

Artikel 2

BODENVERBESSERUNG MIT KALK

Bei diesem Verfahren wird die zu behandelnde Bodenschicht mit Kalk bestreut und durch Einsatz von fahrbaren Mischern mit dem Bindemittel vermischt (Eingang- oder Mehrgangmischer). Dadurch werden eine mittel- und langfristige Verbesserung der mechanischen Eigenschaften sowie der Widerstandsfähigkeit gegen die Einwirkung von Wasser und Frost-Tauwechsel des Bodens erreicht.

A) BESTANDTEILE UND QUALIFIZIERUNG

1) Kalk

1.1) Allgemeines und Herkunft

Zur Bodenverbesserung kann vorwiegend aus Kalkoxyd und Kalkhydrat bestehender Luftkalk sowie ungelöschter¹ oder gelöschter Branntkalk verwendet werden. Die zu verwendende Kalkart hängt vom Wassergehalt des zu verbessernden Bodens ab: für Böden mit hohem Wassergehalt ist ungelöschter Kalk zu verwenden. Der Kalk muss durch Kalzinierung aus Kalkstein hergestellt werden; die Verwendung von durch Verwertung von Baurückständen gewonnenem Kalk ist unzulässig.

Der verwendete Kalk muss gemäß Bauproduktverordnung 305/2011/CPR über Baustoffe klassifiziert sein und mit entsprechendem Leistungsverzeichnis (DoP) versehen sein. Auf der Verpackung oder den Handelsbegleitpapieren, z. B. dem Lieferschein, muss das CE-Kennzeichen als Konformitätsnachweis nach Anhang ZA der harmonisierten Norm UNI EN 459-1 angebracht sein.

1.2) Anforderungen

Im Straßenbau darf ausschließlich Kalk der Klassen CL 90 oder CL 80 verwendet werden.

Die Korngrößenverteilung des ungelöschten Kalks muss zusätzlich innerhalb des Sieblinienbereichs nach Tabelle A.1 liegen. Bei der Bestimmung der Reaktivität nach UNI EN 459-2² muss der ungelöschte Kalk innerhalb von 25 Minuten eine Temperatur von 60°C erreichen.

Tabelle A.1				
Sieböffnung (mm)	Kategorie P1	Kategorie P2	Kategorie P3	Kategorie P4
10	-	100	-	100
5	-	100	100	≥95
2	100	≥95	≥95	-
0,2	≥95	≥70	-	-
0,09	≥85	≥50	≥30	-

Anmerkung: Bestimmung der Korngrößenverteilung nach UNI EN 459-2:2010

Der Bauleiter stellt die Einhaltung der gestellten Anforderungen anhand der EG-Konformitätserklärung für die Baustoffe und die Eintragungen aus der werkseigenen Produktionskontrolle des Herstellers fest; letztere müssen dem Bauleiter spätestens 15 Tage vor Beginn der Arbeiten übergeben werden.

1.3) Wasser

Das zum Vermischen und zum Abbinden beigegebene Wasser darf die Eigenschaften des Gemischs nicht beeinträchtigen. Trinkwasser kann ohne weitere Überprüfung verwendet werden. Auf Anweisung des Bauleiters ist die Eignung des Wassers zu überprüfen; die Anforderungen für das Anmachwasser sind in der Norm UNI EN 1008 festgelegt.

¹ Ungelöschter Kalk wird gemahlen als Pulver oder als Wassersuspension verwendet. In letzterem Fall muss die Suspension zumindest 70% in Gewichtsanteilen Kalkoxyd enthalten.

