

forstarchiv 85, 188-196  
(2014)

DOI 10.4432/0300-4112-85-188

© DLV GmbH

ISSN 0300-4112

Korrespondenzadresse:  
stefan.schaffner@  
aelf-rg.bayern.de

Eingegangen:  
03.04.2014

Angenommen:  
28.10.2014

## Geometrische Kennzahlen für die forstfachliche Bewertung der Zersplitterung von Privatwaldarealen

Geometric measures for the assessment of fragmentation of private forest areas

STEFFEN BORGWARDT<sup>1</sup>, STEFAN SCHAFFNER<sup>2</sup> und MICHAEL SUDA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Zentrum für Mathematik der TU München, 85747 Garching bei München, Deutschland

<sup>2</sup> Lehrstuhl für Wald- und Umweltpolitik der TU München, Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2, 85354 Freising, Deutschland

### Kurzfassung

Durch die besondere Bedeutung des Waldes für die Gesellschaft ist eine nachhaltige und effiziente Bewirtschaftung im allgemeinen Interesse. Rund die Hälfte des Waldes in Bayern ist Privatwald; gerade in Privatwaldarealen sind die Eigentumsflächen oft ungünstig ausgeformt und auf entfernt liegende Parzellen zerstreut, was eine zukunftsorientierte Bewirtschaftung erschwert. Eine qualitative Beschreibung der Problemfaktoren ist intuitiv möglich, für die forstliche Beratung und die Eigentümer selbst sind allerdings quantitative Kennzahlen von besonderem Interesse.

Das vorliegende Papier präsentiert und diskutiert eine Reihe von quantitativen Kennzahlen, die in Workshops von erfahrenen forstfachlichen Experten als zentral für die Bewertung der Zersplitterung von Waldflurregionen angesehen wurden. Sie basieren auf der Grundlage der Flurstückgeometrien der Eigentumsflächen, die seit dem Vorliegen von Geodaten für Waldregionen verfügbar sind. Wir unterteilen die Kennzahlen in unserer Diskussion in drei inhaltliche Kategorien. Zudem besprechen wir Details der zugrunde liegenden Datenbasis.

Berechnung, Ausweisung und Visualisierung der vorgestellten Kennzahlen wurden in einem einfach zu bedienenden Software-Tool „ArborTec“ umgesetzt, für das keine GIS-Kenntnisse erforderlich sind. Hiermit liegt eine Grundlage für den Praxiseinsatz vor. Abschließend geben wir einige Empfehlungen für den Einsatz der Kennzahlen in der forstlichen Beratung.

**Schlüsselwörter:** Flurneuordnung im Wald, Zersplitterung im Privatwald, quantitative Kennzahlen für Waldfluren, Geoinformationssysteme, forstliche Beratung zur Flurneuordnung, freiwilliger Landtausch

### Abstract

Due to the importance of forests for our society, a sustainable and efficient cultivation is in the general interest. About half of the forests in Bavaria is private property; in particular in private forest areas, the lots of owners often are of bad shape and lie scattered over the region, which is detrimental to a future-oriented cultivation. It is intuitively possible to describe the problem factors in a qualitative way, but in forestry consulting and for the owners themselves quantitative measures are of special interest.

We present and discuss a couple of such quantitative measures. Their central significance for the evaluation of the scattering of forest areas was identified in workshops by experienced forest professionals. The measures are based on the lot geometries of the properties, which are available since there is geodata for forest regions. We classify them in three categories as regards content. Additionally, we discuss some details of the underlying data basis.

The computation, indication and visualization of the presented measures were implemented in an intuitive software-tool „ArborTec“, for which no GIS-knowledge is necessary. This yields a foundation for an application of our results in practice. We conclude our discussion with some recommendations of an application of the measures in forestry consulting.

**Key words:** land consolidation in forests, fragmentation of private forest property, quantitative measures for forest regions, geoinformation systems, forestry consulting for land consolidation, voluntary land exchange

## Motivation

Der Freistaat Bayern besitzt mit rund 2,5 Mio. ha die größte Waldfläche aller Bundesländer in Deutschland; die Wälder bedecken rund ein Drittel der Landesfläche. Ihre besondere Bedeutung für Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt wird durch Gesetze, wie das Waldgesetz für Bayern (BayWaldG 2005), herausgehoben: „Der Wald hat besondere Bedeutung für den Schutz von Klima, Wasser, Luft und Boden, Tieren und Pflanzen, für die Landschaft und den Naturhaushalt. Er ist wesentlicher Teil der natürlichen Lebensgrundlage

und hat landeskulturelle, wirtschaftliche, soziale sowie gesundheitliche Aufgaben zu erfüllen. Der Wald ist deshalb nachhaltig zu bewirtschaften, um diese Leistungen für das Wohl der Allgemeinheit dauerhaft erbringen zu können.“ Diese Bedeutung wird in Zukunft voraussichtlich noch größer werden (BMELV 2011). Eine effiziente, nachhaltige und ordnungsgemäße Bewirtschaftung der Wälder liegt damit im allgemeinen Interesse.

Rund die Hälfte des Waldes in Bayern ist Privatwald. Durch ungünstig ausgeformte Eigentumsflächen, die oft auf mehrere, zum Teil voneinander entfernt liegende Parzellen „zersplittert“ sind, bestehen

strukturbedingte Nachteile, die eine zukunftsorientierte Bewirtschaftung erschweren. Die Waldeigentumsflächen sind im Durchschnitt pro Besitzer nur 2,8 ha groß (Mrosek et al. 2005).

Eine qualitative Beschreibung der Problemfaktoren für Privatwaldregionen ist intuitiv greifbar: Nachteilig sind die schmalen, kleinen, zerstreut liegenden Grundstücke in Gemengelage, die ungünstigen Formen der Grundstücke, die oft unklaren Grenzverläufe und die oftmals fehlende Erschließung. Bestimmte forstliche Maßnahmen sind bei ungünstiger Ausformung oft nicht mehr möglich, z. B. können schmale Grundstücke durch grenznahe Bäume des Nachbargrundstücks komplett überschirmt werden, sodass keine planmäßige Verjüngung des eigenen Grundstücks möglich ist.

In diesem Artikel beschreiben wir eine quantitative Bewertung dieser Faktoren mithilfe „geometrischer Kennzahlen“. Quantitative Kennzahlen bringen Vorteile für die forstliche Beratung und die Eigentümer mit sich: Zum Beispiel kann die Zersplitterung der Waldflächen verschiedener Eigentümer oder die ganzer Regionen miteinander verglichen werden. Mithilfe der Kennzahlen kann abgeschätzt werden, welche Verbesserungen durch Verfahren der Waldneuordnung oder durch einen freiwilligen Landtausch möglich sind.

Der Begriff „geometrisch“ bezieht sich hierbei auf zwei Dinge: Einerseits ist die verwendete Datengrundlage eine geometrische Repräsentation der bayerischen Waldflurregionen, die von gängigen Geoinformationssystemen bearbeitet werden kann. Andererseits werden die Kennzahlen durch mathematische Methoden berechnet, die in den Bereich der „Angewandten Geometrie“ fallen.

Die in diesem Artikel diskutierten Kennzahlen umfassen Ergebnisse der im Rahmen des Projekts „ST 280-ArborChange“ durchgeführten Workshops mit Experten aus den Reihen der Mitarbeiter der Ämter für Ländliche Entwicklung (ALEs), der Ämter für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (AELFs), der bbv-Landsiedlung GmbH des Bayerischen Bauernverbandes und des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.

Das Projekt wurde vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten gefördert und beschäftigte sich mit der rechnergestützten mathematischen Bewertung und Optimierung von Waldflurregionen bezüglich der hier beschriebenen Kennzahlen. Die für diese Zwecke entwickelten mathematischen Methoden (Borgwardt et al. 2013, 2014) sind ein zentraler Teil der mathematischen Forschung, die mit dem European Excellence in Practice Award 2013 anerkannt wurde. Informatisch wurden sie in der Form der Software ArborTec (bestehend aus den Programmteilen ArborChange, ArborEval und ArborOpt) umgesetzt. Diese umfasst neben der Kennzahlberechnung und -ausweisung noch weitere Funktionen, die für den Praxiseinsatz nützlich sind.

