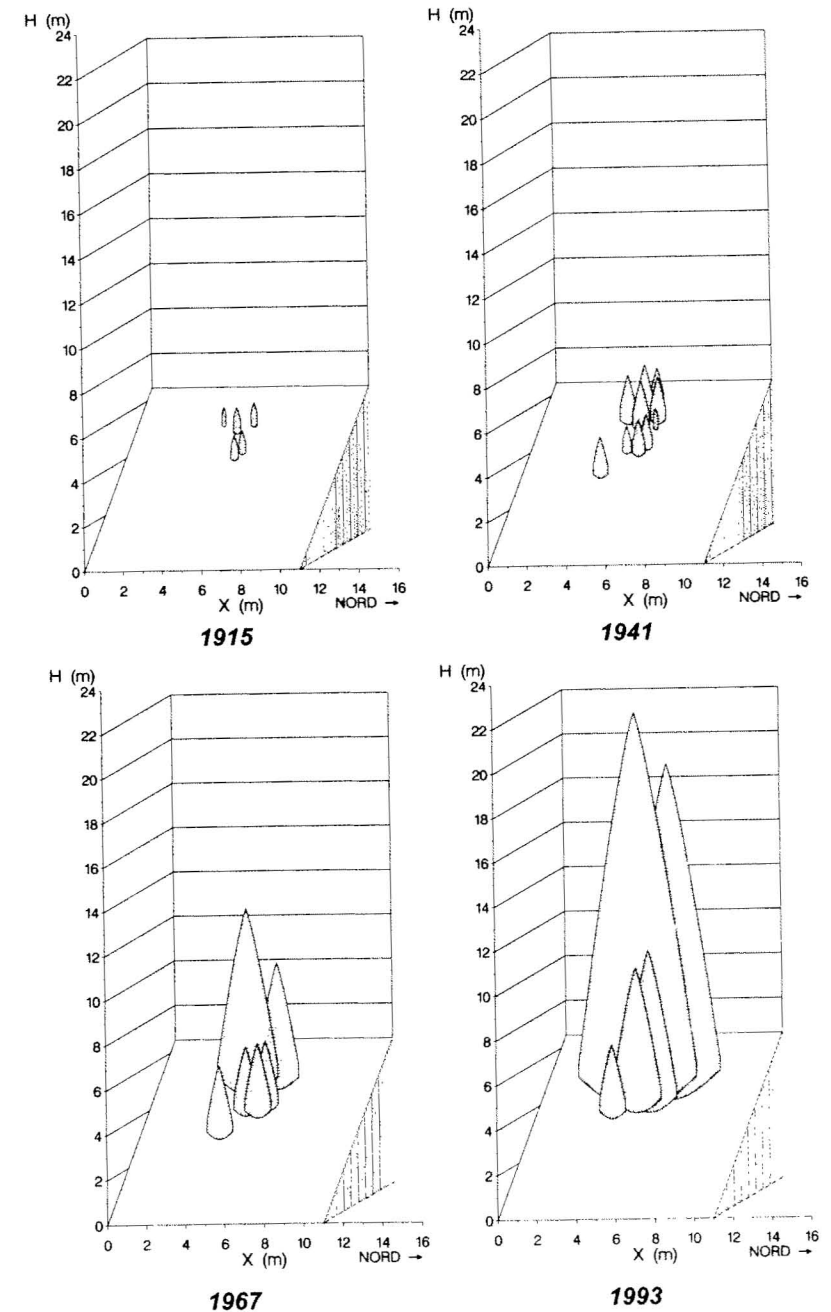


Abbildung 11. Entwicklung der Primärrotte 18 seit 1915.