1.4) Boden

Sowohl der Boden des Untergrunds sowie die Aufschüttungen können mit Kalk verbessert werden, sofern:

- der Boden den Klassen A₆ und A₇ nach UNI 11531-1:2014, den Klassen A₂₋₆ und A₂₋₇ mit einem Durchgang beim 0,4 mm-Sieb UNI nicht kleiner als 35% oder der Klasse A₅ mit I_p>8 zugeordnet werden kann;
- für den Boden ein Kationen-Austausch-Kapazität (KAK-Wert) größer als 200 festgestellt wird (Methylenblau-Methode: 200 cm³ Methylenblau-Lösung 10g/l auf 100 g des Durchgangs beim 0,25 mm-Sieb, nach UNI EN 933-9);
- der Gehalt an organischen Bestandteilen nicht größer als 3% ist;
- der Durchmesser des Größtkorn kleiner als 60 mm ist.
- der Sulfatanteil (SO₃) nicht größer als 0,3% nach UNI EN 1744-1, Absatz 10 ist; zur Aussonderung der Sulfate aus dem Boden ist jedoch ein Verhältnis in Gewichtsanteilen Wasser/Boden von 10 anzusetzen. Wird vereinzelt ein Sulfatgehalt zwischen 0,3% und 0,5% festgestellt, kann der Boden örtlich zu Quellerscheinungen neigen, der Boden ist in diesem Fall besonders sorgfältig zu zerkleinern und mit Kalk zu vermischen. Insbesondere muss beim Mischvorgang der Wassergehalt des Bodens zumindest um 3-5% den bei den Verdichtungsversuchen festgestellten Optimalwert übersteigen. Nach einer Abbindezeit von zumindest 3 Tagen kann neuerlich Bindemittel beigemischt werden; die verbesserte Bodenschicht kann in der Folge verdichtet werden. Wird ein Sulfatgehalt zwischen 0,5% und 0,8% festgestellt, sind die beschriebenen Maßnahmen zu treffen und zusätzlich die genaue Abstimmung der Abbindezeit im Rahmen der Versuche zur Festlegung des Mischgutansatzes durchzuführen. Zu diesem Zeitpunkt kann auch überprüft werden, ob es zweckmäßig ist, den Kalk in 2 unterschiedlichen Arbeitsgängen beizumischen. Die Annahme des Gemischs hängt vorwiegend vom Quellmaß ab. Bei einem Sulfatgehalt über 0,8% ist von einer Bodenverbesserung mit Kalk abzusehen.

1.5) Gemisch

Die Zusammensetzung des Gemisches Boden-Kalk-Wasser muss aufgrund von, an amtlich anerkannten Prüfanstalten nach DPR Nr. 380/2001 Artikel 59, durchgeführten Versuchen zur Festlegung des Mischgutansatzes ermittelt werden.

1.5.1) Mischgutansatz

Für Bodenverbesserungen werden zumindest 3 Boden-Kalk-Gemische untersucht; dabei wird der Kalkgehalt, beginnend von dem unter a) angeführten Mindestwert (C.I.C.) gesteigert. Sofern keine weiteren Vorschriften des Bauleiters bei Böden mit mittlerem oder hohem Sulfatgehalt vorliegen, umfasst die Untersuchung zumindest folgende Prüfungen an dem zu verbessernden Boden:

- a) Feststellung des Mindestwertes für den Kalkgehalt (C.I.C.) nach ASTM D6276-99a;
- b) Feststellung des Blauwertes nach UNI EN 933-9;
- c) Feststellung der Fließ- und der Plastizitätsgrenze (UNI CEN ISO/TS 17892-12);
- d) Feststellung der Verdichtungskurve mit der Standard Proctor-Arbeit (UNI EN 13286-2 oder alternativ mit DIN 18127) für zumindest 5 Wassergehaltswerte sowie den natürlichen Wassergehaltswert des ungestörten Bodens;

Am Boden-Kalk-Gemisch sind folgende Prüfungen durchzuführen:

