



Baugrundverbesserung nach dem
CSV-Verfahren im Straßenbau
am Beispiel der Sanierung der Bundesstraße B32
in Altshausen, Baden-Württemberg



Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Reitmeier

Hochschule Konstanz mit Öffentlicher Prüfstelle
für Baustoffe und Geotechnik

Vorsitzender des Unterausschusses Trockenmörtelsäulen der DGGT

M. Eng. Andreas Stallhofer

Technisches Büro
Laumer GmbH & Co. CSV Bodenstabilisierung KG
Mitglied des Unterausschusses Trockenmörtelsäulen der DGGT

Dipl.-Ing. (FH) Martin Gaißmaier

Regierungspräsidium
Tübingen, Ref. 47.3 - Straßenbau Süd



veröffentlicht im Rahmen des 1. Kolloquium Straßenbau
in der Praxis am 29. und 30. September 2018 an der
technischen Akademie Esslingen



Laumer GmbH & Co.
CSV Bodenstabilisierung KG

Bahnhofstraße 8
84323 Massing
Tel.: 08724/88-900
Fax: 08724/88-770

www.laumer.de

Baugrundverbesserung nach dem CSV-Verfahren im Straßenbau

am Beispiel der Sanierung der Bundesstraße B32 in Altshausen, Baden-Württemberg

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Reitmeier

Hochschule Konstanz mit Öffentlicher Prüfstelle für Baustoffe und Geotechnik

Vorsitzender des Unterausschusses Trockenmörtelsäulen der DGGT

M. Eng. Andreas Stallhofer

Technisches Büro
Laumer GmbH & Co. CSV Bodenstabilisierung KG
Mitglied des Unterausschusses Trockenmörtelsäulen der DGGT

Dipl.-Ing. (FH) Martin Gaißmaier

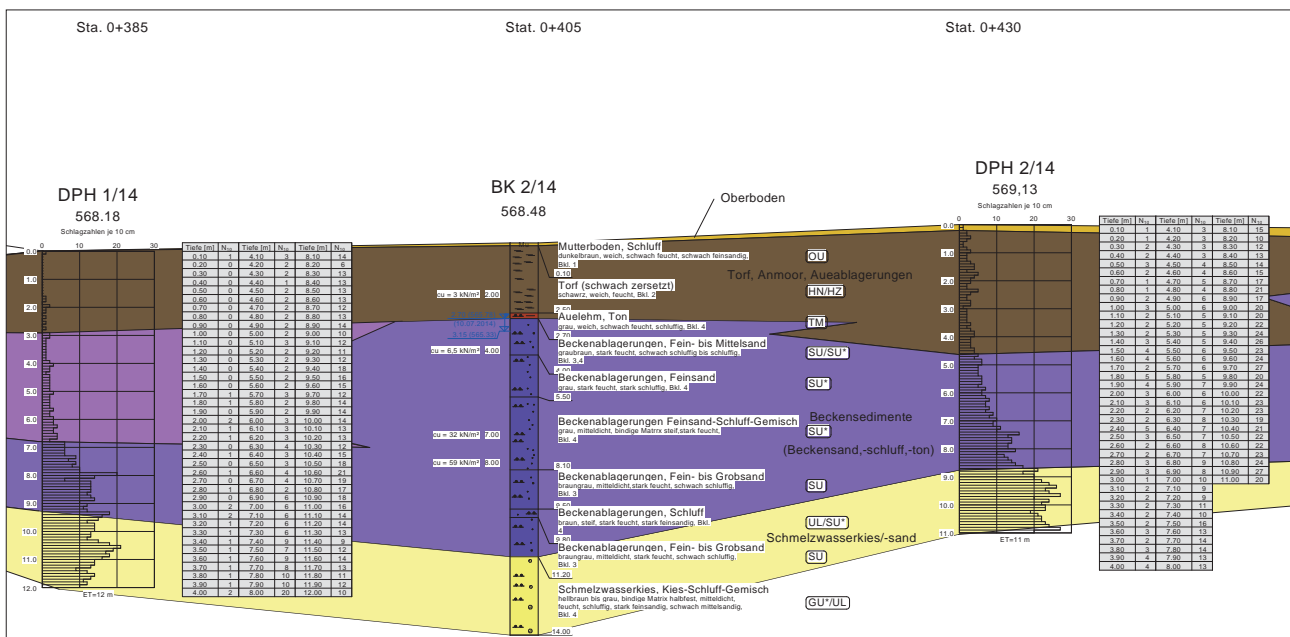
Regierungspräsidium
Tübingen, Ref. 47.3 - Straßenbau Süd

1. Bauvorhaben, Baugrundverhältnisse und Vorgaben für die Ausschreibung

Zur Verbesserung der vorhandenen Verkehrsverhältnisse wurde vom Regierungspräsidium Tübingen zwischen Altshausen und Vorsee auf einer Länge von ca. 4,3 km der Ausbau der B32 geplant.

Vorgesehen ist ein RQ 15,5 und damit eine Verbreiterung in diesem Straßenabschnitt auf drei Fahrstreifen.

Aufgrund der dort vorliegenden, sehr heterogenen und setzungsempfindlichen Baugrundverhältnisse waren Zusatzmaßnahmen für die Gründung des Straßendamms erforderlich, um die Setzungen zu reduzieren und die Tragfähigkeit zu erhöhen. In Teilbereichen dieser Straßenbaumaßnahme genügte ein Bodenaustausch von bis zu ca. 1,0 m. In weiten Bereichen steht der tragfähige Boden erst in einer Tiefe von 3 bis 8 m an, sodass hier auch aus wirtschaftlichen Gründen alternative Gründungsvarianten erforderlich sind. Im ungünstigsten Bereich der Straßenverbreiterung steht eine bis zu 6,5 m mächtige, organische Schicht aus Torf und Seeablagerung an. Darunter folgten örtlich tragfähige bindige Beckensedimente, örtlich aber auch nichtbindige Schmelzwasserkiese.



