



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI PADOVA**



**AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL
PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO**



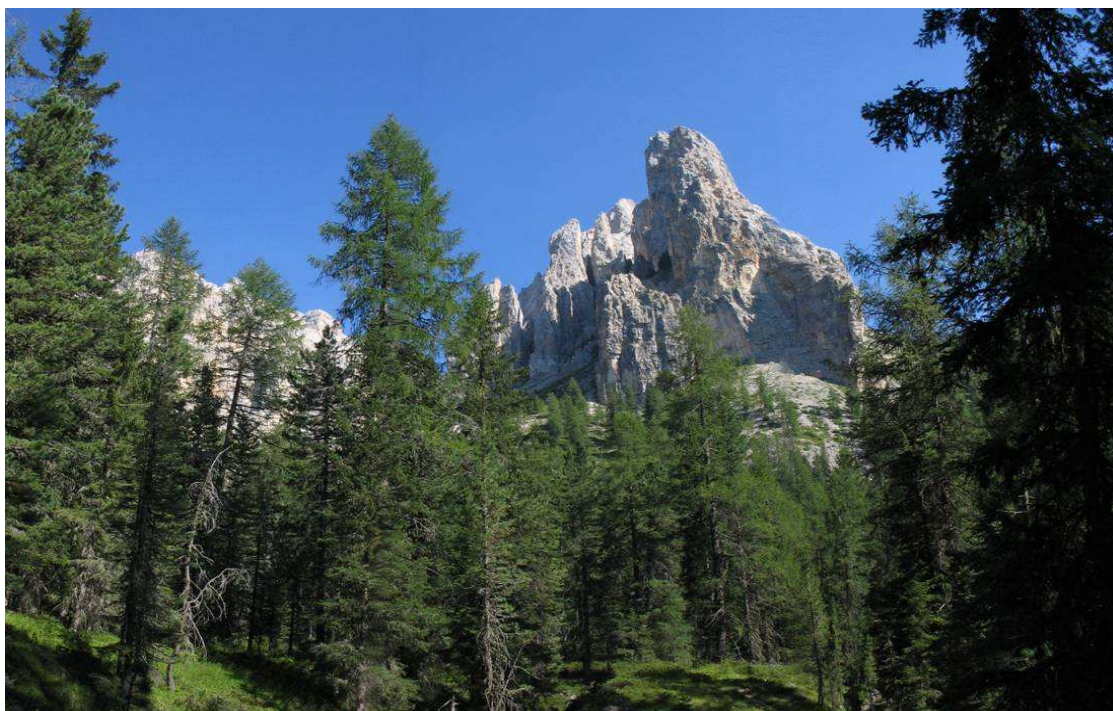
**Dipartimento Territorio
e Sistemi Agro - Forestali**



**Abteilung Forstwirtschaft
Ripartizione Foreste**

"ZIRMBODEN"

**ANLEGUNG EINES DAUERVERSUCHSFLÄCHE
UND ANSCHLIESSENDE VORUNTERSUCHUNGEN
ZUR STRUKTUR UND RAUM-ZEITLICHEN DYNAMIK IN
EINEM SUBALPINEN WALD**



**Carrer Marco
Soraruf Luca**

**Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-forestali,
Treeline Ecology Research Unit,
Università degli Studi di Padova
Agripolis, I-35020 Legnaro (Padova), Italy**

INHALT

ZWECK UND ZIEL DER UNTERSUCHUNG	Seite 3
ALLGEMEINE EINORDNUNG DES VERSUCHSGEBIETS	Seite 5
MATERIAL UND METHODEN	Seite 7
ERGEBNISSE	Seite 13
ERGEBNISDISKUSSION	Seite 28
SCHLUSSBEMERKUNGEN	Seite 32
BIBLIOGRAPHIE	Seite 34

ZWECK UND ZIEL DER UNTERSUCHUNG

Hauptzweck dieser Untersuchung ist es, die Daten zusammenzutragen, die für die Realisierung eines Projekts zur Beobachtung der Walddynamik auf einer Dauerversuchsfläche im Wald von Obereggen am Hang des Latemar erforderlich sind. Diese Art der Langzeituntersuchung der Waldökosysteme (*Long Term Forest Ecosystem Research, LTFER*) gilt inzwischen als wesentliche Komponente für das Verständnis der Funktionen der Waldökosysteme und ihrer Reaktionen auf die Veränderungen der Umwelt, aber auch für die Untersuchung der natürlichen Entwicklungen und Dynamiken in Wäldern, die derzeit nicht genutzt werden, in denen aber die anthropogenen Störungen der Vergangenheit ein Ende gefunden haben oder mit den Naturstörungen vermischt sind. Für die Beobachtung bedeutet dies, dass zunächst die Geschichte der Waldbestände rekonstruiert werden muss und dass dann in regelmäßigen Abständen Daten erfasst werden.

Zur Erzielung dieser Ergebnisse ist es unerlässlich, über eine Monitoringfläche zu verfügen, auf der alle Baumindividuen identifiziert und mit ihren biometrischen Merkmalen sowie räumlichen Standortmerkmalen erfasst werden. Diese Technik fällt unter die so genannte "Präzisions-Forstwirtschaft" (*Precision Forestry*). Diese nutzt IT-Instrumente, -Geräte und -Techniken zur Messung, Aufzeichnung, Verarbeitung, Analyse, Verwaltung oder Verwendung von Daten mit hoher zeitlicher und/oder räumlicher Auflösung mit dem Ziel, wissenschaftlichen Studien Relevanz zu verleihen und Instrumente zur Unterstützung der Bewirtschaftung in die Praxis umzusetzen.

Diese Technik findet Anwendung in folgenden Forschungsbereichen:

1. Datenerfassung mit modernen Technologien und Instrumenten (GPS, LIDAR)
2. Fernerfassung und Infrarotanalyse (CIR)
3. Qualität und Produktkontrolle in Echtzeit
4. Rückverfolgbarkeit von Produkten
5. Mathematische Modelle und Theorien der Entscheidungsunterstützung
6. Software-Nutzung (GIS, DSS und Simulatoren)
7. Hardware

Diese Bereiche sind nicht eng an eine spezifische forstwirtschaftliche Disziplin gebunden, sondern sind offen für alle Möglichkeiten der Interdisziplinarität. Die Anwendungen im Umweltbereich sind unterschiedlich und berühren verschiedene Fragen:

- Stabilität eines Bestandes nach Aufgabe der waldbaulichen Praktiken
- biologische und ökologische Bedeutung der Nekromasse
- Lebensalter der Bäume
- Verjüngungsdynamiken
- Entwicklung und Form der Bäume, Wirkungen der seitlichen Konkurrenz und der Dominanz
- Stabilität und Qualität der Biogruppen
- Dynamiken der seitlichen Astung und technologische Verbesserung des Holzes
- Aufnahme dieser Bereiche in die Forsteinrichtungspläne, die dadurch zuverlässiger und genauer werden

Für all dies müssen jedoch zwei Grundbedingungen erfüllt sein:

Fortlaufende Aktualisierung der Daten

Abgestimmte und einheitliche Methoden der Datenerhebung

Die fortlaufende Datenaktualisierung ist zweifellos das wichtigste Charakteristikum der Langzeitbeobachtung. Aber auch die Erhebungsmethode ist äußerst wichtig; stimmt sie nicht mit der üblicherweise in diesem Bereich der Forschung verwendeten Methode überein, wird es schwierig, verschiedene Situationen miteinander zu vergleichen und ein Monitoringnetz aufzubauen, das es gestattet, mehr Informationen zu erhalten. Deshalb wurde beschlossen, während der Datensammlung die Methode anzuwenden, die auf nationaler Ebene bei der Anlegung von Dauerbeobachtungsflächen in den vom Bildungsministerium finanzierten Forschungsprogrammen der Universität und der Forschung über "Umwelt- und physiologische Begrenzungen des Baumzuwachses an der oberen Baumgrenze der Alpen und des Apennins" am meisten eingesetzt wird. Diese Methode erweist sich als zielführend und ermöglicht außerdem den Vergleich der erhobenen Daten mit den Daten anderer Standorte, die Teil des nationalen Netzwerks der Dauerbeobachtungsflächen sind.

ALLGEMEINE EINORDNUNG DES VERSUCHSGEBIETS

Das Versuchsgebiet liegt in der Gemeinde Deutschnofen (BZ) (UTM-Koordinaten 5139877.44 N 695717.82 O) (Abb. 1) im Ortsteil Obereggen am Fuße des Latemar-Massivs. Eigentümer des Waldes ist die Fraktion Eggen (E.B.N.R. Eggen) in der Verwaltungsgemeinde Deutschnofen.

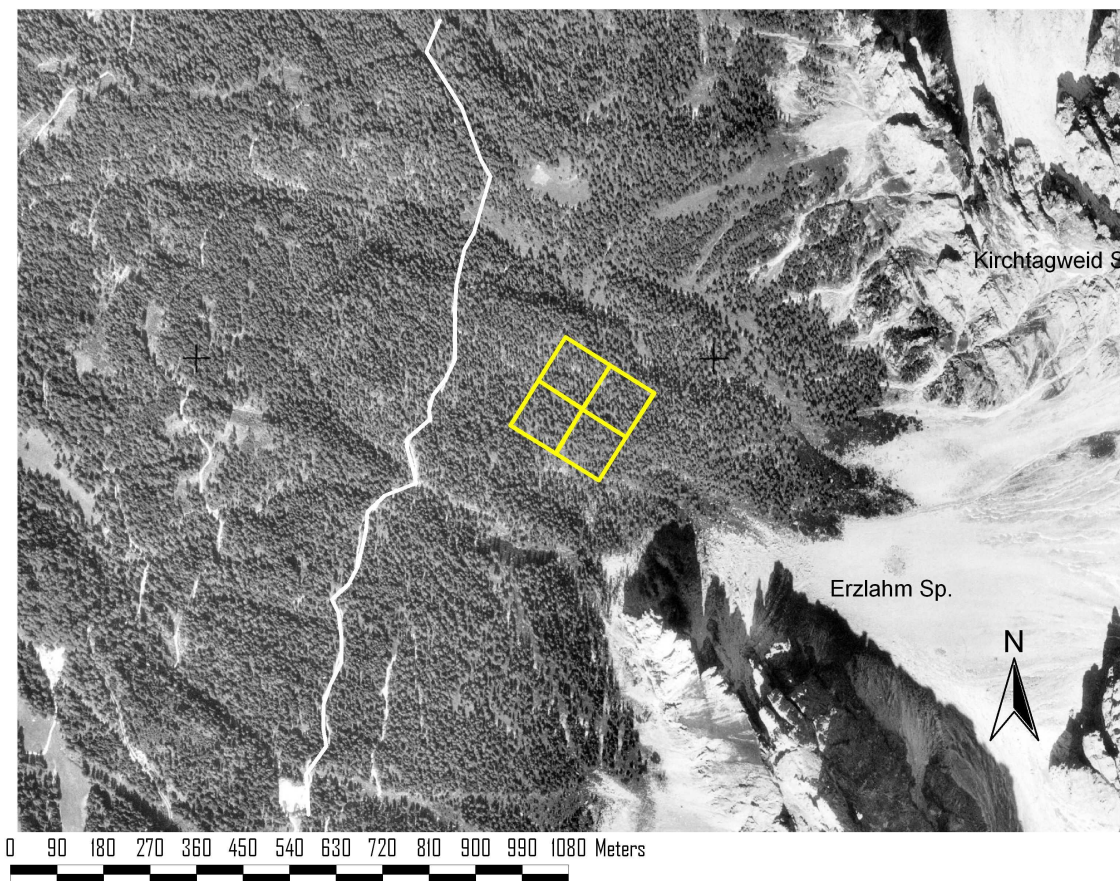


Abb. 1 - Lokalisierung des Versuchsgebiets

Der Wald von Obereggen erstreckt sich über die Westflanke des Dolomitenmassivs Latemar vom Ortsteil Obereggen bis zu den Dolomitenwänden auf einer Höhe zwischen 1500 und 2200 m. Er wächst hauptsächlich an den Seiten in O-NO-Lage; die Hänge weisen eine mittlere Neigung auf, einige Abschnitte sind als steil einzustufen.

Die Morphologie des Versuchsgebiets ist sehr unterschiedlich mit zahlreichen Kuppen und Mulden, die insbesondere im nördlichen Teil des Gebiets anzutreffen sind (Abb. 2). Auf dem Substrat, das zur Kategorie der Karbonat- und Dolomitensubstrate (Dolomit) gehört, bilden sich hauptsächlich Rendzina- und Braune Rendzina-Böden aus.

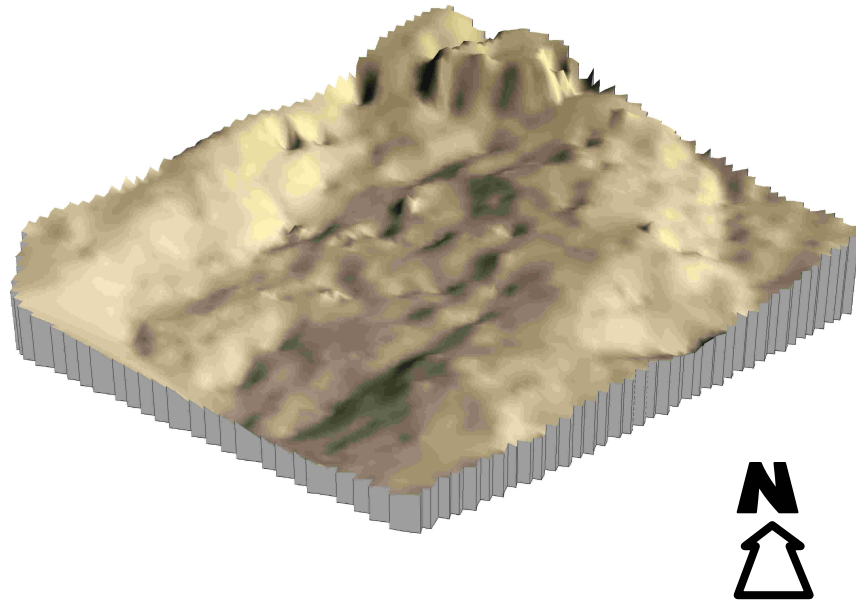


Abb. 2 - DEM-Darstellung des Versuchsgebiets

Baumbestand

Die vorherrschende Baumart ist die Fichte, gemischt mit Tanne. Lärche und Zirbelkiefer sind in den höheren Bereichen anzutreffen, die Weisskiefer hingegen dort, wo der Boden flachgrundiger ist. Die Dauerversuchsfläche liegt auf einer Höhe zwischen 1890 und 1950 m in einem vorwiegend aus Zirbelkiefern und Fichten bestehenden Bestand. Die Lärche ist zwar anzutreffen, ist aber gegenüber den anderen beiden Baumarten nicht vorherrschend.

