

Analyse räumlicher Struktur auf Bestandes- und Betriebsebene¹

Miriam Pott
Lehrstuhl für Waldwachstumskunde
der Technischen Universität München
Am Hochanger 13
85354 Freising

Zusammenfassung

Die Arbeit befasst sich mit Möglichkeiten zur Darstellung und Analyse von räumlichen Strukturen innerhalb eines Forstbetriebes mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems. Zunächst werden auf Bestandesebene zwei Strukturindizes vor- und dargestellt. Eine Ebene darüber auf Betriebsebene wird als ein Untersuchungsansatz die Variogrammanalyse herangezogen, als zweiter werden Nachbarschaftsberechnungen durchgeführt.

1 Einleitung

Die vorliegende Arbeit soll Möglichkeiten und Vorgehensweisen aufzeigen, die der Abbildung, Quantifizierung und Analyse räumlicher Struktur dienen. Es werden einige Verfahren zur Abbildung von Strukturen aber auch zur Quantifizierung gezeigt, woran sich eine Analyse anschließt.

Struktur beschreibt den aktuellen Zustand eines Systems. Sie ist ein spezifischer Aufbau, das Gefüge eines gegliederten Ganzen, bei dem jeder Teil eine bestimmte Funktion erfüllt, die nur vom Ganzen verständlich ist (MEYERS LEXIKON, 1993).

Jedes Ökosystem hat eine bestimmte Struktur, die aus Faktoren der lebenden und unbelebten Umwelt gebildet wird und wiederum Einfluß auf diese hat. Struktur verändert sich mit der Zeit. Sie ist nichts Starres. Jedes Ökosystem ist ein dynamisches System, in dem sich die Struktur, die Stoffflüsse ändern.

Räumliche Struktur gilt als wichtige Bestimmungsgröße für die Habitat- und Artendiversität (HABER, 1982). Die Struktur kann als Indikator verwendet werden, über den z.B. auf Habitateignung geschlossen werden kann (WIEGAND, 1999), Struktur kann Indikator für die ökologische Stabilität sein, für biologische Vielfalt. Deshalb ist ihre quantitative Analyse für verschiedene ökologische Fragestellungen relevant.

Gerade im Hinblick auf das Helsinki-Protokoll, wo Nachhaltigkeit und biologische Vielfalt gefordert wurden, ist es wichtig, diese Eigenschaften aufzuzeigen und quantifizieren zu können. Denn gerade die Entwicklung von Strukturen und ihre Veränderung im Laufe der Zeit gilt es zu beobachten, zu prognostizieren, um Behandlungen und Eingriffe zu planen und deren Auswirkungen darzustellen (DER RAT VON SACHVERSTÄNDIGEN, 1994). Über die Quantifizierung von Strukturen wird dieses ermöglicht.

¹ Vortrag anlässlich der Jahrestagung 1999 der Sektion Forstliche Biometrie und Informatik im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten

2 Material

Datengrundlage für die vorgestellte Analyse ist ein Distrikt des Stadtwaldes Traunstein im Südosten Bayerns nahe des Chiemsees. Für diesen Forstbetrieb sind Daten der Forsteinrichtung aus der permanenten Stichprobeninventur sowie aktuelle Standortdaten vorhanden. Bei den Stichprobenpunkten handelt es sich um konzentrische Probekreise, erhoben im 100*100 m Raster. Außerdem steht eine digitalisierte Karte des Forstbetriebes mit Bestandesgrenzen zur Verfügung.

Alle diese Informationen sollen sinnvoll miteinander verknüpft werden. Dies geschieht mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems. Nach Möglichkeit sollen daraus neue Informationen gewonnen werden (Abbildung 1), die sich erst bei einer Verknüpfung der verschiedenen Informationsebenen und einer flächenhaften Darstellung ableiten lassen. Mit der Verknüpfung unterschiedlicher Datengrundlagen soll untersucht werden, inwieweit Möglichkeiten bestehen, daraus Strukturinformationen zu gewinnen.