Der Kern dieses Beitrags sind die Vorstellung und Diskussion der entwickelten Kennzahlen, die in drei Kategorien eingeteilt werden. Nach einer Einführung der verwendeten Datenbasis und einer ausführlichen Präsentation der Kennzahlen diskutieren wir abschließend einige Empfehlungen für den Praxiseinsatz. Insbesondere beleuchten wir die zusätzlichen Möglichkeiten und Vorgehensweisen in der forstlichen Beratung, die sich durch die IT-unterstützte Verfügbarkeit dieser Kennzahlen ergeben. Diese Kennzahlen und ihre Berechnung mit dem Software-Instrument ArborTec stellen die erste Anwendung für den freiwilligen Landtausch im Wald dar.

## Datenbasis

Die tatsächlichen Waldgrundstücksverhältnisse in ihrer Gemengelage innerhalb eines Waldgebietes lassen sich durch ihre „Geodaten“ digital erfassen und mit gängigen Geoinformationssystemen analysieren, bewerten und weiter be- und verarbeiten. Eine solche Daten-

grundlage liegt bereits für den gesamten Wald in Bayern vor<sup>1</sup>, was eine direkte Anwendung der hier vorgestellten Methoden erlaubt.

Die Daten für die Kennzahlrechnung für eine Region setzen sich aus einer „Shapedatei“ und einer dazugehörigen „Datenbankdatei“ zusammen. Die Shapedatei beschreibt die geometrische Form und Lage der Flurstücke. In der Datenbankdatei sind die individuellen Flurstückseigenschaften als Informationen hinterlegt. Abbildung 1<sup>2</sup> zeigt ein Beispiel der schematischen Darstellung einer solchen Shapedatei. Zum Datenschutz sind die gezeigten Skizzen in den Abbildungen 1 bis 8 anonymisiert, die Eigentumszuordnungen von Flurstücken zufällig verändert und ist die Lage der Flurstücke zueinander im Raum gedreht, sodass keine Zuordnung realer Fluren möglich ist.

Die Polygone stellen einzelne Flurstücke dar. Die geometrischen Formen der Flurstücke werden als eine Menge von Linien (und Eckpunkten) in der Ebene repräsentiert. Grenzen zwei Flurstücke direkt aneinander, so wird dieselbe Linie zur Repräsentation beider Flurstücke in dieser Skizze benutzt. Dies ist der Fall, wenn kein natürliches Hindernis zwischen den beiden Flurstücken liegt, wie z. B. ein Bach oder eine Straße. Solche Flurstücke werden *benachbart* genannt, die zugehörige Linie bildet eine gemeinsame Grenze.

Aus diesem Linienmuster kann man topologische Informationen zu den Nachbarschaftsverhältnissen in der Form eines *Nachbarschaftsgraphen* berechnen (dies ist über ein Konvertierungstool des

<sup>1</sup> Das leistungsstarke Bayerische Waldinformationssystem (BayWIS) wird ausgehend von den Belangen der forstlichen Beratung als zentrales Geoinformationssystem der Bayerischen Forstverwaltung ausgebaut. Zugang und Nutzbarkeit von raumbegrenzten Daten für die Belange der Forstverwaltung, die über die Geodateninfrastruktur Bayern (GDI) und auch über das Amtliche Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS-Modell) verfügbar sind, sind hier möglich (Simbeck 2011).

<sup>2</sup> Die Flurskizzen wurden mit dem Programm ArborChange erstellt und werden hier mit freundlicher Genehmigung der Firma galor verwendet. Die Karten aus Abbildung 1 und Abbildung 3 sind ein virtuelles Beispiel, das an der Landwirtschaftsschule Schweinfurt in Verwendung ist.



Abb. 1. Die Flurstücke einer Region. Lots of a region.

Programms ArborChange automatisch möglich). Ein Graph ist eine mathematische Struktur zur Darstellung von Abhängigkeiten zwischen Objekten; er besteht aus einer Menge von Knoten (den Objekten) und einer Menge von Kanten zwischen Paaren von Knoten (den Abhängigkeiten), siehe z. B. Diestel (2010) für die wichtigsten Grundlagen der Graphentheorie.

Abbildung 2 zeigt ein Beispiel für einen Nachbarschaftsgraphen: Zu jedem Flurstück gehört ein *Zentrum* (die Knoten des Graphen), das arithmetische Mittel der Eckpunkte des Flurstücks. Zwei Zentren sind mit einer (rot eingezeichneten) Kante verbunden, wenn die beiden zugehörigen Flurstücke direkt benachbart sind.

Die auf diese Art zusammenhängenden Gruppen von Flurstücken bilden ein *Waldgebiet*. Zwei Flurstücke liegen also im selben Waldgebiet, wenn man von einem zum anderen Flurstück über jeweils benachbarte Flurstücke laufen kann.

Abbildung 3 zeigt eine Darstellung der Eigentumsstände<sup>3</sup> zur Region in Abbildung 1. Man sieht sieben Eigentümer, deren Flurstücke in jeweils einer einheitlichen Farbe gefüllt sind.

Mit dem Begriff *Waldstück eines Eigentümers* wird eine zusammenhängende Gruppe von Flurstücken bezeichnet, die demselben Eigentümer gehören. Die Flurstücke des Waldstücks kann man erreichen, ohne über ein Flurstück eines anderen Eigentümers zu laufen oder das Waldgebiet zu verlassen. In der Landwirtschaft ist der Begriff „Schlag“ der hierfür verwendete gebräuchliche Begriff, wobei Schlag synonym mit gleichem Besitz und damit als Bewirtschaftungseinheit zu verstehen ist.

Abbildung 4 zeigt ein Beispiel mit vier (durchnummerierten) Waldgebieten, drei davon (2, 3, 4) zerfallen in jeweils zwei Waldstücke. Insgesamt hat der blaue Eigentümer drei Waldstücke, der rote zwei, und der hellblaue und grüne haben jeweils eins.

<sup>3</sup> Ein Eigentumsstand (bzw. Eigentum) umfasst alle Flurstücke, für die jeweils identische Rechtsverhältnisse von natürlichen oder/und juristischen Personen bestehen, also jeweils Einzeleigentum oder Gemeinschaftseigentum.

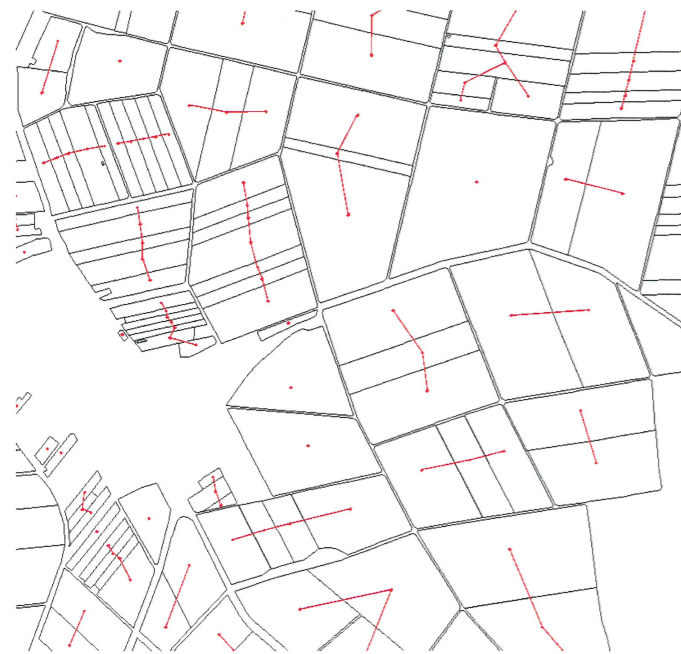


Abb. 2. Ein Ausschnitt aus dem Nachbarschaftsgraphen. Mit einer roten „Kante“ verbundene Felder sind benachbart. Excerpt of a neighborhood graph.