Anthropische Aktivitäten

In der Vergangenheit wurde das Gebiet als Weideland und marginal für Nutzungen für den Bedarf der heimischen Bevölkerung genutzt; später dürften sich die Nutzungen verstärkt haben, wie die an zwei Seiten des Versuchsgebiets vorhandenen zwei Rückegassen belegen. Während der Datensammlung ergaben sich Hinweise auf verschiedene Plenter- und Gruppenhiebe, die noch in relativ jüngerer Zeit vorgenommen wurden. Heute findet in dem Gebiet ein marginaler Wandererdurchzug statt, vor allem in den Sommermonaten zu den Wegen, die zu den höher gelegenen Dolomitengruppen führen.

MATERIAL UND METHODEN

Eingrenzung des Versuchsgebiets

Nachdem die definitive Position der Scheitel des 4 Hektar großen quadratischen Versuchsgebiets festgelegt war, wurden die Außengrenzen gezogen. Dazu wurden Pflöcke an den Scheitelwinkeln eingerammt und Baustellenband verwendet. Die Abgrenzung erfolgte mit Hilfe eines elektronischen Theodoliten, der mit Infrarot-Distanzmesser und internem Datenaufzeichnungsgerät ausgestattet und auf einem Dreibeinstativ mit einer mit optischem Senklot versehenen Halterung montiert war. Für die Messungen wurde ein Prisma eingesetzt, das auf einem mit Dosenlibelle versehenen Teleskop-Fluchtstab montiert war. Bei der Anlegung des Versuchsgebiets wurde nach dem Kriterium der Homogenität verfahren, wobei darauf geachtet wurde, dass keine vegetationslose Zonen und Blößen vorhanden sind; die beiden auf zwei Seiten des Gebiets liegenden Rückegassen konnten nicht ausgeklammert werden.

Anbringung der Kennschilder

Lebende Bäume

An jeder lebenden Pflanze mit einer Höhe von mehr als 1,3 m wurden bergseitig im Abstand von etwa zwanzig Zentimeter vom Boden gelbe Kennschilder aus Kunststoff mit schwarzen Ziffern angebracht. Bei zusammengewachsenen Bäumen oder Bäumen mit Gabelwuchs wurde für die Höhe der Gabelung ein Schwellenwert von 1,3 m angenommen; war die Gabelung höher als 1,3 m angesetzt, wurde nur ein Schild angebracht, andernfalls zwei Schilder. Die Nummerierung ist fortlaufend, beginnend mit der Nummer 0001. Die Anbringung der Nummernschilder erfolgte ausgehend von der ersten 1 Hektar großen Fläche talseitig im W-Teil des Gebiets.

Nekromasse

An den stehenden toten Bäumen mit einer Höhe von mehr als 1,3 m wurden die Kennschilder nach den gleichen Kriterien angebracht wie bei den lebenden Bäumen.

An den liegenden toten Bäumen und an den Stämmen mit einem Durchmesser von 10 cm oder mehr und einer Länge von 2 m oder mehr wurde ein Schild an dem Ende mit dem größten Durchmesser angebracht. An den Stämmen und den liegenden toten Bäumen werden zwei Positionsmessungen vorgenommen, eine an der Stelle, an der das Schild angebracht wurde, eine zweite am entgegengesetzten Ende.

An Wurzelstöcken wurden Schilder nur dann angebracht, wenn sie einen Durchmesser von 10 cm oder mehr hatten.

Messung des Durchmessers

Lebende Bäume

Die Durchmesser der lebenden Bäume mit einer Höhe von 1,3 m oder mehr wurden bergseitig der Pflanze bei 1,3 m mit einer Baumkluppe gemessen. Jedes ermittelte Maß wurde in die Kluppierungsliste neben der Nummer der Pflanze eingetragen.

Nekromasse

Bei stehenden toten Bäumen erfolgte die Messung des Durchmessers nach den gleichen Kriterien wie bei den lebenden Bäumen.

Bei liegenden toten Bäumen und den Stämmen wurde der Durchmesser an der Stelle gemessen, an der das Schild angebracht war.

Der Durchmesser der Wurzelstöcke wurde an deren oberem Ende gemessen.

Messung der Höhe

Die Höhe wurde an lebenden Bäumen und an stehenden toten Bäumen gemessen.

Lebende Bäume

Für die Höhenmessung der lebenden Bäume sind drei Messungen vorzunehmen (Abb. 3):

- 1) Messung der Gesamthöhe der Pflanze (**H**)
- 2) Messung der Höhe des bergseitigen Astansatzes (**hm**)
- 3) Messung der Höhe des talseitigen Astansatzes (**hv**)

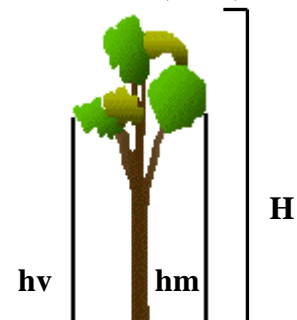


Abb. 3 - Höhenmessung

Die Höhenmessung erfolgte mit einem elektronischen Ultraschallhypsometer (25 khz) mit Transponder auf Teleskop-Fluchtstab Vertex III Haglof.

Als Ansatzhöhe wurde die Höhe berücksichtigt, bei welcher der erste Grünast berg- bzw. talseitig ansetzt; dabei soll es sich nicht um einen Einzelast handeln, sondern um einen zum Rest der Baumkrone weiterführenden Ast.

Die Messungen wurden unterschiedlich vorgenommen. Zur Messung der Gesamthöhe der Pflanze stellte man sich auf der Bergseite der Pflanze in einer Entfernung auf, die eine optimale Sicht auf die gesamte Pflanze ermöglicht; zur Messung der Ansatzhöhe stellte man sich auf der rechten oder linken Seite der Pflanze auf.

Stehende tote Bäume

Bei stehenden toten Bäumen wurde der Durchmesser und die Gesamthöhe gemessen.

Dendrochronologische und dendroauxometrische Analyse

Für die dendrochronologische und dendroauxometrische Analyse wurden mit Pressler-Haglof-Zuwachsbohrer Bohrspäne entnommen. Soweit es die Maße der Pflanze zuließen, wurde eine Probe bei einer Höhe von 130 cm entnommen; dabei wurde darauf geachtet, die Entnahmen möglichst parallel zur Höhenlinie vorzunehmen, um Probeentnahmen an Stellen des Stamms zu vermeiden, an denen möglicherweise Reaktionsholz vorhanden ist. Die entnommenen Proben wurden nach einem Identifizierungs- und Kodierungssystem mit 8 Zeichen klassifiziert und mit Vinylkleber unter Achtung auf den vertikalen Faserverlauf auf geeigneten Trägern fixiert und dann geglättet. Die dendrochronologischen Messungen an dem so präparierten Material wurden mit Hilfe des optisch-elektronischen CATRAS-Systems



Abb. 4 - Das CATRAS-System

(Computer Aided Tree Ring Analysis System) (Aniol, 1983) durchgeführt (Abb. 4) Bei kleinen Bäumen mit einer Höhe von mehr als 1,3 m, bei denen die Entnahme einer Holzprobe nicht möglich war, wurde das Alter durch Zählen der Astquirle am Stamm geschätzt.

RÄUMLICHE ANALYSE

Ripleys K-Funktion

Die Hauptmerkmale einer Verteilung von Punkten lassen sich durch ihre Intensität λ darstellen, die sich mit Hilfe der K-Funktion von Ripley (Ripley 1977) quantifizieren lässt:

$$K(d) = \lambda^{-1} (E(d))$$

wobei $E(d)$ = die erwartete Anzahl von Ereignissen innerhalb einer Distanz d eines willkürlichen Ereignisses,

λ = die mittlere Anzahl von Ereignissen pro Fläche, errechnet als n/A , wobei n = die Gesamtanzahl von Ereignissen und A = das gesamte Untersuchungsgebiet repräsentieren. Der erwartete Wert dieser Größe ist:

$$E(d) = (n/A) K(d)$$

Wobei $K(d)$ = die Fläche der Kreise mit Radius d . Unter Bedingungen absoluter Zufälligkeit ist die erwartete Anzahl von Ereignissen $E(csr)$ innerhalb der Distanz d (Levine, 2002):

$$E(csr) = (n/A)\pi d^2 \text{ also } K(d) = \pi d^2$$

Durch einen Vergleich dieses Wertes mit dem für eine besondere Verteilung ermittelten Wert lässt sich für den durch die Distanz d definierten Maßstab ableiten, ob die Ereignisse stärker oder weniger stark konzentriert sind als zu erwarten gewesen wäre. Der K -Wert muss mit dem Sollwert verglichen werden, der sich unter Bedingungen absoluter Zufälligkeit ergeben hat. Wegen der Nichtlinearität der Beziehung wurde zur Darstellung der Werte der Differenz ($K(d) - \pi d^2$) gegenüber der Distanz d die Linearisierung vorgenommen, indem die Werte $L(d)$ in ein Verhältnis zur Distanz gesetzt wurden:

$$\hat{L}(d) = d - \sqrt{\frac{\hat{K}(d)}{\pi}}$$

Positive Werte sind ein Hinweis auf eine Aggregation oder *Clustering* der Ereignisse, negative Werte hingegen ein Hinweis auf Segregation. Zur Ermittlung der Signifikanz der errechneten Differenzen wird eine Reihe von Simulationen vorgenommen (Bailey & Gatrell, 1996), bei denen die gleiche Anzahl Ereignisse n zufällig innerhalb der Region R verteilt wird; für die so

erzielte Verteilung berechnet man die statistische Maßzahl $L(d)$ für jede Distanz d . In der vorliegenden Arbeit wurden 1000 Wiederholungen vorgenommen, die ein Signifikanzniveau von 95% garantieren dürften. Zur Berücksichtigung des Randeffekts (*Edge Effect*) wurde basierend auf einer kleineren Analysefläche, bei der die Distanz nur die Hälfte der kürzesten Seite des Gebiets beträgt, eine Korrektur vorgenommen.

Um die Verteilungsinteraktionen zwischen Ereignissen verschiedenen Typs (z.B. die verschiedenen Baumarten) zu berücksichtigen, wurde auf Ripleys bivariate K-Funktion zurückgegriffen, die eine Verallgemeinerung der vorherigen Funktion darstellt.

Globale Messungen der räumlichen Autokorrelation

Morans I-Koeffizient

Morans I -Koeffizient wie auch Gearys "c"-Koeffizient verlangen, dass den Ereignissen ein Intensitätszahlenwert zugeordnet wird. Der I -Index Morans lässt sich nach folgender Formel berechnen:

$$I(d) = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{W \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

wobei:

n = die Anzahl der Ereignisse

x_i = der Wert der am Punkt "i" betrachteten Variablen

x_j = der Wert der am Punkt "j" betrachteten Variablen, wobei $\mathbf{i \neq j}$

\bar{x} = das Mittel der betrachteten Variablen

w_{ij} = Gewichtungsfaktor 1 für das Bäumepaar i und j, wenn die Bäume i und j in die gleiche Distanzklasse fallen, andernfalls 0

W = Summe aus der Gewichtungsmatrix: $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}$

Der Index I ähnelt strukturell dem Korrelationskoeffizienten und variiert wie dieser zwischen -1.0 und +1.0. Im Unterschied zum Korrelationskoeffizienten nimmt der I -Index jedoch unter der Unabhängigkeitsbedingung nicht einen Sollwert null an, sondern einen sehr nahe bei null liegenden negativen Wert, nämlich:

$$E(I) = -\frac{1}{(n-1)}$$

I -Werte, die höher sind als der Sollmittelwert $E(I)$, weisen auf eine positive räumliche Autokorrelation hin, während I -Werte, die niedriger sind als der Sollmittelwert $E(I)$, ein Hinweis auf eine negative räumliche Autokorrelation sind.

Signifikanz der Ergebnisse

Die Signifikanz der mit der Moran-Statistik erzielten Ergebnisse lässt sich testen, indem man die empirische Verteilung und die theoretische Verteilung von I mit Hilfe des folgenden Verhältnisses vergleicht:

$$z(d) = \frac{I(d) - E[I(d)]}{\sqrt{\text{var}[I(d)]}}$$

So haben Cliff und Ord (1973, 1981) gezeigt, dass die Indizes von Moran und Geary mit zunehmender Probenzahl zu einer Normalverteilung tendieren. Die Erfüllung der Unabhängigkeitsbedingung lässt sich als normale Standardabweichung testen. Übersteigt $z(d)$ in absoluten Werten die Werte 1.96, 2.58 und 3.39, ist davon auszugehen, dass die Unabhängigkeitsbedingung nicht erfüllt ist, und das Ergebnis hat eine Signifikanz von 0.05, 0.01 bzw. 0.001.

