



Bodenverbesserung im Kanalbau

Dellschau-Solid Bodenvermörtelung Neuer Vortrag am 14.2.2003

Einleitung

In den Vorschriften für den Kanalbau werden auch die Verfüllungsmaterialien abgehandelt, mit denen sich mein heutiger Vortrag auseinandersetzt. Wichtig sind aber eigentlich nur die EN 1610 und da wir uns meistens im Bereich von Strassen befinden die ZTVE-StB 95 und die ZTVA-StB 97. Bei einer Durchsicht aller drei Werke werden Sie verblüfft feststellen, dass der Aushubboden wieder verwandt werden soll. Das sehen wir an der Baustelle meist anders. Der Aushubboden wird abgefahren und Füllkies oder ähnlich wertvolle Rohstoffe werden angeliefert.

Diese Arbeitsweise mag einem Baumenschen aus dem Mittelmeerraum wie eine ungeheure Ressourcenverschwendung erscheinen, sie hat sich aber den regionalen Witterungsbedingungen und der Geologie folgend entwickelt. Weder fällt bei uns beim Aushub Füllboden der Verdichtbarkeitsklasse V 1 an, noch können wir uns auf längere Trockenperioden verlassen. Vielmehr fängt es meist gerade an zu regnen, wenn der extrem wasserempfindliche eigentlich verdichtet werden müsste.

Um Haftungsrisiken auszuschließen, alle Vorschriften erfüllen zu können und last but not least um eine eindeutige Ausschreibung ohne wesentliche Nachträge zu erhalten, arbeiten wir in unserem humiden Klima mit einer Zulieferung von verdichtbaren Böden beim Kanalbau.

Nun bietet die Bodenverbesserung mit Bindemitteln neue und überzeugende Möglichkeiten Kosten einzusparen. Aufgrund der neuen Maschinen, die in den späteren Vorträgen näher dargestellt werden, lässt sich diese Arbeitsweise erfolgreich im Kanalbau anwenden. Im Folgenden möchte ich die Grundlagen darstellen.

Vorschriften

Meist wird die Bodenverbesserung im Kanalbau nicht ausgeschrieben. Das bietet Ihnen als Unternehmer die Möglichkeit über ein Nebenangebot die kostengünstigere Alternative aufzuzeigen, und damit zu einem Auftrag zu kommen.

Über die juristischen Probleme des Nebenangebotes hören Sie später noch den Vortrag von Herrn Dr. König. Ich möchte hier nur kurz auf die praktischen Probleme eingehen. Wenn man eine Alternative anbietet, kommt gleich die Frage nach der Gleichwertigkeit der neuen Arbeitsmethode und den entsprechenden Nachweisen, Erfahrungswerten usw. Ich zeige Ihnen hier eine Zusammenstellung aller Vorschriften, die sich mit der Bodenverbesserung mit Bindemitteln befassen, ohne dass ich für die Vollständigkeit garantieren möchte, s.a.Anl.1. Erst in der letzten Woche hat mir Herr Dellschau eine RAL-RG 501/4 übersandt, die sich mit der Aufbereitung zur Wiederverwendung bindiger, nicht kontaminierter Böden befasst. Obwohl diese Bestimmungen schon im Mai 1998 aufgestellt wurden, waren sie mir bis dato unbekannt. Allerdings enthält sie auch außer einer Einteilung in 4 verschiedene Klassen keine bedenkenswerten Neuigkeiten.

Sie brauchen aber nicht zu verzweifeln, da die meisten Vorschriften unsere Bodenverbesserung im Kanalgraben nicht betreffen. Beim Kanalbau geht es ja hauptsächlich um die Verfüllzone. Sie kennen ja alle das schöne Bild aus der ZTVA-StB 97 mit den Verdichtungsanforderungen im Kanalgraben. Ich habe sie für heute einmal etwas verändert, damit das Wesentliche klarer wird, s.a.Anl.2. Die linke Seite des Bildes können Sie sofort vergessen. Wenn Sie beim Aushub einen V1-Boden finden können Sie ihn sofort wieder ohne weitere Maßnahmen wieder einfüllen. Eine Verbesserung wird nur notwendig, wenn Sie V2/V3-Böden antreffen. Für diese Bodenarten müssen aber in der Verfüllzone nur 95% der einfachen Proctordichte erreicht werden.

Wenn man vor Baubeginn an dem Aushubboden Proctorversuche durchführen lässt, kann man den erforderlichen Proctorwert unschwer und auch relativ billig anhand einer Raumgewichtsbestimmung nachweisen. Dementsprechend kann dann auch eine Eichung der Rammsonde oder der dynamischen Lastplatte erfolgen. Damit ist ein lückenloser Nachweis der Verdichtungsleistung möglich. Sollte der Auftraggeber hier noch Zweifel haben, so kann man ihn auf die ZTVA-StB 97 verweisen.

