Der Vertikalaufbau von Wald- und Güterstrassen

Autor(en): **Kuonen, V.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie = Revue technique suisse des mensurations, du génie rural et de la photogrammétrie**

Band (Jahr): **68 (1970)**

Heft 3

PDF erstellt am: **28.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-223660

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

und $\pm 2^{cc}$ für die Höhenwinkel. Auch die Gesamtausgleichung 67/68 ergab die sehr guten Werte von $\pm$(0,7 cm + 1 mm/km) und 3^{cc}.

Als Lotabweichungsdifferenz für 1968 ergaben sich 66^{cc} mit einem mittleren Fehler von $\pm 2^{cc}$, für 67/68 war der entsprechende Wert 58^{cc} mit einem mittleren Fehler von $\pm 3^{cc}$, beide in Richtung Talboden. Die etwas größere Differenz zwischen den beiden Werten ist wohl durch äußere Einflüsse (Refraktionsverhältnisse) bedingt.

Die mittleren Fehler an den einzelnen Masten waren für die ausgeglichenen Horizontaldistanzen $\pm 0{,}5 \div \pm 0{,}8$ cm, für die Höhen $\pm 1{,}6 \div \pm 1{,}8$ cm.

Wie zu erwarten war, ergaben die beiden Methoden bis auf Millimeter genau die gleichen Verschiebungen. Einen Gewinn brachte die strenge Ausgleichung insofern, als die mittleren Fehler an den Punktlagen und Punkthöhen bedeutend kleiner wurden. Befriedigend ist zudem das Übereinstimmen der mittleren Fehler a priori und a posteriori.

Wie bereits erwähnt, dürfte die einfache Methode zur praktischen Lösung der Aufgabe vollkommen genügen, besonders wenn man den finanziellen Aufwand einer Computerrechnung berücksichtigt.

DK 625.8 (253 + 254)

Der Vertikalaufbau von Wald- und Güterstraßen

V. Kuonen

1. Einleitung

In den letzten Jahren sahen sich Bauherrschaften und projektierende Ingenieure vermehrt vor die Frage gestellt, ob auch Wald- und Güterstraßen mit einem Belag versehen werden sollten. Das Problem ist entstanden durch eine stärkere mechanische und klimatische Beanspruchung dieser Straßen. Einerseits haben die Verkehrslasten und die Geschwindigkeit erheblich zugenommen; andrerseits werden heute Straßen im Winter offengehalten, die nicht für diese zusätzliche Beanspruchung gebaut wurden.

Das Problem «Belag» darf nicht für sich allein betrachtet werden, sondern es muß im Zusammenhang mit dem gesamten Vertikalaufbau der Straße gesehen werden. Dieser ist von verschiedenen Faktoren abhängig, nämlich:

- von den Beanspruchungen des Verkehrs und des Klimas,
- von den Baugrundverhältnissen,
- von den Baustoffvorkommen im Projektgebiet und in Projektnähe.

Die Beanspruchungen durch den Verkehr können weitgehend durch eine Klassifikation des Straßentyps (Verbindungs-, Sammel- oder Erschließungsstraße) festgelegt werden. Bei Verbindungs- und Sammelstraßen ist zu berücksichtigen, daß eventuell sehr große Baustellentransporte (Antransport des Oberbaumaterials) erfolgen. Ebenso ist abzuschätzen,

ob der zukünftige Verkehr zur Hauptsache aus schweren Lastwagen oder aus schnellen Personenwagen bestehen wird.

Wald- und Güterstraßen, die im Winter geöffnet werden, haben auch die Beanspruchungen durch den Frost schadlos zu überstehen und sind dementsprechend zu bauen, das heißt neben einer einwandfreien Entwässerung des gesamten Straßenkörpers müssen die obersten Schichten des Straßenaufbaus aus froststabilem Material bestehen. Die Größe und Art der Niederschläge, die Neigungsverhältnisse und die Verkehrsbeanspruchung sind weitgehend entscheidend für die Wahl der Deckschicht (Erosionsproblem).

2. Der Boden als Baugrund und Baustoff

Für die Dimensionierung und Wahl des Aufbaus bilden die Eigenschaften des Untergrundes die wichtigste Grundlage. Eine erste Beurteilung gibt uns die geologische Herkunft des Bodens. Von der Entstehung her lassen sich folgende Gruppen unterscheiden:

Verwitterungsprodukte, die an Ort verblieben sind:

Meistens handelt es sich hier um feinkörnige Böden, die, insbesondere im niederschlagsreichen Voralpengebiet, einen hohen Tongehalt aufweisen. In diesen Gebieten ist der natürliche Wassergehalt meist sehr hoch, so daß sich das Gelände sehr oft in einem instabilen Zustand befindet. Diese vernäßten tonigen Böden stellen den schlechtesten Baugrund dar; sie haben eine sehr geringe Tragfähigkeit und verlangen praktisch immer Verbesserungsmaßnahmen im Untergrund, damit die Tragfähigkeit zur Aufnahme der Oberbauschichten ausreicht.