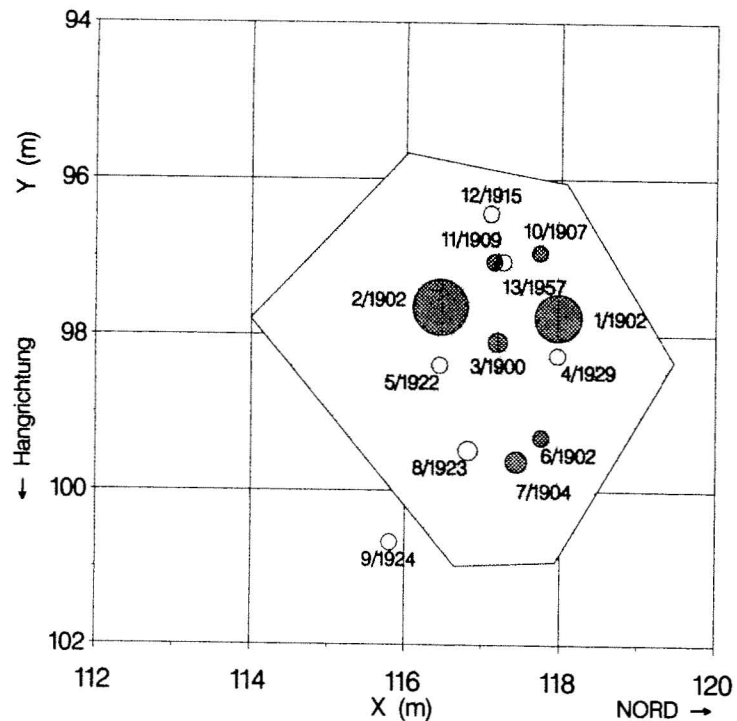


Abbildung 12. Lage und Keimungsjahr der Bäume der Rotte 18.
 erste Ziffer: Baumnummer
 zweite Ziffer: Keimungsjahr
 graue Symbole: Bäume von Primärrotten
 weisse Symbole: Jüngere Bäume
 (Symbolgröße zur besseren Darstellung überproportional)

Innerhalb der höheren Gruppe fand ein rascher Differenzierungsprozess statt, infolge dessen die Bäume 10 und 11 später abstarben. Die beiden Bäume 1 und 2 konnten sich durchsetzen und überwuchsen ihre Konkurrenten um ein Vielfaches. In der Zeit von 1960 bis 1980 festgestellte Gipfelbrüche bei fünf Bäumen, darunter Baum 1 (1969), haben den Differenzierungsprozess vermutlich beschleunigt. Baum 1 konnte den dadurch erlittenen Nachteil bis zum Fällzeitpunkt praktisch wieder aufholen. Die gut belichteten, am talseitigen Rottenrand stehenden Bäume 7 und 8 sind durch die Konkurrenz der vorherrschenden nicht gefährdet. Ihre Höhenentwicklung ist proportional zu jener der dominanten Rottenbäume. Die übrigen Bäume sind sozial absteigend oder bereits abgestorben. Am deutlichsten ist der Wachstumsrückgang beim Baum 3, der in Rottenmitte von allen Seiten bedrängt wurde.

Der Entwicklung aller drei untersuchten Rotten ist gemeinsam, dass die Ansammlung des Primärkollektivs innerhalb einer kurzen Zeitspanne von zehn Jahren erfolgte.