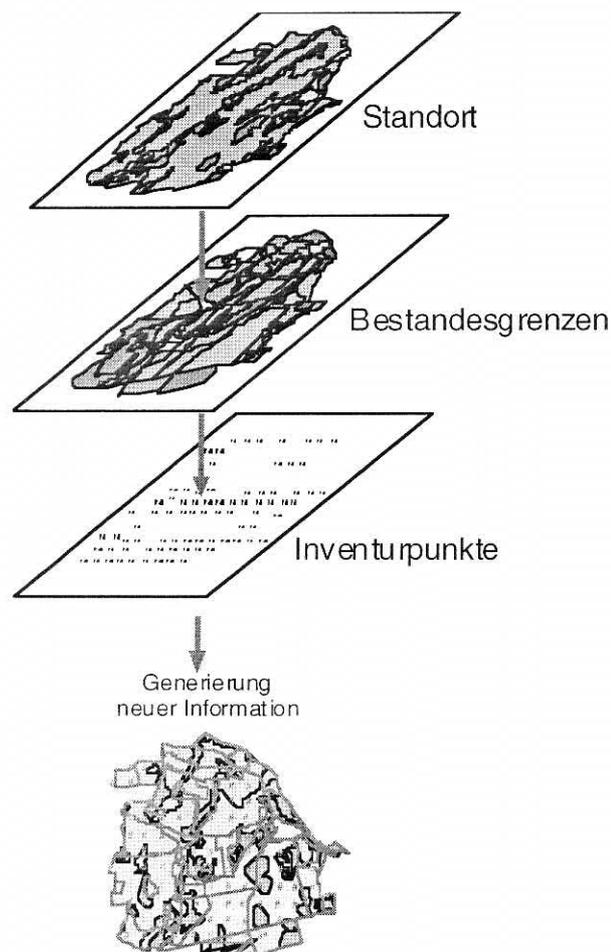


Abb. 1: Verknüpfung von Informationen aus Standortkarte, Bestandeskarte und von Inventurpunkten zur Gewinnung integrierter Information

