

# Der Erschließungskoeffizient, eine Kennzahl zur Beurteilung von Waldwegenetzen und seine Anwendung bei Neuplanungen

Von K. LÜNZMANN

*Aus dem Institut für forstliche Arbeitswissenschaft  
der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft in Reinbek*

## Das Modell als Untersuchungsobjekt

Untersuchungen an Modellen haben den Vorteil, einzelne Einflußgrößen beliebig zu variieren und auszuschalten. Dadurch ist es möglich, die Zusammenhänge der Faktoren untereinander und ihre Einwirkung auf das Ganze grundsätzlich zu klären. Es lassen sich mit Hilfe von Modellen Erkenntnisse gewinnen und Regeln aufstellen, die auch für solche Forstbetriebe gelten, deren Erschließungsmöglichkeiten erheblich vom Modellfall abweichen.

## Der Erschließungskoeffizient, ein Bewertungsmaß

Durch den Begriff der „Wegedichte“ wird das Verhältnis der gesamten Wegelänge zur Waldfläche angegeben und auf die Einheit 1 Hektar bezogen. Es handelt sich hierbei nur um eine quantitative Angabe. Um auch die Güte der Aufschließung durch das Wegenetz zu prüfen, muß man zusätzlich nach dem erreichten Aufschließungserfolg fragen, der durch die durchschnittliche Rückeentfernung ausgedrückt werden kann. Bei gleicher Wegedichte und einem entsprechend gleichen finanziellen Aufwand kann ein Waldgebiet gut, aber auch schlecht erschlossen sein, wenn die Verteilung der Wege über die Fläche mehr oder weniger günstig vorgenommen wurde.

Von mehreren Autoren wurden in den letzten Jahren zusätzliche „Kennzahlen“ aufgestellt, die die Wirkung des Wegenetzes auf das Rücken einschließen (1, 4, 7). Sowohl KENNEL (3) als auch BACKMUND (1) ziehen parallel zu den Wegen Linien gleicher Rückeentfernung, und sie bezeichnen die so umrandeten Flächen als „erschlossen“. Im Idealfall müßten sich die so entstandenen Flächen nur berühren und parallel zueinander verlaufen. Auf Grund der Topographie und um die Abfuhr zu ermöglichen, wird es sich nie vermeiden lassen, daß bestimmte Flächenteile mehrfach erfaßt werden, z. B. durch Verbindungswege. Andere Flächenanteile liegen dagegen außerhalb der Erschließungsbänder. BACKMUND vergleicht die Größe der Fläche, die von den Erschließungsbändern erfaßt wird, mit der des ganzen Waldgebietes und nennt das Verhältnis „Erschließungsprozent E“. Wegedichte und Erschließungsprozent ergeben die „Erschließungszahl“.

VON SEGBADEN (7) schlug zur gleichen Zeit ein anderes System vor. Er ermittelte für das vorhandene Wegenetz eines Bestandes die durchschnittliche Rückeentfernung durch Stichproben und vergleicht sie ebenfalls mit dem Modell eines Idealfalls. Das Verhältnis zwischen tatsächlicher durchschnittlicher Rückeentfernung und jener des Idealmodells wird von ihm als „Korrektionsfaktor K“ bezeichnet.

Beide Meßgrößen, Korrektionsfaktor und Erschließungsprozent, stehen in einem unmittelbaren mathematischen Zusammenhang; sie sind reziprok. Beide Auffassungen lassen sich daher zusammenfassen.

### Definition des Erschließungskoeffizienten

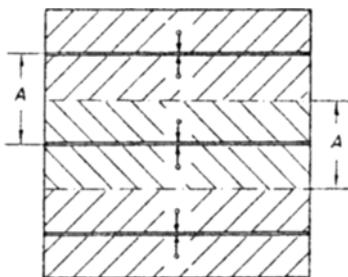
Wird ein Waldgebiet durch parallele Wege erschlossen, sollte sich die Fläche aus gesamtter Wegelänge  $\times$  Wegeabstand mit der Gesamtfläche decken. Stellt man sie, wie in der oberen Formel (F 1) der Abb. 1 gegenüber, so ist ihr Verhältnis gleich 1. Dabei sind Wegeabstand und Abstand der Transportgrenzen gleich.

Einleitend wurde bereits der Begriff der Wegedichte definiert:

$$\text{Wegedichte} = \frac{\text{Gesamte Wegelänge}}{\text{Länge} \times \text{Breite der Fläche}} \quad (\text{F } 4)$$

Aus Dimensionsgründen muß der mathematische Zusammenhang

$$\text{Wegedichte (m/ha)} \times \text{Wegeabstand (m)} = 10\,000 \text{ m}^2/\text{ha} \quad (\text{F } 5)$$



$$K_e = \frac{\text{Ges. Wegelänge (m)} \times \text{Wegeabstand (m)}}{\text{Länge (m)} \times \text{Breite (m) der Fläche}} \quad (\text{F } 1)$$

$$K_e = \frac{\text{Wegedichte (m/ha)} \times \text{durchschn. Ruckeentfernung (m)}}{2500 \text{ (m}^2/\text{ha)}} \quad (\text{F } 2)$$

$$K'_e = \left( \frac{D_w \cdot E_d}{2500} - 1 \right) \cdot 100 (\%) \quad (\text{F } 3)$$

Abb. 1. Definition des Erschließungskoeffizienten

sich das Idealmodell nie verwirklichen lassen, da mindestens ein Verbindungsweg angelegt werden muß und sich „Überdeckungen“ zwangsläufig ergeben (Modell 3 bis 9; Abb. 3).

