Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss foresty journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 119 (1968)

Heft: 3

Artikel: Kennzahlen für den Grad der Erschliessung von Forstbetrieben durch autofahrbare Wege

Autor: Backmund, F.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-765557

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 06.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Kennzahlen für den Grad der Erschließung von Forstbetrieben durch autofahrbare Wege[1]

Von *F. Backmund*, München Oxf.686.3

Die Schweiz und der südbayerische Voralpen- und Alpenraum haben in bezug auf die Forstwirtschaft vieles gemeinsam. Es sind oft die gleichen Fragen, die zur Lösung anstehen. Ein sehr vordringliches und viel diskutiertes Problem ist seit etwa 1½ Jahrzehnten die Erschließung der Waldungen. In der Schweiz und in Bayern wurden in den letzten 15 Jahren viele Kilometer Waldstraßen neu gebaut, und es ist verständlich, daß sich das Bedürfnis nach Kennzahlen für den Grad der Erschließung von Forstbetrieben ergab. Dieses Anliegen ist nicht erst in unseren Tagen entstanden, wie ein kurzer Rückblick zeigt.

Im August/September-Heft des «Centralblattes für das gesammte Forstwesen», Wien 1891, veröffentlichte der k.k. Forstmeister Michael Beyer einen Artikel über das Wegenetz im Ternovanerwalde. Dieser Wald bedeckt einen nordöstlich der Ebene von Görz gelegenen Gebirgsstock und umfaßte damals 8590 ha. Bereits in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts wurde, veranlaßt durch den sehr «mißlichen Bringungszustand», damit begonnen, den Ternovanerwald durch Straßen zu erschließen.

Beyer berichtete, daß 215 km Waldwege bis zum Jahre 1890 gebaut worden sind, und fährt fort: «Es resultirt sodann pro 1 ha Waldboden eine Weglänge von 27 m. Nach vollendetem Ausbau des Wegenetzes im Sinne des vorliegenden Generalprojectes wird auf 1 ha Waldfläche eine Wegelänge von beiläufig 35 m entfallen.»

Im Jahre 1925 gab der Schweizerische Forstverein eine umfangreiche Schrift über die forstlichen Verhältnisse in der Schweiz heraus. In dem Abschnitt «Waldwegebau und Waldertrag» wird gesagt: «Als Maßstab für den Grad der Erschließung gilt die vorhandene durchschnittliche Wegelänge pro 1 ha Waldfläche, die sogenannte Wegedichte, ähnlich wie bei den Eisenbahnen eines Landes, wo das Verhältnis der durchschnittlichen Gleislänge pro 1 km² Landesfläche als Verkehrsdichte bezeichnet wird.»

Diese beiden Zitate – sicherlich könnten noch weitere gefunden werden – zeigen, daß der Begriff der Wegedichte nicht erst in unserer Zeit

[1] Geänderte und erweiterte Fassung eines im Forstwissenschaftlichen Centralblatt, Heft 11/12, 85. Jahrgang (1966), veröffentlichten Vortrags.

geprägt worden ist. Aber man hat sich wieder an ihn erinnert, ihn wieder ins Gespräch gebracht, aus dem gleichen Grunde wie 1891 in Österreich und 1925 in der Schweiz.

Gesucht wird nach einer Kennzahl für den Stand der Erschließung von Forstbetrieben durch Straßen, damals für Spannfahrzeuge, heute für Lastwagen. Das Bedürfnis nach solchen Kennzahlen tritt besonders in Zeiten erhöhter Erschließungstätigkeit auf. Die Sorge um das Zuviel, die ernste Frage nach der Wirtschaftlichkeit verlangen Weiser und deutliche Grenzen, heute mehr als zu des k.k. Forstmeisters Zeiten. Die bedächtige Handarbeit ließ Zeit zum Planen, die Planierraupen aber fahren schnell davon.

Die Wegedichte wird erneut zu einem wichtigen Begriff. Sie findet Eingang in die Statistiken der großen Verwaltungen, und sie wird Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen. Von der Kennzahl Wegedichte wird Antwort auf zwei zunächst voneinander unabhängige Fragestellungen erwartet: Für die Neuplanung von Wegenetzen ist sie eine Zielgröße. Gegebene Wegenetze aber sollen in ihrem Erschließungseffekt durch die Wegedichtezahl charakterisiert werden. Die Wegedichte wird heute definiert als die Länge autofahrbarer Waldwege je Hektare Holzbodenfläche. Aus schematischen Beispielen läßt sich ableiten, daß zwischen der Wegelänge je Hektare (WD) und dem Wegeabstand (WA) ein einfacher Zusammenhang besteht.

Es gilt: $$WD \cdot WA = 10\,000$$

und daraus: $$WD = \frac{10\,000}{WA}$$

$$WA = \frac{10\,000}{WD}$$

Im Schema gehört also zu jeder Wegedichte ein gleichbleibender Wegeabstand und umgekehrt.

Die Wegedichte ist ein rechnerischer Durchschnitt. Durchschnittszahlen haben immer etwas Unwirkliches an sich. Im Wegeabstand aber ist eine sehr wirklichkeitsnahe Größe enthalten: die mittlere Transportentfernung. Sie beträgt rechnerisch

bei einseitigem Rücken $$\frac{WA}{2}$$

bei zweiseitigem Rücken $$\frac{WA}{4}$$

Die tatsächliche Transportentfernung wird von einer Reihe von Faktoren bestimmt. Sie ist abhängig von den Geländeverhältnissen, der Intensität der waldbaulichen Arbeit und wird sehr wesentlich von der Rücke-

technik beeinflußt. Krebs hat in der Schweizerischen Zeitschrift für Forstwesen, 1944, auf die Bedeutung des Wegeabstands und damit auch der mittleren Transportentfernung hingewiesen. Er schreibt: «Es ist durch waldbauliche, arbeitstechnische und waldwirtschaftliche Untersuchungen aber zu klären, wie groß der normale Abstand der autofahrbaren Straßen sein soll. Dieser Normalabstand gilt als wichtigste Grundlage, die vor der Inangriffnahme genereller Wegenetzprojekte festzulegen ist.»

Die mittlere Transportentfernung (TE_0) beträgt bei beidseitigem Rücken:

$$TE_0 = \frac{WA}{4} = \frac{10\,000}{4 \cdot WD} = \frac{2500}{WD}$$

Es besteht also ein unmittelbarer rechnerischer Zusammenhang zwischen Wegelänge je Hektare und der Transportentfernung.

