Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 85 (1967)
Heft: 6

Artikel: Arbeitsverfahren und Baumaschinen für die Bodenstabilisierung.
Autor: Kuonen, Viktor
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-69368

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: 12.12.2025

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

während einer Mastüberfahrt gewährleistet sein, sofern die Fangbremsen bei Bergfahrt verzögert einfallen würden. Ist letzteres nicht möglich, so empfiehlt es sich, die Talseilkraft noch mehr zu verkleinern. Die durch die elastische Verkürzung des Talseiles bedingte Entlastung birgt unter diesen Annahmen noch eine gewisse Sicherheitsreserve (etwa 5 bis 40% von Z^*, je nach Anlage).

Bei sehr steilen Bahnen mit Antrieb in der Talstation kann aber die letzte Forderung wohl kaum erfüllt werden. Man könnte dann «Sicherungen gegen Abheben» einbauen, welche z.B. als fangbremsähnlich Gebilde, die rechtzeitig das Tragseil umschliessen, denkbar sind oder auch als permanent angebrachte «Schienen gegen Abheben» im Bereich der Masten.

Eine weitere Möglichkeit ergibt sich aus der nun verständlichen Tatsache, dass beim Abheben das Gehänge gegen das Laufwerk stösst (was z.B. in [1] erwähnt wird). Sind im Gehänge nichtdruckübertragende Elemente [4]) (z.B. Seil, Kette) eingebaut und ist gleichzeitig das Laufwerk so ausgebildet, dass der eingangs geschilderte Aufstelleffekt durch die Talseilzugkraft und auch ein seitliches Kippen[5]) bei Gehängeentlastung nicht auftreten, so kann das Fahrzeug auch bei höheren Talseilkräften als sicher gelten.

Zusammenfassung

Wenn auf ein Seilbahnlaufwerk grosse abwärtsgerichtete Kräfte (Restzugseilkräfte, Bremskräfte bei Bergfahrt) wirken, kann dieses von der Fahrbahn abspringen. Ein Modellversuch (Bild 2) veranschaulicht dieses Verhalten. Es werden Kurven angegeben (Bilder 4, 5, 6), die eine Abschätzung der Gefährdung ermöglichen. Daraus ergibt sich, dass bei zwar extremen, aber immerhin möglichen Verhältnissen Sicherheitsmassnahmen notwendig werden.

4) Dieser Punkt ist Gegenstand einer Patentanmeldung.

5) Dies kann z. B. durch eine geeignete am Gehänge befestigte Führung verwirklicht werden.

Literaturverzeichnis

[1] Ehrensperger, «Betrachtungen zur Bremscharakteristik der Laufwerkbremsen von Luftseilbahnen», SBZ 83 (1965) Heft 34, S. 581—596.

Symbolverzeichnis

Symbol	Bedeutung	vgl. Bild
a	halbe Länge des Hauptträgers	3
a_z	Abstand der Zugseilbefestigung	3
B	Fangbremskraft	
C	Summe von Brems- und Restzugseilkraft	1
g	Erdbeschleunigung	
k_K	Trägheitsradius von Kabine einschl. Gehänge (= «Pendel»)	3
l_K	Abstand Drehpunkt-Pendelschwerpunkt	3
m	Masse des Fahrzeuges	1
m_F	Masse des Fahrwerkes	
m_{Kl}, m_{Kv}	Masse des Pendels leer bzw. voll	
m_{Kkr}	«kritische Pendelmasse» (gefährlichste Beladung)	4
N	vom Tragseil auf das Laufwerk ausgeübte Normalkraft	1
T_{um}	Zeit (vom Moment eines Bergseilrisses an), nach der die Abhebehöhe u_{rm} erreicht wird	6
u_m	zulässige Abhebehöhe, hier $= 0{,}005 \cdot l_K$ gewählt. vgl. auch T_{um}, Z^*	
v	Fahrgeschwindigkeit	
Z	(gegebene) Talseilzugkraft an der steilsten Stelle einer Bahn	
Z_{kr}	«kritische Talseilzugkraft» (Abhebe-Grenzwert)	4
Z^*	Talseilzugkraft, unter deren Wirkung gerade die Abhebehöhe u_m erreicht wird.	5

Arbeitsverfahren und Baumaschinen für die Bodenstabilisierung

DK 625.731.002.5

Von Prof. **Viktor Kuonen,** ETH, Zürich

Einleitung

Die Bodenstabilisierung ist eine junge Baumethode. In der Schweiz ist sie erst seit 5–6 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.

