

Untersuchungen der Frostsicherheit von Böden und Boden-Kalk-Gemischen

FA 5.115

Forschungsstelle: RWTH Aachen, Institut für Straßenwesen
(Prof. Dr.-Ing. B. Steinauer)

Bearbeiter: Drehsen, M.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bonn

Abschluss: September 2000

1. Aufgabenstellung

Der Aufbau einer Straße besteht aus dem frostsicheren Oberbau und dem Untergrund bzw. Unterbau. Wie die Bezeichnung „frostsicher“ beim Oberbau besagt, dürfen hier nur Baustoffe bzw. Baustoffgemische und auch Böden verwendet werden, deren Eigenschaften durch die Einwirkung von Frost nicht nachteilig verändert werden. Beim Untergrund bzw. Unterbau sind dagegen durchaus frostempfindliche Böden vorhanden.

Auf Grund der allgemeinen Verknappung von frostunempfindlichen Böden besteht seit über 40 Jahren der Bedarf nach einer Möglichkeit, die Eigenschaften frost- und wasserempfindlicher Böden zu verändern. Die Veränderung muss bewirken, dass durch Frost- bzw. Wasserzutritt keine bzw. keine schädlichen Hebungen und kein Tragfähigkeitsverlust, der zu Schäden an der Gesamtkonstruktion führen kann, erfolgt. Mit anderen Worten, die Frost- und Wasserempfindlichkeit eines Bodens muss dauerhaft verringert werden.

Zudem sind durch eine erfolgreiche Veränderung der genannten Eigenschaften Kosteneinsparungen möglich, da weniger Bodenaustausch, auch aus Gründen des Baugeschehens, erforderlich ist und damit geringere Kosten für den Ausbau und Transport sowie für den Einbau eines anderen Bodens bzw. Baustoffes entstehen. Weiterhin besteht die Überlegung, einen Teil der verbesserten Schicht auf die Dicke des frostsicheren Oberbaus anzurechnen, wodurch weitere Kosten eingespart werden können. Eine Möglichkeit, die o.g. Veränderungen bei einem fein- oder gemischtkörnigen Boden hervorzurufen, besteht in der Bodenstabilisierung mit Kalk. Der Erfolg dieser Stabilisierung hängt im Wesentlichen vom Vorhandensein von aktiven Tonmineralen ab. Zudem muss bei der Herstellung immer ausreichend Wasser für diese Reaktion vorhanden sein und eine zu frühe Frosteinwirkung vermieden werden, da für eine positive Veränderung ca. 8 Wochen Reaktionszeit benötigt werden. Tritt innerhalb dieser Zeit Frost in einen mit Kalk stabilisierten Boden, so können sich Nachteile in Form von großen Hebungen ergeben, die größer sein können als die des unbehandelten Bodens.

Die Forschungsarbeit besteht aus drei Teilen. Zuerst sollen unterschiedliche Böden hinsichtlich des Frostverhaltens ohne und nach Zugabe von Kalk untersucht werden.

Des Weiteren soll nach einem Verfahren gesucht oder ein solches Verfahren entwickelt werden, mit dessen Hilfe eine frühzeitige Beurteilung der Eignung eines Bodens für die Kalkstabilisierung möglich ist. Wie bereits ausgeführt, ist eine bestimmte Reaktionsdauer erforderlich, um positive Veränderungen feststellen zu können. Zudem sind die zur Zeit zur Verfügung stehenden Verfahren, wie z.B. die Durchführung von Frost-Tau-Wechsel-Versuchen, zeit- und kostenaufwändig. Aus diesen Gründen wird häufig die Bodenstabilisierung mit Kalk nicht in Betracht gezogen, selbst wenn der vorhandene Boden geeignet ist.

Als Ursache für die Reduzierung von Hebungen und die Erhöhung der Tragfähigkeit werden die durch eine puzzolanische Reaktion gebildeten CSH- bzw. CAH-Phasen betrachtet. Abschließend soll versucht werden, die Existenz dieser Phasen nachzuweisen.

