

Tagungsband Seminar "Tiefenverdichtung", Lehrstuhl für Grundbau und Bodenmechanik, Ruhr-Universität Bochum, 1985

ERFAHRUNGEN UND ENTSCHEIDUNGSKRITERIEN ZUR WAHL DER TIEFENRÜTTLUNG
AUS DER SICHT DES BAUHERRN

Dipl.-Ing. H.-G. Kempfert
Bundesbahn-Zentralamt München

1 - Einleitung

Die wesentlichsten Entscheidungskriterien zur Wahl eines speziellen Bauverfahrens sind seitens des Bauherrn in der Regel:

- Wirtschaftlichkeit und Ausführbarkeit der Verfahren bei der gestellten Bauaufgabe; Erfahrungen bei vergleichbaren Bauvorhaben,
- bauaufsichtliche Fragen,
- Berücksichtigung spezifischer Belange des Bauherrn.

Nachfolgend sind diese einzelnen Kriterien im Hinblick auf die Verfahren der Tiefenrüttlung aus der Sicht eines großen öffentlichen Bauherrn - der Deutschen Bundesbahn - anhand von Beispielen erläutern.

H.-G. Kempfert Erfahrungen/Entscheidungskriterien
Tiefenrüttlung

2 - Bauaufsichtliche Fragen

Werden neue Baustoffe, Bauteile und Bauarten angewendet, so dürfen diese nur eingesetzt werden, wenn ihre Brauchbarkeit für den Verwendungszweck nachgewiesen ist. Der Nachweis soll durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung erfolgen. Wird er auf andere Weise geführt, oder sind eisenbahnspezifische Erfordernisse in einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung nicht geregelt, so bedarf die Verwendung oder Anwendung der neuen Baustoffe, Bauteile oder Bauarten einer Zustimmung im Einzelfall. Für den Bereich der Deutschen Bundesbahn erteilt diese Zustimmung als Bauaufsichtbehörde das Bundesbahn-Zentralamt München.

Für die beiden in diesem Seminar behandelten Verfahren - DYNIV und Tiefenrüttlung - liegen keine bauaufsichtlichen Zulassungen vor. Bezüglich der Tiefenrüttlung stellt sich die DB aber auf den Standpunkt, daß das durch einen Fachausschuß der Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen erarbeitete "Merkblatt für die Untergrundverbesserung durch Tieferüttler" ersatzweise als Nachweis der allgemeinen Brauchbarkeit des Verfahrens angesehen werden kann. Die bauausführenden Stellen werden vom BZA München auf die in dem Merkblatt enthaltenen Anwendungsgrenzen der Rüttel- und Stopfverdichtung hingewiesen (Bild 1).

H.-G. Kempfert Erfahrungen/Entscheidungskriterien
Tiefenrüttlung

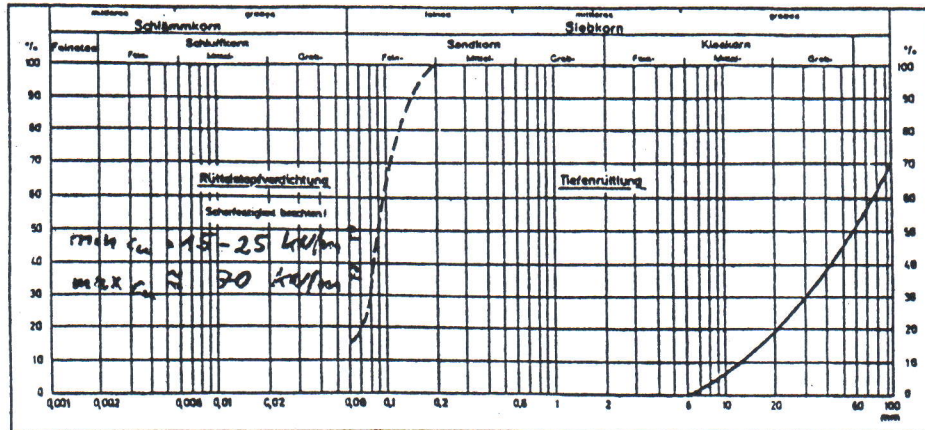


Bild 1: Anwendungsgrenzen der Tiefenrüttlung nach dem "Merkblatt für die Untergrundverbesserung durch Tiefenrüttler"