Der Erschließungskoeffizient  $K_e$  wird somit auf Grund der Wegenetzgestaltung stets von 1 abweichen. Diese prozentuale Abweichung  $K'_e$ , untere Formel (F 3), gibt an, um wieviel mehr Wege gebaut wurden bzw. um wieviel länger gerückt werden muß, als es im Idealfall erforderlich wäre.

Die Kennzahl  $K_e$  ist ein Wert, der die geometrische Güte der Wegenetzplanung kennzeichnet. Sie ist allgemein anwendbar, da sie nicht von subjektiven Größen, z. B. einer gewünschten maximalen Ruckeentfernung, ausgeht. Ein Wegeabstand von 250 m, entsprechend 40 m je ha, wie er in Deutschland angestrebt und zum Teil auch erfüllt

herangezogen werden. Bei beidseitigem Rücken entspricht der Wegeabstand  $A_w$  der vierfachen durchschnittlichen Ruckeentfernung  $E_d$ . In der mittleren Formel (F 2) der Abb. 1 werden die quantitativen und die qualitativen Größen der Wegenetzplanung multipliziert. Im Idealmodell haben sie den Wert  $2500 \text{ m}^2/\text{ha}$ , und der volle Bruch ergibt 1. Die mittlere Formel stellt die Definition des Erschließungskoeffizienten dar. In Kurzform

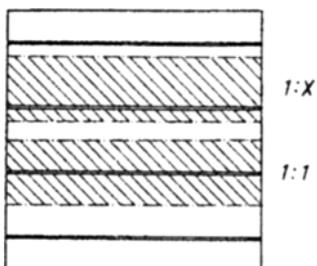
$$K_e = \frac{D_w \times E_d}{2500} \quad (\text{F } 6)$$

In den Modellen 1 und 2 (Abb. 3) wird der Idealfall dargestellt. Selbst in der Ebene wird

ist, liegt insbesondere in den Tropen weit außerhalb des Bereichs wirtschaftlicher Möglichkeiten. Eine feste Zahl für den Wegeabstand bzw. die damit verbundene Rückentfernung hat noch einen weiteren Nachteil, denn nur in seltenen Fällen werden die Ränder eines Bestandes parallel sein. Je nach der Breite eines Bestandes ist bei gleicher Anzahl an Wegen deren Abstand zu verändern.

### Korrektur des Erschließungskoeffizienten

Nur bei beidseitigem Rücken mit gleichen Rückentfernungen kann der Beiwert den Wert 1 erreichen. Wird einseitig gerückt, z. B. mit Riesen, nimmt  $K_e$  im Grundmodell den Wert 2 an, da die durchschnittliche Rückentfernung dem halben Wegeabstand entspricht.



Um allen Möglichkeiten des beidseitigen Rückens gerecht zu werden, muß zunächst die durchschnittliche Rückentfernung mit Hilfe der Formel der Abb. 2 bestimmt werden.  $1:X$  ist hierin das Verhältnis der Transportgrenzen. Der Koeffizient wird dann für Grundmodelle einen Wert zwischen 1 und 2 erreichen. Die untere Formel der Abbildung (F 8) zeigt, daß unabhängig von der Wegenetzgestaltung, nur auf Grund der Verteilung der Rückrichtung, der Koeffizient auch als das Verhältnis von tatsächlicher vierfacher durchschnittlicher Rückentfernung zum Wegeabstand dargestellt werden kann.

$$E_d = \frac{(X^2 + 1)}{2(X + 1)^2} \cdot A_w \quad (F 7)$$

$$K_e = \frac{4 E_d}{A_w} \quad (F 8)$$

Abb. 2. Korrektur des Erschließungskoeffizienten bei ungleicher Rückentfernung

Über die forstliche Erschließung des Bayerischen Waldes im Laufe der letzten 20 Jahre gibt HAUBOLD die Wegedichte und die durchschnittliche Rückentfernung an (2):

Jahr	Wegedichte	Durchschnittliche Rückentfernung	Errechneter Erschließungskoeffizient
1949	8,5 m/ha	620 m	2,108
1957	13,6 m/ha	380 m	2,067
1966	21,3 m/ha	260 m	2,215

### Berechnung des Erschließungskoeffizienten bei Neuplanungen

Bei den bisherigen Arbeiten über Kennzahlen wurde nur das bereits vorhandene Wegenetz berücksichtigt, nicht aber die Planung einer Neuerschließung. Nach den Formeln 1–3 erreicht die Kennzahl dann ihren kleinsten Wert, wenn das Produkt aus Wegedichte mal durchschnittlicher Rückentfernung zum Minimum wird.

