

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber: Schweizerischer Forstverein
Band: 124 (1973)
Heft: 5

Artikel: Neuere Forschungsarbeiten an der Professur für forstliches Ingenieurwesen, ETH-Zürich
Autor: Kuonen, V. / Hirt, R.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-767437>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 05.05.2025

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

Neuere Forschungsarbeiten an der Professur für forstliches Ingenieurwesen, ETH-Zürich

Von *V. Kuonen* und *R. Hirt*

(Aus der Professur für forstliches Ingenieurwesen, ETH-Zürich)

Oxf.: 383

1. Einleitung

Am Ende der Lehrtätigkeit von Professor *B. Bagdasarjanz* waren alle in einer Beamtung tätigen Forstingenieure der Schweiz durch seine Schule gegangen. Sein Wirken an der ETH dauerte nämlich von 1919 bis 1963 (Assistent, Lehrbeauftragter, a. o. Professor, o. Professor). Ohne Übertreibung lässt sich feststellen, dass das schweizerische Waldstrassennetz, das während dieser vier Jahrzehnte gebaut wurde, seinen nachhaltigen Stempel trägt. Sein Grundsatz war und blieb: «Grundlage der Walderschliessung ist der Strassenbau. Die Strassen bilden die Lebensadern des Waldes, und nur die Strasse ermöglicht einen pfleglichen Waldbau» (1). Auch noch so heftig vorgetragene «revolutionäre» Erschliessungsmethoden liessen Prof. Bagdasarjanz weder an seiner Erkenntnis zweifeln noch aus seiner bekannten Ruhe bringen. Es ist sein eigentliches Verdienst, dass der Schweizer Wald ein Strassennetz aufweist, welches in bezug auf Linienführung und Ausbaustandard jedem Vergleich mit anderen Ländern standhält.

In seiner «akademischen» Jugend wurden die Strassen in Handarbeit erstellt, und das Pferdefuhrwerk bildete das wichtigste Transportmittel. Auf diesen Umstand ist sicher seine geländebezogene Projektierung, seine grosse Vorliebe für einen geometrisch einwandfreien Grundriss und ein ausgefeiltes Längenprofil zurückzuführen. Trotz des Überganges von Fahrzeugen mit ein oder zwei Pferdestärken auf solche mit 100 bis 200 PS können wir bei der Anpassung der Strasse an die grösseren Abmessungen und Fahreigenschaften dieser schweren Transportfahrzeuge die von Prof. Bagdasarjanz aufgestellten Regeln und Grundsätze der Baukunst beibehalten, weil sie auf präzisen mathematischen Grundlagen basieren. Er selbst hat ja die ganze, teilweise stürmische Entwicklung vom Schaufelwurf und Handkippkarren bis zu den

leistungsfähigen Baumaschinen miterlebt; aber nie liess er sich durch diese Entwicklung «überfahren». Mit seinem wachen Blick und seinem unbestechlichen Urteil verstand er es immer, die neuen Entwicklungen an die Erfordernisse des Waldstrassenbaus anzupassen.

Gegen das Ende der Lehrtätigkeit des Jubilaren begann die eigentliche Erschliessung des Voralpengebietes, das mit seinen vernässten, tonigen und schwach tragfähigen Böden bautechnisch schwierig zu meistern war. Prof. Bagdasarjanz hat diese Probleme erkannt und die notwendigen Forschungsarbeiten in die Wege geleitet.

Der Rücktritt von seinem Lehramt bedeutete für den Jubilaren keinen Rückzug aus dem Waldstrassenbau; noch immer gehört er zu den aktivsten Mitgliedern der Schweizerischen Arbeitsgemeinschaft für forstlichen Strassenbau (SAFS), wo seinem kritischen Urteil massgebendes Gewicht zukommt. Durch diese Tätigkeit blieb er immer mit seiner ehemaligen Professur und den neueren Entwicklungen auf dem Gebiet des Strassenbaus, die im folgenden kurz aufgezeigt werden, aufs engste verbunden.