Insbesondere bei Einsatz der dynamischen Fallgewichtsplatte werden häufig Bedenken angemeldet. Diese sind aber nach Erscheinen der o.g. ZTVA-StB 97 eigentlich nicht mehr berechtigt, denn im Absatz 1.7.2.1.3 ist der dynamische Versuch als gleichwertiges indirektes Prüfverfahren gegenüber dem statischen Versuch aufgeführt und im Anhang 14 ist

genau angegeben, wie die Geräte anhand der Proctordichte zu eichen sind. Mit dem Proctorversuch sind auch die Forderungen des Merkblattes für Bodenverfestigungen und Bodenverbesserungen mit Bindemitteln der Forschungsgesellschaft für Strassenwesen abgearbeitet. Auf die einzelnen Versuche usw. gehe ich nachher noch einmal ein. Zum Schluss dieses Kapitels möchte ich als wesentlich festhalten:

Die Bodenverbesserung mit Bindemitteln dient im Kanalgraben dazu, den bindigen Boden der Verdichtbarkeitsklassen V2 und V3 auf 95% der einfachen Proctordichte zu bringen. Entsprechende Nachweise können mit unwesentlich erhöhtem Untersuchungsaufwand alle Vorschriften erfüllend geführt werden.

Praktische Anwendung der Bodenverbesserung

In diesem Kapitel möchte ich darstellen, weshalb sich ein zu nasser und verdichtungsunwilliger, bindiger Boden unter dem Einfluss von Weißfeinkalk sofort gutwillig verhält und sich mit geringem Aufwand eine ausreichende Lagerungsdichte erreichen lässt. Sie haben gerade ganz richtig gehört als ich sofort sagte. Mische ich den Boden mit wenigen Prozenten Kalk, so erfolgen 3 Sofortreaktionen.

- der Kalk wird durch das Bodenwasser abgelöscht, es entsteht dabei Wärme und das störende Bodenwasser wird dadurch teilweise verdampft.
- beim Ablöschen entsteht Kalziumhydroxid, dazu werden in jedes Kilogramm des gebrannten Kalkes 321 g Wasser eingebaut.

Da wir für die Bodenstabilisierung nur gering Kalkmengen einsetzen (etwa 1- 2 %) geht man von einer Erniedrigung des Wassergehaltes des Bodens von etwa 1 –2 % aus. Das ist relativ wenig und kann deshalb auch nicht die eigentliche Ursache für die Erfolge der Bodenverbesserung sein.

Gerade in den Straßenbauvorschriften ist immer wieder die Rede davon, dass die hydraulischen Bindemittel dazu genutzt werden, um den Wassergehalt des Bodens zu erniedrigen und ihn damit verdichtbar zu machen. Das hat dann zur Folge, dass mit steigendem Wassergehalt des Bodens umso mehr Bindemittel zugegeben werden muss. Das widerspricht allen unseren Erfahrungen, die wir in den letzten 10 Jahren gemacht

haben. Es würde auch bedeuten, dass die Kosten erheblich steigen. Viel wichtiger ist aber, dass mit dem erhöhten Bindemittelgehalt auch die Folgewirkungen zunehmen. Soviel muss hier schon festgehalten werden: bei hohen Bindemittelzugaben erhalten wir im Laufe der Zeit einen sehr festen Boden, was beim Kanalbau grundsätzlich weder angestrebt noch erwünscht ist.

Das Geheimnis des Erfolges der Bodenvermörtelung liegt in der dritten Sofortreaktion bei der Bindemittelzugabe. Die Tonminerale verändern sich und bilden größere Körner. Es verändert sich dauerhaft die Kornzusammensetzung und das hat bodenmechanische Folgen, die ich im nächsten Kapitel weiter erläutern möchte.

Bodenmechanische Veränderungen des Bodens bei Bindemittelzugabe

Schon BRAND hatte 1962 in seiner wegweisenden Arbeit festgestellt, dass bei den von ihm untersuchten drei Böden der Anteil des Schlämmkornes stark abgenommen hatte und zwar im Extremfall von 85 auf 15 %. Dieses Verhältnis stellte sich bei einem stark tonigen Boden ein, während bei einem sandigen Boden der bindige Anteil von 58 auf 33 % abnahm. Aus diesen Ergebnissen ergibt sich die einfache Schlussfolgerung, dass mit dem Tongehalt des Bodens auch die Auswirkung der Kalkzugabe zunimmt. Das ist ein kleines Wunder, da ja vor der Behandlung mit dem Tongehalt des Bodens seine Bearbeitbarkeit abnimmt. Daraus ergeben sich aber auch für den Einsatz der Bindemittel eindeutige Grenzen:

- mit Kalk erziele ich nur Wirkungen, wenn der Boden auch Tone enthält. Habe ich reinen Sand, so muss ich dann einen Zement nehmen.

