

## Einflüsse des Gebrauchsverhaltens kalkbehandelter frostempfindlicher Böden im Planumbereich von Verkehrsflächen auf den frostsicheren Oberbau

FA 5.121

Forschungsstelle: Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Lehrstuhl für Bodenmechanik und Grundbau/Geotechnik (Prof. Dr.-Ing. L. Wichter)

Bearbeiter: Lottmann, A.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn

Abschluss: Juli 2003

### 1. Aufgabenstellung

Aufgabe der Forschungsarbeit war die Beantwortung der Frage, unter welchen Bedingungen und in welchem Umfang eine Kalkbehandlung von frostempfindlichen Böden im Planumbereich die Dicke des frostsicheren Oberbaus reduzieren kann. Durch Beobachtungen und Untersuchungen an vor Jahren hergestellten Bodenverbesserungen sollte deren langjähriges Gebrauchsverhalten unter der Beanspruchung aus Verkehr und Frost festgestellt und dokumentiert werden. Des Weiteren war zu untersuchen, welche Möglichkeiten bestehen, Boden-Kalk-Gemische in die Frostempfindlichkeitsklassen gemäß den zusätzlichen Technischen Vorschriften und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau (ZTV E-StB) einzuordnen und welche Kriterien und Anforderungen dabei zu berücksichtigen sind.

### 2. Durchgeführte Untersuchungen und Ergebnisse

Im Rahmen dieser Arbeit wurde das Gebrauchsverhalten von kalkbehandelten Böden, die als Bodenverbesserungen unter Verkehrsflächen mehr Belastungen aus Verkehr und Klima unterworfen waren, erfasst und analysiert. Dazu wurden Verkehrsflächen mit kalkbehandeltem Planum durch Befragungen von Bauverwaltungen, Bauunternehmungen, Prüflabors und Ingenieurbüros ausfindig gemacht. Es wurden die technischen, technologischen und stofflichen Bedingungen bei der Herstellung der Bodenverbesserungen sowie die Beanspruchungen der Verkehrsflächen durch Verkehr und Klima erfasst. An ausgewählten Strecken mit kalkbehandeltem Planum und im Vergleich dazu an Strecken mit unbehandeltem Planum erfolgten Zustandsbewertungen, Aufgrabungen, Tragfähigkeitsmessungen und Probenahmen für Laborversuche.

Durch visuelle Begutachtung wurde der Zustand der Straßen nach mehreren Jahren Gebrauchsdauer aufgenommen und dokumentiert. Der Zustand der Straßen mit kalkbehandeltem Planum, ebenso wie derjenigen mit unbehandeltem Planum, war mit wenigen Ausnahmen einwandfrei. Schäden, die auf eine erhöhte Frostempfindlichkeit der Boden-Kalk-Gemische hindeuteten, waren nicht aufgetreten.

Im Anschluss an die qualitativen Zustandserfassungen wurden die Planumbereiche freigelegt und ihre Tragfähigkeiten mit dynamischen und statischen Plattendruckversuchen sowie Feld-CBR-Versuchen bestimmt. Wie die Messungen ergaben, streuten die Tragfähigkeiten in weiten Bereichen. Die Ursachenforschung ergab, dass die Kalkzugabemenge, der Homogenisierungsgrad, die Bodenart und der Verdichtungsgrad die Tragfähigkeiten von Bodenverbesserungen langfristig bestimmen.

Ein Vergleich der nach mehreren Jahren Gebrauchsdauer durchgeführten Tragfähigkeitsprüfungen mit denen direkt nach dem Einbau belegte, dass die Tragfähigkeiten von Boden-

verbesserungen mit Kalk über die Zeit nicht geringer wurden, sondern in den meisten Fällen sogar noch anstiegen, wenn die Kalkzugabemenge mehr als 2 % der Trockenmasse des Bodens betrug.

Für Laborversuche wurden ungestörte Proben aus dem Planum der Verkehrsflächen sowie gestörte Proben der unbehandelten Ausgangsböden aus Einschnittböschungen und Randbereichen entnommen. Im Labor wurden die bodenmechanischen und bodenphysikalischen Eigenschaften sowie die chemischen und mineralogischen Hauptbestandteile der Böden bestimmt.