- a) Feststellung der Fließ- und der Plastizitätsgrenze (UNI CEN ISO/TS 17892-12);
- b) Feststellung der Verdichtungskurve mit der Standard Proctor-Arbeit (UNI EN 13286-2) für zumindest 5 Wassergehaltswerte sowie den natürlichen Wassergehaltswert des ungestörten Bodens;
- c) Feststellung des CBR Wertes (UNI EN 13286-47:2012) an verdichteten Prüfkörpern mit optimalem Wassergehalt W_{opt} sowie $W_{opt}+3\%$, nach 28-tägiger Lagerung bei $20^\circ \pm 2^\circ$ C und relativer Feuchte >95%² und nachträglicher Sättigung durch 4-tägige Wasserlagerung bei $20^\circ \pm 2^\circ$ C. Nach der Sättigung wird zusätzlich das Quellmaß festgestellt. Auf Anweisung des Bauleiters sind die Messungen an je zwei Prüfkörpern für jeden Wassergehaltswert des Gemischs durchzuführen.
- d) auf Anweisung des Bauleiters ist zusätzlich der "unmittelbare" CBR-Wert nach CNR-UNI 10009 an verdichteten Prüfkörpern mit optimalem Wassergehalt W_{opt} sowie $W_{opt}+3\%$ festzustellen;
- e) auf Anweisung des Bauleiters ist zu Bestimmung der Widerstandsfähigkeit gegen Frost-Tau-Wechsel die Druckfestigkeit nach UNI EN 13286-41 festzustellen; die Prüfkörper sind nach UNI EN 13286-

² Abweichend kann die Lagerung auch während 48 h bei $49 \pm 1^\circ$ C und relativer Feuchte >95% stattfinden.

50 mit 98% der größten, bei den Verdichtungsversuchen erhaltenen Dichte und mit dem, bei der Verdichtung auf der Baustelle vorgesehenen Wassergehalt herzustellen. Die Probekörper werden während 28 Tagen bei $20^\circ \pm 1^\circ\text{C}$ und relativer Feuchte $>95\%$ gelagert. Nach der Lagerung werden die Prüfkörper 13 Frost-Tau-Wechseln ausgesetzt (16 Stunden bei -5°C , 8 Stunden bei 8°C). Auf Anweisung des Bauleiters sind die Messungen an je zwei Prüfkörpern durchzuführen.

Zur Aufbereitung des Gemischs wird der Boden bei einer Temperatur von höchstens 60°C getrocknet, bis die Masse unverändert bleibt. Danach wird Kalk in den zu untersuchenden Anteilen beigegeben. In der Folge wird Wasser in den zu untersuchenden Anteilen beigegeben; einer dieser Werte muss dem Wassergehalt des ungestörten Bodens entsprechen.

Der Zeitraum zwischen der Wasserbeigabe und der Verdichtung des Gemischs wird auch aufgrund der Hinweise des Bauleiters bezüglich Bodenart, Arbeitsprogramm und Feldprüfungen festgelegt.

Die Verdichtungskurven und die CBR-Kurven sind sowohl als Funktion der dem getrockneten Boden beigegebenen Wassermenge als auch des am Boden-Kalk-Gemisch nach Lagerung gemessenen Wassergehalts, darzustellen.

B) GENEHMIGUNG DES MISCHGUTANSATZES

Zur Verbesserung des Unterbaus gelten die Boden-Kalkgemische als geeignet, welche folgenden Anforderungen entsprechen:

- a) Mindestwert für den Kalkgehalt (C.I.C.) $>1,5\%$;
- b) Methylenblauwert VB $>2\text{ g/kg}$;
- c) CBR-Wert $>30\%$ für Prüfkörper mit einem Wassergehalt bei der Aufbereitung W_{opt} und $W_{\text{opt}+3\%}$, nach Lagerung und Sättigung;
- d) Quellmaß nach 4-tägiger Wasserlagerung $<1,5\%$ für Prüfkörper mit einem Wassergehalt bei der Aufbereitung W_{opt} und $W_{\text{opt}+3\%}$, nach Lagerung und Sättigung;
- e) Druckfestigkeit $R_c \geq 1,2\text{ MPa}$.

Der Auftragnehmer hat dem Bauleiter spätestens 15 Tage vor Beginn des Einbaus die Ergebnisse der genannten Prüfungen mitzuteilen und den Kalkanteil, den er dem Gemisch beizugeben gedenkt, vorzuschlagen. Nach Genehmigung des Mischgutansatzes durch den Bauleiter, kann das Gemisch verwendet werden.

Unter keinen Umständen darf der Gewichtsanteil des Kalks am Gemisch geringer als $2,0\%$ sein, ist dies der Fall, hat der Auftragnehmer auf eigene Kosten die Bodenschicht abzutragen und zu beseitigen.