Die Korrelogramme werden stets nur für mehr als dreißig Proben berechnet, die also dreißig Ereignissen entsprechen; denn für zahlenmäßig kleinere Proben kann möglicherweise die Annahme der Normalität nicht gelten, sodass sich nicht signifikante Resultate ergeben (Cliff und Ord, 1981, Upton und Fingleton, 1985, Sawada 1999).

Örtliche Messungen der räumlichen Autokorrelation

Mit Hilfe der Statistiken zur Messung des Grades der räumlichen Autokorrelation auf lokaler Ebene lässt sich der Beitrag jedes einzelnen Ereignisses zum Gesamtverhalten der Verteilung ermitteln (Anselin, 1995, Getis & Ord, 1996, Unwin, 1996, Fotheringham & Brunson, 1999, Fotheringham et al., 2000). Hier wurde auf die Statistiken *Local Gi**, Getis und Ord (1992; 1995) zurückgegriffen; sie liefern einen Index der räumlichen Assoziation eines Satzes von Beobachtungen, die unter eine willkürlich aus jedem Ereignis der fraglichen Verteilung gewählte kritische Distanz " d " fallen:

$$G_i^* = \frac{\sum_j c_{ij}(d) X_j}{\sum_j X_j} \quad i = j$$

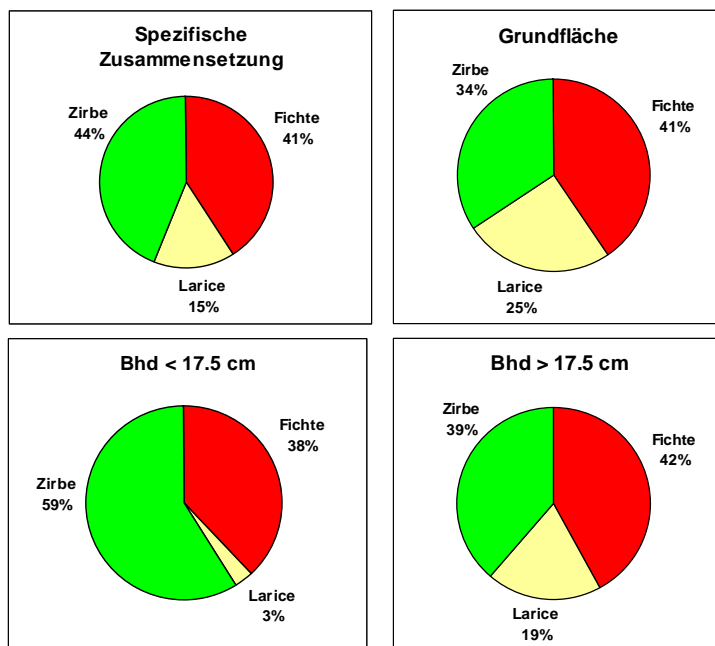
wobei:

$c_{ij}(d)$ = ein binärer Filter mit dem Wert 1, wenn das Bäume paar i und j in die gleiche Distanzklasse fallen, andernfalls 0

X_j = Wert der Variablen, die Gegenstand der Untersuchung in der Lokalisierung j ist.

Signifikante positive oder negative Werte von G_i^* weisen auf eine Aggregation bei den höchsten bzw. niedrigsten Werten der Variablen X hin (Sokal et al., 1998) (Sokal *et al.*, 1998b). Da das Ergebnis dieser Statistik mit den Koordinaten eines jeden Ereignisses assoziiert ist, ist die graphische Wiedergabe der Ergebnisse komplexer als in anderen räumlichen Statistiken. In der vorliegenden Studie werden die Ergebnisse in Form der Interpolation der verschiedenen Punkte mit Hilfe der so genannten *Natural-Neighbour-Methode* dargestellt.

ERGEBNISSE



In der spezifischen Zusammensetzung (Abb. 5) überwiegen Fichte und Zirbelkiefer gegenüber der Lärche. Bei Betrachtung der Grundfläche nimmt die Präsenz der Lärche zu. Die Lärchen haben vorwiegend große Dimensionen und auch Durchmesser von mehr als 17 cm; betrachtet man die Durchmesser von weniger als 17 cm, reduziert sich ihr prozentualer Anteil drastisch. Demgegenüber haben Fichte und Zirbelkiefer in den unteren Durchmesserklassen eine gute Präsenz.

Abb. 5 - Prozentuale Zusammensetzungen (Anzahl Bäume)

DATENBLATT

Ort:	Großer Zirnboden			
Fläche des Versuchsgebiets:	40 000 m ²			
Höchste Höhe:	1946 m ü.d.M.			
Niedrigste Höhe:	1894 m ü.d.M.			
Höhenunterschied:	52 m			
Mittlere Neigung:	20%			
Lage:	NW			
Unebenheitsgrad:	Örtlich uneben			
Steinigkei t:	mittlere			
Substrat und quaternäre Deckschicht:	Kalkstein, Mischmoräne			
Art des Bodens:	podsolierte Böden			
Struktur:	Blockgestein			
Tiefe:	mittelmäßig tief			
Konsistenz:	Lockergestein			
Humus:	mykogener Moder			
Feuchtigkeit:	frisch			
Baumarten:	<i>Larix decidua</i> , <i>Picea abies</i> , <i>Pinus cembra</i>			
Sträucher:	<i>Juniperus communis</i> supsp. <i>Alpina</i> , <i>Ribes alpinum</i> , <i>Rhododendron hirsutum</i> und <i>ferrugineum</i> , <i>Vaccinium myrtillus</i> und <i>vitis idaea</i>			
Gräser:	<i>Adenostyles alliariae</i> , <i>Calamagrostis villosa</i> , <i>Daphne striata</i> , <i>Luzula selvatica</i> , <i>Maianthemum bifolium</i> , <i>Melampyrum sylvaticum</i> , <i>Petasites albus</i> , <i>Saxifraga</i> sp.			
Waldtyp:	Lärchen-Zirbelwald mit Fichte			
<i>Bestockungszusammensetzung</i>				
		<i>Larix decidua</i>	<i>Picea abies</i>	<i>Pinus cembra</i>
Anzahl der erhobenen Bäume:	2007, davon	299 (15%)	822 (41%)	886 (44%)
Anzahl der Bäume mit d₁₃₀ > 17,5 cm:	1471, davon	283 (19%)	618 (42%)	570 (39%)
Anzahl der Bäume mit d₁₃₀ < 17,5 cm:	536, davon	16 (3%)	204 (38%)	316 (59%)

Bestockungsmerkmale

	<i>Bestand</i>	<i>Larix decidua</i>	<i>Picea abies</i>	<i>Pinus cembra</i>
Anzahl Bäume/ha:	2007	299	822	886
Grundfläche m²/ha:	42,71	10,73	17,29	14,68
Mittlerer D₁₃₀ (cm):	29,07	40,71	29,12	31,52
Mittlere Höhe (m):	16,04	21,76	17,06	13,92
Mittleres Alter (Jahre):	121	146	127	108

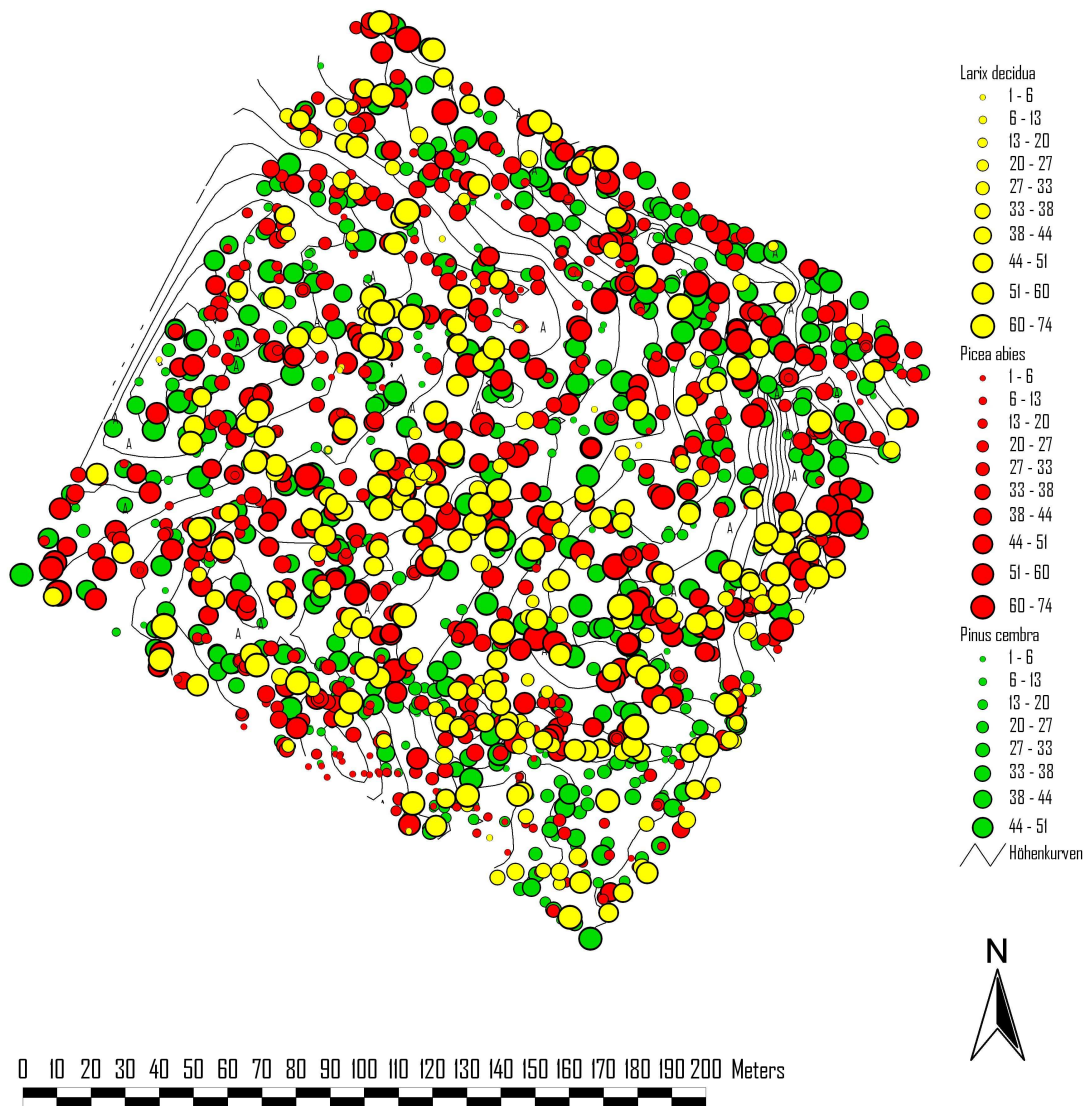


Abb. 6 - Lokalisation der Bäume innerhalb des Versuchsgebiets Zirmboden; die Maßangaben beziehen sich auf die in der Legende angegebenen Durchmesserklassen

Die allgemeine Durchmesserverteilung (Abb. 7) verläuft tendenziell unimodal, jedoch mit einer hohen Anzahl Bäume in den unteren Durchmesserklassen. Für diese hohe Anzahl sorgen in erster Linie die Zirbelkiefern, in zweiter Linie die Fichten; einzeln betrachtet haben sie eine bimodale Verteilung mit einer ersten Konzentration in den Durchmesserklassen bis 20 cm und einer zweiten Konzentration in den Klassen zwischen 30 und 40 cm. Hingegen weist die Lärche eine unimodale Verteilung ab Durchmessern von mehr als 20 cm auf; unterhalb dieses Wertes ist sie eher selten anzutreffen.

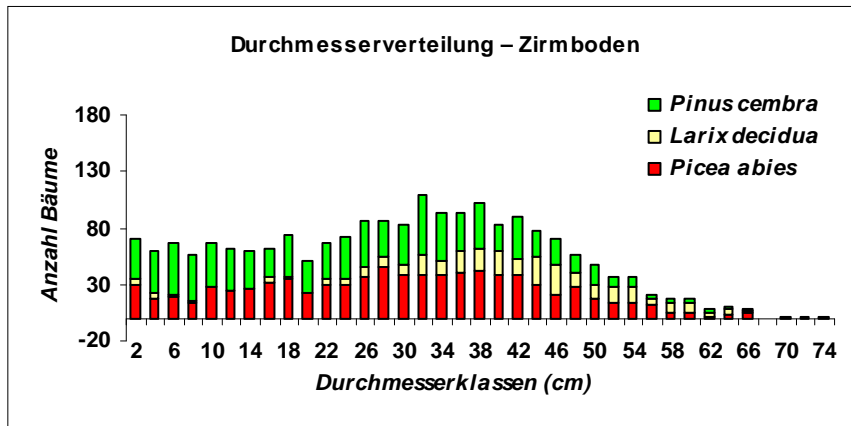


Abb. 7 - Durchmesserverteilung – Fläche Zirmboden

Die allgemeine Altersverteilung (Abb. 8) verläuft plurimodal mit einer ersten Konzentration in den Altersklassen bis 20 Jahre, einer zweiten in den Klassen zwischen 40 und 80 und schließlich einer dritten in den Klassen zwischen 100 und 180 Jahren. Diese Verteilung ist recht getreu bei der Fichte festzustellen, während die Lärche eine vorwiegend unimodale Verteilung mit einem Alter zwischen 100 und 200 Jahren aufweist. Ganz besonders ist hingegen die Verteilung der Zirbelkiefer. Hier ist eine erste Konzentration in den Altersklassen bis 40 Jahre festzustellen, ein zweiter, deutlicherer Gipfel in den Klassen zwischen 50 und 80 Jahren; die Altersklassen ab 90 Jahren verzeichnen einen kontinuierlichen Anstieg bis zu 180 Jahren, auf den ein abrupter Rückgang folgt; so sind in der Altersklasse ab 200 Jahren nur wenige Zirbelkiefernexemplare anzutreffen.