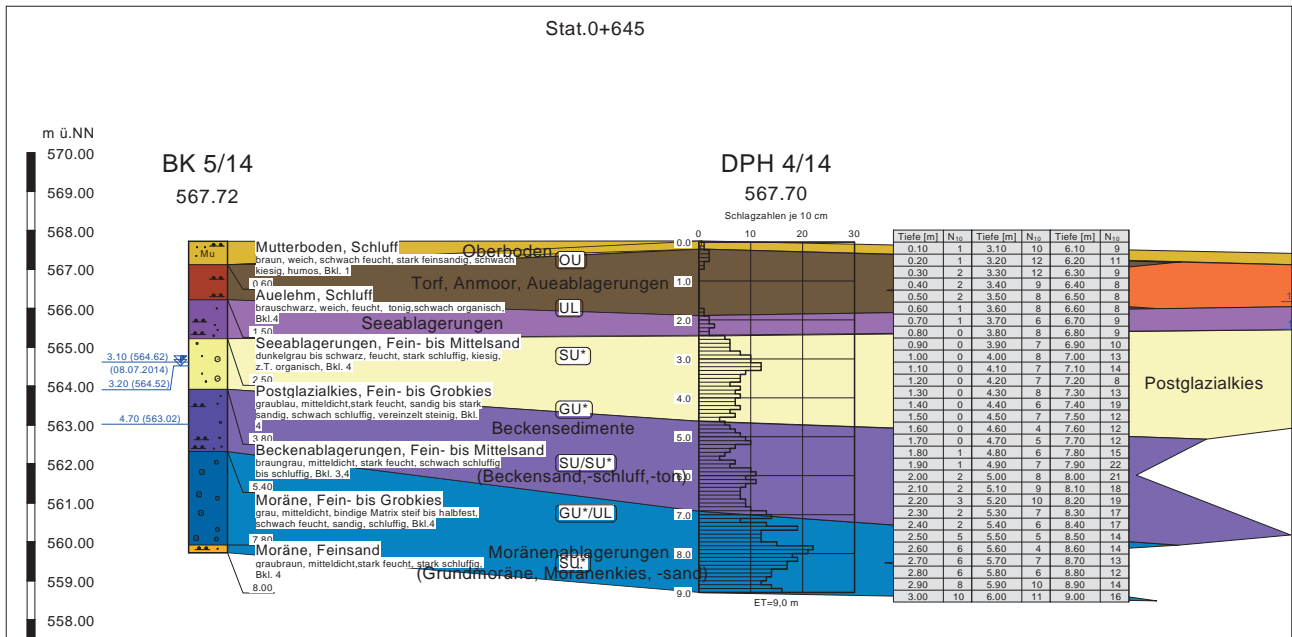


Bild 1 und 2 *Untergrundverhältnisse*

Als Alternative zum Bodenaustausch wurden mehrere Spezialtiefbauverfahren inkl. Pfahlgründungen sowohl in technischer als auch wirtschaftlicher Hinsicht untersucht.

Im Ergebnis wurde das seit den 90 Jahren in Deutschland entwickelte CSV-Verfahren für die erforderliche Baugrundverbesserung favorisiert.

Zur weiteren Absicherung der Planung und Ermittlung der für die Ausschreibung erforderlichen technischen Angaben wurde eine Eignungsprüfung in einem Probefeld durchgeführt, bei dem nach den vorliegenden Bodenaufschlüssen die größten Säulenlängen erwartet wurden.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Ergebnisse der an zehn Probesäulen durchgeführten weggesteuerten Belastungsversuche zusammengestellt:

Säulen Nr.	Säulenlänge	Säulenalter	Δs bei 90 kN	k_s bei 90 kN	max. erreichte Prüflaststufe	max. Säulenkopfpersch.	Zähigkeitsindex I_v
1 (10)	7,66 m	20 d	4,36 mm	0,43 mm	132,69 kN	8,15 mm	0,026
2 (09)	7,43 m	20 d	5,54 mm	0,52 mm	133,35 kN	10,66 mm	0,026
3 (08)	7,32 m	20 d	4,90 mm	0,42 mm	133,18 kN	9,00 mm	0,026
4 (07)	7,17 m	20 d	4,54 mm	0,42 mm	131,66 kN	9,04 mm	0,022
5 (06)	7,36 m	20 d	5,02 mm	0,48 mm	135,24 kN	10,99 mm	0,022
6 (05)	7,58 m	33 d	5,83 mm	0,44 mm	176,10 kN	16,86 mm	0,020
7 (04)	7,74 m	33 d	1,67 mm	0,20 mm	160,80 kN	5,16 mm	0,028
8 (03)	7,28 m	33 d	2,76 mm	0,33 mm	160,55 kN	8,51 mm	0,026
9 (02)	7,01 m	33 d	3,64 mm	0,36 mm	160,66 kN	10,98 mm	0,022
10 (01)	7,39 m	33 d	6,86 mm	0,49 mm	160,36 kN	17,08 mm	0,020

Tabelle der maßgeblichen Prüfergebnisse Probefeld Altshausen

Mit Vorlage dieser Ergebnisse war eine technisch abgesicherte Ausschreibung mit Vorgabe der zu erreichenden Säulenlasten und der zu fordernden Säuleneigenschaften möglich.

Somit waren detaillierte Angaben über die erforderliche Mächtigkeit der Arbeitsplanie, die auf die Untergrundverhältnisse erforderliche Geräteeinstellung und der zeitliche Aufwand für die Säulenherstellung bereits im Vorfeld bekannt. Nach 20 Tagen wurde die erste Hälfte, nach 33 Tagen die zweite Hälfte der Probesäulen geprüft.

Damit waren wesentliche Angaben über den anzustrebenden zeitlichen Bauablauf der Dammschüttung für die technischen Vorgaben der Ausschreibung bekannt und abgesichert.