Verwitterungsprodukte, die transportiert wurden:

– durch die Schwerkraft, zum Beispiel Bergsturzablagerungen, Schutthalden. Sie sind zum Teil inhomogen zusammengesetzt, bilden aber im großen und ganzen einen guten, tragfähigen Baugrund. In vielen Gebieten bilden die Geröllhalden sogar gute und billige Baustofflieferanten für Tragschichtenmaterial (Makadambauweise). Gelegentlich kann aus Schutthalden auch Verschleißschichtmaterial aufbereitet werden;
– durch Gletscher transportierte Böden: Moränen. Sie bilden bei grobkörniger Ausbildung einen gut tragfähigen Baugrund, weil diese Böden meistens sehr dicht gelagert sind. Häufig können Moränematerialien auch für den Bau der Tragschicht verwendet werden. In einzelnen Gebieten weisen sie aber zu viele Feinanteile auf, so daß sie frostempfindlich sind (mehr als 3 respektive 5 Gew.-% bei 0,02 mm). Sind diese Feinanteile tonig, so können diese Kiese zu ausgezeichnetem Material für die Verschleißschicht aufbereitet werden;
– durch Wasser transportierte Böden, zum Beispiel Schotter, Alluvionen. Sie sind ein ausgezeichneter Baugrund und Baustofflieferant. Der Großteil des Kiessandmaterials für die Tragschicht, für die Aufbereitung von Beton und Schwarzbelägen kommt aus diesen ergiebigen Kieslagerstätten. Gelegentlich sind die siltigen Feinanteile zu stark vertreten, so

daß das Material gewaschen oder stabilisiert (Zement, Teer, Bitumen) werden muß, damit es frostsicher wird;
– durch Wind transportierte Böden, zum Beispiel Löß. Sie kommen in der Schweiz selten vor (BL, AG, ZH) und spielen deshalb für uns eine untergeordnete Rolle.

Die Frage nach der geologischen Herkunft der Böden gibt uns erste Anhaltspunkte für die Beurteilung der Bodeneigenschaften. Diese generelle Beurteilung der Baugrund- und Baustoffeigenschaften muß aber durch detaillierte Untersuchungen im Projektgebiet ergänzt werden.

Die einfachste Methode zur Bestimmung der Bodeneigenschaften, insbesondere der Tragfähigkeit, bildet die Klassifikation (zum Beispiel nach USCS), das heißt die Zuordnung des Bodens zu bestimmten Verhaltensgruppen. Die Klassifikation im Felde kann oder muß in vielen Fällen durch Laboruntersuchungen oder durch direkte Tragfähigkeitsmessungen im Felde ergänzt werden. Die Fig. 1 zeigt schematisch die Eigenschaften der Böden, welche für den Straßenbau bedeutsam sind.

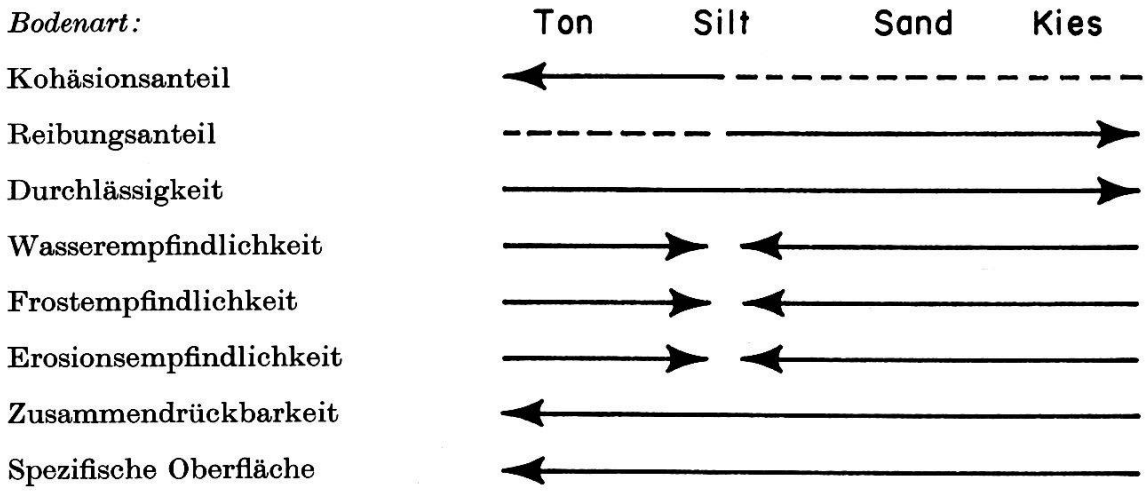

Fig. 1: Bodeneigenschaften

Es ist für jedes Bauvorhaben notwendig, die Baugrundverhältnisse abzuklären. Die Klassifikation der Böden ergibt einen Überblick über die Bodeneigenschaften. Auf Grund der Resultate kann entschieden werden, ob eine Verbesserung des Untergrundes notwendig ist und ob zusätzliche Untersuchungen ausgeführt werden müssen.