2. EDV und Ausarbeitung von Waldstrassenprojekten

Die Berechnung des Längenprofils und der Ab- und Auftragsmassen sowie das Zeichnen der notwendigen Planunterlagen (Längenprofil, Querprofile, Massenprofil usw.) sind sehr zeitaufwendig. Mit zunehmender Überbeschäftigung tritt daher die Gefahr auf, dass sich der projektierende Ingenieur mit einer einzigen Rechnung zufrieden gibt. Dabei taucht immer wieder die Begründung auf, dass Hunderte von Kubikmetern Mehrabtrag bei den relativ geringen Abtragskosten bei Maschinenarbeit kaum ins Gewicht fallen und die Kosten für weitere Rechnungsarbeiten nicht decken würden. Dem Argument der Zeitnot kann aber heute mit Hilfe modernster Rechen- und Zeichengeräte begegnet werden. Der Einsatz von Computern und Plottern für die Rechnungs- bzw. Zeichnungsarbeiten ermöglicht dem Ingenieur, sich von der reinen «handwerklichen» Tätigkeit zu entlasten. So verbleibt vermehrt Zeit für die eigentliche Ingenieurarbeit am Projekt, das heisst für die Überlegungen, Untersuchungen und Entscheidungen, die sich auf die Kosten der Bauausführung wesentlich auswirken. Das von uns in Zusammenarbeit mit dem Rechenzentrum der «FIDES» ausgearbeitete und an zahlreichen Projekten erprobte Computer-Programm «Waldstrassen» wurde in verschiedenen Weiterbildungskursen (2) eingeführt und steht der Praxis zur Verfügung. Es ist speziell an die Bedürfnisse der Wald- und Güterstrassen angepasst. So wurde auf eine einfache Dateneingabe geachtet, die es erlaubt, die Angaben aus dem Feldbuch direkt zu übernehmen. Das Programm entspricht in der Berechnungsart, in der Ausgabe und dem zeitlichen Ablauf der Handrechnung. Es erstellt die folgenden Tabellen (Listen bzw. Berechnungen) und Zeichnungen:

<i>Tabellen</i>	<i>Zeichnungen</i>
Stationierung	Terrainlinie (Längenprofil)
Längenprofil (3 Stufen)	Längenprofil (mit Gradiente)
Querprofilpunkte	Querprofile
Erdmassenberechnung	Massenprofil («Massenlinie»)

Details sind im Programm «Waldstrassen» beschrieben. Im folgenden wird auf ein paar Besonderheiten hingewiesen.

Die Knickpunkte im *Längenprofil* werden nicht vom Computer gesetzt; sie sind aufgrund der Terrainlinie, der Querprofile, der Gelände- und Bodenverhältnisse (vorgesehene Einschnitte, Dämme) usw. vom projektierenden Ingenieur festzulegen. Die Ausrundungen dagegen werden vom Computer als Parabeln (wie Handrechnung) aufgrund von Ausrundungsfaktoren, welche die Bogenlängen festlegen, berechnet. Diese Faktoren — in Metern pro Prozent Neigungsänderung ausgedrückt — können beliebig gewählt werden. Wird kein Ausrundungsfaktor gewählt, setzt das Programm automatisch den Wert 10,0 ein (das heisst 10,0 m pro Prozent Neigungsänderung).

In jedem Projekt können vier verschiedene *Normalprofile* (vier NORM-Karten) verwendet werden; eine Vielfalt, die wohl den meisten Gegebenheiten Rechnung tragen kann. Zusätzlich setzt das Programm automatisch Verbreitung und Quergefälle in Funktion des Kurvenradius, wobei wiederum vier Möglichkeiten zur Verfügung stehen: grosser Lastwagenzug, Kipper mit Anhänger, mittlerer Lastwagenzug und Lastwagen. Beliebig können zudem in jedem Querprofil Verbreiterungen nach links und nach rechts eingeführt werden. Diese Eingaben ermöglichen die Berücksichtigung von Ausweichstellen, Lager- und Kehrplätzen und von Achsverschiebungen.

Die Liste (Tabelle) der «*Querprofilpunkte*» gibt die Entfernung bzw. Höhendifferenz der acht in der untenstehenden Zeichnung angegebenen Profilpunkte in bezug auf den abgesteckten Achspunkt an, welcher durch das Programm automatisch gesetzt wird.

Das Programm «Waldstrassen» ist so gestaltet, dass auch nur Teile davon benützt werden können. Um einen ersten Überblick zu erhalten, wird daher häufig zunächst nur die Längenprofilberechnung oder die Längenprofil- und Erdmassenberechnung durchgeführt. Nach allfälligen Korrekturen wird dann die gesamte Berechnung oder die Berechnung und die Zeichnung der Pläne (Längenprofil, Querprofile, Massenprofil) verlangt. Die Zeichnung der Situation wird vorderhand nicht vom Computer ausgeführt.

