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

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 129 (1978)

Heft: 6

Artikel: Die Schätzung der optimalen Dichte von Waldstrassen in traktorbefahrbarem Gelände (Kurzfassung)

Autor: Abegg, B.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-764362

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: 08.07.2025

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

Die Schätzung der optimalen Dichte von Waldstrassen in traktorbefahrbarem Gelände (Kurzfassung[1])

Von *B. Abegg*
(Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, 8903 Birmensdorf

Oxf.: 686.31

1. Einleitung

Die Bestimmung einer wirtschaftlich optimalen Wegedichte respektive eines optimalen Wegabstandes beschäftigt die an einer rationellen Waldbewirtschaftung interessierten Forstleute schon lange. So forderte der spätere Zürcher Oberforstmeister *Krebs* (Seite 319) bereits 1944:

«Es ist durch waldbaulich-arbeitstechnisch-waldwirtschaftliche Untersuchungen abzuklären, wie gross der Normalabstand der autofahrbaren Strassen (analog auch bei Schlittwegnetzen) ungefähr sein soll, als optimale Funktion zahlreicher gegebener, teils örtlich und zeitlich verschiedener und veränderlicher Faktoren wie Baukosten, Zuwachsverhältnisse, Wirtschaftsintensität, Holzpreise, Arbeitslöhne usw. Dieser Normalabstand gilt als wichtigste Grundlage, die vor der Inangriffnahme genereller Waldwegprojekte festzulegen ist.»

Seither fehlte es nicht an Versuchen, ein solches Optimum rechnerisch herzuleiten. In den meisten dieser Arbeiten wurden jedoch neben dem Aufwand für die Erstellung und den Unterhalt des Wegnetzes nur die Rückekosten einbezogen und der gesamte übrige Nutzen der Walderschliessung nicht berücksichtigt (zum Beispiel *Soom,* 1950, *Volkert,* 1956). Aus allen bisherigen Berechnungen resultierte ein optimaler Wegabstand über 400 m oder eine optimale Strassendichte unter 30 m'/ha.

Leibundgut (1961, 1971) stellt deshalb zu Recht fest, dass Walderschliessungsprobleme meist nur aus der Sicht der Holzernte behandelt und erforscht würden. Zumindest fehlen bis heute im mitteleuropäischen Raum Arbeiten, in welchen eine optimale Erschliessungsdichte beziehungsweise ein optimaler Strassenabstand unter ausreichender Berücksichtigung des gesamten Nutzens der Walderschliessung abgeleitet wird.

[1] Die vollständige Fassung der Arbeit wird in den Mitteilungen der Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Band 54 (1978) erscheinen.

Immerhin war man sich bei den Optimierungen meist bewusst, dass nicht der gesamte Nutzen der Walderschliessung berücksichtigt wurde. Im Ausland werden deshalb die Ergebnisse der vorhandenen Optimierungen zwar gutachtlich abgeändert, im Prinzip aber bei der Planung von Waldwegnetzen doch berücksichtigt.

Demgegenüber finden diese Ergebnisse in der schweizerischen Forstpraxis keine Anerkennung. Der notwendige Strassenabstand wird aufgrund der Erfahrung festgelegt (Leibundgut, 1961). Eine dichte Erschliessung wird im allgemeinen, ungeachtet ihrer Kosten, für eine naturnahe Waldbewirtschaftung als unerlässlich betrachtet. *Schädelin* wies aber bereits 1933 auf die Möglichkeit der Anlage von Rückegassen hin.

In der vorliegenden Arbeit wird deshalb erneut der Versuch unternommen, eine wirtschaftlich optimale Erschliessungsdichte zu berechnen. Im Gegensatz zu den bisherigen Arbeiten zu diesem Thema soll dabei der Nutzen der Erschliessung für die gesamte Waldbewirtschaftung quantifiziert und in die Rechnung einbezogen werden.

Für diese Optimierung wird vorausgesetzt, dass die intensive, in der Schweiz übliche waldbauliche Behandlung der Bestände — ungeachtet der Strassendichte — durch eine Feinerschliessung mit Rückegassen gewährleistet wird. Demgegenüber lag den bisher realisierten Erschliessungsnetzen die Idee zugrunde, dass das Holz vom Bestand ohne Feinerschliessung direkt zur Strasse gerückt werde, was zu den bisher angestrebten Strassendichten von 60 bis 100 m' pro ha führte.

Unsere Kalkulationen beschränken sich vorderhand auf traktorbefahrbares Gelände (Hangneigung 0—30 Prozent beim Abwärtsrücken, 0—20 Prozent beim Aufwärtsrücken). Als Fortsetzung der vorliegenden Arbeit wird eine Untersuchung über die wirtschaftliche Erschliessung von Hanglagen in Angriff genommen.

2. Untersuchungsmethode

Mit zunehmender Strassendichte steigt die sich aus dem Strassennetz ergebende Kostenbelastung, sinken hingegen die übrigen Kosten der Waldbewirtschaftung und ändern deren Erträge. Optimal ist die Strassendichte, wenn aus der Waldbewirtschaftung unter sonst gleichbleibenden Bedingungen nachhaltig der grösstmögliche Gewinn (respektive der kleinstmögliche Verlust) resultiert.

Während der Strassenbau eine einmalige Investition darstellt, fallen die Strassenunterhaltskosten und die übrigen, durch eine Verdichtung des Strassennetzes reduzierten Kosten der Waldbewirtschaftung jährlich oder periodisch an. Um diese Ausgaben vergleichbar zu machen, ist nach *Kroth* (1973)

ein Verfahren der dynamischen Investitionsrechnung anzuwenden. Im folgenden wird die Annuitätenmethode benützt; das heisst, die aus den Investitionen resultierenden Kosten werden gleichmässig der gesamten Nutzung während der Amortisationszeit des Strassennetzes belastet und den durch den Ausbau des Strassennetzes resultierenden Einsparungen und Mehrkosten gegenübergestellt.

Die Einsparungen und Mehrkosten müssen, der Amortisationszeit des Strassennetzes entsprechend, über einen sehr langen Zeitraum berücksichtigt werden. Dabei ist auch die zukünftige Kostenentwicklung zu berücksichtigen. Diese hängt in erster Linie vom zukünftigen Verlauf der Geldentwertung ab, welcher sich nicht voraussagen lässt. Wir legen deshalb allen Berechnungen den Geldwert *von 1975 zugrunde und berücksichtigen nur die reale Kostenentwicklung* (nominelle Kostenentwicklung abzüglich Teuerung).

Gemäss dem Statistischen Jahrbuch der Schweiz *(Eidg. Statistisches Amt)* und der Lohnstatistik des *Schweizerischen Verbandes für Waldwirtschaft* stiegen die Arbeiterlöhne von 1913—1975 real um durchschnittlich 2—3 Prozent pro Jahr. Bis etwa 1955 war die Steigerung etwas geringer, von etwa 1955—1975 wesentlich grösser; die gegenwärtige Rezession hat aber die Entwicklung wieder gebremst. Über die künftige langfristige Entwicklung der Löhne gehen die Meinungen weit auseinander.

Die Ausgaben der Forstbetriebe sind von 1913—1955 real annähernd gleich stark gestiegen wie die Arbeiterlöhne (Eidg. Statistisches Amt: Forststatistik), seit 1965 aber, offenbar als Folge der einsetzenden Rationalisierung, trotz stark steigenden Löhnen real nur noch sehr wenig angewachsen.

Für unsere Berechnungen nehmen wir an, dass die künftigen Reallohnsteigerungen ebenfalls durch Rationalisierung aufgefangen werden können; in diesem Fall kann die Optimierung aufgrund der Kosten des Jahres 1975 erfolgen. Abweichende Annahmen können aber in der Optimierung, separat für die einzelnen wiederkehrenden Kosten, ohne weiteres berücksichtigt werden.

Den Berechnungen werden die folgenden Lohnkosten (inklusive Sozialkosten) zugrundegelegt:

Waldarbeiter	Fr. 18.— pro Stunde
Revierförster	Fr. 23.— pro Stunde
Forstingenieur	Fr. 35.— pro Stunde

Sofern die Berechnungen der künftigen Einsparungen und Mehrkosten am heutigen Geldwert bemessen werden und die Inflation nicht berücksichtigt wird, ist die Verzinsung des investierten Kapitals nicht aufgrund des nominellen, sondern aufgrund des realen Zinsfusses (nomineller Zinsfuss abzüglich Teuerung) zu berechnen: Würde das Geld statt in Strassen in Wertpapieren angelegt, so müsste jener Teil des Zinses, welcher der

Inflationsrate entspricht, jedes Jahr wieder angelegt werden, damit der reale Wert des Guthabens erhalten bleibt (*Sieber,* 1974).

3. Aufwände und Erträge der Waldbewirtschaftung in Abhängigkeit von der Strassendichte

3.1 Amortisation und Verzinsung des in die Strassen investierten Kapitals

Die Walderschliessung mit Strassen erfordert meist beträchtliche Kapitalien. Durch den Einsatz dieser Mittel soll der Aufwand für die Waldbewirtschaftung dauernd gesenkt und der Ertrag im weitesten Sinn gesteigert werden. Die Lebensdauer einer ausreichend dimensionierten und gut unterhaltenen Strasse ist praktisch unbegrenzt. Hingegen kann eine Strasse infolge der technischen Entwicklung veralten. Wie lange uns die heute gebauten Strassen dienen werden, weiss niemand; wir können uns nur an ähnlichen älteren Anlagen orientieren. Es gibt forstliche Wegebauten, welche bereits nach 20 oder 30 Jahren infolge der technischen Entwicklung ihre Bedeutung verloren haben; anderseits werden heute noch einzelne gegen 100jährige Wege benützt. Die Strassenbaukosten sind deshalb rechnerisch auf eine Periode von etwa 50 Jahren zu verteilen oder mit anderen Worten in 50 Jahren zu amortisieren, obwohl dies in der Praxis nicht üblich ist.

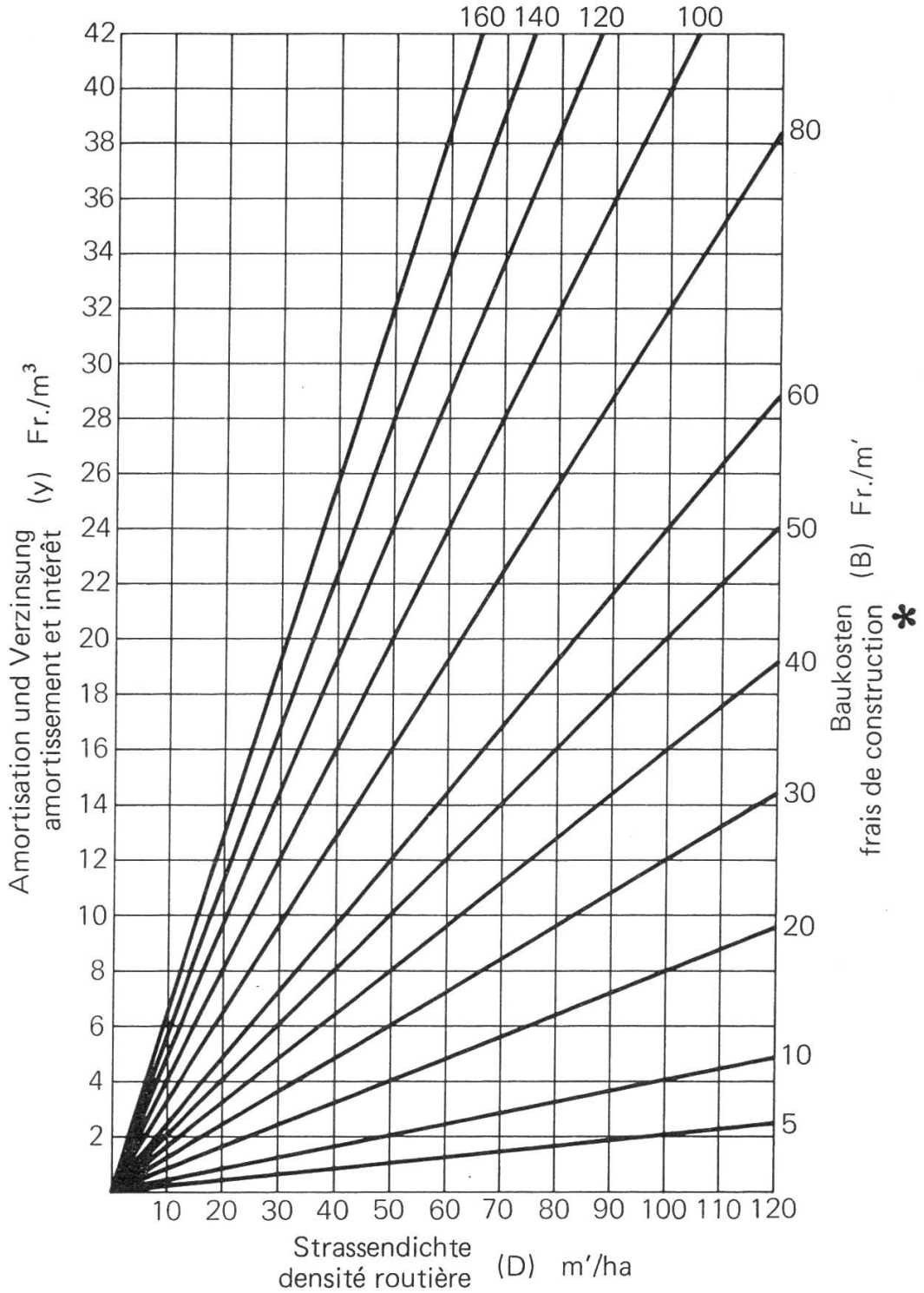
Statt in Strassen investiert, könnte das Geld in Wertpapieren zinstragend angelegt werden. Deshalb muss auch eine Verzinsung des investierten Kapitals berücksichtigt werden, obwohl auch dies in der Praxis nicht üblich ist. Nach Kroth (1973) ist für die in die Erschliessung investierten (meist eigenen) Mittel ein Zinssatz einzusetzen, der demjenigen von Geldanlagen mit geringem Risiko entspricht.

Gemäss dem Statistischen Jahrbuch der Schweiz (Eidg. Statistisches Amt) betrug der reale Zins erster Hypotheken schweizerischer Banken im Durchschnitt der Jahre 1914—1939 3,4 Prozent, 1940—1975 nur noch 0,4 Prozent, die Durchschnittsrendite eidgenössischer Obligationen von 1940—1975 sogar nur 0,1 Prozent! In Zeiten grosser Inflationsraten ist die Verzinsung real sogar häufig negativ. In Wohnbauten angelegtes Geld kann anderseits in Zeiten grosser Inflationsraten real einen wesentlich höheren Ertrag abwerfen. Berücksichtigt man alle diese Geldanlagen, so dürfte für langfristige Vorkalkulationen ein realer Zins von 2 Prozent gerechtfertigt sein. Diese Annahme entspricht den «Richtlinien für die Schätzung von Wald und Waldschäden», welche für die Vorausbewertung künftiger Mehraufwendungen einen Kalkulationszinsfuss von $1^1/_2$—3 Prozent vorsehen (*Gemperli,* 1970).