Kiesige und sandige Böden sind in bezug auf die Tragfähigkeit problemlos. Tonige und siltige Böden sind in bezug auf das Volumen und die Festigkeit instabil und daher für die Ausbildung von Aufbauschichten ungeeignet. Durch eine Stabilisierung können aber auch diese Bodentypen derart verändert werden, daß sie zum Bau von tragfähigen und stabilen Schichten verwendet werden können. Dies wird erreicht durch die Veränderung der Kornzusammensetzung (mechanische Stabilisierung) oder durch die Zumischung eines Stabilisierungsmittels zum Boden (Kalk, Zement, bituminöse Bindemittel). In unseren schwach tragfähigen, vernäßten und bindigen Böden kommt aus bautechnischen und wirtschaft-

lichen Gründen fast durchwegs die Bodenstabilisierung mit Kalk zur Anwendung. Den Entscheid über die Notwendigkeit einer Untergrundstabilisierung gibt ein bautechnisches und/oder ein wirtschaftliches Kriterium.

Von der bautechnischen Seite her gesehen, muß der Untergrund stabilisiert werden, wenn er die folgenden Eigenschaften zeigt:

M_E-Wert	$<$ 100–150 kg/cm²
CBR-Wert	$<$ 5–10 %
W_{nat}	$\gg W_{opt}$
$\gamma\, d_{vorh}$	$\ll \gamma\, d_{opt}$

Ein solcher Boden kann wegen der kleinen Tragfähigkeit nicht befahren werden. Infolge des hohen Wassergehaltes und der großen Plastizität ist es schwierig, den Boden abzutragen, zu schütten und zu verdichten. Die Tragschicht kann nicht sauber eingebracht und verdichtet werden.

Neben dem technischen läßt sich auch ein wirtschaftliches Kriterium formulieren. Die erhöhte Tragfähigkeit der stabilisierten Schicht kann bei der Dimensionierung genutzt werden, indem eine Reduktion der Oberbaustärke möglich ist. Die Erfahrung zeigt, daß durch die Untergrundstabilisierung 40 bis 60 % Kiessand eingespart werden kann. Ist die dadurch erreichte Kosteneinsparung größer als die Kosten für die Stabilisierung, so ist diese wirtschaftlich (siehe Fig. 2).

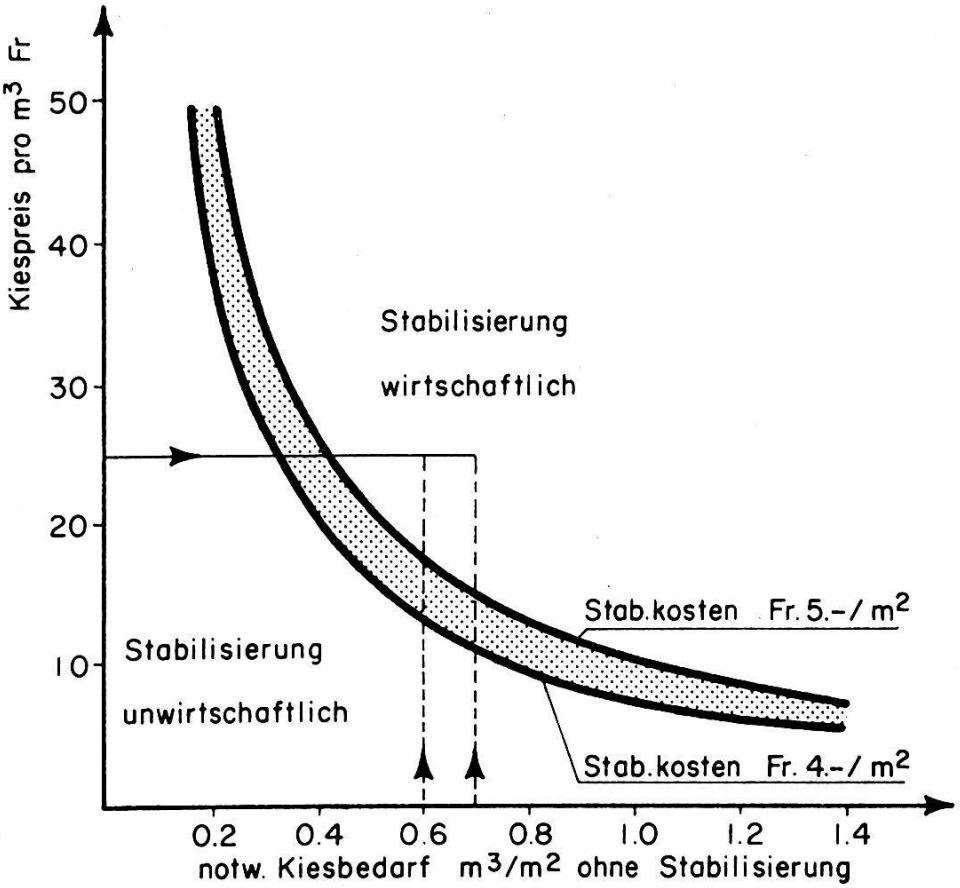

Fig. 2: Die Wirtschaftlichkeit einer Untergrundstabilisierung mit Kalk in Abhängigkeit von notwendiger Kiesmenge ohne Stabilisierung, Kiespreis und möglicher Einsparung

Der Baustellenverkehr für das Einbringen des Tragschichtmaterials wird durch die Stabilisierung um rund die Hälfte reduziert. Diese Tatsache ist insbesondere im Voralpen- und Alpengebiet bedeutsam. Hier werden die Straßen vor Kopf in ein Gebiet vorgetrieben, und der Baustellenverkehr bildet die größte je zu erwartende Belastung.

