

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber: Schweizerischer Forstverein
Band: 128 (1977)
Heft: 4

Artikel: Bau- und Unterhaltskosten von Wald- und Güterstrassen
Autor: Hirt, R.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-766821>

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: 13.07.2025

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

Bau- und Unterhaltskosten von Wald- und Güterstrassen¹

Von *R. Hirt*, ETH Zürich

Oxf.: 383.4

1. Einleitung

Von den rund 40 000 km² der Oberfläche der Schweiz entfallen etwa drei Viertel auf produktives Land. Dieses umfasst zu etwa gleichen Teilen, das heisst zu je etwa 10 000 km²

- landwirtschaftliches Kulturland (Wiesen, Äcker, Intensivkulturen)
- Sömmerungsweiden und
- Wald

Das produktive Areal hat in der Regel eine Kombination von verschiedenen Funktionen zu erfüllen. Die wesentlichste ist zweifellos die Urproduktion, das heisst die möglichst hohe und nachhaltige Erzeugung land- und forstwirtschaftlicher Produkte.

Neben der Güterproduktion erfüllen der Wald und die landwirtschaftlichen Gebiete ebenso wichtige Dienstleistungsfunktionen für die Allgemeinheit, nämlich die Flächenfunktionen, die Erholungsfunktionen und die Schutzfunktionen. Sie umfassen die Wirkungen von Feld und Wald als gestaltende und gliedernde Elemente unserer Landschaft und die Wirkungen dieser Gebiete als Erholungsräume in den Ballungsgebieten des Mittellandes und in den Ausflugs- und Ferienebieten der Voralpen und Alpen.

Die Schutzfunktionen sind eine Besonderheit des Waldes. Er vermag die Menschen, die Siedlungen, die landwirtschaftlichen Gebiete und die Verkehrsanlagen vor den Naturgewalten wie Lawinen, Steinschlag, Wildwasser usw. zu schützen.

Die Bereitstellung und nachhaltige Nutzung der Produktions- und Dienstleistungsfunktionen des Waldes und des Landwirtschaftsgebietes stellen ein elementares öffentliches Interesse für die Versorgung und Wohlfahrt der Schweiz dar. Die Erhaltung und Bewirtschaftung dieser Gebiete wird des-

¹ Antrittsvorlesung, gehalten am 6. Dezember 1976 an der ETH Zürich.

Gedruckt mit Unterstützung der Professur für Forstliches Ingenieurwesen.

halb durch staatliche Eingriffe, wie zum Beispiel Gebote, Verbote, produktionslenkende Massnahmen und finanzielle Beiträge, sehr stark beeinflusst.

Eine rationelle Bereitstellung und Nutzung der genannten Funktionen kann aber nur erfolgen, wenn die land- und forstwirtschaftlichen Flächen durch Strassen und Wege erschlossen sind. Diese Tatsache kommt in allen Berichten zur Lage der Land- und Forstwirtschaft eindeutig zum Ausdruck. Die meist einspurigen Wald- und Güterstrassen werden im Rahmen von Zusammenlegungen oder integralen Erschliessungsplanungen gebaut, das heisst unter optimaler Berücksichtigung aller Bedürfnisse und Interessen der Forstwirtschaft, der Land- und Alpwirtschaft, der Erholung und des Tourismus usw.

Das feine Netz der Wald- und Güterstrassen ermöglicht den leichten Zugang zu den Flächen für die Bewirtschaftung und Pflege und auch in hohem Mass die Nutzung der Dienstleistungsfunktionen. Es bildet so die wichtigste Infrastruktur zur Verbesserung der gesamtwirtschaftlichen Lage des Waldes und des landwirtschaftlichen Gebietes.

UEBERSICHT UEBER DAS STRASSENNETZ DER SCHWEIZ

	Fläche km ²	Strassendichte		Strassenlänge Soll km	Σ km					
		Ist m ² /ha	Soll m ² /ha							
Klassierte Strassen										
Gemeinde } Kantons } National }	41000	15	15	60 000	60 000					
Landwirtschaft										
Landwirtschaft i. e. S.						10 800	?	50	50 000	60 000
Sömmerungsweiden	10 600	?	10	10 000						
Forstwirtschaft										
Jura	1 800	42 *	50	9 000	45 000					
Mittelland	2 400	54 *	80	19 200						
Voralpen	1 900	16 *	30	5 700						
Alpen	3 500	7 *	20	7 000						
Alpensüdseite	1 300	?	30	3 900						

* nur öffentlicher Wald

Abbildung 1

Im Schatten des gigantischen Hochleistungsstrassenbaus ist «abseits der grossen Landstrasse» das sekundäre Netz der Wald- und Güterstrassen in Entstehung begriffen. Mit einer Länge von etwa 50 000—55 000 km wird es bald den klassierten Strassen gleichkommen (Abbildung 1). Im Endausbau werden die Wald- und Güterstrassen eine Länge von etwa 100 000 km erreichen, so dass das noch zu realisierende Bauvolumen etwa 50 000 km beträgt. Heute werden pro Jahr über 1000 km gebaut, was einer jährlichen Bausumme von über 200 Millionen Franken entspricht.

Die Land- und Forstwirtschaft ist wegen der geringen Finanzkraft, der ungünstigen Ertragslage und der kaum auszuweisenden Rentabilität der Strassen nicht in der Lage, diese Summen aus eigenen Kräften aufzubringen. Da aber ein ausgewiesenes und wesentliches Interesse der Allgemeinheit an einer optimalen Nutzung des land- und forstwirtschaftlichen Gebietes besteht, leistet die öffentliche Hand, das heisst Bund, Kantone und Gemeinden, grosse Beiträge an die Baukosten der Wald- und Güterstrassen im Sinne einer nachhaltigen Strukturverbesserung. Mit der Gewährung dieser Subventionen an die Baukosten, wird dem Strassenbesitzer aber die Pflicht überbunden, diese Strassen dauernd in gutem Zustand zu erhalten. Für den Unterhalt der Fahrbahn, der Anlagen für die Wasserableitung und der Kunstbauten ist bei den Wald- und Güterstrassen mit Unterhaltskosten von 50 Rappen bis 1 Franken pro Jahr und Laufmeter Strasse zu rechnen, was einem gesamten Unterhaltsaufwand von 25 bis 50 Millionen Franken jährlich entspricht.

Die heute geübte Praxis der Subventionierung der Baukosten und der Pflicht der Übernahme der Unterhaltskosten durch den Eigentümer der Strasse führt in vielen Fällen zu einem Interessenkonflikt zwischen der Bauherrschaft und der öffentlichen Hand als Subventionsbehörde, der sich auf die Wahl des Ausbaustandards bezieht.

Als Ausbaustandard wird die qualitative und quantitative Zusammensetzung des Strassenoberbaus verstanden, das heisst die Dicke der verschiedenen Schichten und ihre Korn- und Bindemittelzusammensetzung. So kann zum Beispiel ein Strassenoberbau aus ungebundenem Kies — also eine Naturstrasse — die gleiche Tragfähigkeit aufweisen, wie ein Oberbau mit gebundenen Trag- und Deckschichten. Der Ausbaustandard, insbesondere die Erosionsfestigkeit, ist aber wesentlich verschieden. Deshalb unterscheiden sich die beiden Oberbautypen in der Art und Häufigkeit der Unterhaltmassnahmen. Folglich ist der Ausbaustandard auch ein entscheidender Faktor, der die Grösse der Bau- *und* Unterhaltskosten bestimmt.

2. Möglichkeiten zur Wahl des Strassenoberbaus

Betrachten wir im folgenden eine Wald- oder Güterstrasse mit zusätzlicher Verbindungsfunktion in den Voralpen, also einen recht häufigen Stras-

sentyp mit relativ grosser Beanspruchung. Charakteristisch für eine derartige Strasse sind, nebst einem mässigen Bewirtschaftungsverkehr, der häufige und schnelle Verkehr mit Personenwagen, die hohen Niederschläge und die meist grossen Steigungen.

