

Zusammenfassung

Für hochplastische Böden mit der Gruppenbezeichnung UA, TM und TA sind in den Richtlinien und Vorschriften des Verkehrsbaues keine Regelforderungen und -ausführungen vorgegeben. Nach dem heutigen Stand der Technik sollten solche Böden nicht von vornherein ausgeschlossen werden. Der Einsatz bzw. die Nutzung solcher Böden verlangt jedoch eine besonders sorgfältige, auf den jeweiligen Fall konkret abgestimmte Planung und Bauausführung, die sich auf eine zutreffende intensive geotechnische Untersuchung aller maßgebenden Anfangs-, Zwischen- und Endzustände abstützen müssen. Technische und technologische Eignungsuntersuchungen im Labor und Feld sind in aller Regel unumgänglich.

Auf der künftigen Hochgeschwindigkeitsstrecke Nürnberg – Ingolstadt liegen schwierige topographische und geologische Verhältnisse vor. Bei einem anzustrebenden weitgehenden Massenausgleich müssen auch die hochplastischen, mehr oder weniger quellfähigen Böden im unmittelbaren Bereich des Hochgeschwindigkeitsfahrweges genutzt werden. Trotzdem müssen der Instandhaltungsaufwand und das Risiko einer Sanierung niedriggehalten werden.

Nach der Darstellung der Problematik und Beschreibung der auf der Neubaustrecke (NBS) Nürnberg-Ingolstadt auftretenden hochplastischen Böden wird über erste Erfahrungen berichtet. Es werden einige verallgemeinerungsfähige Erkenntnisse formuliert, aus denen geschlußfolgert werden kann, daß trotz fehlender Regellösungen in den Vorschriften hochplastische Böden unter Berücksichtigung ihrer natürlichen oder verbesserten Eigenschaften für einen Hochgeschwindigkeitsfahrverkehr der Eisenbahn genutzt werden können.

1 Einleitung

Für eine bessere und schnellere Verbindung der Metropolen sind zur Ergänzung der bestehenden Hochgeschwindigkeitsstrecken von der Deutschen Bahn AG weitere in Planung und Bau. Die NBS Nürnberg-Ingolstadt wird nach ihrer Fertigstellung die Fahrzeiten von München nach Nürnberg und weiter nach Berlin maßgeblich verkürzen.

Die NBS Nürnberg-Ingolstadt (Länge ca. 80 km) soll im Mischverkehr befahren werden und wurde für eine Entwurfsgeschwindigkeit von $v_e = 300$ km/h trassiert. Die hohen Zuggeschwindigkeiten der ICE-Züge und die schweren Güterzüge ergeben eine starke dynamische Beanspruchung

des Fahrweges. Um auch bei diesen hohen Beanspruchungen eine dauerhaft stabile Gleislage zu sichern, soll die Oberbauform Feste Fahrbahn zur Anwendung kommen.

Feste Fahrbahnen besitzen nur eine begrenzte Möglichkeit der Höhenregulierung, so daß der Fahrweg neben der dauerhaften statischen und dynamischen Stabilität nach Fertigstellung des Fahrweges nur geringe, möglichst gleichmäßige Setzungen aufweisen darf. Der Fahrweg soll auf lange Zeit instandhaltungsarm sein. Daraus ergeben sich hohe Anforderungen an die Erdbauwerke, die im Spannungsfeld von Wirtschaftlichkeit und Termineinhaltung erfüllt werden müssen.