Die Eigenschaften des Untergrundes bilden die eine Dimensionierungsgrundlage. Die andere ist durch die konstruktiven Merkmale des Straßenaufbaus gegeben, weil die verschiedenen Bauweisen ganz spezifische Anforderungen an die verschiedenen Aufbauschichten stellen.

3. Tragschichten

Die Tragschichten haben die Funktion, die Verkehrslasten derart auf den Unterbau respektive Untergrund zu übertragen, daß weder Tragschichten noch Untergrund überbeansprucht werden. Die Stärke und die Art der Tragschicht sind von den folgenden Faktoren abhängig:

- von der Tragfähigkeit des Untergrundes unter Berücksichtigung der saisonalen Schwankungen;
- von der Verkehrsbeanspruchung (Fahrzeugtypen und Frequenz);
- von den Eigenschaften des Tragschichtmaterials, insbesondere seinen Festigkeitseigenschaften.

Die Baustoffe der Tragschicht sind entweder ungebunden oder mit einem hydraulischen oder bituminösen Bindemittel verfestigt. Die im Waldstraßenbau üblichen Tragschichttypen sind:

ohne Bindemittel	Makadambauweise Kiessand-Tragschicht	
mit Bindemittel	hydraulisch	Zementstabilisierung Betonplatte
	bituminös	Heißmischtragschicht Stabilisierung

Setzpacklage (Steinbett) und Schüttpacklage (Rollierung) kommen auf instabilem Baugrund, in welchem mit Setzungen und Deformationen zu rechnen ist, nicht in Frage. Durch die Verformungen im Unterbau und durch die Beanspruchung des Verkehrs gehen die Verspannung und die Verkeilung in diesen Befestigungstypen verloren, und die Straße erleidet in kurzer Zeit sehr große Schäden. Auf instabilem Baugrund, in dem Setzungen und Verformungen entstehen können, darf für die Tragschicht nur ein gut abgestufter Kiessand verwendet werden, der nach dem Prinzip der mechanischen Stabilisierung aufgebaut ist. Auch in diesem Material können Verformungen auftreten; die Tragfähigkeit wird jedoch nicht dauernd reduziert, weil der Verkehr das durch die Verformung aufgelockerte Material wieder verdichtet. In gut tragfähigen, trockenen Böden kann der Aufbau der Tragschicht auch nach dem Makadamprinzip erfolgen.

Die Kosten des Tragschichtmaterials haben einen großen Einfluß auf die Baukosten. Deshalb ist der günstigen Beschaffung eines geeigneten Tragschichtmaterials größte Aufmerksamkeit zu schenken. Ein gutes Kiessandmaterial kann nicht nur aus Kiesgruben oder Kieswerken bezogen werden. Sehr oft kann es im Projektgebiet mit Hilfe von Brechanlagen aufbereitet werden, oder ein im Projektgebiet vorhandenes und vorerst ungeeignetes Material kann durch Stabilisierung verbessert werden.

Die gebundenen Tragschichten haben eine bessere Lastverteilung als die ungebundenen. Normalerweise wird aber nur ein Teil der Tragschicht aus gebundenem Material aufgebaut.

Hydraulisch gebundene Tragschichten haben eine große lastverteilende Wirkung, so daß sie auch auf eine Unterlage mit kleiner Tragfähigkeit aufgebracht werden können. Wegen ihres starren Verhaltens verlangen sie aber eine möglichst gleichmäßige Tragfähigkeit der darunterliegenden Schichten. Ungleichmäßige Tragfähigkeit und Setzungen (zum Beispiel Einschnitt/Damm) führen zu Rißbildungen und zur Zerstörung der Schicht. Die Stärke zementstabilisierter Schichten beträgt in der Regel 15–20 cm, die der Betonplatte 14–17 cm.

Bituminöse Tragschichten können entweder aus hochqualifiziertem Mischgut (HMT; Bindemittel und Zuschlagstoffe heiß) oder aus stabilisiertem Material (Bindemittel heiß, Zuschlagstoff feucht-kalt) erstellt werden. Für die HMT (Heißmischtragschicht) werden «härtere» Bindemittel verwendet, so daß die Schicht in relativ kurzer Zeit ihre Flexibilität weitgehend verliert und spröde wird. Für die Verlegung einer solchen Schicht ist eine gute gleichmäßige Tragfähigkeit notwendig (Rissebildung). Die Mindestdicke, die auch für Wald- und Güterstraßen notwendig ist, beträgt etwa 8 cm. Die geringen Schichtstärken von 4–5 cm, wie sie oft unzweckmäßigerweise angewendet werden, wirken nicht als tragfähige Schicht. Auch als Deckschicht sind sie wegen der möglichen Rissebildung nur schlecht geeignet.

