

## Aus Bodenabfall wird Bodenbaustoff

Über ein neues Verfahren, bindige Böden im Kanalbau zu nutzen – ein Erfahrungsbericht von Ernst J. Kronenberger

**PERL. Durch Forschung, Entwicklung und Erprobung ist ein neues Verständnis im Umgang mit bindigen Böden entstanden. Die Erkenntnisse über die Bodenchemie ermöglichen es, bindige Böden, die bis dato als nicht wieder verwendbar galten, zu Bodenbaustoffen mit dem jeweils geforderten Proctor- und Tragwerten für Kanal- und Rohrleitungsbau, für den Straßenbau, für Bauwerkshinterfüllung und zur Herstellung von Bauwerkstragungen mit Tragwerten bis zu 200 MN/m<sup>2</sup> zu nutzen. Entwickelt hat das Verfahren Ernst J. Kronenberger, das aufgrund seines Rationalisierungseffekts, der einfachen Vorgehensweise und der hohen Qualität der Gewerke auf breite Akzeptanz in der Bauwirtschaft stößt. Nicht zuletzt entspricht es den Vorgaben des Kreislaufwirtschaftsgesetzes.**

Auf der Suche nach einer Lösung zur Aufbereitung und Wiederverwendung bindiger Böden im Kanal- und Rohrleitungsbau, hat Kronenberger dabei auf eine ursprünglich aus Finnland stammende Technik zurückgegriffen, die entwickelt worden war, um Waldböden zu brauchbarem Humusboden zu machen und zur Kompostierung von Bioabfällen zu nutzen. 1996 wurden mit der Firma Uhrig aus Geisingen die ersten Pilotprojekte mit Erfolg durchgeführt. Analog zum Straßenbau wurde mit zwei bis 2,5 Prozent Mischbinder gearbeitet. Bald stellte sich heraus, dass bindige Böden durch ihren Quarzgehalt hohen Verschleiß verursachen, so dass eine Weiterentwicklung des Schaufelseparator erforderlich war. Gleichzeitig wurde dabei deutlich, dass eine Beratung der Firmen unumgänglich ist und dass die Kanalbaukolonne geschult werden muss. Dazu wurde eine bestimmte Vorgehensweise entwickelt mit garantierten Leistungsdaten, die auch von den Unternehmen bei der Erarbeitung von Nebenangeboten genutzt werden. Zusätzlich gelang es, durch die Nutzung der dynamischen Lastplatte ein empirisches Vorgehen zur Kontrolle der eingebauten Böden zu entwickeln.

Doch dann trat eine gewisse Ernüchterung aufgrund eines Artikels ein, den der Verband der deutschen Kalkindustrie 1991 veröffentlichte. Daraus ging hervor, dass ein mit zwei Prozent Feinkalk behandelter bindiger Boden durch eine chemische Reaktion (puzzolanische Reaktion) zu einer Bodenklasse sechs bis sieben (felsig) wird. Damit begann die Suche nach einer Lösung zur Vermeidung dieser Reaktion, da ein derartiges Verhalten der Böden nicht akzeptiert werden kann. Man stelle sich vor, dass bei Reparaturen oder Hausanschlüssen und so weiter, Leitungen und Rohre mit dem Abbruchhammer freigelegt werden müssen. Abgesehen davon, dass die Spätfolgen, die durch Austauschmassen verursacht werden, noch viel gravierender wären, wie eine Untersuchung der Stadtwerke Stuttgart und der Universität Karlsruhe bereits Ende der 1980-er Jahre feststellte.

Anlässlich eines Treffens mit dem französischen Wissenschaftler Dr. Siffert, der zehn Jahre Grundlagenforschung über die chemische Reaktion von Calciumhydroxid mit den Hauptbodenelementen wie Silicate und Tonmineralien betrieben hatte, wurde klar, dass die Lösung in der Beeinflussung der puzzolanische Reaktion zu suchen war und damit auch eine Abkehr von der rein physikalischen Vorgehensweise der Bodengutachter. Denn durch hohen Kalkzusatz (Löschkalk) wird dem Boden Feuchte entzogen, um die nach den technischen Regelwerken geforderten Proctowerte zu erreichen. Dabei wird die puzzolanische Reaktion vollkommen außer Acht gelassen. Die puzzolanische Reaktion geht über fünf Phasen, bei der in der ersten Phase ein durch aus Kalk- und Bodenfeuchte entstandenes Calciumhydroxid eine Verbindung mit den Silikaten und Tonmineralien eingeht und ein Pseudosand entsteht. Danach folgen weitere Phasen, die sich im Nanobereich mit Ionenaustausch abspielen bis zur Verfälschung (Bodenklasse sechs bis sieben).