Die veränderte Kornverteilung hat zur Folge, dass sich auch die Konsistenzgrenzen des Bodens verschieben und zwar so, dass bei gleichem Wassergehalt die Bearbeitbarkeit des verbessert wird. Wie nicht anders zu erwarten, ist auch hier wieder die Auswirkung bei dem stärker tonigen Boden am größten.

Am besten lassen sich die boden mechanischen Auswirkungen der Bindemittelzugabe anhand des Proctorversuches darstellen. Ich habe hier als Beispiel einen typischen Lehmboden, bei dem verschiedene Kalkmengen zugegeben wurden, s.a.Anl.3.

Die Auswirkungen der bodenmechanischen Veränderungen durch die Kalkzugabe werden hier ganz exemplarisch deutlich. Bei den Kurven gibt der Hochpunkt jeweils an, welche maximale Lagerungsdichte jeweils erreichbar ist. Dazu kann man in der x-/Wassergehaltsachse jeweils den optimalen Wassergehalt ablesen, bei dem diese maximale Lagerungsdichte erreicht werden kann. Vergleiche ich nun die vier Kurven, so zeigt sich

einmal, dass mit zunehmender Zugabe von Kalk die erreichbare Lagerungsdichte nicht etwa zu- sondern abnimmt. Das ist eine Auswirkung der Zunahme der größeren Körner in der Bodenmasse. Mit der Größe der Körner nimmt auch die Größe der Hohlräume zwischen den Körnern zu und es ergibt sich automatisch ein geringeres Raumgewicht des Bodens. Was hier zunächst wie eine rein theoretische Überlegung erscheint, hat durchaus eine praktische Bedeutung:

- Mit Hilfe des Kalkes kann ich den Boden verdichten;
es ergibt sich aber praktisch keine Massenminderung.

Das Diagramm zeigt aber noch eine weitere sehr wichtige Konsequenz. Wie Sie sehen können, verschiebt sich der optimale Wassergehalt mit steigendem Kalkgehalt zum Höheren hin. Das heißt, dass sich die maximale Verdichtung bei entsprechend höheren Wassergehalten erzielen lässt. Die Nässe im Boden wird bei der Bodenverbesserung von 3 Seiten angegriffen:

- Durch die Wärmeentwicklung wird Wasser verdampft,
- Durch die Hydratisierung wird Wasser verbraucht,
- Durch die Verschiebung des Optimalen Wassergehaltes in den nassen Bereich
- Bleibt der Boden mit höherem Wassergehalt verdichtbar.

Anmerkung: diese überzeugende Wirkung darf aber nicht dazu führen, dass man mit dem Wasser sorglos umgeht. Auch bei dieser Arbeitsweise muss man immer darauf achten, dass der Boden vor Nässe geschützt wird, sonst handelt man sich unnötige Probleme ein, insbesondere Terminverzögerungen und Nacharbeiten.

2. Einsatz der Bodenverbesserung im Unterbau

Wenn wir uns jetzt noch einmal das Kanalprofil entsprechend der ZTVA-StB 97 ansehen, so geht ein nicht unerheblicher Anteil der Grabenauffüllung in den Unterbau. S.a.Anl.4. Bei einem 3 m tiefen Graben sind das fast 30% der gesamten Verfüllung. Es ist also entsprechend attraktiv für den Geräteinsatz auch hier, den verbesserten bindigen Boden wiederzuverwenden, nur müssen dann 97% der einfachen Proctordichte sicher erreicht werden. Da diese Fläche auch erfahrungsgemäß längere Zeit offen liegen kann, bevor der Straßenunterbau eingebaut wird, reicht es auch nicht, wenn einmal unter günstigen Bedingungen ein E_{v2} -Wert von 45MN/m² einmal nachgewiesen wird. Er muss vielmehr dauerhaft vorhanden bleiben. Für diese Zone empfehlen wir deshalb eine etwas erhöhte Kalkzugabe von etwa 2%. Damit es hier nicht später zu Reklamationen oder Haftungsansprüchen kommt, empfehlen wir grundsätzlich die in der TP BF-StB Teil B aufgeführten Versuche vor Baubeginn durchführen zu lassen. Das sind vor allen Dingen Wassergehalte und Proctorversuche.

Wenn wir ein Projekt bearbeiten, dann stellen wir immer zusätzlich einige Zylinderproben her, an denen die einaxiale Druckfestigkeit ermittelt werden kann. Sie eignen sich nämlich auch sehr gut, um das Verhalten des Bodens in Verbindung mit dem Bindemittel zu prüfen. Wie schnell „zieht“ der Boden an und wie fest wird er, sind wichtige Hinweise darauf, ob eventuell ein anderes Bindemittel eingesetzt werden muss. Nach unserer jetzt über 10jährigen Erfahrung ist fast immer genug Tonanteil im Boden vorhanden, um eine auch für den Unterbau ausreichende, dauerhafte Festigkeiten zu erreichen. Auf Mischbindemittel greift man dann zurück, wenn z.B. schnell größere Festigkeiten erreicht werden müssen oder die Endfestigkeit begrenzt werden soll. Dazu hören Sie nachher noch einen Vortrag von Herrn Fischer von der Firma Dorosol.