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 etc.) bearbeitet. Die Maschine fährt also sozusagen durch den zu stabilisierenden Boden.

Vorbereitung des Bodens

Bevor die Durchmischung von Boden und Stabilisierungsmittel erfolgt, sind je nach angestrebter Qualität der Stabilisierung und entsprechender 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 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 Gew.-%) 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 (z.B. «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 (z.B. flüssige Bindemittel).

Böden mit einem zu geringen Wassergehalt sind soweit zu befeuchten, dass sie (inkl. Bindemittel) auf den optimalen Verdichtungswasser-

gehalt kommen. Beim Einsatz von Geräten ohne Mischkasten (Grader, Scheibenegge) ist das Wasser über eine Sprengeinrichtung 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. $\pm$ 10 Gew.-% 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 (z. B. 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 $\div$ 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 am selben 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 Überdosierungen «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 gelangen 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 sog. Eingangmischern und den Mehrgangmischern unterschieden. Die Eingangmischer 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 Arbeitsgänge notwendig, bis Boden und Zugabe richtig gemischt sind.

Die Wellen (meistens drei) im Eingangmischer sind mit verschiedenen Messern, bzw. Schaufeln ausgerüstet, wobei nicht alle in der selben 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, vernässten Böden, welche mit Kalk stabilisiert werden, Mischgeräte stecken bleiben, 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 umso mehr Mischdurchgänge gemacht werden müssen, je toniger die Böden sind.

Die z. Zt. 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 schüttfähig 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 (z. B. Schaffusswalze und dgl.) eventuell einsparen.

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

In Oberbauschichten wird diese Planiearbeit meistens zwischen der Vorverdichtung (z. B. 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 $^2/_3$ der verdichteten Schichtstärke, weil sonst ein einwandfreies Einbringen, Planieren und Verdichten nicht mehr gewährleistet ist.

Bei allfällig 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 davon abhängig, ob die Mischung kontinuierlich oder chargenweise erfolgt. Wichtig dagegen ist, dass Boden und Bindemittel und evtl. 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 evtl. 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 dürften 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 darum, entweder 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 Fraktionen und Wiederzusammensetzen) entspricht einer mechanischen Bodenstabilisierung. Es geht ja um nichts anderes als um die Verbesserung der Kornzusammensetzung.

Kalk [Weisskalk: CaO und $Ca(OH)_2$] wird nur für die Stabilisierung von tonigen Böden verwendet. Es geht normalerweise um die Verbesserung eines anstehenden Bodens, sodass 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 schüttfähig gemacht wird. Nach einer *minimalen* Kalkbeigabe (nur Reduktion des Wassergehaltes) werden mit der Scheibenegge Boden und Kalk möglichst gut durchmischt und auf den optimalen Wassergehalt ausgetrocknet. Dabei sind wir der Ansicht, dass die Verbesserung des Bodens, d. h. die Austrocknung durch Kalk und die Homogenisierung durch die Scheibenegge – wenn immer möglich – an der Abbaustelle gemacht werden sollte. Dadurch werden das Aufladen, das Transportieren und das schichtweise Einbringen auf der Schüttstelle bedeutend erleichtert.

Vielfach wird aber anstelle einer sog. Übergangsschicht die oberste Schicht des Unterbaues mit Kalk stabilisiert. In diesem Fall müssen nach einer *optimalen* Kalkbeigabe (Festigkeit und Festigkeitsentwicklung) Boden und Kalk sehr intensiv durchmischt 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 Grösse mehr vorhanden sind. Versuche haben zudem gezeigt, dass ein Boden-Kalkgemisch 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; d. h. 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 Gew.-%) 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 erzielt 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 Raupenfahrwerk einen Aufgabetrichter für den Boden, zwei heizbare Behälter für flüssige Bindemittel, einen Zwangsmischer 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 VSS (Vereinigung Schweizerischer Strassenfachmänner) an der Ausarbeitung von Stabilisierungsnormen, an welche sich der Autor weitgehend gehalten hat.

Adresse des Verfassers: Prof. *V. Kuonen*, ETH, Universitätsstrasse 2, 8006 Zürich.