

Das Verhalten von Böden bei der Behandlung mit Bindemitteln durch Schaufelseparatoren

Bodenbehandlungen stehen im Erdbau meist im Zusammenhang mit bindigen und gemischtkörnigen Böden. Dabei unterscheidet man zwischen Bodenverfestigungen und Bodenverbesserungen [1]. Im Wesentlichen ist das Ziel einer Bodenverfestigung, die Widerstandsfähigkeit und Tragfähigkeit des Bodens mit Bindemitteln dauerhaft zu gewährleisten. Dagegen soll eine Bodenverbesserung die Einbaufähigkeit und Verdichtbarkeit von Böden durch Bindemittel verbessern.

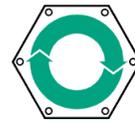
Im Straßen-, Industrie-, Wohnungs-, Ingenieur- und Leitungsbau werden diese Ziele zur Bodenbehandlung vom Ausführungsbedarf der entsprechenden Bauwerke vorgegeben.

So gilt es im Straßen- und Verkehrswegebau die oberen Zonen des Unterbaus oder Untergrunds i.d.R. flächig zu verfestigen, womit auch spezifische Gerätetechnik notwendig wird. Für solche Einsätze sind Bodenfräsen bekannt, die häufig auch Bodenstabilisierer genannt werden.

Im Industrie-, Wohnungs-, Ingenieur- und Leitungsbau ist entweder ein Bodenverfestigungsbedarf weniger flächig sondern eher lokal begrenzt gegeben oder es gibt keinen Verfestigungs-, sondern einen Bodenverbesserungsbedarf, was primär im Leitungsbau der Fall ist.

Daraus ergibt sich auch die Notwendigkeit einer anderen Gerätetechnik. In diesem Zusammenhang sind Schaufelseparatoren die geeigneten Maschinen, weil sie sowohl eine Bodenverbesserung als auch eine Bodenverfestigung realisieren können und für den Industrie-, Wohnungs-, Ingenieur- und Leitungsbau gleichermaßen in Frage kommen. Da diese Art der Bodenbehandlung immer über Haufwerke realisiert wird, entspricht das einer Bodenhaufwerksbehandlung [2].

Bei der Bodenbehandlung mit Kalk oder Mischbindern werden chemische Prozesse wie Bodenentwässerung, Aggregatbildung bindiger Bodenpartikel, Ionenaustausch, Puzzolanreaktionen und Karbonatisierung aktiviert [3]. In welcher Weise Schaufelseparatoren einzelne Phasen dieser chemischen Prozesse beeinflussen können, soll mit der nachfolgend aufgezeigten Übersicht der Prozessfolgen verdeutlicht werden. Vertiefende Informationen dazu sind in dem Fachartikel von Dr. Bernd M. Christoph nachzulesen [2].



1. Phase:	Sofortreaktion <i>Branntkalk + Wasser → Kalkhydrat + Wärmeenergie</i> $CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + E$ Dem Boden wird Wasser entzogen, er wird krümelig.
2. Phase:	Gelstadium (Hydratation) <i>Kalkhydrat → Kalzium + Hydroxid</i> $Ca(OH)_2 \rightarrow Ca^{++} + 2 (OH)^-$ Dissoziierung mit Anstieg des pH-Werts und der Folge, dass sich Silikate und Aluminate aus den Tonpartikeln lösen. <i>Kalzium + Hydroxid + Silikat → Kalzium-Silikat-Hydrat</i> $Ca^{++} + 2 (OH)^- + SiO_2 \rightarrow CSH$ <i>Kalzium + Hydroxid + Aluminat → Kalzium-Aluminat-Hydrat</i> $Ca^{++} + 2 (OH)^- + Al_2O_3 \rightarrow CAH$ Kalzium-Silikat- und Kalzium-Aluminat-Hydrate füllen gelartig die Porenräume der Bodenpartikel aus. Schluff- und Tonpartikel aggregieren zu größeren Körnern und der Boden bekommt bei geringerer Plastizität eine höhere Konsistenz. Die Proctorkurve verschiebt sich zur nassen Seite.
3. Phase:	Neolithstadium (Puzzolanische Reaktion) Kalzium-Silikat- und Kalzium-Aluminat-Hydrate verfestigen sich und verkitten die Bodenpartikel miteinander, was zu steigenden Festigkeitswerten des Bodens führt. Der Verfestigungsgrad ist abhängig von der Kalkzugabe und der mineralogischen Bodenzusammensetzung. Wenn zu wenig Puzzolane (Tonminerale) im Boden sind, kann Puzzolanische Reaktion nicht erfolgen. Mit Mischbindern (Kalk-Zement-Mischung) wird der Mangel beseitigt.
(Wenn genügend Bodenluft vorhanden ist)	4. Phase: Karbonatisierung Wird gezielt mit Schauelfeparatoren und dem damit verbundenen Lufteinschluss herbeigeführt. <i>Kalkhydrat + Wasser + Kohlendioxid → Kalziumkarbonat + Wasser</i> $Ca(OH)_2 + H_2O + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + 2 H_2O$ Gegenläufige Wirkung zur Puzzolanischen Reaktion. Mit Absinken des pH-Werts infolge der Karbonatisierung wird Festigkeitszunahme kontrollierbar, weil damit auch die ungebundenen CaO-Anteile im behandelten Boden sinken. Ab einer bestimmten Grenze gibt es für eine weitergehende Verfestigung keine reaktionsfähigen Kalk-Anteile mehr.