Des Weiteren wurde das Verhalten gegenüber Wasser und Frost von den kalkbehandelten Böden aus dem Planum, den dazugehörigen Ursprungsböden und weiteren ausgewählten Referenzböden untersucht und miteinander verglichen.

Im Wasserlagerungsversuch wurde von den kalkbehandelten und unbehandelten Proben, die in einem speziell entwickelten Probenrahmen eingebaut waren und vier Tage unter Wasser lagerten, die Wasseraufnahme, die Hebung durch Quellen und die Tragfähigkeit nach Wasserlagerung (CBR<sub>w</sub>-Wert) bestimmt. Die Ergebnisse der Wasserlagerungsversuche waren:

- Die Wasseraufnahme der Böden wurde durch die Kalkbehandlung im Allgemeinen nicht signifikant reduziert.
- Das Quellen der Böden bei Wasserlagerung wurde durch die Kalkbehandlung verringert oder meist sogar aufgehoben.
- Die Tragfähigkeit nach Wasserlagerung (CBR<sub>w</sub>-Wert) der kalkbehandelten Böden wurde mit Steigerung der Kalkzugabemenge erhöht, mit Ausnahme bei organischen Böden (z. B. Bodengruppen OH, OU).

Das Verhalten gegenüber Frost wurde mit zwei Varianten von Frostversuchen erkundet. Bei einem der Frostversuche, dem Frost-Tau-Wechsel-Versuch (FTW-Versuch), wurde der gesamte Probekörper in einem Probenrahmen 12-mal gefroren und aufgetaut. In der Tauphase hatte die Probe die Möglichkeit, von der Unterseite Wasser aufzusaugen. In dem zweiten Frostversuch, dem Frosthebungsversuch, wurde die Probe nur einseitig gefroren. Von der anderen, der ungefrorenen Seite hatte die Probe die Möglichkeit, permanent Wasser aufzunehmen.

In beiden Frostversuchen wurden die Frosthebungen und die Tragfähigkeiten nach dem Auftauen bestimmt. Die Frostversuche führten zu folgenden Ergebnissen:

- Frosthebungen der Böden wurden durch die Kalkbehandlung nicht deutlich verringert oder gar aufgehoben.
- Die Tragfähigkeit der Böden nach Frostbeanspruchung (CBR<sub>f</sub>-Wert) wurde mit Steigerung der Kalkzugabemenge erhöht, falls nicht organische Böden behandelt wurden. Bei Kalkzugabemengen unter rund 2 % der Trockenmasse des Bodens fand keine messbare Erhöhung der CBR<sub>f</sub>-Werte im Vergleich zum unbehandelten Ausgangsboden statt.

Anhand der Ergebnisse der Frostversuche wurden die Bodenverbesserungen den drei Frostempfindlichkeitsklassen nach ZTVE-StB zugeordnet. Basierend auf Vergleichsversuchen mit Referenzböden und bestehenden Bewertungskriterien des CRREL (Cold Region Research and Engineering Laboratory, USA), von FLOSS (1997), BRANDL (1977), JESSBERGER,

JAGOW-KLAFF (1996), und HEITZER (1981) wurde das folgende Bewertungskriterium zur Einteilung der Bodenverbesserungen in Frostempfindlichkeitsklassen aufgestellt:

- 1) Frostempfindlichkeitsklasse F1 (nicht frostempfindlich), wenn
  - $CBR_F$ -Wert  $\geq 15$  %,
  - (im FTW-Versuch)  $h_{max} \leq 2$  % der Probenaugangshöhe,
  - (im Frosthebungsversuch)  $v_h < 2$  mm/d.
- 2) Frostempfindlichkeitsklasse F2 (gering bis mittel frostempfindlich), wenn
  - $CBR_F$ -Wert  $\geq 5$  %,
  - (im FTW-Versuch)  $h_{max} \leq 6$  % der Probenaugangshöhe,
  - (im Frosthebungsversuch)  $v_h \leq 8$  mm/d.
- 3) Frostempfindlichkeitsklasse F3 (sehr frostempfindlich), wenn
  - $CBR_F$ -Wert  $< 5$  %,
  - (im FTW-Versuch)  $h_{max} > 6$  % der Probenaugangshöhe,
  - (im Frosthebungsversuch)  $v_h > 8$  mm/d.