C) EINBAU

Die Oberfläche ist genau nach Zeichnung zu profilieren. Bei Bedarf ist der Boden mit einer Walze zu verdichten, um besonders setzungempfindliche Bereiche festzustellen. Auf Anweisung des Bauleiters sind diese Bereiche vor Beginn der Verbesserung durch Bodenaustausch oder anders zu verfestigen.

Vor der Vermischung ist der natürlich gelagerte Boden bis auf die für die Verbesserung vorgesehene Tiefe zu lockern; hierzu werden geeignete Maschinen mit rotierenden Schaufeln eingesetzt, welche in mehreren Gängen den Boden auffräsen, bis die größten Erdknollen einen Durchmesser unter 40 mm aufweisen.

Bei diesem Vorgang muss der Boden gleichmäßig über die gesamte Arbeitsbreite und bis auf die gewollte Tiefe gelockert werden. Die Arbeitstiefe muss deutlich verfolgbar und erkennbar sein.

Nach der Auflockerung ist der Wassergehalt des anstehenden Bodens festzustellen; die Messungen sind mit zeitsparenden Verfahren an verschiedenen Standorten und in verschiedenen Tiefen durchzuführen.

Als zufriedenstellend können die Werte für den Wassergehalt zwischen dem Optimalwert für das Gemisch W_{opt} und $W_{\text{opt}+3\%}$ betrachtet werden. Bei übermäßigem Wassergehalt wird, im Einvernehmen mit dem Bauleiter, der Boden erneut durchgefräst. Das Bindemittel darf nicht beigegeben werden, solange der Wassergehalt außerhalb der besagten Grenzwerte liegt. Ist der Wassergehalt wesentlich höher als der für die Verdichtung günstigste Optimalwert, ist die Verwendung von gemahlenem, ungelöschem Kalk wegen seiner wasserentziehenden Wirkung zu empfehlen.

Der staubförmige Kalk wird in der, im Mischgutansatz vorgegebenen Menge mit Einsatz von Verteilermaschinen, mit von der Fahrgeschwindigkeit abhängiger Dosiervorrichtung, ausgestreut. Die Bindemittelverteilung ist bei Wind einzustellen, wenn trotz Ausstattung mit Atemschutz die Gesundheit des

Personals und eine genaue Dosierung nicht mehr gewährleistet werden können. Der Boden muss in der Folge gemäß Anweisung des Bauleiters befeuchtet werden, bis der vorgeschriebene Wassergehalt erreicht wird. Das Bindemittel darf höchstens auf einer, innerhalb einer Tagesschicht zu verbessernden Fläche verteilt werden.

Innerhalb von 6 Stunden nach der Verteilung hat die Vermischung mittels Mischer in 2 oder mehreren Durchgängen zu erfolgen. Einzusetzen sind fahrbare, für eine Arbeitstiefe bis zu 50 cm ausgelegte Mischer mit einer rotierenden Mischwelle.

Die Arbeitstiefe und die Gleichmäßigkeit der Vermischung sind durch Sichtprüfung an der Maschine während des Mischvorgangs festzustellen. Die Beschaffenheit des Gemischs kann auch in Schürfschlitz durch das Phenolphthalein-Verfahren³ überprüft werden.

Nach der Vermischung müssen die Erdschollen so zerkleinert worden sein, dass das gesamte Gemisch durch das Sieb zu 31,5 mm fällt und höchstens 50% des Gemischs auf dem Sieb zu 4 mm liegen bleibt.

Auf Anweisung des Bauleiters muss, je nach Zusammensetzung und Reaktivität des zu verbessernden Bodens, 1 bis 7 Tage nach dem ersten Mischvorgang eine zusätzliche Endvermischung vorgenommen werden. Die Dauer dieser Abbindezeit wird vom Bauleiter aufgrund der Ergebnisse der Prüfungen zur Ermittlung des Mischgutansatzes festgelegt.

Aufgrund der angewendeten Arbeitsverfahren entstehen Längs- und Quernähte an den Übergängen. Die bei der Verbesserung von nebeneinander liegenden Bahnen entstehenden Übergänge müssen um mindestens 15 cm überlappt sein. Die zu behandelnden Bodenschichten müssen innerhalb eines Tages auf ihrer gesamten Breite fertig vermischt werden.