Die Wegelänge bestimmt den Wegeaufwand, das heißt die Summe aus den Wegebaukosten und den Aufwendungen für die Unterhaltung. Die mittlere Transportentfernung wiederum ist maßgebend für die Rückeaufwendungen, das sind einmal die Ausgaben für den Bau und die Unterhaltung der Rückewege und vor allem die Kosten für das Rücken selbst. Die letzteren aber sind abhängig von der Menge des zu rückenden Holzes, die wiederum unter anderem bestimmt wird durch Baumart und Ertragsklasse. So ergeben sich vielschichtige, betriebswirtschaftliche Wechselbeziehungen, und der Gedanke an eine optimale Wegedichte liegt nahe, einer Wegedichte, bei der die Gesamtbringungsaufwendungen ein Minimum werden.

Volkert ist an Normalwaldmodellen diesen Zusammenhängen nachgegangen und ist auf der Grundlage der Ertragstafeln von Wiedemann und bei Unterstellung bestimmter Wege- und Rückeaufwendungen zu Zahlen für die optimale Wegedichte gekommen. Ähnliche Arbeiten liegen unter anderem von Larsson aus Schweden und von Lebrun aus Frankreich vor. Diese Untersuchungen am Modell sind äußerst wertvoll, weil sie die grundsätzlichen Zusammenhänge zwischen den einzelnen Faktoren aufdecken, ähnlich wie die Normalwaldmodelle Einblicke in die Beziehungen zwischen Vorrat, Zuwachs und Nutzung gewähren. Anderseits muß aber auch festgestellt werden, daß die einzelnen Forstbetriebe, sowohl was die Bestockungsverhältnisse als auch die Erschließungsmöglichkeiten angeht, in der Regel erheblich vom Modellfall abweichen und daß ferner die Wegebautechnik und die Rückeverfahren einer stetigen Weiterentwicklung unterliegen, durch die heute angenommene Kostenrelationen beträchtlich verschoben werden können. Aus diesen Gründen wird es schwierig sein, Zahlenwerte für die optimale Wegedichte anzugeben. Das ist auch nicht das Ziel dieser Ausführungen, so wünschenswert solche Zahlen für denjenigen sein mögen, der vor der Aufgabe steht, ein Wegenetz völlig neu zu planen.

Das Anliegen, das heute besprochen werden soll, ist die zahlenmäßige Charakteristik bereits vorhandener Walderschließungsnetze unter Beschrän-

kung auf die für Lastwagen befahrbaren Wege. Anknüpfend an die bisherigen Ausführungen ist die Frage zu stellen: Kann die Wegedichte, die für einen Forstbetrieb als Quotient aus der Holzbodenfläche und der Gesamtwegelänge errechnet worden ist, Auskunft über den Stand der Erschließung dieses Betriebes geben?

Es sei wiederholt: $$WD = \frac{10\,000}{WA}$$

$$WA = \frac{10\,000}{WD}$$

Die in den beiden Formeln zum Ausdruck kommenden Beziehungen gelten streng nur für das Idealmodell (Abb. 1) einer quadratischen oder

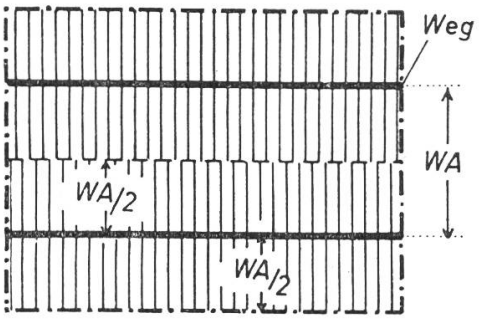

Abbildung 1

rechteckigen Fläche in der Ebene oder auf einem gleichmäßig geneigten Hang, die durch parallele Wege im errechneten Wegeabstand unterteilt ist. In diesem Falle liegt die Gesamtfläche innerhalb des errechneten Wegeabstandes; sie ist vollkommen erschlossen.

Verbürgt eine bestimmte Wegedichte immer diesen Erschließungserfolg? Kennel hat 1961 in der Allgemeinen Forstzeitschrift diese Probleme aufgegriffen und an sehr anschaulichen Beispielen gezeigt, daß bei einer gegebenen Wegedichte das Maß der Erschließung wesentlich von der Verteilung und der Linienführung der Wege abhängt.

Dafür im folgenden noch einige Beispiele: Einer Wegedichte von 50 m je Hektare entspricht eine Wegeabstand von 200 m (Abb. 2). Ein geradlinig

Abbildung 2

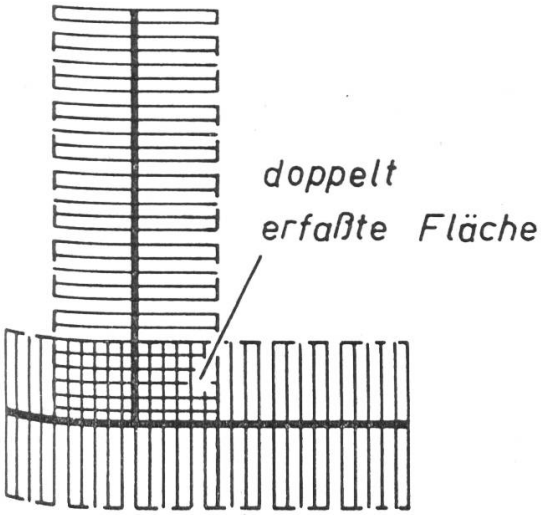

Abbildung 3

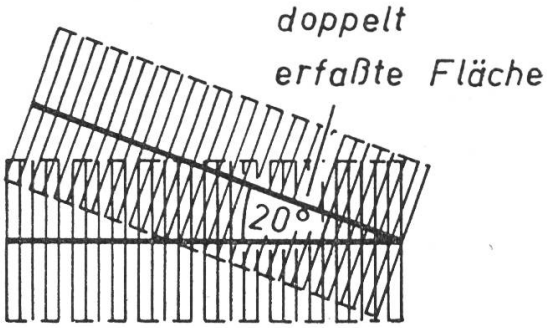

Abbildung 4

verlaufendes Wegstück von 1000 m Länge erschließt ein Band von 1000 m Länge und 200 m Breite, das sind 20 ha. Zerlegt man dieses Band in zwei Teile von je 500 m Länge und setzt diese im rechten Winkel aufeinander (Abb. 3), so werden durch die beiden Teilstücke nur noch 18 ha erschlossen, weil 2 ha doppelt erfaßt werden und damit verloren gehen. Fügt man die beiden je 500 m langen Wegstücke unter einem Winkel von 20° aneinander (Abb. 4), so werden nurmehr 14,3 ha erschlossen, davon 5,7 ha doppelt. Die hier dargestellte Situation ist beim Zusammenschluß von zwei Wegen häufig gegeben.