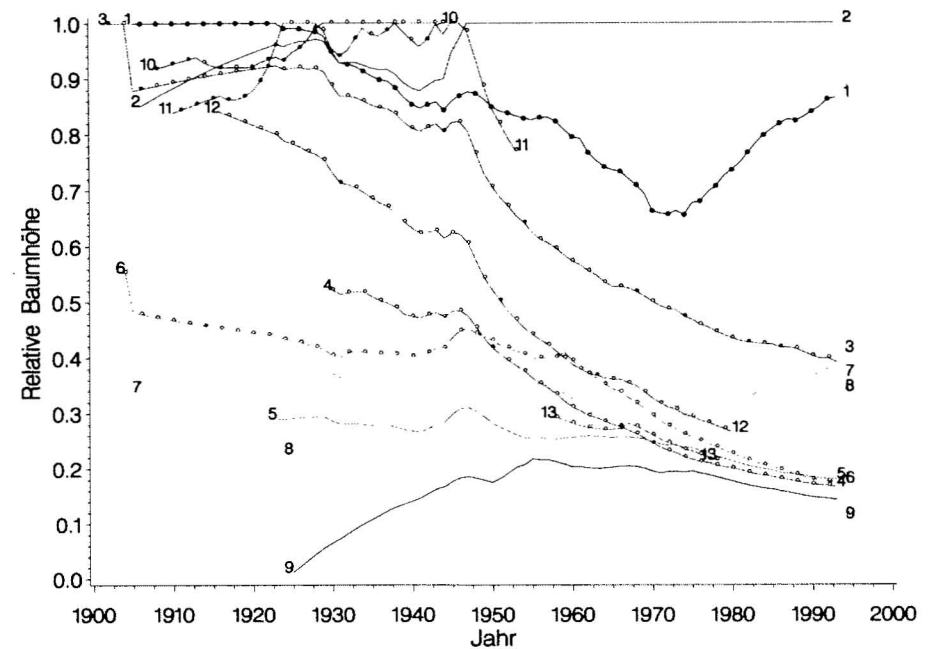


Abbildung 13. Relative Höhenentwicklung der Bäume der Rotte 18 (ab Stock).
 Relative Höhe 0.0: Stammfußhöhe des am tiefsten stockenden Baumes
 Relative Höhe 1.0: Gipfelhöhe des jeweils höchsten Baumes
 Punkte: sozial aufsteigende Bäume
 Linien ohne Symbole: mitwachsende Bäume
 Kreise: sozial absteigende Bäume

Die Phase der ersten Höhendifferenzierung ging innerhalb des jeweiligen Primärkollektivs rasch vonstatten. Dies ist daran ersichtlich, dass sich in der Oberschicht, also bei den herrschenden Bäumchen einer Primärrotte, kaum Führungswechsel ereigneten. Die Primärrotte entwickelt sich ihrem äusseren Habitus nach kegelförmig. Der Grund für die Höhendifferenzierung zu einem kegelförmigen Gesamthabitus liegt im Zeit- und Wachstumsvorsprung der vorherrschenden vor den übrigen Rottenbäumen, die sich ihrerseits im Randbereich der vorwüchsigen verjüngten. Die Tendenz zur allmählichen Expansion der Rotte bleibt auch im späteren Alter erhalten. Auch bei den beiden in der Entwicklung weiter fortgeschrittenen Rotten 22 und 40 samten sich mit vielen Jahrzehnten zeitlichem Abstand einzelne Bäume im Randbereich an, die mittelfristig zur Erhaltung der Stufigkeit beitragen.

In eine zweite Phase der Differenzierung tritt das Kollektiv dann, wenn es mit anderen Kollektiven zu einer Einheit zusammenwächst (graphisch nicht dargestellt). Kleinere und meist jüngere ehemalige Randbäumen geraten dann

rasch unter Konkurrenzdruck, so dass sie in ihrer Entwicklung stark gebremst werden oder absterben. Geraten grössere ehemalige Randbäume im Bereich der zusammenwachsenden Kronen unter Druck, hängt ihre weitere Entwicklung vom Höhenvorsprung gegenüber den nunmehr direkten Nachbarbäumen ab. Die unteren Teile ihrer Kronen werden mit dem Zusammenwachsen im Vergleich zu den übrigen Randbäumen überproportional bedrängt und beschattet. Mit dem Zusammenwachsen von Einzelbäumen und Primärrotten zu einer grösseren Einheit ist die Gefahr einer Labilisierung des entstehenden Rottencentrums verbunden. Die Stabilisierungsfunktion innerhalb der Rotte geht dann zunehmend von Randbäumen aus.

8. Bestandestextur und ihre Veränderungen

Kriterium zur Charakterisierung der Bestandestextur ist die Verteilung der Bäume auf der Fläche. Zur objektivierten Beschreibung der Bestandestextur wurde ein Clusterberechnungsverfahren nach dem *Single-Linkage*-Prinzip entwickelt, das zwei oder mehrere Individuen bei Unterschreiten eines Mindestabstands zu einem Kollektiv zusammenfasst (*Strobel 1995, 1996*).

Letztlich entscheiden aber Höhe und Kronenausdehnung von jeweils benachbarten Bäumen darüber, ob ein bestimmter Baumabstand Indiz für eine Baumklumpung (Aggregation) ist oder nicht. Nachbarbäume werden als gemeinsames Kollektiv definiert, wenn ihr Abstand kleiner als die Summe der individuellen potentiellen Kronenausdehnungen ist. Der potentielle Kronenradius wird aus Astanalysen geschätzt und funktional in Abhängigkeit von der Baumhöhe berechnet. Die Wahrnehmung von Textur in einer Gesamtheit von mehr oder weniger geklumpt vorkommenden Individuen ist ausserdem vom Betrachtungsmaassstab, also vom betrachteten Entfernungsbereich um einen Baum abhängig (*Getis und Franklin 1987, Moeur 1993*). Mit der Veränderung des Betrachtungsmaassstabs können Texturen verschwinden und neue Verteilungsmuster auftauchen, vergleichbar mit einem sich der Erde nähernden Astronauten, der mit abnehmender Entfernung von der Erde unterschiedliche Strukturen erkennen kann. Im Modell wird der Betrachtungsmaassstab durch Multiplikation der Abstandssumme mit einer Variablen M verändert. Wird die Kronenexpansion berücksichtigt, kann die Texturentwicklung nachvollzogen werden. Hilfsweise wird die potentielle Kronenexpansion in Abhängigkeit von der Baumhöhenentwicklung eingesetzt⁶.

