

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber: Schweizerischer Forstverein
Band: 118 (1967)
Heft: 8

Artikel: Arbeitsverfahren und Baumaschinen für die Bodenstabilisierung
Autor: Kuonen, V.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-764306>

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: 31.01.2026

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

Arbeitsverfahren und Baumaschinen für die Bodenstabilisierung

Von V. Kuonen, ETH, Zürich

Oxf. 383.4—383.7

Einleitung

Die Bodenstabilisierung ist eine junge Baumethode. In der Schweiz ist sie erst seit fünf oder sechs Jahren in Anwendung. Weitgehend wurde sie — wie in unseren Nachbarländern auch — im kleinen Straßenbau mit teilweise behelfsmäßigen Maschinen erprobt und hat darauf auch im Nationalstraßenbau Eingang gefunden.

Es geht bei der Bodenstabilisierung darum, einen Boden zu verbessern. Um ihn aber verbessern zu können, müssen seine bodenmechanischen Eigenschaften bekannt sein. Wie die Verbesserung erzielt werden kann, ergibt sich aus der Wirkungsweise der verschiedenen Stabilisierungsmittel.

Der Rahmen dieser Ausführungen gestattet uns nicht, auf die einzelnen Stabilisierungsarten, auf die Wirkungsweise der diversen Stabilisierungsmittel und der stabilisierten Schichten als Elemente im Straßenaufbau einzugehen. Ebenso ist es nicht möglich, in diesem Artikel auf Einzelheiten einzugehen, welche den Anwendungsbereich der einzelnen Stabilisierungsarten abgrenzen. Es soll vielmehr dargelegt werden, welche Arbeitsverfahren üblich sind, welche Arbeitsgänge notwendig sind und welche Maschinen für eine einwandfreie Arbeitsausführung gebraucht werden.

Arbeits- bzw. Mischverfahren

Grundsätzlich unterscheidet man bei der Bodenstabilisierung zwischen zwei Mischverfahren: dem *Ortsmischverfahren* (mix-in-place) und dem *Zentralmischverfahren* (mix-in-plant).

Das Ortsmischverfahren

Beim Ortsmischverfahren wird das Stabilisierungsmittel (Zusatzboden, Kalk, Zement, bituminöse Bindemittel usw.) mit dem anstehenden oder zugeführten Boden durch einen fahrbaren Mischer (Bodenfräse, Scheibenegge, Ein- oder Mehrwellenmischer usw.) bearbeitet. Die Maschine fährt also sozusagen durch den zu stabilisierenden Boden.

Vorbereitung des Bodens

Bevor aber die Durchmischung von Boden und Stabilisierungsmittel erfolgt, sind je nach angestrebter Qualität der Stabilisierung und entsprechen-

der Maschinenwahl noch eine Reihe von Arbeitsgängen notwendig. Während Scheibenegge, Grader u. ä. auf größere Steine nicht empfindlich sind, wird bei den eigentlichen Wellenmischern die Mischintensität durch Steine über 60/80 mm stark beeinträchtigt und der Maschinenverschleiß vergrößert. Aus diesem Grunde sind bei einem später vorgesehenen Einsatz von Wellenmischern alle Komponenten zu entfernen, welche die genannte Größe überschreiten.

Ein Herauslesen von Hand kommt nur in den seltensten Fällen in Frage. Meistens wird das Überkorn mit Hilfe von Wurzel- oder Felsrechen oder auch mit Hilfe von Aufreißern entfernt, wobei auf vernäßten, feinkörnigen Böden eine geringe Menge (1–2 Gewichtsprozent) Branntkalk (CaO) vorgestreut wird. Der Kalk hilft die Steine herauslösen.

Wird der zu stabilisierende Boden zugeführt, so besteht auch die Möglichkeit, den Boden durch eine Sortieranlage (evtl. über einen einfachen, stationären «Rechen») zu schicken oder gar das Überkorn auf das gewünschte Maximalkorn zu brechen. Beim Zuführen eines Bodens ist vor allem darauf zu achten, daß beim Laden, beim Transport oder beim Einbringen keine Entmischung stattfindet (zum Beispiel Kiesnester).