Fügt man ein drittes Band von 500 m Länge und 200 m Breite wiederum etwa unter einem Winkel von 20° im Sinne einer doppelten Kehre an, wie sie bei Steilhangerschließungen im Hochgebirge oft unvermeidbar sind, so erschließt dieses System eine Fläche von 18,8 ha, davon sind 9 ha einfach, 8,5 ha doppelt und 1,3 ha dreifach erschlossen.

Diese schematischen Beispiele zeigen, daß rechtwinklige Abzweigungen noch verhältnismäßig positiv zu beurteilen sind, während sich spitzwinklige Wegzusammenschlüsse und Kreuzungen erheblich ungünstiger auswirken und sogenannte Wegespinnen oder Wegesterne eine vielfache Erschließung ergeben. Die Notwendigkeit von Kreuzungen für den allgemeinen Betriebsverkehr und für die Orientierung soll durch solche Feststellungen nicht geschmälert werden.

Die Führung einer Waldstraße entlang der Besitzgrenze beeinträchtigt in der Regel den Erschließungserfolg. Die Abbildung 5 zeigt einen Weg, der entlang der Grenze geführt ist. Ein Stück des Weges verläuft nahe an dieser, so daß ein beträchtlicher Teil seiner Erschließungswirkung ungenutzt bleibt, während eine ausspringende Ecke des Besitzes überhaupt nicht erfaßt wird. Besonders häufig sind solche Erscheinungen bei ungünstigen Flächenformen und Besitzgrenzen mit rasch wechselnden Aus- und Ein-

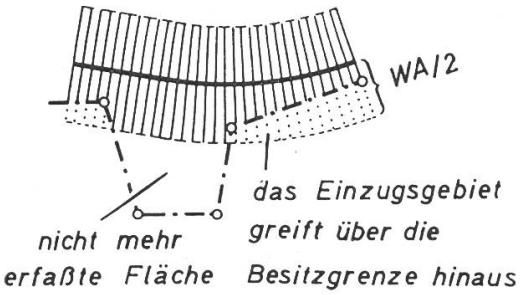

Abbildung 5

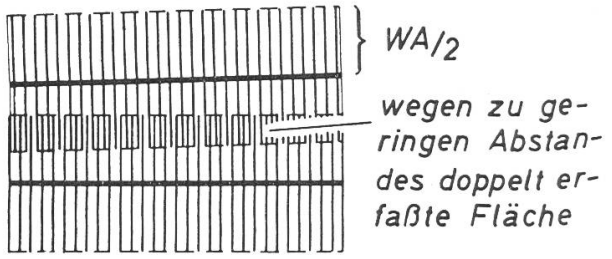

Abbildung 6

buchtungen. Erschließungsverluste entstehen, wenn Waldwege in einem Abstand voneinander geführt werden, der über oder unter dem errechneten Wegeabstand liegt (Abb. 6). In dem hier gezeigten Beispiel ist der Wegeabstand zu gering, die schraffierte Fläche wird doppelt erfaßt, und damit geht Erschließungskapazität verloren. Das sind die kritischen Punkte im Wegenetz. Treten sie in größerer Zahl auf, so führen sie zu einer Gesamterschließung, welche unter Umständen erheblich von dem der Wegedichte entsprechenden Idealmodell abweicht.

Nun ist eine dem Idealmodell entsprechende Wegeverteilung und Linienführung im konkreten Fall nicht zu erreichen. Dafür gibt es vielerlei Gründe. Um es mit einem Begriff aus der Fehlerrechnung zu charakterisieren: unvermeidbare und vermeidbare. Zu den ersteren gehören die Bindungen, die der Planung von den natürlichen Gegebenheiten des Betriebes auferlegt sind, wie Flächengestalt, Besitzverhältnisse, Geländeform und Baugrund. Aber auch Bindungen, die von der Betriebsführung her kommen, etwa die Forderung nach ganz bestimmten Wegeverknüpfungen, die für den Betriebsablauf sehr wichtig, vom Erschließungseffekt her gesehen aber unerwünscht sind. Vermeidbar ist der unüberlegte Ausbau von Wegetrassen, und dennoch ist er häufig der Grund für einen ungenügenden Erschließungserfolg.

Wie sehr die Erschließung einer geschlossenen Waldfläche bei gleicher Wegedichte von der Anordnung der Wege abhängt, soll an zwei schematischen Beispielen gezeigt werden: Eine quadratische Waldfläche von 1 km Seitenlänge wird durch vier in gleichem Abstand und parallel verlaufende Wege erschlossen (Abb. 7, oben). Die Gesamtfläche beträgt 100 ha, die Wegelänge 4000 m, die Wegedichte 40 m/ha und der Wegeabstand 250 m. Werden die Wege in dem errechneten Abstand angelegt, so befinden sich 100 % der Fläche innerhalb dieses Abstandes. Die mittlere Transportentfernung bei beidseitigem Rücken beträgt

$$\frac{WA}{4} = 62{,}5 \text{ m}.$$

In Abbildung 7 unten wird dieselbe Fläche von einem gleichlangen Wegesystem erschlossen, aber derart, daß zwei Wege längs und zwei Wege