Die Texturentwicklung auf einer 60 x 60 m grossen Teilfläche ist in *Abbildung 14* in sechs Stadien bei einem zeitlichen Abstand von jeweils vierzig Jahren dargestellt. Sie zeigt, dass der Zusammenschluss der Aggregationen ein sehr dynamischer Prozess ist. Die Rotten-Ausscheidung kann also immer nur eine Momentaufnahme sein. Es sind häufig fließende Übergänge bei der Abgrenzung eng beieinanderstehender Aggregationen erkennbar.

⁶ Da die Verrottungsprozesse im Gebirgswald langsamer als in tieferen Lagen ablaufen, ist die Fehlerquote durch zwischenzeitlich ausgefallene Bäume tolerierbar. Längerfristige Prognosen der Texturentwicklung erforderten eine Erweiterung des Modells unter Einbezug der künftigen Verjüngung und Mortalität.

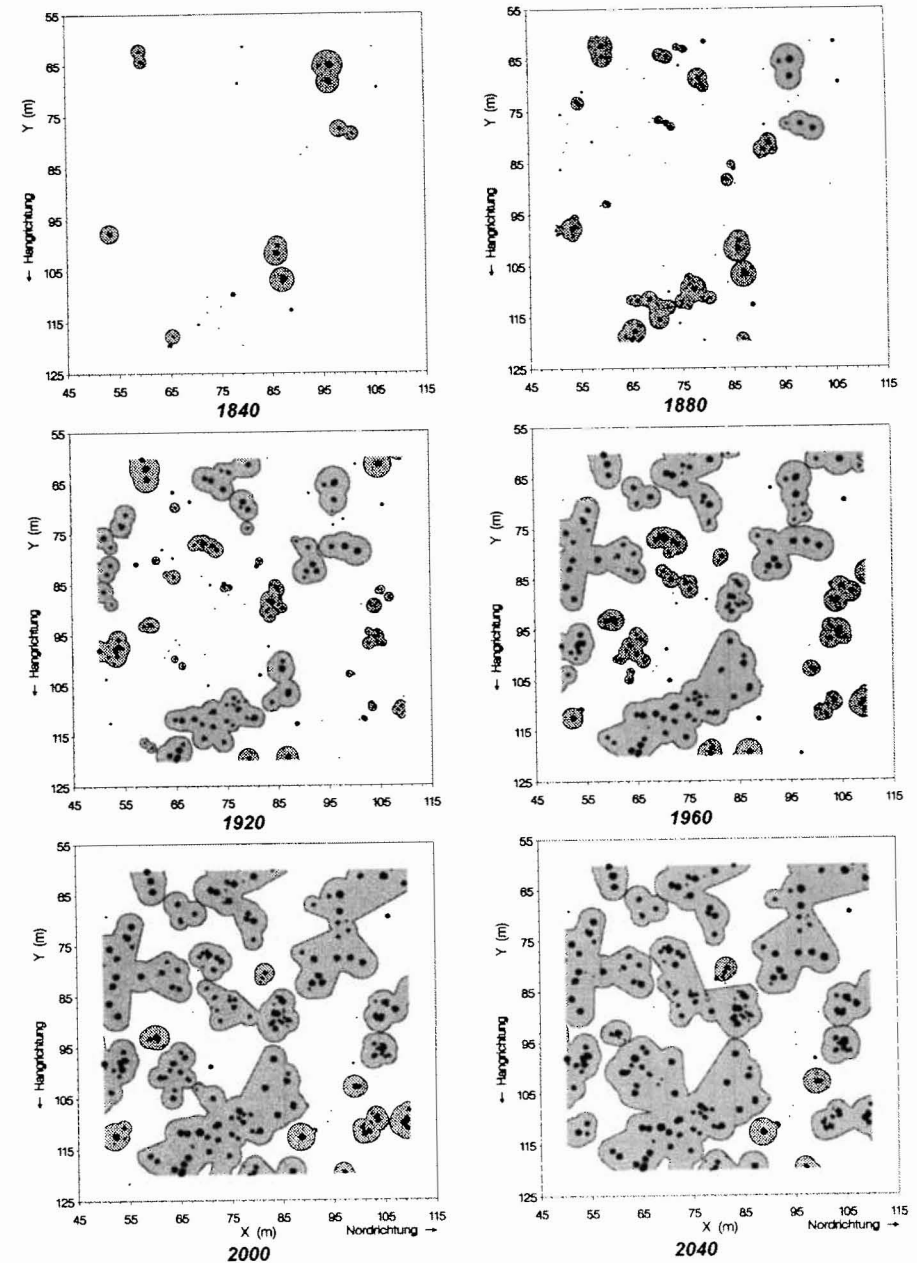


Abbildung 14. Nachbildung und Fortschreibung der Texturveränderungen auf der Probefläche Uaul Tgom (Nordost) zwischen 1840 und 2040. Graue Fläche: geschätzte Kronenprojektionsflächen der Aggregationen ($M = 0,6$). Punkte ausserhalb der grau unterlegten Fläche: Einzelbäume oder Nachwuchsgruppen (ohne Kronenprojektionsflächen).

Da der Verrottungsprozess in subalpinen Lagen ausserordentlich langsam vonstatten geht und Stöcke mit in die Texturentwicklung einbezogen worden sind, ist die dargestellte Entwicklung plausibel. Demnach ist die Fläche um 1840 nur mit wenigen Bäumen bestockt gewesen – ein Sachverhalt, der sich mit der Vermutung deckt, die Fläche sei ehemals eine Weidefläche gewesen. Im Randbereich von Bäumen, aber auch auf freien Stellen (möglicherweise durch Huftritt freigelegter Mineralboden), samten sich während der folgenden Jahrzehnte zahlreiche Primärkollektive und Einzelbäume an, die sukzessive zu Sekundärkollektiven zusammengewachsen sind, wobei die höchste Aggregationshäufigkeit um 1920 erreicht wurde. In den folgenden Jahren zeichnet sich ein Trend zur Bildung von grösseren Sekundärkollektiven ab. Die Fortschreibung der Texturentwicklung bis zum Jahr 2040 deutet darauf hin, dass sich die Anzahl der Aggregationen verändern wird. Die Vereinigung zu grossen Aggregationen ist allerdings anders zu bewerten als das Zusammenwachsen kleinflächiger Primärkollektive. Sie kann langfristig zur Bildung grösserer Gruppen, Horste oder Kleinbeständen führen.