Auf dem Unterbau sind nach ZTVE mindestens 45 MN/m² gefordert. Dieser Wert lässt sich meist schon nach einigen Stunden auf dem kalkverbesserten Boden erreichen. Nach etwa 3 Tagen hatten wir praktisch noch nie Werte unter 60 MN/m². Grundsätzlich ist das Abbinden allerdings temperaturabhängig und geht mit steigender Temperatur schneller .

Problemböden

Selbstverständlich sind die Bindemittel kein Allheilmittel für jeden Boden. Ist der humose Anteil eines Bodens zu hoch so verhindern die Huminsäuren eine Verfestigung. Allerdings haben die meisten „Mutterböden“ unter 5% Anteil und lassen sich deshalb generell mitbearbeiten, insbesondere wenn er mit humusfreiem Boden vermischt wird.

Besondere Vorsicht ist bei sulfat- und sulfidhaltigen Böden geboten. Hier kann es zu Quellerscheinungen kommen. Entsprechende Schäden sind vor allem aus dem Stuttgarter Raum im Straßenbau bekannt. Dort treten die gipshaltigen Keupermergel auf. Bei uns hier mit dem Löß und dem Lößlehm besteht dieses Risiko praktisch nicht. Man darf es aber nicht vernachlässigen. Gefahren bestehen z.B. dort, wo sulfathaltiger Bauschutt mit eingearbeitet wird. In Zweifelsfällen muss deshalb eine chemische Analyse durchgeführt werden.

Gefahren bei der Bodenverbesserung

Sie sollten sich bei dem Einsatz von Branntkalk immer dessen bewusst sein, dass es sich dabei um eine hochaktive Chemikalie handelt. Bei unsachgemäßer Anwendung kann es durchaus Verpuffungen geben. Deshalb müssen unbedingt die entsprechenden Unfallverhütungsvorschriften beachtet werden.

In letzter Zeit wird zunehmend das Risiko einer nicht erwünschten Verfestung des Bodens diskutiert. Damit will man sagen, dass aus dem ehemals matschigen Lehm Boden durch die Verbesserung die Bodenklasse 6-7 nach DIN 18300 geworden ist. Nach längerer Liegezeit tritt eine weitere Verfestigung ein. Einige Autoren gehen davon aus, dass der mit Kalk verbesserte Boden auf Dauer in die Bodenklasse 7 nach DIN 18300 übergeht und dann natürlich große Probleme bei der Wartung des Kanals verursacht. Durch diesen Prozess soll es sogar schon zur Zerstörung der Rohre gekommen sein.

Unter bestimmten Bedingungen kann sich dieses Risiko tatsächlich verwirklichen. Wir sind der Sache auf den Grund gegangen. Dazu habe ich Ihnen einmal die einaxialen Druckfestigkeiten verschiedener Böden mit unterschiedlichen Bindemitteln und –gehalten zusammengestellt, s.a.Anl.5. Bitte berücksichtigen Sie dabei, dass die Bindemittelzugaben mit 2,5 bis 5% recht hoch waren.

Nach der ISO-Norm 14689 bezeichnet man einen Fels als extrem weich, d.h. er ist mit dem Daumnagel eindrückbar, wenn die einaxiale Druckfestigkeit bis 1 N/mm² beträgt. Bis zu diesem Wert bleibt der Boden praktisch grabbar.

Wie Sie an dem Diagramm unschwer erkennen können, wird dieser Wert trotz der relativ hohen Bindemittelzugabe nur in 2 Fällen überschritten. Eine geringfügige Überschreitung ergibt sich bei einem Lehm Boden, unter dem in geringer Tiefe tertiäre Tone folgen. Daraus folgt, dass dieser Boden einen relativ hohen Tonanteil hat. Würde man hier mit geringeren Kalkzugaben arbeiten, so könnte man die Festigkeit sicher unter 1 N/mm² drücken. Das war aber bei dieser Maßnahme nicht beabsichtigt, denn wir wollten ein Planum mit möglichst hoher Tragfähigkeit herstellen und das gelang auch erfolgreich.

Einen richtigen Ausreißer zeigt ein Boden aus der Nähe von Stuttgart. Hier wirken sich wieder die besonderen Bedingungen der Keuperböden aus. Dann muss man wahrscheinlich auf andere Bindemittel ausweichen, d.h. es werden zusätzliche Vorversuche notwendig.

