Frühhochfeste Bodenverfestigung mit Consolid

Das Zweikomponentensystem zeichnet sich durch eine rasche Festigkeitszunahme und eine wesentliche und nachhaltige Reduzierung der Wasserdurchlässigkeit aus.

Günther Koller

Wirkungsweise

Die Consolid-Technologie ist ein natürliches und umweltschonendes Verfahren zur frühhochfesten Bodenstabilisierung und Bodenverfestigung auf physikalisch mechanisch wirkender Basis. Die Wirkungsweise des Systems besteht darin, dass der natürliche Prozess der Verfestigung durch die Aktivierung der bodeneigenen Bindekräfte mittels „Katalysatoren" erreicht wird. Durch den Einsatz der Additive dieses Systems wird der Prozess der Verfestigung und des Aufbaus von bindigen und nicht bindigen Böden beschleunigt. Der Boden wird in seinem Verhalten in Bezug auf die Tragfähigkeit und die Wasserdurchlässigkeit dauerhaft verbessert.

Die Stabilisierung des Bodens erfolgt durch den Einsatz von zwei Komponenten: der flüssigen Komponente Consolid 444 (C444) und der pulverförmigen Komponente Solidry. Diese Komponenten werden dem zu verbessernden Boden beigefügt und anschließend hochwertig vermischt, bis eine homogene und krümelige Struktur der Feinteile sichtbar wird. Nach dem Mischvorgang erfolgen das Profilieren und das Verdichten des verfestigten Bodens.

Die flüssige Komponente Consolid 444

Die flüssige Komponente C444 (Abb. 1) wirkt auf den Poren- und Mikroporenbereich der Böden grenzflächenaktiv. Es bricht den Haftwasserfilm um die Feinteile auf und erhöht die bodeneigenen Bindekräfte durch seine elektrophysikalische Wirkung. Dabei kommt es zu einer nicht umkehrbaren Erhöhung der Bindekräfte der Feinteile des behandelten Bodens. Die Komponente reduziert die kapillare Wasserführung des Bodens wesentlich und aktiviert die bodeneigenen Bindekräfte. Bereits beim Einbau des Systems wird eine höhere Verdichtbarkeit des Bodens und infolge dessen eine Verdichtungszunahme erreicht.

Die Abnahme der Durchlässigkeit, durch das Verschließen der Kapillaren, führt zu einem stark erhöhten Widerstand des behandelten Bodens gegen Wassereinflüsse. Die Wasserdurchlässigkeit und das Quell- bzw. Schrumpfverhalten werden nachhaltig wesentlich verbessert. Durch die stark reduzierte Wasseraufnahmefähigkeit des behandelten Bodens wird eine Aufweichung des Erdplanums verhindert. Aufgrund der verminderten Kapillarität kann die Frostbeständigkeit bestimmter Böden erhöht werden.

Das behandelte Bodenmaterial hat, verglichen mit gleichem unbehandeltem Boden, folgende verbesserte Eigenschaften:

- bessere Verdichtbarkeit durch Änderung der Porenwassereigenschaften,
- stark reduzierte Wasseraufnahme,
- verringerte Wasserdurchlässigkeit,
- das Proctor Optimum des behandelten Bodens ist niedriger, die Verdichtung wird höher,
- der Effekt der Konsolidierung setzt sich im behandelten Boden unter Verkehr fort,
- Proctordichte weit über 100 %,
- stark verringerte Wassersensibilität sowie
- stark verringertes Quell-/Schrumpfverhalten.