Bei Kenntnis der Untergrundtragfähigkeit, der verfügbaren Baustoffe und des Verkehrs können für diese Strasse mehrere, bezüglich der Tragfähigkeit gleichwertige Varianten bestimmt werden. Diese unterscheiden sich im Ausbaustandard, also in der Menge, der Zusammensetzung und Festigkeit der Baustoffe der Trag- und Deckschichten.

Wir bestimmen für diese Strasse drei Varianten mit gleicher Tragfähigkeit und unterstellen, dass ein Aufbau aus ungebundenem Kies die kleinsten, ein Aufbau mit bituminös gebundenen Deckschichten mittlere und die Betonplatte die grössten Baukosten erfordert.

Die Deck- oder Verschleisschicht wird durch Normal- und Schubspannungen, aber auch durch die Erosionswirkung der Räder und der Niederschläge beansprucht. Der Ausbaustandard, insbesondere die Erosionsfestigkeit der oberflächennahen Schichten, bestimmt die Art und Häufigkeit der Unterhaltmassnahmen und somit die Grösse der Unterhaltskosten. Mit zunehmendem Ausbaustandard bzw. mit zunehmender Qualität der Oberbauschichten werden aber die Baukosten vergrössert, dagegen verkleinern sich die Unterhaltskosten (Abbildung 2). Für die betrachtete Verbindungsstrasse wird die reine Naturstrasse — obwohl bezüglich der Tragfähigkeit den andern Varianten gleichwertig — die kleinsten Baukosten und die grössten Unterhaltskosten ergeben (Aufbau ①). Die höchsten Baukosten verursacht die Betonplatte (Aufbau ②); dagegen ist ihr Unterhalt verschwindend klein. Zwischen den beiden Extremen liegt eine «mittlere» Aufbauvariante (Aufbau ③), bei der die Summe der Baukosten und Unterhaltskosten minimal wird.

Für eine bestimmte Strasse besteht also zwischen dem Ausbaustandard bzw. den Baukosten und dem Unterhaltsaufwand eine enge Abhängigkeit. Die Gesamtkosten einer Strasse, also die Summe der Bau- und Unterhaltskosten sind eine Funktion des Ausbaustandards; diese Funktion ist allerdings vorerst nicht bekannt. Es ist aber evident, dass sie je nach Strassentyp verschieden ist. Die Verhältnisse auf einer schwach befahrenen Erschliessungsstrasse im Mittelland sind sicher verschieden von denjenigen auf einer stark befahrenen Verbindungsstrasse in den Voralpen.

Auf Grund dieser Erkenntnisse können aber drei für die weiteren Überlegungen interessante Varianten ausgeschieden werden, nämlich

- die baukostenminimale Variante
- die unterhaltskostenminimale Variante
- die gesamtkostenminimale oder kostenoptimale Variante

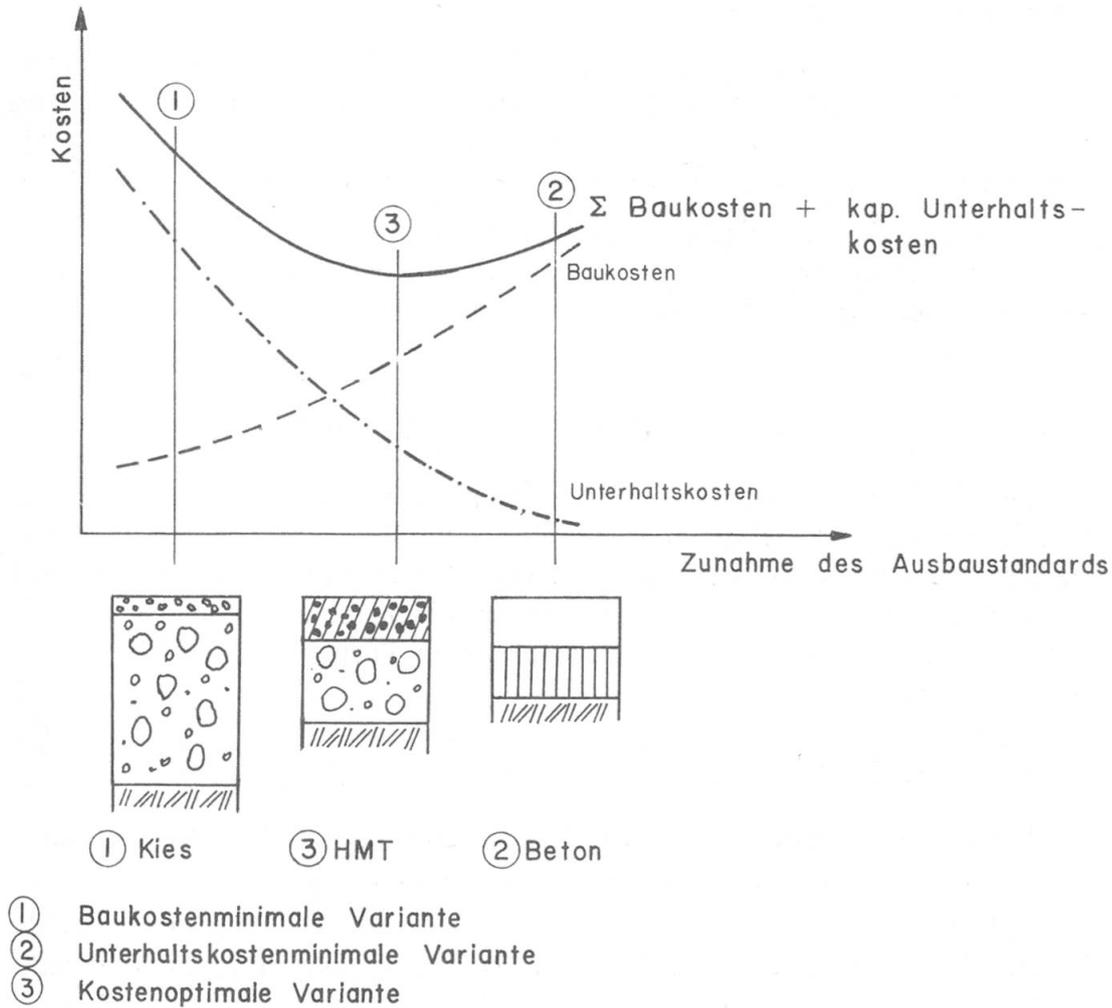


Abbildung 2

Die baukostenminimale Variante wird in den Fällen angestrebt, in welchen für die dringliche und unaufschiebbare Erschliessung eines Gebietes nur beschränkte Geldmittel vorhanden sind. In dieser Situation befindet sich auch die öffentliche Hand, die jährlich nur über eine beschränkte Menge an Subventionsgeldern verfügt und deshalb bewusst oder unbewusst dazu neigt, mit den begrenzten Geldmitteln möglichst viele Ansprüche zu befriedigen. Hinzu kommt, dass — wie wir später sehen — die Baukosten allein relativ gut, die Gesamtkosten nur mit bedingter Genauigkeit erfassbar sind, so dass aus dieser Unsicherheit heraus vor allem die Baukosten minimalisiert werden.

Die unterhaltskostenminimale Variante wird vor allem von der Bauherrschafft als Eigentümerin der Strasse angestrebt, da sie Beiträge an die Baukosten erhält, die periodisch wiederkehrenden Unterhaltskosten aber selbst zu tragen hat.

Die kostenoptimale Variante bringt rein monetär gesehen die kleinsten Strassenkosten und gilt als die Variante, die vom volkswirtschaftlichen Standpunkt aus angestrebt werden sollte.