Zusammenfassend können wir aus unseren Beobachtungen ableiten, dass grundsätzlich bei hohen Bindemittelzugaben das Risiko einer starken Verfestigung besteht. Deshalb empfiehlt es sich immer entsprechende Vorversuche zu machen. Auf dieser Basis kann das Risiko richtig eingeschätzt und anhand der Rezeptur ausgeschlossen werden.

Solange wir uns in den üblichen Löss und Lösslehmen bewegen und für den Kanalgraben als Verdichtungshilfe den Kalk in homöopathischen Dosen zugeben ist eine unzulässige Verfestigung praktisch auszuschließen. Sie können also Ihr Nebenangebot ohne Bedenken aufstellen und abgeben. Es reicht, wenn Sie dann nach Auftragserteilung die notwendigen Versuche durchführen lassen. In diesem Programm einige einaxiale Druckversuche aufzunehmen, ist für die Bodenverbesserung in den Vorschriften zwar nicht gefordert, aber

zu Ihrer Absicherung zu empfehlen. Mit den Ergebnissen können dann auch die Bedenken des Auftraggebers zerstreut werden.

Vorteile der Bodenverbesserung und Zusammenfassung

Wie im ersten Kapitel schon einmal gesagt ist in den meisten Vorschriften grundsätzlich vorgesehen den Aushubboden wieder einzusetzen. Die Bodenverbesserung gibt uns die Mittel in die Hand das auch tatsächlich durchzuführen, da wir den Boden unabhängig von der Witterung verdichten können. Diese Arbeitsweise wird jetzt durch das Kreislaufwirtschaftsgesetz gefordert. Dadurch dass ich den Boden nicht mehr spazieren fahre und keine Kippe brauche ergibt sich natürlich eine erhebliche Kostenersparnis.

Die übliche Verfüllung mit Füllkies schafft im Unterbau der Straße automatisch inhomogene Verhältnisse, die sich bei extremen Witterungsverhältnissen in Schäden an der Straße negativ bemerkbar machen und einen erhöhten Unterhaltungsaufwand verursachen. Zurückzuführen ist das darauf, dass der Füllkies und der natürliche Lehmboden eine sehr unterschiedliche Wärmeleitfähigkeit haben. Nutze ich im Unterbau den verbesserten Lehmboden für den Kanal, so bleiben die Verhältnisse in etwa homogen und Schäden bleiben aus.

Bei entsprechender Vorbereitung und Begleitung einer Bodenverbesserung im Kanalbau können alle geforderten Kriterien der Verdichtung lückenlos erfüllt und belegt werden. Sie können also die sich daraus ergebenden Kostenvorteile in einem Nebenangebot nutzen. Einer gewinnträchtigen Projektdurchführung steht dann nichts mehr im Wege. Sollte der Auftraggeber Bedenken haben, so stehen wir Ihnen gerne für eine Unterstützung zur Verfügung.