In Abbildung 1 ist die Amortisation und die Verzinsung der Strassenbaukosten in Abhängigkeit von Strassendichte und Baukosten pro Laufmeter für unsere mittleren Annahmen dargestellt. Bei abweichenden Annahmen kann die Schätzung mittels Korrekturfaktoren modifiziert werden.

Abbildung 1. Amortisation und Verzinsung der Strassenbaukosten pro m³ Holznutzung.
Figure 1. Frais d'amortissement et d'intérêt de la construction de route par m³ exploité.
Bei einer jährlich gleichbleibenden Nutzung von 8 m³ pro Jahr und ha, einer Amortisationszeit von 50 Jahren und einem realen Zinssatz von 2 %.
Exploitation annuelle constante de 8 m³ par an et ha, durée d'amortissement 50 ans; taux d'intérêt réel 2 %.

$$y = 0{,}00398 \cdot B \cdot D \cdot K_N \cdot K_A$$



* resp. Restkosten ohne Subventionen bei rein privatwirtschaftlicher Betrachtung
resp. solde des frais après déduction des subventions

Korrekturfaktoren (zu Abb. 1) / Facteurs de correction (pour la fig. 1)

1. Bei abweichender Nutzungsmenge N
   Pour un volume exploité différent N $K_N = \frac{8}{N}$
2. Bei abweichender Amortisation und Verzinsung:
   Pour une durée d'amortisation et un taux d'intérêt différents: K_A

Amortisationszeit / *Durée d'amortissement*	*realer Zinssatz / taux d'intérêt réel* 0 %	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %
30 Jahre / ans	1,05	1,22	1,40	1,60	1,82	2,04
40 Jahre / ans	0,79	0,96	1,15	1,36	1,59	1,83
50 Jahre / ans	0,63	0,80	1,00	1,22	1,46	1,72
80 Jahre / ans	0,39	0,57	0,79	1,04	1,31	1,60

3.2 Strassenunterhaltskosten

Aufgrund der Angaben der Schweizerischen Forststatistik (Eidg. Statistisches Amt) und der Eidg. Betriebszählung 1975 (Eidg. Statistisches Amt, 1977) werden die mittleren Strassenunterhaltskosten mit 50 Rappen pro m' und Jahr eingesetzt (bei einer Strassendichte von 38 m'/ha).

In einem dichten Strassennetz verteilt sich der Verkehr auf viele Strassen; der Unterhalt der einzelnen, wenig benützten Strassen dürfte, auf den Laufmeter bezogen, weniger aufwendig sein als derjenige vielbefahrener Strassen in einem weitmaschigen Strassennetz. Aufgrund von Angaben aus einzelnen Betrieben der betriebswirtschaftlichen Untersuchung in der schweizerischen Forstwirtschaft *(Stösser* und *Buchli)* werden deshalb die Strassenunterhaltskosten je nach Strassendichte variiert:

bei Strassendichte 20 m'/ha: 64 Rappen pro m' und Jahr
bei Strassendichte 38 m'/ha: 50 Rappen pro m' und Jahr
bei Strassendichte 60 m'/ha: 44 Rappen pro m' und Jahr
bei Strassendichte 100 m'/ha: 40 Rappen pro m' und Jahr

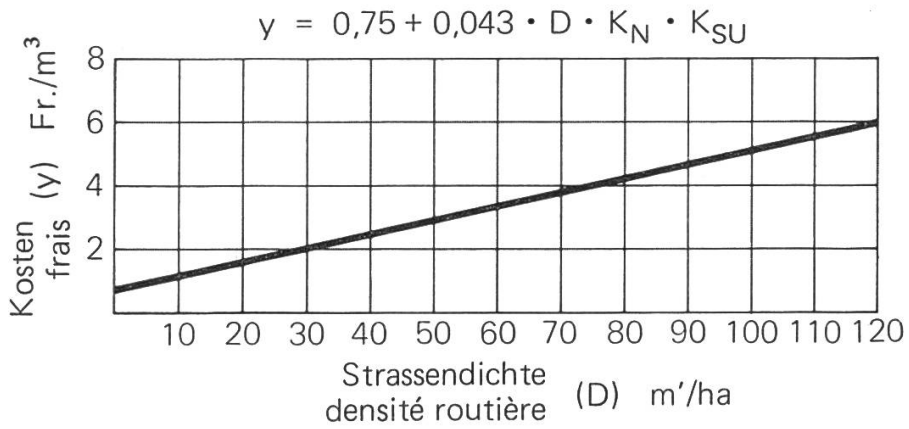
Aus denselben Unterlagen geht hervor, dass diese Werte stark streuen; für Betriebe mit hohen Strassenunterhaltskosten muss etwa mit doppelt, für solche mit geringen Strassenunterhaltskosten etwa mit halb so hohen Werten gerechnet werden.

In Abbildung 2 sind die Strassenunterhaltskosten pro m^3 Holznutzung in Abhängigkeit von der Strassendichte dargestellt.

3.3 Rückekosten

Durch eine Erhöhung der Strassendichte werden die Rückedistanzen verkürzt. Wenn die Waldflächen rechteckig wären, alle Strassen mit gleichem

Abbildung 2. Strassenunterhaltskosten pro m³ Holznutzung.
Figure 2. Frais d'entretien des routes par m³ exploité.
Bei einer Nutzung von 8 m³ pro Jahr und ha und mittleren Unterhaltskosten.
Volume exploité annuel de 8 m³/ha; frais d'entretien moyens.



Korrekturfaktoren / Facteurs de correction:

1. Bei abweichender Nutzungsmenge N (m³/Jahr + ha): $K_N = \frac{8}{N}$
   Pour un volume exploité différent N (m³/ha + an):
2. Bei hohen Unterhaltskosten: $K_{SU} = 2{,}0$
   Pour des frais d'entretien élevés:
   Bei niedrigen Unterhaltskosten: $K_{SU} = 0{,}5$
   Pour des frais d'entretien bas:

Abstand parallel liefen und das Holz immer auf dem kürzesten Weg zur nächsten Strasse gerückt würde, so wäre die mittlere Rückedistanz (in m)

$$\frac{10\,000}{4 \cdot D} \quad (D = \text{Strassendichte, m'/ha}).$$

Die angenommenen Voraussetzungen treffen jedoch nicht zu. *Segebaden* (1964) zeigte, dass diese «theoretische Rückedistanz» mit einem Korrekturfaktor multipliziert werden muss, um der wirklichen Rückedistanz zu entsprechen. Dieser Faktor berücksichtigt, dass die Strassen im Gelände nicht ideal angeordnet sind und dass die Rückwege meist nicht auf dem kürzesten Weg zur Strasse führen. Die Grösse dieses Faktors kann für konkrete Erschliessungsnetze durch ein Punktrasterverfahren ermittelt werden (Abbildung 3). Für jeden Stichprobenpunkt wird die voraussichtliche Rückedistanz gemessen; die mittlere Distanz eines bestimmten Gebietes wird mit der nach der Formel berechneten theoretischen Distanz verglichen und daraus der Faktor abgeleitet.

Aus den von uns untersuchten schweizerischen Beispielen geht hervor, dass im Mittel einigermassen gleichmässiger Erschliessungsnetze ein Korrekturfaktor von 1,8 angewendet werden kann (1,5 bei sehr gleichmässiger Erschliessung mit annähernd parallelen Strassen und wenigen Querverbin-

dungen sowie einfachem, hindernisfreiem Gelände, 2,3 bei ungleichmässiger Erschliessung und schwierigem Gelände). Dieser Wert entspricht etwa dem von Segebaden (1964) in Schweden ermittelten Faktor; er liegt etwas tiefer als der von *Backmund* (1966) nach einer etwas anderen Methode ermittelte Faktor.

Die bei bestimmten Rückedistanzen resultierenden Kosten für das Stammholzrücken können nun anhand der Kalkulationsunterlagen der EAFV abgeschätzt werden (*Abegg,* 1974). Wir rechnen dabei mit einem mittleren Stückinhalt von 0,6 m³, mit Fahrten auf Rückegassen mit ± 10 Prozent Steigung, mit einer Auslastung der Traktoren von 800 Einsatzstunden pro Jahr bei einer Amortisationszeit von 8 Jahren; für die Fahrten von Schlag zu Schlag und für das Rücken eines Anteiles verstreuter Kleinstmengen (Zwangsnutzungen, Erstdurchforstungen) wird ein Zuschlag von 15—30 Prozent berücksichtigt. Für die Kosten des Schichtholzrückens stützen wir uns auf eine provisorische Auswertung einiger Zeitstudien (Fahrzeiten wie beim Stammholzrücken, Lastvolumen 2,5 Ster, Zuschlag für allgemeine Zeiten 12 Prozent.

Heute stehen in der schweizerischen Forstwirtschaft hauptsächlich Landwirtschaftstraktoren und Transporter von 40—70 PS im Einsatz. Nach den erwähnten Unterlagen nehmen demnach die Rückekosten in traktorbefahrbarem Gelände um durchschnittlich 2 Franken pro m³ und 100 m Rückedistanz zu. Dieser distanzabhängige Anteil der Rückekosten ist in Abbildung 4 in Abhängigkeit von der Strassendichte dargestellt.

3.4 Zusätzliche Lagerungskosten für die Bildung hoher Polter bei geringer Strassendichte

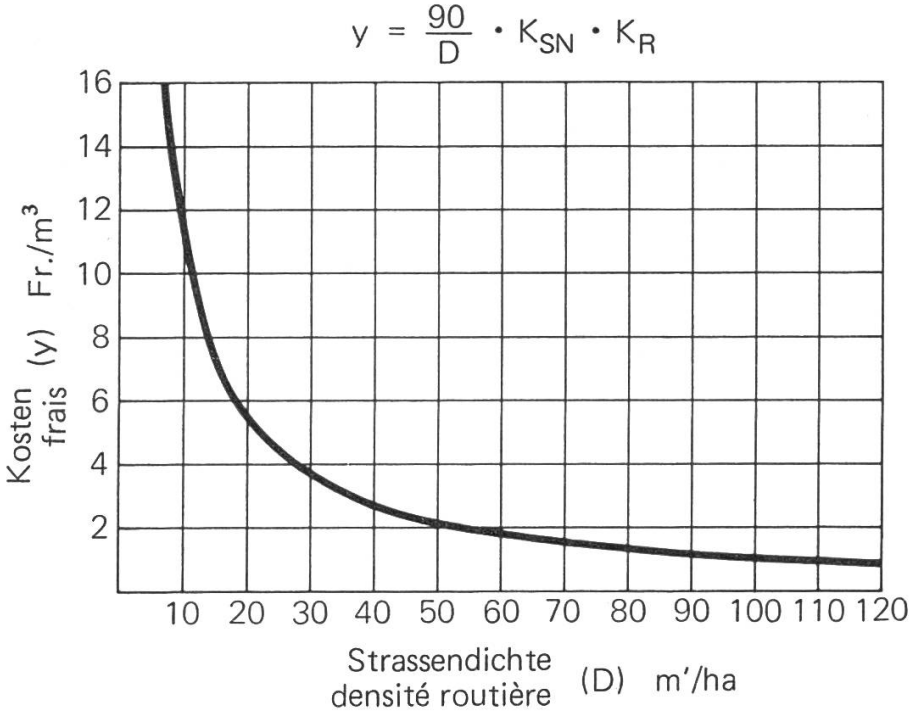
Das Holz wird normalerweise längs der Waldstrassen gelagert. Der Käufer lässt es oft lange dort liegen, da dies für ihn der billigste Lagerplatz ist. Für die Forstbetriebe stellt sich deshalb die Frage, ob bei geringer Erschliessungsdichte die gesamte Nutzung eines Jahres an den Strassen Platz findet, ohne dass extrem hohe Polter gemacht werden müssen, wodurch der Aufwand für das Lagern steigen würde.

Die üblichen, in der Schweiz eingesetzten Traktoren können das Holz mit dem Rückeschild nur etwa zweischichtig lagern; bei höheren Poltern muss in der Regel die Seilwinde eingesetzt werden, wodurch ein Mehraufwand von etwa Fr. 1.30 pro m³ entsteht. Ohne stark erhöhten Lagerungsaufwand können demnach pro Laufmeter Lagerplatz etwa 1,5 m³ Holz gelagert werden.

Sofern der nötige Platz durch den Aushieb der Strassenrandbäume freigemacht wird, kann schätzungsweise auf 50—80 Prozent der Strassenlänge einseitig Holz gelagert werden (respektive auf 25—40 Prozent beidseitig). Da die Holzschläge nicht jedes Jahr gleichmässig im ganzen Wald verteilt

Abbildung 4. Distanzabhängiger Anteil der Rückekosten pro m³ Nutzung bei durchschnittlichen Strassennetzen und durchschnittlichen Rückekosten (Landwirtschaftstraktor etwa 55 PS).

Figure 4. Frais de débardage par m³ exploité en fonction de la distance pour des réseaux routiers moyens et des frais de débardage moyen.



Korrekturfaktoren / Facteurs de correction:

1. Sehr gleichmässiges Strassennetz und hindernisfreies Gelände
   Réseau très homogène; terrain sans obstacles — $K_{SN} = 0{,}83$

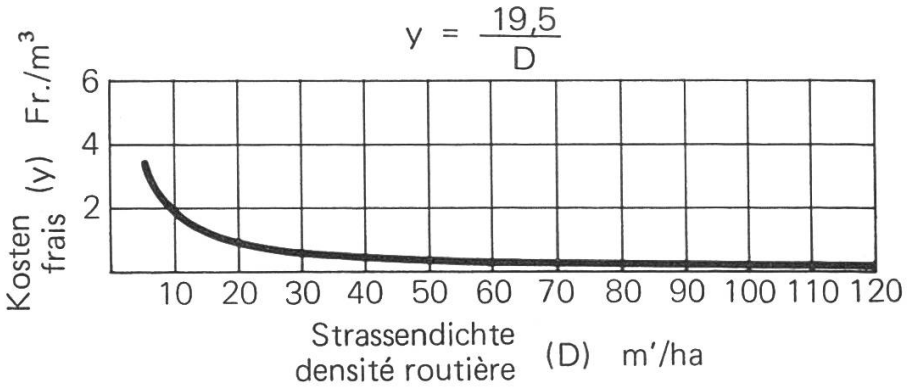
   Ungleichmässiges Strassennetz und schwieriges Gelände mit vielen Hindernissen
   Réseau peu homogène; terrain difficile avec beaucoup d'obstacles — $K_{SN} = 1{,}28$
2. Distanzabhängiger Anteil der Rückekosten pro 100 m Rückedistanz:
   Frais de débardage par 100 m de distance:

Fr. 2.55	(Rücken mit 40-PS-Forsttransporter) *(Débardage au transporteur forestier de 40 CV)*	$K_R = 1{,}28$
Fr. 1.15	(Rücken mit 80-PS-Knickschlepper) *(Débardage au tracteur articulé de 80 CV)*	$K_R = 0{,}58$

sind, muss die zur Verfügung stehende Lagerkapazität etwa eine dreifache Jahresnutzung umfassen.

