

Der Versuch einer Kalkuntergrundstabilisierung

Autor(en): **Krebs, E.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal
= Journal forestier suisse**

Band (Jahr): **110 (1959)**

Heft 9

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-765123>

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.

Der Versuch einer Kalkuntergrundstabilisierung

Von *E. Krebs*, Winterthur

Allgemeines

Oxf. 383

Es ist im Waldstraßenbau auch heute noch üblich, bei schlechtem Untergrund mit ungenügender Tragfestigkeit einen entsprechend stärkeren Oberbau zu erstellen, um die Verkehrslast aufnehmen zu können. Dabei handelt es sich gerade in diesen Fällen in der Regel um Gebiete, wo das Oberbaumaterial auf der Baustelle selbst fehlt und daher von auswärts zugeführt werden muß, was große Kosten verursacht und die Zufahrtsstraßen stark beansprucht.

Bei den Bodenstabilisierungen, wie sie seit einiger Zeit in den mittelfränkischen Staatswäldungen durchgeführt werden, ging man nun vom Gedanken aus, daß bei schlechtem Baugrund nicht ein stärkerer Oberbau erstellt werden soll, sondern daß umgekehrt der Untergrund durch geeignete Maßnahmen derart zu verdichten und zu verfestigen (stabilisieren) ist, daß er tragfähig wird und dann nur eine verhältnismäßig geringe Oberbaustärke nötig ist. Parallel dazu geht das Bestreben, die bisher übliche Gesteinspacklage (Steinbett) durch eine Kies-Sand-Tragschicht zu ersetzen, die mechanisch-maschinell mittels Rüttelverdichter hergestellt werden kann.

Die Versuche, die besonders durch Herrn Oberregierungsrat *Greiß* in Ansbach in Zusammenarbeit mit vielen Wissenschaftlern und Praktikern durchgeführt wurden, haben gezeigt, daß es Böden gibt, die in ihrer Kornzusammensetzung derart abgestuft sind, daß ohne irgendeine Beimischung eine gute, hohlraumarme, gegen Lastdruck und Feuchtigkeit genügend widerstandsfähige Verdichtung möglich ist, wie z. B. gut abgestufte Kies- und Sandböden. In den meisten Fällen jedoch muß die Verfestigung durch Zusatz fehlender Kornfraktionen oder überhaupt durch bodenfremde Zusatzstoffe, wie Kalk, Zement, Bitumen usw., ermöglicht werden.

Bei diesen Stabilisierungsfragen geht es somit darum, durch Vergrößerung der Unterbautragfähigkeit eine weitgehende Einsparung an Oberbaustärke zu erreichen; oder dann wird versucht, in geeigneten Fällen den örtlich vorhandenen Boden als solchen durch Zusatzboden oder Zusatzstoffe derart zu verfestigen, daß überhaupt auf einen Oberbau, d. h. auf eine Übertragungsschicht verzichtet werden kann. Man ist also bestrebt, mit dem vorhandenen Boden zu arbeiten und möglichst wenig fremdes Material zuzuführen.

In den Gebieten um Nürnberg waren mit diesen Stabilisierungsverfahren überraschende Erfolge zu verzeichnen. Damit aber zuverlässige Er-

gebnisse erreicht werden können, müssen unbedingt 2 grundlegende Voraussetzungen erfüllt sein:

- a) Einwandfreie, wissenschaftliche Untersuchung des Bodens des Baugebietes (großes Zentrallabor und fliegendes Labor des Unternehmers auf der Baustelle) über Wassergehalt, Porenvolumen, Trockenraumgewicht, Plastizität (Fließ- und Rollgrenze), Kornzusammensetzung (Siebkurve oder Schlemmanalyse). Daraus werden abgeleitet: Optimaler Wassergehalt für Verdichtung, fehlende und daher beizumischende Korngrößen zur Erreichung der optimalen Verdichtungsbereitschaft des Materials.
- b) Ein bedeutender Maschinenpark, um den Wegbau zu rationalisieren, den Baufortschritt zu beschleunigen und die nötigen Misch- und Verdichtungsarbeiten einwandfrei durchführen zu können, wie Planier-
raupen (Straßenhobel), Motorgrader mit Planierschar, Schaffußwalze, Bodenmischer (Seaman-Pulvi-Mixer, Vögele-Mischer), Gummiradwalze, Glattwalzen und Vibrationswalzen, Vibro tamper, Jeep, Unimog, Raupenschlepper usw., so daß ein Maschinenpark mit Anschaffungskosten von 300 000–500 000 Franken benötigt wird.