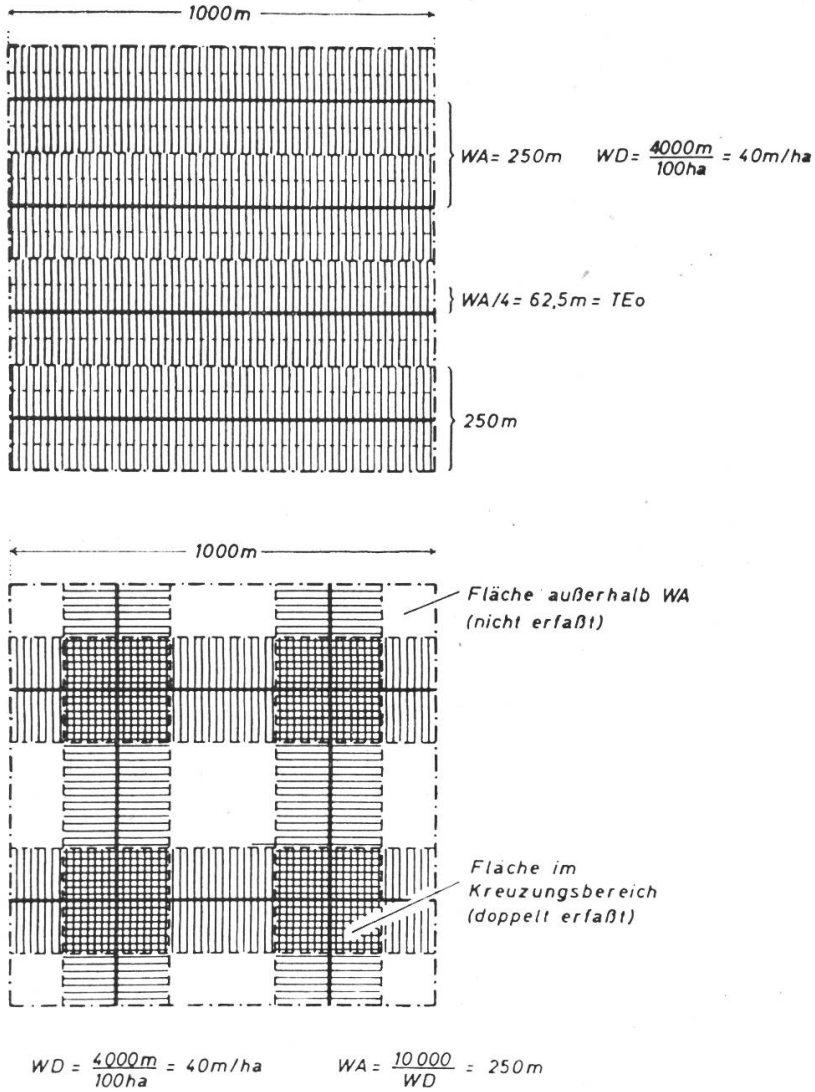

Abbildung 7

quer verlaufen, wodurch vier Kreuzungen entstehen. Auch in diesem Falle ergibt sich eine Wegedichte von 40 m/ha und ein rechnerischer Wegeabstand von 250 m. Zieht man die Abstandslinien zu den Wegen in einer Entfernung von jeweils $\frac{WA}{2}$ (125 m), so ergibt sich, daß ein Teil der Fläche außerhalb des errechneten Wegeabstands liegt, während Flächen im Kreuzungsbereich doppelt erfaßt werden. Wird die Fläche, die innerhalb des rechnerischen Wegeabstandes liegt, ermittelt, so zeigt sich, daß nur 75 % der Gesamtfläche erschlossen sind. Wird weiter durch Zerlegung in Dreiecke die sich für diese Wegeanordnung ergebende mittlere Transportentfernung bestimmt, so liegt

diese mit 83,3 m nicht unerheblich über der rechnerischen Rückeentfernung von 62,5 m.

Die Gegenüberstellung der Beispiele in Abbildung 7 zeigt bei gleicher Wegedichte einen sehr unterschiedlichen Erschließungserfolg, das heißt, die Wegedichte sagt nichts darüber aus, ob ein Wegenetz eine Waldfläche vollständig erschließt oder ob Teile der Fläche frei von Wegen, andere aber um so dichter von solchen durchzogen sind. Die Wegedichtezahl läßt auch nicht erkennen, ob die vorhandenen Wege vorwiegend parallel in möglichst gleichen Abständen verlaufen oder ob es sich um ein wirres Durcheinander von Wegelinien handelt.

Trotz diesen aufgezeigten Mängeln wird man auf die Angabe der Wegedichte nicht ganz verzichten können und wollen. Für große Verwaltungen ist die Wegedichte zweifellos ein wichtiger Kennwert, um zum Beispiel den Erschließungsstand verschiedener Waldgebiete zu charakterisieren.

Im Bereich der Oberforstdirektion München ist der Vergleich der durchschnittlichen Wegedichte für Flachland und Hochgebirge aufschlußreich. Bei Beurteilung einzelner Forstbetriebe gewinnt die Angabe der Wegedichte an Wert, wenn ihre Aussage durch eine Wegekarte ergänzt oder durch eine zusätzliche Beschreibung näher erläutert wird. Besser aber wäre es, wenn der Wegedichte eine weitere Kennziffer beigefügt werden könnte, die ihren Aussagewert erhöht und die – auf eine einheitliche Größe bezogen – den Vergleich der Werte für verschiedene Betriebe verbessern würde.

Gemäß einer Anordnung der bayerischen Ministerialforstabteilung wurde für die bayerischen Forstämter im Flachland und Mittelgebirge eine solche Kennzahl errechnet, indem für den einzelnen Forstamtsbereich die durchschnittliche Entfernung (DE) der Waldorte zu einer autofahrbaren Straße bestimmt worden ist. Im folgenden wird ein anderer Vorschlag für die Ergänzung der Wegedichte unterbreitet.

In dem zweiten schematischen Beispiel einer Waldfläche von 100 ha und einer Wegelänge von 4000 m konnte festgestellt werden, daß nur 75 % der Gesamtfläche innerhalb des errechneten Wegeabstands liegen. Dieser Prozentsatz sei als Erschließungsprozent E bezeichnet. Zur Herleitung des Erschließungsprozentes werden für jeden autofahrbaren Weg die sogenannten Abstandslinien gezogen. Sie laufen beiderseits parallel zur Wegelinie in einer Entfernung von $\frac{WA}{2}$. Damit entstehen die zu den einzelnen Wegen gehörigen Erschließungsbänder, deren Breite dem rechnerischen Wegeabstand entspricht. Der Weg liegt jeweils in der Mitte des Bandes. Die Abstandslinien begrenzen gleichzeitig die außerhalb des Wegeabstandes liegenden Flächen, deren Inhalt durch Planimetrieren, mit Hilfe des Schätzquadrates oder nach einem Rasterverfahren bestimmt werden kann. Das Verhältnis der innerhalb des Wegeabstandes liegenden Fläche zur Gesamtfläche ergibt das Erschließungsprozent E.

Um zu Vorstellungen zu kommen, in welchem Rahmen sich die Erschließungsprozente konkreter Forstbetriebe bewegen, wurden in unserem Institut nach dem geschilderten Verfahren für 39 Objekte aus dem bayerischen und badisch-württembergischen Raum die Erschließungsprozente bestimmt.[2] Bei der Auswahl der Objekte entschied man sich hauptsächlich für solche Bezirke (Forstämter, Teile von solchen und einzelne Distrikte), deren Erschließung als einigermaßen abgeschlossen gelten kann oder für welche eine generelle Erschließungsplanung vorliegt. Die Flächengrößen schwanken zwischen 270 und 3780 ha, und die Werte für die Wegedichte liegen zwischen 17 und 72 m/ha.