Je nach chemischer Zusammensetzung verläuft die erste Phase innerhalb von drei bis sieben Tagen. Bei Praxisversuchen und technischer Begleitung von vielen Projekten wurde festgestellt, dass durch eine entsprechende Dosierung schon nach wenigen Tagen je nach Bedarf beim Kanalbau zum Beispiel mit 0,25 Prozent Bindemittelzusatz problemlos die nach der ZTVE-StB97 geforderten 45MN/m<sup>2</sup> auf dem Planum erreicht wurden. Außerdem werden bei einer Zudosierung von zwei Prozent Bindemittel bei einer Auffüllung beispielsweise für eine Kläranlage 120 bis 140 MN/m<sup>2</sup> erzielt, un-

abhängig vom Feuchtegehalt der Böden. Wobei davon ausgegangen wird, dass die Böden eine natürliche Feuchte zwischen 18 Prozent und 23 Prozent haben. Diese Reaktion lässt sich einfach erklären: Böden, die zu einem Pseudosand werden, verlieren ihr thixotropes Verhalten und erreichen leicht gute Proctowerte.

Der Grund für dieses Verhalten durch Energieeintrag beim Verdichten sind die Tonmineralien, die ähnlich wie Bentonit (Bentonit besteht aus Tonmineralien) sich im Ruhezustand stabilisieren, dagegen bei Energieeintrag den Boden plastisch werden lassen. Insofern ist auch bei zu gering dosierten Böden im Kanalbau acht zugeben, dass keine „Überverdichtung“ auf 103 Proctor erfolgt, da, wie in der ZTVA gefordert, im Graben keine höheren Werte gefordert werden „als in der Umgebung des Grabens herrschen“ (ZTVA-Seite 14 Abschnitt 1.6.1). Die geschilderten Erkenntnisse wurden etwa zur gleichen Zeit gewonnen, in der Professor Karl Josef Witt von der Bauhaus-Universität Weimar ebenso auf das chemischen Verhalten der Böden hingewiesen wird. Auch wird in diesem Zusammenhang der Begriff „Bodenbaustoff“ geprägt.

In die Praxis umgesetzt, steht das Verfahren Kronenberger für die Herstellung von Bodenbaustoff. Dazu gehören die R.C.-Bodenklasse I, II und III. Bei der R. C.-Bodenklasse I bleibt der Boden dauerhaft grabfähig und entspricht den Regelwerken nach ZTVE-StB97 und ZTVA-StB97. Die R.C.-Bodenklasse II eignet sich zur Bauwerkshinterfüllung, für Anrampungen und als Auffüllung für Straßenbau und entspricht den Regelwerken der ZTVE-StB97. Die R.C. Bodenklasse III bietet sich zur Herstellung einer gründungsfähigen Auffüllung für Industrie-, Wohnungs- und Ingenieurbauten an.

### Böden vor Feuchtigkeit schützen

Die Verdichtung der Böden ist grundsätzlich mit niederfrequenten Verdichtungsgeräten (30 Hz) vorzunehmen. Die Böden verändern ihre Konsistenz nicht, auch bei längerer Lagerzeit und sind bei Aufbrucharbeiten wieder einbaufähig. Auf Baustellen zwischengelagerte Böden sind vor Feuchtigkeit durch Abdeckung zu schützen. Soll der Boden grabfähig bleiben, so muß der pH-Wert des aufbereiteten Bodens höchstens elf oder niedriger sein. Soll der Boden durch die puzzolanische Reaktion zur Bodenklasse sechs bis sieben werden, wird der pH-Wert bei mindestens elf oder größer belassen.

Die unterschiedliche Reaktion der Böden bei der Verbesserung mit reinem Weißfeinkalk resultiert aus den unterschiedlichen Anteilen an Tonmineralien. Der Hauptbestandteil der bindigen Böden sind die Silikate, wobei der Tonmineralgehalt bei den meisten Böden zwischen vier und 17 Prozent beträgt. Bei einem relativ hohen Tonmineralgehalt findet die erste Phase zum Erreichen der optimalen Tragwerte innerhalb von vier bis sieben Tagen statt. Bei geringem Tonmineralanteil wird dieser durch Portlandzementzugabe, dessen Puzzolane aus hochreaktiven Tonmineralen bestehen, ausgeglichen. Das so zugegebene Kalk-Zementgemisch bezeichnet man als „Mischbinder“, der in Verhältnissen Kalk-Zement als C70; C50; C30 verwendet wird, wobei C70 beispielsweise 70 Prozent Kalk und 30 Prozent Zement enthält.

Das Verfahren Kronenberger trägt diesen Erkenntnissen Rechnung und besteht aus folgenden Verfahrensschritten, um einen Bodenbaustoff herzustellen: Durch eine chemische Analyse wird der Silikatanteil und der Tonmineralanteil im Boden festgestellt, so dass der entsprechende Mischbinder fest-