Bild 3 und 4: Geräteeinstellung beim Probefeld (Überprüfung des anstehenden Baugrunds und der sauberen Materialförderung ohne Bodeneinmischung)

2. CSV-Verfahren – Grundlagen und Ausführungshinweise

Baugrundverbesserungen nach dem CSV-Verfahren sind eine seit über zwei Jahrzehnten bewährte Gründungsmethode, bei der im Vollverdrängungsverfahren Trockenmörtel in Säulenform in den Baugrund verdichtet eingebracht wird. Die Säulen erhärten durch Wasserentzug des die Säule unmittelbar umgebenden Bodens zu monolithischen Mörtelsäulen mit Druckfestigkeiten von über 25 N/mm².

Das Verfahren ist dahingehend selbstregelnd, da sich über einen einheitlichen Anpressdruck von 7 bis 8 t die erforderliche Säulenlänge an die lokalen Baugrundverhältnisse automatisch anpasst. Die Materialförderung erfolgt über eine Förderschnecke, die in jeder Ausführungsphase der Säulenherstellung zur Materialaufnahme einen gefüllten Vorratsbehälter durchläuft. Der Trockenmörtel entzieht der unmittelbaren Säulumgebung Wasser und bindet so zu reinen Mörtelsäulen mit definierter Eigenfestigkeit ab. Der für eine gesicherte Säulenausbildung erforderliche minimale Säulendurchmesser ist abhängig von der Konsistenz des umgebenden Bodens.

Während bei steifen Böden i.a. durch den Verdrängungsvorgang eine ausreichende stabile Rohrwandung für den Transport des Trockenmörtels entsteht, muss bei weichen und breiigen Böden durch einen angepassten Materialüberschuss eine stabile Rohrwandung erzeugt werden, um einen Materialtransport ohne Einmischung von Boden bis in die Endtiefe der CSV-Säulen zu gewährleisten.

Ausführungstechnisch erfolgt dies in Form von Pendelschritten. Bei der Geräteeinstellung wird durch Ziehen der Transportschnecke ohne Rotation geprüft, ob innerhalb der Schneckenwendelgänge Bodeneinschlüsse vorhanden sind. Ist dies der Fall, sind die Pendelschritte soweit anzupassen, dass keine Bodeneinmischung in den Trockenmörtel erfolgt.

Nur unter Beachtung dieser Ausführungsregeln ist gewährleistet, dass der Trockenmörtel zu einer ‚sauberen‘ Säule mit gesicherten Druckfestigkeiten von über 25 N/mm² ausgebildet werden kann. Gerätetechnisch bestehen derzeit Erfahrungen bis zu einer maximalen Säulenlänge von 9,5 m.

Die Säulen werden in der Regel lastproportional angeordnet. Infolge der höheren Steifigkeit der Stabilisierungssäulen gegenüber dem umgebenden Boden konzentrieren sich die Lasten auf die Säulen. In der Verbundwirkung des Bodens mit den Einzelsäulen lässt sich das Tragsystem auch als ‚Säulenwald‘ idealisiert beschreiben.

3. Bemessungsergebnisse mit Ausführungsplanung

Nach der versuchstechnischen Optimierung der charakteristischen Säulenbeanspruchung wurde mit Hilfe einer FE-Modellierung das Säulenraster sowie die Anforderungen für die CSV-Planie und Dammschüttung bestimmt. Dabei sind detaillierte Untersuchungen infolge der Spreizwirkung der Dammschüttung besonders zu beachten. Soweit Horizontalverformungen eine zulässige Größenordnung überschreiten, muss dies bei der Dammausbildung entsprechend berücksichtigt werden. Die erdstatischen Berechnungen ergaben, dass zur Verringerung der Horizontalverformungen der Einbau von zwei Lagen Geogitter zusammen mit einer zementstabilisierten Dammschüttung erforderlich sind. Damit wird gewährleistet, dass neben der Reduktion der Horizontalverformungen auch ein höherer Lastanteil in die Säulenköpfe eingeleitet werden kann.

Bei der Stabilisierung wurde zwischen zwei Ausführungsvarianten unterschieden:

Variante A:

In dem Straßenabschnitt mit organischen Weichschichten zwischen 4,0 m bis 6,5 m wurde der Untergrund des bereits bestehenden konsolidierten Bestandsdamms und der Untergrund des neuen Straßendamms stabilisiert. Ohne Stabilisierung wären mit den im Gutachten angegebenen Bodenkennwerten allein aus dem Untergrund rechnerisch vertikale Setzungen in einer Größenordnung von bis zu 50 cm zu erwarten. Mit Verbesserung des Untergrundes bis in den tragfähigen Untergrund lassen sich die prognostizierten Setzungen auf eine Größenordnung von ca. 2 cm reduzieren. Im bereits konsolidierten Bereich wurde ein erforderlicher Säulenabstand von 1,0 m x 1,0 m, im Bereich des neuen Bestandsdamms von 0,90 m x 0,90 m ermittelt.