Aus diesen Schätzungen ergibt sich, dass bei Strassendichten unter 15—30 m'/ha mit einem erhöhten Lagerungsaufwand gerechnet werden muss. Die geschätzten dabei entstehenden Mehrkosten sind in Abbildung 5 in Abhängigkeit von der Strassendichte dargestellt.

Abbildung 5. Zusätzliche Lagerungskosten für die Bildung hoher Polter.
Figure 5. Frais supplémentaires de mise en dépôt pour entasser les bois en piles élevées.



3.5 Kosten der Arbeitswege und Transporte von der Strasse in den Bestand

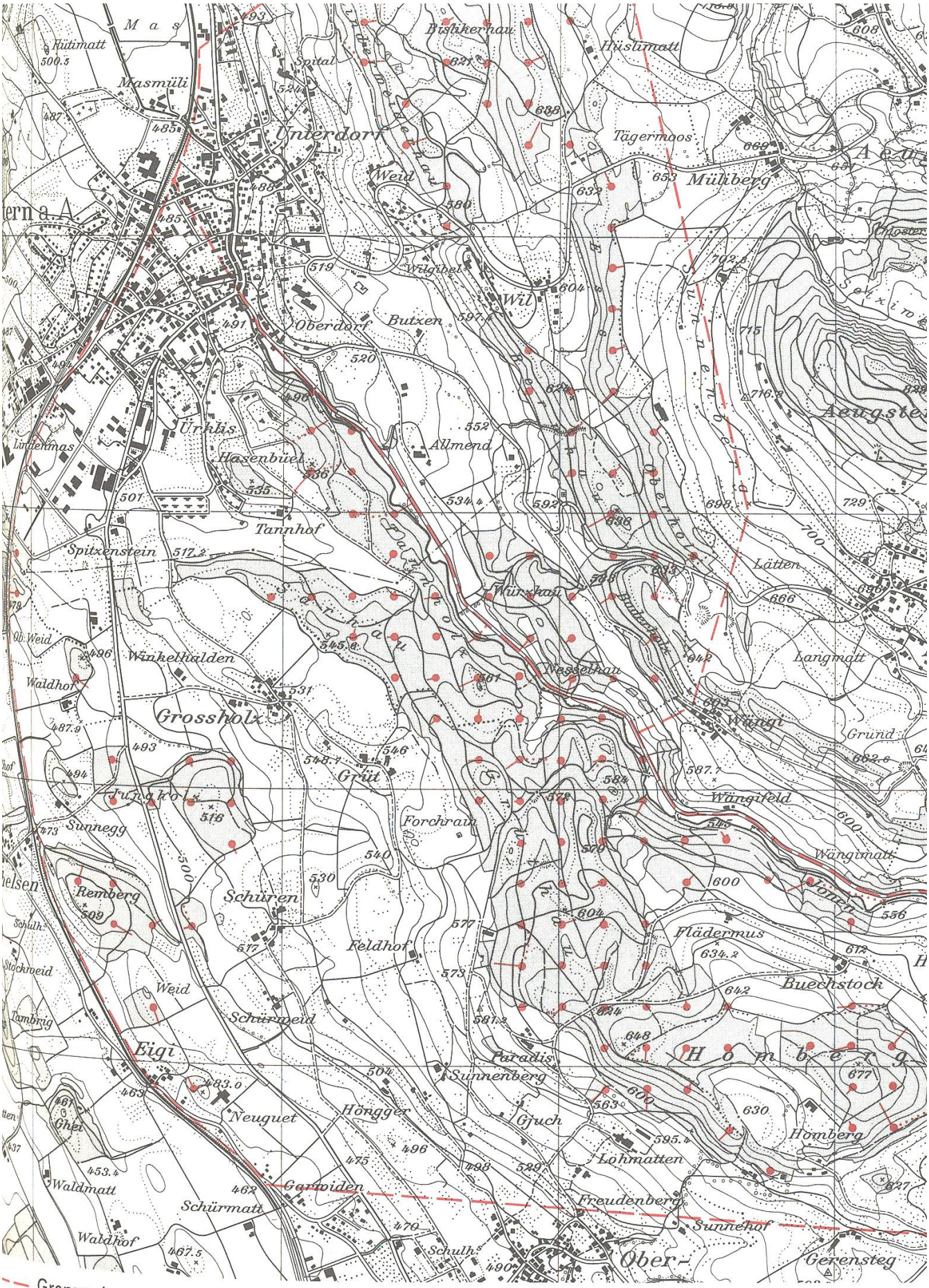
Durch eine Verdichtung der Erschliessung werden die Wegstrecken verkürzt, welche die Waldarbeiter, Förster und Betriebsleiter zur Ausübung sämtlicher Arbeiten in den Beständen zurückzulegen haben; das gleiche gilt für Materialtransporte. Wir setzen dabei voraus, dass diese Tätigkeiten in die bezahlte Arbeitszeit fallen.

Aus der betriebswirtschaftlichen Untersuchung in der Schweizerischen Forstwirtschaft (*Stösser* und *Buchli*) geht hervor, dass im Mittelland pro m³ Holznutzung etwa 1,6—4,0, im Mittel 2,8 Arbeitsstunden für alle Arbeiten in den Beständen aufgewendet werden (inklusive Waldpflege, Entwässerungen, Nebennutzungen usw.). Nimmt man an, dass die Arbeiter pro Tag durchschnittlich viermal von der Strasse in den Bestand und zurück marschieren, so ergeben sich bei einem achtstündigen Arbeitstag 1,4 Märsche pro m³. Setzt man weiter für die mittlere Marschgeschwindigkeit 3 km pro Stunde, für die Lohnkosten inklusive Sozialkosten 18 Franken pro Stunde ein, so resultieren pro m³ und 100 m Marschdistanz Kosten von Fr. 1.68 (Tabelle 1).

Eine ähnliche Herleitung der Anzahl Märsche der Förster und Forstingenieure wäre schwierig, da diese bei Kontrollgängen oft viele verschiedene Orte pro Tag besuchen. Wir baten deshalb einige Praktiker zu schätzen, wie oft sie pro Jahr von einer Strasse in einen Bestand marschieren und rechneten die Angaben auf dieselbe Nutzung um (Tabelle 1). Zwischen die-

---

Abbildung 3. Erschliessungsbeispiel Affoltern a. A.
Figure 3. Exemple de dévestiture Affoltern a. A.
Waldfläche / *Surface* 358 ha. Strassendichte / *Densité routière* 76,6 m'/ha.



Grenze des untersuchten Gebietes
Limites du périmètre étudié

Stichprobenpunkte
Emplacement des placettes d'échantillonnage

kürzeste Distanz zur Strasse, Mittel 37,0 m
Distance la plus courte jusqu'à la route. Moyenne 37,0 m

geradlinig gemessene, "wahrscheinliche" Rückedistanz, Mittel 41,1 m
Distance de débardage "probable" mesurée en ligne droite. Moyenne 41,1 m

Eidg. Landestopographie, 3084 Wabern, 1978. Alle Rechte vorbehalten

Tabelle 1. Herleitung der Kosten der Arbeitswege und Transporte von der Strasse in den Bestand.

Tableau 1. Calcul des frais pour les déplacements et les transports de la route dans le peuplement.

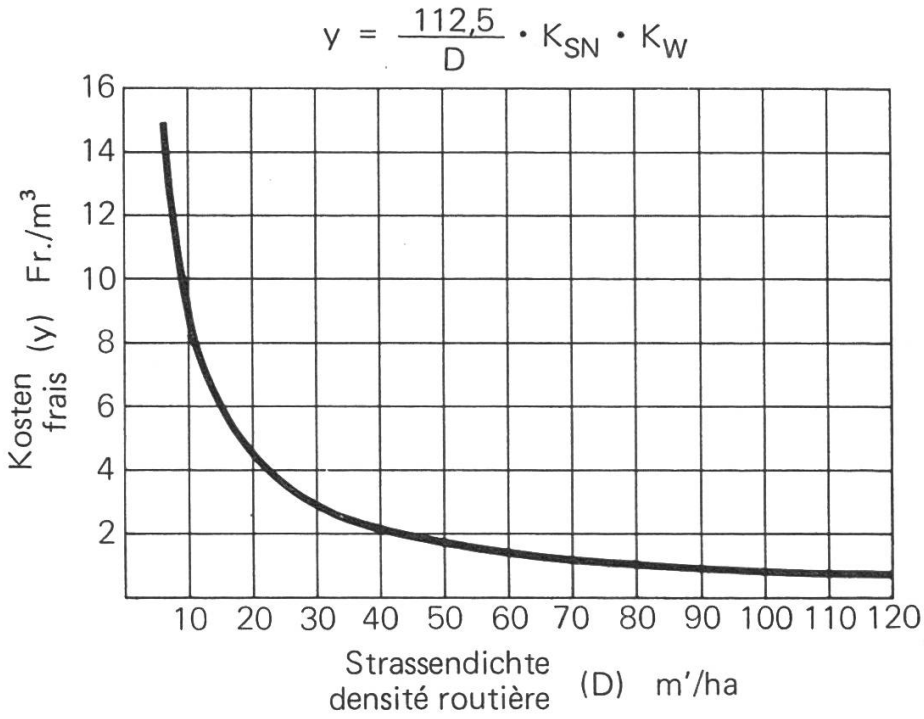
	Anzahl Märsche *Nombre de trajets*	*Kosten pro 100 m Distanz* *Frais pour 100 m de distance*
Waldarbeiter Ouvrier forestier	$\frac{2{,}8 \text{ Std./m}^3 \cdot 4 \text{ Märsche/Tag}}{8 \text{ Std./Tag}}$ $= 1{,}4 \text{ Märsche/m}^3$	$\frac{2 \cdot 0{,}1 \text{ km/Marsch} \cdot 1{,}4 \text{ Märsche/m}^3 \cdot 18 \text{ Fr./Std.}}{3 \text{ km/Std.}}$ $= 1{,}68 \text{ Fr./m}^3$
Förster Garde forestier	13—1200, Mittel etwa 400 pro 1000 m³	$\frac{2 \cdot 0{,}1 \text{ km/Marsch} \cdot 0{,}4 \text{ Märsche/m}^3 \cdot 23 \text{ Fr./Std.}}{3 \text{ km/Std.}}$ $= 0{,}61 \text{ Fr./m}^3$
Forstingenieur Ingénieur forestier	15—130, Mittel etwa 60 pro 1000 m³	$\frac{2 \cdot 0{,}1 \text{ km/Marsch} \cdot 0{,}06 \text{ Märsche/m}^3 \cdot 35 \text{ Fr./Std.}}{3 \text{ km/Std.}}$ $= 0{,}14 \text{ Fr./m}^3$
Materialtransporte mit Traktor Transport de matériel avec tracteur	4—60, Mittel etwa 30 Fahrten pro 1000 m³	$0{,}03 \text{ Fahrten/m}^3 \cdot 3 \text{ min./100 m} \cdot \frac{59}{60} \text{ Fr./Std.}$ $= 0{,}09 \text{ Fr./m}^3$
Total		etwa 2.50 Fr./m³ (1.10—4.50)

sen Schätzungen ergaben sich erwartungsgemäss sehr grosse Unterschiede; sie dürften ebensosehr auf die Ungenauigkeit der Schätzung wie auf spezielle Verhältnisse zurückzuführen sein. Wir berechneten deshalb die Kosten aufgrund eines groben Mittelwertes der Schätzungen.

Die resultierenden Gesamtkosten pro m³ und pro 100 m Distanz können nun leicht auf die Strassendichte bezogen werden (Abbildung 6).

Abbildung 6. Kosten der Arbeitswege und Transporte von der Strasse in den Bestand.

Figure 6. Frais pour les déplacements et les transports de la route à l'intérieur du peuplement.



Korrekturfaktoren / Facteurs de correction:

1. sehr gleichmässiges Strassennetz und hindernisfreies Gelände — $K_{SN} = 0,83$
   Réseau routier très homogène; terrain sans obstacles
   ungleichmässiges Strassennetz und schwieriges Gelände mit vielen Hindernissen — $K_{SN} = 1,28$
   Réseau routier peu homogène; terrain difficile avec beaucoup d'obstacles

2. geringe Kosten für Wegzeiten und Transporte (Fr. 1.10/m³ · 100 m) — $K_W = 0,44$
   Frais de déplacements et transports bas
   hohe Kosten für Wegzeiten und Transporte (Fr. 4.50/m³ · 100 m) — $K_W = 1,80$
   Frais de déplacements et transports élevés

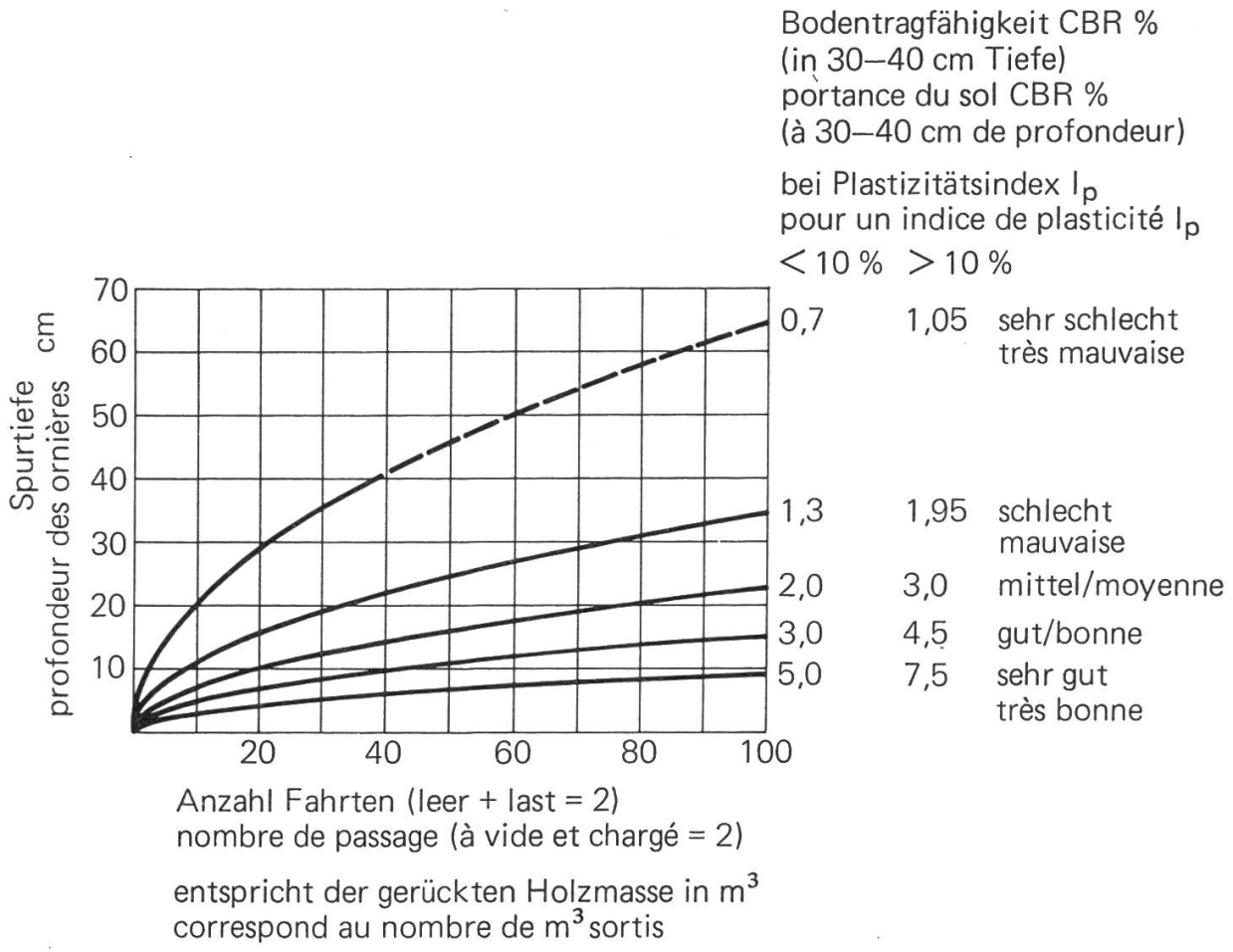
3.6 Rückegassen-Unterhaltskosten

Das genutzte Holz wird über die Rückegassen an die Strassen gerückt. Durch das wiederholte Befahren der Rückegassen bilden sich Spuren. Wird kein systematisches Rückegassennetz angelegt, so ergibt sich ein zufälliges Netz von Fahrspuren, indem der Traktorfahrer die geeignetsten natürlichen Schneisen aussucht und diese wiederholt befährt.