Die pulverförmige Komponente Solidry

Diese pulverförmige Substanz wird nach der Behandlung des Bodens mit C 444 eingesetzt (Abb. 2). Der Wirkstoff Solidry wirkt hydrophob, reduziert somit die Wasseraufnahme des Bodens und wirkt dauerhaft konservierend. Trägermedien für die Erstellung dieser Komponente sind Portlandzement und hydraulischer Kalk im Verhältnis 2/3 zu 1/3. Solidry wird mit den Trägerkomponenten, die sich durch ihre ideale und konstante Korngröße auszeichnen, vermischt. Die „Körner" der Trägermedien werden mit einer speziellen Technologie umhüllt und gegen die Aufnahme von Wasser nahezu abgeschlossen. Durch das Quellverhalten der Wirkstoffe wird das Eindringen des Oberflächenwassers / Grundwassers in die Kapillaren des behandelten Bodens verhindert und das Wasseraufnahmevermögen wird zusätzlich wesentlich reduziert.

Anwendungsgebiete

Grundsätzlich eignen sich alle Bodenarten für den Einsatz von C444 und Solidry. Sowohl bindige Böden mit einem größeren Gehalt an Feinteilen wie Tone und Schluffe

Abb. 1: Aufbringen der Flüssigkomponente C444

Abb. 2: Die feste Komponente Solidry vor dem Einfräsen

als auch nicht kohäsive Bodenarten (Sande) können mit dieser Technologie dauerhaft verbessert und stabilisiert werden. Dies zum Beispiel im Falle von grobkörnigeren Sanden, indem die fehlenden Feinfraktionen an Ton und Schluff beifügt werden. Bei zu schweren Tonböden, die in der Regel ein sehr hohes Quell- und Schwundpotential aufweisen, gibt es die Möglichkeit, den Ton durch vorherige Zugabe nicht-kohäsiver Materialien „abzumagern" und somit eine optimierte langfristige Stabilisierung durch dieses System zu erwirken.

Für die Anwendung dieser Technologie ist am besten Erdmaterial geeignet, welches im Rahmen der folgenden Parameter liegt:

- Der Feinkornanteil (≤ 0,063 mm) des Bodens sollte mindestens 15 % betragen.
- Die Restfeuchte des Bodens sollte in der Nähe des Proctor Optimums liegen. Durch die Zugabe der Systemkomponenten werden optimale Verdichtungswerte erreicht.
- Der Rahmenwert der Dichte des behandelten Bodens (pd) sollte ≥ 1650 kg/m³ sein.
- Die Feuchtigkeit liegt an der Fließgrenze wt im Bereich 20 – 60 %.
- Der Plastizitätsindex (lp) liegt im Bereich von 5 – 30 %.

Verarbeitungsmöglichkeiten

Die Verarbeitung kann entweder im Zentralmischverfahren oder im Ortsmischverfahren erfolgen. Bei kleineren Projekten wird praktisch immer das Ortsmischverfahren angewendet.

Zentralmischverfahren (mixed in plant)

In einer externen Anlage wird der Boden mit Solidry und C444 homogen vermischt (Abb. 3). Das aufbereitete und einbaufertige Material wird an die Baustelle geliefert und verteilt. Daraufhin wird das aufgebrachte Bodengemisch verdichtet und nivelliert. Abschließend erfolgt das Auftragen einer Verschleißschicht (z. B. Asphalt / Schotter).

Ortsmischverfahren (mixed in place)

Vorab erfolgt das Auftragen von bindigem Boden (z. B. Ton oder Schluff), falls diese Kornfraktion im Boden nicht ausreichend vorhanden ist. Soweit der Boden zu hohe Feuchtigkeitswerte aufweist, erfolgt vorab das Aufbringen und Einmischen von Kalk, um das Proctor Optimum zu erreichen. Wenn es keiner dieser Zugaben bedarf, was den Regelfall darstellt, erfolgt die Verbesserung des Bodens wie folgt:

- C444 wird ausgebracht sowie Solidry aufgetragen und beides in den anstehenden Boden mit hierfür entwickelter Frästechnologie sehr gut eingefräst und durchgehend homogen vermischt.
- Die gewünschte Oberfläche wird mittels Grader und Verdichtung sowie Nivellierung des Bodens hergestellt.
- Abschließend erfolgt das Auftragen einer Verschleißschicht (z. B. Asphalt / Schotter).