Waldgebiete und Waldstücke lassen sich durch eine sogenannte Breiten- oder Tiefensuche im Nachbarschaftsgraphen effizient berechnen. Breiten- und Tiefensuche sind systematische Verfahren in der Informatik zur Analyse der Struktur von Graphen (Diestel 2010).

Zusätzlich zu Lage, Form und Eigentümer sind für jedes Flurstück in der Datenbankdatei eine Reihe von Daten hinterlegt, die z. T. als Informationen aus dem Automatisierten Liegenschaftsbuch

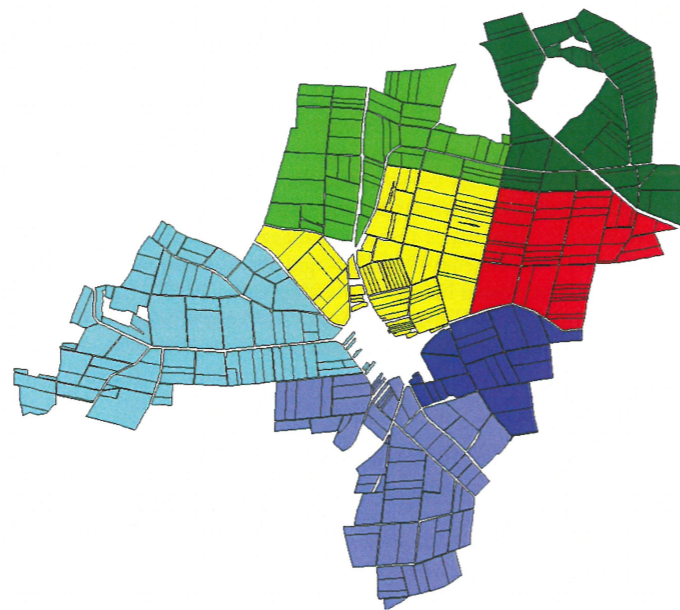


Abb. 3. Eine farbkodierte Eigentümerlage. Color-coded ownership map.

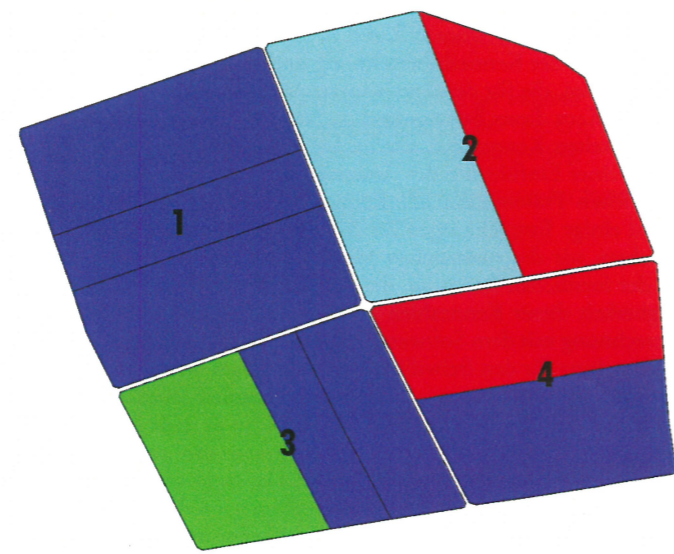


Abb. 4. Vier Waldgebiete und sieben Waldstücke. Four forest areas and seven parcels of owners.

(ALB)<sup>4</sup> stammen, z. T. durch Verschneidung von verschiedenen Geoinformationen erzeugt werden oder im Laufe eines strukturverbessernden Verfahrens generiert werden können. Diese Informationen umfassen beispielsweise die Gesamtfläche, die forstlich genutzte Fläche, manchmal einen Tauschwert (der auf Basis einer Waldbewertung hergeleitet und jedem Flurstück zugesteuert werden kann), eine offizielle Flurstück-Kennnummer, usw. Die Erschließungssituation der Flurstücke wird durch einen Verschnitt der vorliegenden Shape-datei mit ATKIS<sup>5</sup>- und Navlog<sup>6</sup>-Informationen beschrieben.

Aus diesen Daten lassen sich eigentümerbezogene Summen errechnen. Die grundlegendste Summe ist die Gesamtfläche eines Eigentümers (in ha), die alle Flächen desselben Eigentümers bilden. Sind die Flurstücke mit einem Tauschwert versehen, so kann man zudem den Gesamtwert der Flurstücke eines Eigentümers ausweisen. Der Tauschwert eines jeden Flurstücks z. B. in Euro kann im Vorfeld über jedes von den Eigentümern akzeptiertes Bewertungsverfahren von Forstsachverständigen oder den Eigentümern selbst erhoben und über ArborTec für jedes Flurstück eingepflegt werden.

Bei der Durchführung von Verfahren zur Verringerung der Zersplitterung einer Region sind diese zwei Werte von großer Bedeutung. Eines der Hauptziele einer Waldförderung oder eines freiwilligen Landtausches ist die Fairness in Form einer möglichst hohen Flächen- bzw. Wertneutralität des Prozesses: Jeder Eigentümer soll bei einem Verfahren ungefähr seine ursprüngliche Menge an Fläche und Tauschwert behalten können. Zudem erlaubt das Vorliegen der Werte für Fläche und Tauschwert vor und nach dem Tausch, absolute Zahlen (wie z. B. die Anzahl an Flurstücken und Waldstücken eines Eigentümers) zu aussagekräftigeren, relativen Kennzahlen zu kombinieren, die für verschiedene Eigentümer untereinander vergleichbar sind.

Im Folgenden beschreiben wir die im Projekt ST 280 für die Verhältnisse im Wald von Experten der Ämter für Ländliche Entwicklung, der Forstverwaltung und von Forstsachverständigen zusammen mit den Projektarbeitern entwickelten und von diesem Fachgremium als zentral identifizierten Kennzahlen, die sich aus dieser Datenbasis ableiten lassen. Sie erlauben dem Experten mehrere Möglichkeiten einer Bewertung der Zersplitterung einer Region. Viele der beschriebenen Kennzahlen sind ebenso nützlich für den individuellen Eigentümer in einer Region, der sich ein Bild von seinem Eigentum machen will. Wir unterteilen die Kennzahlen sinngemäß in drei Kategorien.

## Kennzahl 1: Anzahl an Waldstücken

Die durchschnittliche Waldbesitzgröße als Relation von Gesamtwaldfläche und Anzahl der Eigentümer ist ein gängiges Kriterium, um die Probleme des Privatwalds aufzuzeigen. In Bayern ergibt sich

<sup>4</sup> Das Automatisierte Liegenschaftsbuch (ALB) wurde aus dem früher manuell geführten Katasterbuchwerk entwickelt und enthält dessen Inhalt in digitaler Form. Im ALB sind die Daten sämtlicher Flurstücke gespeichert. Das ALB ist Teil des amtlichen Verzeichnisses der Grundstücke, nach dem laut Grundbuchordnung die Grundstücke im Grundbuch benannt werden (§ 2 Abs. 2 GBO).

<sup>5</sup> Das Amtliche Topographisch-Kartographische Informationssystem (ATKIS) wird von den Landesvermessungsämtern und dem Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) aufgebaut und enthält zu verschiedenen Objekten Geoinformationen. Unter anderem sind hier auch Informationen über Lage und Verlauf von Wegen verschiedener Befahrungskategorien enthalten.

<sup>6</sup> NavLog bezeichnet ein Gemeinschaftsprojekt der Forst- und Holzwirtschaft, das deutschlandweit Waldwege und ihre Befahrbarkeit mit Holztransportern klassifiziert und als Geodatensatz für Geoinformationssysteme aufbereitet zur Verfügung stellt.

bei rund 1,4 Mio. ha Privatwald und rund 700.000 Waldbesitzern, die sich auf ca. 500.000 Waldeigentumsstände aufteilen, eine durchschnittliche Größe von 2,8 ha je Eigentumsverhältnis. Die durchschnittliche Waldflurstücksgröße liegt in Bayern im Privatwald bei ca. 1,5 ha (Mrosek 2005). Bislang gab es für Gesamtbayern aber keine validen Aussagen und Berechnungen über die Größenverhältnisse der *Waldstücke* der Eigentümer.