Bituminös stabilisierte Tragschichten werden in Schichtstärken von 12–15 cm eingebaut. Ungenauigkeiten in der Planie sind deshalb weniger folgenschwer als bei einer dünneren HMT. Es kommen «weichere» Bindemittel zur Anwendung, so daß die Schicht eine größere Flexibilität erhält und kleineren Setzungen und Verformungen schadlos folgen kann.

4. Deckschichten

Die Deckschicht einer Straße hat die Aufgabe, den Straßenkörper vor eindringendem Regenwasser und vor der Erosionswirkung der Räder und des Niederschlagswassers zu schützen. Sie muß eine ebenflächige Oberfläche bilden, so daß ein gutes und sicheres Befahren möglich ist und das Oberflächenwasser abgeleitet wird.

Die Niederschlagsverhältnisse, das Gefälle der Straße, die Art, Geschwindigkeit und Häufigkeit des Verkehrs sowie die Ansprüche an die Staubfreiheit sind ausschlaggebend für die Ausbildung der Decke.

Die im Waldstraßenbau üblichen Deckschichten sind:

- ohne Bindemittel
  - sandgeschlämmte Schotterdecke
  - ton-/wassergebundene Verschleißschicht
- mit Bindemittel
  - hydraulisch —— Betonplatte (gleichzeitig Tragschicht)
  - bituminös
    - Oberflächenbehandlung
    - Teppich
    - Kaltmischbelag
    - Cutbackbelag (Flexbelag)

Diese Deckschichten unterscheiden sich nach Kornaufbau, Bindemittel, Schichtstärke, Flexibilität und Baukosten. Somit sind auch die Eigenschaften in bezug auf die Erosionsfestigkeit und die Art und Häufigkeit des notwendigen Unterhalts verschieden.

Die Eigenschaften der Deckschicht müssen den Beanspruchungen des Klimas und des Verkehrs angepaßt sein. Es bestehen zurzeit noch keine eindeutigen Kriterien für die Wahl der Deckschicht, zum Beispiel bei welcher Steigung und welchen Niederschlägen die ton-/wassergebundene Verschleißschicht durch eine erosionsfestere, bituminösgebundene Decke ersetzt werden muß. Es bestehen aber bereits viele Ergebnisse aus Versuchsstrecken, so daß die technischen und wirtschaftlichen Anforderungen abgegrenzt werden können.

Zahlreiche Untersuchungen haben gezeigt, daß eine einwandfrei zusammengesetzte ton-/wassergebundene Verschleißschicht (Naturstraße) bei schwacher Verkehrsfrequenz, bei kleiner Längsneigung (bis ca. 6–8 %) und geringen Niederschlägen in vielen Fällen – insbesondere bei Erschließungs- und Sammelstraßen – die wirtschaftlichste Lösung darstellt.

Die noch zu bauenden Waldstraßen dürften etwa bis zu 30 %, die Güterstraßen bis zu 50 % eine bituminös oder hydraulisch gebundene Deckschicht erhalten. Hohe Unterhaltskosten auf bestehenden Naturstraßen verlangen oft aus wirtschaftlichen Gründen einen Ausbau mit einer derartigen Deckschicht.

Die Betonplatte als Deckschicht ist gleichzeitig auch Tragschicht. Sie darf als die beste aber auch teuerste Trag-Deckschicht bezeichnet werden. Sie hat die längste Lebensdauer und die geringsten Unterhaltskosten, sofern sie am richtigen Ort richtig verlegt worden ist.

Die bituminös gebundenen Deckschichten lassen sich in zwei Gruppen aufteilen:

- zur einen Gruppe gehören die sehr dünnen Schichten, wie die ein- und zweifache Oberflächenbehandlung (OB), sowie Teppichbeläge, die nur auf gebundene Tragschichten (HMT, mit Zement oder bituminösen Bindemitteln stabilisierte Tragschichten) aufgebracht werden sollten:
- zur andern Gruppe gehören die dickeren Deckschichten, wie zum Beispiel die dreifache OB, Kaltmischbeläge, Cutbackbeläge usw., welche in der Regel auf eine ungebundene Kiessandtragschicht aufgebracht werden.

In jüngster Zeit finden insbesondere Cutbackbeläge (Cutback – gefluxtes Bitumen), bekannt unter dem Namen «Flexbeläge», vermehrte Anwendung. Dieser Belagstyp ist als Deckschicht zu betrachten, er trägt zur Erhöhung der Tragfähigkeit nicht bei. Sein großer Vorteil besteht in der sehr hohen Flexibilität, so daß er sich kleineren Setzungen und Verdrükkungen ohne Rissebildung anpassen kann. Die Flexibilität dauert über Jahre an. Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß das Mischgut (Bindemittel heiß, Zuschlagstoffe feuchtkalt) auf Depot aufgearbeitet werden kann. Der Einbau kann innerhalb rund eines Jahres zu einem beliebigen Zeitpunkt erfolgen. Diese Tatsache erlaubt eine gute Ausnutzung der Mischanlage und der Einbaugeräte, was sich vorteilhaft auf die Preise auswirkt.