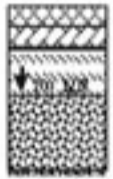

gestellt werden kann. Die Zudosierung der Bindemittel wird durch empirisches Vorgehen beziehungsweise durch Anlegen eines Testfeldes ermittelt, besonders bei der Erfordernis hoher Tragfähigkeit als Gründungsfäche. Bei Kanalarbeiten wird die Zudosierung soweit abgesenkt, dass die nach ZTVE-StB97 (45MN/m<sup>2</sup>) geforderten Werte nicht wesentlich überschritten werden. Der pH-Wert des Bodens wird überprüft. Für Kanalarbeiten

wird durch hohen Aufschluss durch den Schaufelseparator überschüssiges Calciumhydroxid durch das in der Luft enthaltene CO<sub>2</sub> neutralisiert. Ein pH-Wert von weniger als elf zeigt an, dass kein reaktionsfähiges Calciumhydroxid mehr vorhanden ist, um eine weitere chemische Reaktion mit Bodenpartikel einzugehen. Der Boden bleibt auf Dauer grabfähig. Durch höhere Zudosierung (maximal vier Prozent) wird ein Überschuss

an Calciumhydroxid erreicht. Bei einem pH-Wert mehr als elf wird der Boden innerhalb von rund 200 Tagen zu einer Bodenklasse fünf bis sechs mit Tragwerten von größer als 200MN/m<sup>2</sup>. Durch die spätere Entwicklung zu Bodenklasse sechs bis sieben nehmen die Tragwerte weiter zu. Durch den Kalk bleibt der Boden bei Flächenverbesserung elastisch. Bei Setzungen des Unterbodens können zwar Mikrorisse entstehen, durch die ständig weitergehende puzzolanische Reaktion schließen diese sich jedoch wieder. Bei der Stabilisierung mit reinem Zement führen Untergrundsetzungen zu Brüchen in den stabilisierten Flächen, die oftmals zu erheblichen Spätfolgen führen.

Damit das Verfahren zum Stand der Technik wird, gehört zum einen im Zuge der Überarbeitung zur Europäisierung entsprechend der DIN EN 1610 des DWA-Arbeitsblattes A139, das Verfahren in die Regelwerke aufzunehmen. Dies ist dringend erforderlich um unabsehbare Spätfolgen durch die Aushärtung kalkbehandelter Böden zu Bodenklasse sechs bis sieben zu verhindern. Zum anderen tragen zahlreiche Projekte, die in diesem Jahr angestoßen wurden, dazu bei, das Verfahren bekannter zu machen. Unter anderem wurde ein Patent angemeldet, wonach durch das Verfahren bindige Böden zu hochtragfähigen Frostschutzschichten gemacht werden können. Mittlerweile sind auch 70 Kanal- und Tiefbauunternehmen von Kronenberger geschult und zertifiziert worden, die erfolgreich im Straßen- und Tiefbau tätig sind.

### Vergleich des Schichtaufbaus (Bauklasse II)

Bauweise nach Verfahren Kronenberger	Konventionelle Bauweise
 <p>4 cm Deckschicht 8 cm Bit. Tragschicht 10 cm Schotter/Drainschicht 50 cm Frostschutz-Tragschicht</p>	 <p>4 cm Deckschicht 8 cm Bit. Tragschicht 14 cm Bit. Tragschicht 24 cm Frostschutzschicht 30 cm Bodenstabilisierung</p>
<p>Bauweise nach Verfahren Kronenberger mit hochtragfähiger Frostschutzschicht und bituminöser Trag- und Deckschicht als PMA-(polymermodifizierter Asphalt mit PR-Plast 5)</p>	<p>Konventionelle Bauweise mit stabilisiertem Planum</p>
<p><b>Preiskalkulation nach momentanem Standard (Ruhegebiet):</b></p>	
<p>Bauweise nach Kronenberger</p>	<p>28,07 €/m<sup>2</sup></p>
<p>Konventionelle Bauweise mit Stabilisierung des Planums</p>	<p>48,50 €/m<sup>2</sup></p>
<p>Preisdifferenz pro m<sup>2</sup> 20,43 €/m<sup>2</sup> = 49 %</p>	

**Beispielrechnung für eine Strasse, die für 500 Lkw pro Tag ausgelegt ist. Hier bedarf es nur eines dünnenschichtigen Schotters und Asphaltaufbaues, wodurch ein Einsparungseffekt von rund 48 Prozent entsteht.**

Grafik: Kronenberger

### Anzeige



**NordBau: 07.–12.09.2006**  
in Neumünster, Freigelände Hamburger-/  
Flensburger-/Osnabrücker Straße F 1501

**Galabau: 13.–16.09.2006**  
in Nürnberg, Halle 7 Stand 7-302

## Unsere 42.000 Maschinen und Geräte sind immer in Rekordzeit zur Stelle.

Kaum ist Ihr Auftrag bei MVS Zeppelin The Cat® Rental Store eingegangen, schon bringt unser Team die Technik zu Ihnen auf den Weg. Ob Baumaschinen oder -geräte, Baustelleneinrichtungen oder Fördertechnik: Unsere Mietflotte befindet sich auf höchstem technischen Niveau und ist dank datenbankgestützter Logistik optimal verfügbar. Besuchen Sie uns einfach in einer unserer Mietstationen, denn bei über 120 Standorten bundesweit ist sicher auch einer in Ihrer Nähe.



**SOFORT MIETEN! 01805-88 88** 0,12 €/Min. [www.mvs-zeppelin.de](http://www.mvs-zeppelin.de)