Bild 5 CSV-Lafette mit Trägergerät

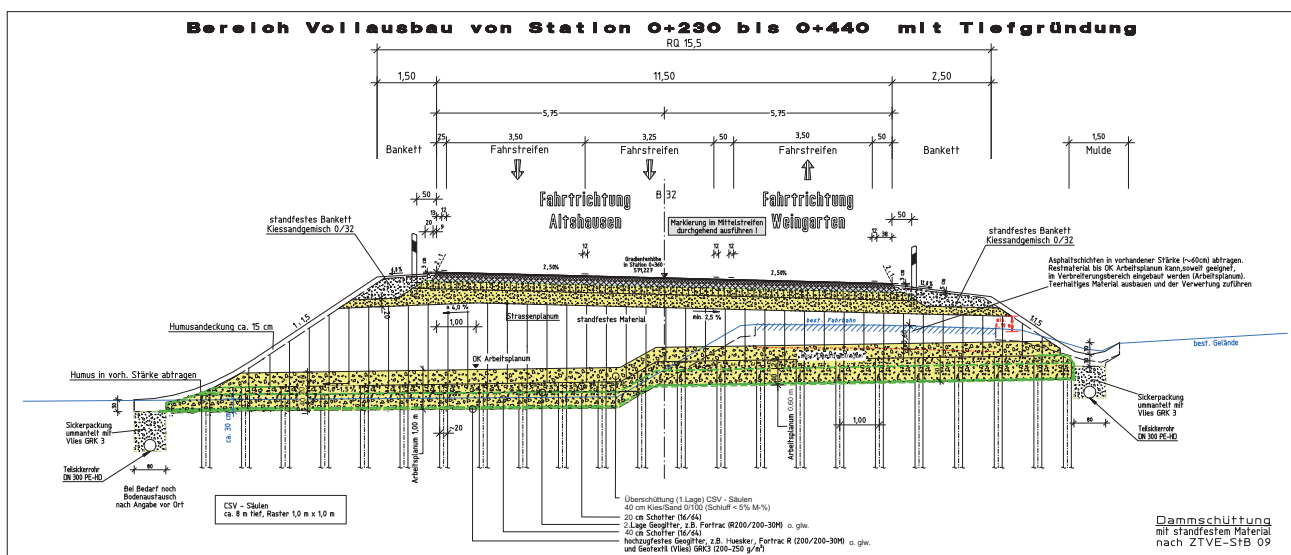


Bild 6: Straßenquerschnitt im Bereich des Vollaubaus

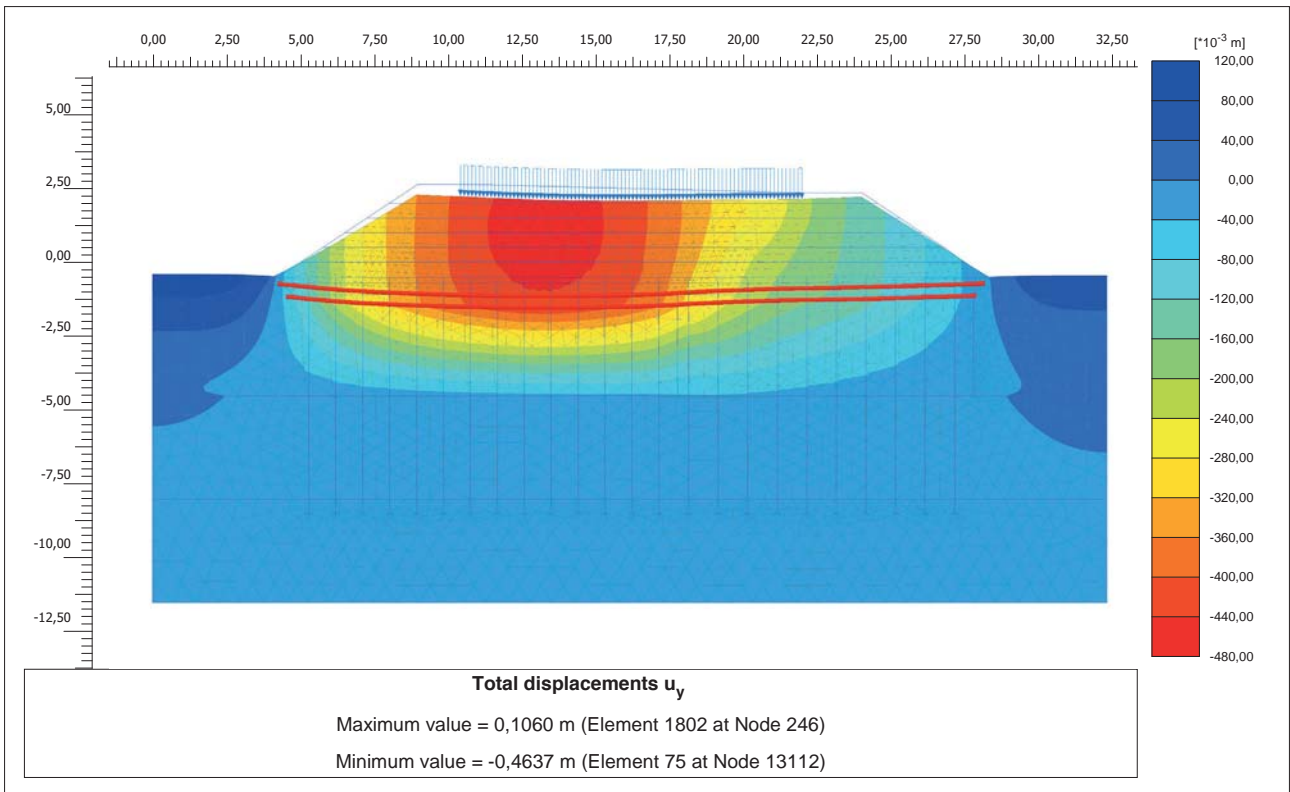


Bild 7: Rechnerische Verformungen des Dammkörpers auf nicht verbessertem Baugrund