Ganz allgemein haben sich aus den erwähnten Versuchen vorläufig einige Erfahrungen ergeben, die auch für uns von Bedeutung sind:

- Sandböden und Sand/Kiesböden lassen sich verhältnismäßig leicht und gut verdichten; evtl. ist eine Kornverbesserung des Gemisches nötig durch Beifügen der fehlenden Kornfraktionen in verhältnismäßig bescheidenen Mengen (oft nur wenige Prozente).
- Letten- und Schluffböden können verhältnismäßig günstig durch eine Kalkuntergrundstabilisierung verbessert werden.
- Sehr wichtig für die Verdichtung ist der optimale Wassergehalt, der auf der Baustelle laufend nachzuprüfen und anzustreben ist (durch Auffräsen und Trockenlassen des Bodens oder durch Wasserzugabe).
- Die beste Untergrundverdichtung ist mit der Schaffußwalze zu erreichen.
- Das wasserabweisende Profil muß von unten bis oben vorhanden sein (einseitiges oder beidseitiges Quergefälle). Es ist daher nicht richtig, wenn der Kofferaushub, wie dies beim Traxbau meist geschieht, eben d. h. ohne Quergefälle ausgehoben wird. Auch wenn ein guter Maschinenführer den Koffer verhältnismäßig sorgfältig ausheben kann, muß die Reinplanie mit genügender Wölbung oder Quergefälle von Hand oder mit dem Motorgrader erstellt werden.
- Zur Ermöglichung der mechanischen Bauweise ist die Anwendung einer Tragschicht mit richtiger Mischung von Grob-, Mittel- und Feinschotter und Grob-, Mittel- und Feinsand und evtl. noch mit einem Fülleranteil (Lehm) vorteilhaft. Das größte Korn soll nur halb so groß sein wie die Dicke der Tragschicht.

- Über der Tragschicht ist eine Sandverschleißschicht aufzubringen und regelmäßig zu erneuern.
- Schwarzdecken sind im allgemeinen für Waldstraßenbau nicht zu empfehlen, da sich mechanisch eingebaute Decken mit laufendem Unterhalt besser bewährt haben.
- Untergrund und Tragschicht müssen leicht elastisch sein, da jede starre Decke durch die Verkehrsbeanspruchung zertrümmert wird (Autobahnen!).
- Der Unterhalt soll ebenfalls maschinell möglich sein (Aufbrechen, geringe Kornbeimischung, Profilieren mit Motorgrader, Vibrationsverdichtung und Abschlußverdichtung mit Gummiradwalze).
- Es empfiehlt sich, vorerst auf möglichst langen Strecken das Grundprofil als vorläufig befahrbaren Unterbau zu stabilisieren und eine weitere Verfestigung durch Übertragungs- und Verschleißschicht erst später vorzunehmen, wenn die im verfestigten Grundprofil bei längerer Verkehrsbenützung sich ergebenden schwachen Stellen ausgebessert sind.

Es liegt auf der Hand, daß für die verschiedenen und oft auf kurze Strecken stark wechselnden Bodenarten in der Schweiz andere Bauverfahren nötig sind, die noch gründlicher Abklärung bedürfen. So sind die Böden in den extramoranen Schottergebieten, im Jura, in der Molassezone, im Flyschgebiet, auf lehmigen Grundmoränen, auf kristallinen Gesteinen bodenphysikalisch und damit bautechnisch vollständig verschieden. Wir dürfen aber nicht mehr länger zuwarten, um die Abklärung dieser wichtigen Fragen mit aller Gründlichkeit und Entschiedenheit an die Hand zu nehmen.

Die Kalkuntergrundstabilisierung

Wir haben im letzten Sommer versucht, im Staatswald Kyburg auf einer Strecke von rund 250 m¹ Länge bei denkbar ungünstigem Material eine Untergrundstabilisierung mit Kalk und Sand durchzuführen. Wir sind uns ganz klar, daß aus diesem sehr bescheidenen Versuch niemals allgemein gültige Schlüsse gezogen werden dürfen. Es hat sich aber doch einwandfrei gezeigt, daß derartige Stabilisierungsmethoden für uns von Bedeutung sind.

Das Baugebiet liegt am steilen, terrassierten Osthang des Plateaus von Kyburg. Der Untergrund besteht aus Verwitterungsmaterial der oberen Süßwassermolasse mit abgerutschter Moräne. Die durch die Erdbauabteilung der ETH in verdankenswerter Weise durchgeführte Untersuchung einer Bodenprobe (je 6 kg Boden entnommen an 5 verschiedenen Orten der Baustelle) ergab:

Spez. Gewicht: 2,69 t/m³.

Fließgrenze: 46,5%, Rollgrenze 19,8%, Plastizitätszahl 26,7.

Die Plastizitätszahl ist somit etwas größer als bei normalen Lehmböden, wo sie 15–25 beträgt.