Wird im Ortsmischverfahren mit Wellenmischern stabilisiert, so ist die zu stabilisierende Schicht profilgerecht vorzuplanieren. Das ist notwendig, weil die Wellenmischer keine oder nur eine geringe Planierfähigkeit aufweisen. Am besten erfolgt diese Planierarbeit mit einem Grader. Diese Arbeit wäre aber illusorisch, wenn die Schicht nicht auch gleichzeitig verdichtet würde, um überall eine mehr oder weniger gleich große Lagerungsdichte und Tragfähigkeit zu erhalten.

Ein Boden, der einen zu hohen Wassergehalt besitzt, muß vorgängig soweit ausgetrocknet werden, daß er später auf alle Fälle optimal verdichtet werden kann. Bei kleinen Differenzen zwischen vorhandenem und optimalem Wassergehalt genügt oft eine Belüftung des Bodens mit Hilfe von Gradern oder Scheibeneggen. Bei großen Differenzen zwischen den beiden genannten Wassergehalten wird der Boden oft mit Hilfe von Branntkalk und intensiver Durchmischung soweit ausgetrocknet, daß anschließend auch Stabilisierungsarten zur Anwendung kommen können, die selbst keine Reduktion des Wassergehaltes erzielen (zum Beispiel flüssige Bindemittel).

Böden mit einem zu geringen Wassergehalt sind soweit zu befeuchten, daß sie (inklusive Bindemittel) auf den optimalen Verdichtungswassergehalt kommen. Beim Einsatz von Geräten ohne Mischkasten (Grader, Scheibenegge) ist das Wasser über eine Sprengereinrichtung an einem Tankwagen, welche eine gleichmäßige Verteilung des Wassers gewährleistet, aufzubringen. Beim Einsatz von Wellenmischern wird das Wasser am besten direkt über einen Sprengbalken dem aufgewirbelten Boden im Mischkasten beigegeben. Das hat den Vorteil, daß keine Wasseranreicherung in den Fahrspuren des Zuggerätes entsteht. Bei Verwendung von flüssigen Bindemitteln

ist allerdings daran zu denken, daß bereits ein Tankwagen mit dem Bindemittel vor dem Stabilisierungsgerät fährt und daß dieses Bindemittel über einen mit Düsen versehenen Sprengbalken direkt in die Mischkammer eingespritzt wird. Viele Geräte sind aber mit einem Sprengbalken für Bindemittel und einem Balken für Wasserbeigabe ausgerüstet.

Verteilen der Stabilisierungsmittel

Das Aufbringen der Stabilisierungsmittel erfolgt je nach Stabilisierungsart sehr unterschiedlich. Bei der mechanischen Stabilisierung wird der geeignete Zusatzboden mit den üblichen Erdtransportgeräten auf die vorbereitete Planie aufgebracht und mit Hilfe eines Graders in der vorgesehenen Schichtstärke ausgebreitet.

Pulverförmige (Kalk, Zement) und flüssige Stabilisierungsmittel (Teer, Cutback, Emulsion) müssen auf alle Fälle sehr gleichmäßig auf die zu stabilisierende Schicht aufgebracht werden (Abweichung max. ± 10 Gewichtsprozent der vorgeschriebenen Dosierung). Aus diesem Grunde ist eine Verteilung von Hand nicht zulässig, weil die Erfahrung gezeigt hat, daß von Hand sehr unterschiedliche Mengen gestreut werden. Eine Ausnahme dürfte hier nur das Aufbringen von Branntkalk auf eine mit einem Verteilgerät nicht befahrbare Schicht bilden, um diese mit Hilfe von Kalk zunächst befahrbar zu machen (Prinzip der «Vorstabilisierung»).

Pulverförmige Stabilisierungsmittel werden durch eigentliche Verteil- oder Streugeräte aufgebracht. Diese können selbstfahrend oder auch gezogen sein. Selbstfahrende Verteilgeräte haben meistens ein Raupenfahrwerk, um auch auf schlecht tragfähigen Böden fahren zu können. Anhängegeräte werden normalerweise von einem starken Allradtraktor gezogen. Die ein- oder zweiachsigen Streugeräte sind mit Rädern ausgerüstet, die eine geringe Bodenpressung (zum Beispiel Doppelräder, Niederdruckreifen) ausüben. Die Verteilgeräte sind mit einem Silo ausgerüstet, von dem aus die Beschickung in die Dosiereinrichtung erfolgt. Auf Großbaustellen werden pulverförmige Stabilisierungsmittel vielfach aus fahrbaren Tankwagensilos direkt in die Streugeräte gepumpt und über diese verteilt. Auf schlecht tragfähigen Böden muß aber der Kleinsilo (2–6 t) des Verteilgerätes aus stationären Silos aufgefüllt werden.