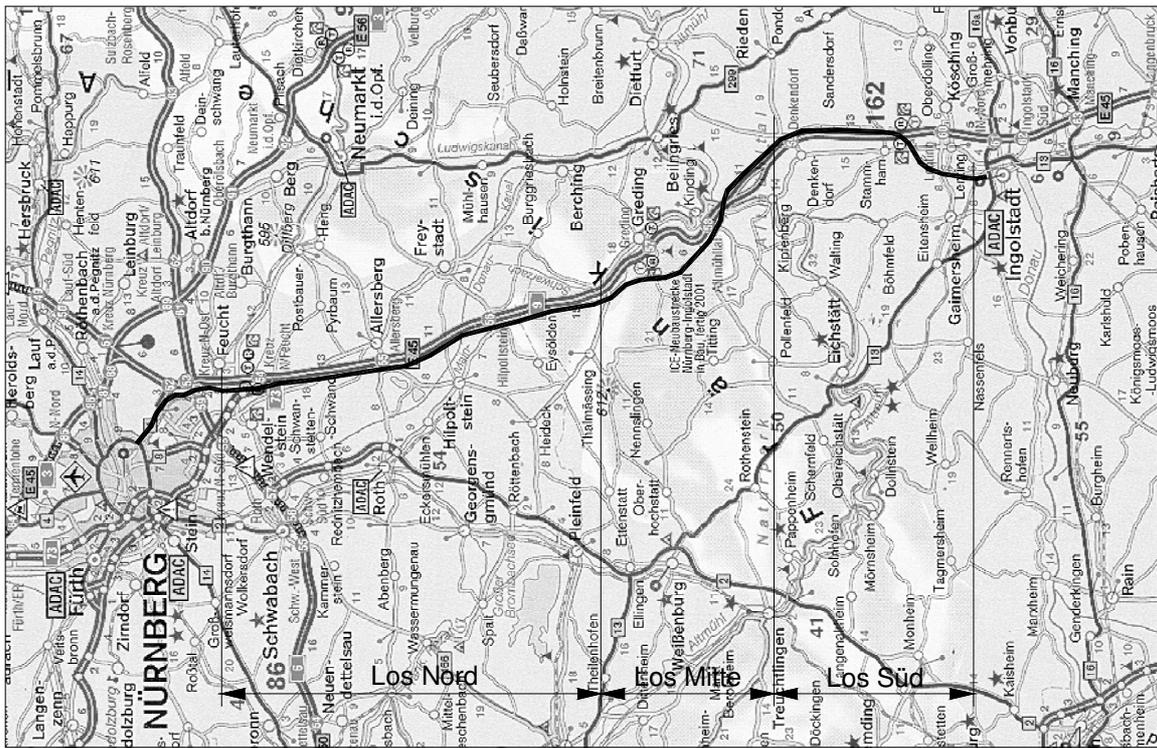


Bild 1: Lageplan der NBS Nürnberg-Ingolstadt

Zur Realisierung der NBS Nürnberg-Ingolstadt wurde der Abschnitt zwischen Feucht (Ausfädelung aus der Strecke Nürnberg-Regensburg) und dem Audi-Tunnel in Ingolstadt in die 3 Lose Nord, Mitte und Süd unterteilt. In den einzelnen Losen erfolgte eine Gesamtgewerkevergabe für die Bautechnik. Für den Fahrweg sind tiefe Einschnitte und hohe Dämme sowie zahlreiche Tun-

nel notwendig. Zur Minimierung der Transport-, Deponie- und Baukosten sollen die anstehenden Tone und Tonsteine weitestgehend in der Unteren Tragschicht in Einschnitten und Geländegleichlagen belassen werden. Im Los Nord sah die Planfeststellung die Verwendung der anstehenden hochplastischen Böden als Dammbau-

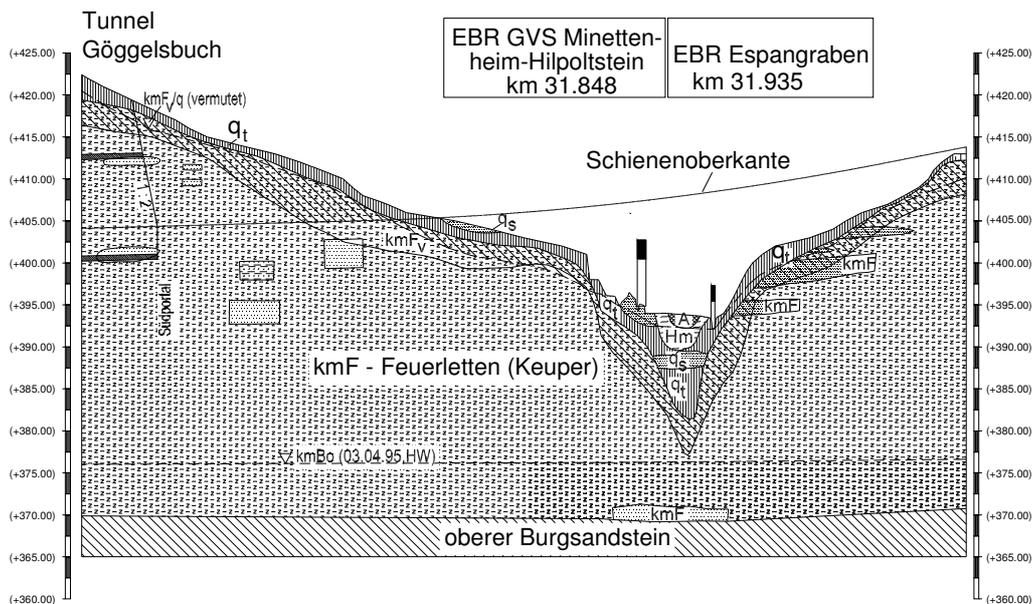


Bild 2: Längsschnitt mit tiefem Einschnitt und anschließendem hohen Damm, unterbrochen von Ingenieurbauwerken im Bereich des Feuerletten