Kornzusammensetzung (Schlemmanalyse):

| | | | |
|---------------------------------|-------|----------------------|-----------|
| Kleiner als 50 mm \varnothing | 97,0% | Kleiner als 0,2 mm | 83,2% |
| Kleiner als 20 mm | 94,4% | Kleiner als 0,02 mm | 50,0% (!) |
| Kleiner als 2 mm | 92,7% | Kleiner als 0,002 mm | 15,5% |

Die granulometrische Verteilung dieser feindispersen Böden ist somit außerordentlich ungünstig und der Anteil an hochquellbarem Feinsand und Ton ist recht groß.

Diese plastischen, schweren, nassen Lehmböden haben beim Wegbau schon immer gewisse Schwierigkeiten verursacht. Auch bei gründlicher Entwässerung, die bei irgendwelchen Stabilisierungsverfahren ebenfalls gleich sorgfältig erfolgen muß, haben wir bis anhin wie gewohnt einen wesentlich stärkeren Oberbau erstellen müssen.

Bauvorgang

Nachdem die Rohplanie (Trax) im Sommer 1957 erstellt worden war, ließen wir im Juli 1958 das Nachplanieren der Böschungen und Gräben und den Kofferaushub ausführen. Infolge steter Gewitterregen war der Baugrund derart durchnäßt, daß in dem schweren, zähen Material nur noch schlecht gearbeitet werden konnte; am besten wurden die Lehmschollen mit dem Spaten abgestochen und mit der Gabel geworfen oder geladen, da sie sich nicht mehr von der Schaufel lösten. Da wir in Zusammenhang mit der Untergrundstabilisierung nur einen Oberbau von 20 cm Stärke vorsahen, betrug der Kofferaushub längs Bankett 15 cm, in der Straßenmitte 0, die Wölbung somit 15 cm.

Die Untergrundverdichtung wurde nach folgendem *Einbauplan* durchgeführt:

| | <i>Neue Waldstraße</i> (4 m ¹ breit) | | | | | <i>Erdweg</i> |
|--------------------------|---|----------------------|----------------------|----------------------|-----|------------------------|
| | ○ ——— ○ ——— ○ ——— ○ ——— ○ | | | | | ————— |
| Profil-Nr. | 3 | 11 | 16 | 20 | 26 | 3 m ¹ breit |
| Stationierung | 46 | 107 | 171 | 231 | 292 | |
| Länge | 61 m ¹ | 64 m ¹ | 60 m ¹ | 61 m ¹ | | 45 m ¹ |
| Beimischungen: | | | | | | |
| Sand | 10 cm | 5 cm | — | — | | 5 cm |
| d. h. pro m ¹ | 0,35 m ³ | 0,18 m ³ | — | — | | 0,15 m ³ |
| Bedarf | 21,5 m ³ | 11,5 m ³ | — | — | | 7,0 m ³ |
| Kalkmehl | 50 kg/m ¹ | 40 kg/m ¹ | 30 kg/m ¹ | 20 kg/m ¹ | | 35 kg/m ¹ |
| Bedarf | 3050 kg | 2550 kg | 1800 kg | 1200 kg | | 1600 kg |
| Gesamtbedarf: | 40 m ³ Sand (Brechsand) | | | | | |
| | 10,2 t Kalk | | | | | |

Als *Kalk* verwendeten wir Ia Weißkalk, feinst pulverisiertes Kalkhydrat (Kosten Fr. 12.—/100 kg franko Bahnstation). Dieses Kalkmehl bindet an und für sich schon große Mengen Bodenwasser und verursacht damit in diesen nassen Böden einen erwünschten Trocknungsprozeß. Kalk beseitigt zum großen Teil das Schwellen und Schrumpfen der Lehm-Tonböden; er wirkt durch Vermörtelung bodenverfestigend und unterbindet den kapillaren Wasseraufstieg von unten her. Der ungelöschte Brandkalk hat noch eine intensivere Wirkung, doch ist Vorsicht bei Hautverletzungen an den Händen geboten.

Für die Durchführung der Untergrundstabilisierung hatten wir nach Beendigung der Reinplanie folgenden *Arbeitsplan* aufgestellt:

1. *Vorverdichtung des Untergrundes* mit Schaffußwalze (in Ermangelung eines kleinen Raupenschleppers gezogen durch Trax), 5–10 Arbeitsgänge und *Abschlußverdichtung* mit Gummiradwalze. (Die von uns eingesetzte selbstfahrende Gummiradwalze wurde von der Firma Charles Keller, Baumaschinen, Wallisellen, für diesen Versuch kostenlos zur Verfügung gestellt.)