Mit dem Zusammenschluss der Aggregationen steigt das Überschirmungsprozent der Fläche stetig an. Die Überschirmung betrug um 1840 nur etwa 5% und stieg bis 1990 stetig bis auf knapp 50% an. Die Stammzahlen lagen bis 1920 unter fünf Bäumen je Aggregation. Mit zunehmender Agglomeration der Kollektive steigt die durchschnittliche Stammzahl bis 1990 auf neun bis zehn Bäume an. Auch die Fortschreibung der Stammzahlentwicklung stützt für die Probefläche die These, dass mittelfristig ein verstärkter Zusammenschluss zu Grosskollektiven wahrscheinlich ist. Langfristig ist eine Erhaltung der Rottentextur deshalb nur dann zu erwarten, wenn sich durch den Ausfall einzelner Rotten ausreichend Raum und geeignete Kleinstandorte für spätere Verjüngungsansätze bieten.

9. Waldbauliche Folgerungen

Das Beispiel der Untersuchungsfläche *Uaul Tgom* zeigt, dass sich eine stabile, rottenförmige Bestandestextur bei günstiger vertikaler Struktur über lange Zeiträume weitgehend ohne menschliche Eingriffe entwickeln kann. Das Leitbild der Rottentextur aus völlig selbständigen Kollektiven ist nicht auf der ganzen Fläche gleich gut ausgeprägt. Gleichwohl lassen sich folgende waldbaulichen Folgerungen ableiten:

- Massgeblich für die Stabilität einer Rotte sind langkronige Bäume mit geringem Schlankheitsgrad. Die direkte Kronenkonkurrenz wie auch die Beschattung durch Nachbarbäume sind im Rotteninnern extrem hoch. Bäume im Rotteninnern sind kurzkrönig und weisen hohe h/d-Werte auf. Die «ideale» Altrotte setzt sich folglich ausschliesslich aus Randbäumen

zusammen. Eine derartig aufgebaute Rotte vereinigt den Vorteil vitaler Randbäume – solitärähnliche Stammformen bei niedrigem Stamm- und Kronenschwerpunkt – mit dem Vorteil der gegenseitigen Stabilisierung der Rottenbäume. Als praktische Konsequenz leitet sich daraus ein hangparalleler Rottendurchmesser von zwei bis drei Kronenradien eines Altbauabes ab.