Diesen rein kostenmässigen Überlegungen wird stillschweigend unterstellt, dass die Deckschicht minimale aber nicht näher spezifizierte Anforderungen an die Erosionsfestigkeit erfüllt. Somit müssen für die Wahl des Oberbaus einer Strasse die folgenden Faktoren zuerst geklärt werden:

- die minimalen technischen Anforderungen an die Deckschicht
- die Beziehung zwischen Ausbaustandard und Baukosten und
- die Beziehung zwischen Ausbaustandard und Unterhaltskosten.

3. Anforderungen an die Deckschicht

Die Aufgabe der Deckschicht besteht im Schutz der Tragschicht vor der Erosionswirkung der Fahrzeugräder und der Niederschläge und in der Erhaltung einer genügend rauhen und ebenflächigen Fahrbahn. Als eigentliche Verschleisschicht ist sie durch den Abrieb einem Substanzverlust unterworfen, so dass sie in periodisch wiederkehrendem Turnus ergänzt oder erneuert werden muss.

Im Wald- und Güterstrassenbau werden die Decken als natürlich, bituminös oder hydraulisch gebundene Schichten ausgeführt.

Die einzig natürlich gebundene Deckschicht ist die ton-wassergebundene Verschleisschicht, die sogenannte «Naturstrasse».

Bei den bituminösen Deckschichten besteht eine Vielfalt verschiedenster Typen. Sie unterscheiden sich in der Kornzusammensetzung, im Bindemittel, in der Schichtdicke und somit in ihren Eigenschaften. Jeder Belagstyp stellt aufgrund seiner Schichtdicke und seines Verhaltens ganz bestimmte Anforderungen an die Qualität und Tragfähigkeit der Unterlage.

Ein Sonderfall stellt die Betonplatte mit ihrer hohen Tragfähigkeit und Erosionsfestigkeit dar, da sie gleichzeitig als Trag- und Deckschicht wirkt.

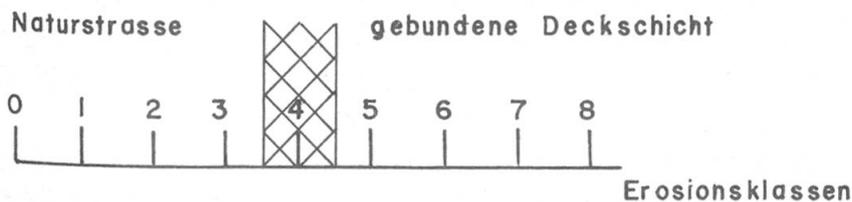
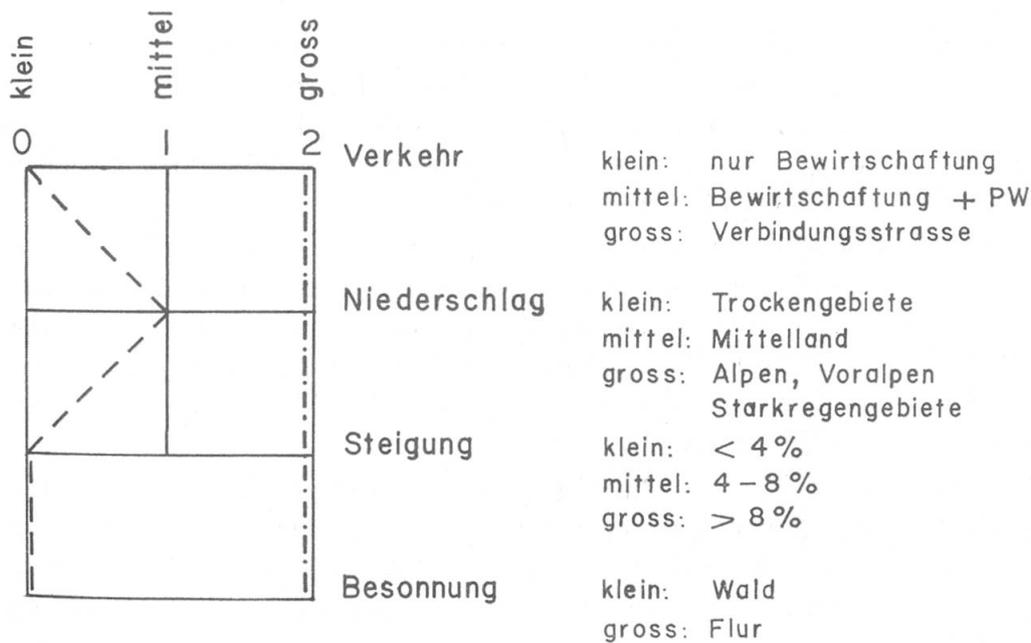
Die Grösse der Beanspruchung der Deckschicht ist vor allem abhängig von der Art und Intensität des Verkehrs und der Menge und Stärke der Niederschläge. Diese Einflüsse können durch eine starke Steigung und Besonnung der Strasse noch akzentuiert werden. Deshalb ist bei der Wahl der Deckschicht immer eine grundsätzliche Entscheidung zwischen der schwach gebundenen, wenig erosionsfesten ton-wassergebundenen Verschleisschicht und den widerstandsfähigeren bituminös oder hydraulisch gebundenen Schichten zu treffen.

Ein technisches Kriterium zur Bestimmung der notwendigen Erosionsfestigkeit kann nicht exakt formuliert werden. Auf Grund von Versuchen,

Kostenanalysen und Erfahrungswerten können aber jene Faktorenkombinationen ausgeschieden werden, bei denen die ton-wassergebundene Verschleiss-schicht wegen der geringen Erosionsfestigkeit versagt. Ein Schema zur Quantifizierung der wichtigsten Einflussfaktoren wie Verkehr, Niederschlag, Steigung und Besonnung, ist in der Abbildung 3 dargestellt und soll einen objektiven Entscheid «Naturstrasse oder gebundene Deckschicht» ermöglichen.

Durch die Bewertung der genannten Einflussfaktoren wird eine Punktschritte erhalten, die als Erosionsklasse bezeichnet wird (Abbildung 3). Liegt diese Punktschritte über 4, genügt die Naturstrasse den technischen Anforderungen in keiner Weise mehr, da die Deckschicht durch die intensive Beanspruchung einen derartigen Substanzverlust erfährt, dass sie in kurzen Intervallen ergänzt oder erneuert werden muss. Bei einer Bewertung von

BEURTEILUNGSSCHEMA ZUR WAHL DER DECKSCHICHT



Beispiele:

- - - Walderschliessungsstrasse im Mittelland
- . - . - Verbindungs-/Sammelstrasse Voralpen

Abbildung 3

0 bis 3 Punkten genügt die Naturstrasse in jedem Fall der Beanspruchung. Liegt die Bewertung etwa bei 4, so ist die Entscheidung zugunsten der einen oder andern Deckschicht nicht mehr eindeutig zu treffen.

4. Baukosten

Die Oberbaustärke einer Strasse kann aufgrund der Untergrundtragfähigkeit und des erwarteten Verkehrs bestimmt werden (1). Zur Erreichung der notwendigen Tragfähigkeit sind verschiedene Oberbautypen möglich, die je nach der mengenmässigen und materialtechnischen Zusammensetzung unterschiedliche Baukosten erfordern.

Eine erste wichtige Vorentscheidung mit direkter Kostenfolge fällt bei der Wahl der Deckschicht, bei der, wie vorgängig beschrieben, aufgrund der Beanspruchung festgelegt wird, ob die ton-wassergebundene Verschleisschicht genügt oder eine erosionsfestere und auch teurere Deckschicht erforderlich ist.

Eine zweite Entscheidung muss aufgrund der Untergrundverhältnisse getroffen werden, nämlich die Möglichkeit oder Notwendigkeit der Stabilisierung des anstehenden Bodens, die zu einer erheblichen Kosteneinsparung führen kann. Innerhalb dieser beiden vorgegebenen Randbedingungen können die Oberbauschichten frei gewählt werden.