2. Untersuchungsmethodik und Beurteilung

Die Untersuchung der Frostsicherheit erfolgte an drei unterschiedlichen Böden (A: SU*, B: UL/TL, C: TM)¹⁾, welche alle als mittel bis stark frostempfindlich (Klasse F3 nach Tabelle 1 ZTVE-StB 94/97) zu bezeichnen sind. Zudem wurden aus diesen Böden Boden-Kalk-Gemische mit 2, 4,5 und 7 M.-% Kalkzugabe hergestellt und untersucht. Zur Erfassung der zeitlichen Veränderung der Eigenschaften durch die Kalkzugabe wurden die aus den Boden-Kalk-Gemischen hergestellten Proben nach einer Lagerung von 1, 7, 28 und 56 Tagen geprüft. Die Prüfung der Rohböden erfolgte ausschließlich nach einem Tag Lagerung. Die Untersuchung umfasste hauptsächlich die Bestimmung der Hebung durch Wasserlagerung und Frosteinwirkung. Zudem wurde u.a. der CBR-Wert an Proben, die zuvor einer mehrtägigen Wasserlagerung sowie 12 Frost-Tau-Wechsel-Zyklen ausgesetzt waren, ermittelt.

Die Hebung durch Wasserlagerung wird bei allen Boden-Kalk-Gemischen positiv verändert, wobei bei den Boden-Kalk-Gemischen der Böden B und C diese gegenüber den Rohböden fast gänzlich aufgehoben wird (siehe Bild 1).

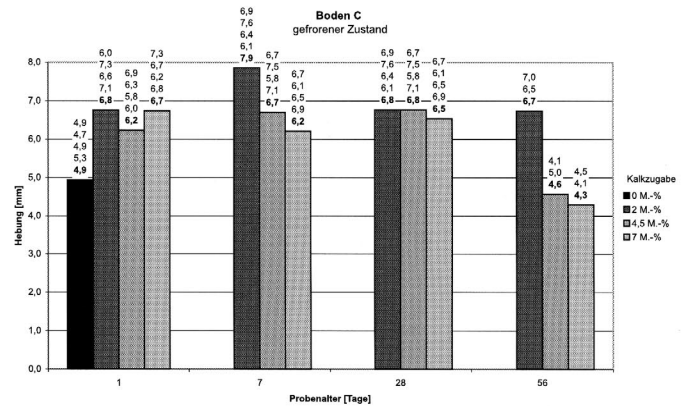
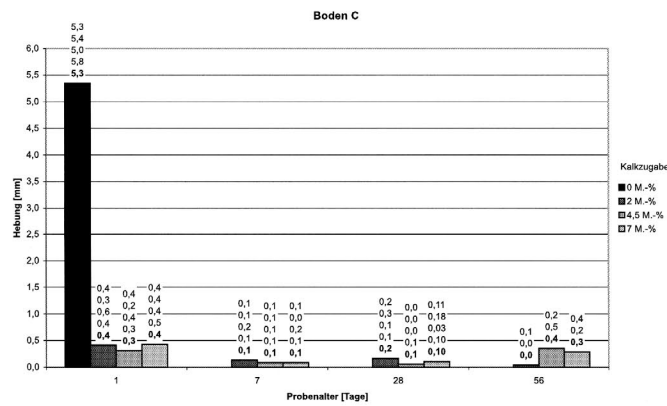
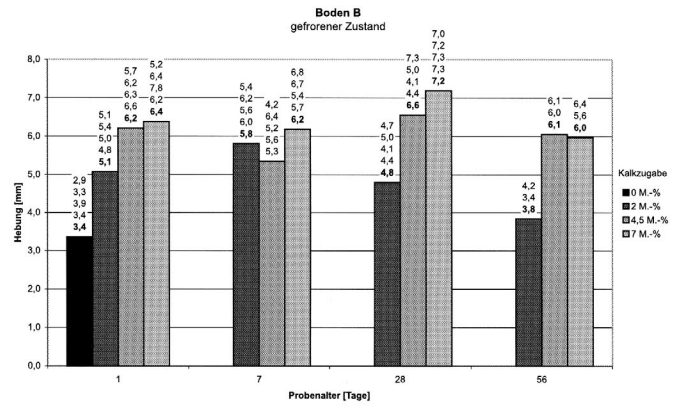
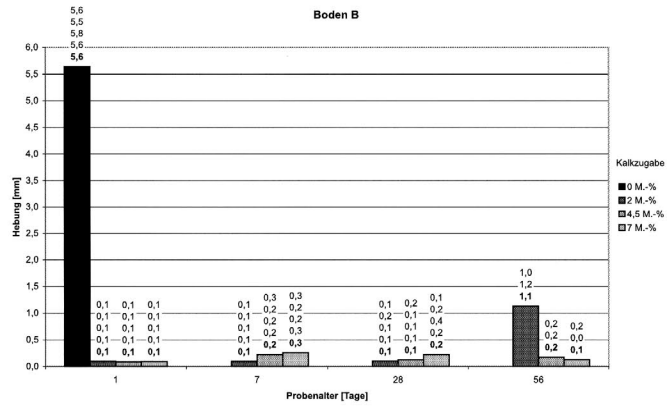
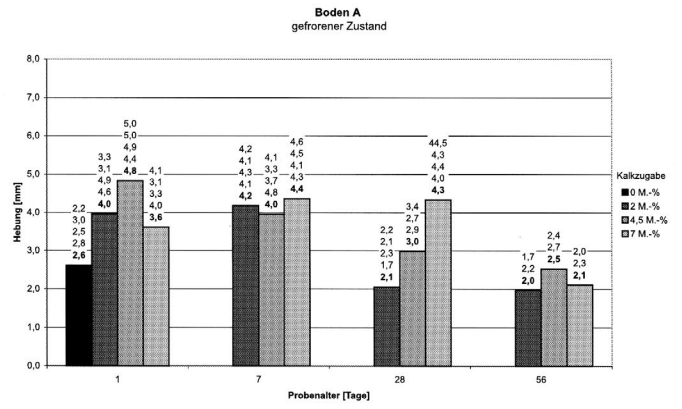
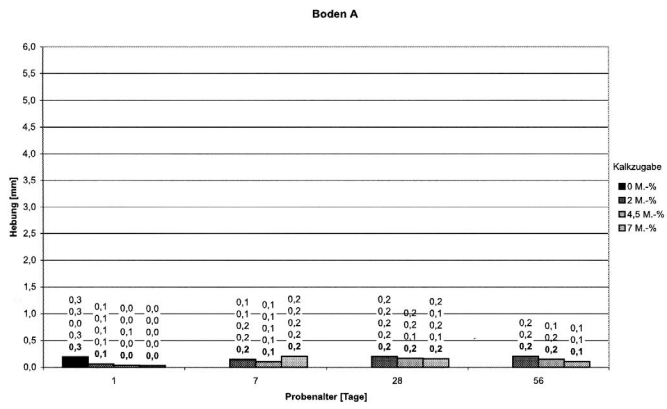
Die Hebung durch Frost-Tau-Wechsel-Beanspruchung wird zunächst bei allen Böden durch die Kalkzugabe vergrößert. Nach einer Lagerung von 56 Tagen ist jedoch eine positive Tendenz zu erkennen (siehe Bild 2).