Ehe auf die Ergebnisse dieser Untersuchungen eingegangen wird, ist noch eine Bemerkung einzuschalten. Das Verfahren zur Bestimmung des Erschließungsprozentes mit den gleichweit vom Weg gezogenen Abstandslinien entspricht dem Idealmodell in der Ebene. Im Hochgebirge hat man es aber in der Regel mit ungleichen Transportentfernungen zu tun, meist mit einer kürzeren Aufseilstrecke Se und einer längeren Treibstrecke Tr. Für das Idealmodell gilt dann im Gebirge Se + Tr = WA. Das Band und die damit von einem Weg erschlossene Fläche entspricht der bei gleichweiten Transportentfernungen. Dagegen ändert sich die mittlere Transportentfernung, die unter Berücksichtigung des Verhältnisses Se : Tr berechnet werden kann, aber eine rein rechnerische Durchschnittsgröße darstellt. Die Versuche, bei Hochgebirgsbetrieben die Entfernung der Abstandslinien von der Wegmitte je nach den Geländeverhältnissen und der vermuteten Transportart zu ändern, um damit den Erschließungsbereich des einzelnen Weges individueller zu gestalten, brachte wenigstens bei den untersuchten Bezirken keine nennenswerten Änderungen der Ergebnisse. Wir bemühen uns aber anhand weiterer Beispiele diese Fragen noch näher zu klären. Für die hier vorgestellten Objekte wurde durchweg das Abtragen von $\frac{WA}{2}$ beibehalten, nicht zuletzt auch um der Vergleichbarkeit der Ergebnisse willen. In der Karte können nur ebene Entfernungen abgetragen werden. Daß sich bei geneigten Hängen die wirklichen Seil- und Treibstrecken erheblich vergrößern (bei 25 ° oder 47 %: 100 m eben statt 110 m schief), kann rechnerisch berücksichtigt und zu einer Korrektur der mittleren Transportentfernung benützt werden.

Und nun zu den einzelnen Ergebnissen: Zunächst sollen zwei stark voneinander abweichende Untersuchungsobjekte im Kartenbild und in Zahlen vorgestellt werden. Die Beispiele in Abbildung 8 sind durch die in der beigegebenen Übersicht zusammengestellten Daten gekennzeichnet.

Das linke Beispiel stellt einen besonders ungünstigen Extremfall dar, ungünstig schon vom Gelände her. Es handelt sich um ein Gebirgstal mit

[2] Die Untersuchungen wurden von Herrn Dr. Sanktjohanser unter Mitarbeit von Herrn L. Pospischil durchgeführt und ausgewertet.

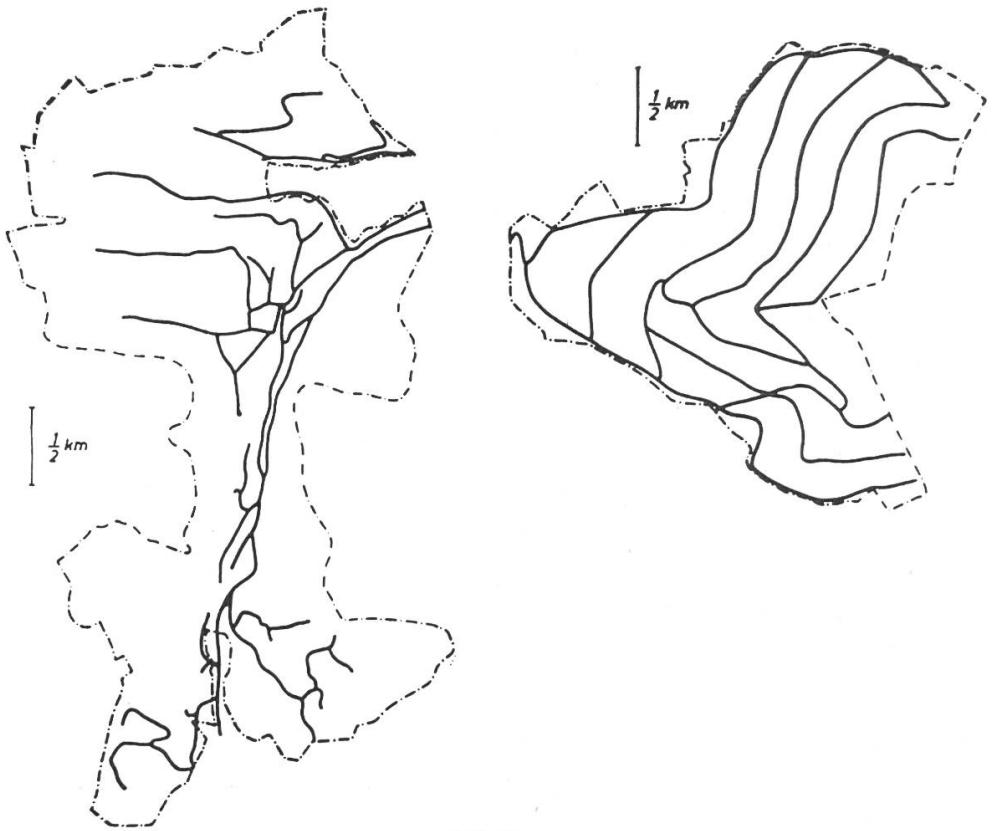

Abbildung 8

Waldfläche	783,5 ha	452,5 ha
Straßenlänge	23,6 km	22,2 km
Wegedichte	30,1 m/ha	49,0 m/ha
errechneter Wegeabstand (WA)	332,0 m	204,0 m
errechnete mittlere Transportentfernung	83,0 m	51,0 m
mittlere Transportentfernung	153,8 m	64,6 m
Fläche innerhalb des WA	54,0 %	78,9 %

steilen Einhängen, das der Erschließung zweifellos erhebliche Hindernisse entgegenstellt. Die Erschließung dieses Tales baut auch nicht auf einer sorgfältigen generellen Planung auf, sondern ist stückweise entstanden, indem jeweils besonders vordringlich erscheinende Teilstrecken ausgebaut worden sind. Das Wegenetz ist gekennzeichnet durch eine beträchtliche Übererschließung des Talgrundes und durch verhältnismäßig viele Querverbindungen. Diese schlechte Erschließungssituation wird einerseits durch das sehr niedrige Erschließungsprozent von 54 zum Ausdruck gebracht, anderseits sind 48,2 % der Gesamtfläche mehrfach (zwei- bis sechsfach), das heißt von verschiedenen Wegen aus erfaßt, was auf eine starke örtliche Konzentration von Wegen hindeutet.