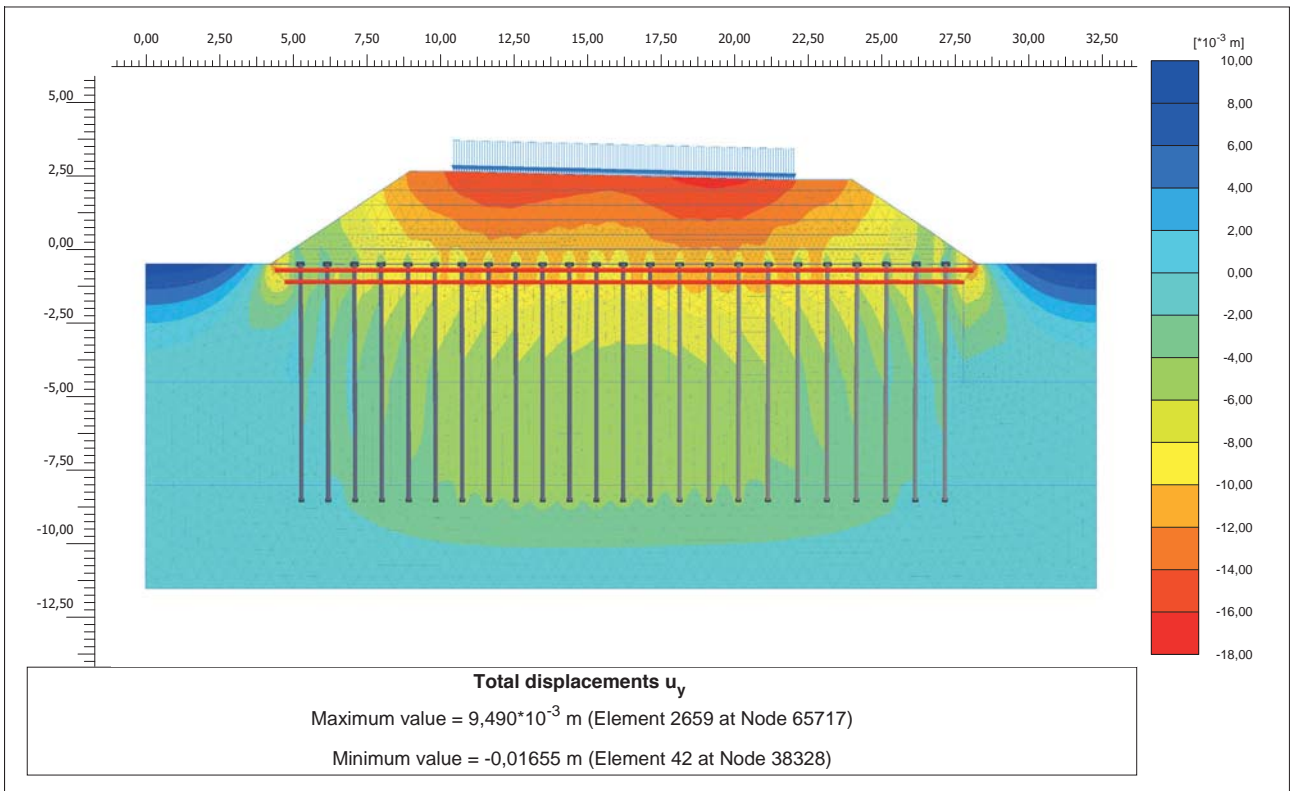


Bild 8: Rechnerische Verformungen des Dammkörpers mit Verbesserung durch CSV-Säulen

Variante B:

In diesem Straßenabschnitt mit organischen Weichschichten < 4,0 m wurde nur der Untergrund der neuen Dammschüttung stabilisiert.

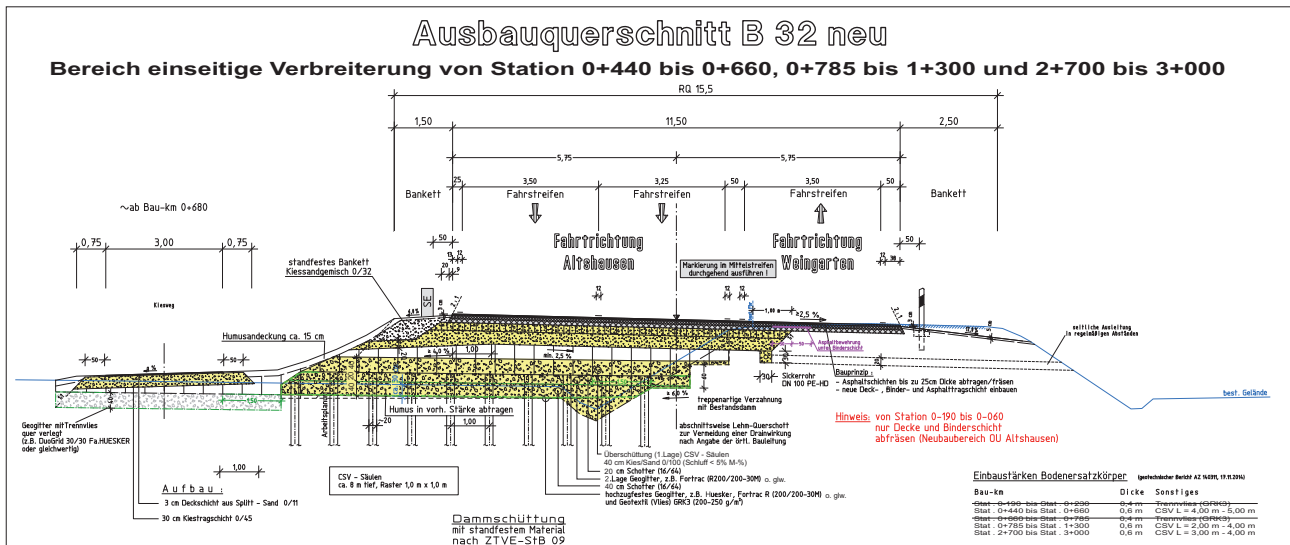


Bild 9: Straßenquerschnitt im Bereich der einseitigen Verbreiterung

- Verformungsprognose ohne Baugrundverbesserung
rechnerische Nachweisführung nicht möglich
- Verformungsprognose mit Verbesserung der Weichschicht mit Hilfe von CSV-Säulen
ohne Zementstabilisierung der Dammschüttung
→ horizontale Säulenkopfverschiebung 5,7 cm > b/8