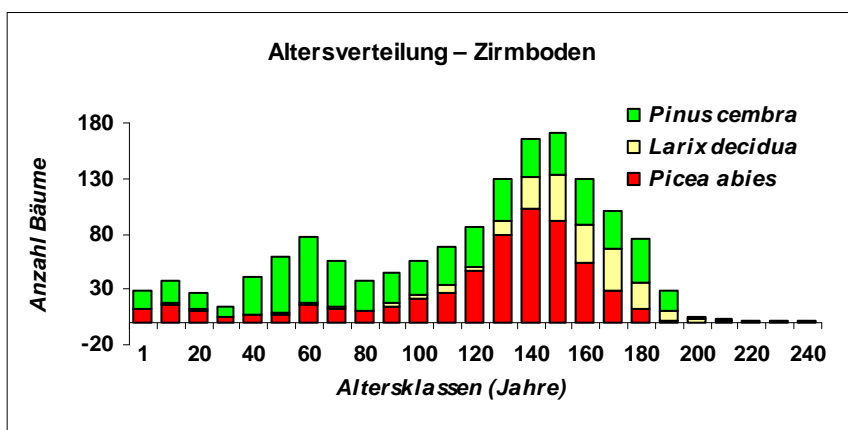


Abb. 8 - Altersverteilung – Fläche Zirmboden

RÄUMLICHE ANALYSE

Die Analyse der räumlichen Muster mit Hilfe der univariaten K-Funktion von Ripley zeigt sowohl bei der Gesamtfläche (Abb. 9a) als auch bei den einzelnen Baumarten eine deutliche Aggregationstendenz mit zunehmendem Verlauf bei großen Distanzen, vor allem bei der Lärche, die im Vergleich zu den beiden anderen Arten höhere Aggregationswerte aufweist.

Die Aggregationstendenz ist sowohl intraspezifisch als auch interspezifisch und zeigt keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Baumarten (Abb. 9b, 9c und 9d).

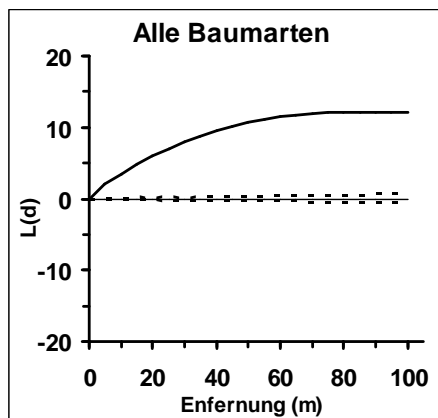
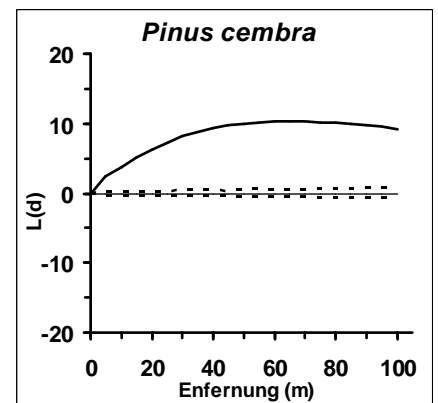
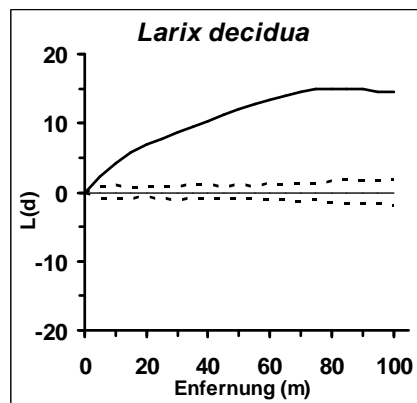
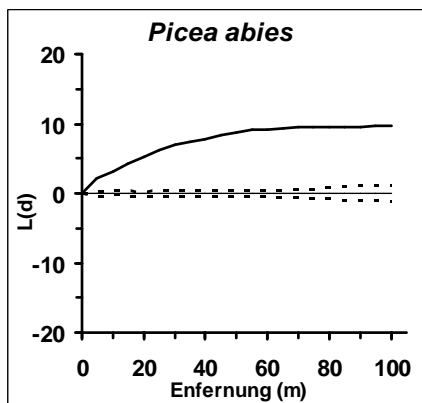


Abb. 9 - Funktion $L(d)$ der univariaten K-Statistik von Ripley für alle Individuen (a), für Fichte (b), Lärche (c), Zirbelkiefer (d)



Die Analyse der räumlichen Muster mit Hilfe der bivariaten K-Funktion von Ripley zum Zwecke des Vergleichs zwischen kleinen Bäumen (Bhd <17 cm) und großen Bäumen (Bhd >17 cm) zeigt, dass im Allgemeinen die kleinen Bäume sämtlicher drei Baumarten bei kurzer Distanz eine Abstoßung gegenüber den großen Bäumen der Fichte aufweisen (Abb. 10a, b, c); statistisch relevant ist diese Abstoßung jedoch nur bei der Fichte.

Bei der Zirbelkiefer manifestiert sich diese wenngleich nicht signifikante Abstoßung nicht nur bei kurzer, sondern auch bei mittlerer- langer Distanz. Im Vergleich zu den großen Bäumen der Lärche weisen sowohl die Fichte als auch die Zirbelkiefer eine Aggregationstendenz bei kurzer Distanz auf (Abb. 10e, f); bei der Zirbelkiefer ist diese Aggregation nur bei sehr kurzer Distanz (5 m) signifikant positiv, während sie bei der Fichte ab 10 m aufwärts signifikant ist.

Die kleinen Bäume der Lärche zeigen eine Abstoßung gegenüber den großen Bäumen derselben Art (Abb. 10d), doch ist diese Abstoßung nicht signifikant. Gegenüber den großen Bäumen der Zirbelkiefer weicht die Verteilung der kleinen Bäume aller drei Baumarten nicht von einer voll randomisierten Verteilung ab (Abb. 10g, h, i).

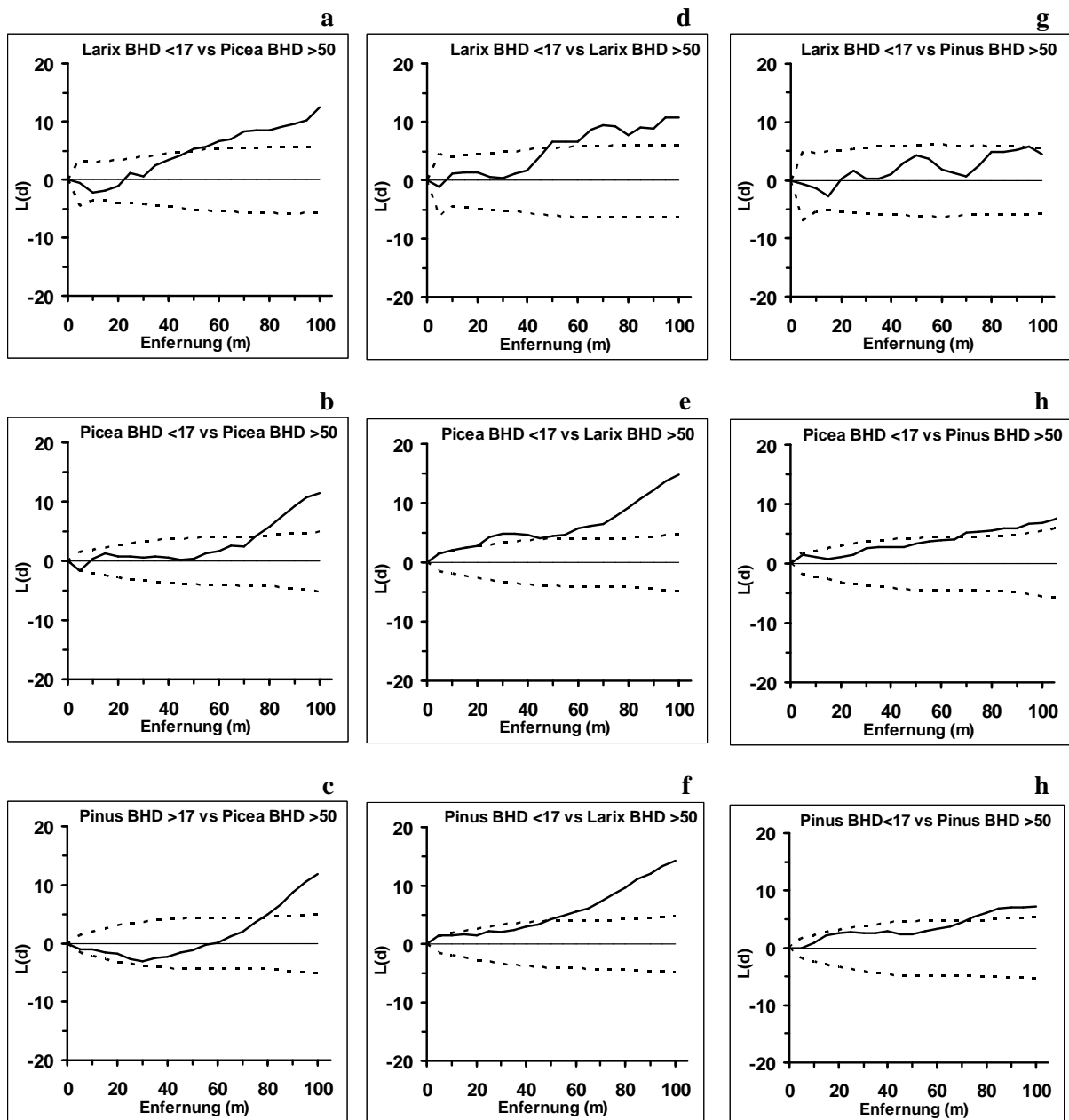


Abb. 10 –Funktionen $L(d)$ der bivariaten K-Statistik von Ripley für: Fichte mit Bhd größer als 50 cm und Lärche mit Bhd kleiner als 17 cm (a), Fichte mit Bhd kleiner als 17 cm (b), Zirbelkiefer mit Bhd kleiner als 17 cm (c). Lärche mit Bhd größer als 50 cm und Lärche mit Bhd kleiner als 17 cm (d), Fichte mit Bhd kleiner als 17 cm (e), Zirbelkiefer mit Bhd kleiner als 17 cm (f). Zirbelkiefer mit Bhd größer als 50 cm und Lärche mit Bhd kleiner als 17 cm (g), Fichte mit Bhd kleiner als 17 cm (h), Zirbelkiefer mit Bhd kleiner als 17 cm (i).

Strukturanalyse: Morans I-Statistik für den Durchmesser auf 4 ha

Die auf 4 ha mit Morans I-Statistik durchgeführte Gesamtanalyse der räumlichen Struktur für die Durchmesser für Distanzklassen von 5 m zeigt deutlich das Vorhandensein eines doppelten Gradienten mit positiven und signifikanten Werten bis 50 m und negativen und signifikanten Werten von 70 m bis 125 m und mit einer letzten Rückkehr zu positiven Werten gleich oberhalb der Signifikanzgrenze um 150 m (Abb. 11a).

Die disaggregierte Analyse nach Einzelarten zeigt für die Lärche eine Mikrogradienten-Struktur mit abwechselnd positiven und negativen Werten auf wenigen Dutzend Metern (Abb. 11b).

Die Zirbelkiefer und die Fichte zeigen ein ähnliches Korrelogramm (Abb. 11c, d), wobei beide einen doppelten Gradienten mit positiven und signifikanten Werten bis 50 m und negativen und signifikanten Werten ab 70 m und eine Rückkehr zu positiven Werten nach 150 m aufweisen. Im Vergleich zur Gesamtanalyse sind jedoch zahlreichere Gipfel mit einem uneinheitlicheren Verlauf festzustellen.

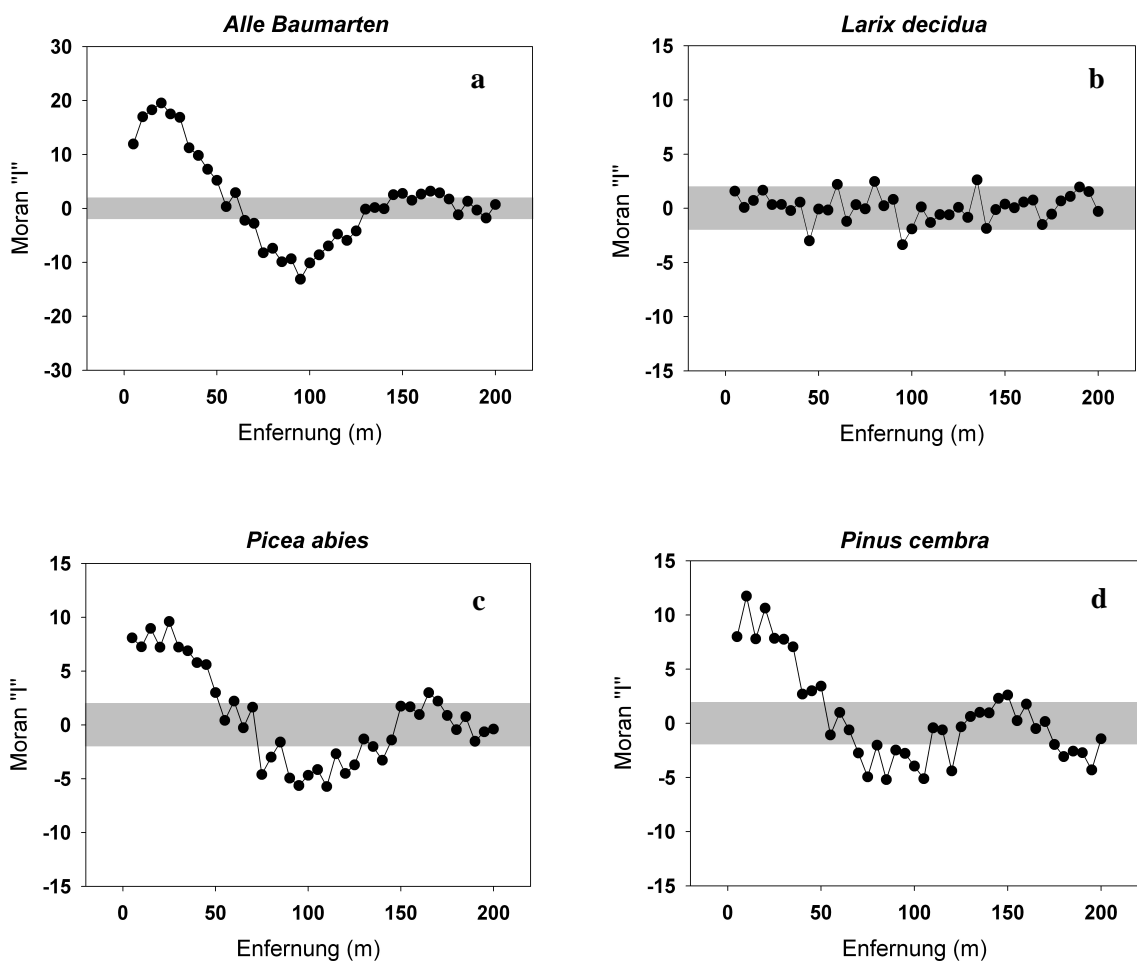


Abb. 11
Korrelogramme des Durchmessers; alle Baumarten (a), Lärche (b), Fichte (c) und Zirbelkiefer (d)