- Zur Erhaltung eines tiefreichenden Kronenmantels sind ausreichend grosse Abstände zwischen den Rotten notwendig. Der Abstand zwischen den Kronenmänteln von Altrotten sollte etwa einen Kronenradius einer Altfichte betragen. Grosse Abstände zwischen den Rotten verringern die gegenseitige Beschattung und verhindern das Zusammenwachsen zu instabilen Grosskollektiven.
- Die festgestellten geringen Altersunterschiede vor allem innerhalb der Primärrotten lassen den Schluss zu, dass bei fehlender Verjüngung eine Bodenverwundung oder bei konkurrenzkräftiger Bodenvegetation auch stützpunktartige Pflanzungen als Imitationen von Primärkollektiven eine Rottenbildung einleiten können. Bei Pflanzung sollten ein bis zwei Primärkollektive von je fünf bis zehn vitalen Fichten bei einem Durchmesser des Primärkollektivs von etwa zwei Metern genügen. Je konvexer der Kleinstandort ist (Bodenerhebung, alter Stock), umso weniger Pflanzen reichen aus. Ein unregelmässiger Pflanzabstand fördert die vertikale Differenzierung. Nach dieser einmaligen Massnahme wird mit Naturverjüngung gerechnet, da mit der Höhendifferenzierung der gepflanzten Fichten im Randbereich und zwischen den Primärkollektiven vielfältige Beleuchtungsverhältnisse und verjüngungsgünstige «Nischen» entstehen. Voraussetzung ist eine ausreichende Anzahl von Samenbäumen im Bereich der Pflanzung. Die spätere Ansamung weiterer Bäumchen im Rottenrandbereich trägt zur Erhaltung der Vertikalstruktur bei. Sie ist aber, wie am Beispiel der untersuchten Rotten zu sehen ist, ein permanenter Prozess, der sich der kurzfristigen Kontrolle entzieht.
- Im Idealzustand ist die Rottenstruktur stabil und ohne weiteren Pflegeinsatz dauerhaft. Weicht die Bestandestextur von diesem Zustand ab, ist vor allem ein hangparalleles Zusammenwachsen von Kollektiven zu vermeiden. Eingriffe in intakte Rotten sind zielwidrig, da der Rotten-Kronenmantel aufgerissen wird. Eine Störung der inneren Rottenstruktur ist darüberhinaus auch aus Stabilitätsüberlegungen unsinnig. Wenn es zur langfristigen Erhaltung der Rottentextur nötig ist, empfiehlt sich die Entnahme von «Verbindungsbäumen» zwischen Rotten oder ganzer Kollektive.
- Die Nachbildung der Texturentwicklung zeigt für einen Bestandesausschnitt, dass regulierende Eingriffe nur punktuell nötig sind. Eine flächige Behandlung ist in Beständen mit bestehender rottenähnlicher Struktur nicht sinnvoll. Eingriffe müssen aber rechtzeitig erfolgen, um das Zusam-

menwachsen zu Grosskollektiven mit eingeschränkten Stabilitätseigenschaften zu verhindern, denn mit dem Zusammenwachsen verschieben sich die Kronenansätze nach oben. Ein verspäteter Eingriff bewirkt ein «Aufreissen» des Kronenmantels und gefährdet den Rottencharakter.

Langfristiges Ziel muss eine weitgehende biologische Automation sein. Das Ideal des Gebirgsplenterwaldes, verstanden als flächiges Nebeneinander verschiedener Entwicklungsstufen (Ott 1995) bei klarer räumlicher Trennung der Rotten, kommt diesem Ziel am nächsten.

Zusammenfassung

Subalpine Fichtenwälder zeichnen sich natürlicherweise durch einen mosaikartigen Waldaufbau aus. Von ihrer Umgebung deutlich abgegrenzte Baumkollektive aus eng beieinanderstehenden Bäumen mit einem gemeinsamen tiefreichenden Kronenmantel werden Rotten genannt. Sie entstehen durch eine kleinstandörtlich rasch wechselnde Gunst und Ungunst der Ansamungs- und Aufwuchsbedingungen unter klimatisch extremen Verhältnissen.