An Hand von Modellen soll überprüft werden, welchen Einfluß die Verbindungswege und deren Einmündungswinkel haben und wie ein Wegenetz am günstigsten ausgelegt werden soll. Die Transportgrenzen, die Trennlinien der Rückrichtungen, bilden die Winkelhalbierenden. Entsprechend kann die Gesamtfläche in Teilflächen gleicher Rückrichtung aufgelöst und die Summe der Produkte aus Größe der Teilflächen mal

durchschnittlicher Rückeentfernung je Teilfläche gebildet werden (Abb 4). Durch Differentiation dieser Summe erhält man den Wegeabstand  $A_w$ , der für die Gesamtfläche die kleinste durchschnittliche Rückeentfernung erzielt (Formeln 9 und 10):

$$A_w = n \cdot L \cdot \sin \alpha - \sqrt{(n \cdot L \cdot \sin \alpha)^2 - B \cdot L \cdot 2 \sin \alpha} \quad (F 9)$$

$$E_d = \frac{B}{4} - \frac{(n-1) A_w}{4} \left[ 2 - \frac{n \cdot A_w}{B} + \frac{A_w^2}{3 \cdot B \cdot L \cdot \sin \alpha} \right] \quad (F 10)$$

$n$  = Anzahl paralleler Erschließungswege  
 $L$  = Länge der Erschließungsfläche (km)  
 $B$  = Breite der Erschließungsfläche (km)  
 $\alpha$  = Einmündungswinkel

Formeln 9 und 10. Wegeabstand und Rückeentfernung eines Wegenetzes mit einem Verbindungsweg

Die durchschnittliche Rückeentfernung für die Gesamtfläche läßt sich nach der unteren Formel 10 errechnen.

Der Wegeabstand ist bei gleicher Wegezahl und Flächenbreite vom Einmündungswinkel abhängig. Das bedeutet, daß die Wege an den Grenzen des Bestandes nicht mit dem halben Wegeabstand anzulegen sind, sondern in einer Entfernung von

$$a = \frac{B - (n-1) A_w}{2} \quad (F 11)$$

Wie das Modell 9 (Abb. 3) zeigt, ist es nicht erforderlich, die Wege bis an den Bestandesrand heranzuführen. Wirtschaftlicher ist es, sie im Abstand von  $1/2 A_w$  mit einem Wendepfad vorher enden zu lassen. Der Abstand paralleler Wege bei kleinster durchschnittlicher Rückeentfernung auf der ganzen Fläche und Ende an den Grenzen in einer Entfernung des halben Wegeabstandes kann wie folgt berechnet werden:

$$A_w = \frac{2n(n-1) \cdot L}{1 - (3 \cdot \sqrt{2-4}) (n-1)} - \sqrt{\left[ \frac{2n(n-1) \cdot L}{1 - (3 \cdot \sqrt{2-4}) (n-1)} \right]^2 - \frac{4(n-1) \cdot B \cdot L}{1 - (3 \cdot \sqrt{2-4}) (n-1)}} \quad (F 12)$$

Im Rahmen eines Fehlers von weniger als 0,5% kann diese Formel vereinfacht werden (F 13).

$$A_w = \frac{n(n-1) \cdot L}{0,12(5-n)} \pm \sqrt{\left[ \frac{n(n-1) \cdot L}{0,12(5-n)} \right]^2 - \frac{(n-1) \cdot B \cdot L}{0,06(5-n)}} \quad (F 13)$$

$$E_d = \frac{B}{4} - \frac{n-1}{2} A_w + \frac{n(n-1)}{4B} A_w^2 - \frac{0,01(5-n)}{B \cdot L} A_w^3 \quad (F 14)$$

Formeln 13 und 14. Wegeabstand und Rückeentfernung eines gabelförmigen Wegenetzes

Die Benutzung der genauen Formel wird nur erforderlich, wenn mit  $n =$  fünf Wegen gerechnet werden muß.

Die entsprechende Länge der durchschnittlichen Rückeentfernung für das gabelförmige Wegenet, Modell 9 und Abb. 4, mit verkürzten Wegen wird unter den gleichen Bedingungen nach der unteren Formel ermittelt.

Mit Hilfe dieser Berechnungsgrundlagen wurden für die einzelnen Modelle die Werte ermittelt und in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Tabelle 1  
Erschließungskoeffizienten für Wegenetzmodelle der Größe 1 km × 1 km

Modell . . . . .	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Wegeabstand $A_w$ (m) .	—	333	—	354	365	382	354	500	336
Abstand von der Waldgrenze $a$ (m) . . . . .	500	167	500	146	135	118	146	0	164
Wegedichte $D_w$ (m/ha)	10,0	30,0	20,0	37,1	40,3	44,6	37,1	60,1	29,5
Durchschnittliche Rückentfernung auf der ganzen Fläche $E_d$ (m)	250	83,3	167	76,7	73,4	68,3	80,3	83,3	83,6
Erschließungskoeffizient $K_e$ . . . . .	1,00	1,00	1,34	1,14	1,18	1,22	1,20	2,00	0,98
Mehraufwand $K'_e$ ‰ .	0,0	0,0	+34	+14	+18	+22	+20	+100	—2

### Einflußfaktoren des Erschließungskoeffizienten

Die Richtung des Verbindungsweges hat auf den Koeffizienten einen großen Einfluß. Die Modelle 4, 5 und 6 unterscheiden sich durch den Einmündungswinkel. Je kleiner der Winkel, um so größer muß der Wegeabstand sein und um so näher müssen die

äußeren Wege an die Bestandesgrenze verlegt werden. Der unvermeidliche Mehraufwand  $K'_e$  beträgt bei einem Winkel von  $90^\circ$  nur 13,7 ‰, während er bei  $30^\circ$  einen solchen von 21,8 ‰ erreicht, obwohl die durchschnittliche Rückentfernung von 76,7 auf 68,3 abnimmt. Wenn die örtlichen Gegebenheiten es zulassen, sollten Verbindungswegen im rechten Winkel einmünden oder wenigstens ihre Haupttrichtung senkrecht zu den parallelen Erschließungswegen verlaufen.