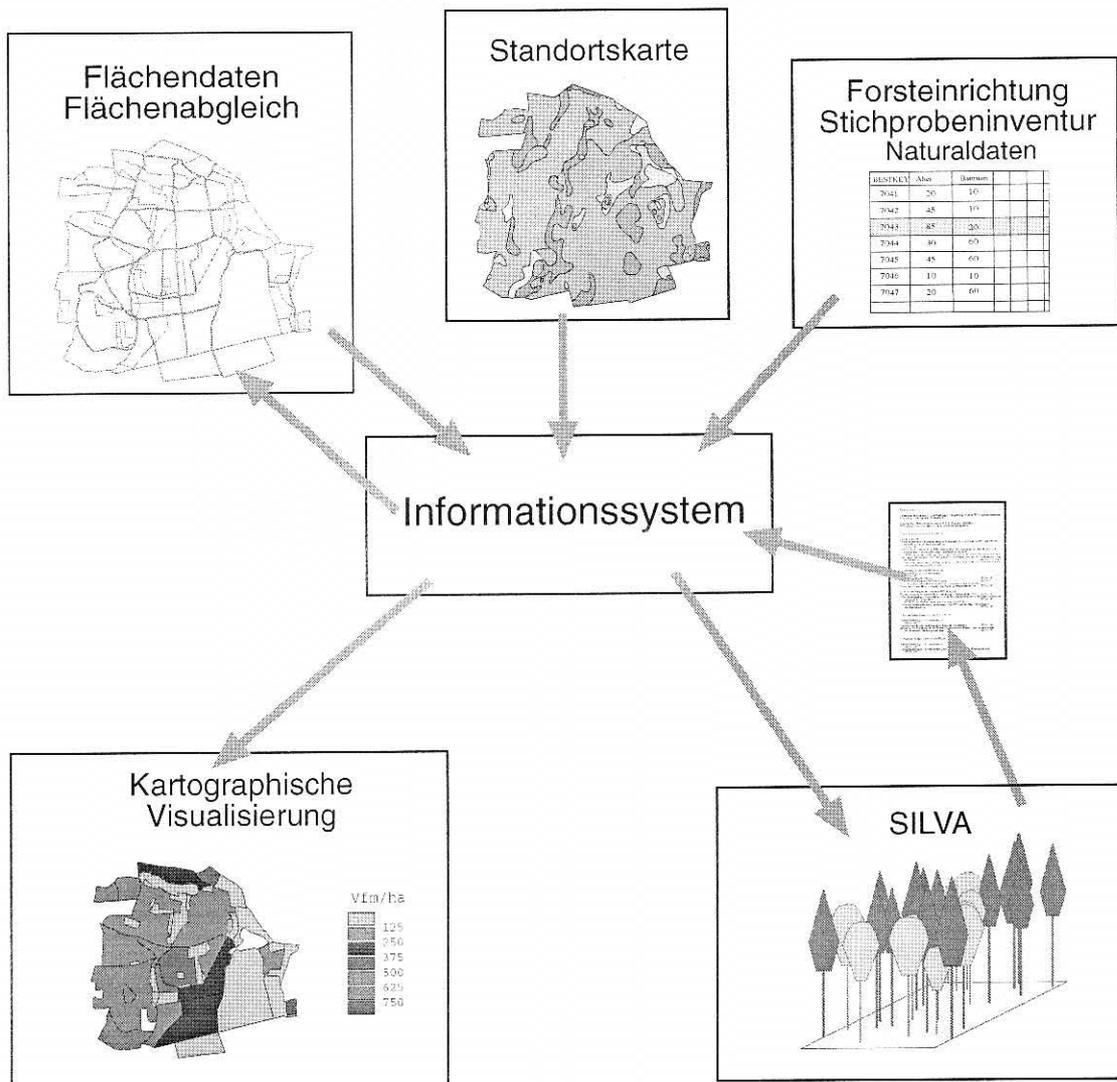


Abb. 2: Datenflüsse und Verknüpfung unterschiedlicher Informationen und Daten in einem Informationssystem

In einem Informationssystem geschieht die Verknüpfung von Daten unterschiedlicher Herkunft (Abbildung 2). Es besteht dann die Möglichkeit die Daten in unterschiedlicher Form kartographisch darzustellen. Auch können die verschiedenen Informationen an Modelle, wie das Waldwachstumsmodell SILVA (KAHN u. PRETZSCH, 1997), weitergegeben werden. Dort werden die Daten in einer bestimmten Form weiterverarbeitet und die Ergebnisse werden wieder an das Informationssystem zurückgegeben. Diese Ergebnisse können dann z.B. kartographisch dargestellt werden oder stehen weiteren Untersuchungen zur Verfügung (POTT, 1998).

3 Methoden

Die Strukturbeschreibungen sollen auf zwei Ebenen dargestellt werden. Zum einen auf der Bestandesebene und zum zweiten auf Betriebsebene als Beispiel für einen größeren räumlichen Bezug.

3.1 Bestandesebene

Auf der Bestandesebene werden mit Hilfe der Analyseroutinen des Wachstumsmodells SILVA Strukturindizes berechnet. Dafür erfolgt aus den Daten der permanenten Stichprobenpunkte über die Stratifizierung von Bestandes- und Standortstyp (DURSKY, 1999) die Generierung von repräsentativen Beständen (POMMERENING, 1998), die mit Hilfe von SILVA auch fortgeschrieben werden. Diese Ergebnisse können nun mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems abgebildet werden, wobei man im Gegensatz zu Tabellenwerken unmittelbar die räumliche Verteilung der interessierenden Größen erkennen kann.

Es werden zwei verschiedenen Strukturindizes gezeigt, die jeweils nur einen spezifischen Aspekt der Raumstruktur beschreiben. Bei dem ersten dargestellten Index handelt es sich um den Artprofilindex, der von PRETZSCH (1996) aus dem Shannon-Index (SHANNON, 1948) weiterentwickelt wurde.

Dieser Index quantifiziert zusammenfassend Artendiversität und Raumbesetzung der Arten im Waldbestand (PRETZSCH, 1996). Er wird wie folgt berechnet:

$$A = \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^Z p_{ij} * \ln p_{ij}$$

S = Anzahl der vorkommenden Baumarten

Z = Anzahl der Höhenzonen.