Entlang der senkrecht zur Straßenachse verlaufenden Quernähte, ist das verdichtete Gemisch in den Bereichen, wo der Kalkgehalt, die Dicke oder die Verdichtung unzulänglich oder ungleichmäßig sind, abzutragen. Die Übergänge sind zu Beginn des folgenden Arbeitstages am abge bundenen Boden auszubilden; die Stirnseiten sind senkrecht zu beschneiden, um die Rissbildung zu vermeiden.

Zur Verdichtung sind, je nach geotechnischen Eigenschaften des Boden-Kalk-Gemischs, Schafffußwalzen, Glattmantelwalzen, Rüttelwalzen oder Gummiradwalzen einzusetzen.

Das Planum ist mit Einsatz eines Straßenhobels ohne Beigabe von Boden oder sonstigen Stoffen herzustellen. Das fertige Planum der verbesserten Bodenschicht muss genau nach Zeichnung und nach Längsschnitt profiliert werden.

Nach Abschluss der Verdichtungs- und Profilierungsarbeiten muss das behandelte Material durch Aufspritzen einer langsam brechenden Bitumenemulsion (Bezeichnung nach UNI EN 13808: C55B4) mit einer Dosierung von 1,0 - 1,5 kg/m², je nach Oberflächenporosität und Absorptionsvermögen des oberen Teils der behandelten Schicht, geschützt werden. Die Emulsion muss mit Sand oder Splitt abgedeckt werden, um zu verhindern, dass sie von Baustellenfahrzeugen abgetragen wird. Die Schutzschicht aus Bitumenemulsion kann vermieden werden, wenn die mit Kalk behandelte Schicht nach kurzer Zeit von einer darüber liegenden Schicht überdeckt wird. In diesem Fall muss das mit Kalk behandelte Material während der Zeit bis zu Überdeckung ständig feucht gehalten werden, mit mindestens drei Sprühdurchgängen Wasser pro Tag, bis die überlagernde Schicht realisiert ist.

D) PRÜFUNGEN

Zur Prüfung der Eigenschaften der mit Kalk verbesserten Bodenschichten sind sowohl Laborprüfungen an den Bestandteilen und am Gemisch als auch Feldversuche durchzuführen.

Der Entnahmeort und die Anzahl der Prüfungen sind in Tabelle D.1 angeführt.

Die Prüfungen erfolgen in der Prüfanstalt der Autonomen Provinz Bozen-Südtirol oder in einer anderen, vom Auftraggeber bestimmten Prüfanstalt.

Nach der Verdichtung darf die **Trockendichte** (γ_d) des trockenen Bodens von zumindest 95% der Probekörper den optimalen, vor Beginn der Arbeiten im Labor, am mit der Standard Proctor-Verdichtungsarbeit (UNI EN 13286-2) verdichteten Gemisch, gemäß vor Beginn der Arbeiten vorgeschlagenen Mischgutansatz gemessenen Bezugswert $\gamma_{d,max}$ nicht um mehr als 98% unterschreiten. Die Dichte wird gemäß DIN 18125-2 beziehungsweise CNR 22/72 oder ASTM D 1556-90 gemessen.

³ Ein 30 cm breiter Schürfschlitz wird auf die gesamte Dicke der verbesserten Bodenschicht ausgehoben. Die Grabenwände werden mit dem pH-Indikator aus in Alkohol gelöstem Phenolphthalein gesättigt. Von der Intensität der violetten Verfärbung des Indikators können die Tiefe und die Gleichmäßigkeit der Vermischung mit Kalk abgeleitet werden.

Bei einer Dichte unter dem Sollwert wird auf dem gesamten homogenen Flächenbereich der im Projekt angegebene Einheitspreis für die Tragschicht wie folgt in % gekürzt:

$$\text{Abzug in \%} = 2 (s - 2)^2$$

wo s die wie folgt berechnete Abweichung in % der Trockendichte γ_d von dem im Labor ermittelten Sollwert $\gamma_{d \text{ opt}}$ ist:

$$s = 100 (0,98 * \gamma_{d \text{ opt}} - \gamma_d) / 0,98 * \gamma_{d \text{ opt}}$$

Werte der Trockendichte weniger als 98% des im Labor, am mit der Standard Proctor-Verdichtungsarbeit (UNI EN 13286-2, DIN 18127) verdichteten Gemisches, gemessenen Bezugswert $\gamma_{d, \text{max}}$, führen dazu, dass der Auftragnehmer auf eigene Kosten die Tragschicht abzutragen und neu einzubauen hat; er haftet auch für den Schaden aus dem Verzug bei der Nutzung der Verkehrsflächen.