Die zum Einsatz kommende Menge der einzelnen Komponenten C444 (z. B. 0,8 – 1,0 l/m³) und Solidry (z. B. 15 – 40 kg/m³) wird vorweg am zu verbessernden Boden in einem Laborversuch ermittelt. Eine wesentliche Einflussgröße hat hierbei die von der verfestigten Tragschicht abzuleitende Last. Am Einbauort werden die Komponenten mit Sprüh- und Streugeräten in der definierten Dosierung exakt aufgebracht. Wichtig ist, dass das Durchmischen der Komponenten und des zu verbessernden Bodens solange vorgenommen wird, bis eine homogene und krümelige Struktur der Feinteile sichtbar wird. Dies wird für kleine Flächen am besten mit Bodenstabilisieren im Anhang an Traktoren, und für größere Flächen mit selbstfahrenden Kaltrecyclern und Bodenstabilisieren erreicht.

Abb. 3: Durchmischung von Boden und Consolid

Eigenschaften des Bodenverfestigungssystems

Durch die Behandlung des Bodens mit dem Bodenverfestigungssystem lassen sich folgende Parameter des Erdmaterials verbessern:

- Steigerung der Tragfähigkeit auf das 3- bis 5-fache ohne Bodenaustausch,
- Erhöhung der Dichte des Bodens,
- Reduzierung der Wasseraufnahme des Bodens,
- nachhaltige Verbesserung des Durchlässigkeitsbeiwertes (kf-Wert),
- stark verringertes Quell- und Schrumpfverhalten,
- Reduzierung der Frostempfindlichkeit sowie
- Resistenz gegen Wassererosion und dadurch Verringerung der Feinteilausspülung.

Weitere Vorteile, die durch das Bodenverfestigungssystem entstehen, sind:

- kein Materialaustausch erforderlich,
- kein Abtransport, gegebenenfalls geringer Antransport,
- deutliche Lärm- und Abgasreduktion für Anrainer,
- weniger Verkehr, dadurch mehr Sicherheit auf den Straßen,
- Schonen der den Baustellen vorgelagerten Infrastrukturen,
- Schonen von raren Kiesvorkommen und von Deponieraum,
- Arbeit unter Verkehr möglich – Verkürzung der Bauzeit,
- Gesamtkosteneinsparung, zu schwach dimensionierte Straßenkoffer können mit anstehendem Material verstärkt werden sowie
- Reduktion der Oberbaudicke im Straßenbau entsprechend RstO 01.

Die Einsatzgebiete von Consolid können Tab. 1 entnommen werden.

Umweltverträglichkeit

Die Bestandssubstanzen des Systems sind ökologisch einwandfrei und deren Anwendung für die Umwelt unbedenklich. Der Nachweis der Umweltverträglichkeit wurde durch ein Gutachten des Schweizerischen Bundesamtes für Gesundheitswesen im Jahre 1987 bestätigt. Positive Versuche des Fresenius Institutes liegen ebenfalls vor.

Durch die Verfestigung des Erdmaterials mit dieser Technologie entsteht eine dauerhafte Bindung der Komponenten mit den behandelten Bodenpartikeln. Eine Aus-

Straßenbau	Wasserbau	Tiefbau
Wegebau	Bahnbau	Deponiebau
Straßenkoffer	Dammschüttungen	Transportpisten
Verschleißschichten/HGT	Deponien	Kompostierplätze