Dabei ist gerade die Anzahl an Waldstücken aller Eigentümer in einer Region bezogen auf die Gesamtfläche der Region ein besonders naheliegender Indikator für die Zersplitterung: Da zusammenhängende Flurstücke gemeinsam bewirtschaftet werden können, ist die Anzahl an Waldstücken (im Sinne von direkt benachbarten Flurstücken) eines Eigentümers bzw. in einer Region sehr viel aussagekräftiger als die Anzahl von Flurstücken. Im Beispiel aus Abbildung 4 ist es für die Ökonomie der Flächen des blauen Eigentümers unerheblich, dass seine Waldstücke aus genau sechs individuell ausgezeichneten Flurstücken bestehen.

Zum Vergleich verschiedener Regionen oder Eigentümer ist es notwendig, relative Werte zu betrachten. Ein Eigentümer mit einer größeren Gesamtfläche hat diese typischerweise auch auf mehr Waldstücke aufgeteilt als ein Waldeigentümer mit einer geringeren Gesamtfläche. Daher ist es sinnvoll, die Anzahl an Waldstücken in Relation zur Gesamtfläche der Region oder des Eigentümers zu setzen. Dies ergibt die Größe eines *durchschnittlichen Waldstücks*, was die Zersplitterung einer gegebenen Flur oder eines individuellen Waldeigentums widerspiegelt und aussagekräftig vergleichbar macht.

Neben der Anzahl und der arithmetischen Flächengröße der Waldstücke werden auch die Werte des jeweils größten zusammenhängenden bzw. des kleinsten Waldstücks berechnet.

Für die Bewirtschaftung eines Waldstücks ist die Erschließung eine wichtige Frage. Verfügt ein Waldstück über eine direkte Anbindung an eine Lkw-befahrte Waldstraße oder zumindest an einen frei befahrbaren Maschinenweg, ist es für den Eigentümer direkt zugänglich – ohne Absprachen mit den und Rücksicht auf die Waldnachbarn, deren Grund und Boden in Anspruch genommen werden müsste. Je besser erschlossen ein Waldstück ist, desto mehr Bewirtschaftungsmöglichkeiten ergeben sich und desto wirtschaftlicher können forstliche Maßnahmen umgesetzt werden.

Große Waldstücke haben einen positiven Effekt auf den Erschließungsgrad einer Region: Beim Fehlen natürlicher Hindernisse (z. B. einer Hecke, eines Bachs, hoher Steigung etc.) sind mit der Erschließung eines Flurstücks auch alle anderen Flurstücke im selben Waldstück desselben Eigentümers miteingeschlossen. Wesentlich für diese Aussage ist, dass der Eigentümer alle Flächen innerhalb eines Waldstücks auf eigenem Grund und Boden erreichen kann. Ein Beispiel ist in Abbildung 5 dargestellt: Die zwei aufgehellt blau schraffierten Flurstücke liegen nicht direkt an einem Weg, sind aber durch ihre Nachbarschaft zu den umliegenden blauen Flurstücken (desselben Eigentümers) miteingeschlossen. Der Verlauf der Wege ist hier durch die weichen braunen Linien per Hand skizziert – sie grenzen an die umliegenden Flurstücke an.

Für eine Einschätzung des Erschließungsgrades wurden die geometrischen Informationen der Regionen mit Navlog- und ATKIS-Wege-Datensätzen verschnitten. In diesen sind Informationen zum Wegenetz bezüglich geografischer Lage und bezüglich der Befahrbarkeit enthalten. Hieraus werden Distanzen zwischen Flurstücken und den nächstgelegenen Wegen berechnet. Liegt ein Flurstück in diesem Sinne nahe an einem Lkw-befahrten Weg, so gilt es als „direkt“ erschlossen. Als Toleranz dieser Verschneidung wird eine (vom Programmnutzer einstellbare und damit anpassbare) Distanz von einigen Metern angenommen, ab der ein Flurstück als erschlossen gilt.

Mit diesem Bewertungsschema kann man den Erschließungsgrad einer Region auf verschiedene Arten messen, beispielsweise über den prozentualen Anteil erschlossener Flurstücke oder Waldstücke. Für einzelne Eigentümer erhält man hierdurch eine Vergleichsbasis.

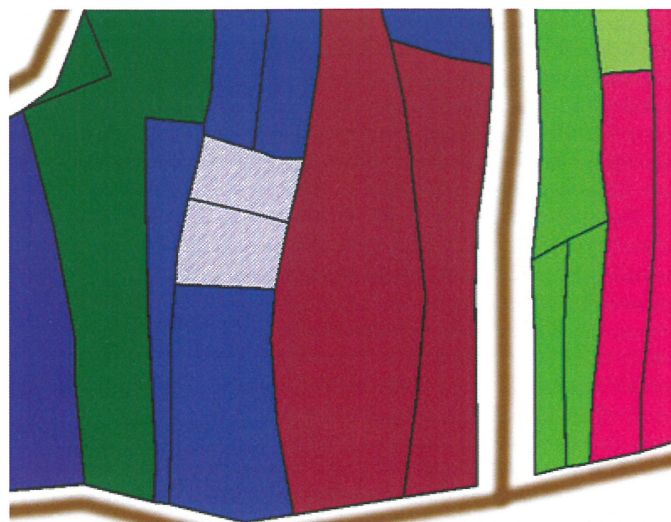


Abb. 5. Die zwei schraffierten Flurstücke liegen nicht direkt an einem Weg, sind aber miterschlossen.  
The two shaded lots are not directly next to a road, but are connected to lots adjacent to a road.

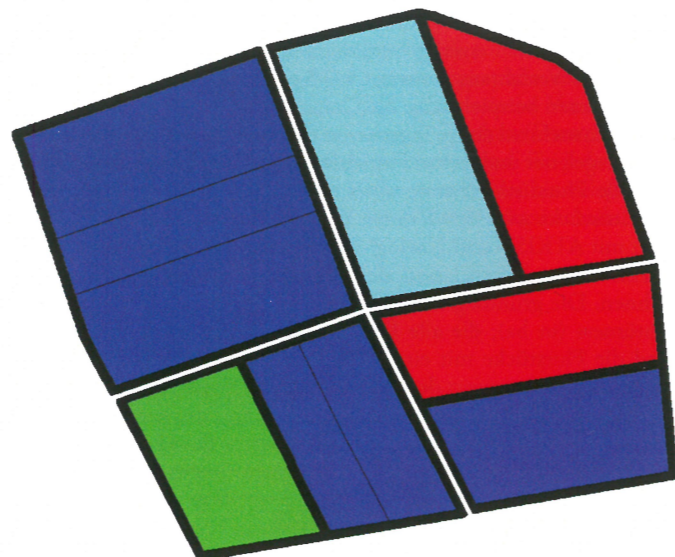


Abb. 6. Eine Darstellung der Grenzen der Waldstücke (fett, schwarz).  
The boundaries of the seven forest parcels are marked bold.

Bewertet man den Erschließungsgrad einer ganzen Region, so kann man auch überregionale Vergleiche anstellen.

Eine weitere Möglichkeit ist, den Erschließungsgrad über die *erschlossene Fläche* zu bewerten. Dies ist besonders interessant, wenn man Wert darauf legt, dass große Waldstücke bevorzugt erschlossen sein sollen.