Die Kosten des Oberbaus sind somit nicht allgemein bestimmbar. Sie sind in hohem Mass abhängig von den örtlichen Gegebenheiten des Bauprojektes und des Baumarktes; es sind dies die Verfügbarkeit und Kosten für die Baustoffe wie Kiessand, stabilisiertes Mischgut, bituminöses Mischgut, Zementbeton, Zuschlagstoffe, die Verfügbarkeit spezieller Maschinen und Geräte sowie die Transportkosten zur Baustelle.

Die Möglichkeit der Ausschreibung verschieden aufgebauter, aber tragfähigkeitsmässig gleichwertiger Varianten ermöglicht den Unternehmern, ihre Kapazitäten optimal einzusetzen, und führt so zu einer guten Angebotslage.

Zwischen Baukosten und Ausbaustandard kann somit keine generell gültige Abhängigkeit hergeleitet werden. Die Baukosten für einen gleichartigen Oberbau sind örtlich und zeitlich verschieden; sie müssen daher von Fall zu Fall immer wieder neu bestimmt werden. Für ein gegebenes Objekt können aber die Baukosten verschiedener Aufbauvarianten aufgrund verbindlicher Offerten einfach und genau ermittelt werden.

Neben den eigentlichen Baukosten sind für die konkurrierenden Aufbauvarianten auch die entsprechenden Folgekosten zu untersuchen, so die Reparierbarkeit der Deckschicht, die Anpassungsfähigkeit an geänderte Verkehrsverhältnisse, die Schadenwirkung auf den Zufahrtsstrassen und insbesondere auch die Kosten des periodischen Unterhalts, die im folgenden besprochen werden.

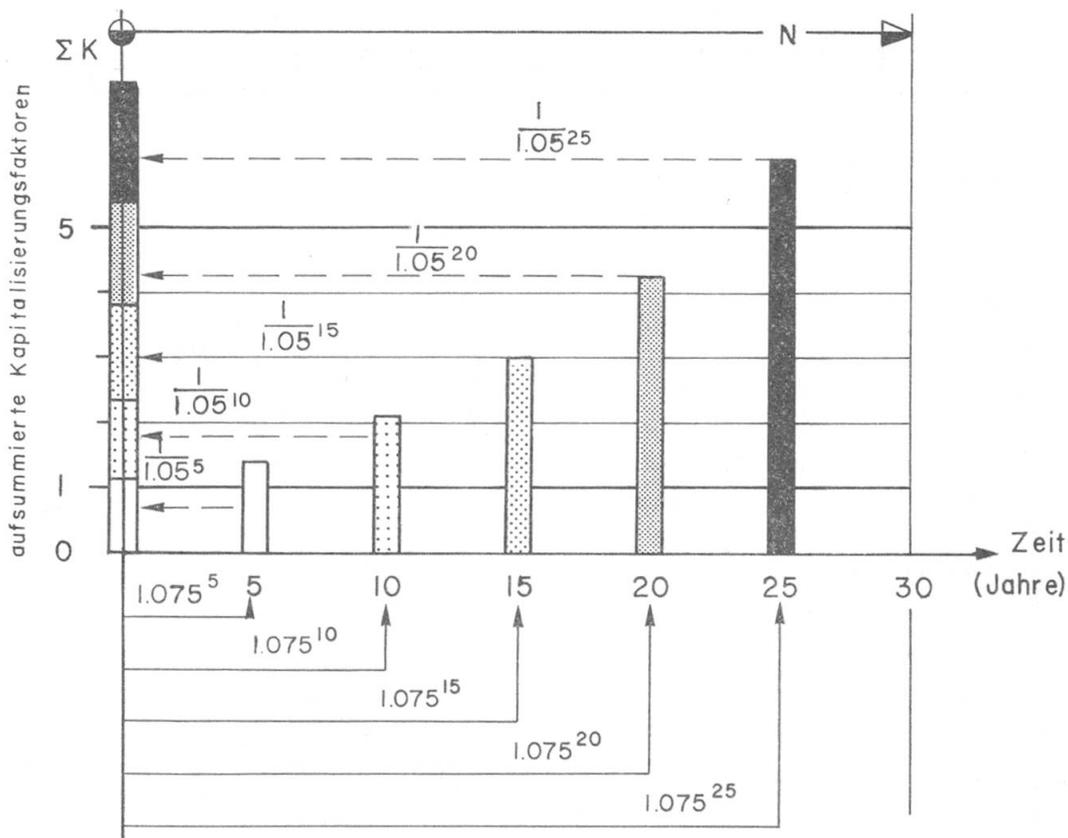
5. Unterhaltskosten

Die nachstehenden Ausführungen beziehen sich nur auf den periodischen Unterhalt der eigentlichen Deckschicht, der in der periodischen Ergänzung bzw. Erneuerung dieser Schicht besteht.

Diese periodischen, von der Qualität der Deckschicht abhängigen Unterhaltskosten sind nun die eigentlichen Sorgenkinder der Strassenbesitzer und der Projektverfasser, weil ihre Bestimmung dem Lösen einer Gleichung mit mehreren Unbekannten gleichkommt.

Damit die Unterhaltskosten in einen Wirtschaftlichkeitsvergleich einbezogen werden können, müssen sie in eine vergleichbare Form gebracht werden. Dies wird durch die Kapitalisierung, das heisst durch die Vorwertbestimmung

BERECHNUNG DER KAPITALISIERUNGSFAKTOREN



- N: Berechnungszeit
- n: Unterhaltsturnus
- p: Zinsfuß (5%)
- t: Teuerung (7.5%)

$$\Sigma K = \frac{\left[\frac{1.0t}{1.0p} \right]^n - \left[\frac{1.0t}{1.0p} \right]^N}{1 - \left[\frac{1.0t}{1.0p} \right]^n}$$

Abbildung 4

der während einer bestimmten Zeitdauer periodisch anfallenden Unterhaltskosten erreicht. Die in der Zukunft anfallenden Unterhaltskosten werden unter Berücksichtigung eines Kapitalzinses auf den Zeitpunkt des Baus zurückgerechnet.

Die Methoden zur Bestimmung der Unterhaltskosten rechnen alle mit den Annahmen, dass keine Bauteuerung eintritt und dass der Kapitalzins unverändert bleibt. Zudem wird oft ein sehr langer Berechnungszeitraum eingesetzt. Die Berechnung mit diesen Annahmen ist sicher falsch und liefert zu kleine Unterhaltskosten.

Nach meiner Meinung sollte eine Verteuerung der Unterhaltskosten mitberücksichtigt werden (Abbildung 4). In diesem Fall werden vorerst die periodisch anfallenden Unterhaltskosten unter Berücksichtigung einer Teuerung berechnet und hernach der Vorwert dieser um die Teuerungsrate vergrößerten Unterhaltskosten berechnet. Zweckmässigerweise wird die Summe der Kapitalisierungsfaktoren für die Einheit von Fr. 1.— bestimmt. Die kapi-