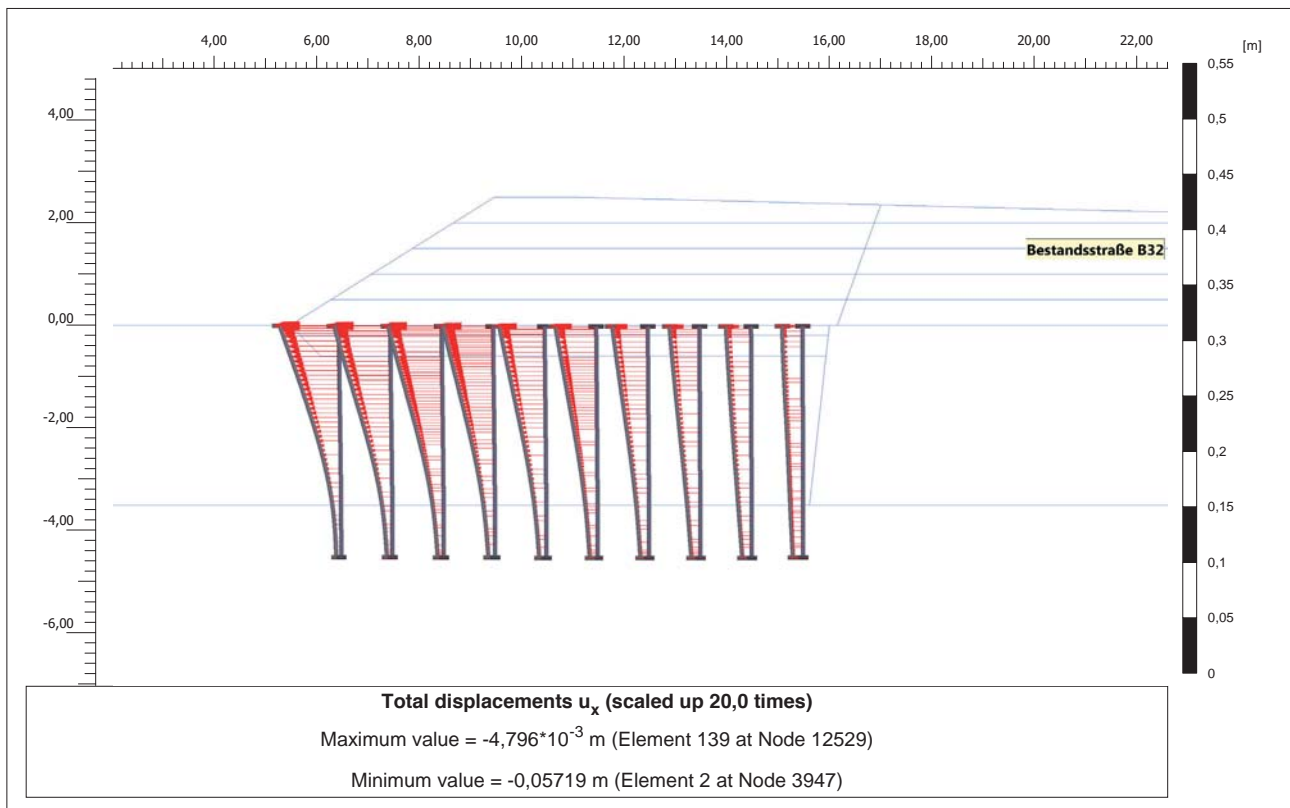


Bild 10: Horizontale Säulenkopfverschiebung aus Dammspreizung ohne Zementstabilisierung des Dammkörpers

c.) Verformungsprognose mit Verbesserung der Weichschicht mit Hilfe von CSV-Säulen
mit Zementstabilisierung der Dammschüttung
 → horizontale Säulenkopfverschiebung $2,5 \text{ cm} < b/8$

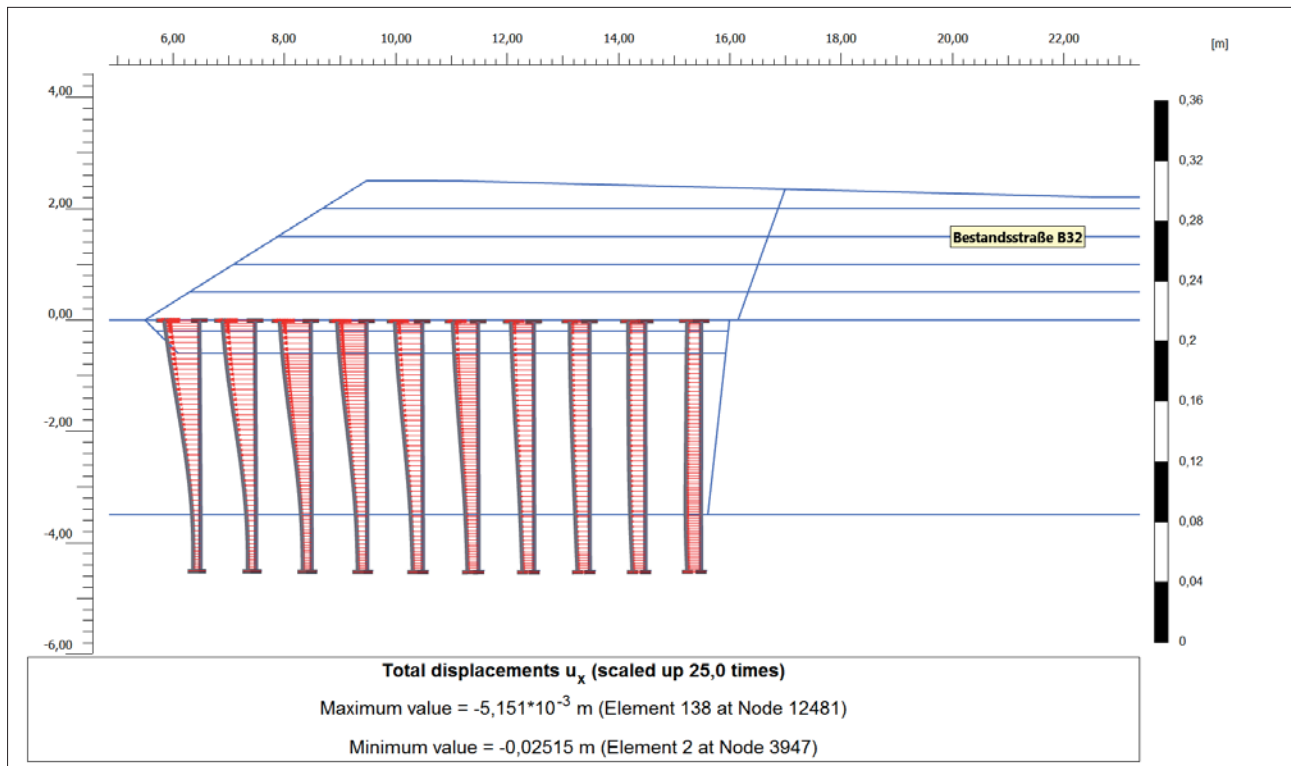


Bild 11: Horizontale Säulenkopfverschiebung aus Dammspreizung nach Zementstabilisierung des Dammkörpers