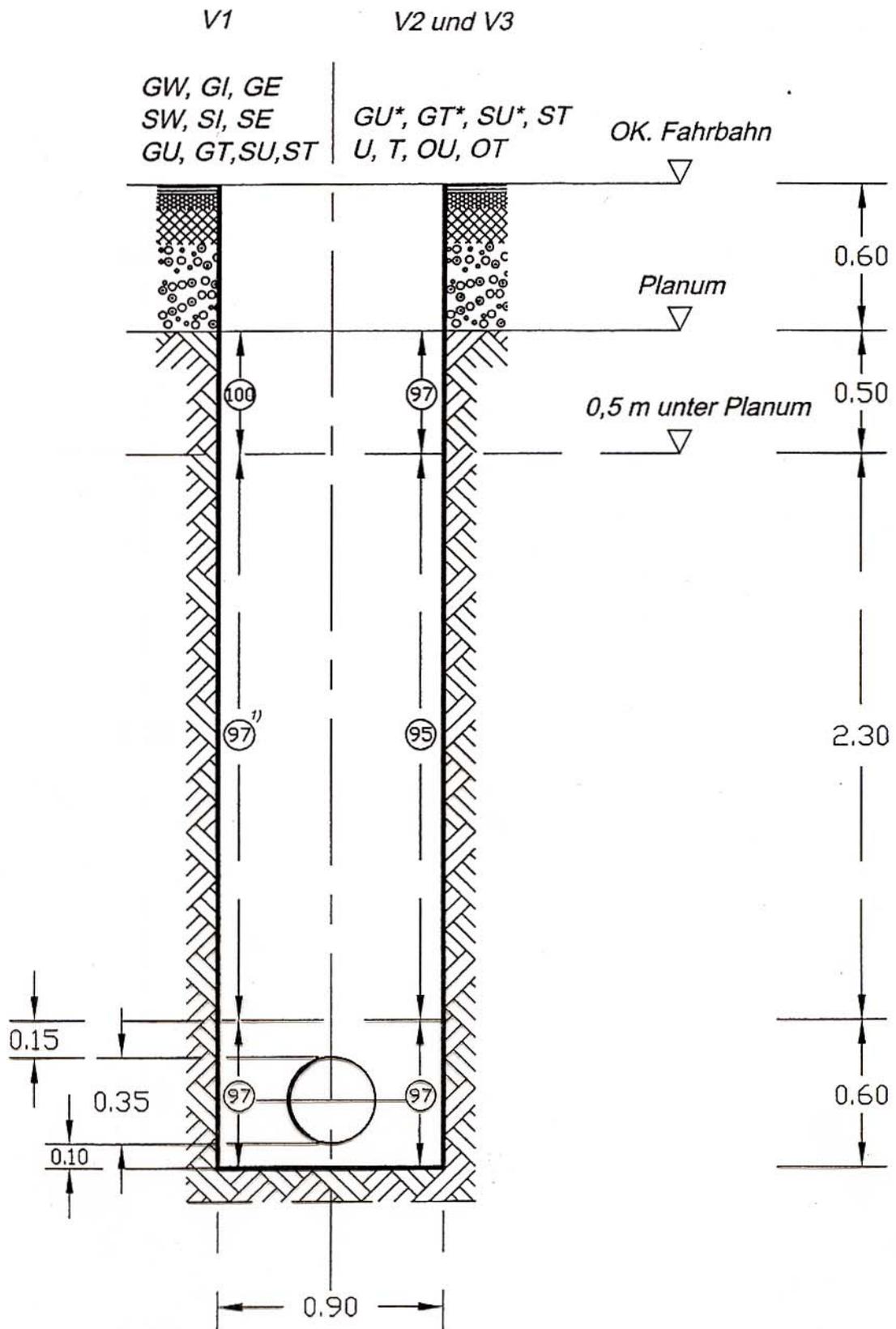
5 Anlagen.

Anlage 1

Liste der Vorschriften Bodenverbesserung,- verfestigung und hydraulisch gebundene Tragschicht

- 1. RStO 01**
Einsatzmöglichkeiten von HGT und Bodenverfestigung angegeben im Oberbau. Bodenverfestigung im Oberbau ist nur für F1-Böden zugelassen. Auch wenn gemischt und feinkörnige Böden ausreichende Festigkeit und Frostsicherheit haben. Werden im Planum (=Unterbau) die Werte nachgewiesen, so darf der frostsichere Oberbau um maximal 0,15 m reduziert werden (Kap.3).
- 2. ZTVV – StB81**
Sie entfällt seit 1995, da sie in der ZTVE-StB 94 aufgenommen wurde.
- 3. ZTVE – StB 94**
Im Kapitel 11 wird die Bodenverfestigung und – verbesserung ausführlich behandelt und für den Unterbau festgelegt.
- 4. ZTVT – StB 95**
Im Kapitel 3 wird die hydraulisch gebundene Tragschicht ausführlich dargestellt. Für Boden mit 5-15 % bindigem Anteil muß ausreichender Frostwiderstand nachgewiesen werden. In Tabelle 3.1 sind die Mindestwerte Druckfestigkeit angegeben, sowie in Kap. 3.1.6 die Prüfungen wie sie für den Oberbau gefordert sind.
- 5. ZTVA – StB 97**
Geht nicht speziell auf Bodenverbesserung oder – verfestigung ein.
- 6. TP HGT – StB 94**
Behandelt hydraulische Bindemittel im Oberbau incl. der verschiedenen Laborversuche.
- 7. TP BF – StB Teil B 11.1,11.2,11.4,11.5, 1977 bis 1991**
Hier sind die verschiedenen Eignungsprüfungen jeweils aufgeführt, so unter anderem die Druckfestigkeitsprüfung und die Frostprüfung (12 Frost-Tau-Wechsel). Daneben enthalten sie die Angaben zu den erforderlichen Kalk- oder Zementmengen, sowie zur Darstellung der Versuchsergebnisse.
- 8. TVV – LW 1980**
Hier wird nur die Bodenverfestigung als Tragschicht in landwirtschaftlichem Wegebau behandelt. Die geforderten Werte entsprechen der ZTVE – StB 94.
- 9. Forschungsgesellschaft für Straßenwesen**
Hier gibt es verschiedene Merkblätter, z.B. für die Verfestigung von Waschbergen oder Müllverbrennungaschen. Am wichtigsten ist das **Merkblatt für Bodenverfestigung und -verbesserung mit Bindemitteln (1997)**.
- 10. ATV DIN 18316 Verkehrswegebauarbeiten**
Angaben zu den Anforderungen und der Herstellung. Hier sind auch die Normen für die Bindemittel zu finden: DIN 1060-1,1164-1 und 18506.
- 11. ATV DIN 18300 Erdarbeiten**
Hier ist in Abschnitt 3.7.7 die Bodenverbesserung als „Besondere Leistung“ angegeben, s.a. Abschnitt 4.2.1.