Wird die Gesamthebung (Hebung durch Wasserlagerung und Frosteinwirkung) betrachtet, so kann die Aussage getroffen werden, dass nach ausreichender Lagerung zumindest keine Verschlechterung (Boden A), sondern teilweise eine Verbesserung (Boden B und Boden C) der Hebungseigenschaft erfolgt ist (siehe Bild 3).

Eine direkte Beurteilung der Frostempfindlichkeit ist durch den CBR-Wert nach Frost-Tau-Wechsel-Beanspruchung in Anlehnung an die ZTVE-StB 94/97 Abs. 14.5 möglich. Anhand dieses Wertes (siehe Bild 4) sind die Böden durch die Kalkzugabe grundsätzlich nicht mehr der Frostempfindlichkeitsklasse F3, sondern der Klasse F2, teilweise der Klasse F1 zuzuordnen, wobei für diese Zuordnung je nach Boden eine andere Kalkzugabe erforderlich war.

Die Veränderung eines Bodens durch die Kalkzugabe erfolgt durch eine puzzolanische Reaktion zwischen Kalk und den Bodenbestandteilen (Tonmineralen). Hierbei wird durch die Einlagerung von Calcium in die Gitterstruktur der Tonminerale die zugegebene Kalkmenge verringert. Wenn es nun gelingt, die nach einer bestimmten Lagerung und definierten Lagerungsbedingungen verbrauchte Kalkmenge zu bestimmen, ist eine erste Beurteilung der Eignung eines Bodens möglich. Die Bestimmung einer optimalen Kalkzugabe und der Größe der möglichen Veränderung kann dann durch weitere Untersuchungen erfolgen. Der Nachweis der sich noch in der Probe befindlichen Kalkmenge und damit der verbrauchten Menge kann mittels selektivem Lösen von CaO bzw. Ca(OH)₂ erfolgen [1], wobei vorhandene CSH- bzw. CAH-Phasen nicht gelöst werden dürfen. Zur Verkürzung der Lagerungszeit wurden die Boden-Kalk-Gemische der Böden mit 7 M.-% Kalk einer Lagerungstemperatur von 20 und 40° C ausgesetzt. Hierbei wurde eine Karbonatisierung ausgeschlossen. Die Bestimmung der verbrauchten Kalkmenge erfolgte wiederum nach 1, 7, 28 und 56 Tagen.