4. Qualitätssicherung mit Prüfergebnissen

Äußere Tragfähigkeit

Nach den Vorgaben des Merkblatts der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik werden zum Nachweis der äußeren Tragfähigkeit bei jedem Bauvorhaben Abnahmeprüfungen durchgeführt. Als Richtwert für die Einstufung der Lastabtragung als ‚aufstehende‘ Säule im Unterschied zu einer ‚schwimmenden‘ Säule wird eine bleibende Säulenkopfverformung von $\Delta s \leq 6 \text{ mm}$ und ein Kriechmaß von $k_s \leq 0,5 \text{ mm}$ vorgegeben. Der Grenzzustand wird erreicht, wenn die bleibende Säulenkopfverformung $\Delta s \geq 0,1 \cdot D_s \text{ mm}$ wird und das Kriechmaß eine Größe von $k_s \geq 1,5 \text{ mm}$ überschreitet. Als Mindestanforderung bei der Probelastung ist bei aufstehenden Säulen die 1,5-fache Gebrauchslast (charakteristische Säuleneinwirkung) nachzuweisen.

Bild 12 zeigt das Versuchsprotokoll einer weggesteuerten Säulenprüfung mit Eintragung der Versuchskurve, die bei einer kraftgesteuerten Abnahmeprüfung ermittelt wird. Der Vorteil einer weggesteuerten Säulenprüfung liegt neben einer kürzeren Versuchszeit vor allem in einer besseren Erfassung des Langzeitverhaltens der Säulen.

Innere Tragfähigkeit

Ergänzend zur Prüfung der äußeren Tragfähigkeit wird stichprobenartig die innere Druckfestigkeit an geborgenen Säulenstücken ermittelt.

Bild 13 zeigt einen Säulenquerschnitt und die für die Ermittlung der inneren Tragfähigkeit erforderliche Prüfeinrichtung.

5. Diskussion von Anwendungsgrenzen unter Berücksichtigung der zu beachtenden handwerklichen Ausführung

Für die Ausbildung einer monolithischen CSV-Säule ohne Bodeneinschlüsse sind ausführungstechnisch in weichen Böden die nachfolgenden Vorgaben besonders zu beachten.

5.1) Der Materialtransport bis in den Säulenfuß erfolgt mit Hilfe einer Förderschnecke. Die Förderfähigkeit und Verdichtungseigenschaften werden maßgeblich von den Reibungseigenschaften des Trockenmörtels beeinflusst. Dies bedeutet, dass mit einem ausreichend großen Grobkornanteil sowohl ein verbesserter Materialtransport als auch eine höhere Verdichtung des Trockenmörtels in situ gewährleistet werden kann. Pneumatische Materialförderungen haben erfahrungsgemäß mit steigendem Grobkornanteil Förderprobleme, sodass zur Gewährleistung eine integriertere Säulenausbildung in diesen Böden nur eine mechanische Beschickung empfohlen wird. Darüber hinaus lassen sich mit einem steigendem Grobkornanteil auch höhere Verdichtungsleistungen in situ erreichen.

5.2) Der für die Materialförderung erforderliche Hohlraum muss seitens der Wandungen so stabil sein, dass eine Zumischung von Boden ausgeschlossen werden kann. In weichen und breiigen Böden muss die Arbeitsweise der Säulenherstellung daher so erfolgen, dass diese Schutzverrohrung sukzessiv durch Pendelbewegungen entstehen kann. Mit Hilfe eines Überschusses von Trockenmörtel, der im Pendelverfahren eingebracht wird, entsteht eine versteifte Rohrwandung innerhalb der der Trockenmörtel ohne Beimischung des umgebenden Bodens bis in den Säulenfuß gefördert werden kann. Diese hierzu erforderlichen Pendelbewegungen werden mit den beschriebenen Kontrollmechanismen bereits bei der Geräteeinstellung vorgegeben und sind während der Bauausführung zu überprüfen, wenn sich lokal Baugrundverhältnisse ändern.

5.3) Für die Verdichtung des eingebrachten Trockenmörtels ist eine möglichst flache Wendelneigung vorteilhaft. Da die Förderleistung mit einer flacheren Wendelneigung kleiner wird, muss der Wendeldurchmesser der Verdichtungswendeln vergrößert werden. Das Zusammenspiel von Transport- und Verdichtungswendel wurde in über zwei Jahrzehnten baupraktischer Erfahrung so optimiert, dass auch der zwangsweise durch den Abrieb bedingte Verschleiß erheblich reduziert wird. Ohne Ausbildung dieser als Verpresskopf zu bezeichnenden CSV-Spitze wird der Trockenmörtel nur durch die Transportwendel verdichtet, die sich vor allem im Spitzenbereich durch Verschleiß sehr schnell verändert, sodass unterschiedlich ausgebildete Säulen entstehen.

Die für eine gesicherte Säulenausbildung erforderlichen Vorgaben wurden daher zur Gewährleistung einer einheitlichen Säulenqualität im Rahmen der Qualitätssicherung fortlaufend überwacht.

Um die Anwendungsgrenzen dieses Gründungsverfahrens in Torfböden aufzuzeigen, wurde an einem auf einer mächtigen Torfschicht aufgelagerten Dammkörper, bei dem die Stabilisierungssäulen innerhalb der Torfschicht enden, zweidimensionale FE-Berechnungen durchgeführt.