Am geringsten ist der Index in einschichtigen Reinbeständen, er steigt in zwei- und mehrschichtigen Reinbeständen an, wird durch Mischung wirksam erhöht und erreicht seine höchsten Werte in stark vertikal strukturierten Mischbeständen. Er beschreibt also Bestandes- und Mischungsstruktur. Ein einschichtiger Reinbestand hat einen sehr geringen Wert, der etwas größer als 0 ist, ein Plenterwald etwa einen Wert von 2,0 (BIBER, 1997).

In Abbildung 3 werden die ermittelten Werte des Artprofilindex je nach Wertebereich über eine andere Farbe dargestellt. Je dunkler die Flächen sind, desto höher liegt der Index-Wert, was bedeutet, je dunkler die Farbe, desto größer ist die Anzahl der Baumarten und Schichten im Bestand. In dieser Abbildung wird der Istzustand dem Fortschreibungsergebnis gegenübergestellt. Anhand der Farbunterschiede kann man die Verteilung der verschiedenen strukturierten Bestände über der Betriebsfläche als auch im Vergleich der beiden Graphiken die Veränderung dieses Wertes beobachten.

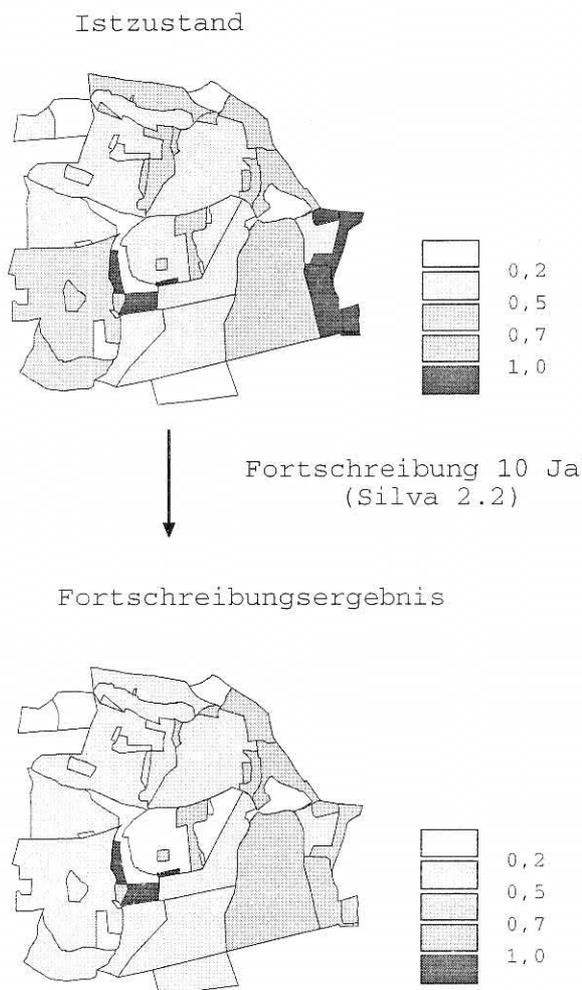


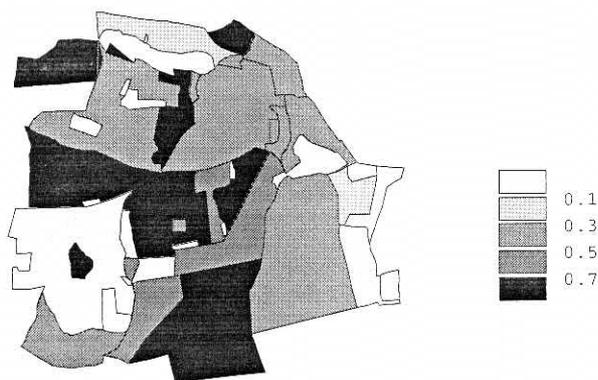
Abb. 3: Thematische Karte zum Artprofilindex von PRETZSCH in den Beständen des Distriktes im Istzustand (oben) und nach 10-jähriger Fortschreibung (unten)

Das Fortschreibungsergebnis zeigt, dass sich der Wert in vielen Beständen verringert hat. Das bedeutet, dass dort eine Entwicklung hin zu einer Homogenisierung besteht. Dies liegt auch an dem im Modell gewählten Behandlungskonzept. Hier könnte ein Variantenstudium einsetzen, um mit unterschiedlichen Behandlungsstrategien zu überprüfen, wie sich bestimmte Eingriffe auf die Bestandesstruktur auswirken.