KAPITALISIERUNGSFAKTOREN BEI JAEHRLICHEM UNTERHALT

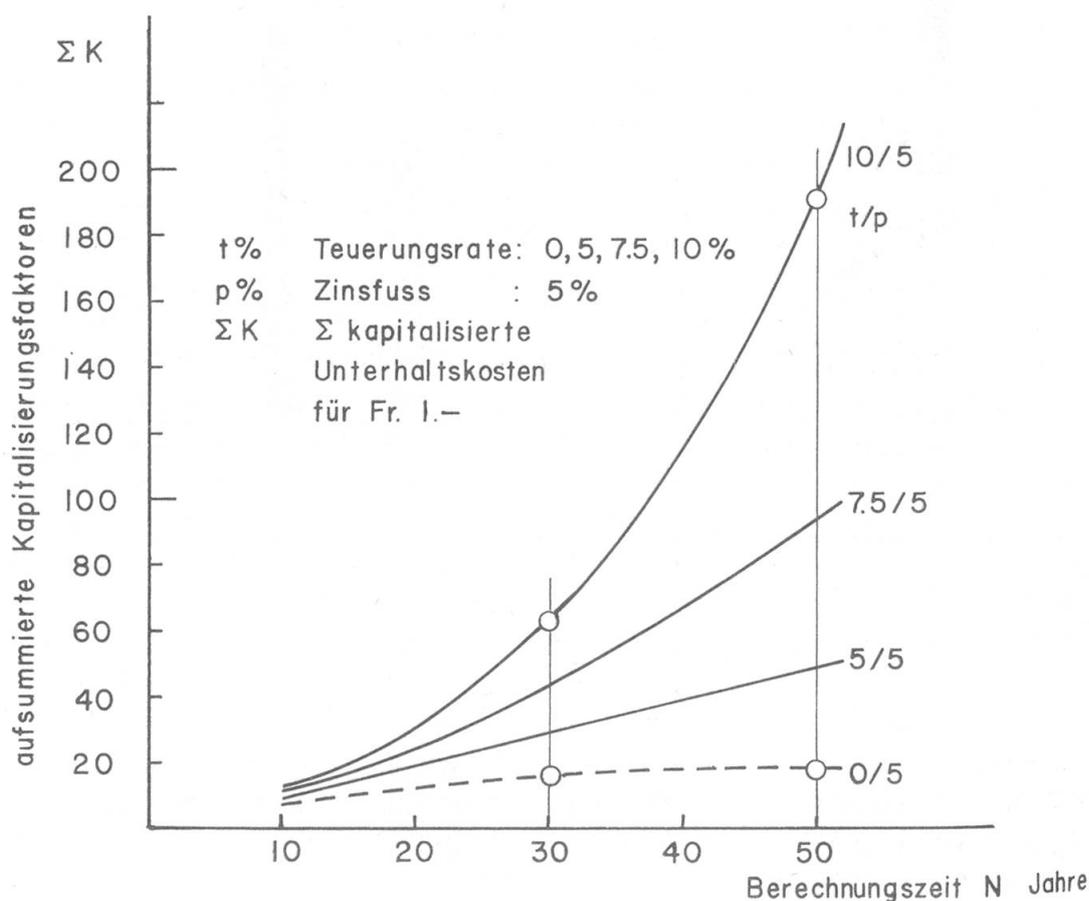


Abbildung 5

talisierten Kosten erhält man anschliessend durch die Multiplikation der aufsummierten Kapitalisierungsfaktoren mit den heutigen Kosten.

Zu den Parametern dieser Berechnung gehören nun der Berechnungszeitraum (N), der Zinsfuss (p), die Teuerungsrate (t) und der Unterhaltsturnus (n).

Je nach den Annahmen über die Grösse dieser Einflussfaktoren streut die Rechnung in sehr weitem Rahmen, was ich am folgenden Beispiel etwas ausführen möchte.

Aus der «Gesamtkonzeption für eine schweizerische Wald- und Holzwirtschaftspolitik» (2) geht hervor, dass die Unterhaltskosten im öffentlichen Wald pro Jahr und Laufmeter Fr. —.69 bis —.96 betragen. Nehmen wir nun an, dass von diesem Betrag etwa Fr. —.50 auf den Unterhalt der Deckschicht entfällt, so ergeben sich für das gesamte Waldstrassennetz jährliche Unterhaltskosten von 10 Millionen Franken.

Die Summe der kapitalisierten Unterhaltskosten (ΣK) für den jährlich wiederkehrenden Unterhalt (Periode $n = 1$), bei gleichbleibendem Zinsfuss (p) für verschiedene Berechnungszeiten (N) und verschiedene Teuerungsrate (t) für die Einheit Fr. 1.— ist in der Abbildung 5 dargestellt.

Werden die erwähnten jährlichen Unterhaltskosten für eine Berechnungszeit von 30 und 50 Jahren eingesetzt, so erhalten wir die erschreckenden Zahlen der Abbildung 6. An diesem Beispiel wird die Problematik der Unter-

Abbildung 6

KAPITALISIERTE UNTERHALTSKOSTEN FUER DIE WALDSTRASSEN — pro Laufmeter und insgesamt

t/p	N = 30		N = 50	
	Fr./m'	Σ Mio Fr.	Fr./m'	Σ Mio Fr.
0/5	7.50	150	9.-	180
5/5	14.50	290	24.50	490
10/5	31.30	630	96.50	1 930

N Berechnungszeit
t Teuerung
p Zinsfuss

haltskostenrechnung recht deutlich, indem die kapitalisierten Unterhaltskosten je nach den Berechnungsannahmen um mehr als den Faktor 10 variieren können.

Im folgenden sollen die einzelnen Berechnungsfaktoren etwas näher untersucht und vernünftige Grenzen angegeben werden.

5.1 Berechnungszeitraum

Die Berechnungszeit hat einen wesentlichen Einfluss auf die Grösse der kapitalisierten Unterhaltskosten (Abbildung 5). Sie nehmen je nach Bauteuerung und Zinsfuss wie folgt zu:

- Wird die Teuerung vernachlässigt, so streben die Unterhaltskosten einem endlichen Wert zu.
- Entspricht die Teuerungsrate gerade dem Zinsfuss, so nehmen die kapitalisierten Unterhaltskosten linear mit dem Berechnungszeitraum zu.
- Übersteigt die Teuerung den Zins, dann wachsen die Unterhaltskosten exponentiell mit dem Berechnungszeitraum, und zwar um so stärker, je grösser die Differenz sich zwischen Teuerung und Zins bildet.
- Die Differenz zwischen den beiden Berechnungsarten, das heisst mit und ohne Berücksichtigung einer Bauteuerung, wird um so grösser, je länger der Berechnungszeitraum gewählt wird.

Bei der Dimensionierung des Strassenoberbaus wird ein sogenannter Dimensionierungszeitraum gewählt, innerhalb welchem eine Verkehrsprognose aufgestellt werden kann. Der Strassenoberbau wird für den in diesem Zeitabschnitt erwarteten Verkehr dimensioniert. Nach Ablauf dieses Verkehrs muss dann die Befahrbarkeit der Strasse durch eine Verstärkung verbessert werden. Im Wald- und Güterstrassenbau wird eine Zeitspanne von 30—50 Jahren gewählt, es ist deshalb sinnvoll, die Berechnungszeit dem Dimensionierungszeitraum gleichzusetzen. Mit dieser Zeitspanne verbleibt wegen des unterschiedlichen Anwachsens der Kapitalisierungsfaktoren immer noch ein grosser Berechnungsspielraum.

5.2 Bauteuerungsrate und Zins

Die Summe der Kapitalisierungsfaktoren ($\sum K$) und somit die Summe der kapitalisierten Unterhaltskosten sind weiterhin abhängig von der Bauteuerungsrate und der Zinsentwicklung. Wir stehen somit vor der schwierigen Aufgabe, eine Prognose über die mittlere Teuerung und die Kapitalzinsentwicklung für die Berechnungsperiode aufzustellen. Da sich jede Prognose in gewissem Umfang in der Vergangenheit orientiert, ist ein Überblick über die bisherige Entwicklung zweckmässig.