2 Problematik von Erdbauwerken für Hochgeschwindigkeitsstrecken aus und/oder auf hochplastischen Böden

Standsicherheit von Einschnitten

Die Einschnitte, die auf der NBS Nürnberg-Ingolstadt teilweise über 15 m tief sind, müssen auf Dauer standsichere Böschungen haben. Je nach Konsistenz und Vorbelastung können stark plastische Böden und stark verwitterte Tonsteine sehr unterschiedliche Anfangsscherfestigkeiten besitzen. Weniger stark verwitterte und unverwitterte Tonsteine weisen in der Regel sehr hohe Scherfestigkeiten auf. Durch die Entspannung der Einschnittsböschungen, die geänderten Wasserwegigkeiten und den Zutritt der Atmosphären kommt es jedoch im Laufe der Zeit zu Verwitterungserscheinungen, die vor allem in der Nähe der Böschungsoberflächen zum Absinken der Scherfestigkeit und dadurch ggf. zu Instabilitäten führen können. Die Folge sind entweder Böschungsbrüche oder die bekannten Hautrutschungen, die oft auch die Entwässerungsanlagen beeinträchtigen.

Weitere standsicherheitsrelevante Phänomene, die in Ton- bzw. Tonsteinböschungen auftreten können, sind Kriecherscheinungen, im ungünstigsten Fall Kriechbrüche, bei einer hohen Ausnutzung der Scherfestigkeit [1] und ungünstig einfallende Trennflächen, auf denen teilweise bereits vor langer Zeit Verformungen stattgefunden haben (fossile Gleitflächen).

Verformungen und dynamische Stabilität der unteren Tragschicht in Einschnitten

Vor allem in der geotechnisch abzusichernden Zone, der sogenannten Unteren Tragschicht (UT), muß zur Gewährleistung einer stabilen Auflagerung der Festen Fahrbahn eine hohe Konsistenz und Dichte dauerhaft erhalten bleiben. Dabei muß aufgrund der Entspannung infolge Aushub und der Verwitterung auch in diesem Bereich mit einer Verschlechterung der vor dem Aushub vorhandenen Eigenschaften gerechnet werden. Ein besonderes Problem ergibt sich, wenn die anstehenden Tone oder Tonsteine durch einen relativ hohen Anteil an Schichtmineralen zum Quellen neigen. Einerseits kann es zu unkontrollierten Hebungen kommen, andererseits wird durch die zusätzliche Wasseraufnahme die dynamische Stabilität herabgesetzt. Beide Phänomene sind stark spannungsabhängig.

Standsicherheit und Verformungen von Dämmen

Hohe Dämme (auf der NBS Nürnberg-Ingolstadt teilweise bis zu 20 m) führen zu hohen Spannungen in der Dammaufstandsfläche und bei hochplastischen Böden in der Regel zu großen Setzungen und zu sehr langen Konsolidationszeiten. Daraus folgende Setzungsdifferenzen können u. U. nicht durch die Verstellmöglichkeiten in den Schienenstützpunkten soweit ausgeglichen werden, daß fahrdynamisch günstige Ausrundungsradien mit $r_a \geq 0,4 \cdot v_e^2$ ($r_a \geq 0,25 \cdot v_e^2$) gewährleistet werden können.

Alle bisherigen Erfahrungen zeigen, daß bei hochplastischen Böden die Festigkeits-, Verformungs- und Durchlässigkeitseigenschaften stark vom Sättigungsgrad und dem damit zusammenhängenden Wassergehalt und dem Spannungsniveau sowie den Spannungsverhältnissen, die wiederum den Ausnutzungsgrad bestimmen, abhängen. Analog zu den Einschnitten ist im Verlauf der Zeit mit einer Veränderung der Eigenschaften zu rechnen, wobei vor allem in den Randbereichen mit einer langfristigen Aufsättigung des Dammbaumaterials zu rechnen ist. In Abhängigkeit von der Zusammensetzung des Dammbaumaterials und den Spannungsverhältnissen sind mögliche Quell- und Kriecherscheinungen zu berücksichtigen.