## Kennzahl 2: Länge der Grenzübergänge

Im Rahmen der Workshops des Projekts ST 280 einigten sich im freiwilligen Waldflächentausch und in der Waldflurbereinigung erfahrene Experten aus Forstverwaltung, Ländlicher Entwicklung und Forstsachverständige auf die *Länge der Grenzübergänge* als zentrales Kriterium für die Zersplitterung einer Region. Die Grenzlängen zwischen Waldstücken ergeben sich direkt aus den geometrischen Formen der zugrunde liegenden Waldstücke.

Je kürzer die Grenzlängen absolut bzw. relativ zur Fläche sind, desto besser sind auch die Ausgangsverhältnisse für die Waldbewirtschaftung in einer Waldregion, denn eine kurze Grenzlänge umfasst viele positive Effekte: Sie bedeutet typischerweise besser geformte, d. h. weniger längliche – dafür quadratischere, und damit für Bewirtschaftungsmaßnahmen praktikablere Waldstückformen. (Ein Quadrat ist das Rechteck mit dem niedrigsten Verhältnis von Seitenlänge zu Fläche.) Die Grenzlänge ist korreliert mit der Anzahl an Waldstücken – längere Grenzen bei gleicher Fläche werden oft durch eine höhere Anzahl an Waldstücken erzeugt. Die Grenzlängen zwischen zwei Flurstücken desselben Eigentümers werden nicht in diesen Wert einbezogen. Damit korrespondieren kürzere Grenzlängen typischerweise mit einem höheren Arrondierungsgrad der Waldbesitzstrukturen. Zudem hat man mit weniger Grenzlänge auch weniger Berührungspunkte mit den Waldnachbarn (Grenzbäume, Fällungsschäden etc.) und grundsätzlich weniger Probleme und Aufwand, das eigene Grundstück und dessen Grenzen im Wald zu finden und die Grenzverläufe im Gelände zu pflegen.

Bei der Betrachtung der Grenzlängen kann man zwei Varianten unterscheiden: Als *Grenzen* werden alle Flurstücksgrenzlängen addiert, die nicht zwischen Flurstücken desselben Eigentümers verlaufen. Abbildung 6 zeigt die Grenzen im Beispiel aus Abbildung 4 mit fettem Rand. Die einzigen Grenzlängen, die bei diesem Begriff nicht gewertet werden, sind die Übergänge zwischen benachbarten Flurstücken desselben Eigentümers – beispielsweise die des blauen Eigentümers links oben.

Mit *Grenzübergängen* werden nur die Grenzlängen erfasst, die zwischen Flurstücken unterschiedlicher Eigentümer verlaufen. Hierbei werden also Waldgrenzen und Grenzlängen zu Wegen ignoriert. Hierdurch wird genau die Länge der „vermeidbaren“ Grenzen zwischen verschiedenen Eigentümern erkannt – nicht addiert werden hingegen die unvermeidlichen Grenzen.

In Abbildung 7 sind die Grenzübergänge eingezeichnet – dies sind die drei Übergänge, die Waldgebiete in mehrere Teile (bzw. Waldstücke) zerteilen. In diesem Beispiel ist deren Länge sehr kurz in Relation zur Fläche der Flurstücke. In Waldregionen findet man oft ungünstigere Konstellationen, wie zum Beispiel die in Abbildung 8 dargestellte Ausformung. Die länglichen, nur wenige Meter breiten Flurstücke erzeugen lange Grenzübergänge zu den benachbarten Flurstücken trotz einer vergleichsweise geringen Fläche.

Sowohl die Betrachtung der Grenzen als auch die der Grenzübergänge sind in verschiedenen Situationen von Interesse. Um die allgemeine Zersplitterung einer Region zu bewerten, ist ein Miteinbeziehen der Grenzen geeignet, da dies eine direkte Darstellung der tatsächlichen Situation ist.

Aber gerade bei der Bewertung des Potentials von strukturverbessernden Verfahren (wie z. B. des freiwilligen Landtauschs) sind nur die Grenzübergänge von Interesse, da diese die Grenzlängen beschreiben, die im Rahmen eines solchen Tauschs vermeidbar sein können.

Eine größere Gesamtfläche impliziert typischerweise längere Grenzen und Grenzübergänge. Um die Vergleichbarkeit verschiedener Regionen herzustellen, werden relative Werte als Vergleichsmaßstab angewandt: Mit *Grenzen zu Fläche (km/ha)* und *Grenzübergänge zu Fläche (km/ha)* stehen Vergleichsmaßstäbe zur Verfügung.

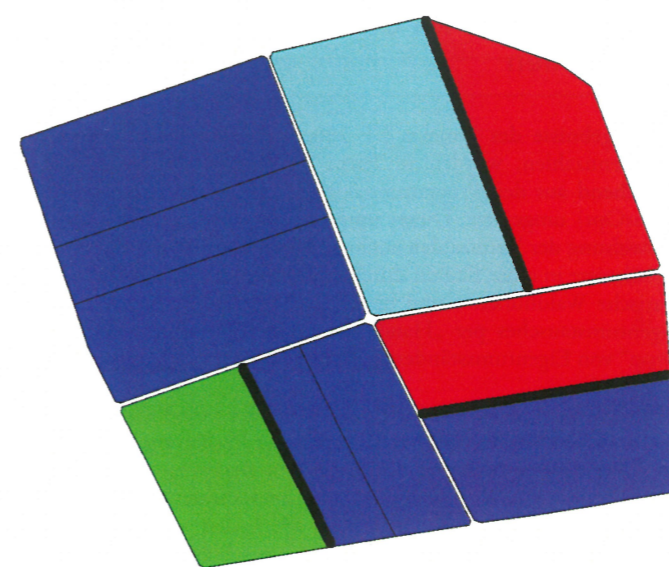


Abb. 7. Eine Darstellung der Grenzübergänge der Waldstücke (fett, schwarz).  
Representation of the shared borders of the forest parcels (bold).

## Kennzahl 3: Distanzen zwischen Flurstücken

Für jedes Flurstück ist ein Zentrum bekannt (das arithmetische Mittel der Ecken des Flurstücks – vergleiche die Beschreibung der Datenbasis), das seine geografische Lage repräsentiert. Mit dieser Information lässt sich die Lage der Flurstücke bzw. der Waldstücke zueinander in einer Region bewerten. Besitzt ein Eigentümer weit über eine Region verstreute Waldstücke, so bedeutet das nachteilige ökonomische Effekte für Bewirtschaftungsmaßnahmen, bei denen an einem Tag mehr als ein Waldstück bearbeitet werden soll.

Unser Vorschlag für eine quantitative Bewertung dieser Zerstreuung entsteht aus der Kombination zweier idealisierter Bewirtschaftungsszenarien. Für sich genommen sind beide nur theoretische Situationen, aber in Kombination entsteht dabei eine repräsentative Zahl für die Praxis.

Ein erster Ansatz zur Bewertung der Zerstreuung der Flurstücke über die Region ist die minimale Distanz, die man zurücklegen muss, um die Zentren aller eigenen Flurstücke in direktem Weg („Luftlinie“) zu besuchen. Abbildung 9<sup>7</sup> zeigt ein schematisches Beispiel für eine solche Laufstrecke. Das Ablaufen einer solchen Tour ist in der Praxis natürlich kein realistisches Szenario. Andererseits sind solche Touren eines der wichtigsten Grundkonzepte der Logistik und Transportplanung in vielen Anwendungsbereichen, und sie stellen auch hier – für sich genommen – bereits ein nützliches Kriterium für die Qualität der Lage der eigenen Flurstücke dar, denn das „relative“ Verhalten der Länge einer solchen Tour ist klar: Je geringer die Länge, umso näher liegen die Waldstücke beieinander.

Dieses Maß wäre hierdurch ein geeignetes Mittel, um die Zersplitterung der Flurstücke in einer Region zu messen. Aus mathematischer und praktischer Sicht ist die Berechnung einer solchen Tour allerdings (beweisbar) aufwendig.

Eine zweite Maßzahl basiert auf der Annahme, dass eines der Flurstücke des Eigentümers als zentraler Lagerplatz fungiert. Dann summiert man die Längen der kürzesten Abstände von dort zu all

<sup>7</sup> Die Abbildungen 9 bis 11 sind aus Borgwardt (2007, Seite 161).