Die Dosiereinrichtung der diversen Geräte ist sehr verschieden. Einzelne Geräte sind mit einer einfachen Schneckenwelle — ähnlich wie bei Düngerstreuern — ausgerüstet. Andere besitzen eine Anzahl nebeneinander in Fahrrichtung liegende Verteilerschnecken, und wieder andere sind mit Zellenradverteilern versehen. Einige Fabrikate besitzen Dosiereinrichtungen, die von der Fahrgeschwindigkeit unabhängig sind, bei anderen wieder ist Dosiereinrichtung und Fahrgeschwindigkeit gekuppelt. Bei einem Fabrikat ist der Verteilkasten vorne am Zugfahrzeug, so daß die Verteilung gleichzeitig mit dem ersten Mischdurchgang erfolgt. Bei den übrigen Fabrikaten

kommen Verteil- und Mischgerät unabhängig voneinander zum Einsatz, weil sie nicht gleichzeitig an demselben Zugfahrzeug montiert werden können.

Flüssige Bindemittel werden normalerweise über einen Balken mit Einspritzdüsen in den Mischkasten gespritzt. Eine genaue Dosierung ist bei diesen Bindemitteln besonders wichtig, weil durch örtliche Überdosierung «weiche» Stellen entstehen und weil bei zu geringer Bindemittelzugabe die Gefahr des Herausbrechens (Schlaglöcher) besteht. Die Beigabe erfolgt aus einem Tankwagen, der vor dem Stabilisierungsgerät fährt und der durch unter Druck stehende Leitungen mit dem Sprengbalken des Mischgerätes verbunden ist. Emulsionen werden gelegentlich auch über einen am Tankwagen direkt befestigten Sprengbalken verteilt (wie bei Oberflächenbehandlungen). In beiden Fällen ist es notwendig, daß geeignete Meßvorrichtungen eine Kontrolle der Einspritzmenge gestatten. Daß über einen zweiten Sprengbalken am Mischkasten gleichzeitig auch noch Wasser beigegeben werden kann, ist bereits angeführt worden.

Das Mischen von Boden und Stabilisierungsmittel

Im Ortsmischverfahren kommt dem Mischen von Boden und Stabilisierungsmittel eine sehr große Bedeutung zu. Eine einwandfreie Durchmischung ist ein unbedingtes Erfordernis für eine gute Stabilisierung. Untersuchungen in allen Stabilisierungsarten haben gezeigt, daß bei gleicher Dosierung wesentlich höhere Festigkeiten erzielt werden, wenn eine bessere Durchmischung stattgefunden hat.

Während bei der mechanischen Stabilisierung und bei der Stabilisierung mit Kalk auch Grader und Scheibeneggen zum Einsatz kommen können, welche durch mehrmaliges Umlegen, Überwerfen und Ausbreiten Boden und Stabilisierungsmittel durchmischen, werden für die anderen Stabilisierungsarten ausschließlich nur Geräte mit Mischwellen eingesetzt. Bei diesen Geräten wird zwischen den sogenannten Eingangsmischern und den Mehrgangmischern unterschieden. Die Eingangsmischer besitzen in ihrer Mischkammer meistens mehrere Mischwellen, welche in einem Arbeitsgang den Boden auflockern, homogenisieren und mischen. Die Mehrgangmischer dagegen besitzen normalerweise nur eine Mischwelle. Es sind daher vor allem bei bindigen Böden mehrere Arbeitsvorgänge notwendig bis Boden und Zugabe richtig gemischt sind.

Die Wellen (meistens drei) im Eingangsmischer sind mit verschiedenen Messern bzw. Schaufeln ausgerüstet, wobei nicht alle in derselben Drehrichtung arbeiten. Eine Entmischung des Bodens ist mit diesen Geräten praktisch nicht zu erwarten. Die Mischwelle von Mehrgangmischern arbeitet bei einigen Fabrikaten in Drehrichtung der Räder des Zugfahrzeuges, bei andern aber in entgegengesetzter Richtung.