Wir hofften, durch dieses Vorgehen den Untergrund derart zu verfestigen, daß Sand und Kalk mit leichten Lastwagen zugeführt werden könnten.

2. *Einbringen von Sand und Kalk* gemäß Einbauplan und regelmäßiges Ausbreiten.

Mischen Boden/Sand/Kalk mit schwerer Scheibenrollegge oder mit Bodenfräse wenn möglich auf 20 cm Tiefe (leider konnte ein besserer Bodenmischer, wie Seaman-Pulvi-Mixer usw., nicht aufgetrieben werden).

3. *Verdichtung der Mischschicht* bei verhältnismäßig geringem Wassergehalt (trockenes Wetter) mit Schaffußwalze bei 20 Arbeitsgängen auf 15–18 cm.
4. *Nochmalige Profilregulierung* durch Nachplanieren von Hand (in Ermangelung eines Motorgraders).
5. *Abschluß-Verdichtung* mit Gummiradwalze.
6. *Oberbau* 15 cm Kies-Sandgemisch mit richtiger Kornverteilung, größtes Korn 70 mm; Einvibrieren mit Vibratorwalze.
7. *Nachkiesen* vom Wegende her mit 5 cm Kies-Sand, Vibrieren mit Vibrationswalze.
8. *Verschleißschicht* mit Grubensand (Grubensand/Brechsand) etwa 2 cm.

Nachdem in der Woche vom 28.7. bis 2.8.58 die Reinplanie fertig erstellt worden war, machten wir am 2.8.58 den Versuch zur Vorverdichtung des Koffers mit der Gummiradwalze, der aber vollständig mißlang. Sobald die Maschine von der festen Straße in den nassen Lehm kam, drehten die Räder mit den glatten Pneus nur durch. Ein weiterer Versuch, die Schaffußwalze mit einem Trax D 6 zu ziehen, schlug ebenfalls

fehl. Bei der Anfangssteigung der Versuchsstrecke von 5–6% hatte schon der D 6 Mühe, vorwärts zu kommen, wobei er im frisch planierten, vernäbten und durchweichten Koffer 20–40 cm tiefe Spuren ausquetschte. Die Schaffußwalze wickelte eine Lehmschicht wie eine Schneerolle auf, bis sie sich nicht mehr drehen konnte. Wir waren froh, als in dem unvorstellbaren Schmutz und Schlamm der Trax die Schaffußwalze mit hochgehobener Schaufel wieder auf die Straße zurückgebracht hatte. Arbeiter und Förster waren fast verzweifelt über den trostlosen, zerfahrenen Zustand des vorher sorgfältig planierten Straßenkoffers, und ihre Gedanken über den feststehenden Mißerfolg dieses Versuches waren deutlich genug von ihren Gesichtern abzulesen.

Da der Kalk Tage vorher hatte bestellt werden müssen, konnte der Versuch nicht mehr verschoben werden. Nachdem Samstag und Sonntag weitere starke Gewitterregen fielen, war das Wetter am Montag 4. 8. 58 unerwartet schön. Das Planum war restlos durchnäßt, da an diesen schattigen, bewaldeten Nordhängen ein Antrocknen des Bodens erst nach mehreren trockenen Tagen stattfindet. Das Einbringen von Kalk und Brechsand 0/3 mm mußte mit dem Trax erfolgen, da kein anderes Verkehrsmittel durch diese teigige Masse vorwärtsgekommen wäre. Kalk und Sand ergaben nun aber schlagartig eine unerwartete und in diesem Ausmaß nie erhoffte Austrocknung, die sogar so weit ging, daß das Durchfräsen des Bodens mit der Bodenfräse, teilweise auch bedingt durch die starke Pressung durch die Traxraupen, leider nicht mehr in der erwünschten Tiefe möglich war. Während des ganzen Tages erfolgten durch eine Arbeitergruppe laufend Profilregulierung und Wiederherstellung der Wölbung.

Am Dienstag, den 5. 8., hatte sich der Lehmboden derart verfestigt, daß die Schaffußwalze stellenweise fast keine Eindrücke mehr verursachte. Eine Verdichtung erfolgte durch den D 6, wobei einzelne noch weiche Stellen mit Sand und Kalk zusätzlich überstreut wurden.