In verschiedenen Gebieten werden zur Oberflächenentwässerung sogenannte Querrinnen oder Querabschläge verwendet. Auf Naturstraßen mit ton-/wassergebundenen Verschleißschichten stellen diese ein Hindernis dar für einen rationellen, mechanischen Unterhalt mit Grader und leistungsfähigem Verdichtungsgerät (Gummiradwalze oder Mehrplattenvibrator). Aus diesem Grunde sind sie auf Naturstraßen abzulehnen.

Wird die Deckschicht aber in Form einer bituminösen Schicht ausgeführt, besteht der Unterhalt in der periodischen Erneuerung des Porenschlusses oder der Deckschicht. Eine Reinigung der Querrinnen nach den Unterhaltsarbeiten ist möglich und billig. Aus diesem Grunde dürfte es wirtschaftlich sein, daß die Oberflächenentwässerung mit solchen Querrinnen erfolgt.

Nach wie vor sind Durchlässe bei ständig oder zeitweilig (Schneeschmelze, Gewitter) fließenden Wässern notwendig. In Gebieten aber mit durchlässigem Baugrund (Schotter, Hangschutt usw.), wo keine Längsdrainage notwendig ist, kann diese Art der Entwässerung wesentliche Kostensenkungen bringen, besonders aber dann, wenn auch die fahrbare Längsschale durch den Belagsbau entbehrlich wird.

5. Wahl einer wirtschaftlichen Aufbauvariante

Die aufgezeigten Möglichkeiten für den Vertikalaufbau lassen eine Großzahl von Kombinationen zu. Ein generell gültiges Normalprofil für Wald- und Güterstraßen gibt es nicht. Aus all den verschiedenen Aufbauvarianten ist die wirtschaftlichste, das heißt die Variante mit dem kleinsten Kapitalaufwand auszuwählen. Dabei sind nicht nur die Baukosten, sondern auch die Unterhaltskosten mit zu berücksichtigen. Auch wenn letztere zeitlich in weiter Entfernung zu liegen scheinen, können sie ein beträchtliches Ausmaß annehmen und eine dauernde und hohe finanzielle Belastung darstellen.

Zwischen den beiden Faktoren, den Baukosten und den Unterhaltskosten, besteht ein sehr enger Zusammenhang, welcher schematisch in der Fig. 3 dargestellt ist.

Dieser Zusammenhang läßt sich am besten darstellen anhand zweier extremer Straßenaufbautypen, welche dauernd mit Lastwagen befahrbar sein müssen.

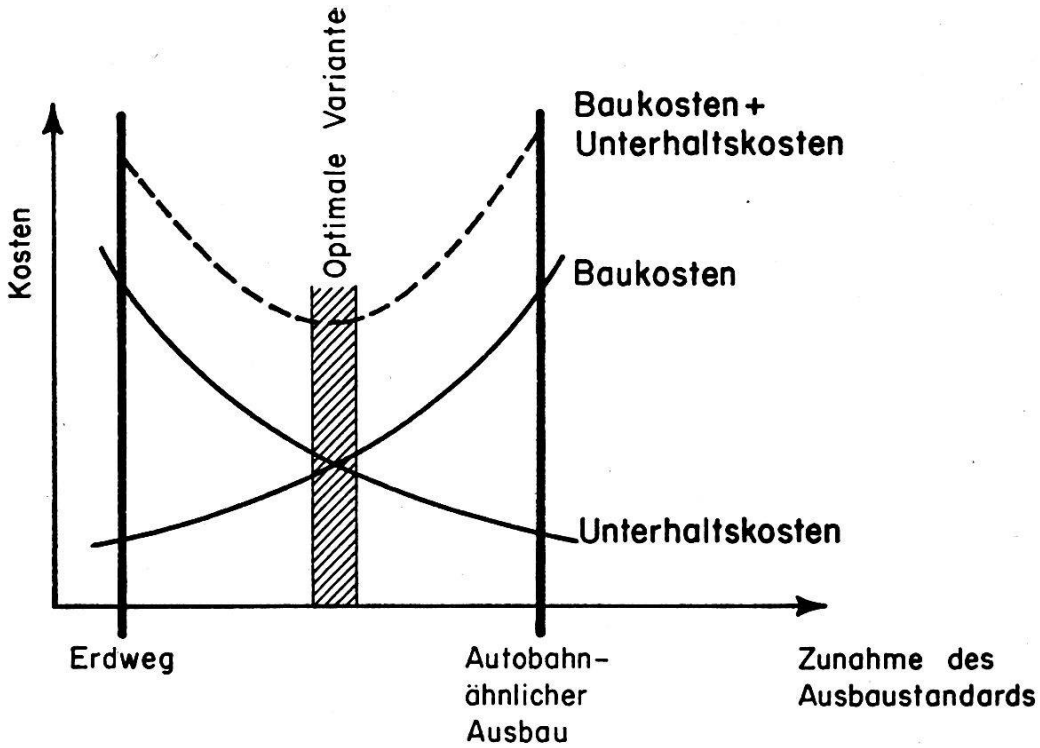

Fig. 3: Schema des Verlaufs der Bau- und Unterhaltskosten bei Zunahme des Ausbaustandards

Das eine Extrem ist ein auf Lastwagenbreite trassiertes Erdplanum, das minimale Baukosten erfordert. Zur Erhaltung einer dauernden Befahrbarkeit ist ein großer Unterhaltsaufwand notwendig, der je nach Bodenbeschaffenheit und Witterung die Baukosten um ein Mehrfaches übertreffen kann.