Bei der Stabilisierung von körnigen Böden sind gelegentlich Entmischungen festgestellt worden. Im untern Teil der Schicht sind dann vor allem die feineren Komponenten anzutreffen, im oberen nur noch die gröberen. Durch

Untersuchungen wurde festgestellt, daß die Drehrichtung der Mischwelle einen wesentlichen Einfluß auf diese Erscheinung hat. Bei Maschinen mit entgegengesetzter Drehrichtung von Mischwelle und Rädern sind nur in seltensten Fällen solche Entmischungen festgestellt worden, während diese Erscheinung bei gleicher Drehrichtung relativ häufig beobachtet wurde. Hingegen hat sich gezeigt, daß auf bindigen, vernäbten Böden, welche mit Kalk stabilisiert werden, Mischgeräte steckenbleiben, wenn die Mischwelle in Gegendrehrichtung der Räder arbeitet. In diesem Fall hilft nämlich die in gleicher Richtung drehende Mischwelle das Gerät vorwärts schieben. Die bindigen, feinkörnigen Böden aber neigen viel weniger zur Entmischung, so daß auf solchen Böden ohne Bedenken ein Gerät eingesetzt werden darf, dessen Mischwelle in Drehrichtung der Räder arbeitet.

Es ist zudem naheliegend, daß in tonigen Böden eine viel größere Mischenergie aufgewendet werden muß, um möglichst alle Bodenteilchen mit dem Stabilisierungsmittel in Berührung zu bringen. Das heißt mit andern Worten, daß um so mehr Mischdurchgänge gemacht werden müssen, je toniger die Böden sind.

Die zurzeit in der Schweiz verwendeten Stabilisierungsgeräte erreichen eine maximale Mischtiefe von 25–27 cm (lockere Schicht). Aus Amerika ist aber zu vernehmen, daß dort bereits Mischgeräte mit einer Tiefenwirkung von 50–60 cm zum Einsatz kommen.

Der Einsatz der Scheibenegge beschränkt sich hauptsächlich auf das Einmischen von Kalk in den Boden. Der Zweck dieser Stabilisierung besteht darin, den Wassergehalt zu reduzieren und den Boden für den Dammbau schütffähig zu machen. Die Scheibenegge ist für diese Arbeit ein sehr leistungsfähiges und damit auch ein wirtschaftliches Gerät. Für eine einwandfreie Mischung einer Schicht im Oberbau der Straße dürfte die Scheibenegge aber wohl kaum in Frage kommen.

Verdichtung der stabilisierten Schicht

Für die Verdichtung von stabilisierten Schichten kommen grundsätzlich die gleichen Verdichtungsgeräte wie im übrigen Straßenbau zum Einsatz. Es darf hier aber angeführt werden, daß einzelne neue Gummiradwalzen auf bindigen Böden eine viel größere Tiefenwirkung haben als ältere Geräte gleicher Art. Deshalb läßt sich auf einzelnen Baustellen eine sonst vorgängig eingesetzte, knetende Walze (zum Beispiel Schafffußwalze u. ä.) eventuell einsparen.

Je nach verlangter Genauigkeit wird beim Erdbau vor den letzten Verdichtungspassen ein Grader oder dergleichen eingesetzt, um die Planie in Ordnung zu bringen.

In Oberbauschichten wird diese Planiearbeit meistens zwischen der Vorverdichtung (zum Beispiel mit Vibrationsgeräten) und der endgültigen Verdichtung und Abglättung mit Hilfe von Pneu- oder statischen Glattwalzen durchgeführt.

Die stabilisierten Schichten brauchen, mit Ausnahme der zementstabilisierten Schicht, keine Nachbehandlung. Diese ist begreiflicherweise eine Zeitlang feucht zu halten oder mit Hilfe eines Schutzfilmes aus Bitumenemulsion vor Austrocknung zu schützen.

Das Zentralmischverfahren

Wie der Name sagt, werden beim Zentralmischverfahren Boden und Stabilisierungsmittel in einer stationären, zentralen Mischanlage gemischt. Bei diesem Mischverfahren wird also der Boden durch die Maschine geschickt. Es geht daher beim Zentralmischverfahren praktisch um die gleichen Arbeiten wie bei der Betonherstellung (Stabilisierung mit Zement) oder wie bei der Mischgutaufbereitung für Schwarzbeläge (Stabilisierung mit Teer, Cutback, Emulsion).