Die Tiefe der Fahrspuren hängt in erster Linie von der Bodenart, der Witterung und der Anzahl Fahrten ab. Nach *Erdas* (1976) nimmt die Spurtiefe mit steigender Anzahl Fahrten etwa nach einer Wurzelfunktion zu (Abbildung 7). Diese Tendenz wird durch andere Untersuchungen sowie durch einige eigene Messungen bestätigt.

Abbildung 7. Spurtiefe in Abhängigkeit der Anzahl Fahrten nach Erdas (1976).
Figure 7. Profondeur des ornières en fonction du nombre de passages d'après Erdas (1976).

Landwirtschaftstraktor mit 2 m³ Last und Pneudruck 1,5 kg/cm².
Tracteur agricole avec 2 m³ de charge et une pression au sol des pneus de 1,5 kg/cm².



Auf der Transportgrenze zwischen zwei Strassen ist die Beanspruchung gering. Je weiter wir uns von der Transportgrenze entfernen, desto mehr Fahrten ist eine Rückegasse ausgesetzt. Bei geringer Erschliessungsdichte resultiert eine stärkere Belastung als bei grosser. Ist der Hiebsanfall pro Flächeneinheit, der Abstand der Rückegassen und das Volumen, welches der Traktor pro Fahrt mitführt, bekannt, so kann für jede Stelle einer Rückegasse in Abhängigkeit von der Entfernung zur Transportgrenze die Anzahl Durchfahrten abgeschätzt werden. Die Häufigkeit verschiedener Entfernungen von der Transportgrenze in Abhängigkeit von der Strassendichte liess sich aus unseren Rückedistanzmessungen an Beispielen ableiten (Tabelle 2).

Aus der Belastung des Rückegassennetzes gemäss Tabelle 2 und aus der Spurtiefe in Abhängigkeit von der Belastung gemäss Abbildung 7 lässt sich nun die Spurbildung nach einmaliger Nutzung abschätzen (Tabelle 3). Die Angaben basieren auf der Annahme, dass das Rücken bei schlechter Witterung eingestellt wird. Wird nicht auf die Witterung geachtet, so sind tiefere Fahrspuren zu erwarten; wird nur bei starkem Frost gerückt, so entstehen überhaupt keine Spuren. Die Zahlen sind deshalb vorsichtig zu interpretieren; sie können nur Tendenzen aufzeigen.

Tabelle 2. Rückegassenlänge, gegliedert nach der Entfernung von der Transportgrenze und der Belastung bei verschiedenen Strassendichten (Gesamtkorrekturfaktor für Strassennetz und Rückedistanz = 1,8).

Tableau 2. Longueur des layons de débardage, répartie d'après l'éloignement de la limite de transport et d'après le taux d'utilisation pour différentes densités routières (facteur de correction global pour le réseau routier et la distance de débardage = 1,8).

Strassendichte D m'/ha: *Densité routière D m'/ha:*		10	20	40	60	80	120
Mittlere Rückedistanz m: *Distance moyenne de débardage m:*		450	225	112,5	75	56,3	37,5
Rückegassenlänge m'/ha: *Longueur des layons de débardage m'/ha:*		**340**	**330**	**310**	**290**	**270**	**230**
Abstand von der Transportgrenze *Distance à partir de la limite de transport*	Mittlere Belastung während der Umlaufzeit bei 8 m³ Nutzung pro Jahr und ha *Taux d'utilisation moyen pendant une période pour un volume exploité annuel de 8 m³ par ha*	Gliederung der Rückegassenlänge *Répartition de la longueur des layons de débardage*					
m	m³	% m'/ha					
0– 20	0 – 4,6	(3) **10**	(6) **20**	(12) **37**	(19) **55**	(24) **65**	(37) **85**
20– 50	4,6– 11,5	(4,5) **15**	(9) **30**	(17) **53**	(25) **73**	(32) **86**	(37) **85**
50– 100	11,5– 23	(7,5) **26**	(14) **46**	(23) **71**	(30) **87**	(28) **76**	(20) **46**
100– 200	23 – 46	(14) **48**	(23) **76**	(32) **99**	(20) **58**	(13) **35**	(6) **14**
200– 400	46 – 92	(23) **78**	(32) **106**	(15) **47**	(6) **17**	(3) **8**	
400– 800	92 –184	(32) **109**	(15) **49**	(1) **3**			
800–1600	184 –368	(15) **51**	(1) **3**				
1600–3200	368 –736	(1) **3**					

Tabelle 3. Gliederung der Rückegassenlänge nach der durch das Rücken einer 10jährigen Nutzung entstehenden Spurtiefe und Berechnung der resultierenden Unterhaltskosten in Gebieten verschiedener Bodentragfähigkeit und bei verschiedenen Strassendichten (bei einer Nutzung von 8 m³ pro Jahr und ha).

Tableau 3. Répartition des profondeurs d'ornières causées par le débardage d'une exploitation décennale. Calcul des frais d'entretien des layons de débardage en fonction de la portance du sol et de la densité routière (pour un volume exploité annuel de 8 m³ par ha).

		m'/ha					
Strassendichte D *Densité routière D*		10	20	40	60	80	120
Rückegassendichte total *Densité des layons de débardage total*		340	330	310	290	270	230
Bodentragfähigkeit d. Gebietes *Portance du sol dans le secteur*	Spurtiefe *Ornières profondes de* cm	Gliederung der Rückegassenlänge *Répartition de la longueur des layons de débardage* m'/ha					
sehr schlecht *très mauvaise* 50 % CBR < 1 30 % CBR 1–2 20 % gefroren	0–10	76	82	91	100	103	106
	10–20	25	46	74	93	98	93
	20–30	38	59	65	58	46	24
	30–40	40	43	38	21	13	5
	40–50	40	38	25	12	7	2
	> 50	121	62	17	6	3	–
schlecht *mauvaise* 50 % CBR 1–2 30 % CBR 2–3 20 % gefroren	0–10	92	112	142	169	176	175
	10–20	57	90	105	92	78	53
	20–30	80	83	53	26	15	2
	30–40	51	30	9	3	1	
	40–50	36	13	1			
	> 50	24	2				
mittel *moyenne* 50 % CBR 2–3 30 % CBR 3–5 20 % gefroren	0–10	123	166	221	247	246	223
	10–20	110	124	82	41	23	7
	20–30	80	38	7	2	1	
	30–40	19	2				
	(40–50)	8					
gut *bonne* 50 % CBR 3–5 30 % CBR > 5 20 % gefroren	0–10	182	241	284	281	266	230
	10–20	131	88	26	9	4	
	20–30	27	1				
Unterhaltskosten Fr./m³ Nutzung bei Bodentragfähigkeit: *Frais d'entretien en Fr./m³ exploité pour une portance du sol:*	sehr schlecht *très mauvaise*	(20.40)	(13.50)	(6.90)	(3.90)	(2.60)	1.15
	schlecht *mauvaise*	(9.30)	(4.20)	1.80	0.95	0.60	0.25
	mittel *moyenne*	3.20	1.25	0.45	0.20	0.10	0.05
	gut *bonne*	1.00	0.35	0.10	0.05		

( ) Die eingeklammerten Unterhaltskosten werden durch die auf unsicheren Schätzungen beruhenden Kosten bei Spuren über 40 cm Tiefe wesentlich beeinflusst.

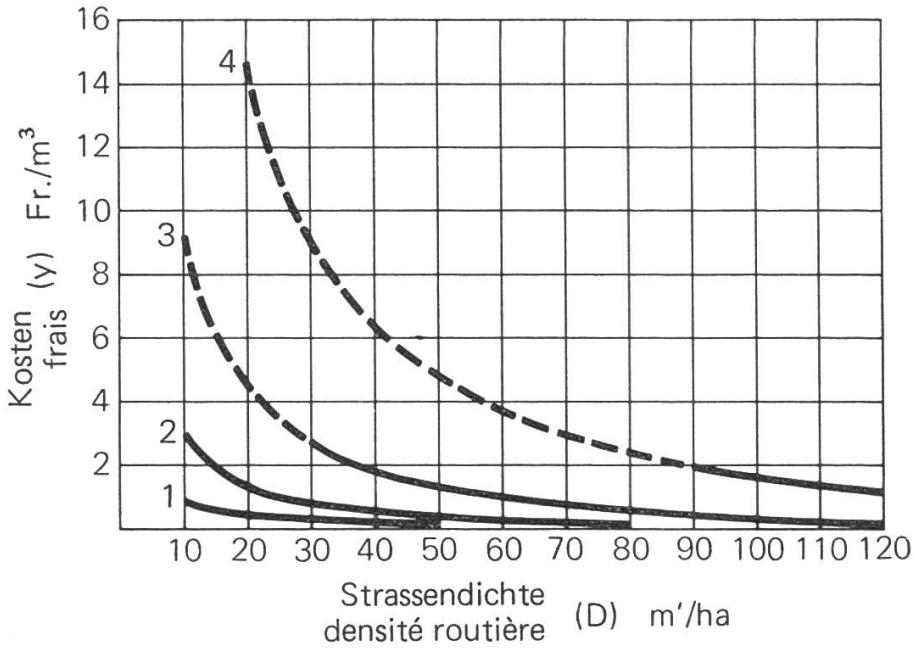
( ) Les valeurs entre parenthèses sont très influencées par les frais d'entretien difficiles à estimer des tronçons avec des ornières de plus de 40 cm.

Tiefe Spuren können noch nach mehreren Jahren das Rücken behindern. Wir nehmen deshalb für unsere Berechnungen an, dass Spuren über 10 cm Tiefe nach dem Rücken instandgestellt werden. Dabei unterstellen wir folgende Massnahmen und Kosten:

— Spurtiefen 10—20 cm: Entwässerung und Einhacken. Zeitaufwand 1 Arbeiterminute pro Laufmeter (eigene Messung). Kosten 30 Rappen pro Laufmeter und pro 10 Jahre.

— Spurtiefen 20—30 cm: Entwässerung und Einhacken. Zeitaufwand 3 Arbeiterminuten pro Laufmeter (eigene Messung und mündliche Auskunft

Abbildung 8. Rückegassen — Unterhaltskosten pro m³ Holznutzung.
Figure 8. Frais d'entretien des layons de débardage par m³ exploité.



— — —
Unsicherer Bereich mit grossem Anteil von über 40 cm tiefen Spuren.
Zone incertaine à cause de la proportion élevée des ornières de plus de 40 cm.

Bodentragfähigkeit portance du sol	angenäherte Formeln formules approchées
1 gut/bonne	$y = -0{,}1 + \frac{9}{D}$
2 mittel/moyenne	$y = -0{,}33 + \frac{31{,}5}{D}$
3 schlecht/mauvaise	$y = -0{,}75 + \frac{102}{D}$
4 sehr schlecht/très mauvaise	$y = -1{,}6 + \frac{320}{D}$

von Erdas). Stellenweise auch Ausfüllen mit Bauschutt oder Kies. Mittlere Kosten Fr. 1.50 pro Laufmeter (Schätzung).

— Spurtiefen 30—40 cm: Fr. 3.—/m' (Schätzung)

— Spurtiefen 40—50 cm: Fr. 6.—/m' (Schätzung)

— Spurtiefen > 50 cm: Fr. 10.–/m' (Schätzung)

Die daraus resultierenden Kosten pro m³ Holznutzung sind in Tabelle 3 angeführt und in Abbildung 8 in Abhängigkeit von der Strassendichte dargestellt. Bei aller Unsicherheit der Angaben steht fest, dass die Kosten der Instandstellung von Rückegassen bei guter und mittlerer Bodentragfähigkeit nicht ins Gewicht fallen, bei schlechter Tragfähigkeit hingegen beachtlich sind.

3.7 Ertragsausfall durch die Strassenschneisen

Nach verschiedenen Zuwachsmessungen bei sogenannten Gassendurchforstungen, bei denen in bestimmten Abständen Gassen in junge Bestände geschlagen werden, sowie nach *Kramer* (1958) ist anzunehmen, dass über etwa 4 m breite Strassenschneisen einen Ertragsausfall bewirken (Abbildung 9); der durch schmälere Schneisen bedingte Ausfall wird durch den vermehrten Zuwachs der angrenzenden Bäume wettgemacht.

Aus 148 Schneisenbreitemessungen in zwei waldbaulich sehr sorgfältig geführten Betrieben mit einer Strassendichte von etwa 70 m'/ha geht hervor, dass die Schneisenbreite in traktorbefahrbarem Gelände 4—16 m, im Mittel 7—8 m beträgt. Bei geringerer Strassendichte wäre ein höherer Anteil breiter Schneisen zu erwarten, da auf einer bestimmten Strassenlänge mehr Lagerplätze angelegt werden müssen.