Das andere Extrem, eine Straße mit frostsicherem Vertikalaufbau und einer gebundenen Trag- und Deckschicht, erfordert hohe Baukosten; die Unterhaltskosten fallen jedoch auf ein Minimum.

Diese beiden Extreme – Erdweg und autobahnähnlicher Oberbau – fallen aus wirtschaftlichen Gründen meistens außer Betracht, weil sie beide hohe Gesamtkosten ergeben. Zwischen diesen beiden Extremen ist jedoch eine Vielzahl von weiteren Aufbautypen möglich, die eine kleinere Summe aus Bau- und Unterhaltskosten ergeben.

Es ist Aufgabe des projektierenden Ingenieurs, den wirtschaftlichsten Vertikalaufbau zu bestimmen. Dazu müssen die Unterhaltskosten in eine vergleichbare Form gebracht werden. Dies geschieht dadurch, daß man sie auf den Zeitpunkt der Erstellung der Straße kapitalisiert.

Unserer Ansicht nach gibt nun diejenige Bauvariante den wirtschaftlichsten Aufbau, bei der die Baukosten und die kapitalisierten Unterhaltskosten ein Minimum ergeben. Die Größe der Bau- und Unterhaltskosten ist abhängig von der notwendigen Dimensionierung und Ausbildung der Trag- und Deckschichten.

Es ist nicht möglich, genaue Angaben über die Kosten für die verschiedenen Trag- und Deckschichten zu machen. Diese sind in starkem Maße

abhängig von den örtlichen Gegebenheiten, wie zum Beispiel Materialgewinnungsmöglichkeiten, Materialpreisen, maschinentechnischen Voraussetzungen, Zufahrt zu der Baustelle usw. Durch die Stabilisierung des Untergrundes, durch die Anpassung des Aufbaus an örtlich billig verfügbare Baustoffe, durch die Aufbereitung und Gewinnung von Baustoffen im Projektgebiet und durch die Stabilisierung der Tragschichtmaterialien können aber wesentliche Kostensenkungen erreicht werden.

Für die Bestimmung des wirtschaftlichen Aufbaus sind die Baukosten auf Grund von verbindlichen Unternehmerofferten oder aus Erfahrungswerten benachbarter Projekte zu berechnen.

Für die im Waldstraßenbau üblichen Deckschichten bestehen gute Erfahrungswerte in bezug auf die Unterhaltskosten und den notwendigen Unterhaltsturnus, so daß die Unterhaltskosten kapitalisiert und in die Wirtschaftlichkeitsberechnung eingesetzt werden können.

Die ton-/wassergebundene Verschleißschicht hat in Gebieten mit mäßigen Niederschlägen und kleinerem Längsgefälle (bis etwa 6–8 %) ihre Bewährung und Wirtschaftlichkeit unter Beweis gestellt. Der Unterhalt kann vollständig mechanisiert in einem Turnus von 5 bis 8 Jahren durchgeführt werden. Die Unterhaltskosten sind deshalb sehr niedrig (8–12 Rp./m^2). Für die Berechnung der kapitalisierten Unterhaltskosten (Fig. 4) wurde zusätzlich angenommen, daß die Verschleißschicht alle zwanzig Jahre vollständig erneuert wird (Preis pro Quadratmeter: Fr. 3.50). Die kapitalisierten Unterhaltskosten liegen mit diesen Annahmen zwischen 2 und 3 Fr./m^2 (siehe Fig. 4).

Auf steileren Straßen mit intensiverem und schnellerem Verkehr und bei höheren Niederschlägen genügt die Erosionsfestigkeit der Naturstraße nicht mehr, das heißt die Unterhaltskosten würden ein unwirtschaftliches Ausmaß annehmen. In vielen Fällen wird schon die Tragschicht durch eine Stabilisierung (hydraulisch oder bituminös) oder durch dünne bituminöse Schichten verstärkt. Diese Schichten bedürfen eines Porenschlusses in Form einer Oberflächenbehandlung oder eines Sandteppiches, welche die eigentliche Deck- oder Verschleißschicht darstellen. Der Unterhalt besteht dann in der periodischen Erneuerung dieser dünnen Schichten. Für die Oberflächenbehandlung wurden Kosten von 1.50 bis 2.– Fr./m^2 und für den dickeren Sandteppich 3 bis 4 Fr. in Rechnung gestellt. Aus den Versuchsstrecken ergab sich ein Unterhaltsturnus von 6 bis 8 Jahren für die Oberflächenbehandlung und ein solcher von 10 bis 14 Jahren für den Sandteppich. Die kapitalisierten Unterhaltskosten liegen bei beiden Deckschichttypen im gleichen Preisrahmen, das heißt zwischen etwa 4 und 8 Fr./m^2.