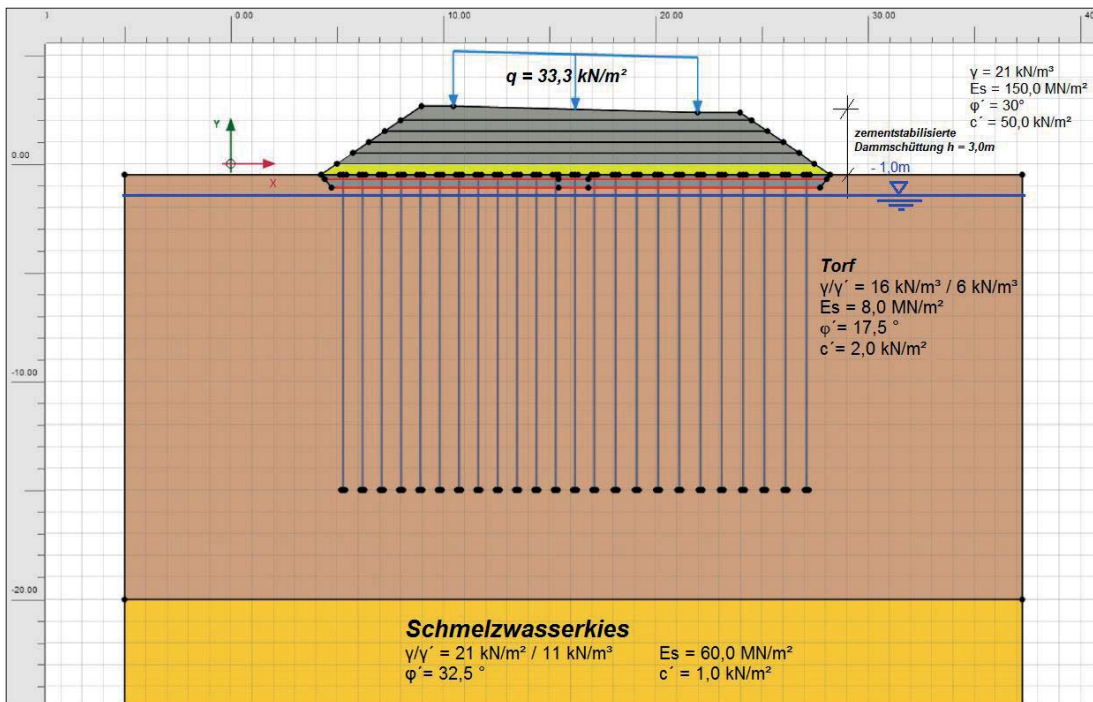


Bild 14 Vergleichsrechnung für eine Dammschüttung von drei Metern auf einer 20 m mächtigen Torfschicht (Säulen enden in der Torfschicht in der Tiefe von 15 m)

Ergebnis: Bei einer schwimmenden Ausbildung ist eine rechnerische Nachweisführung erst mit einem angenommenen Steifemodul des Torfes $E_s > 8 \text{ MN/m}^2$ möglich. Diese Größenordnung liegt weit über den Steifemodulen, die einer Torflage zugeordnet werden können. Das bedeutet für die praktische Anwendung, dass Stabilisierungssäulen nicht schwimmend im Torf enden dürfen.

Erst mit dem Kontakt der Säulen mit einem ausreichend tragfähigen Bodenhorizont ist überhaupt ein rechnerischer Nachweis und damit auch ausreichende Sicherheitsreserven möglich.

Der durch den Säulenwald entstehende Verbesserungskörper überbrückt im Wesentlichen die weichen Bodenschichten bis zum tragfähigen Untergrund, wobei die CSV-Säulen nicht als einzelne Tragglieder betrachtet werden dürfen. Infolge des Wasserentzuges im unmittelbaren Umgebungsbereich der Säulen entsteht eine räumliche Stützwirkung des anstehenden Bodens mit einem zementgebundenen tragfähigen Kern in Form einer monolithischen Mörtelsäule hoher Festigkeit. Das Verbundsystem Säule-Boden kann idealisiert als Säulenwald betrachtet werden. Historisch gesehen ähnelt diese Gründungsvariante einer Spickpfahlgründung, also vielen kleinen Einzelpfählen in sehr engen Abständen, wobei im Unterschied dazu bei Trockenmörtelsäulen dem Boden über den Verdrängungsanteil hinaus noch gezielt Wasser entzogen werden kann. Überschlägig liegt dieser Anteil des Wasserentzuges in einer Größenordnung von über 10% der eingebrachten Trockenmörtelmasse.

6. Literatur

- [1] Merkblatt für die Herstellung, Bemessung und Qualitätssicherung von Stabilisierungssäulen zur Untergrundverbesserung Teil I – CSV-Verfahren DGGT (2002)
- [2] Reitmeier, W. (2013): Baugrundverbesserung nach dem CSV-Verfahren, Bautechnik 90, Heft 9, S. 539-549
- [3] Reitmeier, W. et al. (2004): Baugrundverbesserung – Wirkungsweise, Unterschiede, Qualitätssicherungsaspekte mit ausgewählten Beispielen aus Baden-Württemberg, Technische Akademie Esslingen 4. Kolloquium in Boden und Fels
- [4] Reitmeier, W.; Brandl, Ch. (2012): Vergleich von kraft- und weggesteuerten Probelastungen an CSV-Säulen, TU Wien 2. Symposium-Baugrundverbesserung in der Geotechnik
- [5] Laumer, R.; Führer, A. (2010): Bodenstabilisierung nach dem CSV-Verfahren, Bautechnik 87 Heft 12



STAHLBETONFERTIGTEILE



KOMPLETTBAU



GARAGENBAU



RAUMMODULBAU



BAUEN FÜR KOMMUNEN



BAUEN FÜR ZUHAUSE



BAUEN FÜR INDUSTRIE, GEWERBE & HANDEL



BAUEN FÜR DIE LANDWIRTSCHAFT



HOLZBAU



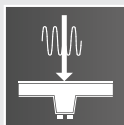
ARCHITEKTUR- & INGENIEURBÜRO



INTELLIGENTE BAUSTELLENBEWEHRUNG



SPEZIALTIEFBAU



BAUWERKSVERSTÄRKUNG & -SANIERUNG



ARCHITEKTURBETON & KUNST



Laumer GmbH & Co. CSV Bodenstabilisierung KG

Bahnhofstraße 8 . 84323 Massing

Tel.: +49 87 24/88-900 . Fax: +49 87 24/88-770

csv@laumer.de . www.laumer.de