Bautechnologische Eigenschaften

Dammbaustoffe aus hochplastischen Böden sind schwer zu bearbeiten [2]. Im nassen Zustand sind sie nur schwer, meist nicht ausreichend verdichtbar; die Steigerung der Verdichtungsarbeit oder der Einsatz schwerer Verdichtungsgeräte führt nur unter bestimmten Bedingungen zum Erfolg, u.U. zur Verschlechterung der maßgebenden Eigenschaften, wie dies z. B. bei großen Staudämmen bereits in den 70-er Jahren festgestellt worden ist [3]. Trockene Böden verlangen eine sehr hohe Verdichtungsarbeit und ergeben häufig nicht ausreichend niedrige Luftporengehalte. Im Ergebnis führt der relativ niedrige Verdichtungserfolg zu relativ niedrigen Verformungsmoduln.

Bei feuchter Witterung verkleben die Arbeitsgeräte, Planien sind mit Reifenfahrzeugen ohne

nachteilige Folgen für den Erdkörper nicht mehr befahrbar.

Die Zugabe von abtrocknenden oder hydraulischen Bindemitteln verlangt im Regelfall eine schwere (kräftige) Frästechnik.

3 Vorkommen und Erscheinungsbild der hochplastischen Böden im Bereich der NBS Nürnberg-Ingolstadt

Im Bereich der NBS Nürnberg-Ingolstadt treten vor allem im Los **Nord** die stark plastischen Böden als quartäre Tone und Verwitterungsprodukte der Tonsteine, die sogenannten Feuerletten, Amaltheentone und Opalinustone, auf. Diese ältesten Tone sind selten steif, meist mindestens halbfest und stellen bei geringem Verwitterungsgrad ein veränderlich festes Gestein dar, d. h. es finden nach dem Abbau ohne Verspannung Zerfall und Wasseraufnahme statt. Die Baugrunderkundung für die Planfeststellung und ergänzende Untersuchungen des Generalunternehmers (GU) ergaben Hinweise auf mögliches Quellen.



Bild 3: Verwitterter Brocken aus veränderlich festem Tonstein des Amaltheenton

Die Tonsteine und ihre Verwitterungshorizonte sind durch ein dichtes und teilweise regelloses Trennflächengefüge, bereichsweise durch fossile Gleitflächen und -zonen gekennzeichnet. Vor

Insbesondere diese schwer zu beherrschenden technologischen Eigenschaften sind der Hauptgrund dafür, daß in den relevanten Vorschriften des Straßen- und Eisenbahnbaues [4] [5] [6] keine Regellösungen bzw. -anforderungen genannt sind.

Im Feuerletten treten solche blankpolierten fossilen Gleitflächen auf. Da Trenn- oder Gleitflächen bevorzugte Wasserwegigkeiten darstellen, sind teilweise grundlegende Konsistenz- und andere Materialveränderungen in diesen Bereichen vorhanden.

Im Bereich des Voreinschnitts Nord für den Tunnel Göggelsbuch wurde z.B. bei der Sanierung einer Böschungsrutschung eine „Gleitzone“ von 1 bis 3 cm Dicke angetroffen, die sich mit ihrer weichen Konsistenz und der grünlichen Färbung deutlich von dem umgebenden halbfesten roten Material unterschied.



Bild 4: Probenentnahme aus der fossilen Gleitfläche im Bereich der Böschungsrutschung im Voreinschnitt Nord für den Tunnel Göggelsbuch

Im **Los Mitte** treten die hochplastischen Böden als Opalinuston auf, der jedoch im Bereich der UT der Einschnitte und Geländegleichlagen ausgetauscht oder verbessert werden soll.

Im **Los Süd** gibt es ausgedehnte Bereiche mit teilweise mehr als 20 m mächtigen tertiären Tonen, die in tieferen Lagen kalkig verfestigt sind. Für diese Böden wurden überwiegend hohe Scherfestigkeiten und geringe Quellneigung erkundet. Vor allem in den oberen Bereichen des Tertiärs treten Wechsellagen von Ton und Sand auf. In weiten Bereichen wurden teilweise große Druckwasserspiegellagen prognostiziert.