Die **Tragfähigkeit** wird nach DIN 18134 mittels Plattendruckversuch mit Plattendurchmesser 300 mm ermittelt. Abweichend können auch Hochleistungs- oder Schnellversuche mit dem leichten Fallgewicht LFWD durchgeführt werden.

Der Verformungsmodul E_{v2} darf den Wert von 120 MPa nicht unterschreiten; das Verhältnis E_{v2}/E_{v1} muss kleiner als 2,15 sein. Sobald der Wert E_{v2} oberhalb 200 MPa liegt, ist das Verhältnis E_{v2}/E_{v1} nicht mehr von Relevanz.

Werden mittlere Werte der Tragfähigkeit unter dem Sollwert festgestellt, wird auf dem gesamten homogenen Flächenbereich der im Projekt angegebene Einheitspreis für die Tragschicht wie folgt in % gekürzt:

$$\text{Abzug in \%} = [(120 - E_{v2})/5]^2$$

Liegen die Meßwerte für den Verformungsmodul E_{v2} unter 100 MN/m² und/oder liegt das Verhältnis E_{v2}/E_{v1} über 2,15 (nur bei E_{v2} weniger als 200 MPa) hat der Auftragnehmer auf eigene Kosten die Tragschicht abzutragen und neu einzubauen; er haftet auch für den Schaden aus dem Verzug bei der Nutzung der Verkehrsflächen.

Ist die Durchführung von Schnell- oder Hochleistungsprüfungen vorgesehen, sind die zu stellenden Mindestanforderungen vor Beginn der Abschlußprüfungen durch Versuche im Prüfgelände oder an den fertig eingebauten Schichten festzulegen. Bei Schnellmessungen der Tragfähigkeit mit dem leichten Fallgewicht LFWD, wird eine Beziehung zwischen dem dynamischen Verformungsmodul E_{vd} und dem mit statischen Prüfverfahren gewonnenen Verformungsmodul E_{v2} hergestellt. Die Eignung der gebundenen Bodenschichten wird aufgrund der aus dieser Beziehung erhaltenen Sollwerte für E_{v2} bewertet.

Der Bauleiter kann zusätzlich Messungen des CBR-Wertes, des Quellmaßes und der Druckfestigkeit an auf der Baustelle entnommenen Probekörpern des verdichteten Gemischs verlangen.

Werden die im Labor am Mischgutansatz gemessenen Werte um mehr als 90% unterschritten, entscheidet der Bauleiter über die Annahme der verbesserten Bodenschichten und über mögliche Preisabzüge.

Tabelle D.1

STOFFPRÜFUNGEN UND ÜBERWACHUNG DER ANFORDERUNGEN			
Art des Prüfkörpers	Entnahmeort	Prüfhäufigkeit	Zu Prüfende Kenngrößen
Verdichtetes Gemisch	Fertig eingebaute Bodenschicht	jede 2.000 m ³ verbesserter Boden	CBR-Wert, Quellmaß und Druckfestigkeit (Bruch) nicht unter 90% der im Labor für das Gemisch nach Mischgutansatz erhaltenen Werte
Fertige Bodenschicht	Fertig eingebaute Bodenschicht	jede 250 m fertige, verbesserte Bodenbahn	Lagerungsdichte nicht unter 98% der im Labor gemessenen Dichte nach Proctor Standard
Fertige Bodenschicht	Fertig eingebaute Bodenschicht	jede 250 m fertige, verbesserte Bodenbahn	Verformungsmodul E_{v2} , mit Plattendruckversuch (Platte zu 300 mm) nach DIN 18134 festgestellt, nicht unter 120 MPa mit $E_{v2}/E_{v1} \leq 2,15$