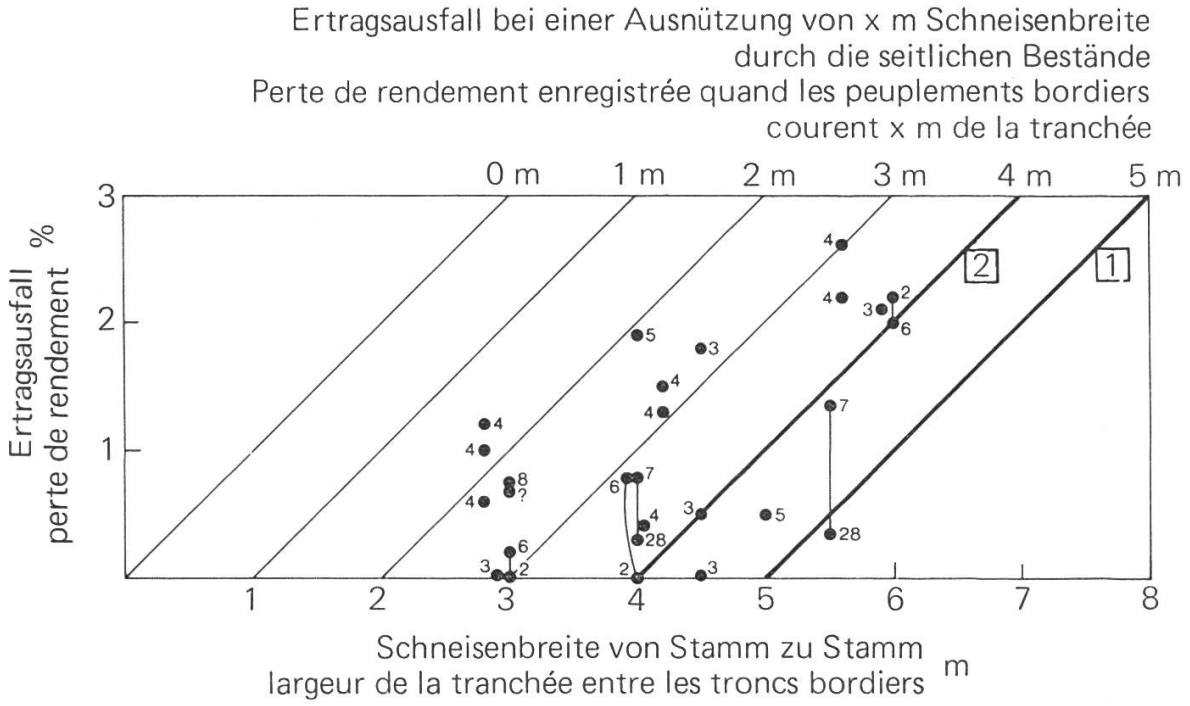
Der resultierende Ertragsausfall ist in Abbildung 10 für Nadelwald in Abhängigkeit von der Strassendichte dargestellt. Bei Laubholz ist ein wesentlich geringerer Ausfall zu erwarten.

3.8 Ertragsausfall durch Rückeschäden

Das Ausmass der Rückeschäden an den oberirdischen Teilen des verbleibenden Bestandes ist nicht von der Strassendichte abhängig, sofern das Holz bei grösseren Rückedistanzen über Rückegassen zur Strasse gebracht wird. Zwar steigt mit dichterer Erschliessung der Anteil der Gebiete nahe den Transportgrenzen, wo nur wenige Rückeschäden entstehen, aber auch der Anteil der unmittelbar an die Strasse angrenzenden Gebiete nimmt zu, wo das Einschwenken des Holzes besonders viele Schäden verursacht.

Hingegen ist zu vermuten, dass eine Verdichtung der Erschliessung und die dementsprechend verminderte Beanspruchung der Rückegassen den Ertragsausfall durch Wurzelverletzungen und Bodenverdichtung reduziert.

Abbildung 9. **Ertragsausfall durch Bestandesschneisen (Nadelholz).**
Figure 9. Perte de rendement due aux tranchées dans les peuplements (résineux).
Ausfall pro 100 m' Schneisenlänge/ha Waldfläche.
Perte par 100 m' de tranchée/ha de surface.



●4 Angaben aus Versuchen verschiedener Autoren, mit der Anzahl Jahre, während welcher der Ertragsausfall festgestellt wurde.
Données tirées des essais de divers auteurs, avec le nombre d'années pendant lequel la perte de rendement a été constatée.

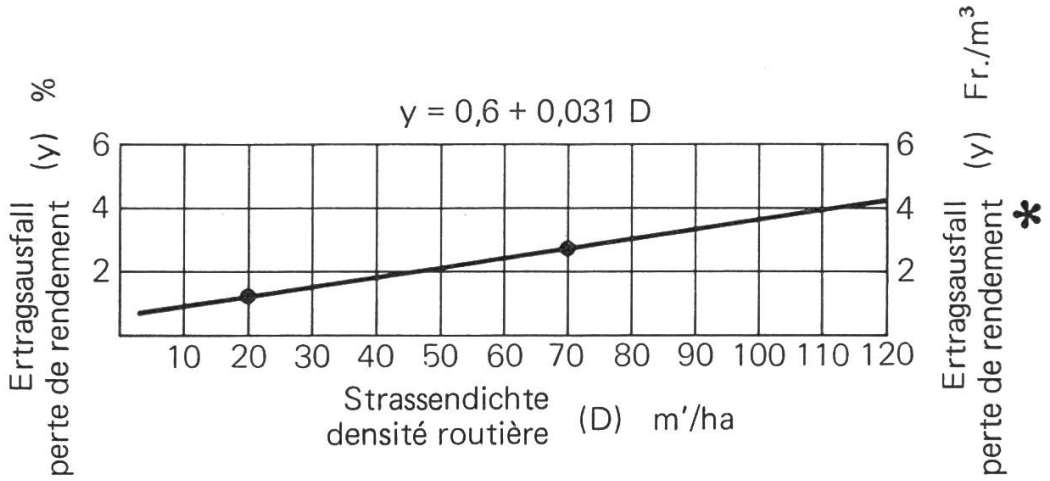
[1] Ertragsausfall für Fichte nach KRAMER (1958) für Schneisen, die seit der Bestandesbegründung bestehen.
Perte de rendement pour l'épicéa d'après KRAMER (1958) pour des tranchées existant dès la création du peuplement.

[2] Weiter verwendete Annahme für Nadelholz
Donnée utilisée pour les résineux

Der Ertragsausfall durch Beschädigung und Verdichtung des Bodens wurde von verschiedenen schwedischen, finnischen und amerikanischen Autoren untersucht. Deren Arbeiten stimmen darin überein, dass schon relativ wenige Fahrten eine Bodenbeschädigung und dadurch einen Ertragsausfall bewirken, vermehrte Fahrten über dieselben Spuren den Ausfall aber nur wenig vergrössern. Über die Höhe des Ausfalles hingegen gehen die Meinungen weit auseinander.

Für unsere Optimierung unterstellen wir, dass der Ertragsausfall mit zunehmender über eine Rückegasse gerückter Holzmenge — wie die in

Abbildung 10. Ertragsausfall durch Strassenschneisen (Nadelholz).
Figure 10. Perte de rendement due aux tranchées routières (résineux).



* bei einem erntekostenfreien Erlös von Fr. 100.–/m³
pour un rendement brut, frais de récolte des bois déduits, de Fr. 100.–/m³

Korrekturfaktor bei abweichendem erntekostenfreiem Erlös EE:
Facteur de correction pour un rendement brut, frais de récolte des bois déduits, différent: $K_E = \frac{EE}{900}$

Abschnitt 3.6 behandelte Spurtiefe — nach einer Wurzelfunktion zunehme (Abbildung 11). Für die absolute Höhe des Ausfalles stützen wir uns vor allem auf die am verlässlichsten scheinenden Angaben von *Fries* (1974) und differenzieren den Ertragsausfall nach der Bodentragfähigkeit:

Annahme 1 = gute Tragfähigkeit
Annahme 2 = mittlere Tragfähigkeit
Annahme 3 = schlechte Tragfähigkeit
Annahme 4 = sehr schlechte Tragfähigkeit

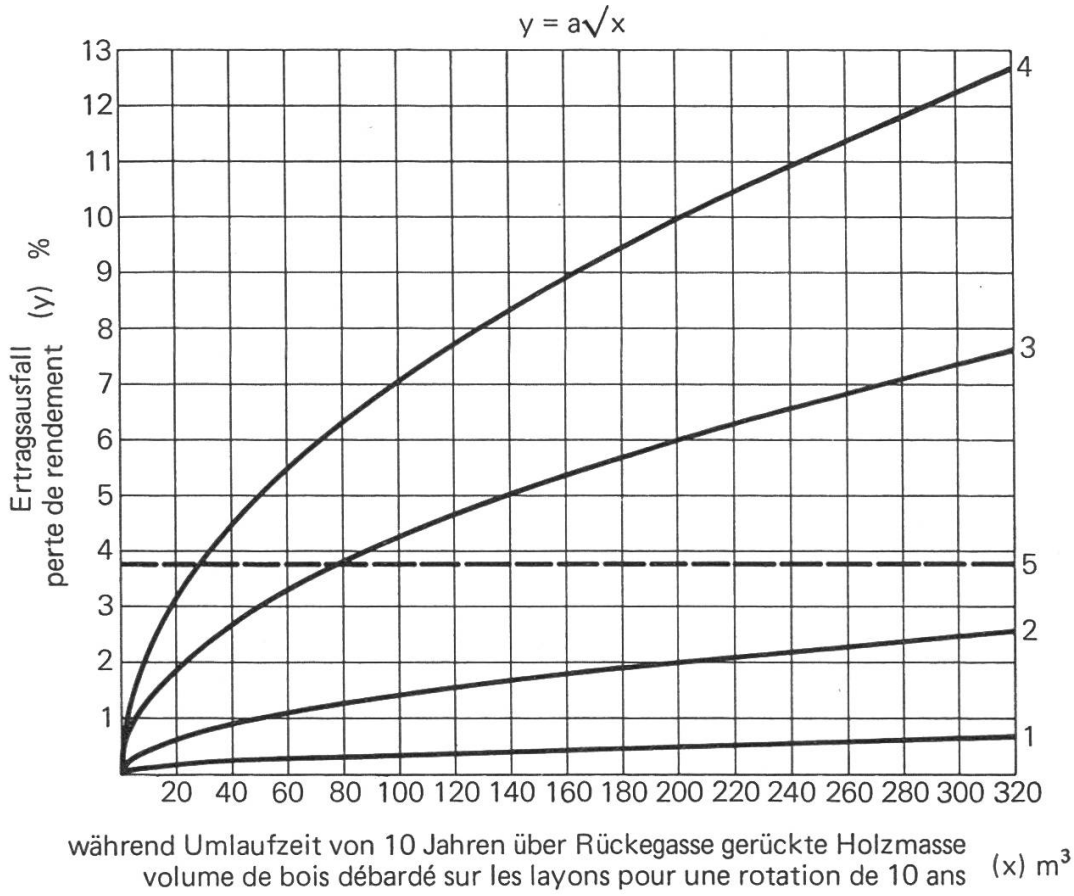
Der durch stärker beanspruchte Rückegassen bewirkte Ertragsausfall ist nach den Annahmen 3 und 4 der Abbildung 11 höher als der durch Strassenschneisen verursachte Ausfall. Dies scheint eher unwahrscheinlich, bewirkt doch der Strassenbau eine mindestens ebenso starke Beschädigung des Bodens wie ein Befahren mit Traktoren. Entweder wurde der Ertragsausfall durch die Strassen zu tief geschätzt, indem nach den Angaben von Kramer (1958) lediglich die Schneisenbreite, nicht aber die Bodenverletzung berücksichtigt wurde, oder dann ist der Ertragsausfall durch Rückegassen nach den Annahmen 3 und 4 langfristig zu hoch angesetzt.

Analog der Herleitung der Spurtiefen zur Abschätzung der Rückegassen-Unterhaltskosten (siehe Abschnitt 3.6) lässt sich nun für Rückegassenab-

Abbildung 11. Angenommener Ertragsausfall in Abhängigkeit von der über die Rückegassen gerückten Holzmasse.

Figure 11. Perte de rendement admise en fonction du volume de bois débardé sur les layons.

Angaben für Nadelholz, bezogen auf 100 m' Gassenlänge pro ha.
Données pour les résineux exprimées par rapport à 100 m'/ha de layons.



Grössenordnung des Ertragsausfalles nach:
Ordre de grandeur de la perte de rendement d'après:

1	FRIES (1974)	tragfähige Böden sol de bonne portance	Annahme Nr. 1 cas no. 1
	HEDEN (1969)		
2	ANDERSON (1969)		Annahme Nr. 2 cas no. 2
3	FRIES (1974)	wenig tragfähige Böden sol peu portant	Annahme Nr. 3 cas no. 3
4	AGREN (1968)	normal tragfähige Böden sol de portance normale	Annahme Nr. 4 cas no. 4

5 zum Vergleich: Ertragsausfall durch 4–15 m, im Mittel 7–8 m breite Strassenschneisen

perte de production d'une tranchée de 4 à 15 m de large, en moyenne de 7–8 m

schnitte mit bestimmter Belastung gemäss Tabelle 2 separat der Ertragsausfall berechnen. Der gesamthaft resultierende Ausfall ist in Abbildung 12 dargestellt.

Soll der Ertragsausfall in die Optimierungsrechnung einbezogen werden können, so ist er in Geldeinheiten auszudrücken. Der infolge des Befahrens der Rückegassen entstehende Ertragsausfall nimmt mit zunehmender Strassendichte stärker ab als der Ausfall durch Strassenschneisen zunimmt. Um bei der Optimierung keinesfalls zu geringe Strassendichten zu erhalten, wird mit Fr. 100.—/m³ bewusst ein hoher erntekostenfreier Erlös in Rechnung gesetzt. Bei diesem Erlös entspricht 1 % einem Ertragsausfall von Fr. 1.—/m³ (Abbildungen 10 und 12, Ordinate rechts).

3.9 Argumente, welche die optimale Strassendichte nicht wesentlich beeinflussen

Neben den bereits diskutierten Faktoren werden gelegentlich weitere für oder gegen einen Ausbau dichter Strassennetze sprechende Argumente angeführt:

— Die *Kosten für die Anlagen von Rückegassen* sind gering und zudem auf die Nutzungen in einer langen Periode zu verteilen. Die sich bei geringen Strassendichten ergebenden Mehrkosten sind deshalb unbedeutend und können in der Optimierung vernachlässigt werden.

— Der *verminderte Rückeaufwand für das in unmittelbarer Nähe von Strassen anfallende Holz* wird in ausreichendem Mass durch die Kalkulation der Rückekosten anhand der mittleren Rückedistanzen berücksichtigt.