An Hand dieser chemischen Prozessfolge bei der Haufwerksbehandlung von bindigen und gemischtkörnigen Böden mit Kalk oder Mischbindern wird deutlich, dass mit Schaufelseparatoren bestimmte Verfestigungswerte mittelbar erreicht werden können.

Die Ursache dafür ist die Tatsache, dass ein Schaufelseparator durch seine Mischfunktion den Anteil der Bodenluft erhöht. Dabei kann die Effizienz dieser Funktion durch spezifisch bauliche Eigenschaften noch gesteigert werden. Sofern ein Scheibenseparator über Scheibenwellen verfügt, deren Scheiben ineinandergreifen, wie bei einer Ausführungsvariante des Terra-Star[®], kann der Boden optimal aufgeschlossen und Bodenluft eingeschlossen werden, was zusätzlich die Bindemittelzugabe minimiert.

Mit der durch den Schaufelseparator angeregten Karbonatisierung sinkt der pH-Wert und damit der Anteil der Kalk-Anteile, die mit der Bodenluft zu Kalziumhydroxid reagieren können. Untersuchungen der Kronenberger oecotec GmbH und der Rheinkalk GmbH haben ergeben, dass ein mit Kalk verbesserter Boden und einem PH-Wert unter 11 nur noch weniger als 0,2 % ungebundenen Kalk beinhaltet. Da dieser geringe Anteil aber zur weiteren Anregung der Puzzolanreaktion nicht ausreicht, kommt das einem Stopp durch die Schaufelseparatoren gleich.

So können Langzeitreaktionen, die unter geringen Bodenluftkonzentrationen 1 bis 5 Jahre dauern [3], gezielt gestoppt und Bodenfestigkeitswerte von 45 bis 120 mN/m² und mehr erzeugt werden, wie sie im Leitungsbau- Industrie-, Wohnungs-, und Ingenieurbau gebraucht werden. Falls zu wenig Puzzolane im Ausgangsboden vorhanden sind, wird ein Mischbinder mit dem notwendigen Mischungsverhältnis aus Zement und Kalk beigemischt, um diesen Mangel auszugleichen.

Demzufolge sind Schaufelseparatoren sowohl zur Bodenverfestigung als auch zur Bodenverbesserung sehr wirtschaftlich einsetzbar, weil die Zielvorgaben der Bodenhaufwerksbehandlung kontrolliert umgesetzt und Kosten für Bindemittel minimiert werden können.

Die Bodenhaufwerksbehandlung mit Kalk oder Mischbindern bietet die Kronenberger oecotec GmbH mit dem Konzept Kronenberger[®] als produktergänzende Dienstleistung an.

Literatur:

- [1] FGSV Merkblatt über Bodenverfestigungen und Bodenverbesserungen mit Bindemitteln
Forschungsanstalt für Straßen- und Verkehrswesen e.V., Köln, 2004
- [2] Christoph, B.M. Bodenhaufwerksbehandlung mit Kalk und Mischbindern durch Schaufelseparatoren
www.kronenberger.org unter Service / Fachpublikationen
- [3].Witt, K.J. Zement-Kalk-Stabilisierung von Böden
Geotechnik Seminar 2002 - Weimar-Bauhaus-Universität -
Weimar-Schriftenreihe Geotechnik Heft 5