¹⁾ SU*: Schluff-Sand Gemisch;
UL/TL: leicht plastischer Schluff bzw. Ton;
TM: mittel-plastischer Ton



1: Hebung durch Wasserlagerung der Böden und Boden-Kalk-Gemische

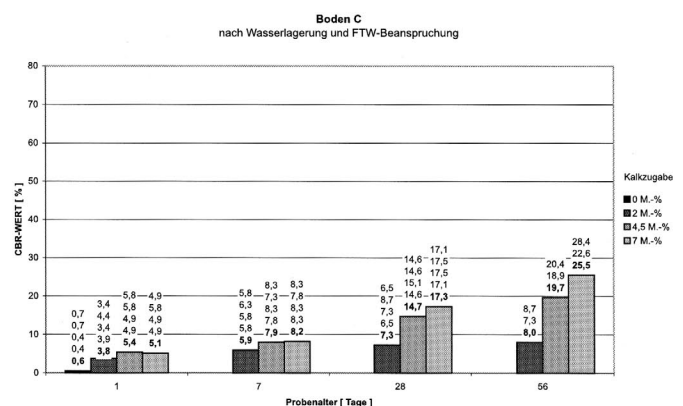
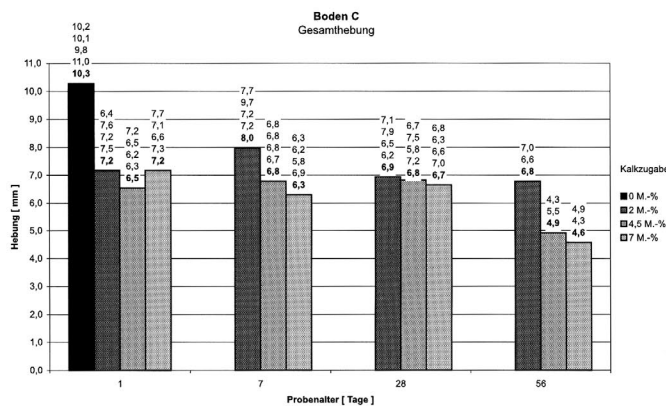
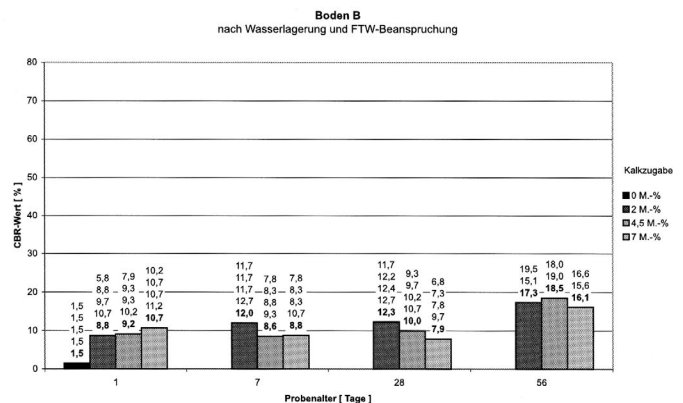
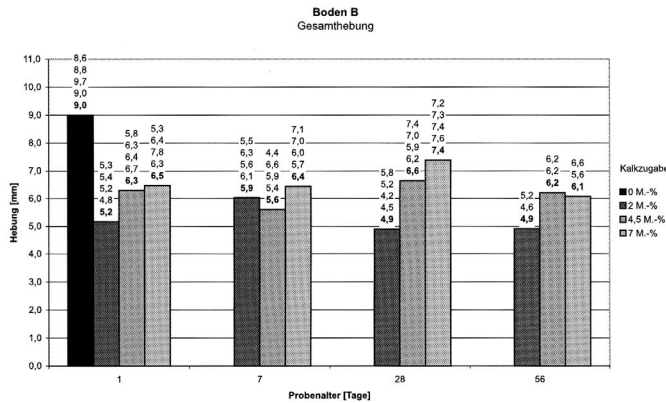
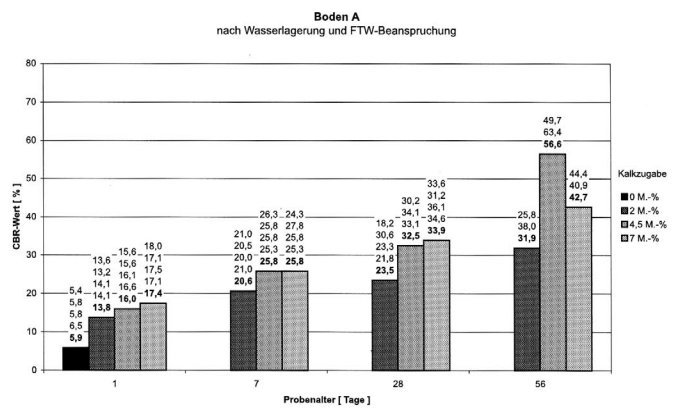
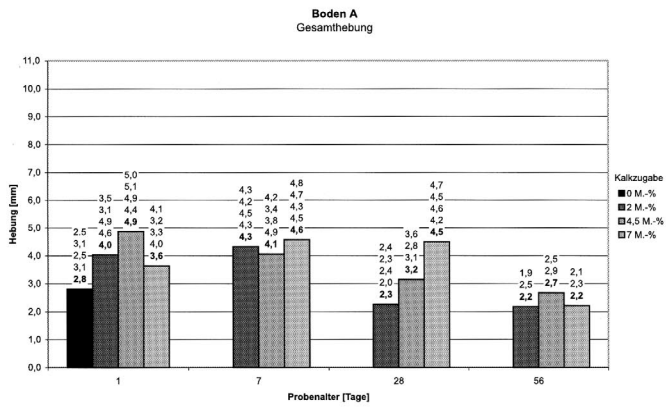
2: Hebung durch Frosteinwirkung der Böden und Boden-Kalk-Gemische