Beispiel für den zu erreichenden Verdichtungsgrad D_{pr} in % nach ZTVE-StB 94



¹⁾ Bei Böden GW, GI, GE, SW, SI, SE, 98%

Maßstab
1 : 25

Proctorversuch

nach DIN 18127

Bestimmung der Proctordichte

Projekt-Nr. : 200896-51
Projekt : Ratiopart

Ausgeführt durch : Geol. Lab.
am : 23.01.01
Bemerkung : MP 2

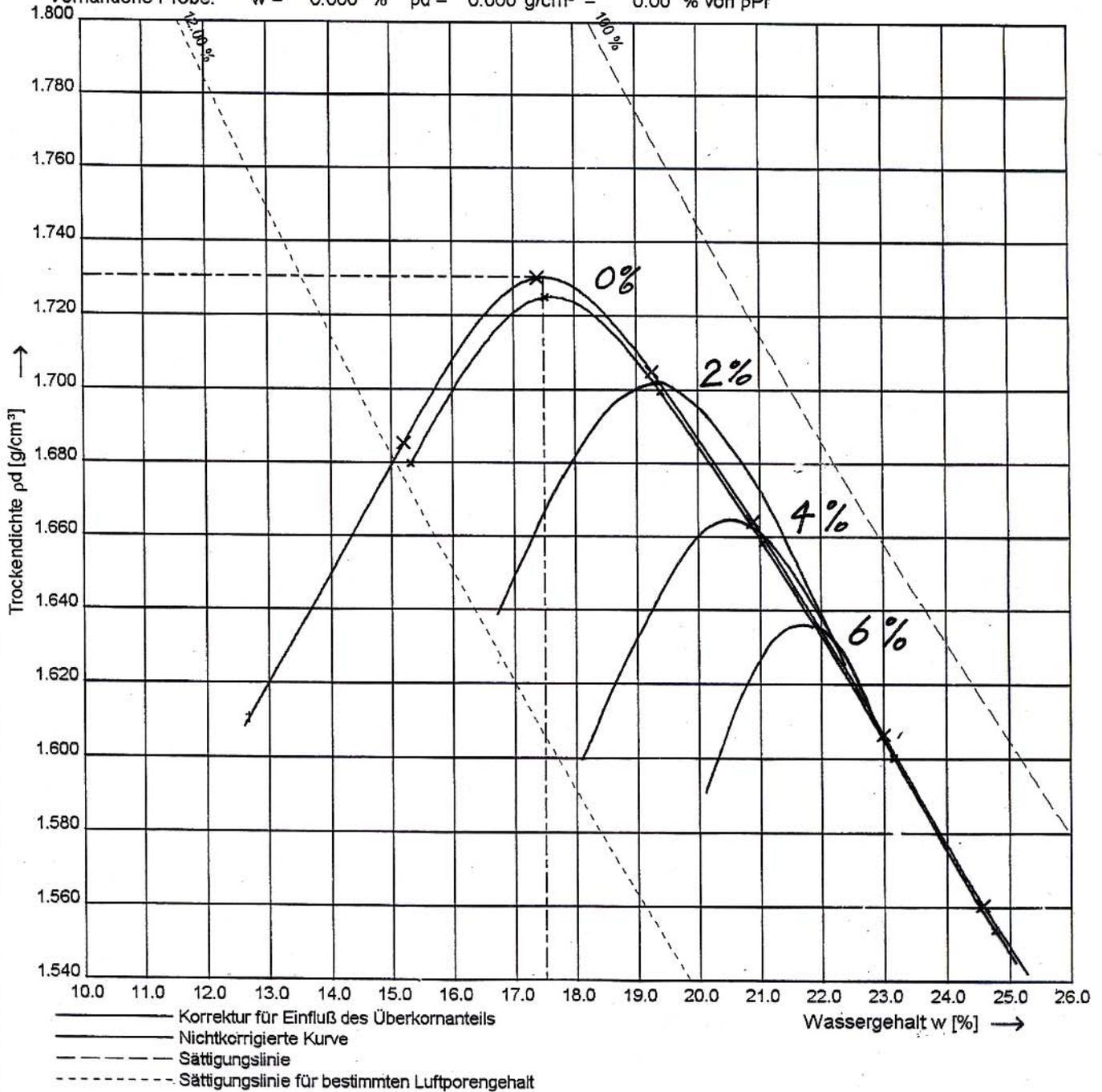
Entnahmestelle :
Station :
Entnahmetiefe :
Bodenart :

m rechts der Achse
m unter GOK

Art der Entnahme :
Entnahme am :

durch :