Zum Schluß konnte eine ausgezeichnete Oberflächenverdichtung mit der Gummiradwalze erstellt werden. Die Walze faßte jetzt so gut, daß sie trotz der glatten Pneus auch die Steigung im ersten Teilstück ohne weiteres fahren konnte. Am Mittwoch, 6. 8., wurde Kies/Sand ab Wand zugeführt und laufend mit der Vibrationswalze verdichtet. Dabei machten wir die

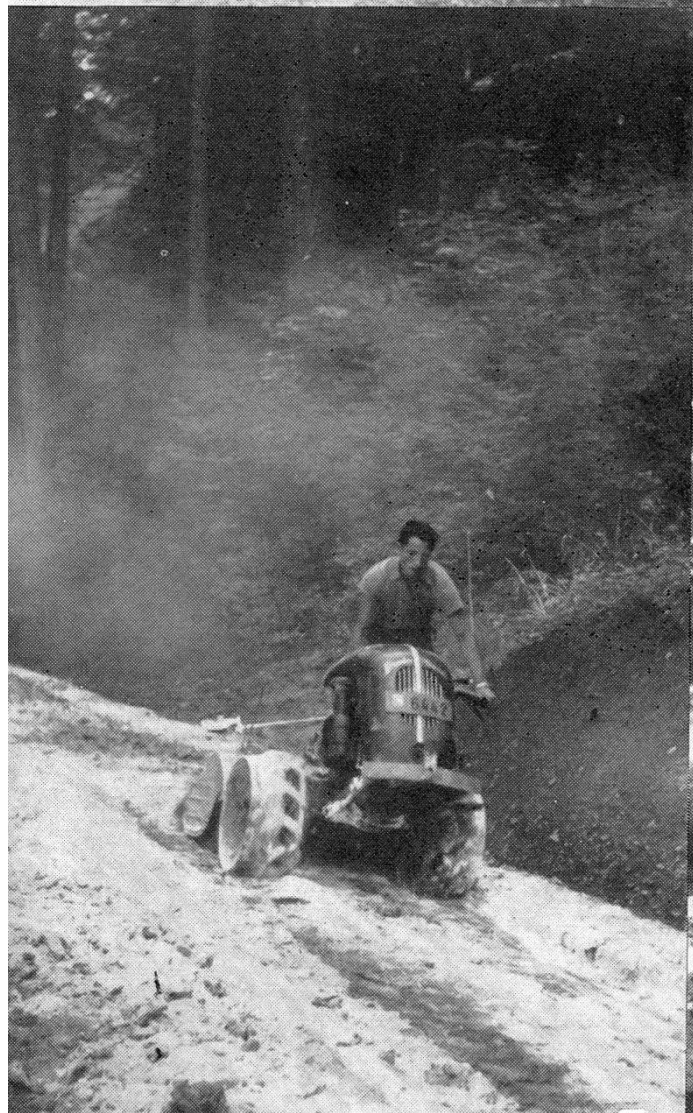
Text zu den Bildern:

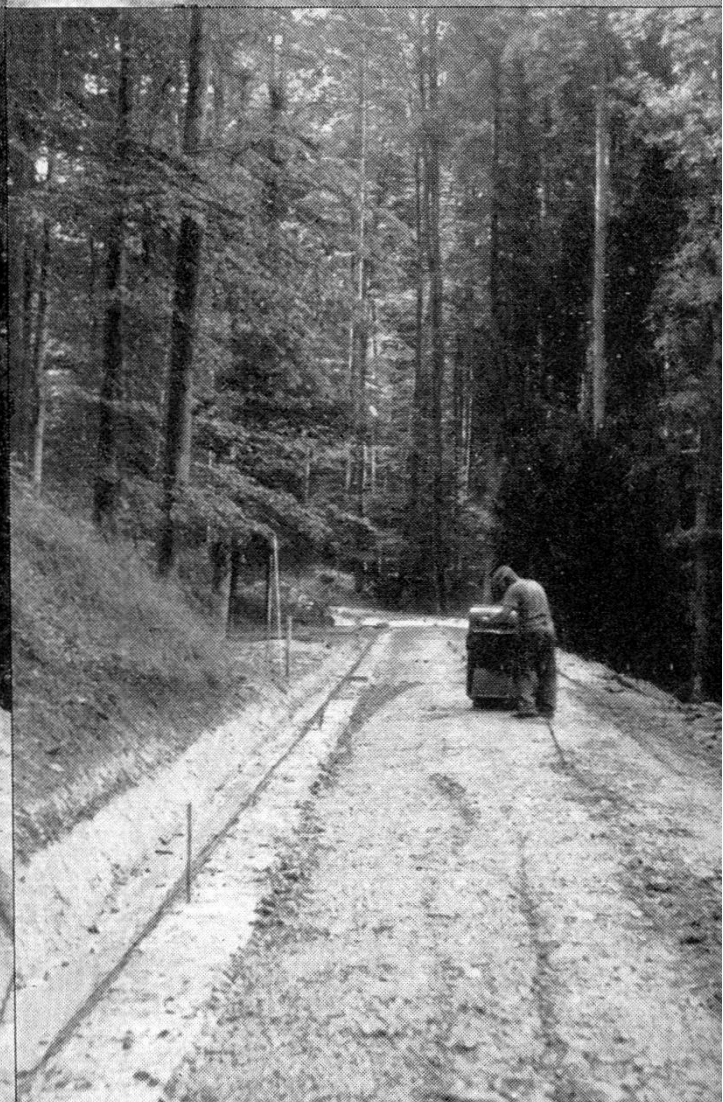
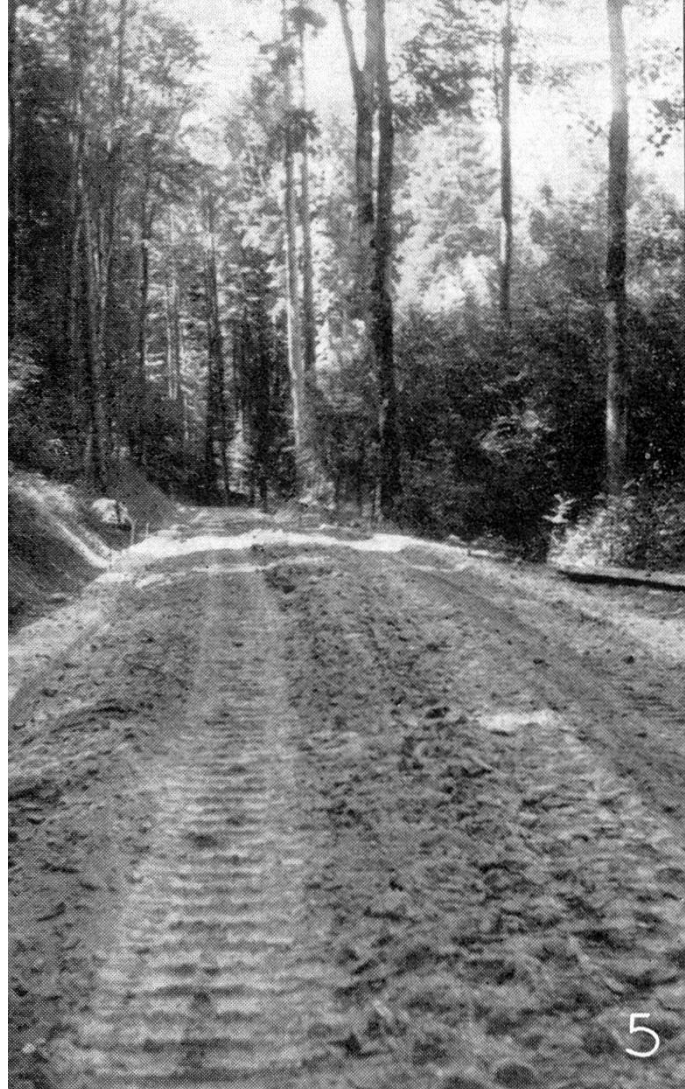
Bild 1: Selbstfahrende Tampo-Pneuradwalze zum Verdichten von plastischem Material und für Abschlußverdichtung (Charles Keller, Wallisellen), Leergewicht 3 t, mit Sand 8 t, Dieselmotor 38 PS.

Bild 2: Einbringen von Sand und Kalk im mittleren, weniger vernäbten Teil.

Bild 3: Einfräsen von Sand und Kalk in die oberste Lehmschicht mit Grunder-Einachstraktor.

Bild 4: Verdichten mit Schaffußwalze gezogen durch Trax D₆ (in Ermangelung eines kleinen Raupenschleppers).





Feststellung, daß durch die Kalkbeimischung eine derart zähe, feste Lehmdecke im Boden entstanden war, daß beim Befahren mit beladenen Fahrzeugen der plastische Untergrund wohl unter den Rädern einsank und dazwischen gehoben wurde, ohne daß aber die zähe Oberflächendecke brach oder riß.

Zusammenfassung

Wir sind überzeugt, daß der Versuch an und für sich gelungen ist. Wir sind aber nicht sicher, ob das Vorgehen wissenschaftlich einwandfrei war. So haben wir feststellen müssen, daß bei unserem Versuch nicht die optimale Bodenfeuchtigkeit vorhanden war, denn Kalk und Sand haben soviel Bodenwasser gebunden, daß die Mischung zu trocken wurde und nicht mehr ideale Verdichtungsfähigkeit bestand, trotzdem der Baugrund vorher unvorstellbar vernäßt war. Sodann fehlte uns ein geeigneter Mischer, so daß mit der Bodenfräse Sand und Kalk nur ungenügend tief eingemischt werden konnten. Dadurch wurde die Kalkanreicherung in der obersten Bodenschicht zu stark. Es entstand wohl die erwähnte zähe Oberflächendecke, doch ist diese zu wenig dick, um eine gute Verteilung des durch die Tragschicht übermittelten Verkehrsdrucks auf den Untergrund zu sichern. Wir hatten den Eindruck, daß bei gleicher Dotierung der Mischstoffe Kalk und Sand eine wesentlich dickere Bodenschicht hätte verfestigt werden können.