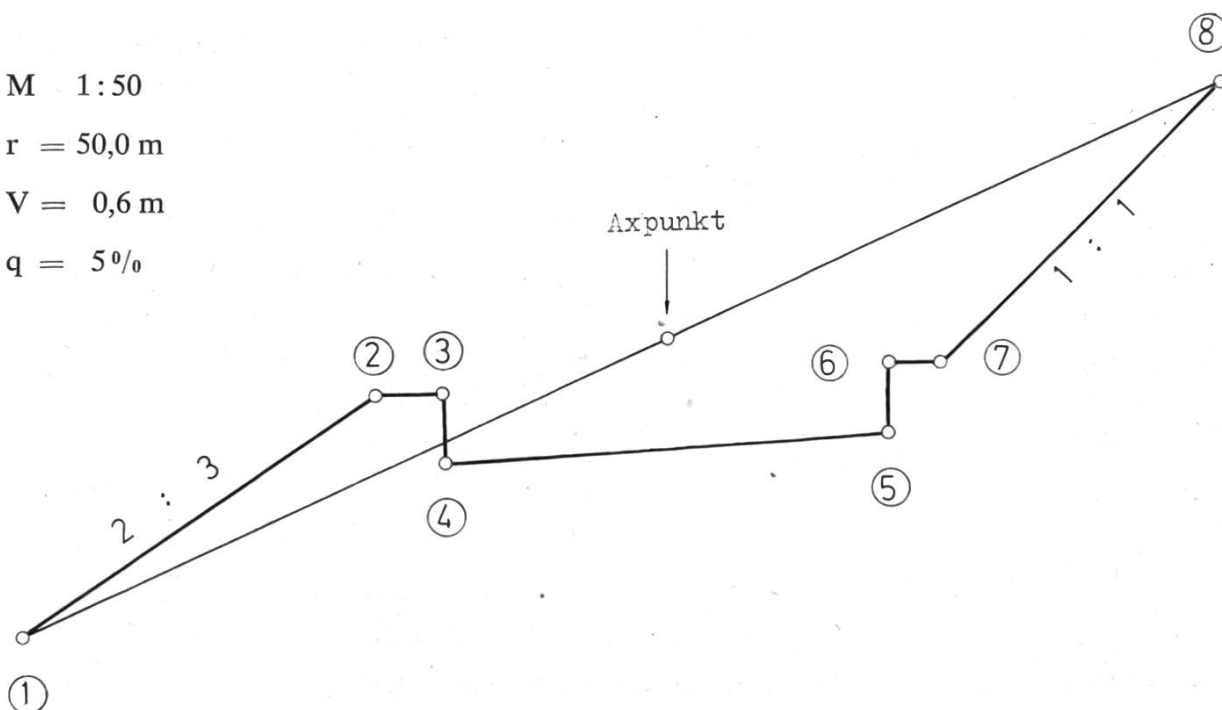
Eidgenössische und kantonale Amtsstellen haben die mit Hilfe von Computer und Plotter ausgearbeitete Projektierungsart begutachtet und sind damit einverstanden. Die Subventionsbehörden können ihre Kontrollen bei solchen

M 1:50

r = 50,0 m

V = 0,6 m

q = 5 ‰



①	Schnittpunkt: Böschung—Gelände links	z. B. — 4,75 m / — 2,13 m
②	Beginn des Bankettes links	z. B. — 2,15 m / — 0,37 m
③	Ende des Bankettes links	z. B. — 1,65 m / — 0,37 m
④	Planum am linken Fahrbahnrand	z. B. — 1,65 m / — 0,87 m
⑤	Planum am rechten Fahrbahnrand	z. B. 1,65 m / — 0,70 m
⑥	Beginn des Bankettes rechts	z. B. 1,65 m / — 0,20 m
⑦	Ende des Bankettes rechts	z. B. 2,05 m / — 0,20 m
⑧	Schnittpunkt: Böschung—Gelände rechts	z. B. 4,10 m / + 1,85 m

M = Massstab

V = Kurvenverbreiterung

r = Kurvenradius

q = Querneigung

Projekten auf kostenentscheidende Gesichtspunkte konzentrieren und müssen sich nicht über allfällige Rechnungsunklarheiten und Zeichnungsmängel ärgern.