Tab. 1: Einsatzgebiete Consolid

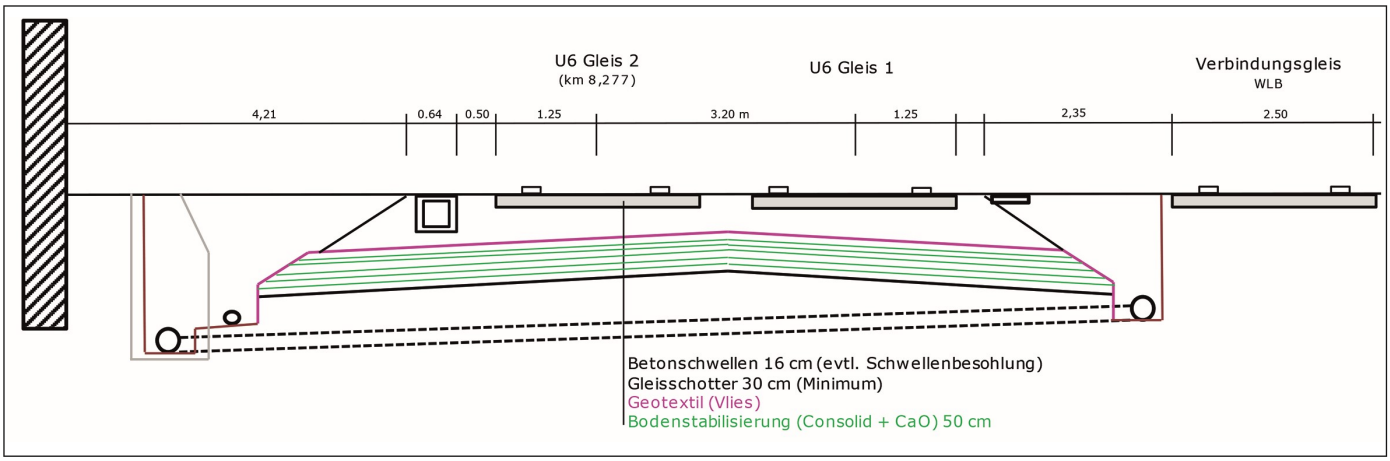

Abb. 4: Querschnitt U6 Tscherttegasse

schwemmung der Wirkstoffe findet nicht mehr statt.

Anwendungsbeispiele bei europäischen Eisenbahnen

Am 7. August 1996 wurde das Consolid System zur Verbesserung und Verfestigung von Eisenbahntragschichten vom Eisenbahnbundesamt EBA in Deutschland zur Betriebserprobung zugelassen. Die Erprobung war mit 30. August 2001 befristet.

In diesem Zeitraum wurden folgende Projekte bei der DB AG umgesetzt:

- Unterbausanierung Mittelherwigsdorf (Niederlassung (NL) Dresden)
- Unterbausanierung Gleis 1 Görlitz – Dresden (NL Dresden)
- Unterbausanierung IC Strecke Bhf. Priestewitz (NL Dresden)
- Unterbausanierung Weichen 52, 56, 57, 58 im Bhf. Coswig (NL Dresden)
- Unterbausanierung Raitzenhain – Ronneburg (NL Zwickau)
- Schutzschichteinbau und Erneuerung Entwässerungsanlage Strecke Görlitz – Dresden – Neustadt (NL Dresden)

Untergrundsanierung der Linie U6 der Wiener U-Bahn

2008 hatten die Wiener Linien im Bereich der Linie U6 Tscherttegasse-Liebenschacht im Bereich Gleiskilometer Gleis 1, km 8,1+77,157 und km 8,3+39,921 und im Bereich Gleis 2, km 8,1+74,316 und km 8,3+43,169 eine ungenügende Qualität der Gleislage festgestellt. Die vorhandenen Gleise mussten regelmäßig nachgestopft werden, da die vorhandene Entwässerung das Oberflächenwasser nicht mehr planungsgemäß ableiten konnte und es nun zu einem „Aufweichen" des bindigen Untergrundes kam. In Zusammenarbeit mit der Technischen Universität wurde nach der wirtschaftlichsten und effektivsten Lösung gesucht. Es waren vier Lösungen ausgearbeitet worden, welche einen Umbau des Unterbaues und eine gesicherte Gleislage erwirken sollten. Diese Varianten sahen den Einbau von Betonfertigteilen, von einer Asphalttragschicht, von Hartschaumstoffplatten und von einer Planumsschutzschicht vor. Der Zeitraum für die Sanierung wurde bei diesen jeweils mit sechs langen Wochenendsperren geplant.