Lokale Messungen der räumlichen Autokorrelation:

Getis Gi*-Statistik für den Durchmesser auf 4 ha

Die Gesamtstatistik *Local Gi** für die Durchmesser (Abb. 12a, b, c) zeigt bei kurzer Distanz das Vorhandensein von Aggregationen von Bäumen mit ähnlichem Durchmesser. Dabei ist jedoch anzumerken, dass im Allgemeinen kein echter Wechsel von Zonen mit ähnlichen großen Durchmessern (rote Zonen oder "*hot spots*") und Zonen mit ähnlichen kleinen Durchmessern (blaue Zonen oder "*cold spots*") stattfindet, sondern vielmehr eine deutliche Trennung zwischen diesen beiden Typen, die sich in unterschiedlichen Zonen des Versuchsgebiets befinden; im mittleren Teil überwiegen Aggregationen von großen Bäumen mit ähnlichen Durchmessern, im südlichen und nördlichen Teil hingegen findet man Aggregationen von Bäumen mit ähnlichen Durchmessern und kleineren Größen. Tatsächlich zeichnet sich der doppelte Gradient ab, der sich bereits aus Morans "I"-Statistik ergab.

Für die Lärche führt die kleinere Anzahl aggregierter Individuen zu einem generellen Fehlen lokaler Autokorrelation bei einer geringen Anzahl von "*hot spots*" und "*cold spots*", die vor allem für Gruppen von Bäumen mit ähnlichen großen Durchmessern stehen, die sich im nördlichen Teil des Gebiets mit Distanzen von jeweils 20-25 m befinden (Abb. 12d, e, f).

Bei der Zirbelkiefer (Abb. 12l, m, n) und der Fichte (Abb. 12g, h, i) finden sich kleine Gruppen mit ähnlichen Durchmessermerkmalen mit einer Distanz von jeweils 20-25 m, während zwischen den Gruppen mit unterschiedlichen Durchmessermerkmalen die Distanz fast doppelt so groß, nämlich etwa 50 m ist. Tatsächlich zeichnet sich auch für Zirbelkiefer und Fichte der doppelte Gradient ab, der sich bereits aus Morans "I"-Statistiken für diese beiden Arten ergab und der doppelte Gradient, der bereits in der Gesamtanalyse festgestellt wurde.

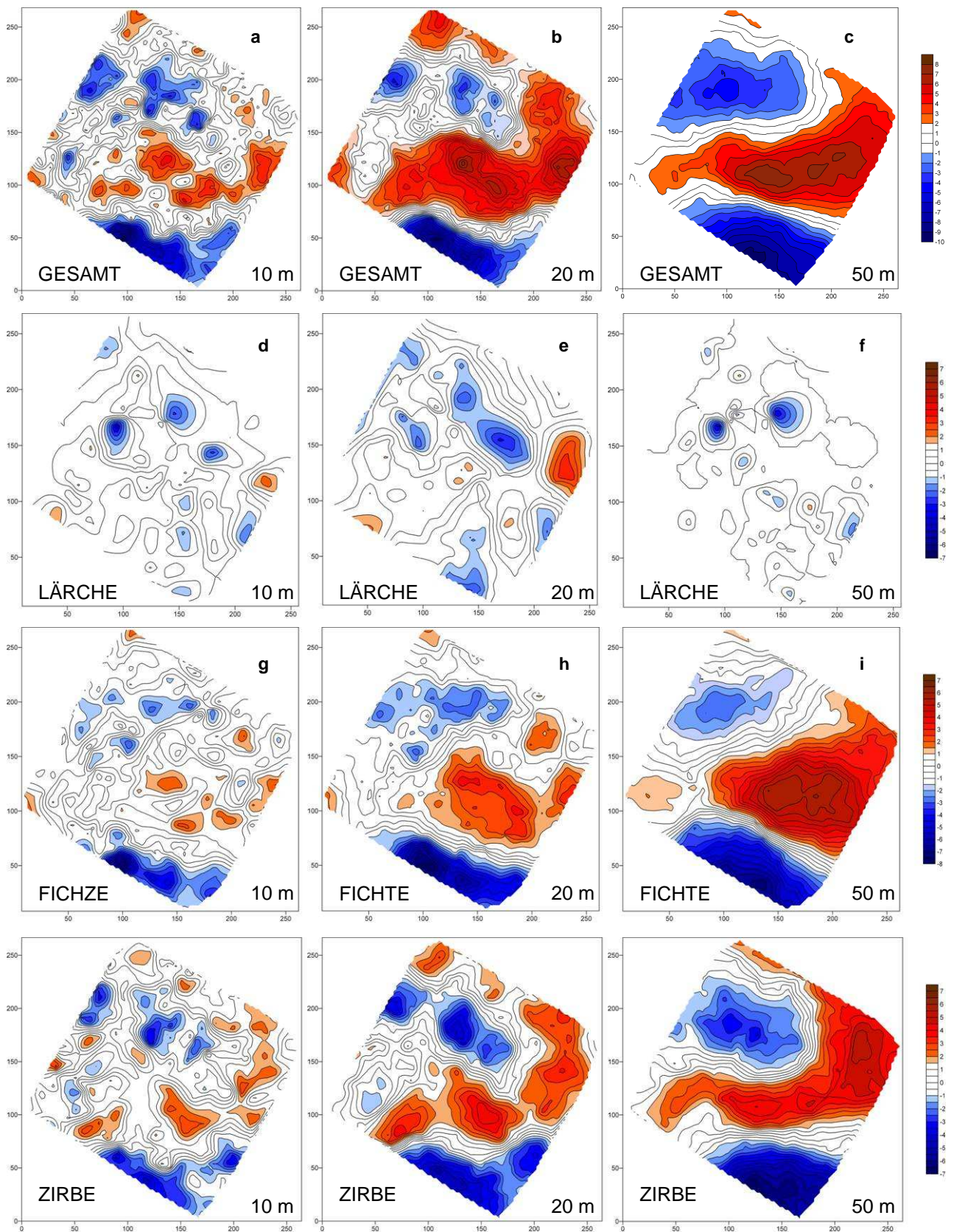


Abb. 12 – Projektion auf die Horizontalebene der durchgehenden Linien, die gleichwertige Ereignisse des GI*-Index für d Durchmesserwert bei Distanzen von 10, 20 und 50 m verbinden; Gesamtfläche (a, b, c), für die Lärche (d, e, f), für die Fichte (g, h, i), für die Zirbelkiefer (l, m, n).

Strukturanalyse: Morans I-Statistik für Durchmesser und Alter auf 2 ha

Aufgrund der auf 2 ha durchgeführten Strukturanalyse für das Alter und den Durchmesser ist es möglich, die für die beiden Daten erzielten Ergebnisse miteinander zu vergleichen. Generell lässt sich sowohl hinsichtlich aller Individuen (Abb. 13a) als auch hinsichtlich der einzelnen Baumarten (Abb. 13b, c, d) ein nach Durchmesser und Alter ähnlicher Verlauf und eine gute Übereinstimmung der charakteristischen Werte feststellen. Jedoch scheinen die Autokorrelationswerte beim Alter signifikanter zu sein als beim Durchmesser; eine Ausnahme gilt für die Lärche, wo höhere Autokorrelationswerte beim Durchmesser festzustellen sind. Bei allen drei Arten zeigt sich jedenfalls, ähnlich wie zuvor bei dem 4-ha-Gebiet, ein Gradient, wengleich mit anderen Distanzwerten. Generell sind bis 80 m positive und ab 100 m negative Autokorrelationswerte festzustellen. Da der Informationsgehalt im Vergleich zum 4-ha-Gebiet viel geringer ist, gibt es keine anschließende Rückkehr zu Werten positiver Autokorrelation bei kurzer Distanz, die für den doppelten Gradienten sorgte.

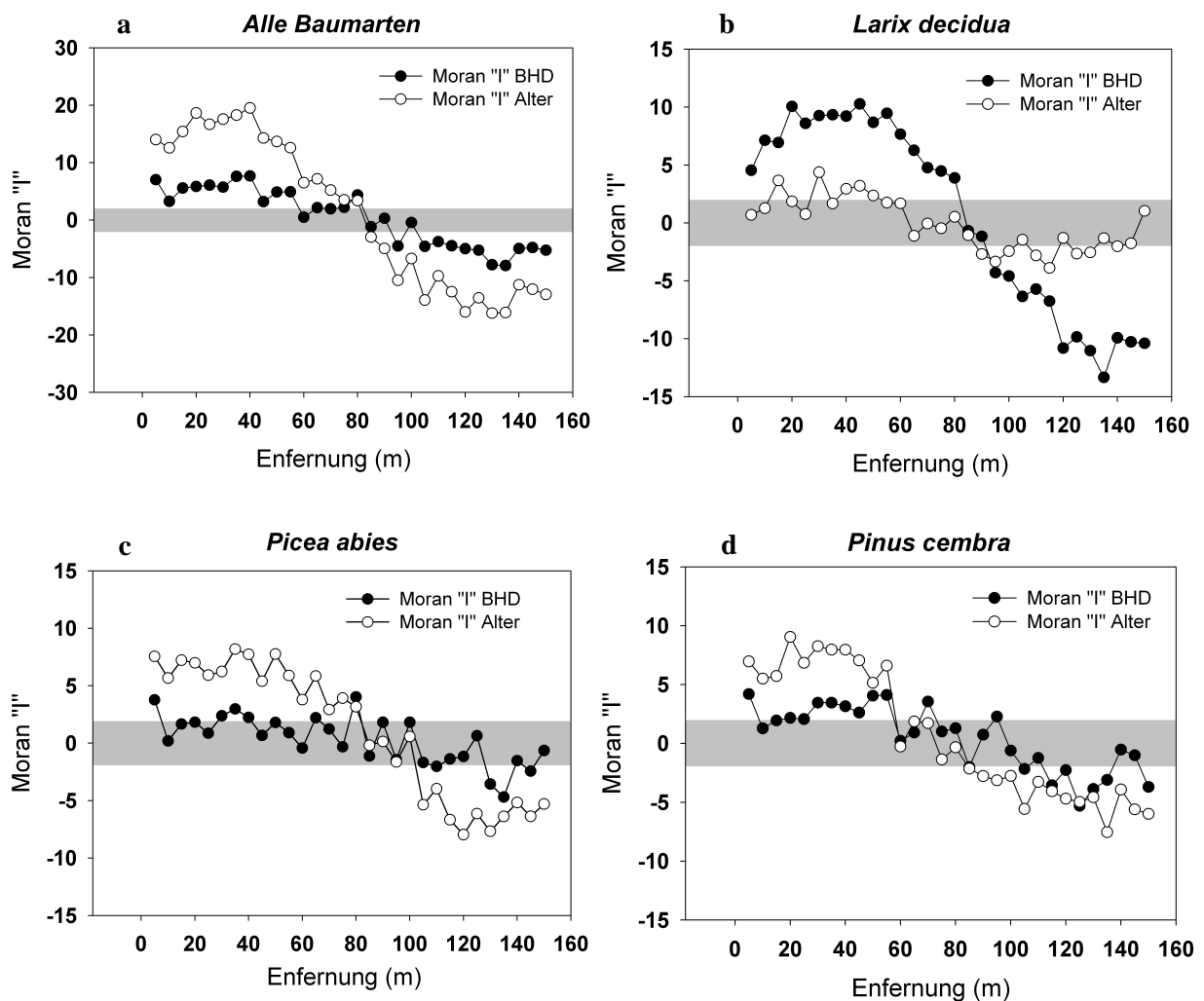


Abb. 13
Korrelogramme des Durchmessers; Gesamtfläche (a), Lärche (b), Fichte (c), Zirbelkiefer (d)

Lokale Messungen der räumlichen Autokorrelation:

Getis G_i^* -Statistik für Durchmesser und Alter auf 2 ha

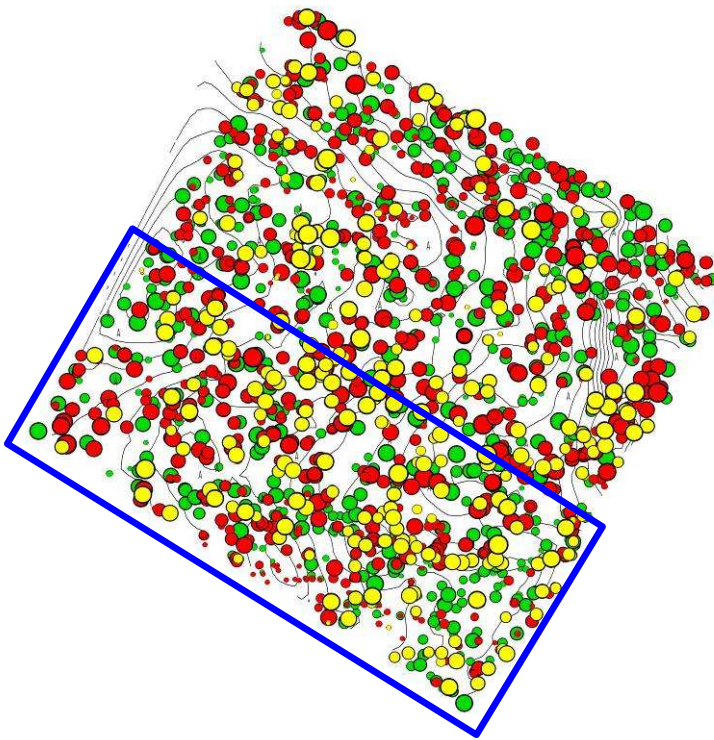


Abb. 14 – Markiert ist das Versuchsgebiet mit einer Fläche von 2 ha

Die *Local G_i^** -Statistik, die die Ergebnisse nach Durchmesser und Alter miteinander vergleicht, zeigt neben einer tendenziell ähnlichen allgemeinen Verteilung einige Unterschiede in der räumlichen Struktur dieser beiden Daten. Vor allem bei kurzer Distanz zeigen die Durchmesser oft einen Wechsel zwischen den eng beieinander liegenden *hot spots* und *cold spots*, während die Graphik nach Alter zwar Baumgruppen mit ähnlichem Alter aufweist, die Gruppen mit anderem Alter jedoch deutlich getrennt hält.