3. Umweltfreundlicher Strassenbau

Die Bedeutung des Waldes für die Umwelt braucht an dieser Stelle nicht weiter ausgeführt zu werden. Nur erschlossene Waldungen werden gepflegt und können ihre Funktionen nachhaltig erfüllen: Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktion. Drängt es sich in diesem Zusammenhang nicht auf, dass auch die Erschliessung durch Strassen möglichst umweltfreundlich erfolgt? «Umweltfreundlich» beinhaltet aber ein weites Spektrum von Massnahmen, die ausgeführt werden können, und es ist erfreulich, dass in vielen Belangen immer wieder forstliche Strassenbauer — auch für den «grossen» Strassenbau — richtungsweisend sind und neue Impulse ausstrahlen (3, 4).

Umweltfreundlicher Strassenbau bedeutet Anpassung der Linienführung an das Gelände mit kleinen Einschnitten, Böschungen und Mauern, rasche Begrünung und Bepflanzung der Böschungen und eine möglichst naturnahe Gestaltung der Böschungen.

Bei der Ausführung des Unter- und Oberbaues von Strassen kann Umweltschutz in die Tat umgesetzt werden. Charakteristisch für die heutige Situation ist die zunehmende Verknappung unserer Kieslagerstätten, was sich in den sprunghaft ansteigenden Kiespreisen äussert. Die Zufuhr von qualifiziertem Kies bedeutet eine wesentliche Umweltbelastung durch Abgase und Lärm; zudem werden durch die schweren Kieslastwagen die Zufahrtsstrassen beschädigt oder zerstört. Diese Tatsachen haben beim forstlichen Strassenbau zur Erkenntnis geführt, dass der Unter- und Oberbau vor allem mit örtlichen Materialien auszuführen ist.

Als Baustoff für den Unterbau bietet sich der Untergrund an, welcher zu einem grossen Teil der Waldfläche, insbesondere in den kiesarmen Voralpen, aus tonigem Material besteht. In solchen Böden ist die Bodenstabilisierung mit Kalk die wohl einzig wirtschaftliche Baumethode (5, 6, 7). Durch die Stabilisierung mit Kalk werden Kieseinsparungen erreicht, welche in der Grössenordnung von 50 bis 60 Prozent liegen.

Für den Oberbau sind sehr oft im oder in der Nähe des Projektgebietes Kiesmaterialien aus Moränen und Schutthalden vorhanden. Genügen diese den Qualitätsanforderungen bezüglich Wasser- und Froststabilität nicht, so können sie durch Stabilisierungsmassnahmen (Zement, Teer) verbessert und als Tragschichtmaterial verwendet werden. Bei Frostgefährlichkeit des Oberbaumaterials können auch Beläge verwendet werden, die grösseren Deformationen schadlos folgen können (zum Beispiel Flexbeläge). Auch der Einsatz von Brechanlagen wird mit zunehmender Kiesverknappung an Bedeutung gewinnen, so dass örtlich vorhandene Fels- und Nagelfluhmaterialien usw. aufbereitet werden können.

Neuerdings bildet die Schlacke aus den Kehrichtverbrennungsanlagen einen neuen Rohstoff, welcher von uns im Labor und Feld untersucht wurde (8). Durch eine Aussiebung dieser Schlacke auf ein Grösstkorn von etwa 50 mm (Aussortierung der Metallteile) ergibt sich ein Fundations- bzw. Tragschichtmaterial, das in bezug auf die Tragfähigkeit einem Kiessand der I. bis II. Qualitätsklasse gleichzusetzen ist. Die ersten Labor- und Feldversuche sind sehr erfolgversprechend, so dass gross angelegte Versuchsstrecken geplant sind. Die Deponie von Kehrichtschlacke stösst vor allem in den Ballungsgebieten des Mittellandes auf fast unüberwindliche Schwierigkeiten. Durch die Aufbereitung und Wiederverwendung wird das Deponieproblem gelöst und die knapper werdenden Kiesvorkommen geschont.

Die in diesem Abschnitt gestreiften Probleme zeigen, dass sich technisch einwandfreier und umweltfreundlicher Strassenbau nicht ausschliessen.