Nach der Lage des Verbindungsweges unterscheiden sich die Modelle 7 und 4 (M 7, M 4). Bei M 7 befindet sich der Verbindungsweg unmittelbar an der Waldgrenze, so

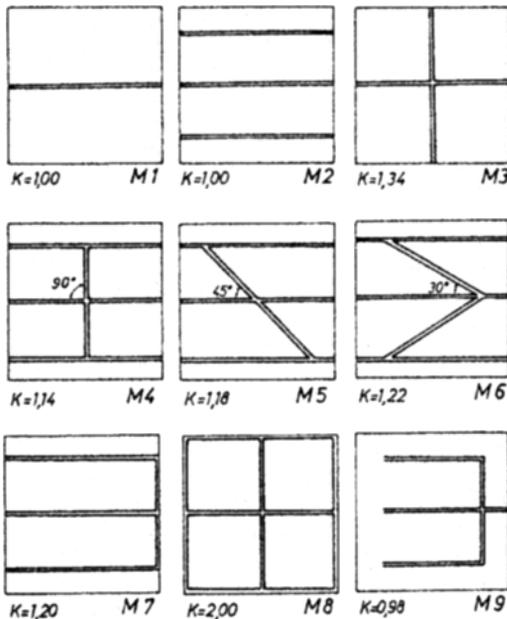


Abb. 3. Modelle einer theoretischen Planung von Waldwegen

daß nur einseitig gerückt werden kann. Das Verhältnis des Mehraufwandes beträgt 19,5 % zu 13,7 (Tab. 1). Ein Verbindungsweg muß stets so angelegt sein, daß er voll zum Rücken herangezogen werden kann. Er muß mindestens einen Abstand vom Bestandsrand von der doppelten durchschnittlichen Rückeentfernung haben. Die ungünstigste Erschließung wird im Modell 8 dargestellt. Trotz gleicher durchschnittlicher Rückeentfernung würde die doppelte Wegelänge gegenüber dem „Idealfall“ des Modells 2 gebaut. Der Mehraufwand  $K_e$  beträgt 100 % und der Erschließungskoeffizient hat den Wert 2,00.

Die nach den Formeln 9 und 12 aufgestellte Tabelle 2 zeigt, daß bei einer Querverbindung, entsprechend den Modellen 4 bis 6, mit der Zahl der parallelen Wege der Koeffizient  $K_e$  bzw. der Mehraufwand  $K_e$  fällt. Der Einfluß ist bei gleicher Flächengröße unerheblich. Der Beiwert sinkt bei rechtwinkliger Verbindung um 2 bis 3 %, wenn statt zwei vier Wege gebaut würden.

Nimmt bei gleicher Zahl paralleler Wege die Flächenbreite zu, steigen Koeffizient und Mehraufwand. Hat man statt einer Fläche von 800 m Breite eine solche von 1,2 km, wächst die Kennzahl um 5 bis 7 %.

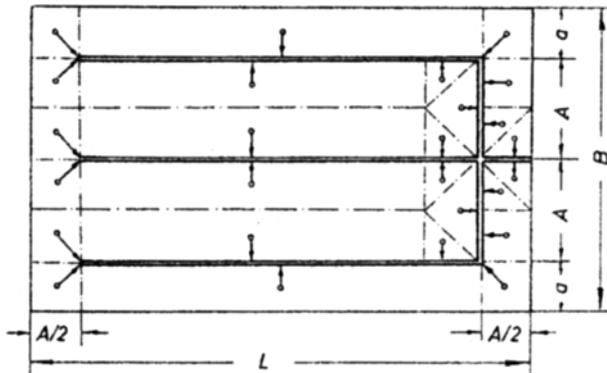


Abb. 4. Modell einer optimalen Erschließung

Je länger die Fläche, die durch ein Wegenetz mit einer Querverbindung erschlossen ist, um so geringer wird der Mehraufwand, der durch die Querverbindung erforderlich wird. Dieser Einfluß ist erheblich. Man sollte bei der Planung Querverbindungen auf das für den Transport unbedingt erforderliche Maß beschränken.

Die gabelförmige Anordnung der Wege des Modells 9 weist die geringste Wegedichte auf, da die Wege nicht bis an den Bestandesrand geführt wurden. Trotzdem konnte fast der gleiche Erschließungserfolg wie im Modell 2 mit 83,6 m, gegenüber 83,3 m, durchschnittlicher Rückeentfernung erzielt werden. Der Erschließungskoeffizient  $K_e$  ist um 2 % kleiner als 1. Die Abweichungen vom Idealmodell 2 in bezug auf Wegeabstand und Abstand der Außenwege vom Bestandesrand betragen nur wenige Meter.