Die fünfte Variante war die Verfestigung des Untergrundes mit Consolid und die gleichzeitige Ableitung des Oberflächenwassers in das Entwässerungssystem durch die nun geschaffene „wasserableitende Schicht". Als Zeitraum für den Einbau wurde eine lange Wochenendsperre vorgesehen (Abb. 4).

Schlussendlich entschieden sich die Wiener Linien für die Lösung mit Consolid. Einige der Gründe waren:

- Bauzeit: Eine Wochenendsperre anstelle von sechs Wochenendsperren,
- kaum Abtransport von Bodenmaterial Unterbau,
- kein Antransport von neuem Bodenmaterial Unterbau und
- Verwendung der durch Consolid verbesserten Tragschicht als Entwässerungsschicht.

Die Stärke des zu verfestigenden Bodens wurde aufgrund der vorweg durchgeführten Laboruntersuchungen und der vorgegebenen Lastableitung mit 50 cm festgelegt. Der zu verfestigende Boden war im ersten Schritt mit Kalk zu durchmischen um die Bodenfeuchte an das Proctor Optimum heranzubringen (Abb. 5). Anschließend wurden 0,5 l C444 je m^2 aufgesprüht, danach erfolgte das exakte Ausbringen der pulverförmigen Komponente Solidry im Ausmaß von 15 kg/m^2 mithilfe eines Bindemittelstreuers. Jetzt kam die selbstfahrende Bodenstabilisierungsfräse der Firma Wirtgen zum Einsatz, welche 50 cm Boden in einem

Abb. 5: Proctoroptimum durch Kalkeinfräsung

Arbeitsgang durchmischte. Abschließend wurde das gewünschte Dachprofil mithilfe eines Graders hergestellt und mit einer Polygon- und Glattmantelbandage Walztechnik verdichtet (Abb. 6).
Auf diese so verfestigte Tragschicht kam ein Geotextil, auf welches der Schotteroberbau mit 30 cm Mindeststärke und Betonschwellen aufgebracht wurde.

Langfristig geringere Unterhaltungskosten

Consolid Bodenverfestigungstechnologie unterscheidet sich sehr wesentlich von den gängigen Zement- bzw. Kalkstabilisationen: neben der frühhochfesten Verfestigung wirkt das System mechanisch hydrophob, wodurch die verbesserte Bodenschicht nun frei von Wasserdurchdringung bleibt. Dies bedeutet geringfügige Mehrkosten gegenüber den gängigen Bodenverbesserungen, jedoch mit langfristig geringeren Unterhaltungskosten und somit höherer Verfügbarkeit, da eine wesentlich bessere Verfestigungsqualität erreicht wird.
Dies ist ein wesentlicher Vorteil, der in Zeiten von Nachhaltigkeit und LCC-Betrachtungen theoretisch vorliegt. Die tatsächlichen Entscheidungs- und Verantwortungsstrukturen der meisten Auftraggeber, die in der Regel eine Trennung zwischen Neubau und Erhaltung haben und die jeweils über jährliche Investitionsbudgets bzw. Erhaltungsbudgets verfügen, reduzieren den positiven Effekt solcher LCC-Betrachtung bzw. Nachhaltigkeit in der Praxis. Erst die Bekenntnisse der Betriebe

Abb. 6: Einfräsen Consolid und Verdichtung

Wir freuen uns auf Ihren Besuch beim 2. iaf Kongress!
20. - 21. Mai in Münster

voestalpine BWG GmbH
www.voestalpine.com/bwg

voestalpine Schienen GmbH
www.voestalpine.com/schienen

voestalpine
EINEN SCHRITT VORAUS.