Es ist also festzustellen, daß die hochplastischen Tone, die im Trassenbereich als quartäre oder tertiäre Lockergesteine und als Verwitterungsprodukte von Tonstein anstehen, bei ho-

her Vorbelastung und ausreichender Konsistenz eine hohe Scherfestigkeit und eine große Steifigkeit besitzen. Diese im ungestörten Zustand günstigen Eigenschaften können sich jedoch durch veränderte Randbedingungen insbesondere durch Be- und Entlastungen, Änderungen der Wasserwegigkeiten und bauliche Eingriffe maßgeblich verschlechtern. Die Tone sind

- allgemein wasserempfindlich und
- im weichen und breiigen Zustand dynamisch instabil.

Sie neigen bei entsprechend hohen Anteilen an Schichtmineralen zum Quellen und bei hoher Materialausnutzung zu Kriechverformungen oder gar zum Kriechbruch. Im Bereich fossiler Gleitzonen ist nur eine relativ geringe Restscherfestigkeit vorhanden.

4 Erste Erfahrungen mit hochplastischen Böden bei der NBS Nürnberg-Ingolstadt

4.1 Einschnitte

Grundvoraussetzung für den Bau eines sicheren Fahrweges ist die dauerhafte Standsicherheit der Einschnittsböschungen. Mit der Ermittlung der Scherparameter an ungestörten und gestörten Proben, die aus Erkundungsbohrungen gewonnen werden und nicht den späteren Zustand berücksichtigen, werden die Phänomene Restscherfestigkeit entlang fossiler Gleitflächen sowie die Kriechbruchparameter nicht erfaßt. Zur Bewertung des Phänomens der Restscherfestigkeit wurden von BAUGRUND DRESDEN zusätzlich zu den Untersuchungen des Bauherrn und des Bauunternehmens einige Laborversuche durchgeführt.

An ungestörten Proben aus der unter Abschnitt 3 erwähnten fossilen Gleitfläche im Bereich einer Böschungsrutschung wurden Wiener Routine-Scherversuche (Rahmenscherversuche mit mehrfacher Vor- und Zurückbewegung) sowie Kreisringversuche durchgeführt. Bei beiden Versuchsarten ergab sich eine ähnliche Charakteristik im Scherspannungs-Scherweg-Diagramm, nämlich ein starker Abfall der Scherspannung nach einem ausgeprägten Maximum bis auf ca. 40 % und danach nur noch ein deutlich geringerer Abfall der Scherspannung. Die nahezu konstanten Werte der Scherfestigkeit wurden bei den Wiener Routineversuchen nach 4 bis 6 Wechselbewegungen und bei Versuchen im Kreisringversuchgerät bei einem Scherweg von 30 mm bis 40

mm (bei einem Gesamtscherweg von 100 mm) erreicht.

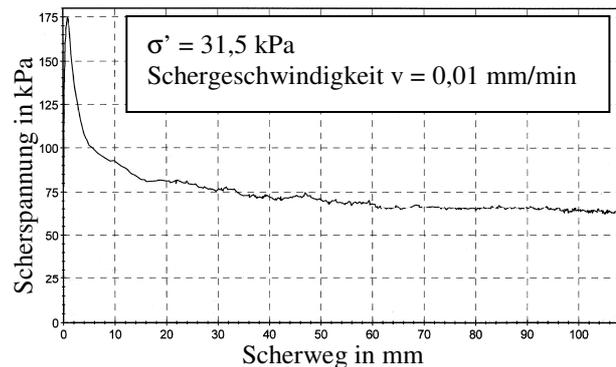


Bild 5: Scherspannungs-Scherweg-Diagramm für eine ungestörte Probe (TA), abgeschert im Kreisringversuchgerät

Da ungestörte Proben aus fossilen Gleitflächen nur in seltenen Fällen entnommen werden können, wurden Wiener Routine-Scherversuche auch an ungestörten Proben ohne Beeinflussung durch fossile Gleitflächen und an aufbereitetem Material, daß mit 97 % und 100 % der Proctordichte (Die Dichte der ungestörten Proben lag bei ca. 97 % der Proctordichte.) in das Schergerät eingebaut wurde, durchgeführt. Interessanterweise ergaben sich bei allen Versuchen ähnliche Scherspannungs-Scherweg-Verläufe und Restscherfestigkeiten in vergleichbarer Größenordnung.