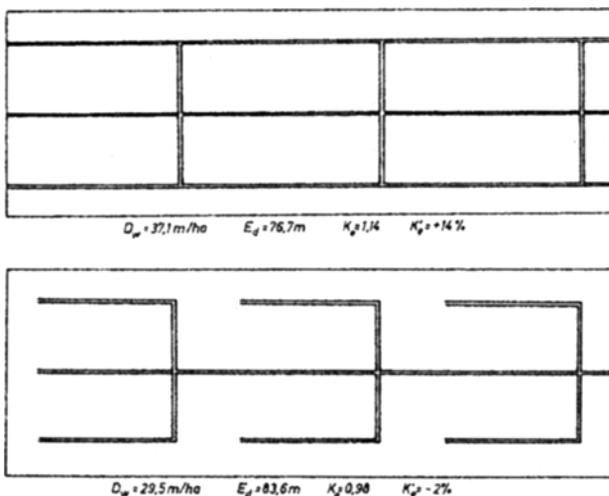


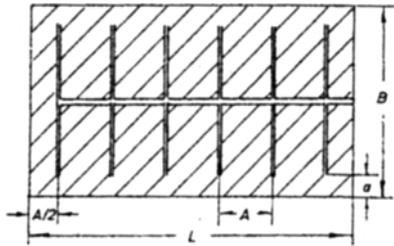
Abb. 5. Wegenetzmodelle langer Flächen



Für eine langegezogene Fläche, z. B. 3 km × 1 km, bietet sich daher die in Abb. 5, unten, gezeigte Anordnung eines Wegenetzes an. Es können dadurch mehr als 20% an Wegen gespart werden. Die für die ganze Fläche geltende durchschnittliche Rücke-

entfernung nimmt aber nur um 9% gegenüber dem Modell mit durchgehenden Wegen zu (Abb. 5, oben).

Beim *fischgrätenförmigen Wegenetz* hängt der Wegeabstand  $A_w$  von der Länge der Fläche  $L$  und der Anzahl der Zubringerwege ab. Variiert werden kann dagegen die Länge des Zubringers, der mit einem Wendepunkt vor der Grenze der Fläche enden sollte. Benutzt man das Verhältnis von Grenzabstand  $a$  zum Wegeabstand  $A_w$  als Veränderliche, so kann, entsprechend der Formel der Abb. 6, die für den Erschließungskoeffizienten erforderliche durchschnittliche Rückeentfernung und Wegedichte errechnet werden. Für einzelne Modelle wurden sie ermittelt



$$V = a \cdot A_w \quad (F 15)$$

$$E_d = \frac{L}{n} \left[ 25 - \frac{4L(2n-1)}{n^2 B} + \frac{50LV}{n \cdot B} (\sqrt{4V^2 + 1} - 1) \right] \cdot 10 \quad (F 16)$$

$$D_w = \left[ \frac{n}{L} + \frac{2n-1}{2n \cdot B} - \frac{2V}{B} \right] \cdot 10 \quad (F 17)$$

Abb. 6. Rückeentfernung und Wegedichte eines fischgrätenförmigen Wegenetzes

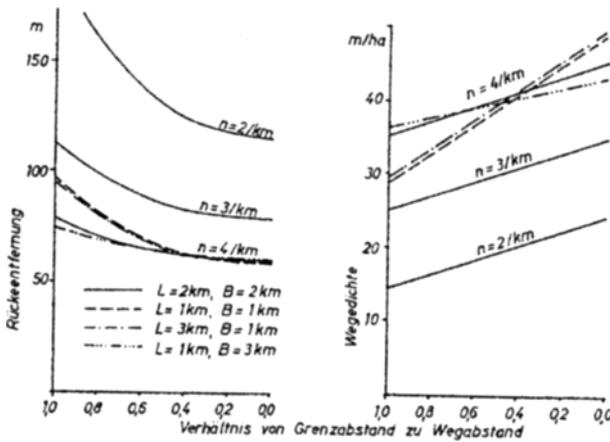


Abb. 7. Rückeentfernung und Wegedichte in Abhängigkeit von der Veränderung des Grenzabstandes

und in Abb. 7 graphisch dargestellt. Das Verhältnis  $V$  hat den Wert 0, wenn der Weg bis an die Grenze herangeführt wird. Es beträgt 1, wenn Grenzabstand und Wegeabstand gleich groß sind. Wie aus dem Diagramm (Abb. 7) entnommen werden kann, ist die durchschnittliche Rückeentfernung  $E_d$  am kleinsten, wenn das Wegenetz bis an die Flächengrenze ausgebaut wird. Das bedeutet aber, daß gleichzeitig das längste Wegenetz erforderlich ist. Nach der Definition des Erschließungskoeffizienten erhält man das günstigste Ergebnis, wenn das Produkt beider Kennwerte ein Minimum wird. Aus dem Diagramm, Abb. 8, ist ersichtlich, daß man diesen Fall dann erreicht, wenn die Zubringerwege mit dem halben Wegeabstand  $A_w$  vor der Grenze enden. Dabei spielt die Form der Fläche fast keine Rolle.

Vergleicht man die gabelförmige und fischgrätenförmige Anordnung der Zubringerwege, ist festzustellen, daß ein gabelförmiges Wegenetz (Abb. 4 und 5) die optimale Erschließung darstellt, da seine Erschließungskoeffizienten einige Prozente kleiner sind. Für beide Ausbaumformen gilt die Regel, daß die senkrechte Einmündung am vorteilhaftesten ist.

Die Rückrichtung, ob senkrecht oder schräg zu den Erschließungslinien, beeinflusst die geometrische Anlage des Erschließungsnetzes nicht. Die kürzeste Entfernung erhält man, wenn senkrecht zu den Wegen gerückt wird. Die durchschnittlichen Rückentfernungen der vorliegenden Berechnungen müssen mit dem Faktor  $\sqrt{2}$  multipliziert werden, wenn unter einem Winkel von  $45^\circ$  zu den Wegen gerückt wird. Sie werden dann um ca. 41 % länger.