Die Bewertung der Frostempfindlichkeit der mehrere Jahre alten Bodenverbesserungen ergab, dass im Hinblick auf die Frosthebungen die Boden-Kalk-Gemische der Frostempfindlichkeitsklasse F2, nicht aber der Frostempfindlichkeitsklasse F1 zugeordnet werden können. Im Hinblick auf die Tragfähigkeit nach dem Auftauen ergab sich, dass Bodenverbesserungen einen  $CBR_F$ -Wert von mehr als 5 % besitzen und damit in die Frostempfindlichkeitsklasse F2 eingestuft werden können, wenn die Kalkzugabemenge mehr als 3 % beträgt und der Boden nicht ungeeignet ist (z. B. organische Böden der Bodenklassen OH, OU). Die Reaktivität der Böden ist im Rahmen einer Eignungsprüfung zu ermitteln. Da ein Frostversuch gemäß TP BF-StB Teil B 11.5 ein zeitintensives Prüfverfahren darstellt und Korrelationen zwischen dem  $CBR_F$ -Wert und dem  $CBR_W$ -Wert bestehen, wäre ein Wasserlagerungsversuch mit der Bestimmung des  $CBR_W$ -Wertes am Boden-Kalk-Gemisch eine alternative Eignungsprüfung. Derzeit befinden sich an anderen Instituten so genannte Schnelltests zur Bewertung der Reaktivität von Böden in Erprobung, die auf chemischen und mineralogischen Analysen basieren.

### 3. Schlussfolgerungen

Alle Bodenverbesserungen können der Frostempfindlichkeitsklasse F2 zugeordnet werden, wenn die Kalkzugabemenge mehr als 3 % der Trockenmasse des Bodens beträgt und keine ungeeigneten Böden (z. B. organische Böden) behandelt werden. Die verdichtete kalkbehandelte Schicht sollte eine Dicke von mindestens 20 cm besitzen. Es wird davon ausgegangen, dass die bekannten Bedingungen, die für den Erfolg einer Bodenbehandlung mit Kalk maßgebend sind (vgl. RVS 11.245), bei der Ausführung von den Baufirmen berücksichtigt werden. Hierzu gehört beispielsweise, dass der Kalk mit einer Bodenfräse und einer ausreichenden Anzahl von Übergängen mit dem Boden homogen vermischt wird.

Des Weiteren sollte sich der Wassergehalt beim Einbau nahe dem Optimum des Boden-Kalk-Gemisches befinden. Auf eine ausreichende Verdichtung ist Wert zu legen.

Es sind außerdem die Witterungsbedingungen bei der Ausführung zu beachten. Hierzu gehört beispielsweise, dass Bodenbehandlungen mit Kalk möglichst im Frühjahr oder Sommer durchzuführen sind, da in den ersten zwei bis drei Monaten nach der Verdichtung noch nicht verfestigtes Material sich bei Frosteintritt frostempfindlicher als der unbehandelte Ausgangsboden verhält.

Eine intensive Durchnässung eben verdichteter Bodenschichten ist ebenso schädlich, sodass eine Bodenbehandlung mit Kalk möglichst bei niederschlagsfreiem Wetter durchzuführen ist. Andererseits darf die kalkbehandelte Bodenschicht aber auch nicht austrocknen, da für verfestigende Reaktionen zwischen Boden und Kalk Wasser benötigt wird.

Die durch die Behandlung mit Kalk unter den oben genannten Bedingungen mögliche Reduktion der Frostempfindlichkeit eines Bodens von der Frostempfindlichkeitsklasse F3 (sehr frostempfindlich) auf die Frostempfindlichkeitsklasse F2 (gering bis mittel frostempfindlich) bedeutet gemäß Tabelle 6 der RStO 01 eine Einsparung der Frostschutzschichtdicke um 10 cm. □