Die Betonplatte – als Trag- und Deckschicht – verursacht hohe Baukosten, dagegen sind die kapitalisierten Unterhaltskosten sehr klein. Genaue Angaben können zurzeit allerdings noch nicht gemacht werden.

Mit den relativ genau bestimmbaren Baukosten für die verschiedenen Vertikalaufbautypen und den Erfahrungswerten für die kapitalisierten Unterhaltskosten ist es möglich, den wirtschaftlichen Aufbau für ein bestimmtes Bauobjekt zu bestimmen.

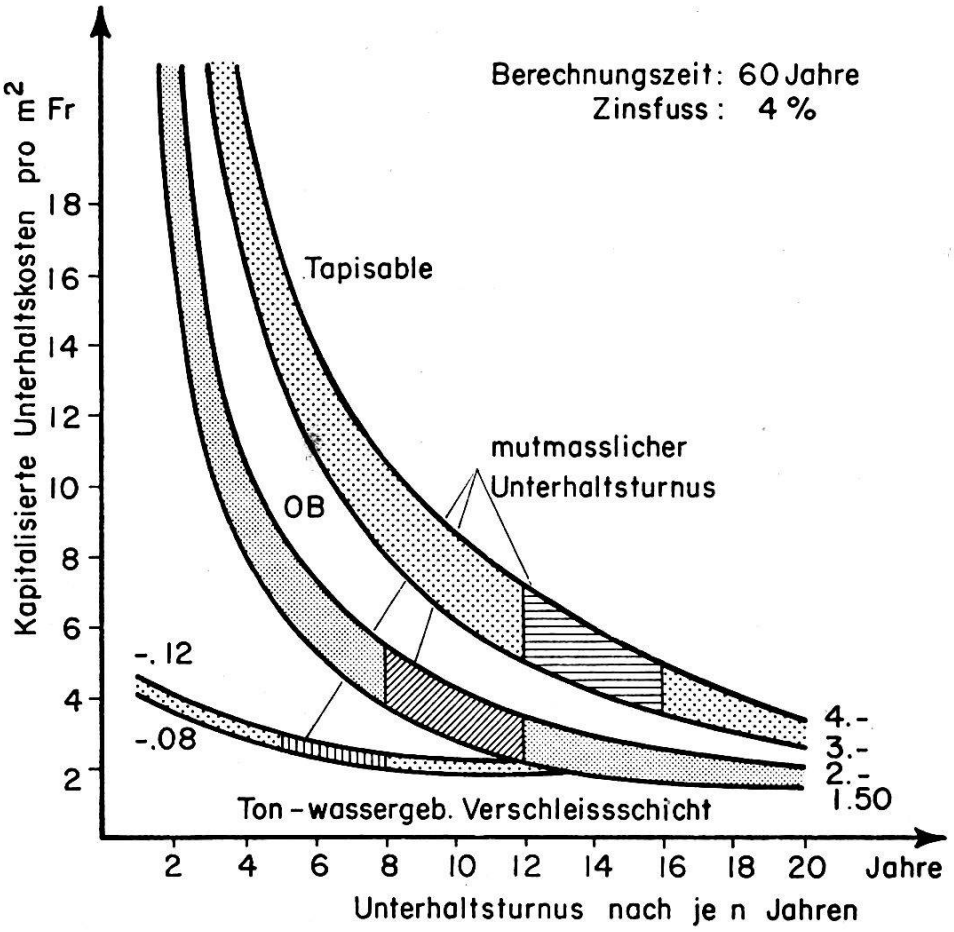

Fig. 4: Kapitalisierte Unterhaltskosten in Beziehung zur Länge des Unterhaltsturnus

6. Zusammenfassung

Die Notwendigkeit der Erschließung der land- und forstwirtschaftlich genutzten Gebiete durch Straßen ist durch waldbauliche, landwirtschaftliche und nutzungstechnische Bedürfnisse gegeben. Aus wirtschaftlichen Überlegungen leitet sich die Forderung ab, daß die Wald- und Güterstraßen mit dem kleinstmöglichen Kapitalaufwand zu erstellen sind.

Die Wald- und Güterstraßen unterscheiden sich in ihrer Zweckbestimmung und ihren Aufgaben wesentlich vom großen Straßenbau. Die Kriterien zur Wahl des Ausbaustandards sind deshalb auch anders gelagert.

Der Dimensionierungsgrundsatz, daß die Straße gegenüber den mechanischen und klimatischen Beanspruchungen widerstandsfähig sein muß, gilt hier nicht absolut. Die Ausbauqualität wird auch vom wirtschaftlichen Kriterium:

Baukosten + kapitalisierte Unterhaltskosten = Minimum beeinflußt.

Es ist möglich, die Baukosten zu verkleinern, indem man den anstehenden Boden stabilisiert, den Aufbau an örtlich günstig gewinnbare Materialien anpaßt oder wirtschaftlich gewinnbare Materialien durch Aufbereitung oder Stabilisierung verbessert. Anderseits ist es möglich, die Unterhaltsarbeiten mechanisiert auszuführen, wenn bereits beim Bau der Straßen an den Unterhalt gedacht wird.