Bei den Durchmesserdaten sind die Gruppen, die eine positive oder negative lokale Autokorrelation aufweisen, kleiner und von geringerer Signifikanz als die Gruppen nach Alter, die größer sind und eine höhere Signifikanz haben. Dieser letztgenannte Unterschied ist deutlicher erkennbar in den großen Distanzklassen; damit bestätigen sich die Ergebnisse von Morans "I"-Statistik, bei der die altersbezogenen Korrelogramme höhere Werte aufweisen als die durchmesserbezogenen.

Auch bei dieser Analyse-Art ist bei der Lärche zumindest bei kurzen und mittleren Distanzen das Fehlen einer echten Struktur erkennbar, obwohl ein schwacher Gradient vorhanden ist, wie schon zuvor im Korrelogramm festzustellen war, wobei sich zwei Bereiche unterschiedlichen Alters im Abstand von 50 m zeigen. Sowohl bei der Fichte als auch bei der Zirbelkiefer zeigt die Altersgraphik verschiedene, bei der Zirbelkiefer zahlreicher als bei der Fichte vorhandene Konzentrationen, die in den Durchmesserdaten nicht erkennbar sind und die in der langen Distanz den Gradienten bilden, demzufolge im südöstlichen Teil des Versuchsgebiets jüngere Bäumen und im zentral-westlichen Teil ältere Bäume vorhanden sind.

GESAMTFLÄCHE

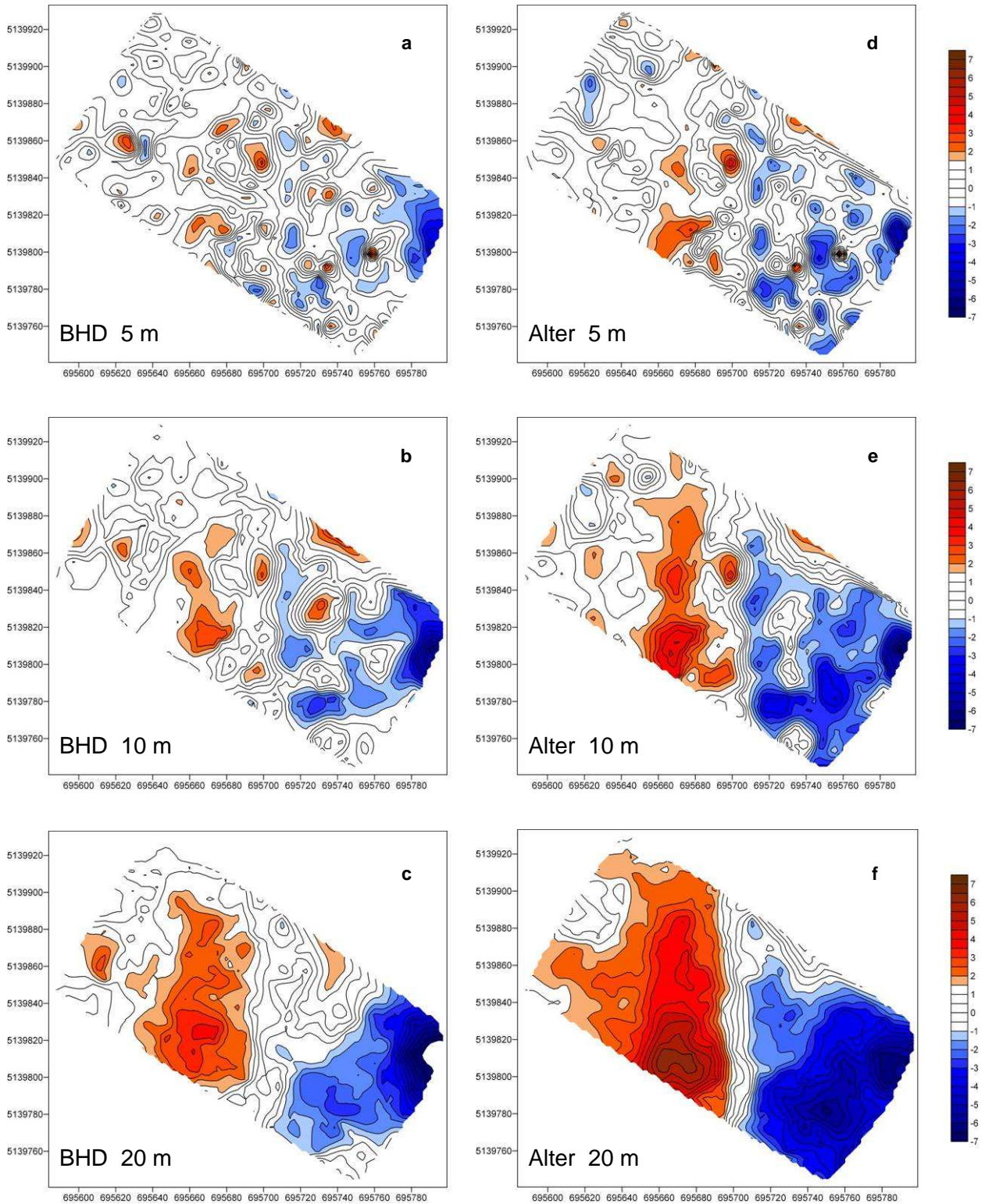


Abb. 15 – Projektion auf die Horizontalebene der durchgehenden Linien, die gleichwertige Ereignisse des GI*-Index Gesamtfläche für den Durchmesserwert bei der Distanz von 5 m (a), 10 m (b) und 20 m (c) und für den Alterswert bei der Distanz von 5 m (d), 10 m (e) und 20 m (f) verbinden.

LÄRCHE

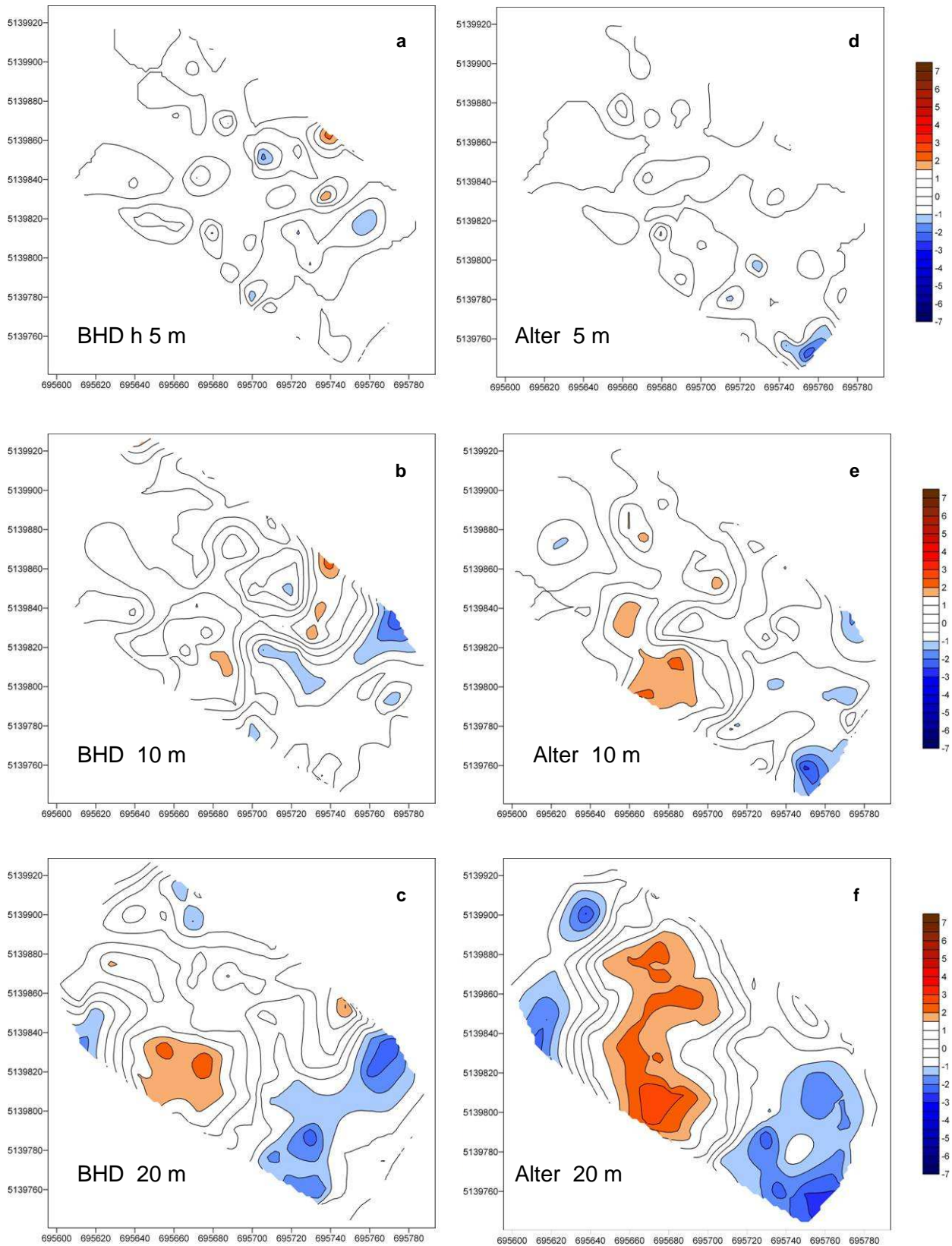


Abb. 16 – – Projektion auf die Horizontalebene der durchgehenden Linien, die gleichwertige Ereignisse des GI*-Index Lärche für den Durchmesserwert bei der Distanz von 5 m (a), 10 m (b) und 20 m (c) und für den Alterswert bei der Distanz von 5 m (d), 10 m (e) und 20 m (f) verbinden.

FICHTE

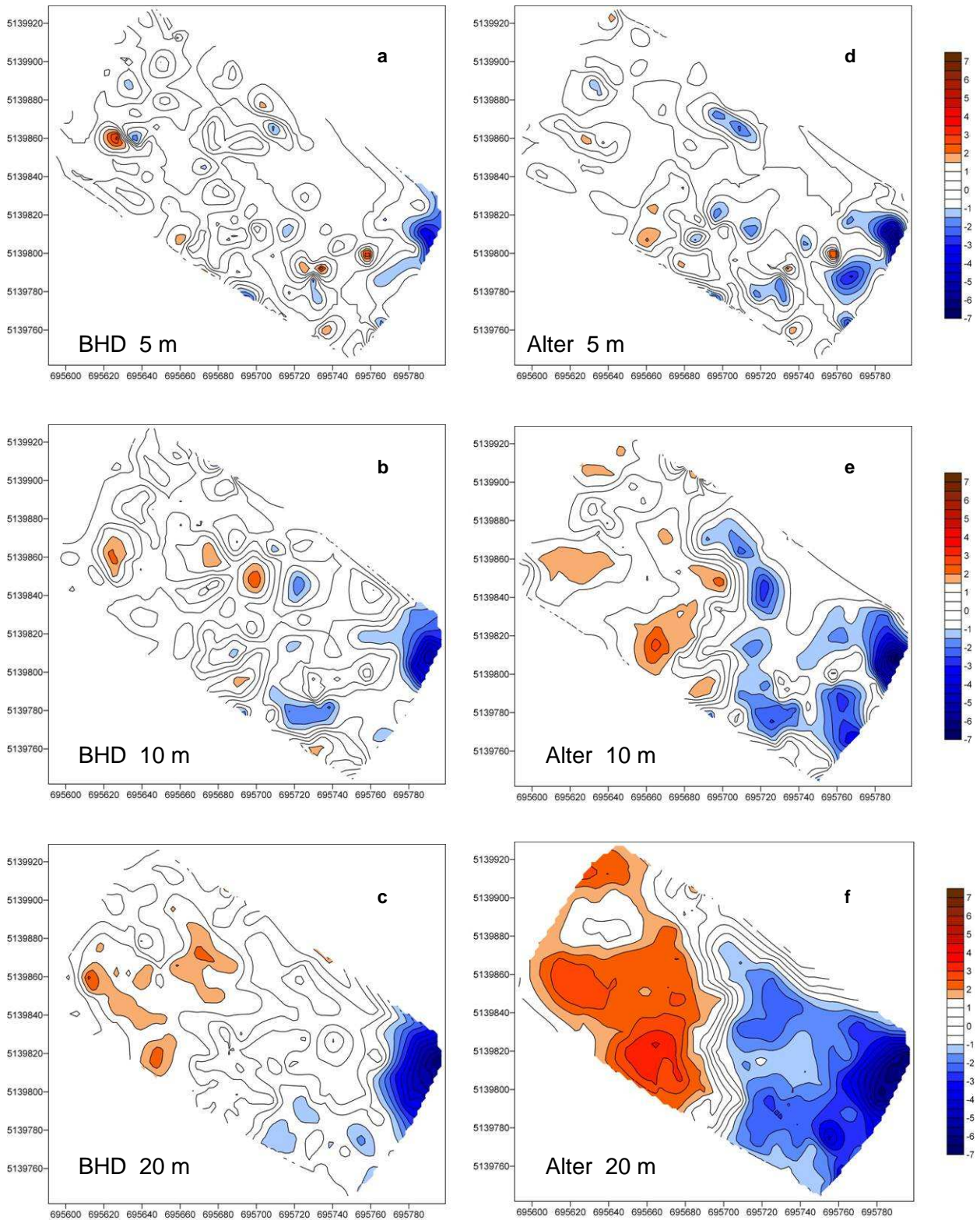


Abb. 17 -- Projektion auf die Horizontalebene der durchgehenden Linien, die gleichwertige Ereignisse des GI*-Index Fich für den Durchmesserwert bei der Distanz von 5 m (a), 10 m (b) und 20 m (c) und für den Alterswert bei der Distanz von 5 (d), 10 m (e) und 20 m (f) verbinden. .