Vorbereitung des Bodens

Vielfach werden diese Mischzentralen in einer Kiesgrube oder bei einem Kieswerk aufgestellt, wo ein idealer Boden zur Verfügung steht, der — wenn nötig — vorgängig aufbereitet worden ist. Wenn nämlich die Kornzusammensetzung des zur Verfügung stehenden Bodens nicht gleichmäßig ist, so muß der Boden in Fraktionen aussortiert und in der richtigen Dosierung wieder zusammengesetzt werden (evtl. Dosierapparat).

Besonders ist auch darauf zu achten, daß keine gröberen Körner im Boden enthalten sind, die größer sind als zwei Drittel der verdichteten Schichtstärke, weil sonst ein einwandfreies Einbringen, Planieren und Verdichten nicht mehr gewährleistet ist.

Bei allfälligem zu hohem Wassergehalt besteht auch hier die Möglichkeit, den Boden mit Hilfe von Kalk auszutrocknen.

Mischanlagen

Die bisherige Erfahrung hat gezeigt, daß für das Zentralmischverfahren nur Zwangsmischer in Frage kommen. Die Mischqualität ist dabei aber nicht abhängig davon, ob die Mischung kontinuierlich oder chargenweise erfolgt. Wichtig dagegen ist, daß Boden und Bindemittel und eventuell auch Wasser genau dosiert und kontrollierbar beigegeben werden können. Dabei müssen Zeitpunkt und Reihenfolge der einzelnen Beigaben im Verlaufe des Mischprozesses einstellbar sein. Die Mischdauer ist für jede Zentrale, jeden Boden und jedes Bindemittel durch Versuche abzuklären.

Boden und pulverförmige Bindemittel werden normalerweise in Silos gelagert, von wo aus sie in richtiger Dosierung (meistens nach Gewicht) in die Mischanlage kommen. Der Boden wird vor allem dann in Silos gelagert, wenn er zuvor in einzelne Fraktionen zerlegt worden ist. Flüssige Bindemittel werden entweder aus fahrbaren Tankwagen oder aus stationären Tankanlagen beigegeben, die eventuell heizbar sein müssen.

Einbringen des Mischgutes

Bevor das Mischgut auf eine Planie eingebracht wird, muß diese einwandfrei hergestellt werden und der geforderten Ebenflächigkeit entsprechen. Der Transport des Mischgutes erfolgt mit den üblichen Transportfahrzeugen. Sehr häufig wird das Mischgut — wie beim Belagsbau — mit einem Fertiger eingebaut. Die Vor- und Nachteile dieser Einbauart dürfen allgemein bekannt sein, und es erübrigt sich, hier darauf näher einzugehen. Im benachbarten Ausland wird im großen Straßenbau zum Einbauen von Mischgut aus der Zentrale auch sehr häufig der Grader verwendet. Die Einbauleistung soll bedeutend größer sein als beim Einbau mit dem Fertiger und die Ebenflächigkeit den Anforderungen entsprechen.

Für die Verdichtung gilt das gleiche wie bei der Stabilisierung im Ortsmischverfahren.

Stabilisierungsart und Wahl des Mischverfahrens

Bei der mechanischen Bodenstabilisierung werden normalerweise einem anstehenden Boden ein oder mehrere Böden oder auch nur einzelne Kornfraktionen beigemischt, um dadurch seine Kornzusammensetzung zu verbessern. Bei dieser Verbesserung geht es entweder darum, den Boden besser verdichtbar zu machen oder ihn in einen Boden mit einem körnigen Traggerüst umzuwandeln. Diese Art der mechanischen Stabilisierung erfolgt fast ausschließlich im Ortsmischverfahren. Am häufigsten kommt der Grader als Mischmaschine zum Einsatz. Gelegentlich wird vor der Herstellung der Planie auch noch ein Wellenmischer für wenige Mischdurchgänge eingesetzt.

Die Aufbereitung eines Bodens (Trennen in Fraktion und Wiederausammensetzen) entspricht einer mechanischen Bodenstabilisierung. Es geht ja um nichts anderes als um die Verbesserung der Kornzusammensetzung.