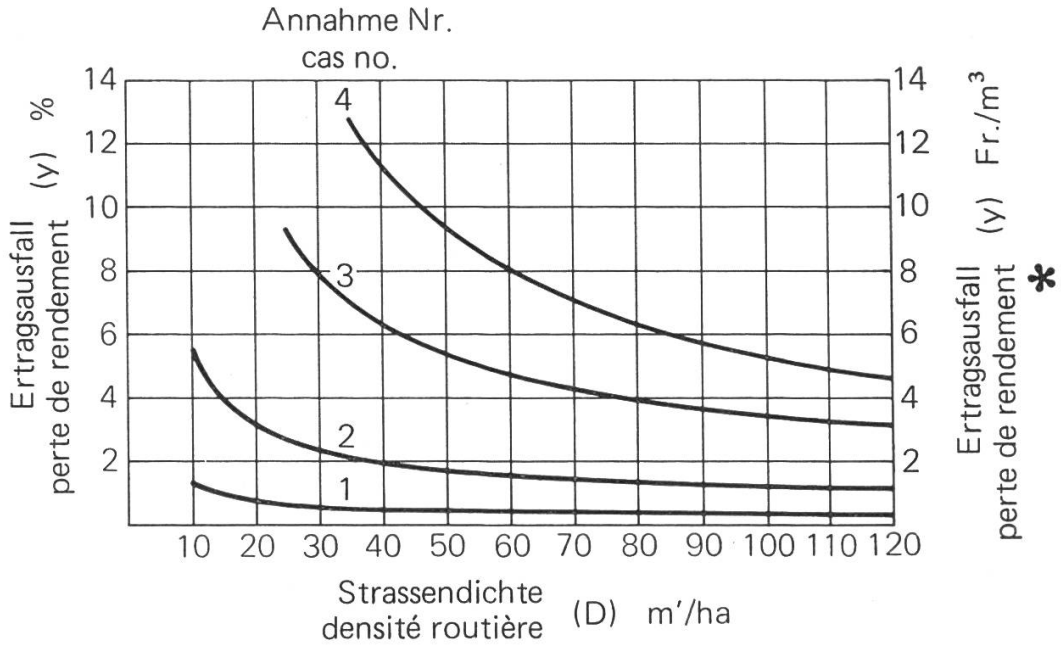
— Die Kosten für *Personen-, Material- und Holztransport auf dem Strassennetz* fallen gegenüber den entsprechenden Kosten auf den Rückegassen nicht ins Gewicht.

— Die *physische und psychologische Bedeutung der Strasse* für alle im Walde Tätigen mag bei völlig fehlender Erschliessung im Gebirge ins Gewicht fallen. Bei den in unserer Arbeit in Frage stehenden mittleren Distanzen von den Beständen zur Strasse zwischen etwa 50 und 150 m verliert das Argument seine Bedeutung, sofern — wie in unserer Kalkulation vorausgesetzt — der Zugang zu den Beständen während der bezahlten Arbeitszeit erfolgt.

— Die *Gliederungsfunktion des Strassennetzes* kann ebensogut vom Rückegassennetz übernommen werden.

— Für unsere begrenzte Fragestellung kann eine von der Strassendichte unabhängige Intensität der Bewirtschaftung vorausgesetzt werden. *Die Erträge der Waldbewirtschaftung* sind deshalb — abgesehen von den Ertragsausfällen durch Strassenschneisen und Rückeschäden — nicht von der Strassendichte abhängig.

Abbildung 12. Ertragsausfall durch das Befahren der Rückegassen (Nadelholz).
Figure 12. Perte de rendement due au trafic sur les layons de débardage (résineux).



*
bei einem erntekostenfreien Erlös von Fr. 100.–/m³
pour un rendement brut, frais de récolte des bois déduits, de Fr. 100.–/m³

Annahme Nr. cas. no.	angenäherte Formel formules approchées
1	$y = 0{,}2 + \frac{12}{D}$
2	$y = 0{,}8 + \frac{48}{D}$
3	$y = 1{,}6 + \frac{192}{D}$
4	$y = 1{,}4 + \frac{400}{D}$

Korrekturfaktor bei abweichendem erntekostenfreiem Erlös:
Facteur de correction pour un rendement brut, frais de récolte des bois déduits, différent: $K_E = \frac{EE}{900}$

— Die *Walderschliessung für die erholungssuchende Bevölkerung* ist zweifellos notwendig. Mit einem Fahrverbot belegte Waldstrassen dienen der Öffentlichkeit gleichzeitig als Spazier- und Wanderwege. Ein grosser Teil der Waldbesucher zieht aber schmälere, weniger befestigte Wanderwege den Waldstrassen vor. Für den weitaus grössten Teil der Schweizer Wälder genügt die in der vorliegenden Arbeit berechnete Strassendichte, um

die für die Waldbesucher erwünschten Verbindungen und Rundwege sicherzustellen. Einzig in den Naherholungsgebieten grosser Städte sollten für die Fussgänger und Wanderer mehr Wege angelegt werden, um unerwünschte Massierungen von Waldbesuchern auf den Wegen zu vermeiden; der Bau eigentlicher Spazierwege entspricht aber in solchen Wäldern den Ansprüchen der Bevölkerung besser als der Bau zusätzlicher Waldstrassen.

4. Optimierung der Strassendichte

4.1 Vergleich der einzelnen von der Strassendichte abhängigen Kosten und Ertragsausfälle

Zur Beurteilung der optimalen Strassendichte ist die Summe aller von der Strassendichte abhängigen Kosten und Ertragsausfälle zu betrachten.

Ein Vergleich der einzelnen Kosten und Ertragsausfälle anhand der Darstellung zeigt, dass den in bisherigen Arbeiten zur optimalen Strassendichte nicht berücksichtigten *Kosten der Arbeitswege* eine wesentliche Bedeutung zukommt. Bei der vorausgesetzten intensiven und noch wenig mechanisierten Waldbewirtschaftung übertreffen die Kosten der Wegzeiten den *distanzabhängigen Anteil der Rückekosten!* Demgegenüber fallen die Kosten *für die erschwerte Holzlagerung* bei geringer Strassendichte weit weniger ins Gewicht.

Den *Rückegassen-Unterhaltskosten,* wofür sich unsere Schätzung allerdings nur auf wenige Unterlagen abstützen konnte, kommt bei schlechter Bodentragfähigkeit etwa dieselbe Bedeutung zu wie dem distanzabhängigen Anteil der Rückekosten; bei mittlerer und guter Bodentragfähigkeit ist ihre Bedeutung aber weit geringer, bei Böden mit sehr schlechter Tragfähigkeit dagegen weit grösser.

Auf die unsichersten Unterlagen musste sich die *Schätzung des Ertragsausfalls durch die Rückeschäden* stützen. Nach den Annahmen 1 und 2 (Abbildung 11), welche wahrscheinlich bei guter und mittlerer Bodentragfähigkeit der Wirklichkeit nahe kommen, hat dieser Ausfall gegenüber dem distanzabhängigen Anteil der Rückekosten nur eine geringe respektive mässige Bedeutung. Ein Ertragsausfall in der Grössenordnung entsprechend Annahme 3 oder 4, mit welcher wahrscheinlich bei schlechter respektive sehr schlechter Bodentragfähigkeit zu rechnen ist, übertrifft hingegen bei weitem den distanzabhängigen Anteil der Rückekosten!

Der *Ertragsausfall durch Strassenschneisen* hat gegenüber der Amortisation, der Verzinsung und dem Unterhalt der Strassen nur geringe Bedeutung.

4.2 Graphische und rechnerische Optimierung

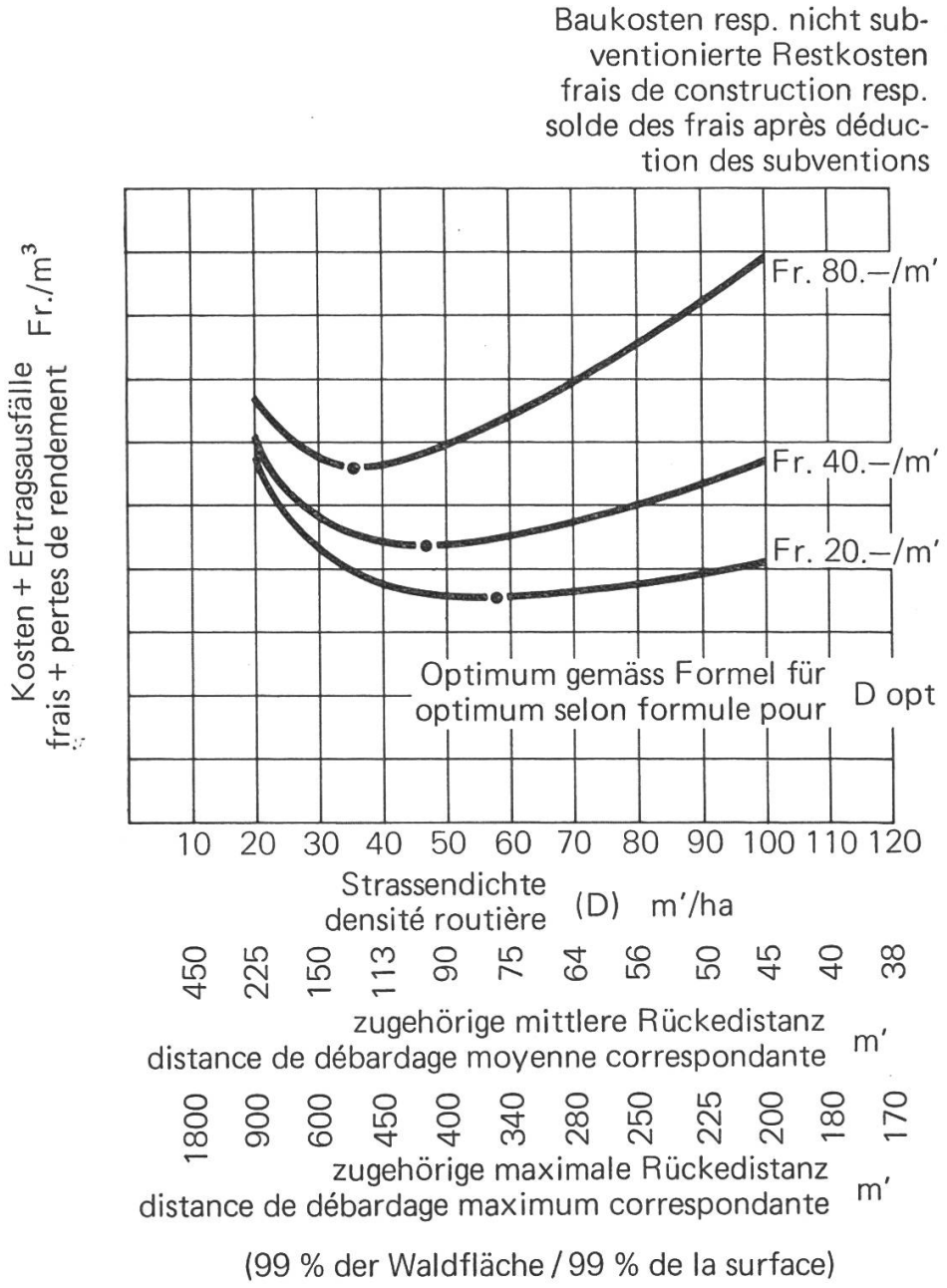
Abbildung 13 zeigt, wie schon viele Autoren nachgewiesen haben (zum Beispiel Soom, 1950), dass die Summe aller von der Strassendichte abhän-

Abbildung 13. Summe der von der Strassendichte abhängigen Kosten und Ertragsausfälle in Funktion von der Strassendichte.

Figure 13. Somme des frais dues au réseau routier et des pertes de rendement en fonction de la densité routière.

Schlechte Bodentragfähigkeit, übrige Annahmen gemäss den Darstellungen der einzelnen Kosten.

Portance du sol mauvaise. Autres données selon les figures des frais seuls.



gigen Kosten und Ertragsausfälle sowohl bei geringer als auch bei hoher Strassendichte stark ansteigt. Bei geringer Strassendichte sind dafür die Kosten für das Rücken, für die Arbeitswege und für den Unterhalt der Rückegassen sowie die Ertragsausfälle durch Rückeschäden verantwortlich,

bei hoher Strassendichte die Kosten für die Amortisation, für die Verzinsung und für den Unterhalt der Strassen sowie der Ertragsausfall durch die Strassenschneisen. Die niedrigsten Gesamtkosten resultieren im gewählten Beispiel je nach Baukosten (respektive nicht subventionierten Restkosten) zwischen 35 und 65 m'/ha.

Einfacher als durch Aufzeichnen der Gesamtkosten bei verschiedenen Strassendichten D kann die optimale Dichte D_{opt} auf rechnerischem Weg ermittelt werden. Die minimalen Gesamtkosten resultieren bei derjenigen Dichte D, bei der die erste Ableitung der Gesamtkosten nach der Strassendichte gleich null ist. Die Formel für die Gesamtkosten, welche sich durch Addition der Formel für die einzelnen Kosten ergibt, ist also nach D abzuleiten, gleich null zu setzen und daraus D_{opt} zu berechnen:

$$D_{opt} = \sqrt{\frac{90 \cdot K_{SN} \cdot K_R + 19{,}5 + 112{,}5 \cdot K_{SN} \cdot K_W + 102 \cdot K_{RU} + 192 \cdot K_E \cdot K_{ER}}{0{,}00398 \cdot B \cdot K_N \cdot K_A + 0{,}043 \cdot K_N \cdot K_{SU} + 0{,}031 \cdot K_E}}$$

(B = Baukosten, K . . = Korrekturfaktoren gemäss Abbildungen 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 11, 13).

Für den Fall, dass alle Korrekturfaktoren gleich 1,0 gesetzt werden (Abbildung 13), ergibt sich:

$$D_{opt} = \sqrt{\frac{516}{0{,}074 + 0{,}00398 \cdot B}}$$

4.3 Optimale Strassendichte unter verschiedenen Bedingungen

Es stellt sich nun die Frage, wie sich abweichende Annahmen auf das Optimum auswirken. Anhand der Korrekturfaktoren der einzelnen Kosten kann das Optimum unter den verschiedensten Annahmen berechnet werden. Die grosse Zahl von Einflussgrössen führt zu einer Vielzahl von Kombinationen. In Tabelle 4 ist die optimale Strassendichte für eine Auswahl von 519 Einzelkombinationen verschiedener Annahmen dargestellt. Da für alle wesentlichen Variablen jeweils mittlere, sehr geringe und sehr hohe Werte berücksichtigt wurden, kann durch Interpolation das Optimum für praktisch beliebige Verhältnisse abgeschätzt werden.

Bei *mittlerer und guter Bodentragfähigkeit,* worunter etwa 40 % der befahrbaren Lagen des Mittellandes und drei Viertel der befahrbaren Lagen

des Juras fallen, dürften die mittleren Strassenbaukosten im befahrbaren Gelände zwischen Fr. 30.— und Fr. 60.—/m' liegen. Nach unseren mittleren Annahmen liegt die optimale Strassendichte unter solchen Bedingungen zwischen 30 und 40 m'/ha (Tabelle 4). Je nach Höhe der Rückekosten und der Kosten der Arbeitswege, der jährlichen Nutzung, nach Amortisationszeit und Zinsfuss, nach Höhe der Strassenunterhalts- und der Strassenbaukosten kann sich dieses Optimum etwas nach oben oder unten verschieben; um Strassendichten unter 20 oder über 50 m'/ha zu rechtfertigen, müssen aber bereits mehrere extreme Annahmen gekoppelt auftreten.