Am Beispiel eines ein Hektar grossen, naturnahen Bestandesausschnitts an einem Osthang in den Schweizerischen Zentralalpen – nahe Sedrun / Graubünden – wird die Rottenstruktur und -textur studiert. Grundlage der Untersuchung bildet die Bestandaufnahme aller Bäume ab etwa 20 cm Höhe. Diese werden nach ihrer Lage und ihren waldwachstumskundlichen Merkmalen aufgenommen. An drei ausgewählten entnommenen Rotten wird das Wachstum per Stammanalyse nachvollzogen. Die erhobenen Daten liefern die Grundlagen zur Charakterisierung der Bestandesstruktur und -textur und erlauben waldbauliche Schlussfolgerungen.

Résumé

Recherches sur la croissance de petits collectifs d'épicéas de l'étage subalpin

Les forêts d'épicéas subalpines se distinguent par une structure du peuplement en mosaïque. Les groupements d'arbres se différenciant nettement de leur environnement par leurs fûts rapprochés les uns des autres avec un manteau de couronnes communs sont nommés petits collectifs. Leur formation est due à des conditions d'ensemencement et de croissance très localisées soumises à de brusques variations ainsi qu'à des facteurs météorologiques extrêmes.

D'après l'exemple d'un secteur de peuplement d'un hectare sur un versant est des Alpes centrales suisses – à proximité de Sedrun dans le Canton des Grisons – la struc-

ture et texture des petits collectifs sont examinées. Cet examen se base sur le relevé de tous les arbres à partir d'une hauteur d'environ 20 cm. Sont enregistrés la position ainsi que les caractères de croissance sylvicole individuels. La croissance au sein de trois petits collectifs est mise en évidence au moyen de l'analyse des tiges. Les données obtenues fournissent les critères de base permettant de caractériser la structure et la texture du peuplement et de tirer des conséquences sylvicoles.

Traduction: Stéphane Croptier

Summary

Forest Growth Study of Spruce – Small Groups from Sub-Alpine Altitudes

A feature of the sub-alpine spruce forests is their mosaic-like forest structure. Tree collectives, consisting of trees standing close to one another and having a common low-reaching crown mantle and which are clearly separated from the surrounding trees, are called small groups (not to be confused with small groups in low-land forests). They develop from rapidly changing favourable and unfavourable natural seeding and growth conditions under extreme climatic conditions.

Using as an example a part of a close to nature forest of approximately 1 ha., situated on an eastern slope of the Swiss central Alps – near Sedrun, Grisons –, the vertical and horizontal structure of small groups is studied. The stand inventory of all trees with a height of more than 20 cm forms the basis of this study. These are surveyed according to their position and their growth indices. The growth is analysed by means of stem analyses of trees from three selected small groups. The gathered data supply the basis for the characterisation of the stand structure and texture and allow silvicultural conclusions.