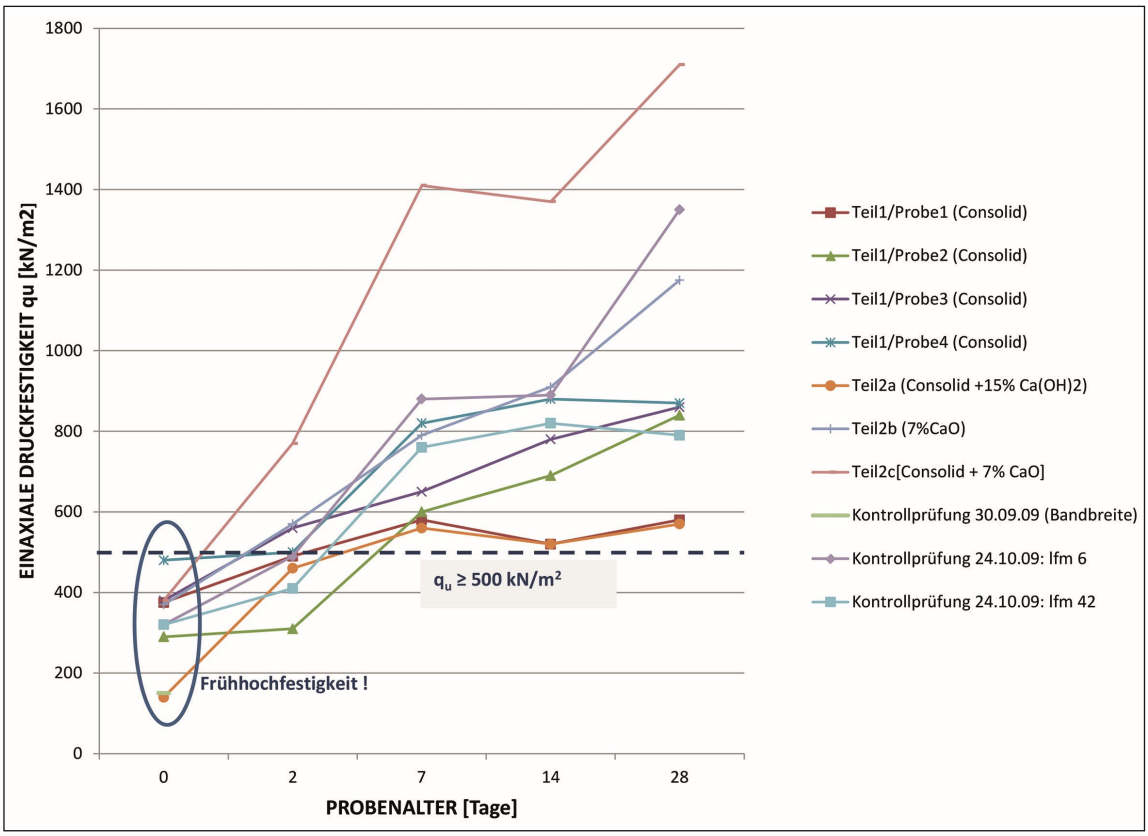

Abb. 7: Einaxiale Druckfestigkeit, Einfluss Zeit- und Zuschlagsmenge

zu langfristig orientiertem Handeln und die Schaffung der hierfür geeigneten Organisations- / Budgetstrukturen wird nachhaltige Kostenoptimierungen für diese und die Nutzer der Verkehrsflächen zeigen.