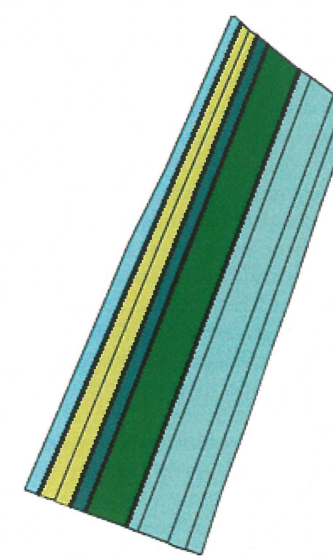


Abb. 8. Ungünstige Waldstückformen erzeugen lange Grenzübergänge (fett gezeichnet).  
Unfavorable parcel shapes result in long shared borders.

seinen Flurstücken auf. Dieser Ansatz entspricht der theoretischen Situation, in der der Eigentümer jedes seiner Flurstücke an einem anderen Tag besucht. Man hat also keinen Vorteil, wenn Flurstücke nah beieinander liegen. Es zählt nur, wie groß die Distanz zum Lagerplatz des Eigentümers ist. Abbildung 10 zeigt eine Skizze.

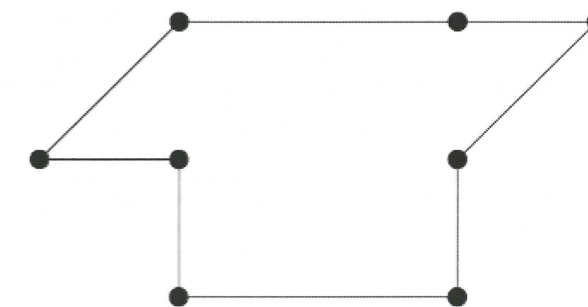


Abb. 9. Eine Tour minimaler Länge durch eine Menge von Punkten.  
A minimum length tour through a set of points.

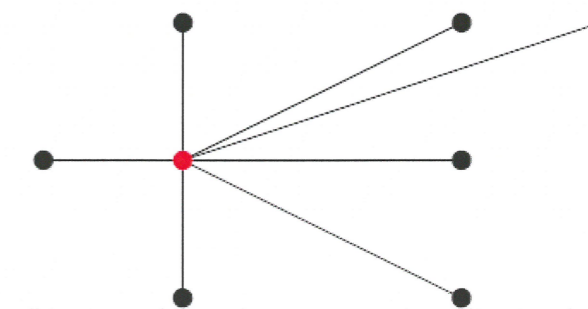


Abb. 10. Der Abstand aller Punkte zu einem zentralen Punkt.  
Distance of all points to a central point.

Die Berechnung dieses Maßes ist einfach, allerdings liefert das zugrunde liegende Szenario kein geeignetes Maß, um die Zerstretheit der Waldstücke innerhalb einer Region zu beschreiben. Trotzdem ist das relative Verhalten ebenso intuitiv wie beim ersten Ansatz: Je geringer die Länge, umso besser ist die Lage der Flurstücke zueinander.

Ein Kompromiss zwischen den beiden obigen Varianten ist die Berechnung eines sogenannten *minimalen Spannbaums* der Zentren der Flurstücke. Ein minimaler Spannbaum ist eine mathematische Struktur, die eine gegebene Menge von Punkten (hier der Zentren) mit Kanten minimaler aufaddierter Gesamtlänge verbindet. Abbildung 11 zeigt ein Beispiel. Ein solcher Spannbaum kann effizient berechnet werden, siehe z. B. Borgwardt (2007).

Da die Flurstücke eines Waldstücks typischerweise Zentren haben, die sehr nahe beieinander liegen, werden diese in einer Tour auch meist direkt nacheinander angelaufen. In einem Spannbaum sind sehr nahe beieinander liegende Punkte direkt oder fast direkt verbunden. Dies ist ein Vorteil gegenüber dem zweiten beschriebenen Maß, das die günstige Lage der Flurstücke ein- und desselben Waldstücks zueinander unberücksichtigt lassen würde.

Mathematisch betrachtet ist die Gesamtlänge eines solchen minimalen Spannbaums eine untere Grenze für den zweiten Ansatz (Summe der Längen der kürzesten Abstände aller Flurstücke zu einem zentralen Flurstück), und die doppelte Gesamtlänge des minimalen Spannbaums ist eine obere Grenze für die Länge einer besten Tour. Sie repräsentiert also eine Kombination der Ergebnisse für die beiden beschriebenen extremen Ansätze und bildet dadurch die Realität besser ab. Damit ist sie ein geeigneter Kompromiss aus schneller Berechenbarkeit und praktischer Aussagekraft.

Ein solcher Spannbaum kann prinzipiell auch für Waldstücke statt für Flurstücke berechnet werden. Hierbei verliert man allerdings Information: Die interne Lage von Flurstücken in einem Waldstück wird nicht mehr berücksichtigt, und zudem ist die Wahl eines repräsentativen Zentrums für ein Waldstück nicht so einfach wie für ein Flurstück – abhängig von der Lage der Flurstücke eines Waldstück kann das arithmetische Mittel der Zentren außerhalb des Waldstücks liegen. Die Berechnung von geeigneten Zentren für die Waldstücke ist rechentechnisch aufwendiger als der Vorteil bei der Berechnung eines Spannbaums (man hätte ja weniger Zentren). Insgesamt ist dieser Ansatz also möglich, aber der Benutzung von Flurstücken gegenüber sowohl in Rechenzeit als auch Aussagekraft unterlegen.

Wir empfehlen also die Berechnung des minimalen Spannbaums auf Basis der Flurstücke. Dieser Wert wird als *Laufstrecke* bezeichnet. Erneut ist ein relativer Wert aussagekräftiger als ein absoluter, da viele Flurstücke eine höhere Laufstrecke implizieren. Das treffendste und aussagekräftigste Maß ist das Verhältnis von *Laufstrecke zu Fläche* eines Eigentümers. Für eine gesamte Region summiert man die Laufstrecken aller Eigentümer auf.

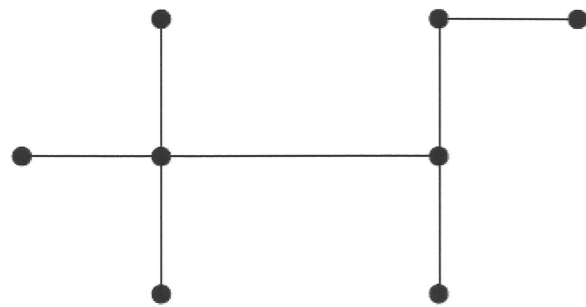


Abb. 11. Ein minimaler Spannbaum einer Menge von Punkten.  
A minimum spanning tree of a set of points.

## Empfehlungen für den Einsatz der Kennzahlen

Die Ergebnisse des Projekts ST 280, insbesondere die vorgestellten Kennzahlen, wurden in Form des Software-Tools ArborTec (bestehend aus den Programmteilen ArborChange, ArborEval und ArborOpt) umgesetzt. Dieses umfasst neben der Berechnung und Ausweisung der Kennzahlen auch die Visualisierung der Eigentumsverhältnisse in einer Region durch eine automatisch generierte schematische Waldflurkarte und bietet die Möglichkeit eines virtuellen Eigentumsaustausches per „Hand“ am Bildschirm durch „Drag and Drop“ von Eigentumsständen zwischen Flurstücken (Zu- bzw. Weg-tauschen).

In Echtzeit stehen den Programmanwendern die Kennzahlen damit in einem Vorher-nachher Vergleich zur Verfügung. Dies macht die Software interessant in der forstlichen Beratung, aber auch für die Eigentümer selbst – beispielsweise im Rahmen des freiwilligen Landtausches. Mit mathematischen Methoden rechnergenerierte oder per Hand geplante virtuelle Tauschvorschläge können anhand eines Vorher-nachher Vergleichs der Kennzahlen von den Praktikern beurteilt werden.