Die Indexreihen (aus [3]) für die Baukosten einer Nebenstrasse und für die mittlere Rendite der Bundesanleihen als Zinsindikator zeigen folgendes Bild (Abbildung 7):

- in den fünfziger Jahren betrug die Bauteuerung etwa 2,8 % und entsprach etwa dem Kapitalzins;

BAUKOSTENINDEX FUER NEBENSTRASSEN

INDEX DER RENDITE DER BUNDES OblIGATIONEN

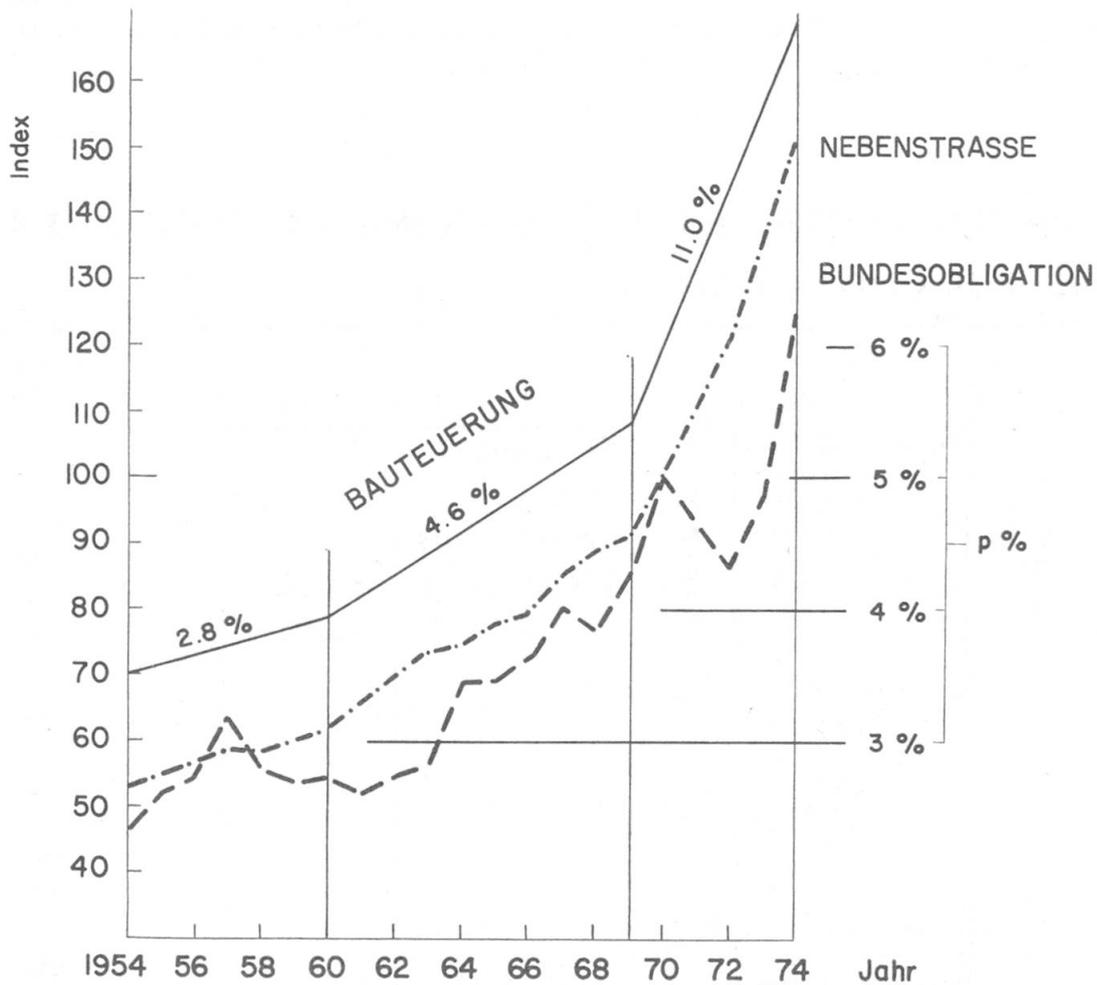


Abbildung 7

- zwischen 1960 und 1969 lag die jährliche Bauteuerung bei 4,6 0/0; sie überstieg den Kapitalzins somit im Mittel um 0,5 0/0;
- in der stark inflationären Phase nach 1969 stieg die mittlere Bauteuerung auf 11 0/0, das heisst die Teuerung überstieg den Zins um mehr als 5 0/0.

Nach der rezessionsbedingten Rückbildung der Bauteuerung und des Kapitalzinses mehren sich die Anzeichen, dass im Tiefbau eine neue, allerdings gemässigte Teuerungsbewegung bei fallendem Kapitalzins einsetzt.

Aufgrund dieser Tatsachen darf angenommen werden, dass bei einer einigermaßen stabilisierten Wirtschaftsentwicklung, mit Gleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage, die Bauteuerungsrate etwa im Bereich des

Kapitalzinses oder nur wenig darüber liegen dürfte. Mit der Annahme, dass die Differenz zwischen Teuerung und Zins also etwa zwischen 0 % und 3 % liegt, wurden die entsprechenden Kapitalisierungsfaktoren bestimmt. Diese Berechnungen zeigen, dass die Summe der Kapitalisierungsfaktoren nur unwesentlich von den absoluten Werten der Teuerungsrate und des Zinsfusses abhängt, wohl aber von der Grösse ihrer Differenz.