Wenn, wie im Feuerletten im Los Nord der NBS Nürnberg-Ingolstadt, fossile Gleitflächen quasi überall und mit annähernd beliebiger Ausrichtung auftreten können, ist auf der Basis derartiger Kennwertermittlung eine technische Lösung durchzuplanen. Diese Lösung wird jedoch nur dort angewandt, wo vorausseilend zum endgültigen Aushub solche kritischen Zonen erfaßt werden. Da auch die Bauzustände eine ausreichende Sicherheit aufweisen müssen, sollten Böschungssicherungsmaßnahmen so geplant werden, daß sie, beginnend von einem groben Raster aus, in Anpassung an die jeweilige Situation verdichtet werden können. Dazu bieten sich z. B. Stützscheiben an, die neben der Standsicherheits-erhöhung auch der Entwässerung der Einschnittsböschungen dienen.

Eine zweite besondere Problematik in den Einschnitten und Geländegleichlagen ist beim Verbleib hochbindiger Böden in der Unteren Tragschicht zu lösen. Da für diesen Fall keine Regelanforderungen formuliert sind, ist die Eignung ausgehend von den Anforderungen nach

- statischer und dynamischer Stabilität auf Dauer,
- Verformungsarmut entsprechend den Anforderungen der Oberbauform Feste Fahrbahn,
- ggf. Frostsicherheit und Frostbeständigkeit, detailliert nachzuweisen.

Sowohl im Los Nord als auch im Los Süd der NBS Nürnberg-Ingolstadt ergaben die Eignungsuntersuchungen, daß die anstehenden TM/TA-Böden diese Anforderungen, besonders hinsichtlich der Verformungskriterien, teilweise nicht erfüllen. In beiden Losen wird der Weg beschritten, durch Einmischen von hydraulischen Bindemitteln das vorhandene Quellpotential zu unterdrücken, eine ausreichend steife Auflagerung des Oberbaus zu erhalten und die Eigenschaften des ungestörten Tones bzw. Tonsteins vor verwitterungsbedingten Verschlechterungen zu schützen. Da im Los Süd TM/TA-Böden teilweise auch im Frosteindringungsbereich verbleiben sollen, wird mit der Bindemittelzugabe in Teilbereichen eine Verfestigung vorgenommen und damit ausreichende Frostbeständigkeit erreicht.

Der Nachweis der generellen Eignung erfolgt zunächst mit Hilfe von Laborversuchen. Nach der Auswahl eines geeigneten Bindemittels wird die erforderliche Bindemittelmenge in Abhängigkeit

von der jeweiligen Aufgabenstellung (Quellhemmung, Verwitterungs- oder Frostbeständigkeit) festgelegt. Wichtig bei diesen Laborversuchen ist die Anbindung an die konkrete Situation, indem die Versuche unter den tatsächlich in situ vorherrschenden Spannungs- und Klimabedingungen durchgeführt werden. Beispielsweise wurde für einen mit 10 % verfestigten Ton der Gruppe TA (Los Süd) unter Berücksichtigung der zu erwartenden Frosteindringtiefe und Frostgradtage keine größere Hebung als an Frostschuttschichtmaterial festgestellt. Für die meisten Tone im Los Süd konnte gezeigt werden, daß die Quellhebungen unterhalb einer Auflast von etwa 30 kPa vernachlässigbar klein sind.

Nach den Laborversuchen muß die Verarbeitbarkeit und Verdichtbarkeit der bindemittelverbesserten Schicht gezeigt werden, um die Übertragbarkeit der Laboregebnisse auf die Verhältnisse in situ zu gewährleisten. Im Ergebnis der dazu notwendigen Probefelder wird die Einbautechnologie festgelegt, wobei das Spektrum der zu erwartenden Eigenschaften der anstehenden Tonböden, z. B. Wassergehalte, zu berücksichtigen ist.



Bild 6: Einbau einer bindemittelverbesserten Schicht auf einem Probefeld im Los Süd

Ggf. sind technologische Zwischenschritte wie z. B. Anässen, Abtrocknung durch Einmischen von Weißfeinkalk oder Zerkleinerung grobstückigen Materials vorzusehen.

Der nächste Schritt ist die planerische Umsetzung der Ergebnisse aus den Eignungsnachweisen unter Berücksichtigung der speziellen örtlichen Situation. Sinnvollerweise sollten sich daraus Regellösungen ergeben. Lassen sich die Abschnitte, für die die jeweiligen Regellösungen gelten sollen, nicht mit genügender Sicherheit voraussagen, sind klare, vor Ort prüfbare Kriterien für die Anwendung der Regellösungen vorzugeben. So soll z. B. im Los Süd die endgültige Erkundung des Quellpotentials unter der Einschnittssohle vom Niveau 1 m über Schienenoberkante aus erfolgen.