Beim freiwilligen Landtausch bleiben Anzahl und Ausformung der einzelnen Flurstücke im Prinzip unverändert. Durch möglichst „geschicktes“ Zusammenlegen (Tausch) von Flurstücken kann und soll sich die Anzahl an Waldstücken für alle Eigentümer zusammen aufsummiert möglichst verringern, d. h., die Flurstücke sollen möglichst optimal zu Waldstücken zusammengefasst werden. Die Reduktion der Anzahl an Waldstücken für eine Region und für jeden Eigentümer ist ein geeignetes Hauptziel eines Landtausches.

Um einerseits den Zersplitterungsgrad einer Region zu bewerten oder mit anderen Regionen zu vergleichen und andererseits durch Neuordnungen bewirkte Veränderungen in einer Region zu bewerten, stehen als absolute Werte zur Verfügung:

- Anzahl an Waldstücken
- Erschließung
- Länge Grenzübergänge
- Laufstrecke.

Als relative Werte stehen zur Verfügung:

- Durchschnittliches Waldstück
- Erschließungsgrad zu Fläche (ha)
- Grenzübergänge zu Fläche (km ha<sup>-1</sup>)
- Laufstrecke zu Fläche (km ha<sup>-1</sup>).

Die automatische Berechnung dieser Kennzahlen wird dabei vom Programm ArborTec für eine gesamte Region und für jeden einzelnen Eigentümer zur Verfügung gestellt. Dabei werden alle Kennzahlen in Tabellenform angezeigt (siehe Tabelle 1):

Während sich die Anzahl der Flurstücke oder die absolute Fläche beim freiwilligen Landtausch nicht ändert, lässt sich aus der Anzahl erschlossener Flurstücke, der erschlossenen Fläche und dem Erschließungsgrad bereits ableiten, ob nennenswert mehr Grundstücke und Fläche jetzt über Grundstücke desselben Eigentümers Anschluss an eine der Wegekategorien haben. Zumindest sagt eine Verbesserung dieser beiden Werte aus, dass die Eigentümer in dieser Region mehr Möglichkeiten haben, auf eigenem Grund und Boden die Erschließung und Befahrbarkeit ihrer Flächen zu verbessern.

Neben der Waldfläche bestimmt vor allem der aufstockende Waldbestand den Wert eines Waldgrundstücks für einen individuellen Eigentümer, da sich daraus die in nächster Zeit möglichen Nutzungen bestimmen. Erfahrungsgemäß zeigt sich, dass auf die Flurflächen allein bezogen vorteilhafte Tauschoptionen (trotz der Möglichkeit eines Ausgleichs von Wertunterschieden in Geld) meist nicht sinnvoll sind, wenn z. B. schlagreifes Holz gegen Jungbestände

Tab. 1. Eine beispielhafte Tabelle mit Kennzahlen zur Bewertung der Veränderungen durch einen Landtausch.  
An exemplary table with key measures.

	Original	nach Tausch	Veränderung
Anzahl Flurstücke	89	89	0
Anzahl erschlossener Flurstücke	76	84	+8
Erschließungsgrad (Flurstücke) [%]	85	94	+9
Gesamtfläche [ha]	51,565	51,565	0
erschlossene Fläche [ha]	44,902	49,767	+4,865
Erschließungsgrad [ha]	87	97	+10
Anzahl Waldstücke	73	44	-29
durchschnittliches Waldstück [ha]	0,706	1,172	+0,466
größtes Waldstück [ha]	2,8	5,092	+2,292
kleinstes Waldstück [ha]	0,04	0,04	0
Länge Grenzen [km]	29,232	24,943	-4,289
Länge Grenzübergänge [km]	6,282	1,994	-4,289
Grenzen zu Fläche [km ha <sup>-1</sup> ]	0,567	0,484	-0,083
Grenzübergänge zu Fläche [km ha <sup>-1</sup> ]	0,122	0,039	-0,083
Laufstrecke [km]	9,155	8,138	-1,017
Laufstrecke zu Fläche [km ha <sup>-1</sup> ]	0,178	0,158	-0,02

getauscht werden müsste. Es macht aus der begrenzten Zeitdauer einer Waldbesitzerschaft (von Übernahme des Waldeigentums bis zur Übergabe) in Abhängigkeit des jeweiligen Besitzeralters zum Zeitpunkt einen Unterschied, ob hiebsreife Hölzer gegen Pflegebestände ausgetauscht werden und damit keine Holzvorräte für z. B. eventuellen Eigenbedarf innerhalb der verbleibenden Besitzzeit mehr vorhanden sind.

Aus diesem Grund bietet das Software-Instrument die Möglichkeit, Grundstückswerte einzubeziehen. Voraussetzung ist, dass eine von allen Tauschwilligen akzeptierte Bestands- oder Grundstücksbewertung vorliegt. Derartige Bestands- oder Bodeninformationen können in Form eines Wertes (z. B. als Eurowert) dargestellt werden. Liegen keine Bewertungen vor, wie in obigem Beispiel, so werden standardgemäß die für den Tauschwert vorgesehenen Parameter mit den tatsächlichen Waldanteilen der gegebenen Grundstücksflächen vorausgefüllt. Im Beispiel der Tabelle 1 sind die ausgezeichneten Flurstücke nahezu vollständige Waldflächen; daher sind die Werte- und Flächenkennzahlen hoch korreliert. Erst wenn flurstückspartellweise Bestandes- und Bodenbewertungen vorliegen, wird der Tauschwert aussagekräftig. Es bleibt der Entwicklung der Fernerkundung und der Entwicklung der Auswertungsmöglichkeiten der Fernerkundungsdaten überlassen, ob in Zukunft digital verfügbare, parzellenscharfe und von den Eigentümern akzeptierte Tauschwerte jenseits der jetzt üblichen Bewertungsverfahren vorliegen.

Die Anzahl der Waldstücke und ihre Veränderung sind als Basis für jedwede Verbesserung zu sehen, da es ja, wie erwähnt, Ziel von Neuordnungen ist, die zusammenhängenden Flächen zu erhöhen. Die durchschnittliche Größe eines Waldstücks gibt einen Eindruck von den „durchschnittlichen Größenverhältnissen“. Die Angaben zum größten und kleinsten Waldstück im Kollektiv lassen Rückschlüsse auf die dem Durchschnittswert zugrunde liegende Verteilung zu.

Bromma (2009) teilt das Waldeigentum hinsichtlich der forstlichen Bewirtschaftbarkeit in drei Gruppen ein:

- Eigentum unter 0,3 ha Gesamtfläche: nicht nutzbar,
- Eigentum zwischen 0,3 und 0,8 ha: noch nutzbar,
- Eigentum über 0,8 ha Fläche: wirtschaftlich nutzbar.

Diese Einteilung gilt mit Abstrichen auch für die Bewirtschaftungsmöglichkeiten von einzelnen Waldstücken. Flächen mit weniger als 3.000 m<sup>2</sup> sind für viele waldbaulichen Optionen nur noch eingeschränkt nutzbar. Dies wird deutlich, wenn man bedenkt, wie viele Bäume in einem Endbestand pro ha und damit auf 3.000 m<sup>2</sup> Platz haben. In Fichtenbeständen kalkuliert man mit ca. 300 Stämmen ha<sup>-1</sup> und bei Laubbaumbeständen in der Regel mit 80 bis 100 Stämmen ha<sup>-1</sup>. Bei 0,3 ha sind dies noch 90 Fichten oder ca. 20 bis 25 Laubbäume. Bei Durchforstungen oder Erntemaßnahmen fallen immer geringere Mengen an. Entstehen größere Waldstücke, so ist das von entscheidendem Vorteil für die künftige Bewirtschaftbarkeit. Für den einzelnen Eigentümer ist also auch wichtig, wie groß sein größtes und sein kleinstes Waldstück sind, um einen Eindruck von seiner Gesamtsituation zu erhalten.