Beispielhafte Laboruntersuchungen

Im Folgenden soll die Festigkeitszunahme durch die Verwendung von Consolid anhand von zwei Beispielen gezeigt werden. Beim Projekt U6 der Wiener Linien, wie oben beschrieben, zeigten sich die in Abb. 7 dargestellten Steigerungen der Druckfestigkeiten. Auffallend und auszeichnend für den verbesserten Boden ist hierbei die festgestellte und in Abb. 7 dargestellte Frühhochfestig-

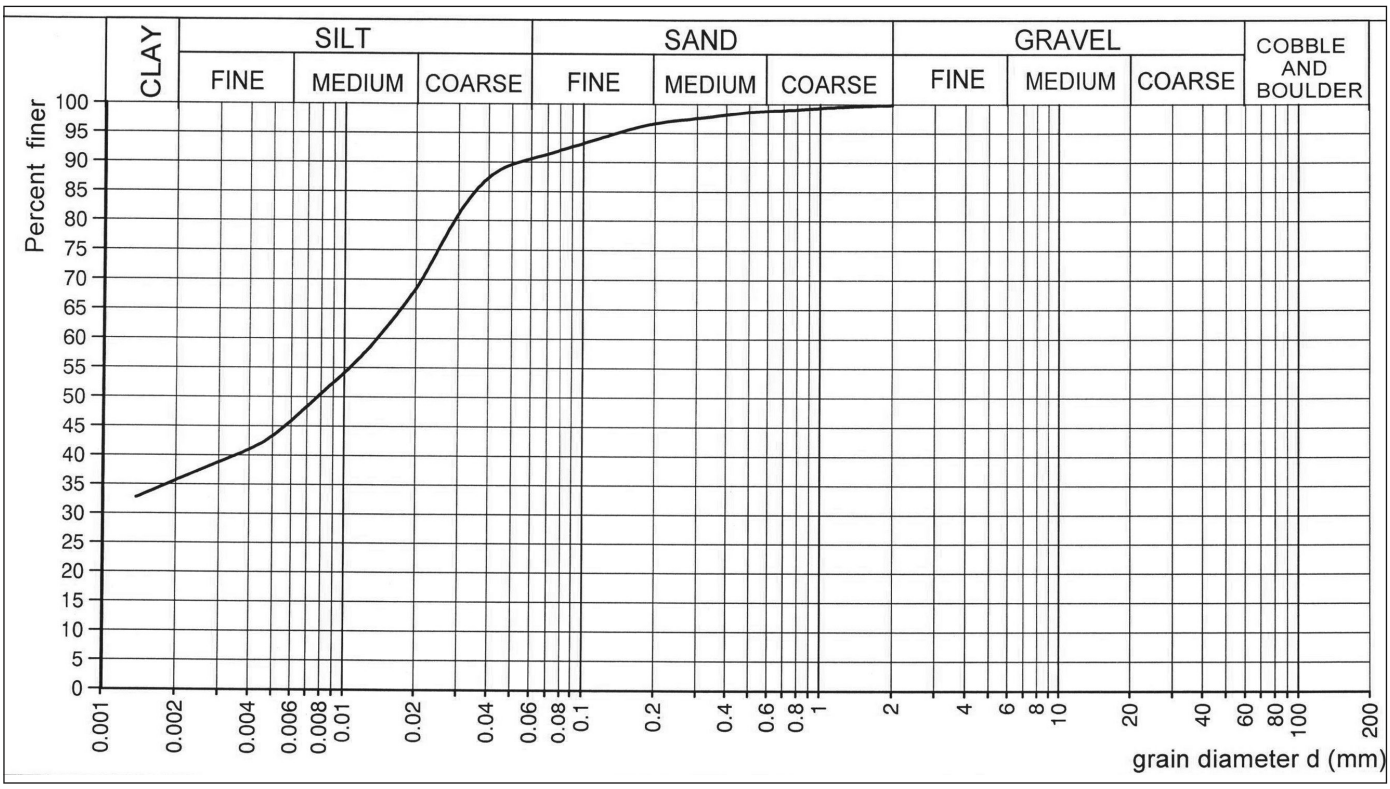

Abb. 8: Sieblinie Bodenprobe Kolubara

keit. Der hierbei untersuchte Boden war schluffiger Ton bei den Proben S1 und S4 und toniger Schluff bei den Proben S2 und S3. Als die Probe 2 mit Kalk zu Proctor Optimum geführt wurde, ergab sich die beste einaxiale Druckfestigkeit nach dem Einsatz von Consolid.