4.2 Dämme

In mehreren Streckenabschnitten der NBS Nürnberg – Ingolstadt sind primär große Setzungen s_U des Untergrundes unter den hohen Dämmen im Bereich der hochplastischen Böden und bei Verwendung hochplastischer Böden große Eigensetzungen s_E der Dämme zu erwarten. Wegen der relativ geringen Möglichkeiten des Höhenausgleiches bei Festen Fahrbahnen müssen weitgehend gleichmäßige Restsetzungen nach Fertigstellung der FF angestrebt werden. Schwerpunkt der geotechnischen Untersuchungen waren und sind daher eine möglichst zuverlässige Setzungsprognose auf der Basis solcher Verformungskennwerte, die den im Verlauf der Betriebszeit maßgebenden (ungünstigsten) Zustand berücksichtigen. Bei zu erwartenden Gesamtsetzungen von $s \geq 3$ cm werden die prognostizierten Setzungswerte baubegleitend durch Setzungsmessungen verifiziert.

Zur Begrenzung der Setzungen s_U werden auf längeren Streckenabschnitten Baugrundverbesserungen durch

- Anordnung von klein- und großflächigen Vertikaldräns,
 - Teilbodenaustausch,
 - Vollbodenaustausch
- vorgenommen. Als Optionen bleiben insbesondere in Auswertung der Setzungsmessungen
- die Verlängerung der Dammliegezeiten vor der Fertigung der FF und
 - die Dammüberschüttung.

5 Folgerungen

Bisherige Laborversuche sowie klein- und großtechnische Versuche im Feld und die ersten Erfahrungen beim Bau der Strecke haben zu fol-

gende verallgemeinerungsfähigen Erkenntnissen geführt:

Beide Optionen müssen vorausschauend bei der Ausführungsplanung berücksichtigt werden. Eingehende Untersuchungen zeigen, daß durch die technisch notwendige und mögliche Verdichtung (Mindestwerte D_{Pr} und Maximalwerte n_a) hochplastischer Böden die Eigensetzungen s_E nur relativ wenig beeinflußt werden können, dagegen durch Bindemittelzugabe sowohl der zeitliche Setzungsverlauf als auch die absoluten Setzungswerte im günstigen Sinne maßgeblich verbessert werden (z.B. [7]).

Die statische und dynamische Stabilität sowie die Setzungen aus Verkehr werden bei den Dämmen aus hochplastischen, meist mehr oder weniger quellfähigen Böden durch die Eigenschaften und Gestaltung der äußeren Zonen und der Unteren Tragschicht bestimmt. Während im Inneren der Dämme durch eine günstige Spannungssituation nur noch eine geringe Wassergehaltserhöhung eintritt und Quellungen ausgeschlossen werden können, muß für nichtverbesserte und/oder nicht ausreichend geschützte Böden unter ungünstigen Spannungsbedingungen (Böschungszonen, Dammschultern, Untere Tragschicht) mit erheblicher Wasseraufnahme gerechnet werden. Die statische und dynamische Stabilität würden abnehmen, die Setzungen s_V aus Verkehr zunehmen. Es kann zunächst zu den bereits erwähnten „Haut- oder Schollenrutschungen“ kommen, und bei hoher Ausnutzung der Kurzzeitfestigkeit sind im weiteren größere Kriechverformungen oder gar Kriechbrüche zu befürchten.

Als Maßnahmen gegen derartige Risiken werden von vornherein ausreichend flache Böschungen unter Ansatz der Langzeitfestigkeit geplant und für einen sicheren Erosionsschutz in allen Böschungsbereichen, aber insbesondere an Tiefpunkten gesorgt. Sofern die Untere Tragschicht nicht von vornherein aus witterungsunempfindlichem und frostsicherem Material hergestellt wird, erfolgt hierfür immer eine Verbesserung oder gar Verfestigung mit hydraulischen Bindemitteln. Zu den Bodenverbesserungen und -verfestigungen sind analog zu denen in Einschnitten Eignungsuntersuchungen im Labor und Feld notwendig.