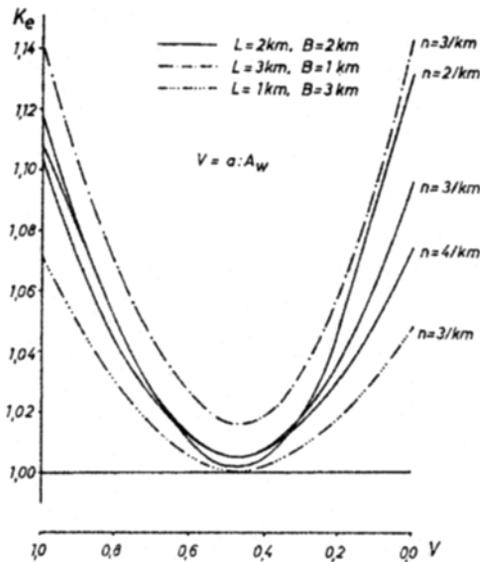


Abb. 8. Erschließungskoeffizient in Abhängigkeit von der Veränderung des Grenzabstandes

### Schätzung der erforderlichen Anzahl an Wegen

Bei der Planung eines Waldwegenetzes, vor allem in unerschlossenen Gebieten, wie z. B. in den Tropen, muß zunächst entschieden werden, wie dicht das Netz sein soll, d. h. wieviel Wege gebaut werden müssen. Die Summe der Rückkosten und die Wegebau- und -unterhaltungskosten sollten ein Minimum erreichen. Ein geringer Ausbau erfordert hohe Rückkosten, bzw. ein dichtes Wegenetz gestattet kürzere Rückentfernungen.

Rechnerisch ist dieses Problem schwierig zu erfassen. Bei einer Rentabilitätsprüfung können zunächst die beiden Kostengruppen voneinander getrennt und die Zahl der Wege überschlägig auf Grund der Baukosten ermittelt werden. Die Baukosten belasten das Holz mit einem Anteil seines Verkaufspreises. Die Wegebaukosten sollen in Relation zu dem vorhandenen Bestand stehen.

$$10 \cdot n \cdot L \cdot K_e \cdot k_2 = L \cdot B \cdot M \cdot k_1 \quad (F 18)$$

Darin sind:

- n = Zahl der Wege
- L = Länge der Fläche (km)
- B = Breite der Fläche (km)
- $K_e$  = Erschließungskoeffizient
- M = Holzvorrat (fm/ha)
- $k_1$  = zulässige Belastung durch Wegebaukosten (DM/fm)
- $k_2$  = Wegebaukosten (DM/lfm)
- 10 = Dimensionskonstante

Ein Bestand mit wenig handelsfähigem Holz wird nur eine geringe Erschließung zulassen oder diese sogar aus wirtschaftlichen Gründen verbieten.

Die Zahl der Wege kann überschlägig ermittelt werden nach

$$n = \frac{B \cdot M \cdot k_1}{10 \cdot K_e \cdot k_2} \quad (F 19)$$

Mit dieser Formel lassen sich weitere Überprüfungen vornehmen, die in Beispielen dargestellt werden sollen:

*Beispiel 1:* Wieviel parallele Wege können gebaut werden?  $L = 2$  km;  $B = 1$  km;  $M = 300$  fm/ha;  $K_e = 1,0$ ;  $k_1 = 2,0$  DM/fm;  $k_2 = 15$  DM/lfm.

$$n = \frac{B \cdot M \cdot k_1}{10 \cdot K_e \cdot k_2} = \frac{1 \cdot 300 \cdot 2,0}{10 \cdot 1 \cdot 15,0} = 4$$

*Beispiel 2:* Beträgt der Vorrat nur 200 fm/ha, so wird das Holz bei gleicher Wegezahl höher belastet.

$$k_1 = \frac{10 \cdot n \cdot K_e \cdot k_2}{B \cdot M} = \frac{10 \cdot 4 \cdot 1 \cdot 15}{1 \cdot 200} = 3,0 \text{ DM/fm}$$

*Beispiel 3:* Wird das Wegenetz ungünstiger ausgelegt und der Koeffizient  $K_e$  erreicht 1,33, so wird die Belastung für das Holz

$$k_1 = \frac{10 \cdot n \cdot K_e \cdot k_2}{B \cdot M} = \frac{20 \cdot 4 \cdot 1,33 \cdot 15}{1 \cdot 200} = 4,00 \text{ DM/fm.}$$

*Beispiel 4:* Werden unter gleichen Bedingungen nur drei statt vier Wege gebaut, so sinkt die Belastung wieder auf 3 DM/fm bzw. es kann ein teureres Bauverfahren ausgeführt werden.

$$k_2 = \frac{k_1 \cdot B \cdot M}{10 \cdot n \cdot K_e} = \frac{4 \cdot 1 \cdot 200}{10 \cdot 3 \cdot 1,33} = 20 \text{ DM/lfm.}$$

Durch den Erschließungskoeffizienten  $K_e$  in der Formel 18 werden nicht nur die parallelen Wege erfaßt, sondern auch die Querverbindungen näherungsweise eingeschlossen. Der Ausbau eines Wegenetzes läßt sich auf Grund der genannten Formel auch nach der zulässigen Wegedichte ermitteln. Es besteht der mathematische Zusammenhang zwischen Wegedichte  $D_w$ , dem Holzvorrat  $M$  und den Kosten  $k_1$  und  $k_2$ :

$$D_w = M \cdot \frac{k_1}{k_2} \quad (\text{F } 20)$$

Die Formeln 13 und 20 lassen sich zusammenfügen zu:

$$D_w = M \cdot \frac{k_1}{k_2} = \frac{2500 \cdot K_e}{E_d} \quad (\text{F } 21)$$

Mit Hilfe dieser Zusammenhänge lassen sich wieder verschiedene Voraussagen machen, die bei Planungen entscheidend sein können. Wie groß wird die Belastung des Holzes durch den Wegebau bei einem vorhandenen Vorrat, einer gewünschten Rückeentfernung und der Qualität des Weges.