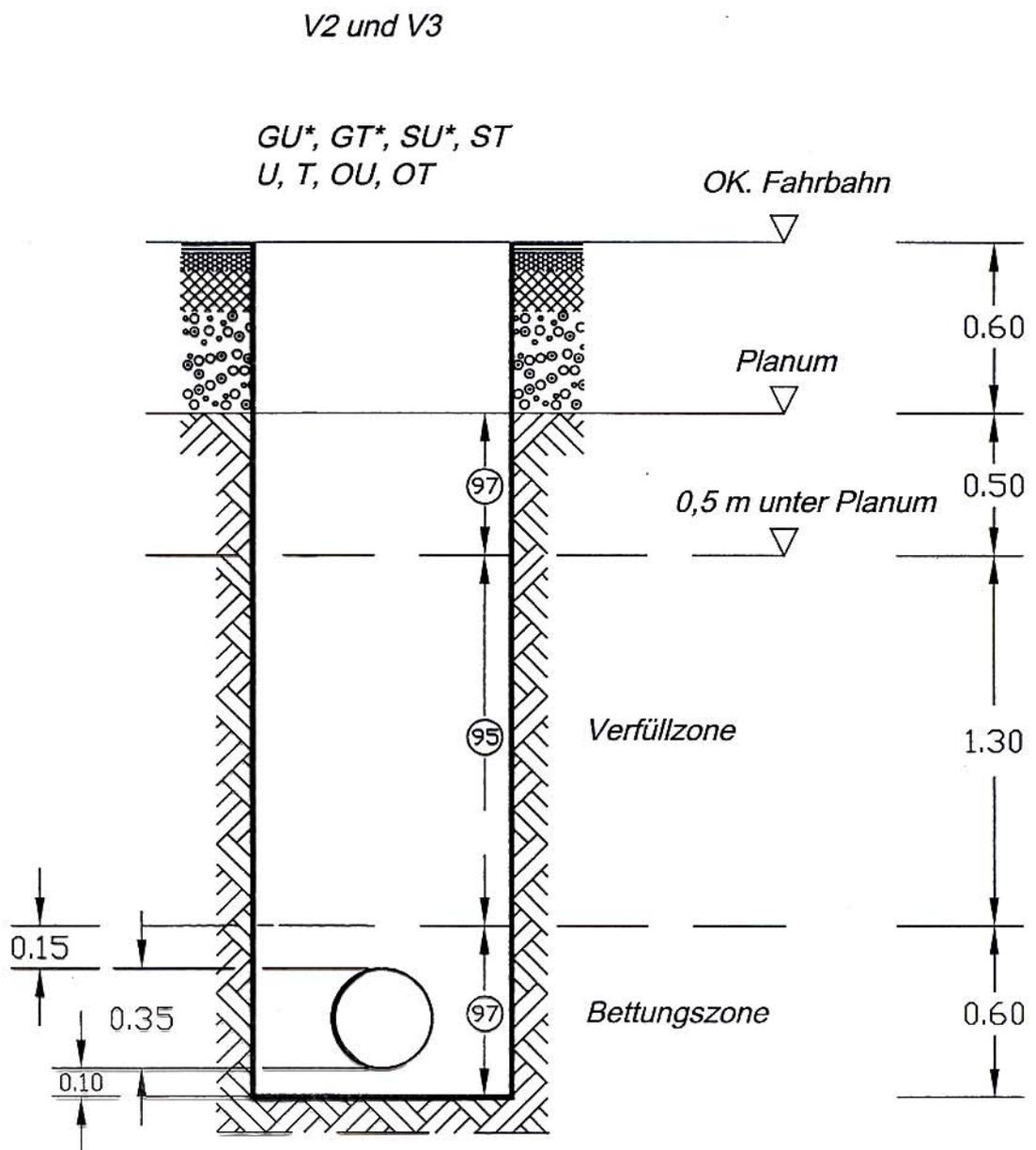
Vorhandene Probe: w = 0.000 % pd = 0.000 g/cm³ = 0.00 % von pPr



100 % der Proctordichte $\rho_{Pr} = 1.731 \text{ g/cm}^3$
0 % der Proctordichte $\rho_d = 0.000 \text{ g/cm}^3$
0 % der Proctordichte $\rho_d = 0.000 \text{ g/cm}^3$

optimaler Wassergehalt $w_{Pr} = 17.5 \%$
min/max Wassergehalt $w = / \%$
min/max Wassergehalt $w = / \%$

Beispiel für den zu erreichenden Verdichtungsgrad
 D_{pr} in % nach ZTVE-StB 94



Maßstab
 1 : 25

**Zunahme der einachsialen Druckfestigkeit ¹⁾
 in Abhängigkeit des Probenkörperalters / Bindemittelgehalts / Verdichtungsgrads**

Datum: 12.02.03