Kalk (Weißkalk: CaO und $\text{Ca}[\text{OH}]_2$) wird nur für die Stabilisierung von tonigen Böden verwendet. Es geht normalerweise um die Verbesserung eines anstehenden Bodens, so daß das Ortsmischverfahren meistens zweckmäßiger ist als das Zentralmischverfahren. Beim Kalk unterscheiden wir grundsätzlich zwischen zwei Typen von Stabilisierungen. Beim ersten handelt es sich um die Verbesserung von zu nassem Abtragsmaterial, welches mit Hilfe von Branntkalk schütffähig gemacht wird. Nach einer *minimalen* Kalkbeigabe (nur Reduktion des Wassergehaltes) wird mit der Scheibenegge Boden und Kalk möglichst gut durchgemischt und auf den optimalen Wassergehalt ausgetrocknet. Dabei sind wir der Ansicht, daß die Verbesserung des Bodens, das heißt die Austrocknung durch Kalk und die Homogenisierung durch die Scheibenegge — wenn immer möglich —, an der Abbaustelle gemacht werden sollte. Dadurch wird das Aufladen, das Transportieren und das schichtweise Einbringen auf der Schüttstelle bedeutend erleichtert.

Vielfach wird aber anstelle einer sogenannten Übergangsschicht die oberste Schicht des Unterbaues mit Kalk stabilisiert. In diesem Fall muß

nach einer *optimalen* Kalkbeigabe (Festigkeit und Festigkeitsentwicklung) Boden und Kalk sehr intensiv durchgemischt werden. Eine Scheibenegge allein genügt für diese Mischarbeit nicht mehr. Hier muß ein Wellenmischer die endgültige Mischung übernehmen, weil es für die Festigkeitsentwicklung besonders wichtig ist, daß alle Bodenteilchen mit Kalk in Berührung kommen. Es muß solange gemischt werden, bis keine Bodenkrümel über 5 mm mehr vorhanden sind. Versuche haben zudem gezeigt, daß ein Boden-Kalk-Gemisch erst 6–8 Stunden nach dem ersten Mischdurchgang verdichtet werden darf, wenn eine hohe Festigkeit erzielt werden soll. Die Wirkungsweise des Kalkes dürfte daher einen besonderen Einfluß auf die Wahl des Mischgerätes haben, da eine lange Mischdauer zur Verfügung steht.

Zement kommt in der Schweiz meistens nur für die Stabilisierung von körnigen Böden zur Anwendung. Wird ein anstehender Boden stabilisiert, so dürfte auch hier nur im Ortsmischverfahren gearbeitet werden. Wird der zu stabilisierende Boden jedoch zugeführt, was häufig der Fall ist, kommen beide Mischverfahren in Frage. Im Zentralmischverfahren ist selbstverständlich Dosierung und Schichtstärke gleichmäßiger; doch ist bei einem gut eingespielten Arbeiterteam auch im Ortsmischverfahren eine einwandfreie Ausführung der Stabilisierung möglich. Während bei der Verwendung von Kalk die Verdichtungsarbeit immer möglichst hinausgezögert werden muß, ist beim Zement gerade das Gegenteil der Fall. Bekanntlich beginnt der Zement nach 3–4 Stunden abzubinden; das heißt Mischen, Einbringen, Planieren und Verdichten (und evtl. auch Nachbehandlung) haben innerhalb dieser Zeitspanne zu erfolgen.

Die bituminösen Bindemittel kommen in der Schweiz in ähnlichen Böden zur Verwendung wie die Zementstabilisierung. Es gelangen auch bei dieser Stabilisierungsart beide Mischverfahren zur Anwendung. Wenn mit Teer im Ortsmischverfahren gearbeitet wird, hat sich besonders ein Einwellenmischer bewährt, der vorne am Zugfahrzeug einen Verteilkasten für Kalk und Zement besitzt. Damit der Teer die einzelnen Bodenkörner besser zu umhüllen vermag, wird nämlich dem Boden häufig eine geringe Menge Kalk (1–2 Gewichtsprozent) beigemischt. Mit dieser Einrichtung ist es möglich, daß beim ersten Mischdurchgang Kalk und Teer in der gewünschten Dosierung beigegeben werden können, während bei andern Fabrikaten ein Arbeitsgang mehr notwendig ist. Die Erfahrungen der letzten Jahre haben gezeigt, daß in beiden Verfahren eine einwandfreie Stabilisierung mit bituminösen Bindemitteln hergestellt werden kann, so daß grundsätzlich wirtschaftliche Überlegungen die Wahl des Mischverfahrens bestimmen sollten.