Die Untersuchung eines anderen Labors ergaben bei einer Sieblinie laut Abb. 8 Druckfestigkeiten laut Tab. 2, diese zeigen, dass der natürliche Boden 24 Stunden nach dem Einmischen des Bodenverfestigungssystems seine Festigkeit gegenüber dem Ausgangszustand auf das 7,5-fache erhöht hat.

Zeit	natürlicher Boden	mit Consolid verbessert	nach 2 h	nach 4 h	nach 8 h	nach 24 h
Druckfestigkeit [kPa]	266,5	328,4	546,1	665,5	723,2	2014,7

Tab. 2: Einaxiale Druckfestigkeit zu Bodenprobe Kolubara

LITERATUR

[1] Technisches Merkblatt Consolid, BBT Trading & Consulting GmbH

[2] GA-U6-Liebenschacht-2006-01-08-mit-Anhang-Consolid, TU Wien

[3] *Adam, D.:* Untergrundsanierung von Bahnstrecken im Betrieb, Geotech Adam, TU Wien bi.geo

[4] Testing report No. G-0049/14, 20. Juni 2014, IMS The Laboratory for Roads and Geotechnics

[5] Bodenbehandlung mit hydraulischen Bindemitteln, Wirtgen

Dr. Günther Koller

Geschäftsführer
koocoo technology & consulting GmbH, Wien
guenther.koller@koocoo.eu

Zusammenfassung

Frühhochfeste Bodenverfestigung mit Consolid

Das hydrophobe Zweikomponenten Bodenverfestigungssystem Consolid bietet für Böden mit hohem Feinkornanteil (Tone/Schluffe) eine schnelle Festigkeitszunahme und eine wesentliche und nachhaltige Reduzierung der Wasserdurchlässigkeit. Seit den 1970er Jahren kommt diese Technologie im Bereich von Straßenbau, Eisenbahnbau, Verkehrsflächenbau und Wasserbau international erfolgreich zum Einsatz. Das System verringert die Wasserdurchlässigkeit des Bodens sehr wesentlich, sodass die verbesserte Bodenschicht, wie in Wien am Beispiel der U6, auch als „Abdichtungsschicht" genutzt werden kann. Das System verfestigt gering belastbare Böden sehr rasch und macht sie unmittelbar nach der Bearbeitung befahrbar.

Summary

Fast solidifying highly resistant soil consolidation with Consolid

The hydrophobic two-component soil consolidation system Consolid achieves a fast increase of the resistance and a substantial and sustainable reduction of the water permeability for soils with a high proportion of fines (clays and slits). This technology has been successfully used in road, railway, traffic area and hydraulic construction. The system significantly reduces the hydraulic permeability of the soil, so that the improved soil layer – as for example at the U6 metro line in Vienna – also serves as a waterproofing layer. The system solidifies lightly loaded soils very quickly and allows for driving over immediately after treatment.

GOLDSCHMIDT
THERMIT GROUP

120 JAHRE LÜCKENLOSER ERFOLG

1895 erhält Hans Goldschmidt das „Kaiserliche Patent" auf sein aluminothermisches Verfahren – und startet damit eine neue Zeitrechnung im Eisenbahnwesen: die der lückenlos verschweißten Schiene. 120 Jahre später ist die Goldschmidt Thermit Group dank ungebremster Innovationskraft Weltmarktführer mit dem Thermit®-Verfahren und global erfolgreich mit einem breiten Leistungsspektrum rund ums Gleis.

RAIL JOINING | RAIL SERVICES | MEASUREMENT | TOOLS & MACHINES | EQUIPMENT

www.goldschmidt-thermit.com