- Für die Stabilitäts- und Verformungsnachweise und daraus abzuleitende Konstruktionen und Abmessungen sind nur Kennwerte aus Prüfungen mit wirklichkeitsnahen Zuständen zu verwenden.
 - Die Restscherfestigkeit ist in Bereichen mit latenten und/oder fossilen Gleitflächen unbedingt zu berücksichtigen. Sie sinkt nicht selten unter 50 % der Spitzenwerte aus Kurzzeitversuchen ab, kann aber relativ einfach mit Hilfe von Kreisring- und/oder Wiener Routine-Scherversuchen ermittelt werden.
 - Der auf die Kurzzeitfestigkeit bezogene Ausnutzungsgrad sollte möglichst niedriggehalten werden, um größere Kriechverformungen oder gar -brüche auszuschließen. Muß das Kriechverhalten näher untersucht werden, sind in Kombination mit einer Spannungs-Verformungs-Analyse für verschiedene Ausnutzungsgrade triaxiale Kriechversuche notwendig.
 - Das Festigkeits- und Verformungsverhalten einschließlich des Widerstandes gegen dynamische Beanspruchungen kann durch Zugabe hydraulischer Bindemittel dauerhaft verbessert werden.
 - Im Regelfall reicht die Zugabe von 3 bis 5 % hydraulischer Bindemittel, um das Quellen der hier anstehenden Böden zu unterdrücken. Nur bei außergewöhnlichem Quellpotential müssen Verfestigungen mit Bindemittelgehalten bis zu etwa 10 % vorgenommen werden. Analog können Quellungen im allgemeinen mit einer dauerhaften Auflast von 30 bis 40 kN/m² weitgehend unterdrückt werden. Unabhängig von den Möglichkeiten der Quellunterdrückung sollte Wasser von den potentiellen Quellzonen ferngehalten werden.
 - Mit den bisher eingesetzten (nicht außergewöhnlichen) Bautechnologien gelingt es,
 - + die Mindestwerte der Verdichtungsgrade D_{Pr} zu erreichen und die maximalen Luftporengehalte n_a zu unterschreiten,
 - + grobstückige, später zerfallende und verwitternde Tonsteine so zu zerkleinern, daß eine gut abgestufte Kornmischung und ein feinporiges Dammgefüge entstehen,
 - + hydraulische Bindemittel weitgehend homogen in 30 bis 50 cm dicken Schüttlagen zu verteilen,
 - + überfeuchtete Böden in einem ersten Arbeitsgang durch Zugabe von Weißfeinkalk so abzutrocknen, daß eine weitere Bearbeitung, auch Verbesserung mit hydraulischen Bindemitteln, ordnungsgemäß möglich ist.
 - Die normativen Verformungswerte E_{v2} werden bei den hochplastischen Böden trotz „guter“ Verdichtungswerte D_{Pr} nicht immer erreicht. Hier helfen meist nur Bodenverbesserungen.
 - Durch Verfestigungen (Zugabe von hydraulischen Bindemitteln über 5 %) kann meist ausreichende Frostsicherheit erreicht werden. Für den Nachweis der Frostsicherheit muß für die in situ zu erwartende Frostbeanspruchung nachgewiesen werden, daß es bei Frost-Tau-Wechseln nicht zur Eislinnenbildung/Konsistenzveränderung kommt.
- Insgesamt kann zusammengefaßt werden, daß trotz fehlender Regellösungen in den Vorschriften hochplastische Böden unter Berücksichtigung ihrer natürlichen oder verbesserten Eigenschaften für einen Hochgeschwindigkeitsfahrweg der Eisenbahn genutzt werden können.

Literatur

- [1] Prühs: Problematik der Langzeitstandsicherheit tiefer Einschnittsböschungen im Feuerletten, aus: Geotechnik im Keuper, LGA Nürnberg, Heft 70, 1994
- [2] Floß: ZTVE StB 1994, Fassung 1997, Kommentar mit Kompendium Erd- und Felsbau, Kirschbaum Verlage, Bonn, 1997
- [3] Rehfeld: Nutzungsbedingte Anforderungen an die Verdichtung von Staudämmen, Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar, 21. Jahrgang, 1974, Heft 6
- [4] ZTVE-StB 94/97, Bundesministerium für Verkehr 1997
- [5] Anforderungskatalog Feste Fahrbahn, 3. Auflage, Deutsche Bahn AG, 1995
- [6] DS 836, Deutsche Bahn AG, 1997 (B 5)
- [7] Dürrwang/Schulz/Neidhart: Erdbauwerke für Hochleistungsstrecken Neues Konzept, Der Eisenbahningenieur, Tetzlaff Verlag GmbH, Hamburg, Heft 8/99