Bei *schlechter Bodentragfähigkeit,* worunter etwa 50 % der befahrbaren Lagen des Mittellandes und ein Viertel jener des Juras fallen, dürften die mittleren Strassenbaukosten im überwiegend traktorbefahrenen Gelände zwischen Fr. 40.— und Fr. 100.— m' liegen. Bei mittleren übrigen Annahmen liegt die optimale Strassendichte unter solchen Bedingungen zwischen 35 und 50 m'/ha.

Würde die Optimierungsrechnung die auf groben Schätzungen beruhenden Rückegassen-Unterhaltskosten und die Ertragsausfälle infolge Rückeschäden nicht berücksichtigen, so resultierte ein um etwa 40 % oder 10—15 m'/ha geringeres Optimum. Die Unsicherheit dieser Schätzungen kann das Ergebnis nicht in Frage stellen; bei einem Schätzfehler in der Grössenordnung von ± 50 % wäre unser Optimum lediglich um 5—8 m'/ha verfälscht.

Die Spurbildung beim Rücken kann auf Böden schlechter Tragfähigkeit bei Strassendichten unter etwa 30 m'/ha Probleme aufwerfen; bei Strassendichten über etwa 40 m'/ha ist die Länge der Rückegassen mit sehr starker Spurbildung aber nur gering (Tabelle 3). Strassendichten von 35—50 m'/ha genügen also auch in dieser Hinsicht.

Bei *sehr schlechter Bodentragfähigkeit* dürften die mittleren Strassenbaukosten im überwiegend flachen und leicht geneigten Gelände zwischen Fr. 50.— und Fr. 150.—/m' liegen. Bei mittleren übrigen Annahmen liegt die rechnerische optimale Strassendichte im Extremfall sehr schlechter Bodentragfähigkeit zwischen 40 und 60 m'/ha. Diese Angabe ist jedoch nur als Näherungswert zu betrachten, da die auf groben Schätzungen beruhenden Kosten für den Rückegassenunterhalt sowie die Ertragsausfälle infolge Rükkeschäden einen wesentlichen Einfluss auf das Optimum haben. Die bei sehr schlechter Bodentragfähigkeit errechnete Spurbildung auf den Rückegassen (Tabelle 3) wird in Wirklichkeit nicht in Kauf genommen; stattdessen wird das Rücken durch vermehrte Beschränkung auf Frostperioden und

Tabelle 4. Optimale Strassendichte in traktorbefahrbarem Gelände unter verschiedenen Annahmen (m'/ha).

Tabl. 4. Densité routière optimale dans des forêts accessibles aux tracteurs pour des conditions différents (m'/ha).

Tabelle 4.
Tabl. 4.

Bodentragfähigkeit *Portance du sol*	Summe der distanzabhängigen Rückekosten, den zusätzlichen Lager- und Wegzeitenkosten *Somme des frais de débardage proportionnels à la distance, des frais de dépôt supplémentaires et des frais de déplacements*	Nutzung m³ / Jahr · ha *Volume exploité annuel par ha*	Amortisationszeit/Zinssatz real bei gleichbleibender Nutzung *Durée d'amortissement/Taux d'intérêt réel pour une exploitation constante*																							ohne Amortisation und Verzinsung und ohne Berücksichtigung des Ertragsausfalls durch die Strassen (Beurteilung einer allfälligen Aufgabe bestehender Strassen) *Sans amortissement, intérêt et pertes de rendement dues aux routes (utilisé pour évaluer si une route mérite d'être supprimée)*		
			30 Jahre / *ans* 5%					50 Jahre / *ans* 2%													80 Jahre / *ans* 0%							
			Strassenunterhaltskosten gemäss Abb. 3 *Frais d'entretien des routes selon Fig. 3*																									
			mittel *moyens*					hoch *élevés*				mittel *moyens*					gering *faibles*				mittel *moyens*					hoch *élevés*	mittel *moyens*	gering *bas*
			Strassenbaukosten resp. Restkosten (Fr./m') *Frais de construction des routes (Fr./m')*																							kein Einfluss *sans influence*		
			10	20	40	80	150	10	20	40	80	10	20	40	80	150	10	20	40	80	10	20	40	80	150			
mittel *moyenne*	gering *faible* (z.B. Rücken mit Knickschlepper; Arbeitsaufwand in Beständen 1,4 Std./m³ Nutzung) *par ex. débardage avec tracteur articulé; 1,4 h de travail par m³ exploité dans le peuplement*	4	(26)	21	16	12	–	(26)	23	19	15	(31)	26	21	16	–	(35)	29	22	16	(36)	33	28	23	–	33	47	67
		8	(35)	28	22	16	–	(35)	31	26	21	(41)	35	29	22	–	(45)	38	30	23	(46)	43	37	31	–	47	67	94
		12	(41)	34	26	20	–	(41)	37	31	25	(47)	41	34	26	–	(51)	44	35	27	(52)	49	43	36	–	57	81	115
	mittel *moyenne* (Rücken mit 60-PS-Landwirtschaftstraktor; Arbeitsaufwand in Beständen 2,8 Std./m³ Nutzung) *(par ex. débardage avec tracteur agricole; 2,8 h de travail par m³ exploité dans le peuplement*	4	(33)	26	20	15	–	(33)	29	24	19	(39)	33	26	20	–	(44)	36	28	21	(45)	41	35	29	–	42	59	84
		8	(44)	36	27	20	–	(44)	39	33	26	(51)	44	**36**	28	–	(57)	48	38	29	(58)	54	47	39	–	59	84	118
		12	(51)	42	33	25	–	(51)	46	39	32	(59)	52	43	33	–	(65)	55	45	34	(66)	61	55	46	–	72	102	145
	hoch *élevée* (z.B. Rücken mit 40-PS-Traktor, Arbeitsaufwand in Beständen 4,0 Std./m³ Nutzung) *par ex. débardage par tracteur de 40 CV 4,0 h de travail par m³ exploité dans le peuplement*	4	(38)	31	23	17	–	(38)	34	28	22	(46)	39	31	23	–	(52)	42	32	24	(53)	48	41	34	–	49	69	98
		8	(52)	42	32	24	–	(51)	46	39	31	(60)	52	42	32	–	(67)	56	44	33	(68)	63	55	46	–	69	98	138
		12	(60)	49	39	29	–	(60)	54	46	37	(69)	60	50	39	–	(76)	65	52	40	(77)	72	64	54	–	85	120	169
schlecht *mauvaise*	gering *faible*	4	(38)	(30)	23	17	13	(38)	(33)	28	22	(45)	(38)	31	23	18	(51)	(42)	32	24	(52)	(48)	41	33	26	49	69	97
		8	(51)	(41)	32	24	18	(51)	(45)	38	31	(60)	(51)	42	32	25	(66)	(55)	44	33	(67)	(62)	55	45	36	69	97	137
		12	(60)	(49)	38	29	22	(59)	(53)	46	37	(68)	(60)	49	39	30	(75)	(64)	52	40	(76)	(71)	63	53	43	84	119	168
	mittel *moyenne*	4	(43)	(34)	26	19	14	(43)	(38)	31	25	(51)	(43)	34	26	20	(58)	(47)	36	27	(59)	(54)	46	38	30	55	77	110
		8	(58)	(47)	36	27	20	(57)	(51)	43	34	(67)	(58)	**47**	**36**	28	(75)	(63)	49	37	(76)	(70)	62	51	41	77	110	155
		12	(67)	(55)	43	32	24	(67)	(60)	51	41	(77)	(68)	56	43	34	(85)	(72)	58	45	(86)	(80)	71	60	49	95	134	189
	hoch *élevée*	4	(47)	(38)	29	21	16	(47)	(42)	35	27	(56)	(48)	38	29	22	(64)	(52)	40	30	(65)	(59)	51	41	33	60	85	121
		8	(64)	(52)	40	29	22	(63)	(56)	48	38	(74)	(64)	52	40	31	(82)	(69)	54	41	(84)	(77)	68	56	45	85	121	171
		12	(74)	(61)	48	36	27	(74)	(66)	57	46	(85)	(74)	61	48	37	(93)	(80)	64	49	(95)	(88)	79	66	54	104	148	209
sehr schlecht *très mauvaise*	mittel *moyenne*	4	(58)	(46)	35	26	19	(58)	(51)	43	34	(69)	(58)	47	35	27	(78)	(64)	49	36	(80)	(73)	63	51	40	74	105	148
		8	(78)	(63)	49	36	27	(78)	(69)	58	47	(91)	(78)	64	49	37	(101)	(84)	67	50	(103)	(95)	83	69	55	105	148	209
		12	(91)	(75)	58	44	33	(90)	(81)	69	56	(104)	(91)	75	59	45	(114)	(98)	79	60	(116)	(108)	96	81	66	128	181	256

– derart hohe Baukosten treten nur bei schlechter Bodentragfähigkeit auf / *des frais de construction aussi élevés ne se rencontrent que sur des sols de mauvaise portance*

( ) derart geringe Baukosten werden nicht erreicht. Privatwirtschaftliche Betrachtung (Baukosten abzüglich Subventionen) / *des frais de construction aussi bas ne se rencontrent pas, à moins qu'on ne considère que le solde des frais après déduction des subventions*

47 "wahrscheinlichste" Annahmen / *"cas" le plus probable*

durch vermehrten Einsatz des Seilzuges anstelle des Befahrens der Rückegassen verteuert. Da die Böden mit sehr schlechter Tragfähigkeit (auch während längerer Trockenperioden wassergesättigte Böden) nur wenige Prozente der Mittelland- und Jurawälder ausmachen, beeinflusst dieser nicht vollständig abgeklärte Sonderfall unsere Betrachtungen nur wenig. Die Flyschgebiete der Voralpen, in denen solche Böden weit verbreitet sind, bleiben aber aus unserer Untersuchung ausgeschlossen.

Der Grund für die geringe Beeinflussung des Optimums durch stark abweichende Annahmen liegt darin, dass mit zunehmender Strassendichte der Erschliessungswert jedes zusätzlichen Laufmeters Strasse abnimmt (Gesetz vom abnehmenden Ertragszuwachs). So wird durch eine Erhöhung der Strassendichte von 10 auf 20 m'/ha die mittlere Distanz vom Bestand zur Strasse um rund 200 m, durch eine Erhöhung von 40 auf 50 m'/ha um rund 20 m, durch eine Erhöhung von 90 auf 100 m'/ha aber nur noch um rund 5 m reduziert. Aus diesem Grund könnten selbst grössere Fehler in unseren Annahmen am Ergebnis nur wenig ändern.

4.4 Privatwirtschaftliches und volkswirtschaftliches Optimum

Werden bei rein privatwirtschaftlicher Betrachtung nur die Restkosten (Baukosten abzüglich Subventionen) in Rechnung gestellt, so ergibt sich natürlich eine etwas höhere optimale Strassendichte. Für öffentliche Waldeigentümer, welche bei Strassenbauten in einfachem Gelände bis höchstens 50 % Subventionen erhalten, verschiebt sich das Optimum aber nur in bescheidenem Rahmen. Bei Privatwaldzusammenlegungen, die bis zu 90 % subventioniert werden, kann hingegen bei privatwirtschaftlicher Betrachtungsweise die optimale Strassendichte annähernd doppelt so hoch sein wie bei der für den öffentlichen Forstdienst massgeblichen volkswirtschaftlichen Betrachtungsweise unter Berücksichtigung der gesamten Kosten.

4.5 Beurteilung sehr dichter bestehender Strassennetze

Um zu beurteilen, ob in Strassennetzen mit einer das Optimum wesentlich übersteigenden Dichte allenfalls einzelne Strassen aufgegeben werden sollen, darf die Amortisation und Verzinsung der bestehenden Strassen nicht berücksichtigt werden, da das in bestehende Strassen investierte Kapital bei einer Aufgabe der Strassen nicht wiedergewonnen werden kann. Ebenso darf auch der durch die bestehenden Strassen bewirkte Ertragsausfall nicht berücksichtigt werden. Dieses bei einer Reduktion zu dichter bestehender Strassennetze anzustrebende «Optimum» ist sehr stark von den Strassenunterhaltskosten, den Rückeaufwendungen, den Kosten der Wegzeiten und von der Nutzungsmenge abhängig. Unter mittleren Bedingungen liegt dieses «Optimum» bei mittlerer und guter Bodentragfähigkeit um 80 m'/ha, bei

schlechter Tragfähigkeit um 100 m'/ha und im Extremfall sehr schlechter Tragfähigkeit um 150 m'/ha. Im allgemeinen liegt also dieses «Optimum» über der Dichte bestehender Strassennetze. Ist hingegen mit hohen Strassenunterhaltskosten zu rechnen, beispielsweise bei älteren Strassen mit ungenügender Dimensionierung, so ist es aber durchaus denkbar, dass dieses «Optimum» bereits überschritten ist und die Strassendichte durch Aufgabe einzelner bestehender Strassen reduziert werden sollte!

5. Folgerungen

Der Einbezug des gesamten Nutzens der Waldstrassen in die Berechnungen sowie die Wahl eines niedrigen, realen Kalkulationszinsfusses führten zu einer optimalen Strassendichte, welche deutlich höher liegt als alle Ergebnisse bisheriger Berechnungen. Ebenso eindeutig liegt das Resultat aber unter den Strassendichten von 60—100 m'/ha, welche in der Schweiz bisher angestrebt wurden, um bei einem intensiven Waldbau das Rücken ohne Feinerschliessung zu erleichtern. Unser Optimum von 30—50 m'/ha bestätigt die in der «Gesamtkonzeption für eine schweizerische Wald- und Holzwirtschaftspolitik» vertretene Auffassung, wonach «Lastwagenstrassendichten von 54 bzw. 42 laufende Meter pro Hektar als Durchschnitt über eine grössere Region als durchaus befriedigend betrachtet werden können ...» *(Eidg. Oberforstinspektorat*, 1975, Seite 91). Unser Optimum liegt im oberen Bereich der von *Löffler* (1974) empfohlenen Strassendichte.

Natürlich ist die optimale Strassendichte keine in jedem Fall streng einzuhaltende Grösse. So kann das Optimum denn auch nicht genau fixiert, sondern nur dessen Bereich angegeben werden. Eine Über- wie eine Unterschreitung des Optimums mag in Einzelfällen durchaus angebracht sein; bei der Planung genereller Wegnetze sollte die wirtschaftlich optimale Dichte aber als Richtlinie dienen. Auch wenn über die optimale Erschliessungsdichte von nicht befahrbaren Hanglagen noch keine Angaben gemacht werden können, scheint es doch angezeigt, die heute in der Schweiz übliche Auffassung über die bei Walderschliessungen notwendigen Strassendichten zu revidieren.