AUFSUMMIERTE KAPITALISIERUNGSFAKTOREN (ΣK) IN FUNKTION VON N , n , $(t-p)$

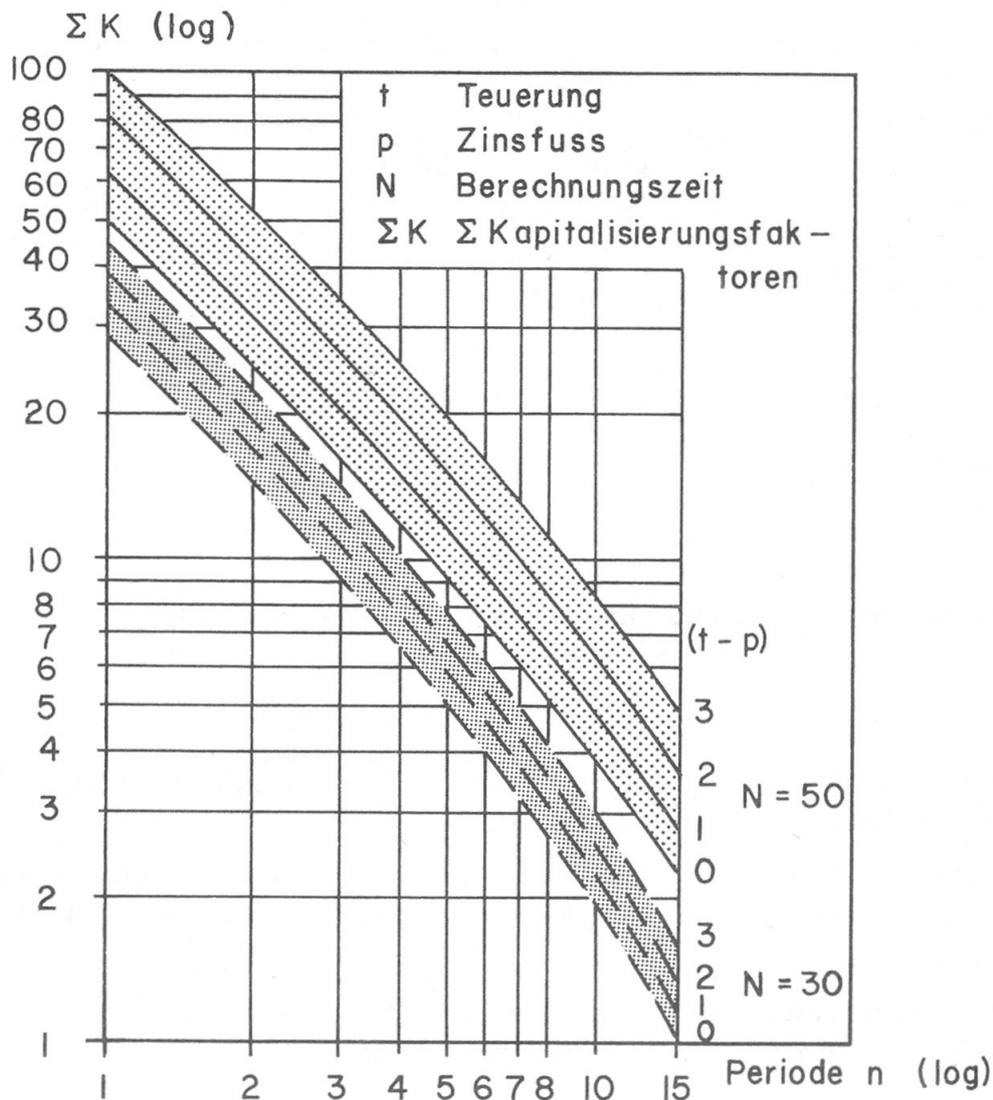


Abbildung 8

Diese wesentliche Erkenntnis enthebt uns einer Prognose über die tatsächlichen Werte. Sie ermöglicht die Aufstellung eines einfachen Diagramms (Abbildung 8), das die aufsummierten Kapitalisierungsfaktoren für die Einheit Fr. 1.— in Abhängigkeit des Unterhaltsturnus, der Berechnungszeit und der Differenz zur Teuerung und zum Zinsfuss angibt. Damit dürfte ein vernünftiger Bereich für die erwähnten Parameter etwa abgegrenzt sein, wobei aber immer noch ein relativ grosser Berechnungsspielraum offen bleibt.

5.3 Unterhaltsturnus

Die Zeit, nach welcher jeweils ein periodischer Unterhalt ausgeführt werden muss, wird als Unterhaltsturnus bezeichnet. Wird dieser grösser, so nehmen die aufsummierten Kapitalisierungsfaktoren und somit die entsprechenden Unterhaltskosten ab (Abbildung 8). Für jeden Unterhaltsturnus bleibt aber mit den erwähnten Annahmen über Zins, Teuerung und Berechnungszeit eine Variationsmöglichkeit um den Faktor 3—4 bestehen. Bei längerem Unterhaltsturnus werden aber die absoluten Werte der Kapitalisierungsfaktoren klein, so dass die Unsicherheit der Berechnungsannahmen weniger stark ins Gewicht fällt.

UNTERHALTSTURNUS UND UNTERHALTSKOSTEN

Deckschicht	Erosions- klasse	Unterhalts- turnus n (Jahre)	kapitalisierte Unterhaltskosten (Fr./m ²)	
			N = 30 Jahre t - p = 0%	N = 50 Jahre t - p = 3%
ton-wasser gebunden				
Verbindungsstrasse	5	1	14	54
Feld/Wald inkl. PW	4	3...4	4	14
Wald	3	8...10	1	5
bituminös gebunden				
OB	4	10	3	12
TA, AB, Sandasphalt	4	15	3	15
Betonplatte	—	—	0	0

Kostenannahmen: ton-wasser geb. Decke Fr. 0.50/m²
 OB 1.50/m²
 TA, AB, Sandasphalt 3.-/m²

Abbildung 9

Der Unterhaltsturnus auf den verschiedenen Schichten und Strassentypen kann aufgrund der Erfahrung gut angegeben werden. Er ist abhängig von der Beanspruchung, der Erosionsfestigkeit und der Dicke der Deckschicht und entspricht etwa den Werten der Abbildung 9.

5.4 Grösse der Unterhaltskosten

Mit der Annahme von Werten für den Unterhaltsturnus (n), für die Berechnungszeit (N) und für die Differenz aus Teuerung und Zinsfuss ($t - p$) kann die Summe der Kapitalisierungsfaktoren (ΣK) gebildet werden. Die Multiplikation dieser Summe mit den heutigen Unterhaltskosten führt dann zu den kapitalisierten Unterhaltskosten.

Mit den Annahmen einer langen Berechnungszeit ($N = 50$ Jahre) und einer Differenz aus Teuerung und Zinsfuss ($t - p$) von 3 % ergibt sich eine obere Grenze; mit der kurzen Berechnungszeit ($N = 30$ Jahre) und einer Zinsrate entsprechend der Teuerung ($t = p$) ergibt sich die untere Grenze der Unterhaltskosten (Abbildung 9). Diese Werte zeigen, dass die Bandbreite bei der Berechnung gross und die Bestimmung der kapitalisierten Unterhaltskosten trotz verschiedener Vereinfachungen relativ unsicher ist.

Eine eindeutige Ausnahme bildet die Betonplatte, bei der die Unterhaltskosten gleich Null gesetzt werden können. Auch bei der Naturstrasse mit einer ton-wasser-gebundenen Verschleisschicht bei geringer Beanspruchung (Erosionsklasse < 4) ist der Bereich der kapitalisierten Unterhaltskosten klein und mit hinreichender Genauigkeit bestimmbar. Aber schon bei einer erhöhten Beanspruchung zum Beispiel durch Personenwagen auf einer Hofzufahrt geraten wir in den technisch und wirtschaftlich unsicheren Bereich der Tauglichkeit der Naturstrasse. Von der Kostenseite her eindeutig nicht mehr haltbar ist die ton-wasser-gebundene Verschleisschicht auf einer Verbindungsstrasse.

Trotz der Unsicherheit bei der Berechnung der Unterhaltskosten müssen sie für die Kostenoptimierung bestimmt werden. Wegen des grossen Einflusses der verschiedenen Parameter auf die Grösse der Unterhaltskosten muss für eine einheitliche und gerechte Subventionspolitik eine Konvention über die Vereinheitlichung der Berechnungsmethode und der Rechnungsannahmen getroffen werden. Nach meiner Meinung dürfte die untere Grenze mit dem kürzeren Berechnungszeitraum zu kleine, die obere Grenze mit längerem Zeitraum und grösserer Teuerung eher zu grosse Werte liefern. Die Wirklichkeit wird, wie so oft, etwa zwischen den beiden Extremen liegen.

6. Zusammenfassung und Folgerungen

Alle Bauten, so auch Wald- und Güterstrassen, sind nach technischen *und* wirtschaftlichen Kriterien zu erstellen.

Die technischen Anforderungen können auf Grund der äusseren, meist vorgegebenen Faktoren wie Untergrund, Verkehr, Niederschläge, Steigungsverhältnisse, Besonnung usw. formuliert werden. Sie erlauben in der Regel, für ein bestimmtes Bauobjekt mehrere Oberbautypen mit verschiedenem Ausbaustandard auszuarbeiten. Für die endgültige Wahl des Oberbaus sind dann wirtschaftliche Kriterien massgebend. Dabei sind nicht nur die unmittelbar anfallenden Baukosten, sondern auch die Folgekosten, insbesondere die periodischen Unterhaltskosten in den Wirtschaftlichkeitsvergleich einzubeziehen.

Die nach der heutigen Meinung anzustrebende, gesamtkostenminimale Variante bietet die Schwierigkeit, dass die Baukosten präzise, die Unterhaltskosten dagegen nur mit begrenzter Genauigkeit bestimmt werden können.