4. Dimensionierung und Verstärkung von Wald- und Güterstrassen

Für die Dimensionierung des Oberbaus und die Verstärkung von bestehenden Strassen war im «grossen» und «kleinen» Strassenbau bis vor kurzem keine fundierte Bemessungsmethode verfügbar. Die Praxis der erfahrungsmässigen Bestimmung des Strassenoberbaus führte vielfach nicht zu einer strukturell richtigen Dimensionierung und erlaubte auch keinen Vergleich der Wirtschaftlichkeit verschiedener Varianten.

Nach der Ausführung und Auswertung des amerikanischen Strassen-Grossversuchs — des AASHO-Road-Tests — gelang in der Praxis der Strassendimensionierung ein wesentlicher Durchbruch. Die Auswertung der Ergebnisse des AASHO-Tests führte zu einer Dimensionierungsmethode, welche mit verschiedenen Änderungen und Extrapolationen auch auf den kleinen Strassenbau angewandt werden kann. Der aufgestellte Vorschlag für die Dimensionierung und Verstärkung von schwach beanspruchten Strassen (9) hat sich bei verschiedenen Beispielen bewährt. Mit der auf unsere Verhältnisse angepassten Dimensionierungsmethode ist es nun möglich, verschiedene, in bezug auf die Tragfähigkeit gleichwertige Aufbauvarianten zu bestimmen, wobei die folgenden Parameter berücksichtigt werden können:

- Tragfähigkeit und Gleichmässigkeit des Untergrundes;
- Umgebungsfaktoren: hydrologische Verhältnisse und Frost;
- Verkehr: Anzahl und Grösse der Achslasten;
- Festigkeit und Stabilität der Oberbaumaterialien.

Die Auswahl aus mehreren gleichwertigen Aufbauvarianten erfolgt nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien der Sicherheit, der Zweckmässigkeit, des Fahrkomforts, der Unterhaltbarkeit und der Wirtschaftlichkeit in bezug auf die Bau- und Unterhaltskosten.

Bei der auf dem AASHO-Test basierenden Dimensionierungsmethode kommt ein neuartiges Konzept zur Anwendung. Die subjektiv empfundene Qualität einer Fahrbahnoberfläche kann mit einer Kombination von objektiven Messwerten (Längs- und Querebenheit, Riss- und Flickstellen) korreliert und jederzeit als Befahrbarkeitswert angegeben werden. Unter der Verkehrsbeanspruchung nimmt die Befahrbarkeit zunehmend ab, bis die Endbefahrbarkeit erreicht ist, bei der die Strasse nicht mehr mit dem notwendigen Fahrkomfort und mit genügender Sicherheit befahren werden kann. Aus diesem Befahrbarkeitskonzept resultiert eine präzise Definition für die Lebensdauer einer Strasse, nämlich als jene Zahl von Achslastwechseln, bei der die Strasse nicht mehr befahrbar ist und eine Verstärkung erfolgen muss.

Ein Ergebnis des AASHO-Tests ist auch die Entwicklung einer neuen Messmethode. Sie besteht in der Messung der Durchbiegung der Strasse unter einer Last. Diese Durchbiegung wird als elastische Deflektion bezeichnet und wird in der Schweiz mit dem Benkelman-Balken unter einem 5-t-Zwillingsrad gemessen. Die Grösse der elastischen Deflektion ist ein Mass für die Trag-

fähigkeit der Strasse und ermöglicht eine Prognose über die Lebensdauer der Strasse. Ein sehr interessantes Ergebnis ist die Schadenwirkung der Achslasten; sie nimmt ungefähr in der vierten Potenz mit der Grösse der Achslast zu. So bewirkt beispielsweise ein beladener Lastwagen etwa die gleiche strukturelle Zerstörung wie 10 000 bis 20 000 Personenwagen.

Für die Bestimmung gleichwertiger Varianten muss die relative Tragfähigkeit der verschiedenen Materialien bekannt sein. Der AASHO-Test und Satellitversuche haben gezeigt, dass die Tragfähigkeit von den Baustoffeigenschaften abhängig und proportional der Schichtstärke ist. So lassen sich etwa die folgenden Schichtstärken gleicher Tragfähigkeit angeben:

*Schichtstärke gleicher
Tragfähigkeit (cm)*

HMT B (Heissmischtragschicht Sorte B)	1,0
HMT A (Heissmischtragschicht Sorte A)	1,2
Zementstabilisierung	1,8
bituminöse Stabilisierung	1,8
Kiessand I gebrochen	2,9
Kiessand I rund	3,6
Kiessand II gebrochen	3,6
Kiessand II rund	5,4

Die Verstärkung von schwach beanspruchten Strassen wird über Tausende von Kilometern aktuell; dies vor allem bei den vor 1950 erstellten Strassen. Die Ergebnisse des AASHO-Strassentests bilden ebenfalls die Grundlage für die vorgeschlagene Verstärkungsmethode (9), die nach zwei verschiedenen Verfahren vergleichbare Ergebnisse liefert.