Das rechte Beispiel repräsentiert einen besonders günstigen Erschließungsfall, der sowohl auf die Geländeform als auch auf eine ausgezeichnete

generelle Planung zurückzuführen ist. Vom Gelände her, es handelt sich um Hügelland, ist nahezu jede Linienführung möglich, und die Planung war nicht durch früher entstandene und sich schwer in das moderne Erschließungsnetz einfügende Wege belastet.

Die innerhalb des Wegeabstandes liegende Fläche beträgt 78,9 %, und die mehrfach erfaßten Flächen (15,9 % zweifach und 0,3 % dreifach) sind verhältnismäßig sehr gering. Wenn das Erschließungsprozent in diesem Beispiel nicht noch höher liegt, so rührt das daher, daß die entlang der Besitzgrenzen verlaufenden Wege sehr nahe an dieser geführt sind und deshalb ihre erschließende Wirkung nicht voll entfalten können.

Und nun zu den Durchschnittsergebnissen für die untersuchten Forstbetriebe. Die Erschließungsprozente der 39 Objekte liegen zwischen 54 und 80. Der Gesamtdurchschnitt beträgt 71,0 %. Eine Aufgliederung der Werte zeigt Übersicht 1:

Übersicht 1

Erschließungsprozent	*unter 65*	*65–70*	*70–75*	*75–80*	*über 80*
Anzahl der Objekte	2	16	10	11	–

Von den Faktoren, welche die Höhe des Erschließungsprozentes beeinflussen, ist in erster Linie das Gelände zu nennen. Die untersuchten Forstbetriebe können drei Reliefformen zugeordnet werden, nämlich Flach- und Hügelland, Mittelgebirge und Hochgebirge. In der Übersicht 2 sind die Zahl der auf die drei Geländetypen treffenden Betriebe und ihre durchschnittlichen Erschließungsprozente zusammengestellt:

Übersicht 2

Gelände	*Flach- und Hügelland*	*Mittelgebirge*	*Hochgebirge*	*Sa.*
Zahl der Betriebe	18	14	7	39
Durchschnittliche Erschließungsprozente	72,5	71,5	65,9	71,0

Daß die Unterschiede zwischen Flach- und Hügelland einerseits und dem Mittelgebirge anderseits nicht bedeutend sind, ist verständlich, zumal die Grenzen zwischen den beiden Geländeklassen fließend sind und das Mittelgebirge zwar größere Höhenunterschiede, aber abgerundete und gleichmäßige Geländeformen aufweist, was eine Erschließung sehr erleichtert. Wesentlich schwieriger sind die Verhältnisse im Hochgebirge, hier vor-

wiegend Beispiele aus den nördlichen Kalkalpen. Ein rasch wechselndes Relief, steile Hänge, tiefe Gräben, Felspartien erschweren eine systematische und zügige Erschließung ebenso wie der oft rasche Übergang von Wirtschaftswald und Nichtholzboden. Das durchschnittliche Erschließungsprozent der untersuchten Hochgebirgsbetriebe liegt deshalb auch um 6 % unter dem der ersten beiden Geländegruppen.

Es wurde zunächst ein Zusammenhang zwischen dem Erschließungsprozent und der Größe der untersuchten Objekte vermutet, da angenommen werden konnte, daß die größere Flächenausdehnung eines Forstbetriebes die systematische Anlage von Wegenetzen erleichtern und die Anteile der für die Erschließung ungünstigen grenznahen Wege vermindern würde. Die Untersuchungen haben solche Zusammenhänge nicht bestätigt. Vermutlich treten sie erst bei Flächengrößen unter 400 ha auf. Die bearbeiteten Objekte liegen mit einer Ausnahme alle darüber. Deutlich erkennbar ist dagegen eine Abhängigkeit der Erschließungsprozente von der Wegedichte. Es ist offenbar so, daß innerhalb gewisser Grenzen, etwa zwischen 20–50 m/ha, das Ansteigen der Wegedichte eine zunehmend bessere Anpassung des Erschließungsnetzes an das Gelände erlaubt. Sicher darf aber nicht mit einer gleichmäßigen Zunahme des Erschließungsprozentes mit steigender Wegedichte gerechnet werden; vielmehr dürfte bei 50–60 m/ha ein Optimum erreicht sein.

Die Aufgliederung der ermittelten Erschließungsprozente in fünf Gruppen kann etwa mit folgender Bewertung verbunden werden: bis 65 % ungünstig, bis 70 % mäßig günstig, bis 75 % günstig, bis 80 % sehr günstig, über 80 % außerordentlich günstig. So geordnet bedeutet das Erschließungsprozent in gewissem Maß eine Qualifikation für den Erschließungsstand eines Forstbetriebes und ist geeignet, die Aussage der Wegedichte zu ergänzen.

Es wird vorgeschlagen, aus Wegedichte als erster und Erschließungsprozent als zweiter Ziffer eine Kennzahl zu bilden, die weiterhin als «Erschließungszahl» bezeichnet wird. Ein Wald sei durch ein Wegenetz erschlossen, dessen Dichte 45 m/ha und dessen Erschließungsprozent 77 betragen sollen; die Erschließungszahl für diesen Betrieb ist 45/77. Nach der oben genannten Stufung handelt es sich um eine sehr günstige Erschließung mit wahrscheinlich überwiegend paralleler Linienführung.

Aus den beiden Größen der Erschließungszahl, Wegedichte und Erschließungsprozent kann noch eine weitere Kennziffer abgeleitet werden. Die mittlere Transportentfernung beträgt im Idealmodell (Erschließungsprozent 100)

$$TE_o = \frac{2500}{WD}$$

Ebenso wie das Erschließungsprozent im konkreten Falle von 100 abweicht, wird auch die zugehörige mittlere Transportentfernung TE_m von

TE_0 verschieden sein, und zwar werden sich die Transportentfernungen umgekehrt verhalten wie die Erschließungsprozente, also

$$TE_m : TE_0 = 100 : E$$

oder

$$TE_m = \frac{TE_0 \cdot 100}{E}$$

Setzt man in diese Formel den oben angegebenen Wert für TE_0 ein, so ergibt sich

$$TE_m = \frac{250\,000}{WD \cdot E}$$

Unter TE_m wird hier der mittlere Abstand aller Punkte von der nächstgelegenen Straße verstanden, das heißt bei beidseitigem Rücken im rechten Winkel zur Straße. Diese mittlere Transportentfernung wird nicht immer dem tatsächlichen Rückeweg entsprechen, doch wird man mit Sicherheit annehmen können, daß dieser zum Beispiel bei einseitigem Rücken oder bei kurzer talseitiger Aufseilung und längerer bergseitiger Treibstrecke im Gebirge ebenfalls dann am kürzesten ist, wenn TE_m ein Minimum erreicht.