Wir sehen daher auch davon ab, hier eine Kostenberechnung durchzuführen. Eine Zusammenstellung der Ausgaben zeigte, daß die Baukosten der Versuchsstrecke trotz des bedeutend schwächeren Oberbaues ungefähr gleich hoch waren wie beim herkömmlichen Ausbau, doch ist dieser Vergleich aus verschiedenen Gründen nicht stichhaltig. Es ist klar, daß der Aufwand teurer Baumaschinen nur lohnend ist, wenn größere Strecken in einem Zug ausgebaut werden. So betont Greiß ganz besonders, daß die Arbeitsprogramme im Hinblick auf eine wirtschaftliche Ausnützung der kostspieligen Maschinenaggregate möglichst großzügig ausgestaltet werden müssen. Ferner glauben wir, daß namentlich die im Einbauplan vorgesehene Kalkmischung stellenweise zu groß war; wir haben denn auch während der Durchführung die Kalk- und Sandbeimischung im ersten Teilstück etwas reduziert und damit eine Reserve erhalten, die wir nachträglich an Stellen zugaben, die ungenügend verfestigt erschienen. Sodann

Text zu den Bildern:

Bild 5: Verdichtung mit Schafffußwalze abgeschlossen; Zustand vor Profilregulierung.

Bild 6: Fertig reguliertes Teilstück nach erfolgter Abschlußverdichtung mit Gummiradwalze.

Bild 7: Teilstück nach erfolgter Abschlußverdichtung.

Bild 8: Einvibrieren von Kies-Sand-Tragschicht aus Kiesgrubenmaterial ab Wand; auftretende Kiesnester wurden laufend übersandet.

möchten wir vorerst abwarten, wie sich dieses Versuchsstück in den kommenden Jahren bei stärkerer Benützung halten wird. Es ist zu erwarten, daß durch die Verhinderung des kapillaren Wasseraufstieges infolge der Untergrundvermörtelung die verdichtete Lehmschicht stabiler bleibt und damit auch die Tragschicht selbst weniger beansprucht und deformiert wird. Man weiß, daß die Tragschicht durch den Verkehrsdruck zunehmend in den Grundbau eingepreßt wird, wenn dieser durch kapillaren Wasseraufstieg durchweicht wird. Die Frage der Baukosten ist daher nicht vom Aufwand für den späteren Unterhalt zu trennen.

Nach den bisherigen Erfahrungen in Deutschland ist bei lehmigen Böden vorläufig namentlich eine Untergrundstabilisierung mit Kalk zu empfehlen. Mit Zement- und Bitumenstabilisierung (z. B. Zementvermörtelung) wird zweckmäßig noch zugewartet, weil diese Verfahren in voller Entwicklung sind und vorläufig noch wenig Erfahrungen vorliegen.

Aus allen diesen Ausführungen ziehen wir für den zukünftigen Waldstraßenbau in der Schweiz einige allgemeine Folgerungen:

1. Die gründliche Entwässerung nasser Baugebiete ist nach wie vor Voraussetzung für eine gute Bauausführung.
2. Eine Untergrundverdichtung ist auf alle Fälle überall und bei jedem Material (ausgenommen torfige Schichten) vorteilhaft, weil dadurch an Oberbaumaterial gespart werden kann und weil die Tragschicht sich auf einem stabilisierten Grundbau in jeder Beziehung besser hält.
3. Stabilisierungsverfahren müssen auf einwandfreier Grundlage durchgeführt werden, damit keine Mißerfolge eintreten. Durch wissenschaftliche Untersuchungen sind vorgängig abzuklären:
 - a) Kornzusammensetzung, Wassergehalt und Plastizität des örtlich vorhandenen Bodens;
 - b) Notwendige Beimischungen (fehlende Kornfraktionen) zur Herstellung optimaler Verdichtungsfähigkeit des Gemisches.
4. Verdichtete Kiessand-Tragschichten ergeben eine bessere Verteilung des Verkehrsdruckes auf den Untergrund als die herkömmliche Steinpacklage, die den Raddruck im allgemeinen nur auf die Standfläche des belasteten Steines überträgt, der dadurch leicht in den Untergrund gepreßt wird.
5. Es ist ein Maschinenpark zu entwickeln, der unseren topographischen Verhältnissen und Bodenarten angepaßt ist. Insbesondere werden außer Planierdrauen (Trax) auch im Waldstraßenbau zur unentbehrlichen Baumaschine:
 - a) Mittlerer Motorgrader für hügeliges und gebirgiges Gelände (der Caterpillar Nr. 12, Länge 7,7 m¹, Gewicht über 10 t ist für unsere Verhältnisse zu groß).