*Beispiel 5:*  $E_d = 83,6$  m;  $K_e = 0,984$ ;  $k_2 = 35,00$  DM/lfm;  $M = 250$  fm/ha.

$$k_1 = \frac{2500 \cdot K_e \cdot k_2}{M \cdot E_d} = 4,13 \text{ DM/fm}$$

Auf Grund des geringen Vorrates,  $M = 30$  fm/ha, wird man in den Tropen mit weiteren Rückeentfernungen,  $E_d = 200$  m, und einer geringeren Qualität des Weges,  $k_2 = 12$  DM/lfm, auskommen müssen.

$$\text{Beispiel 6: } k_1 = \frac{250 \cdot 1,25 \cdot 12}{30 \cdot 200} = 6,25 \text{ DM/fm.}$$

### Zusammenfassung

Durch den Begriff der „Wegedichte“ wird nur eine quantitative Aussage über ein Wegenetz gemacht. Der Aufschließungserfolg, ausgedrückt durch die durchschnittliche Rückeentfernung auf der ganzen Fläche, kennzeichnet dagegen die Güte der Planung. Beide Werte lassen sich zu einem Erschließungskoeffizienten vereinigen:

$$K_o = \frac{\text{Wegedichte} \times \text{durchschnittliche Rückeentfernung}}{2500} \quad (\text{F } 22)$$

Im Idealfall hat K den Wert 1 bei beidseitigem Rücken mit gleichen Rückeentfernungen und 2 bei einseitigem Rücken. Abweichungen zeigen den Mehraufwand an, der eingespart oder vermindert werden könnte. Parallele Wege eines Erschließungsnetzes müssen eine Verbindung untereinander haben, um Holz abfahren zu können. Dadurch wird die Wegedichte größer, ohne die Rückeentfernung wesentlich zu vermindern, so daß der Beiwert vom Idealfall abweicht.

An Hand von Modellen für die Wegenetzplanung wird gezeigt, welchen Einfluß die einzelnen Faktoren, wie Zahl der Wege, Länge und Breite der Fläche, der Einmündungswinkel und die Lage des Verbindungsweges haben. Mit Hilfe aufgestellter Formeln werden die günstigsten Wegeabstände bei kleinster durchschnittlicher Rückeentfernung errechnet und tabellarisch zusammengefaßt.

Nimmt die Zahl der Wege zu, fällt der Koeffizient nur gering. Sie steigt bei größeren Flächenbreiten und gleicher Wegezahl. Den größten Einfluß auf den Beiwert hat die Länge der Fläche, die durch die Querverbindung erschlossen wird und der Einmündungswinkel des Verbindungsweges. Man sollte so wenig wie möglich Querverbindungen herstellen und sie senkrecht zu den Hauptabfuhrrichtungen anlegen.

Gegenüber dem Wegenetz mit durchgehenden parallelen Wegen weist ein gabelförmiges Erschließungsnetz mit nur einem durchgehenden Hauptabfuhrweg die kleinste Kennzahl auf, die noch unter dem „Idealfall“ 1 liegen kann. Zur Berechnung von Wegeabstand und Rückeentfernung dieses Systems wurden gleichfalls die erforderlichen Formeln aufgestellt.

Zur überschlägigen Ermittlung der Zahl der Wege unter Berücksichtigung des Holzvorrates, der Wegebaukosten und der zulässigen Belastung des Holzes durch die Wegebaukosten wird eine weitere Formel unter Einschluß des Erschließungskoeffizienten aufgestellt. An Hand von Beispielen wird gleichfalls der Einfluß der einzelnen Faktoren aufgezeigt.

### Literatur

1. BACKMUND, F.: Kennzahlen für den Grad der Erschließung von Forstbetrieben durch autofahrbare Wege. *Forstw. Cbl.*, Hamburg, **85** (1966), 12, S. 342-354. — 2. HAUBOLD, E.: Die forstliche Erschließung des Bayerischen Waldes. *Holz-Zentralbl.*, Stuttgart, **93** (1967), 135, S. 2096. — 3. KENNEL, H.: Wegedichte als Maßstab? *Allg. Forstz.*, München, **16** (1961), 50, S. 722-724. — 4. LARSSON, G.: Wirtschaftliche Berechnung des optimalen Verkehrsnetzes im Walde. *Forstarchiv*, Hannover, **30** (1959), 8, S. 154-157. — 5. LEBRUN, R.: Wegebauarbeiten in der modernen Forstwirtschaft. *Allg. Forstz.*, München, **16** (1961), 23/24, S. 362-368. — 6. SACHS, W.: Wegedichte und Erschließungsprozent. *Forst- und Holzwirt*, Hannover, **23** (1968), 1, S. 6-7. — 7. SEGBADEN, G. v.: Studies of Cross-Country Transport Distances and Road

Net Extension. *Studia Forestalia Suecica*, Stockholm. 18 (1964), S. 8-67. — 8. VOLKERT, E.: Betriebswirtschaftliche Gesichtspunkte bei der Gestaltung des Waldwegenetzes. *Allg. Forst- und Jagdztg.*, Frankfurt/M. 130 (1959), 4/5, S. 110-117. — 9. Ders.: Wegenetzplanung im Walde. *Forst- und Holzwirt*, Hannover. 17 (1962), S. 4-9.