Der zweite hier vorgestellte Index ist das Segregationsmaß von PIELOU (1977), das die Artendurchmischung von Beständen zeigt.

Es erfasst die Durchmischung zweier Baumarten aufgrund direkter Nachbarschaftsverhältnisse nach der Methode des nächsten Nachbarn. Das Maß errechnet sich wie folgt:

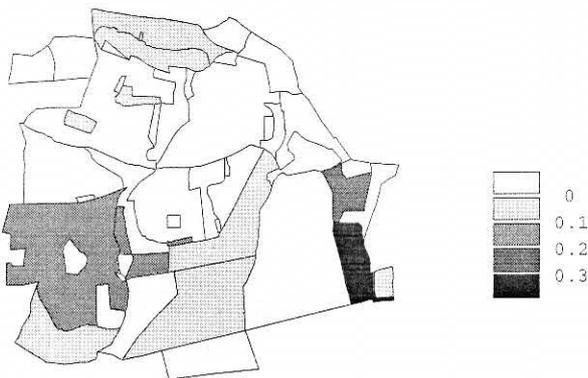
Istzustand



$$S = 1 - \frac{\text{beobachtete Zahl gemischter Paare}}{\text{erwartete Zahl gemischter Paare}}$$

Die möglichen Werte dieses Maßes liegen zwischen -1 und 1, wobei $S < 0$ eine enge Kopplung zwischen den Arten bedeutet und $S > 0$ eine Segregation, d.h. eine räumliche Trennung der Arten, zeigt. Werte um 0 bedeuten, dass die Arten unabhängig voneinander verteilt sind.

Veränderung des Index nach 10-jähriger Fortschreibung



In Abbildung 4 ist in der oberen Karte wiederum der Istzustand dargestellt. Alle hier gezeigten Bestände weisen Werte > 0 auf, d.h., dass die Arten unabhängig voneinander verteilt sind, bis hin zu einer stärkeren räumlichen Trennung der Arten. Die untere Karte zeigt die Veränderung des Index nach 10-jähriger Fortschreibung. Je dunkler die Bestandesflächen gefärbt sind, desto größer ist die Veränderung des Index nach oben. Alle Werte der Veränderung sind positiv, wenn auch sehr klein. Das heißt, dass in den meisten Beständen die Durchmischung ähnlich bleibt oder sich in Richtung einer stärkeren räumlichen Trennung der Arten hin entwickelt.

Abb. 4: Thematische Karte zum Segregationsmaß von PIELOU in den Beständen des Distriktes. In der oberen Karte wird der Istzustand gezeigt, in der unteren die Veränderung des Index nach 10-jähriger Fortschreibung

3.2 Betriebsebene

3.2.1 Variogrammanalyse

Eine weitere Möglichkeit zur Untersuchung und Darstellung der räumlichen Struktur bietet die Variogrammanalyse. Diese kann zur Untersuchung von regionalisierten Variablen, wie sie in diesem Fall vorliegen, angewendet werden. Untersucht werden die Stichprobenpunkte, die in einem Abstand von 100m angelegt sind. Dabei wurde das Programm VARIOWIN (PANNATIER, 1996) zu Hilfe genommen.

Für eine Variogrammanalyse werden aus den vorliegenden Punkten Wertepaare gebildet. In diesem Fall haben die Wertepaare immer einen Abstand von 100 oder ein vielfaches dessen. Die Wertepaare wurden in West-Ost-Richtung gebildet. Nun werden die interessierenden Größen zweier Meßpunkte verglichen. In der ermittelten Variogrammkurve wird die Varianz in Abhängigkeit von der Entfernung der Meßpunkte zueinander dargestellt.