Für neu zu planende Strassennetze ist es einfach, eine bestimmte, im Sinne der vorliegenden Ausführungen reduzierte Strassendichte zu verwirklichen. Der anzustrebende Strassenabstand A (m) errechnet sich aus der Strassendichte D (m'/ha) und einem Strassennetzkorrekturfaktor von etwa 1,25:

$$A = \frac{10\,000}{D} \times 1{,}25$$

Um Strassendichten von 30—50 m'/ha zu erzielen, ist von Strassenabständen von 250—400 m auszugehen, gegenüber bis anhin als notwendig erachteten Abständen von 125—200 m.

Eine Mindestfläche, für welche die Strassendichte beurteilt werden soll, lässt sich nicht exakt definieren. Je kleiner der zu beurteilende Waldkomplex ist, desto geringer wird die Aussagekraft der Strassendichte. In Wäldern von wenigen ha Grösse können sich sehr grosse Strassendichten ergeben; je nach Art und Erschliessung des benachbarten Geländes kann der Erschliessungsstand aber auch ohne jegliche Waldstrassen befriedigen. Für eine Beurteilung des Erschliessungsstandes kleiner Wälder müssen deshalb neben der Waldstrassendichte die Lagermöglichkeiten an Strassen ausserhalb des Waldes und die Rückedistanzen herangezogen werden. Die anzustrebende mittlere Rückedistanz d (m) lässt sich aus der anzustrebenden Strassendichte D (m'/ha) und einem Korrekturfaktor von 1,8 abschätzen:

$$d = \frac{2500}{D} \times 1{,}8$$

Strassendichten von 30—50 m'/ha entsprechen also mittleren Rückedistanzen von 90—150 m.

Im schweizerischen Mittelland und Jura besteht, soweit nicht ein gemäss generellem Projekt gebautes Forststrassennetz vorhanden ist, für die meisten Wälder wenigstens eine grobe, wenn auch nicht ideal angelegte Erschliessung durch öffentliche Strassen, Flurstrassen und einzelne ohne generelle Planung angelegte Waldstrassen. In solchen Wäldern kann die Gesamterschliessungsdichte das rechnerische Optimum überschreiten, ohne dass die Erschliessung einzelner Teilgebiete genügt. Ein weiterer Ausbau von Strassennetzen, deren Dichte das rechnerische Optimum übersteigt, kann deshalb ohne Kenntnis der lokalen Bedingungen keinesfalls ausgeschlossen werden. Wertvolle Hinweise über die Ausbauwürdigkeit einzelner Strassenprojekte geben die auf der Abszisse in Abbildung 14 angegebenen, einer bestimmten Strassendichte entsprechenden mittleren und maximalen Rückedistanzen: Bei einer optimalen Strassendichte um 40—50 m'/ha beträgt die mittlere Rückedistanz rund 100 m; nur wenn die Rückedistanz auf grösseren Waldflächen die maximale Distanz von 400—500 m übersteigt, sollte eine Verdichtung des Strassennetzes ins Auge gefasst werden. Wir müssen uns also von der Auffassung lösen, dass jede Waldparzelle und jeder Bestand von einer Strasse durchzogen sein müssen.

Um bei Strassendichten von 30—50 m'/ha eine intensive waldbauliche Behandlung der Bestände im Femelschlag- (oder Plenter-)betrieb zu ermöglichen, muss allerdings ein dichtes Rückegassennetz vorhanden sein. Diese Voraussetzung ist heute in der Schweiz erst an wenigen Orten gegeben. Anstelle einer weiteren Verdichtung des Strassennetzes sollte deshalb heute vor allem die Feinerschliessung der Bestände durch Rückegassen vorangetrieben werden.

In fraglichen Fällen wäre es unseres Erachtens durchaus angebracht, Aufwand und Nutzen konkreter Strassenprojekte im einzelnen zu kalkulieren.

Wesentlich bei solchen Kalkulationen ist, dass die Eingangsgrössen sorgfältig abgeschätzt werden. Eine Messung der Rückedistanzen für den ursprünglichen und den geplanten Erschliessungsstand nach einem Punktrasterverfahren (Abbildung 3) trägt beispielsweise wesentlich zu einer realistischen Einschätzung der Rückekosteneinsparung bei. Eine gründlich erarbeitete Gegenüberstellung von Aufwand und Nutzen einzelner Strassenprojekte würde wohl für manche Bauherren erstaunliche Resultate zeitigen. Der Aufwand für solche Kalkulationen darf zwar nicht unterschätzt werden; er dürfte aber doch weit unter dem als unerlässlich betrachteten Aufwand für die bautechnische Detailprojektierung liegen.

Viele Waldungen des schweizerischen Mittellandes und Juras sind heute bereits dichter erschlossen, als es nach unseren Überlegungen für eine optimale Bewirtschaftung notwendig wäre. Solange Unterhaltskosten von rund 40 Rappen pro Laufmeter und pro Jahr ausreichen, ist eine weitere Erhaltung dieser zu dichten Strassennetze durchaus zweckmässig. Im Falle alter, ungenügend dimensionierter Strassen mit hohen Unterhaltskosten stellt sich jedoch ernsthaft die Frage, ob nicht einzelne Strassenzüge mit geringem Erschliessungseffekt zur Verringerung der Unterhaltskosten aufgegeben und nur als Rückewege weiterbenützt werden sollten. Müssen solche Strassen mit einer neuen Trag- und Verschleissschicht versehen werden, um sie später maschinell unterhalten zu können, so ist diese Massnahme als Neuinvestition zu betrachten. Da hiefür meist Kosten von nahezu Fr. 20.—/m' erforderlich sind, kann auch diese Betrachtungsweise zum Schluss führen, nicht mehr das ganze Strassennetz zu erhalten.

In einem sich weiterentwickelnden Wirtschaftssystem verändern sich die Kostenverhältnisse zwischen den verschiedenen Produktionsfaktoren Boden, Arbeit, Kapital und Energie laufend. Langfristig können nur jene Betriebe konkurrenzfähig bleiben, welche einen Teil ihrer Reinerträge laufend reinvestieren, um sich den verändernden Bedingungen anzupassen. Dies gilt selbstverständlich auch für die Forstwirtschaft und wird oft als Grund für die Notwendigkeit weiterer Strassenbauten angeführt. Es machen sich aber nur jene Investitionen bezahlt, deren langfristiger Nutzen in der Form von Einsparungen oder Mehrerträgen ihre Kosten übersteigen. Wie unsere Kalkulationen zeigen, ist dies bei einer Verdichtung der Walderschliessung in traktorbefahrbaren Lagen über 30—50 m'/ha hinaus nicht der Fall. Es ist daher zu prüfen, ob nicht andere Investitionen mehr zur Erhaltung der Konkurrenzfähigkeit der Forstwirtschaft beitragen, als zusätzliche Strassenbauten. Unseres Erachtens versprechen bei einer bereits vorhandenen Strassendichte von 30—50 m'/ha Investitionen in waldbauliche Massnahmen, in eine bessere Aus- und Weiterbildung der Arbeitskräfte und bei der Mechanisierung der Waldarbeit mit grosser Wahrscheinlichkeit mehr Erfolg als weitere Strassenbauten.

Der Bund und die Kantone sollten als Subventionsgeber ihre ohnehin knappen Geldmittel nicht für weitere Strassenbauten in bereits ausreichend erschlossenen Waldungen einsetzen, sondern vermehrt auf die Erschliessung noch sehr schlecht erschlossener Waldungen mit potentiell grossen Nutzungsmöglichkeiten konzentrieren. Ausserdem sollten jene Massnahmen vermehrt gefördert werden, welche die Möglichkeiten der einzelnen Forstbetriebe oft stärker übersteigen als dies bei Walderschliessungen der Fall ist. (Überbetrieblicher Maschineneinsatz, Aus- und Weiterbildung der Arbeitskräfte, Unfallverhütung.)

Zusammenfassung

Das Problem der optimalen Strassendichte ist schon lange bekannt. In den meisten bisher publizierten Optimierungen wurden neben dem Aufwand für die Erstellung und den Unterhalt des Wegnetzes nur die Rückekosten einbezogen und der gesamte übrige Nutzen der Walderschliessung nicht berücksichtigt. In der vorliegenden Arbeit wird versucht, diesen übrigen Nutzen ebenfalls zu quantifizieren und in die Optimierung einzubeziehen.

Die aus der Verdichtung eines Strassennetzes resultierenden Einsparungen durch Verkürzung der Arbeitswege für alle Waldarbeiten erreichen bei intensiver und wenig mechanisierter Waldbewirtschaftung dieselbe Grössenordnung wie die Einsparungen an Rückekosten. Die Kosten für die Instandstellung der Rückegassen sowie die Zuwachsverluste durch Wurzelverletzungen fallen bei schlechter Bodentragfähigkeit mit entsprechender Spurbildung beim Rücken sogar stärker ins Gewicht als der distanzabhängige Anteil der Rückekosten.

Unter Berücksichtigung des gesamten Nutzens der Walderschliessung liegt die optimale Waldstrassendichte in traktorbefahrbarem Gelände für schweizerische Verhältnisse zwischen 30 und 50 m'/ha, sofern die Bestände durch Rückegassen feinerschlossen werden. Diese Dichte ist wesentlich grösser als aus allen bisher in Mitteleuropa publizierten Optimierungen hervorgeht, aber wesentlich geringer als die bisher in der Schweiz als notwendig erachtete Strassendichte.

Résumé

Estimation de la densité routière optimale dans des forêts accessibles aux tracteurs

Quelle est la densité routière optimale? Ce problème, connu depuis longtemps, n'a été abordé dans la plupart des études qui lui ont été consacrées qu'en comparant les frais de construction et d'entretien des routes à ceux de débardage, et

en négligeant tous les autres services rendus par la dévestiture forestière. La présente étude s'efforce d'intégrer aussi ces autres services dans le processus d'optimisation après avoir tenté d'en chiffrer la valeur.

Dans des exploitations forestières intensives peu mécanisées, les gains de temps pour tous les travaux forestiers, obtenus grâce à la construction d'un réseau routier, se traduisent par des économies du même ordre de grandeur que celles obtenues sur les frais de débardage. Dans les terrains de mauvaise portance, où le débardage provoque de profondes ornières, les frais d'entretien des layons de débardage et les pertes d'accroissement dues aux blessures des racines peuvent surpasser le montant des frais de débardage proprement dits (sans les temps nécessaires pour accrocher et décrocher les bois).

Compte tenu de tous les avantages de la dévestiture forestière, la densité routière optimale en terrain accessible aux tracteurs se situe entre 30 et 50 m'/ha pour les conditions suisses, pour autant que les peuplements soient desservis en détail par un réseau de layons de débardage. Cette densité est sensiblement supérieure à celles préconisées dans toutes les études d'optimisation publiées en Europe centrale, mais elle est sensiblement inférieure aux conceptions actuellement admises en Suisse. Traduction: *J.-B. Chappuis*

Literaturverzeichnis

Abegg, B., 1974: Kalkulationsunterlagen für die Leistung beim Rücken mit Forsttraktoren und beim Reisten auf kurze Distanz. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Ber. 124

Agren, A., 1968: Produktionsförluster till följd av virkestransport i gallringsskog. Ska vi gallra. Sveriges Skogsvardsförbund

Anderson, S. O., 1969: Row and Strip Thinning. IUFRO Meeting Royal College of Forestry, Stockholm.

Backmund, F., 1966: Kennzahlen für den Grad der Erschliessung von Forstbetrieben durch autofahrbare Wege. Forstw. Cbl., 85, 342—354

Eidg. Oberforstinspektorat, 1975: Gesamtkonzeption für eine schweizerische Wald- und Holzwirtschaftspolitik. Hauptbericht der vom Eidg. Departement des Innern am 16. 8. 1971 eingesetzten Expertenkommission.

Eidg. Statistisches Amt, 1977: Forstbetriebe der öffentlich-rechtlichen Körperschaften 1975. Statistische Quellenwerke der Schweiz

Eidg. Statistisches Amt: Schweizerische Forststatistik. Erhebung von Grunddaten der öffentlichen Forstbetriebe, erscheint jährlich

Eidg. Statistisches Amt: Statistisches Jahrbuch der Schweiz

Erdas, O., 1976: Bodenmechanische Probleme der Befahrbarkeit, der Bodentragfähigkeit und des Holzrückens in natürlichen Böden des schweizerischen Mittellandes. ETH, Dissertation Nr. 5830

Fries, J., 1974: Views on the choice of silvicultural methods and logging technic in thinnings. IUFRO Meeting Edinburg

Gemperli, L., 1970: Gedanken zur Anwendung von Zinssätzen in der Waldwertschätzung. In: Richtlinien für die Schätzung von Wald und Waldschäden. Beih. Z. Schweiz. Forstver., Nr. 50, 1971

Hedén, S., 1969: Preliminary report on an investigation concerning the influence on yield of tractor logging in thinnings. Thinning and mechanisation. IUFRO Meeting Royal College of Forestry, Stockholm

Kramer, H., 1958: Wegebreite und Zuwachs im angrenzenden Bestand. Allg. Forst Jagdztg. 129, 121—134

Krebs, E., 1944: Grundsätzliches zum Waldstrassenbau. Schweiz. Z. Forstwes., 95, 312—319

Kroth, W., 1973: Entscheidungsgrundlagen bei Walderschliessungsinvestitionen. Forstw. Cbl., 92, 132—151

Leibundgut, H., 1961: Die Walderschliessung als Voraussetzung für den Waldbau. Schweiz. Z. Forstwes., 112, 187—196

Leibundgut, H., 1971: Integrale Walderschliessung. Forstw. Cbl., 90, 135—142

Loeffler, H., 1974: Funktionen und Möglichkeiten der Walderschliessung. Vortragsreihe Interforst, München

Schädelin, W., 1933: Die Transportgrenze als Grundlage einer räumlichen Ordnung im Schlagwald. Schweiz. Z. Forstwes., 84, 272—278

Schweiz. Verband für Waldwirtschaft: Lohnstatistik. (Die Löhne in der Waldwirtschaft.) Erscheint jährlich in «Wald und Holz»

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

Sieber, H., 1974: Sparen ohne Inflationssorgen dank Indexierung? Fragen an den Berner Volkswirtschafter. Tages-Anzeiger, 31. 5. 1974, 45—46

Soom, E., 1950: Rückeaufwand und Wegeabstand. Schweiz. Z. Forstwes., 101, 546—560

Stösser, T., Buchli, A., . . .: Ergebnisse der betriebswirtschaftlichen Untersuchung in der Schweiz. Forstwirtschaft. 2.—6. Untersuchungsjahr. Institut für forstliche Betriebswirtschaftslehre ETHZ, unveröffentlicht

Volkert, E., 1956: Die Bringungstechnik als gemeinsames Problem von Forst- und Holzwirtschaft. Schriftenreihe d. Forstl. Fak. d. Universität Göttingen, Nr. 16 (besprochen von Strehlke in FA 28, 89—90)