Bei der ersten Methode wird anhand von Sondierschlitten die Untergrundtragfähigkeit bestimmt und die Strasse auf die vorgesehene Verkehrsbeanspruchung dimensioniert (Sollaufbau). Dann wird der vorhandene Aufbau bestimmt. Die Differenz zwischen dem Sollaufbau und dem vorhandenen Aufbau liefert die notwendige Verstärkung. Bei der zweiten Methode werden stichprobenweise Deflektionsmessungen ausgeführt, wobei die zulässigen Deflektionswerte für die verschiedenen Strassentypen (Verkehrsbeanspruchungen) bekannt sind. Durch Vergleich der vorhandenen mit der zulässigen Deflektion kann mit Erfahrungswerten auf die notwendige Verstärkung geschlossen werden.

Mit Hilfe der Ergebnisse des AASHO-Strassentests und durch die Einführung von einfachen und schnellen Messmethoden, welche auch für den Praktiker ausführbar sind, ist es nun möglich, die Dimensionierung und Verstärkung von Strassen auf eine solide und objektive Basis zu stellen. Wohl weisen die angegebenen Dimensionierungsmethoden noch Unsicherheiten

und Lücken auf; durch laufende Überprüfung der vorgeschlagenen Werte durch objektive Messungen ist eine Verbesserung und Anpassung möglich.

5. Schlussbemerkungen

Bekanntlich hat jede Wissenschaft einen Anfang, aber kein Ende. Die heutigen Rechen-, Mess- und Labormethoden liefern bessere, quantifizierbare Entscheidungsgrundlagen, so dass man sich von rein gefühlsmässigen Beurteilungen lösen und Strassen bauen kann, die den zu erwartenden Beanspruchungen entsprechen. Kaum ist man aber an einem Ort im wahrsten Sinne des Wortes zum «Dreck» heraus, tauchen neue Probleme auf; Probleme, welche die Arbeit abwechslungsreich und interessant machen.

Literatur

- (1) *Bagdasarjanz, B.*: Folgen der technischen Entwicklung auf Planung und Ausführung von Walderschliessungen, Schweiz. Zeitschrift für Forstwesen, Nr. 3, März 1961
- (2) *Kuonen, V., und Eggenberger, W.*: Kurs über Berechnung und Zeichnung von Strassenprojekten mit Hilfe von Computern, FIDES-Rechenzentrum, März 1971
- (3) *Kuonen, V.*: Ist Strassenbau eine Kunst?, Schweiz. Zeitschrift für Forstwesen, Nr. 1, Januar 1973
- (4) *Kuonen, V.*: Boden und Strassenunterbau, BP-Strassenbau-Fachtagung, Januar 1973, und Schweiz. Bauzeitung, Nr. 10, März 1973
- (5) *Kuonen, V.*: Grundlagen und Anwendung der Bodenstabilisierung mit Kalk im schweizerischen Waldstrassenbau, Schweiz. Zeitschrift für Forstwesen, Nr. 8/9, August/September 1962
- (6) *Abt, E.*: Bodenstabilisierung im Forst- und Güterwegebau, Schweiz. Zeitschrift für Forstwesen, Nr. 8/9, August/September 1962
- (7) *Hirt, R.*: Experimentelle Untersuchungen zur Bodenstabilisierung mit Kalk, insbesondere für deren Anwendung im Wald- und Güterstrassenbau, Diss. ETH-Zürich, 1969
- (8) *Hirt, R.*: Die Verwendung von Recycling-Materialien im Strassenbau, BP-Strassenbau-Fachtagung, Januar 1973
- (9) *Hirt, R.*: Dimensionierung und Verstärkung von schwach beanspruchten Strassen, Schweiz. Zeitschrift für Forstwesen, Nr. 3, März 1972