ZIRBE

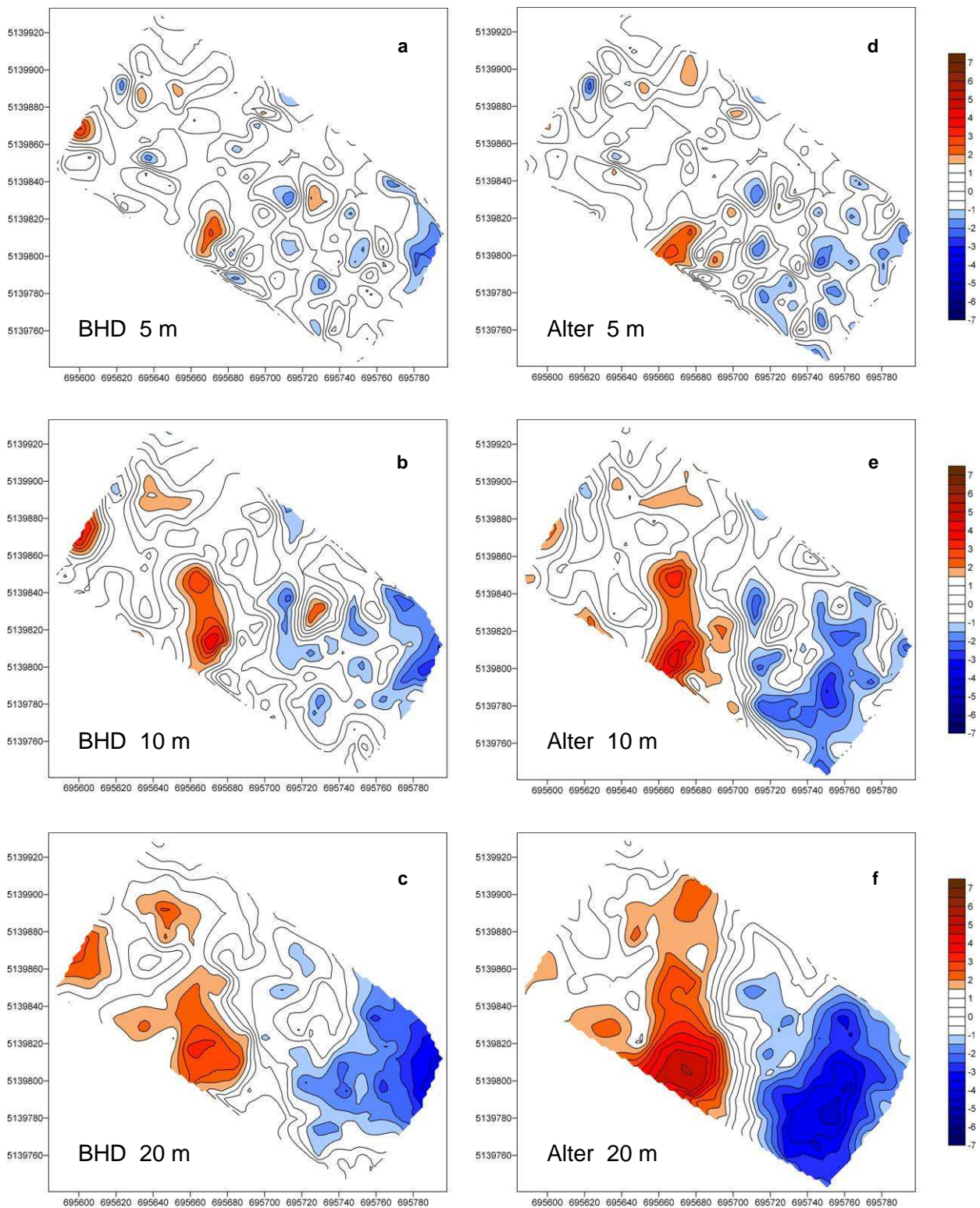


Abb. 18 – Projektion auf die Horizontalebene der durchgehenden Linien, die gleichwertige Ereignisse des GI*-Index Zirl für den Durchmesserwert bei der Distanz von 5 m (a), 10 m (b) und 20 m (c) und für den Alterswert bei der Distanz von m (d), 10 m (e) und 20 m (f) verbinden.

ERGEBNISDISKUSSION

BESTANDESSTRUKTUR UND -MERKMALE

Die Zusammensetzung des reifen Bestandes gestattet es, den Bestand in den Waldtyp Lärchen-Zirbelkieferwald mit Fichte einzuordnen.

In den Gebieten, in denen seit längerer Zeit weidewirtschaftliche Nutzung mehr betrieben wird und der Prozess der Wiederbewaldung schneller verlief, ist in den Lärchen-Zirbelkieferwäldern ein stärkeres Vorkommen der Fichte festzustellen, die örtlich auch vorherrschen kann (Filipello et al., 1981). Dieser Waldtyp stellt eine mehr oder weniger lange Übergangsphase dar, bei der die Lärchen-Zirbelkieferwälder in Kontakt mit den subalpinen Fichtenwäldern kommen und der Fichtenanteil mit den Kleinstandortseigenschaften und dem zeitlichen Abstand von der Aufgabe oder Verringerung der Weidewirtschaft zusammenhängt (Del Favero, 2003).

Im Untersuchungsgebiet wird die Bestandesstruktur von Zirbelkiefer und Fichte beherrscht; die Lärche ist vor allem wegen der Dimensionen der Bäume von Bedeutung, doch spielt sie in der Jungphase eine eindeutig marginale Rolle, und abgesehen von besonderen anthropogenen oder natürlichen Störungen von gewissem Umfang ist die Art dazu bestimmt, auf wenige Individuen zu schrumpfen, da sich ihre ökologische Rolle erschöpft hat und sie für eine natürliche Verjüngung keine idealen Bedingungen mehr findet.

Die Durchmesserverteilung des Bestandes scheint auf eine zweischichtige Struktur hinzuweisen, wobei Lärche und Fichte in der Oberschicht und Zirbelkiefer und Fichte in der Unterschicht überwiegen. Ausgehend von der Karte der räumlichen Verteilung der Baumarten und Durchmesser lässt sich jedoch feststellen, dass sich die Bäume im Allgemeinen nach Gruppen verteilen, die nach Arten und Durchmesser gemischt sind, wobei sich einige gemischte Gruppen kleiner Bäume in ungeschützten Zonen angesiedelt haben und eine ungleichaltrige Struktur ergeben.

Der plurimodale Verlauf der Altersverteilung hängt vermutlich mit späteren Besiedlungsphasen zusammen, in denen es zunächst vor 140-180 Jahren zu einer Koexistenz der drei Baumarten kam, wobei die Fichte überwog und die Lärche einen guten Anteil hatte, später aber stark zurückging; aber auch Fichte und Zirbelkiefer gingen bis vor etwa sechzig Jahren zurück und erlebten dann eine neue Expansion; in den letzten 20 Jahren kam es dann zu weiteren Zugängen von Zirbelkiefer und in geringerem Maße von Fichte. Während es recht schwierig ist, historische Angaben für die Zeit von vor 140-180 Jahren zu finden, lässt sich der Zugang vor etwa 60 Jahren leichter, nämlich mit der Einführung des Waldweideverbots erklären.

RÄUMLICHE MUSTER

Die räumlichen Muster weisen auf eine ausgeprägte Aggregationstendenz hin, wobei die Aggregation mit zunehmender Distanz zunimmt. Auch Baumarten wie Fichte und Zirbelkiefer, die allgemein auf kurzer Distanz einen Gipfel aufweisen, der mit dem Vorkommen von Verjüngungsgruppen verbunden ist, haben hier einen ganz ähnlichen Verlauf wie die Lärche, also den Verlauf einer Baumart, die ein Muster zunehmender Aggregation als Ergebnis einer Form massiver Besiedlung des Gebietes infolge einer invasiven Dynamik der Baumart aufweist. Möglicherweise ist dieses Muster das Ergebnis der Summe der späteren Besiedlungsphasen, von denen weiter oben im Zusammenhang mit der chronologischen Bestandesstruktur die Rede war. Aus der Analyse der bivariaten K-Funktion von Ripley ergibt sich im Allgemeinen die Abstoßung der Jungbäume der drei Baumarten durch die großen Fichten, die mit ihren niedrigen Kronen für Schattenverhältnisse sorgen und wegen des Fehlens von Licht und Wärme der Verjüngung entgegenwirken. Die von den großen Lärchenbäumen auf die jungen Zirbelkiefern ausgeübte Anziehung ist oft zu beobachten und erklärt sich damit, dass die Erneuerung der Zirbelkiefer oft unter der Beschirmung der Lärche statt findet (Motta und Dotta, 1994). Dieses Phänomen wird oft durch die unter den Lärchenkronen vorhandene dichte Grasvegetation begünstigt, die es den leichten Samen anderer Baumarten, so auch der Lärche und der Fichte, schwer macht, den Mineralboden zu erreichen. Die Zirbelkiefer hingegen kann diese Schwierigkeit durch das Wirken des Tannenhähers bewältigen (Motta und Dotta, 1994), der neben anderen Orten auch eine Vorliebe für den Stockbereich der Bäume und für die von den Wurzeln gebildeten Hohlräume hat (Tomback, 1995). Weniger häufig ist demgegenüber die Anziehung großer Lärchen auf kleine Fichten festzustellen, was vielleicht mit dem Vorkommen alter Lärchenstöcke zusammenhängt, welche die Erneuerung der Fichte und deren Befreiung vom Wettbewerb um Licht mit der Gras- und Strauchschicht begünstigen.

STRUKTURANALYSE

Das Ergebnis des Gesamtkorrelogramms für den Durchmesser auf 4 ha zeigt das Vorhandensein eines doppelten Gradienten, d.h. im Versuchsgebiet werden zwei Zonen mit ähnlichen Durchmessermerkmalen aufgezeigt, die durch ein Gebiet mit davon abweichenden Durchmessermerkmalen getrennt werden. So besteht auf kurzer Distanz eine hohe positive Autokorrelation, die Bäumegruppen mit ähnlichen Durchmessermerkmalen stehen nahe beieinander, während in der 100-m-Distanz im Allgemeinen Gruppen mit unterschiedlichen Merkmalen anzutreffen sind. Diese Ergebnisse bestätigen die Ergebnisse der *Local GI**-Statistik: diese weist zwei (blau umrandete) Zonen aus, deren Bäume einen ähnlichen bzw. kleineren Durchmesser haben als die Bäume in der rot umrandeten Zone, die einen größeren Durchmesser

haben. Dies kann vermuten lassen, dass in den blau umrandeten Gebieten einige Störphänomene, vermutlich anthropogener Art, stattgefunden haben, wodurch eine massive Verjüngung ermöglicht wurde. Auf der Nord- und Südseite des Versuchsgebiets sind zwei deutlich sichtbare Rückegassen vorhanden, die auch kartographisch erfasst sind. Im nördlichen Teil des Versuchsgebiets sind die Gruppen von kleinerem Ausmaß, was vielleicht mit waldbaulichen Eingriffen an kleinen Gruppen zusammenhängt. Demgegenüber sind im südlichen Teil die Größen der gleichaltrigen Gruppen auch auf kurze Distanzen größer; in diesem Fall dürfte es sich bei den Eingriffen um marginale Schlägerungen oder jedenfalls um intensivere lineare Eingriffe gehandelt haben. Sowohl Morans "I"-Statistik als auch die auf den Durchmesser auf 4 ha bezogene *Local Gi**-Statistik für die Lärche machen es schwierig, eine echte Struktur zu erkennen; wahrscheinlich haben sich die Lärchen im Laufe der Zeit schrittweise infolge von Schlägerungen zahlenmäßig verringert, die die heimische Bevölkerung bedarfsweise vornahm; diese Eingriffe hatten breite Auswirkungen auf die Lärche als die aus technischer Sicht interessanteste Art, da auch die Fichten eher verjüngt und verästelt sind. Allerdings lassen sich Gruppen von Lärchen mit kleinerem Durchmesser identifizieren, deren Standorte denen entsprechen, die bereits zuvor für die Gesamtheit ermittelt wurden.