Für das schematische Beispiel von 100 ha, der Wegedichte 40 und dem Erschließungsprozent 75 ergibt sich

$$TE_m = \frac{250\,000}{40 \cdot 75} = 83{,}3 \text{ m}$$

der Wert, der auch aus der Einzelbestimmung durch Abgreifen gefunden werden konnte.

Unabhängig von unseren Untersuchungen, aber etwa zur gleichen Zeit, hat sich in Schweden Gustaf von Segebaden sehr eingehend mit dem Problem der mittleren Transportentfernung bei beidseitigem Rücken beschäftigt und darüber in einer Arbeit berichtet, die 1964 in den «Studia Forestalia Suecica» veröffentlicht worden ist. Während bei den Untersuchungen unseres Instituts die innerhalb des aus der Wegedichte errechneten Wegeabstandes liegenden Flächen ermittelt wurden, aus ihnen das Erschließungsprozent E und über dieses die mittlere Transportentfernung TE_m abgeleitet worden ist, bestimmt von Segebaden diese Größe unmittelbar.

Das ist seine Methode: Über eine Wegekarte wird ein regelmäßiges Punktsystem, meistens in quadratischer Anordnung, gelegt. Von jedem Punkt aus wird dann die kürzeste geradlinige Transportentfernung zum nächstgelegenen Weg mit dem Zirkel abgegriffen. Die Summe aller dieser Transportentfernungen, geteilt durch die Zahl der Punkte, ergibt die durchschnittliche mittlere Transportentfernung. Es handelt sich also um ein Punktrasterverfahren. Der Zusammenhang zwischen den nach dieser Methode gefundenen Werten für TE_m und der dem Idealmodell entsprechenden mittleren Transportentfernung TE_0 wird über einen Korrektionsfaktor k hergestellt.

Es gilt: $$TE_m = \frac{2500 \cdot k}{WD}$$

$$k = \frac{TE_m \cdot WD}{2500}$$

Die Werte für k liegen nach den sehr umfangreichen Untersuchungen Segebadens etwa zwischen 1,35–2,0.

Über TE_0 ergibt sich auch ein Zusammenhang zwischen dem Korrektionsfaktor k und dem Erschließungsprozent E.

Es gilt: $$E = \frac{100}{k}$$

Für die 39 Untersuchungsobjekte wurde die mittlere Transportentfernung TE_m nach dem Punktrasterverfahren bestimmt und mit den über das Erschließungsprozent hergeleiteten Werten verglichen. Die letzteren liegen in der Regel um etwa 3 % unter den Größen, die nach dem schwedischen Verfahren gefunden worden sind. In einzelnen Fällen, in denen größere unerschlossene Komplexe in die Untersuchung mit einbezogen worden sind, beträgt die Abweichung bis zu 10 %.

Das Rasterverfahren erfordert, insbesondere wenn ein Additionszirkel zum Abgreifen der einzelnen Strecken verwendet wird, einen geringeren Zeitaufwand als das Ziehen der Abstandslinien und die Bestimmung des Erschließungsprozentes. Es ist vielleicht auch anpassungsfähiger an gegebene Situationen. Hingegen hat das Ziehen der Abstandslinien den Vorzug der größeren Anschaulichkeit, denn die innerhalb und außerhalb des rechnerischen Wegeabstandes liegenden Flächen werden im Kartenbild ausgewiesen, ebenso Doppel- und Mehrfacherschließungen.

Unabhängig von der Methode der Bestimmung der mittleren Transportentfernung ist, um der Wirklichkeit möglichst nahe zu kommen, noch ein weiterer Gesichtspunkt zu beachten. Bisher wurde unterstellt, daß das Rücken geradlinig und senkrecht zur Straße erfolgt. Der tatsächliche Rückeweg verläuft aber meist in einem spitzen Winkel zur Straße. Dadurch ergibt sich eine verlängerte Rückedistanz. Unterstellt man, nach einem Vorschlag von Volkert und Sundberg, daß das Holz im Mittel unter einem Winkel von 45° zur Straße transportiert wird, eine Richtung, die neuerdings bei der Planung von Feinerschließungsnetzen zugrunde gelegt wird, dann ist die senkrecht zur Straße verlaufende Transportentfernung mit dem Faktor $\sqrt{2}$ zu multiplizieren. Die so gefundene Strecke sei als «tatsächliche» Transportentfernung TE_t bezeichnet.

$$TE_t = \frac{250\,000 \cdot \sqrt{2}}{WD \cdot E}$$

Es muß in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen werden, daß die von uns angewendete Multiplikation der mittleren Transportentfernung mit $\sqrt{2}$ ein sehr vereinfachtes Verfahren darstellt, um die Abweichungen der wirklichen Transportentfernung von der geraden und rechtwinklig zur Straße verlaufenden Transportstrecke zu berücksichtigen. Segebaden hat dafür einen besonderen Korrektionsfaktor unter Berücksichtigung der Neigung entwickelt und dessen mögliche Größen in umfangreichen empirischen Untersuchungen bestimmt. Er berücksichtigt damit die Abweichung der wirklichen Transportstrecke von der Norm in der horizontalen und vertikalen Richtung.

Für das mehrfach zitierte Beispiel WD = 40 m/ha, E = 75 errechnet sich für TE_t ein Wert von 118 m; gegen 83,3 m bei rechtwinkliger Transportrichtung und 62,5 m ohne Berücksichtigung des Erschließungsprozentes.

Die oben angegebene Formel kann auch nach WD aufgelöst werden. Sie lautet dann:

$$WD = \frac{250\,000 \cdot \sqrt{2}}{TE_t \cdot E}$$

Damit ist es möglich, die tatsächliche Wegedichte zu bestimmen, die für eine wünschenswerte mittlere Transportentfernung und bei Unterstellung eines erreichbaren Erschließungsprozentes notwendig ist. Ein Beispiel:

$$TE_t = 100 \text{ m}$$
$$E = 75\,\%$$
$$WD = 47{,}25 \text{ m}$$

Würde man nach der Formel für das Idealmodell ohne Berücksichtigung des Erschließungsprozentes und des Faktors $\sqrt{2}$ rechnen, so ergäbe sich eine Wegedichte von nur 25 m/ha. Mit Hilfe des Erschließungsprozentes und des Faktors $\sqrt{2}$ können also die auf einem idealen Erschließungsmodell aufgebauten mathematischen Beziehungen zwischen Wegedichte und Transportentfernung den tatsächlichen Verhältnissen besser angepaßt werden.