In Abbildung 5 wird als Größe der Volumenvorrat gezeigt. In der oberen Graphik sieht man die räumliche Verteilung, darunter die Variogrammanalyse. Im Osten befinden sich die jüngeren Bestände mit geringen Vorräten, nach Westen hin nehmen die Vorräte weiter zu. Die Variogrammkurve steigt, woraus man erkennen kann, dass näherliegende Punkte ähnliche Strukturen haben und die Nachbarschaftsverhältnisse stärker variieren, je weiter die Punkte voneinander entfernt liegen.

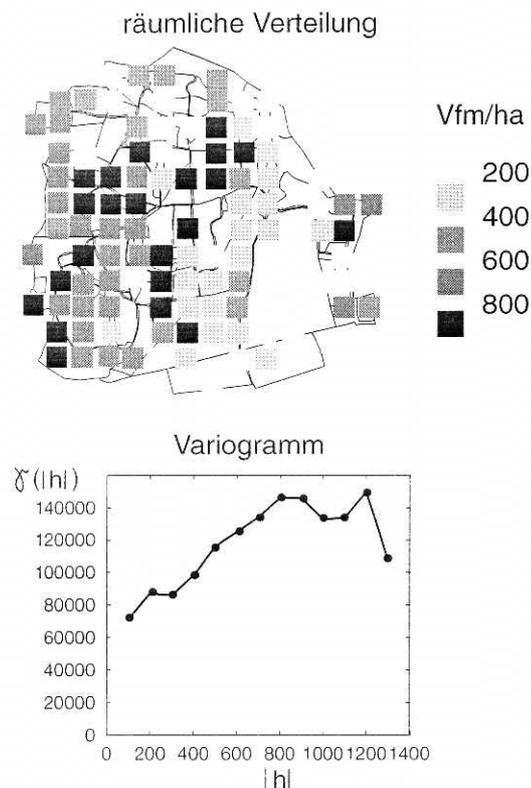


Abb. 5: Räumliche Verteilung des Volumenvorrates der Stichprobenpunkte des Distriktes und Darstellung des Ergebnis der Variogrammanalyse

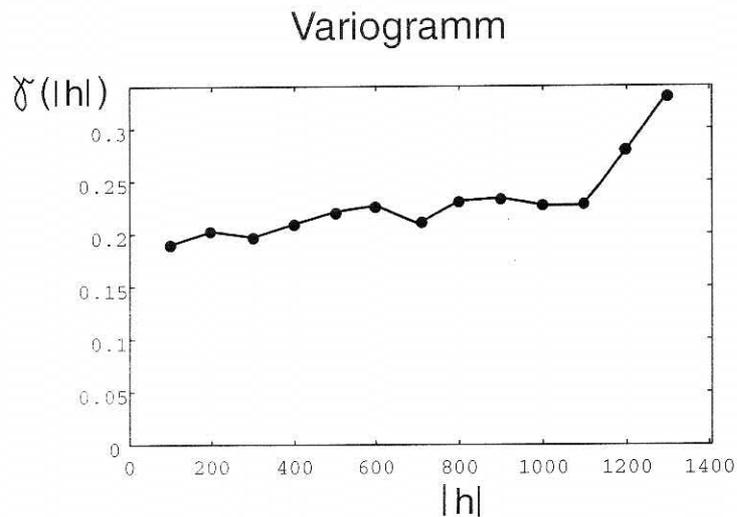
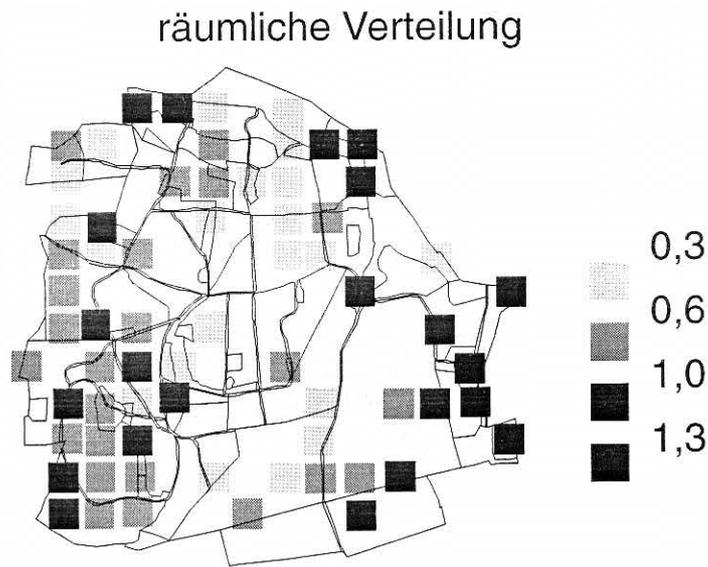