KOSTENOPTIMALE VARIANTEN

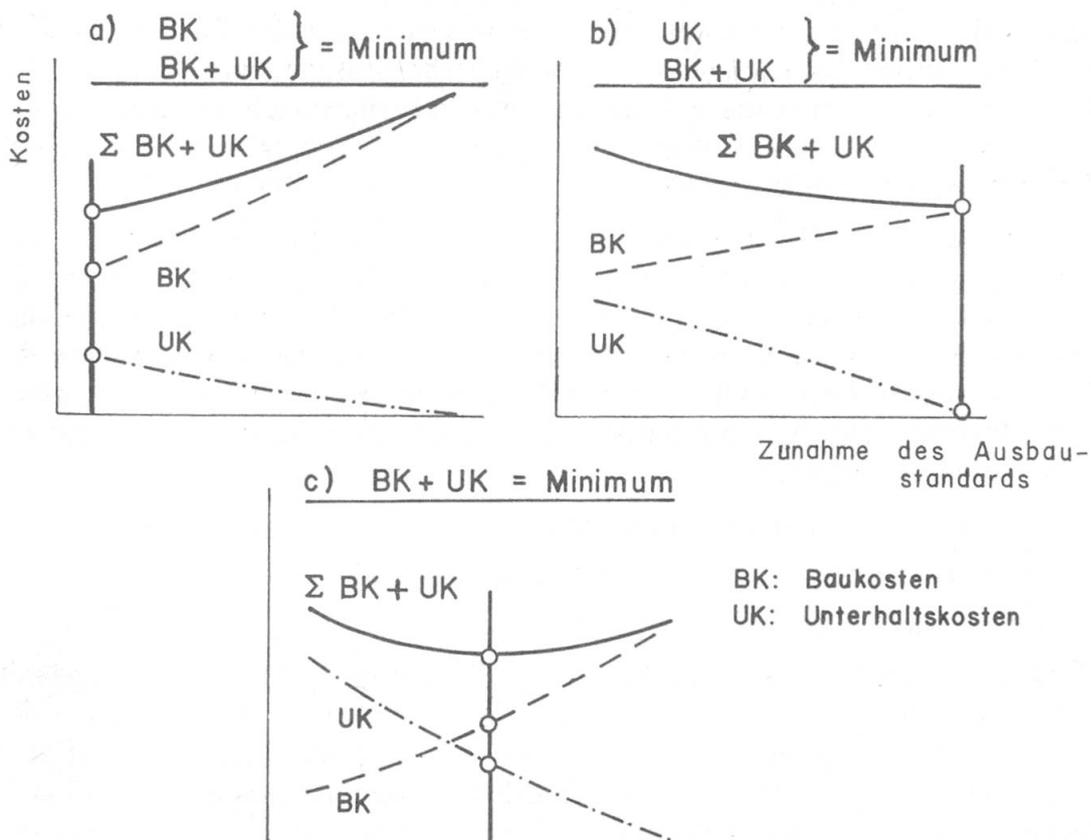


Abbildung 10

Bei der Bestimmung der gesamtkostenminimalen bzw. der kostenoptimalen Aufbauvariante können neben dem bereits dargestellten, allgemeinen Fall (Abbildung 10c) häufig auch spezielle Kostenkombinationen auftreten.

Bei reinen Erschliessungsstrassen mit kleiner Beanspruchung ist die kostenoptimale Variante meist auch identisch mit der baukostenminimalen (Abbildung 10a). Im Gegensatz dazu kann bei stark beanspruchten Strassen die kostenoptimale mit der unterhaltskostenminimalen Betonplatte zusammenfallen (Abbildung 10b).

Dieses häufige, von äussern Gegebenheiten abhängige Zusammenfallen der einen oder andern Variante mit der kostenoptimalen verleitet dazu, daraus eine Gesetzmässigkeit abzuleiten und die Betonplatte oder die baukostenminimale Variante generell als die optimale Variante zu postulieren. Diese Tatsache und die Schwierigkeit der Unterhaltskostenrechnung dürften ein Grund für das häufige Fehlen einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und einer uneinheitlichen und fragwürdigen Subventionspolitik sein.

Bei der Kostenoptimierung ist nun vielfach die optimale Variante wegen des grossen Berechnungsspielraums der Unterhaltskosten nicht eindeutig auszumachen. Bei der oft vorhandenen Unsicherheit, das heisst bei nicht eindeutiger Kostendifferenzierung ist in jedem Fall der erosionsfestere Ausbaustandard zu wählen. Dies entspricht einem Grundsatz der Bautechnik, dass bei Unsicherheit ein genügend grosser Sicherheitsfaktor einzuführen ist. Die heutigen sehr hohen Unterhaltskosten sind sicherlich auch dadurch bedingt, dass ein grosser Teil des Wald- und Güterstrassennetzes nicht nach diesen Gesichtspunkten ausgebaut ist.

Im heutigen Zeitpunkt müssen wir leider feststellen, dass bei einem Variantenvergleich die Unterhaltskosten nur in den seltensten Fällen in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einbezogen werden. Mit diesem Mangel befinden wir uns in guter bzw. schlechter Gesellschaft mit den Erbauern der Hauptverkehrsstrassen. Die fehlende Unterhaltskostenberechnung hat neben der Tatsache, dass die Unterhaltskosten scheinbar erst in ferner Zukunft anfallen, die folgenden Gründe:

- das Fehlen anerkannter Berechnungsmethoden
- die Unsicherheit der Berechnungsannahmen und
- der grosse Streubereich der Ergebnisse.

Die gutachtliche oder gefühlsmässige Bestimmung des Ausbaustandards führt vielfach zu einem Fehlentscheid, dessen Folgen vom Eigentümer der Strasse getragen werden müssen. Im Interesse der Strassenbesitzer ist aber zu fordern, dass in jedem Fall die Unterhaltskosten auf einheitlichen Grundlagen in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einbezogen werden. Wegen des grossen Berechnungsspielraums sind vorgängig sorgfältige Überlegungen anzustellen und Diskussionen über die Wahl sinnvoller und einheitlicher Be-

rechnungsannahmen zu führen. Dadurch sollte es möglich sein, einen Konsens über die Art der Unterhaltskostenrechnung, über den Wirtschaftlichkeitsvergleich und über eine gerechte und einheitliche Subventionspraxis zu finden.

Ein weiteres im Rahmen dieser Ausführungen angeschnittenes Problem ist die zunehmende Belastung der Land- und Forstwirtschaft durch den Strassenunterhalt infolge der Ausdehnung des Strassennetzes und der fortschreitenden Teuerung. Die hohen Unterhaltskosten und das allgemeine öffentliche Interesse an einer optimalen Nutzung von Feld und Wald dürften meiner Meinung nach ein Grund sein, die Zumutbarkeit des Unterhalts neu zu überdenken und zu diskutieren.

Durch den Bau von Wald- und Güterstrassen möchten wir der Land- und Forstwirtschaft eine zweckmässige und kostensenkende Infrastruktur bereitstellen; sehr leicht könnte aber diese Infrastruktur zur sprichwörtlichen Melkmaschine werden, für die der Bauer seine letzte Kuh an Zahlung gibt.

Résumé

Le coût de construction et les frais d'entretien des routes forestières et rurales

Il est incontesté que pour l'exploitation des forêts et des surfaces agricoles, il est indispensable de construire et de subventionner des routes forestières et rurales. Du point de vue économique, ces routes devraient être construites de telle façon que la somme du coût de construction et des frais d'entretien capitalisés corresponde à un minimum. En général, le coût de construction des routes peut être déterminé d'une façon assez précise. Par contre, dans la plupart des cas, les frais d'entretien sont négligés, car leur calcul est peu sûr et dépend d'un grand nombre d'hypothèses. L'auteur propose une méthode de calcul qui tient compte des plus importants paramètres d'influence. Selon une convention, les hypothèses de calcul ont été mises sur un dénominateur commun, afin de déterminer les frais d'entretien. Ceci permet d'optimiser le coût de construction et les frais d'entretien d'une route.

Traduction: E. Burlet

Literaturverzeichnis

- (1) *Hirt, R.*: Dimensionierung und Verstärkung von schwach beanspruchten Strassen, Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, Nr. 3, 1972
- (2) *Steinlin, H.* et al.: Gesamtkonzeption für eine schweizerische Wald- und Holzwirtschaftspolitik, Eidgenössisches Departement des Innern, Bern, 1975
- (3) *Büttler, H.-J.*: Die Teuerung verschiedener Bauwerke sowie die Preisentwicklung auf verschiedenen Baumärkten der Schweiz in den Jahren 1946—1971, Bericht Nr. 2, Institut für Bauplanung und Baubetrieb ETH Zürich, Oktober 1972 (ergänzt bis 1974 durch mündliche Mitteilung des Verfassers)