Translation: Christian Matter

- Abetz, P., 1976: Beiträge zum Baumwachstum. Der h/d-Wert – mehr als ein Schlankheitsgrad! FoHoWi 31: 389–393.
- Bavier, B., 1910: Forstliche Preisfrage: Welches sind die Ursachen des so häufigen Fehlens der natürlichen Verjüngung in alten Fichtenbeständen hoher Lagen, und wie kann dieser ungünstige Zustand beseitigt werden? Wie sind solche Bestände künftig zu behandeln? Schweiz. Z. Forstwes. 61, 5/6: 145–201; 227–236.
- Bischoff, N., 1984: Pflege des Gebirgswaldes. Leitfaden für die Begründung und forstliche Nutzung von Gebirgswäldern. Bundesamt für Forstwes. und Landschaftsenschutz, Bern, 379 S.
- Getis, A.; Franklin, J., 1987: Second-Order Neighborhood Analysis of Mapped Point Patterns. Ecology, 68, 3: 473–477.
- Gutenberg, A. v., 1915: Wachstum und Ertrag der Fichte im Hochgebirge. Franz Deuticke, Wien und Leipzig, 153 S.
- Hillgarter, F., 1971: Waldbauliche und ertragskundliche Untersuchungen im subalpinen Fichtenwald Scatlè/Brigels. Diss. ETH Zürich Nr. 4619, 80 S.
- Indermühle, M. P., 1978: Struktur-, Alters- und Zuwachsuntersuchungen in einem Fichten-Plenterwald der subalpinen Stufe *Sphagno-Piceetum calamagrostietosum villosae*. Diss. ETH Zürich Nr. 5926, 97 S.
- Kalhs, J., 1974: Struktur und Entwicklungsdynamik im subalpinen Fichtenwald Schlossberg/Lienz. Verlag des Verbands der wissenschaftlichen Gesellschaften Österreichs, Wien, Diss. Univ. f. Bodenkultur Wien, 81 S. mit Anhang.
- Kuoch, R., 1972: Zur Struktur und Behandlung von subalpinen Fichtenwäldern. Schweiz. Z. Forstwes. 132, 2: 77–89.
- Kuoch, R.; Amiet, R., 1970: Die Verjüngung im Bereich der oberen Waldgrenze der Alpen mit Berücksichtigung von Vegetation und Ablegerbildung. Mitt. d. Eidgenöss. Anstalt für das Forstliche Versuchswesen 46, Gebirgsprogramm: 10. Beitrag, S. 159–328.
- Mayer, H.; Ott, E., 1991: Gebirgswaldbau-Schutzwaldpflege. G. Fischer Verlag Stuttgart, 2. Aufl., 587 S.
- Mlinšek, D., 1975: Die Waldpflege im subalpinen Fichtenwald am Beispiel von Pokljuka. 94: 202–209.
- Moeur, M., 1993: Characterizing Spatial Patterns of Trees Using Stem-Mapped Data. Forest Science, 39, 4: S. 756–775.
- Ott, E., 1995: Gebirgswaldbau. Unveröffentlichtes Vorlesungsskript. 40 S. mit Anhang.
- Strobel, G., 1995: Rottenstruktur und Konkurrenz im subalpinen Fichtenwald – eine modellhafte Betrachtung. Diss. Nr. 11292 ETH Zürich, 175 S.
- Strobel, G., 1996: Untersuchungen zur Rottenstruktur im Gebirgsfichtenwald. Beiträge zur Jahrestagung der DVFFA, Sektion Ertragskunde (Hrsg: G. Kenk): S. 128–133.
- Zeller, E., 1993: Rottenpflege. Projekt Gebirgswaldpflege, Bericht. 3A, 49 S.

Verfasser:

Dr. Gerhard Strobel, Forstdirektion Stuttgart, Abteilung Forstliche Produktion, Jagd und Fischerei, Kleine Königsstrasse 11, D-70178 Stuttgart.

Pflanzungen im Gebirgswald zur Nachahmung natürlicher Rotten¹

Von Thomas Fillbrandt

Keywords: Mountain forests; stand structure; «Rotte» (tree clumps); plantation.

FDK: 181.6: 228: 232.4: 56: (23)

1. Einführung

Aufgrund der schlechten Erfahrungen mit flächigen Aufforstungen im Gebirgswald wird in der Schweiz seit einigen Jahrzehnten von Forschern und Praktikern vorgeschlagen, nicht die ganze Fläche zu bepflanzen, sondern die Pflanzen auf räumlich getrennte Baumkollektive zu konzentrieren. Diese spezielle Aufforstungsart ist heute unter der Bezeichnung Rottenpflanzung oder Rottenaufforstung bekannt. Ihre Vorteile werden in zahlreichen schweizerischen Publikationen ausführlich dargestellt (z.B. *Schönenberger* 1986, *Bischoff* 1987, *Schönenberger et al.* 1990, *Zeller* 1994).

Da es im gesamten Alpenraum keine wissenschaftliche Versuchsfläche oder Untersuchung gibt, die gesicherte Aussagen über die langfristige Entwicklung von Rottenpflanzungen erlaubt, besteht das Wissen aus guten, aber subjektiven Beobachtungen in einzelnen Aufforstungen oder wurde aus Untersuchungen über natürliche Rotten an und oberhalb der Waldgrenze abgeleitet (z.B. *Kuoch* und *Amiet* 1970, *Lowery* 1972, *Arquillière* 1986).

Das Ziel einer in den Jahren 1993 bis 1996 an der Professur Forsteinrichtung und Waldwachstum der ETH Zürich durchgeführten Untersuchung war, mittels waldwachstumskundlicher Untersuchungen quantitative Aussagen über die Entwicklung gepflanzter Baumkollektive zu machen. Der vor-

¹ Nach einem Vortrag, gehalten am 11. November 1996 im Rahmen der Montagskolloquien der Abteilung für Forstwissenschaften der ETH Zürich.