Die aussagekräftigste Kennzahl stellt aber der relative Wert „Grenzübergänge zu Fläche (km m<sup>-2</sup>)“ dar. Je niedriger der Wert ist, desto größere arrundierte Waldeigentumsflächen werden eine Region prägen, und auch die geometrische Form der einzelnen Waldstücke wird meistens sehr günstig sein, d. h., sie werden eine große Fläche im Vergleich zur umschließenden Grenzlinie aufweisen. Diese Kennzahlen erlauben nun die direkte Beurteilung der bisherigen und der neu entstandenen geometrischen Formen der Waldstücke. Die relativen Werte „Grenzen zu Fläche“ und „Grenzübergänge zu Fläche“ sind auch für Vergleiche zwischen verschiedenen Regionen interessant.

Hier sind auch die Laufstrecke und der daraus abgeleitete Verhältniswert wieder nützlich, denn durch sie erhält man einen Eindruck von der Zerstretheit der Waldstücke innerhalb der Region. Je niedriger die Werte sind, desto „kompakter“ liegen die Flächen innerhalb der Region.

Die Veränderungen der Kennzahlen erlauben eine objektive Bewertung des Verbesserungspotenzials, das durch Neuordnungen der Flurstücke in einer Region erreicht werden kann. Dies kann sowohl zur gezielten Auswahl oder Bildung von Rangfolgen unter Neuordnungsbedürftigen Gebieten benutzt werden. Die Kennzahlen eignen sich aber auch, um Neuordnungsmaßnahmen objektiv und vergleichbar zu bewerten.

## Resümee

Die Kennzahlen erlauben es den mit der Aufgabe der Strukturverbesserung betrauten Verwaltungen und Stellen, „am grünen Tisch“ eine quantitativ abgesicherte Bewertung des Verbesserungspotenzial zu gewinnen, das in einem strukturschwierigen Gebiet durch einen Flächentausch oder auch anderweitige Neuordnungen geschaffen werden kann. Entscheidungen über Beratungsschwerpunkte zur Strukturverbesserung können so begründet getroffen werden.

Die Kennzahlen sind auch für jeden Tauschinteressierten intuitiv verständlich. Durch sie steht den jeweiligen Tauschpartnern ein für beide Seiten objektiver Maßstab zur Verfügung, mit denen sie – neben dem jeweils individuell empfundenen Nutzen (oder Nachteil) – einzelne Tauschvorgänge bewerten können. Dies unterstützt den Austausch und stärkt die Entscheidungsfähigkeit der Eigentümer.

## Danksagung

Die hier präsentierte Arbeit ist Teil des Projekts „ST 280-ArborChange“ (auch „ArborTec“) des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Wir bedanken uns für die Unterstützung. Ein besonderer Dank gilt auch den Beteiligten aus dem Amt für Ländliche Entwicklung Würzburg und den Ämtern für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Schweinfurt und Kitzingen, der bbv-Landsiedlung GmbH und den beteiligten Forstsachverständigen. Anfragen zur Verfügbarkeit und zum Einsatz der Software ArborTec sind an das Referat F2 Privat- und Körperschaftswald des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten zu richten.

## Literatur

- BayWaldG 2005. Art. 1 des Waldgesetzes für Bayern in der Fassung der Bekanntmachung vom 22. Juli 2005. Fundstelle: GVBl 2005, S. 313. Stand: letzte berücksichtigte Änderung, mehrfach geändert. § 40 G v. 20.12.2011, 689
- BMELV (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz) (Hrsg.) 2011. Waldstrategie 2020: Nachhaltige Waldbewirtschaftung – eine gesellschaftliche Chance und Herausforderung. Bonn
- Borgwardt S. 2007. Nearly Optimal Minimum Spanning Trees. Diplomarbeit TU München (unveröff.)
- Borgwardt S., Brieden A., Gritzmann P. 2013. Geometric clustering for the consolidation of farmland and woodland. *Mathematical Intelligencer* 36 (2), 37-44
- Borgwardt S., Schmiedl F. 2014. Threshold-based preprocessing for approximating the weighted dense k-subgraph problem. *European Journal of Operational Research* 234, 631-640
- Bromma R. 2009. Wege zur vereinfachten Neuordnung von Kleinprivatwäldern. In: Deutsche Landeskulturgesellschaft – DLKG (Hrsg.) *Landeskultur – Motor der Waldentwicklung und Waldnutzung und Natura 2000 – Konflikte und Lösungsansätze?* Schriftenreihe der Deutschen Landeskulturgesellschaft. Heft 6, 69-79
- Diestel R. 2010. *Graphentheorie*. 4. Aufl. Springer, Berlin
- Mrosek T., Kies U., Schulte A. 2005. Privatwaldbesitz in Deutschland. Neue Erkenntnisse im Rahmen der Clusterstudie Forst und Holz Deutschland. *AFZ/DerWald* 60 (22), 6-8
- Simbeck C. 2011. Bayerisches Wald-Informationssystem. *AFZ/DerWald* 66 (13), 10-11

# Inhalt 2014 | Content 2014

## I. Artikel – Papers

### Borgwardt S., Schaffner S., Suda M.

Geometrische Kennzahlen für die forstfachliche Bewertung der Zersplitterung von Privatwaldarealen ..... 188

### Bouman O.T.

Plasticity of beech (*Fagus sylvatica* L.) in advance regeneration on soils with chronic nitrogen deposition and low magnesium availability ..... 155

### Butz-Braun R.

Einfluss der Bodenschutzkalkung auf den Entwicklungszustand der Tonminerale ..... 65

### Fetzer K.D.

Planung und Durchführung der Bodenschutzkalkung im Saarland ..... 59

### Gemballa R.

Planung und Durchführung der Bodenschutzkalkung in Sachsen ..... 70

### Goekede J., Grotehusmann H., Rau H.-M.

Eignung verschiedener Provenienzen von Sitka-Fichte für den Anbau in Nordwestdeutschland ..... 75

### Greve M.

Langfristige Auswirkungen der Waldkalkung auf Bodenzustand, Sickerwasser und Nadelspiegelwerte von drei Versuchsanlagen in Rheinland-Pfalz ..... 35

### Hartmann L., Richter F., Busch G., Ehret M., Jansen M., Lamersdorf N.

Etablierung von Kurzumtriebsplantagen im Rahmen des Verbundprojektes BEST in Süd-Niedersachsen und Mittel-Thüringen – Standorteigenschaften und anfängliche Erträge ..... 134

### Hurt V., Černý J., Albrechtová P.

Natural mortality in beech-larch-oak-hornbeam forest stands on a nutrient-rich site at Training Forest Enterprise Masaryk Forest Křtiny (TFE) in the southern Moravia Region/Czech Republic ..... 115

### Keitel M.

Biologische und chemische Veränderungen nach Langzeitversauerung in der Großen Pyra (Erzgebirge) ..... 47

### Kompa T., Weckesser M.

Die Auswirkung von Kalkungsmaßnahmen auf die Bodenvegetation am Beispiel von Flächen der Bodenzustandserhebung (BZE) in Sachsen ..... 71

### Kühne C., Jacob A., Gräf M.

Begründung und Pflege von Eichenbeständen in der forstlichen Praxis – Eine interviewbasierte Ist-Analyse in der badischen Oberrheinebene ..... 179

### Mölder A., Gürlich S., Engel F.

Die Verbreitung von gefährdeten Holz bewohnenden Käfern in Schleswig-Holstein unter dem Einfluss von Forstgeschichte und Besitzstruktur ..... 84

### Niemz P., Hug S., Schnider T.

Einfluss der Temperatur auf ausgewählte mechanische Eigenschaften von Esche, Buche, Ahorn und Fichte ..... 163

### Russ A., Riek W., Martin J.

Vergleich verschiedener Kalkungskonzeptionen hinsichtlich der Beurteilung der Kalkungsbedürftigkeit mecklenburgischer Waldböden anhand von Bodendaten der zweiten bundesweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE-2) ..... 55