- b) Bodenmischer, der es ermöglicht, auch schwere und steinige Böden auf genügende Tiefe zu mischen. Unsere Bodenfräsen sind hierfür zu leicht.
- c) Schafffußwalzen und Gummiradwalzen (Anhänger und selbstfahrend) können in der Schweiz bereits eingemietet werden.
- d) Kleiner Raupenschlepper zum Anhängen von Schafffuß- und Gummiradwalzen.

Vorteilhaft wäre es, eine Unternehmergruppe nachzuziehen, die bereit ist, den nötigen Maschinenpark anzuschaffen, der aber ein gewisses Arbeitsvolumen zugesichert werden müßte.

- 6. Da nur längere Strecken rationell maschinell gebaut werden können, scheint die Anwendung moderner Stabilisierungsverfahren möglich im Zusammenlegungsverfahren und bei kollektivem Ausbau von Waldwegen durch öffentliche und private Waldbesitzer.
- 7. Der Straßenunterhalt ist mit den gleichen Maschinen (Motorgrader, Vibrationswalze, Gummiradwalze) ebenfalls rationell möglich.

Damit die Probleme auch bei uns auf einwandfreier Grundlage gelöst werden können, muß eine zentrale Stelle (evtl. Institut für Waldwegbau an der Forstschule) eingerichtet werden, die sich in Zusammenarbeit mit dem Erdbaulaboratorium und dem Institut für Straßenbau der Ingenieurabteilung der ETH mit den nötigen physikalischen und bautechnischen Bodenuntersuchungen befaßt und mit der Praxis zusammen die Fragen von Grund auf bearbeitet. Es ist gefährlich und unwirtschaftlich, wenn einzelne Praktiker von sich aus etwas unternehmen, weil das Problem dann nur dilettantenhaft angepackt werden kann und oft nur Zufallserfolge eintreten. Ergeben sich Mißerfolge, dann wird die Methode verdammt. Die Hauptprobleme betreffen die mechanische Stabilisierung des Untergrundes (Untergrundverdichtung), die für uns am aussichtsreichsten sein dürfte, später auch die bituminöse Verdichtung und die Bodenvermörtelung. Sodann wären noch nähere Richtlinien aufzustellen über die Verdichtung der Tragschichten, da diese oft mit Material von ungeeigneter Kornzusammensetzung durchgeführt wird. Im weitem sind Fragen der Oberflächenbehandlung (Verschleißschicht) zu lösen. Seit Jahrzehnten bauen wir in der Schweiz mit bedeutenden Mitteln Waldstraßen, ohne daß bis heute viele Grundfragen überhaupt abgeklärt sind.

Résumé

Stabilisation de sous-sols à l'aide de chaux

Depuis quelques années, on constate dans plusieurs pays, et plus particulièrement en Allemagne, la tendance d'utiliser de plus en plus des méthodes de stabilisation pour la construction de routes forestières, méthodes qui ont été développées durant la dernière guerre mondiale en particulier par l'armée amé-

ricaine. On essaye de renforcer le terrain du tracé par une augmentation de sa densité de telle façon qu'une couche portante de faible épaisseur soit suffisante, ou que, dans certaines conditions, la couche portante soit fabriquée directement avec le matériel pris sur le chantier de la route. Cette méthode exige cependant que le matériel entrant en considération soit analysé au préalable en laboratoire afin de déterminer les adjonctions et les méthodes de mélange qui sont nécessaires pour obtenir la stabilisation. A côté de la condensation purement mécanique, laquelle est souvent rendue possible simplement par une faible adjonction de la fraction granulométrique manquante, on connaît le compactage à l'aide de bitume et le «sol-mortier».

La stabilisation du sous-sol à l'aide de chaux et éventuellement de sable pourrait être d'un intérêt tout spécial pour les sols glaiseux, sols lourds, mouillés et plastiques, tels qu'on les rencontre dans de vastes régions de la Suisse. L'auteur a exécuté à titre d'essai une stabilisation du sous-sol à l'aide de chaux qui fut couronnée de succès. Mais il lui semble désirable qu'un office central soit constitué qui, par des analyses du domaine de la physique des sols, étudie les conditions nécessaires à de telles méthodes de construction et les régions auxquelles elles s'appliquent. De plus, cet office central pourrait, en collaboration avec la pratique, étudier également d'autres problèmes non-résolus du domaine de la construction des routes forestières.

J.-P. Farron