Abb. 6: Räumliche Verteilung der Werte des Artprofilindex nach PRETZSCH und Darstellung des Ergebnis der Variogrammanalyse

In Abbildung 6 wird die räumliche Verteilung des Artprofilindex pro Stichprobeneinheit betrachtet, sowie die dazugehörige Variogrammanalyse. Die hellen Rechtecke zeigen Stichprobenpunkte auf denen sich einschichtige Reinbestände befinden, bei den dunklen Flächen befinden sich Punkte, auf denen strukturierte Mischbestände stocken. Unter anderem sind es solche, die sich bereits in Verjüngung befinden. In der oberen Graphik ist außerdem zu erkennen, dass der Wert des Index innerhalb eines Bestandes variieren kann.

Die Variogrammkurve zeigt, dass die Variabilität weitestgehend unabhängig von der Entfernung der Punkte ist.

3.2.2 Nachbarschaftsberechnungen

Bestandestypen der Betriebsinventurkreise

Nachbarschaftsberechnungen

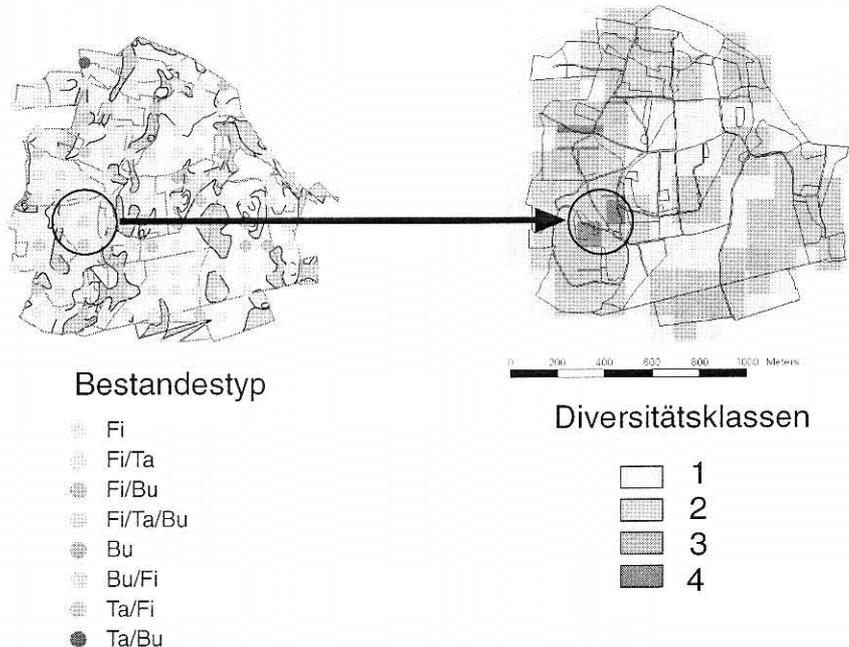


Abb. 7: Berechnungen zur Bestandesdiversität innerhalb eines Distriktes. Darstellung der räumlichen Verteilung der Bestandestypen (linke Karte), Darstellung der Ergebnisse der Nachbarschaftsberechnungen mit unterschiedlichen Diversitätsklassen (rechte Karte)

In Abbildung 7 wird eine Möglichkeit zur Berechnung und Darstellung einer Flächendiversität eines Betriebes gezeigt. Für die linke Karte wurde jeder Stichprobenpunkt einem Bestandestyp zugeordnet. Diese Unterschiede werden hier durch unterschiedliche Farbstufen dargestellt. Für die rechte Karte wurde berechnet, wieviel unterschiedliche Bestandestypen in nächster Nähe zu einem Punkt liegen. Je dunkler die Flächen werden desto mehr unterschiedliche Bestandestypen befinden sich auf geringer Fläche. Das heißt, dass dort eine erhöhte Bestandesdiversität zu finden ist und damit auch eine erhöhte Artendiversität.