### III. BUCHBESPRECHUNGEN

**Ökologie der Wälder und Landschaften.** Herausgegeben von Prof. Dr. FRIEDRICH-KARL HARTMANN, Göttingen, Band 1.

**Waldgesellschaften des mitteleuropäischen Gebirgsraumes nördlich der Alpen.** Tabellen, Grundlagen und Erläuterungen. Von Prof. Dr. FRIEDRICH-KARL HARTMANN und Dr. GISELA JAHN, Hann.-Münden. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag 1967. Textteil: VIII, 636, Ganzleinen. Tabellenteil: 50 Tabellenausschlagtafeln sowie 2 Klimakarten in einem Kassettenband. Beide Bände zusammen in einem Schuber 148,- DM. Bei Verpflichtung zur Abnahme der Gesamtreihe Subskriptionspreis 128,- DM.

Mit der Darstellung von Kiefernbestandstypen hat F. K. HARTMANN 1928, also vor genau 40 Jahren, die Charakterisierung von Waldgesellschaften sozusagen vorbereitet und eingeleitet. Seitdem sind von ihm und aus dem von ihm geleiteten Institut zahlreiche Beiträge zu einer vergleichenden Waldgesellschaftslehre vorgelegt worden, die in ihrer Summe diesen Teil der Waldbaugrundlagen um neue Kenntnisse bereichert haben.

Angekündigt ist nun die Herausgabe eines dreibändigen Werkes über die „Ökologie der Wälder und Landschaften“. Band 1 befaßt sich mit den Waldgesellschaften des mitteleuropäischen Gebirgsraums nördlich der Alpen; er ist von HARTMANN und GISELA JAHN bearbeitet. Band 2 soll die Waldgesellschaften der hochmontanen und montanen Mittelgebirgslagen in ihrer Bedeutung für Forstwirtschaft und Landeskultur und Band 3 die Waldgesellschaften der niederen Mittelgebirgslagen in ihrer Bedeutung für Forstwirtschaft und Landeskultur behandeln. Band 1 liegt vor, Band 2 und Band 3 befinden sich in Vorbereitung.

Der erste Band „Waldgesellschaften des mitteleuropäischen Gebirgsraumes nördlich der Alpen“ umfaßt einen Textteil von 644 Seiten, dazu einen Tabellenteil mit rund 50 Tabellen, die auf etwa 12 qm ein riesiges Zahlenmaterial zugänglich machen. Man kann also von vornherein feststellen, daß der erste Band mit seinen Tabellen eine umfangreiche und für den Pflanzensoziologen sehr wertvolle Dokumentation darstellt. Der Textteil befaßt sich in der Hauptsache mit der Erläuterung der Lokalitäten und Standortverhältnisse der Aufnahmen. Zur richtigen Interpretation des Textes, der Tabellen und der dazugehörigen Erläuterungen muß der Leser mit den Grundlagen vertraut sein, die hinsichtlich der Waldgesellschaften 1959 von HARTMANN unter dem Titel „Naturnahe Waldgesellschaften Deutschlands in regionaler und standortsökologischer Anordnung“ veröffentlicht worden sind (*Grundlagen der Forstwirtschaft* — Verlag Schaper). HARTMANN weist darauf hin, daß sich sein Begriff der Waldgesellschaften weitgehend mit der Definition von ELLENBERG deckt, der die „Waldgesellschaft als eine gesetzmäßig von ihrer Umwelt abhängige, konkurrenzbedingte Kombination von Pflanzenarten der Baum-, Strauch-, Kraut-Moosschicht“ bezeichnet. Es kann sich bei der Waldgesellschaft sowohl um eine Assoziation als auch um eine Subassoziatio oder um eine Variante handeln. Im Anschluß an BRAUN-BLANQUET werden zu einer vollständigen Beschreibung verlangt: 1. die floristische nach der charakteristischen Artenkombination, 2. die systematische nach der Stellung im soziologischen System, 3. die synökologische nach den besonderen mitbedingenden Standortsfaktoren einschließlich der Konkurrenz, 4. die syngenetische nach den innewohnenden Entwicklungsgegebenheiten und 5. synchorologische nach ihrem Verbreitungsareal. Eine große Rolle spielen bei der Zusammenstellung der Stetigkeitstabellen vikariierende Assoziationen, die dann ausgeschieden werden, wenn in verschiedenen geographischen Räumen die charakteristische Artenverbindung wesentliche Änderungen erfährt oder neue Charakter- und Differentialarten hinzukommen oder ausfallen, wodurch jeweils die geographische, klimatische und florensgeschichtlich bedingte Selbständigkeit der Gesellschaft des Teilgebietes zum Ausdruck kommt.

Die Grenzen des mitteleuropäischen Gebirgsraums sind durch folgende Gebirgsstöcke gekennzeichnet: im Nordosten beginnend das Altwatergebirge, im Norden dann Riesengebirge,