Weitere Verfahren

Der Vollständigkeit halber sei auch noch eine amerikanische Maschine erwähnt, die seit einigen Jahren auch in der Schweiz (Westschweiz) eingesetzt wird. Diese Maschine besitzt auf einem Pneufahrwerk einen Aufgabe-

trichter für den Boden, zwei heizbare Behälter für flüssige Bindemittel, einen kontinuierlichen Mischer und einen Fertiger. Dieses Gerät eignet sich besonders für die Stabilisierung mit Cutback und Emulsion und ist imstande, im gleichen Arbeitsgang Boden und Bindemittel zu mischen und das Mischgut in der gewünschten Schichtstärke anzulegen.

Schlußbemerkungen

Die vorliegenden Ausführungen werden absichtlich nicht mit irgendwelchen Photographien und Diagrammen illustriert, um deren grundsätzlichen Charakter zu wahren und nicht auf einzelne Geräte, deren Auswahl notgedrungen zufällig wäre, eingehen zu müssen. Im übrigen ist eine Arbeitsgruppe der SAFS (Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für forstlichen Straßenbau) an der Ausarbeitung von Stabilisierungsnormen, an welche sich der Autor weitgehend gehalten hat.

Résumé

Procédés de stabilisation des sols et machines utilisées

Méthode récente, appliquée en Suisse depuis 5 à 6 ans, la stabilisation des sols s'est développée dans de petits chantiers, avant d'être introduite dans la construction des routes nationales. L'amélioration d'un sol — but de la stabilisation — ne peut réussir que basée sur la connaissance des propriétés mécaniques de celui-ci, et le processus de la modification recherchée dépendra du mode d'action des divers stabilisants. Le cadre de cette publication ne permet pas à l'auteur de traiter de ces diverses bases théoriques, ni d'ailleurs des limites d'application de la méthode. Le Prof. Kuonen en expose ici les procédés usuels, les étapes indispensables, et énumère les machines nécessaires à une réalisation satisfaisante des travaux.

On distingue principalement deux méthodes de stabilisation, l'une caractérisée par la réalisation du *malaxage sur place* (mix-in-place), le *malaxage* étant *centralisé* dans l'autre (mix-in-plant).

Le malaxage sur place est effectué par des machines mobiles (fraises, herse à disques, mélangeurs à un ou plusieurs cylindres, etc.). Une série de *travaux préparatoires* sont à réaliser, selon la qualité désirée et le choix des machines en découplant. Ainsi, lors de l'emploi de mélangeurs à cylindres, les pierres de plus de 60/80 mm devront être éloignées (par râtissage ou scarification, avec adjonction de chaux vive [1–2 % pond.] dans les sols fins et gorgés d'eau), respectivement triées ou même cassées si la terre est amenée (éviter toute ségrégation). La couche à stabiliser doit être soigneusement réglée et présenter un état de compactage uniforme. La teneur en eau devra éventuellement être modifiée, de telle sorte qu'après adjonction du stabilisant, elle permette un compactage optimal. L'épandage du stabilisant se fait très différemment selon le mode de stabilisation. Tandis que dans la stabilisation