Diese Beziehungen sind für die Erschließungsprozente 65, 70, 75 und 80 in Abbildung 9 graphisch aufgetragen. Aus ihr kann für eine gegebene Wegedichte und ein bestimmtes Erschließungsprozent die zugehörige tatsächliche Transportentfernung abgelesen werden. Das ist unseres Erachtens eine für die Praxis sehr anschauliche und wichtige Kennzahl für den Stand der Erschließung.

Die Herleitung des Erschließungsprozentes und der mittleren Transportentfernung beruht auf schematischen und vereinfachenden Unterstellungen. Ohne Rücksicht auf die Geländegestalt werden die Erschließungsbänder über die Karte gelegt oder die Transportentfernungen aus dem Raster abgegriffen. Das kann im Hochgebirge aus den gleichen Gründen, die dort die Anlage von Wegenetzen erschweren, zu Erschließungszahlen führen, die

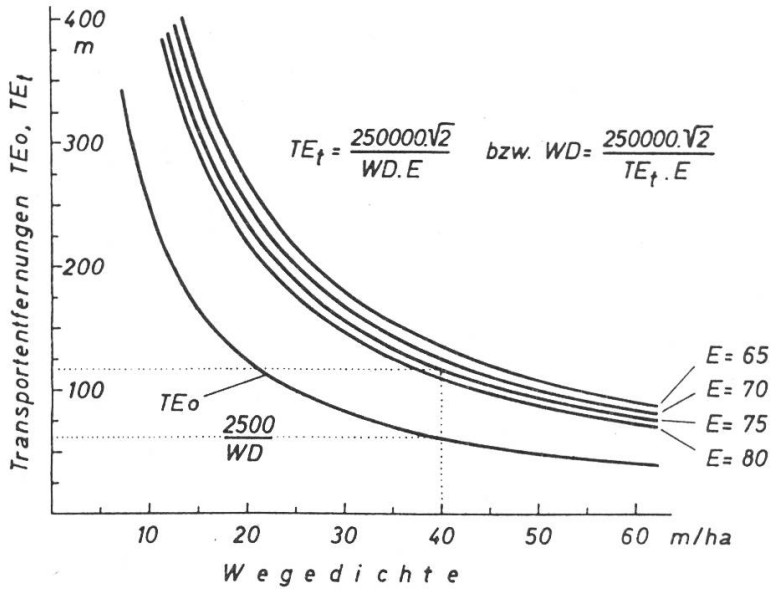

Abbildung 9

den tatsächlichen Gegebenheiten nicht voll entsprechen, ähnlich wie Schichtlinienkarten mit großem Schichtabstand das Feinrelief von Gebirgsgelände nicht vollkommen darzustellen vermögen. Aber solche Vereinfachungen sind weder bei der Charakteristik von Erschließungsnetzen noch bei der Geländedarstellung auf Karten zu umgehen. Es ist einfach unmöglich, die Vielfalt der Formen zu erfassen und wiederzugeben.

Und so darf abschließend festgestellt werden: Das Erschließungsprozent und die aus ihm und der Wegedichte abgeleitete mittlere Transportentfernung erweisen sich als geeignete Kennzahlen für den Grad der Erschließung von Forstbetrieben durch autofahrbare Wege. Sie ergänzen die Wegedichtezahl, indem sie – über diese reine Durchschnittsgröße hinausgehend – die jeweils besondere Erschließungssituation eines untersuchten Betriebes oder Waldkomplexes besser zu kennzeichnen vermögen.

Résumé

Index d'efficacité d'un réseau de desserte par chemins carrossables

La bibliographie forestière fait état dès la fin du XIXe siècle de la *densité routière* comme indice de dévestiture; on la définit aujourd'hui comme étant la longueur des routes carrossables rapportée à la surface boisée. Nombre-guide dans l'établissement des projets généraux, elle caractérise également le degré de desserte de chaque entreprise et peut servir de base de comparaison des conditions routières de diverses zones de végétation ou à l'intérieur d'un vaste district administratif. La relation entre densité routière et espacement des chemins est simple. L'auteur montre en se basant sur quelques exemples schématiques à quel point peut différer l'efficacité de réseaux de même densité. Cette dernière ne suffit donc pas à définir un réseau; l'adjonction d'un facteur supplémentaire devrait favorablement en améliorer le pouvoir révélateur: c'est *l'index de dévestiture relative,* qui exprime (en %) la part de surface de l'entreprise réellement comprise dans l'écartement des chemins.

Cet index a pris des valeurs comprises entre 60 et 80% lors de l'examen d'un assez grand nombre d'entreprises forestières de plaine, de transition et de montagne. Il apparaît que des valeurs inférieures à 60% dénotent une desserte nettement insuffisante, alors que situé entre 75 et 80% l'index témoigne de conditions très favorables.

L'auteur propose la combinaison de la densité routière et de l'index de dévestiture relative en un facteur unique. La distance moyenne effective de débardage pour une entreprise donnée, valeur très représentative en pratique, peut être dérivée directement de l'index de dévestiture relative à l'aide d'une représentation graphique établie expérimentalement. *Traduction: J.-F. Matter*

Literaturhinweise

Beyer, M.: Das Wegnetz im Ternovanerwalde. Centralblatt für das gesammte Forstwesen, 17. Jg., S. 333–346, 1891

Kennel, H.: Wegedichte als Maßstab? Allg. Forstzeitschrift, 16. Jg., S. 722–724, 1961

Krebs, E.: Grundsätzliches zum Waldstraßenbau. Schweizerische Zeitschr. f. Forstwes., S. 312–319, 1944

Larsson, G.: Wirtschaftliche Berechnungen des optimalen Verkehrsnetzes im Walde. Forstarchiv, 30. Jg., S. 154–157, 1959

Lebrun, R.: Wegebauarbeiten in der modernen Forstwirtschaft. Allg. Forstzeitschrift, 16. Jg., S. 362–368, 1961

Segebaden, G. v.: Studies of Cross-Country Transport Distances and Road Net Extension. Studia Forestalia Suecica, Nr. 18, 1964

Sundberg: Bericht des Symposiums on the Planning of Forest Communication Networks. Genf, August 1963

Volkert, E.: Betriebswirtschaftliche Gesichtspunkte bei der Gestaltung des Waldwegenetzes. Allg. Forst- u. Jagdztg., 130. Jg., S. 110–117, 1959

Waldwegebau und Waldertrag, in: Die forstlichen Verhältnisse der Schweiz. Zürich, 2. Aufl., 1925, S. 208–218