4 Schlußfolgerung

All diese gewonnenen Informationen fließen wieder in das Informationssystem ein und können darin wiederum für die Planung nutzbar gemacht werden. Mit Simulationsläufen von SILVA kann dann eine Strategiestudie über die Entwicklung des Betriebes betrieben werden. Wenn bei dieser Studie im Mittelpunkt zum Beispiel derartige Indizes stehen, ist dies eine Hilfe zur nachhaltigen Bewirtschaftung eines Betriebes und außerdem eine Unterstützung, den eingangs erwähnten Anforderungen an den Wald gerecht werden zu können.

Mit dem Prognosemodell lassen sich unterschiedlichste Behandlungsvarianten berechnen und Eingriffsstrategien optimieren.

Eine Quantifizierung der Diversität bietet die Möglichkeit, Istzustand und Veränderungen zu überprüfen und entsprechend bei der Behandlung darauf einzugehen.

5 Literatur

- Biber, P., 1997: Analyse verschiedener Strukturaspekte von Waldbeständen mit dem Wachstumssimulator SILVA 2. Vortrag anlässlich der Jahrestagung der Sektion Ertragskunde im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten. Tagungsbericht. S. 100-120.
- Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen, 1994: Umweltgutachten 1994. Stuttgart, 379 S.
- Dursky, J., 1999: Zur Verwendung von Rasterstichproben für die Fortschreibung, Nutzungsplanung und Behandlungsverbesserung in einem Fortbetrieb. Forstw. Cbl., 118. Jg., S. 314-325.
- Haber, W., 1982: Was erwarten Naturschutz und Landschaftspflege von der Waldwirtschaft?, Schriftenreihe des Deutschen Rates für Landschaftspflege, H. 40, S. 962-965.
- Kahn, M. u. Pretzsch, H. (1996): Das Wachstumsmodell SILVA – Parametrisierung der Version 2.1 für Rein- und Mischbestände aus Fichte und Buche. AFJZ, 168 Jg., H. 6/7, S. 115-123.
- Meyers Lexikon, 1993: Meyers Lexikon – Das Wissen A-Z.
- Pannatier, Y., 1996: VAIOWIN, Software for Spatial Data Analysis in 2D. New York, Springer-Verlag, 91 S. + Diskette.
- Pielou, E. C., 1977: Mathematical Ecology. John Wiley and Sons, 385 S.
- Pommerening, A., 1998: Fortschreibung von Stichprobendaten mit positionsabhängigen Wachstumsmodellen. Vortrag anlässlich der Jahrestagung der Sektion Ertragskunde im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten. Tagungsbericht. S. 35-51.
- Pott, M., 1998: Verbindung Wachstumsmodell – Geographisches Informationssystem als Beitrag für ein Betriebsinformationssystem. Vortrag anlässlich der Jahrestagung der Sektion Ertragskunde im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten. Tagungsbericht. S. 68-77.
- Pretzsch, H., 1996: Zum Einfluss waldbaulicher Maßnahmen auf die räumliche Bestandesstruktur. Simulationsstudie über Fichten-Buchen-Mischbestände in Bayern. In G. MÜLLER-STARCK (Hrsg.): Biodiversität und nachhaltige Forstwirtschaft. Landsberg, ecomed. 340 S.
- Shannon, C. E., 1948: The mathematical theory of communication. In C. E. SHANNON, W. WEAVER (Hrsg.): The mathematical theory of communication, Urbana, Univ. of Illinois Press, S. 3- 91.
- Wiegand, T., 1999: Die zeitlich-räumliche Populationsdynamik von Braunbären. Habilitationsschrift an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der LMU München, 202 S.