mécanique, le sol ajouté peut être transporté et réparti à l'aide des engins usuels, les stabilisants pulvérulents (chaux, ciment) et liquides (goudron, cutback, émulsions) doivent être répartis très régulièrement, en quantités ne variant pas plus de $\pm 10\%$ pond. du dosage prévu. Motorisés ou tractés, à chenilles ou à pneus, les épandeurs des différentes marques sont munis de silos de contenance variable et de systèmes de dosage divers. Le dosage des liants liquides est particulièrement important, et l'on veillera à ce que les épandeurs soient dotés d'un système de mesure adéquat. Le *malaxage* joue un rôle déterminant. Des recherches ont prouvé qu'à quantité de liant égale, la résistance était d'autant plus élevée que le mélange avait été mieux effectué. Si le grader ou la herse à disques suffisent à réaliser soit le mélange de la stabilisation mécanique, soit l'assainissement du soubassement à la chaux, les engins munis de cylindres mélangeurs sont indispensables lors de l'utilisation des autres stabilisants. Parmi ces malaxeurs, une catégorie de machines, munies généralement de trois cylindres mélangeurs dotés de divers couteaux travaillant dans des directions différentes, permettent de réaliser les opérations de remuage, homogénéisation et malaxage en un seul passage, normalement sans ségrégation; plusieurs passages sont par contre nécessaires avec les malaxeurs de l'autre catégorie, munis normalement d'un seul cylindre. Avec ces derniers, la ségrégation minimum dans la stabilisation de sols granuleux est obtenue lorsque le sens de rotation du cylindre est opposé à celui des roues de l'élément tracteur; des sens de rotation identiques facilitent par contre la progression en terrain liant et humide, de toute façon peu exposé à la ségrégation. Ajoutons que plus ces terrains sont argileux, plus le nombre de passage du malaxeur devra être augmenté. Le *compactage* de la couche stabilisée s'effectuera à l'aide des engins utilisés traditionnellement. Certains rouleaux à pneus de construction récente permettent toutefois d'atteindre une plus grande profondeur d'action dans les terrains liants, et pourraient ainsi épargner le passage de rouleaux pétrisseurs (du genre pieds de mouton). Si l'on désire procéder à un dernier réglage du profil après la stabilisation, cette opération devrait se faire dans le terrassement à l'aide d'un grader ou une machine identique avant le dernier compactage, dans la superstructure entre le compactage préliminaire (par exemple avec engins vibrants) et le compactage définitif avec rouleaux statiques ou à pneus. Exception faite des couches stabilisées au ciment, qui devront être tenues humides durant quelque temps, aucun traitement postérieur ne sera nécessaire dans les couches stabilisées.

Le *malaxage en centrale* est, comme son nom l'indique, une méthode consistant à mélanger sol et stabilisant dans une installation fixe, centralisée, les opérations n'étant pas sans rappeler la préparation du béton (stabilisation au ciment) ou celle des enrobés (stabilisation au goudron, cutback et émulsions). Les travaux de *préparation du sol* consistent à en contrôler, au besoin à en corriger la granulométrie. On veillera notamment à ce qu'aucun élément ne dépasse dans ses dimensions deux tiers de l'épaisseur de la couche compactée désirée. Le *mélange* des éléments ne sera satisfaisant que s'il est réalisé dans un malaxeur, le dosage des divers composants, l'instant et l'ordre de leur introduction ainsi que la durée des opérations — déterminée expérimentalement — devant être fixés de manière précise. Une fois le profil parfaitement réglé, la *pose de l'enrobé* sera effectuée par un finisseur ou un grader. On se sert pour le *compactage* d'engins identiques à ceux utilisés dans le procédé de malaxage sur place.

Le choix du procédé de malaxage dépend du mode de stabilisation :

- La stabilisation mécanique, visant l'amélioration de la granulométrie d'un sol — soit pour mieux pouvoir le compacter, soit pour en augmenter la capacité portante — ou la transformation d'un sol liant en un sol granulé, ne peut se faire pratiquement que sur place.
- La chaux n'est applicable que pour stabiliser des sols argileux : il s'agit ou bien de réduire la teneur en eau de matériaux de déblais à remblayer (adjonction minimum de chaux et mélange à la herse à disques), ou d'améliorer la résistance de la couche supérieure de l'infrastructure en lui mélangeant une quantité optimum de chaux ; dans ce cas, un malaxage parfait s'impose (diamètre max. des grains 5 mm), nécessitant l'emploi de mélangeurs à cylindres. Dans les deux cas, le malaxage sur place est la méthode la plus rationnelle.
- La stabilisation au ciment n'entre en ligne de compte, en Suisse, que dans les sols granulés. Si le sol à stabiliser est amené, les deux modes de malaxage sont applicables ; sinon, seul le mélange sur place est réalisable. Alors qu'on ne devrait pas procéder au compactage d'un sol stabilisé à la chaux avant que six à huit heures se soient écoulées depuis le premier passage du malaxeur, le processus de la stabilisation au ciment, y compris réglage, compactage et éventuellement cure, doit être achevé en trois à quatre heures.
- Les deux procédés de malaxage sont également applicables lorsque sont utilisés les liants bitumineux qui conviennent, comme le ciment, aux sols granulés ; une légère adjonction de chaux (1—2% pond.) permet d'améliorer l'enveloppement.

L'auteur note pour conclure l'apparition d'une nouvelle machine d'origine américaine réalisant un compromis entre les deux procédés de malaxage dont il est question ici.

J. F. Matter