Fichte und Zirbelkiefer sind die Baumarten, die den Bestand unter Strukturaspekten charakterisieren. So sind Morans "I"-Statistik und die *Local Gi**-Statistik dieser beiden Arten untereinander sehr ähnlich und führen zu dem Ergebnis, das sich bereits aus der Gesamtstatistik ergeben hat. Generell lässt sich beobachten, dass die Zirbelkiefer stärker als die Fichte dazu neigt, die für sie charakteristische Rotten-Struktur zu bewahren.

Vergleicht man die Morphologie des Versuchsgebiets mit Hilfe der Graphik der Höhenkurven und die mit der gesamten *Local Gi**-Statistik für die Durchmesser erzielten Ergebnisse (Abb. 18), ergibt sich ein deutlicher Bezug zwischen der Morphologie des Bodens und der lokalen Autokorrelation der Durchmesser. Es ist festzustellen, dass die Bäume mit kleinerem Durchmesser in den tiefer gelegenen Zonen stehen, in denen die Hänge nicht so steil sind, während die Bäume mit größerem Durchmesser in den höheren Zonen mit stärkerer Neigung anzutreffen sind; außerdem wird ein Großteil der beiden Zonen mit den geringeren Durchmessern von den (durch gestrichelte Linien gekennzeichneten) Rückegassen erreicht, die hingegen die Zonen mit den größeren Durchmessern nur marginal berühren. Sehr wahrscheinlich ist auch diese Übereinstimmung auf Eingriffe des Menschen zurückzuführen, der Schlägerungen in den bequemen und näher an den Rückegassen gelegenen Zonen, nicht hingegen in den unbequemen und steilen Zonen vornahm. So ist deutlich erkennbar, dass die stärkste Konzentration von Bäumen mit größerem Durchmesser entlang der Linien der stärksten Neigung anzutreffen, während für die Bäume mit den geringeren Durchmessern das Gegenteil zutrifft.

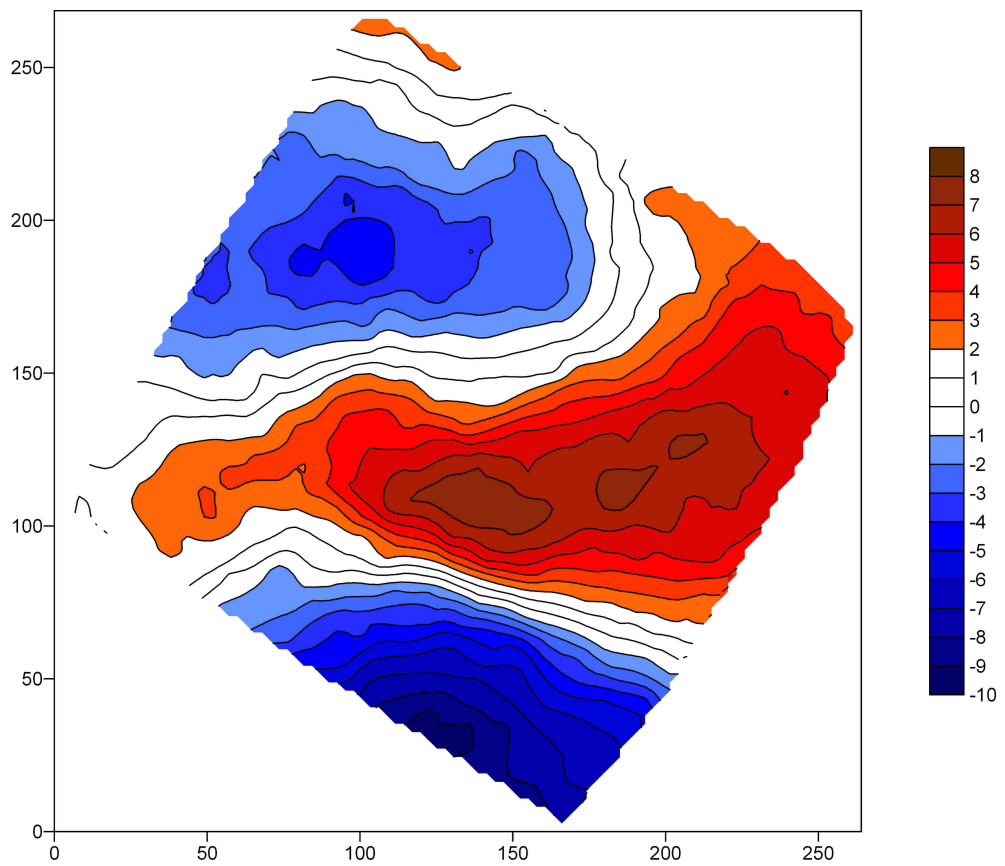
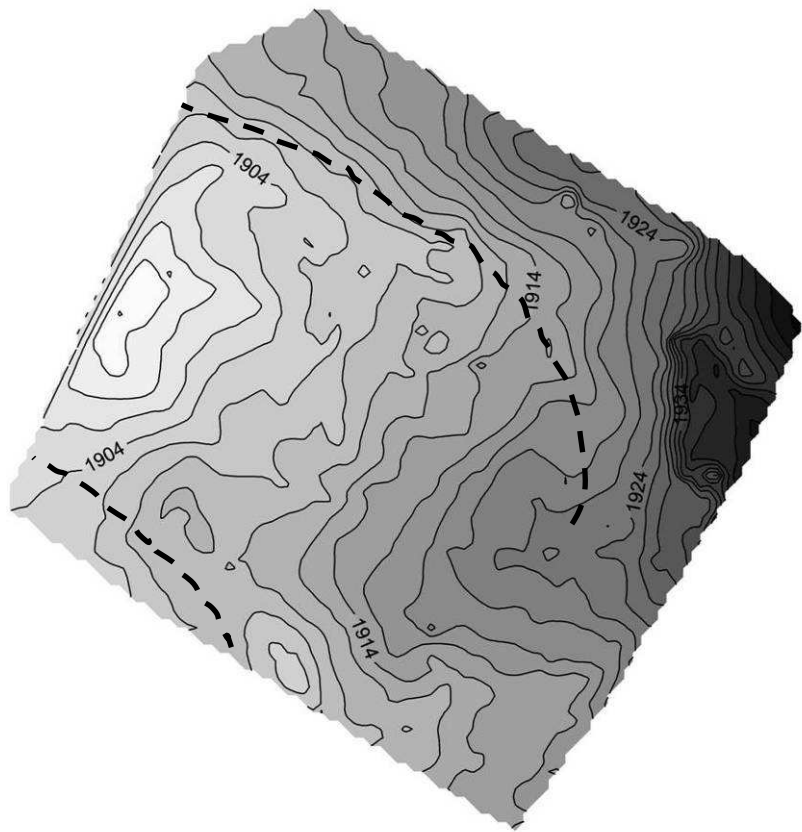


Abb. 19 – Vergleich zwischen der Orographie des Versuchsgebiets und der *Local Gi**-Statistik Gesamtheit für den Durchmesser

Strukturanalyse, Vergleich der Alters- und Durchmesserdaten auf 2 ha

Da die Altersbestimmung noch nicht auf der gesamten Fläche abgeschlossen ist, wurde ein Vergleich der erzielten Ergebnisse für die Teile der Fläche vorgenommen, für die für beide Variablenserien Daten vorliegen. Beide Daten sind nur für die Hälfte der Fläche verfügbar; der Vergleich mit den auf 4 ha erzielten Ergebnissen ist mit Vorsicht zu bewerten, jedoch ist auch in diesem Fall ein Teil des bereits zuvor festgestellten Gradienten erkennbar.

Hervorgehoben werden soll hier die stärkere Sensibilität der Altersdaten im Vergleich zu den Durchmesserdaten. Sowohl in Morans "I"-Statistik als auch in der *Local Gi**-Statistik ist erkennbar, dass die Variable „Alter“ höhere Autokorrelationswerte ergibt und eine bessere räumliche Auflösung der Bestandesstruktur ermöglicht, wodurch mögliche Trugschlüsse vermieden werden, die auf geringere Zuwächse infolge von Wettbewerb oder exzessiver Überschildung der unterständigen Bäume zurückzuführen sind: Ein Phänomen, das im Untersuchungsgebiet recht häufig anzutreffen ist und das sich bereits anhand des Vergleichs zwischen Durchmesser- und Altersverteilung erahnen ließ, bei dem sich eine hohe Anzahl von Bäumen mit kleinem Durchmesser, aber das Fehlen einer entsprechenden Anzahl von jungen Bäumen ergab.

Damit zeigt sich, dass der Durchmesser durchaus eine erste Grobdefinition der raum-zeitlichen Bestandesstruktur liefern kann, dass aber erst das Alter die Bestimmung der realen Dimensionen gleichaltriger Gruppen und der Dynamiken ermöglicht, die im Laufe der Zeit zur Bildung des heutigen strukturellen Aufbaus geführt haben.

SCHLUSSBEMERKUNGEN

Der Abschluss der vor allem auf den Altersdaten basierenden dendrochronologischen Analyse kann weitere Informationen zur raum-zeitlichen Dynamik des Bestandes liefern und erklären, wie die waldbaulichen Eingriffe das Bestandesmuster beeinflusst haben und wie die verschiedenen anthropischen Aktivitäten auf mehrere ökologische Faktoren einwirken und eine Summe indirekter Effekte bewirken können. In den letzten Jahrzehnten waren jedoch ein starker Rückgang der menschlichen Aktivitäten im Zusammenhang mit der Landwirtschaft und ein radikaler Wandel der forstwirtschaftlichen Strategien und Ziele zu beobachten. In der Vergangenheit hat der Mensch die Struktur der Bestände in den oberen Höhenlagen und damit auch die Verjüngungsdynamiken in starkem Ausmaß beeinflusst. In einigen Fällen ist der anthropogene Einfluss nicht wirklich

verschwunden, sondern hat andere Formen im Zusammenhang mit anderen, vor allem touristischen Aktivitäten angenommen, die örtlich zunehmend in den Hochgebirgszonen stattfinden. Es muss untersucht werden, ob diese Einflüsse die Erreichung der ökologischen Stabilität verzögern können, die notwendig ist, um den optimalen Fortbestand der Waldsysteme zu gewährleisten, indem sie Zyklizitäten verändern, die in ihrer Modalität und Dauer jedenfalls weit entfernt sind von dem im Allgemeinen begrenzten zeitlichen Rahmen der Planung; das Gleiche gilt für die anderen Aktivitäten des Menschen im Zusammenhang mit der Bewirtschaftung und Nutzung der Waldressourcen. Aus dieser Sicht kommt den aus der Untersuchung der räumlichen Struktur gewonnenen Informationen in Verbindung mit den Daten zur chronologischen Struktur Bedeutung zu. So können wir anhand der Verteilungsmuster die Prozesse verstehen, die sie erzeugt haben und Hilfestellung bei der Planung der künftigen Entwicklungsbahnen liefern, die die räumliche und zeitliche Kontinuität der Erneuerung und damit des Forstbestandes in seiner Gesamtheit beeinflussen werden.

BIBLIOGRAPHIE

- Aniol R W (1983) Tree-ring analysis using CATRAS. *Dendrochronologia* 1:45-53
- Anselin L (1995) Local Indicators of Spatial Association – LISA Geographical Analysis 2:93-115
- Bailey TC Gatrell AC (1996). Interactive spatial data analysis. Longman, Essex, UK.
- Cliff, A D, J K Ord (1973) *Spatial Autocorrelation* London. Pion London UK
- Cliff, A D, J K Ord (1981) Spatial processes: models and applications. Pion London UK
- Del Favero R (2003) Appunti del corso di Selvicoltura Speciale. AA 2002/2003
- Filipello S, Sartori F, Villardini M (1976) Le associazioni del cembro nel versante meridionale dell'Arco Alpino. *Atti Ist Bot Di Pavia* 21-104
- Fotheringham AS, Brunson C (1999) Local forms of spatial analysis. *Geogr Anal* 31:340–358
- Getis A, Ord JK (1992) The analysis of spatial association by use of distance statistics. *Geogr Anal* 24(3):189–206
- Fotheringham AS, Brunson C, Charlton M (2000) Quantitative geography: Perspectives on spatial data analysis Sage Publications, Thousand Oaks, CA
- Getis, A, e JK Ord (1996) Local spatial statistics: An overview P 261–277 in *Spatial analysis: Modeling in a GIS environment* Longley P, M Batty (eds) Wiley New York
- Levine N (2002). CrimeStat: A Spatial Statistics Program for the Analysis of Crime Incident
- Motta R e Dotta A (1994) Some aspects of cembran pine regeneration in the Italian Cottian Alps
Proceedings international workshop on subalpine stone pines and their environment: the status of our knowledge St Moritz INT-GTR 309, St Moritz, Switzerland, 5-11 September 1992 Intermountain Research Station, UT, USA:254-260
- Ripley BD (1977). Modelling Spatial Patterns. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B*
- Sawada M (1999) Rookcase: an Excel 97/200 visual basic add-in-exploring global and local spatial autocorrelation. *Bull Ecol Soc Am* 80:231–234
- Sokal R R, Oden N L (1978a) Spatial autocorrelation in biology: 1 Methodology. *Bioll JI of Linn Soc* 10:199–228
- Sokal, R R, Oden N L (1978b) Spatial autocorrelation in biology: 2 Some biological implications and four applications of evolutionary and ecological interest. *Biol J Linn Soc* 10:229–249
- Tomback DF (1995) Ecological relationship between Clark's Nutcracker and four wingless-seed strobis pines of Western North America Proceedings of the International Workshop on Subalpine Stone Pines and their Environment: the Status of our Knowledge, INT-GTR 309, St Moritz, Switzerland, 5-11 September 1992 Intermountain Research Station, UT, USA:221-224
- Unwin A (1996) Exploratory spatial analysis and local statistics. *Comput Stat* 11:387–400
- Upton GJG Fingleton B (1985) Spatial data analysis by example Vol 1: Point pattern and quantitative data. Jon Wiley & Sons, New York, NY