Wie die Tabelle 1 zeigt, ist bei allen Gemischen Kalk verbraucht worden, wodurch die Reaktion des Bodens mit Kalk nachgewiesen ist. Mit einer Lagerung der Proben von 7 Tagen bei 40 °C kann der Kalkverbrauch nach einer Lagerung von 56 Tagen bei 20 °C abgeschätzt werden, da die ermittelten Werte dieser beiden unterschiedlichen Lagerungszeiten und Lagerungstemperaturen nahezu identisch sind.

Der Nachweis von neu gebildeten Phasen bzw. kristallinen Verbindungen wurde mittels röntgendiffraktometrischen und raster-elektronenmikroskopischen Untersuchungen versucht. Für die rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen wurden sowohl unverdichtete als auch nach dem Mischen verdichtete Proben hergestellt, um einen potenziellen Einfluss der Verdichtung auf die Bildung von CSH- bzw. CAH-Phasen zu erfassen. Nur bei Boden C war mit der röntgendiffraktometrischen Untersuchung ein Hinweis auf eine Bildung der o.g. Phasen bzw. Verbindungen

Tabelle 1: Bestimmung der vorhandenen Kalkmenge

Lagerungszeit	1 Tag	7 Tage		28 Tage		56 Tage	
Lagerungstemperatur	20°C	20°C	40°C	20°C	40°C	20°C	40°C
Boden	M.-%						
A	6,2	5,5	4,7	5,1	2,4	4,5	1,5
B	6,4	5,5	4,5	5,2	1,6	4,7	0,6
C	6,3	4,8	3,4	4,4	0,8	3,5	0,6



3: Gesamthebung der Böden und Boden-Kalk-Gemische

vorhanden, da durch die Kalkzugabe die im Rohboden vorhandenen Schichtsilikate mit einem Gitterabstand von 7 Å und 14 Å nicht mehr nachweisbar waren. Auch durch die rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen war kein eindeutiger Nachweis möglich, da nur vereinzelt Strukturen bei den Boden-Kalk-Gemischen festgestellt wurden, die im Rohboden nicht zu erkennen waren. Zudem waren diese Strukturen teilweise in verdichteten Proben vorhanden und in unverdichteten Proben nicht bzw. umgekehrt.

4: CBR-Wert nach Wasserlagerung und Frostbeanspruchung der Böden und Boden-Kalk-Gemische

Für eine abschließende Beurteilung dieses Verfahrens besteht noch weiterer Forschungsbedarf, da hier nur drei unterschiedliche Böden untersucht wurden.

Schrifttum
 [1] Franke, B.: Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie, 247(1941), S. 180 – 184