Besonders zu begrüßen ist, daß in dem Merkblatt eine detaillierte Liste möglicher Verfahren zur Kontrolle der angestrebten Verbesserung enthalten ist, aus denen dann für die Bauaufgabe geeignete Verfahren ausgewählt und die einzuhaltenden Kriterien vorher vertraglich vereinbart werden sollten. Ggf. empfehlen sich Probe-rüttlungen.

Hierzu ein Beispiel:

An der NBS (Neubaustrecke) H/W Nord im Bereich Edesheim-Nordheim (Göttingen) ist eine Verlegung der bestehenden Nord-Süd-Strecke vorgesehen. Dabei mußten Kiesteiche von max. 20 m Tiefe durchquert werden.

H.-G. Kempfert

Erfahrungen/Entscheidungskriterien
Tiefenrüttlung

Ausgeschrieben war die Verfüllung der Teiche mit gebrochenem Kalksteinmaterial in Verbindung mit einer dynamischen Intensivverdichtung. Hierfür wurde BZA Mü eine Zustimmung im Einzelfall mit folgenden Auflagen erteilt:

- Anlage eines Versuchsfeldes mit baubegleitenden Messungen des Erschütterungseinflusses auf die vorhandene Nord-Süd-Strecke. Dabei sollte Schwinggeschwindigkeiten am Böschungsfuß der bestehenden Strecke von $v_R = 30$ mm/s (DIN 4150 Teil 3) nicht überschritten werden. Die Arbeiten sollten in den Zugpausen erfolgen und insgesamt eine Langsamfahrstelle von 90 km/h eingerichtet werden.

Als Sondervorschlag wurden die Spültéiche dann mit Kies im Spülverfahren verfüllt und durch das Rütteldruckverfahren (8 m²-Raster) bis in Tiefen von 12 bzw. 8 m verdichtet. Die geforderte Verdichtung war 7 Schläge pro 10 cm Einbringung mit der schweren Rammsonde (SRS 15).

Vorteile: Kein Versuchsfeld, geregelt Bauverfahren, einfachere Verdichtungskontrolle mit schwerer Rammsonde gegenüber Pressiometerverfahren bei DYNIV.

H.-G. Kempfert

Erfahrungen/Entscheidungskriterien
Tiefenrüttlung

3 - Wirtschaftlichkeit, Ausführbarkeit, Erfahrungen

Die Frage der Wirtschaftlichkeit eines Verfahrens wie die Tiefenrüttlung im Vergleich zu anderen Verfahren ist natürlich in der Regel das Hauptkriterium. Dabei ist für den Bauherrn wichtig, ob er ein vergleichbares Sicherheitsniveau zu dem mitkonkurrierenden Verfahren erhält.

Dazu Beispiele:

a) Linienverbesserung der Strecke Hamburg - Hannover:

Im Zuge der Linienverbesserung der Nord-Süd-Strecke zwischen Hamburg und Hannover wurde die Gründung einer Dammverbreiterung durch Baugrundverbesserung mit Säulen ausgeführt (Bild 2 und 3). Als Baugrund standen zersetzte Torfe und organische Schluffe an. Zur Befahrbarmachung der Baustelle und zur Abführung des bei der Konsolidierung freiwerdenden Wassers wurde über einer Vliesmatte eine 1 m starke Kiesschicht aufgebracht. Mit Schleusenrüttler und Aktivierungsraupe wurde ein Betonkies der Körnung A 2 - 32 mm eingebaut mit einem mittleren Verbrauch von 1,1 t/m und Verbrauchsspitzen bis zu 1,5 t/m im Randbereich. Daraus ergaben sich Säulendurchmesser im Torfbereich zwischen 0,75 und 1 m. Die gute Drainagewirkung konnte bereits während der Herstellung der Kiessäulen beim Wiedereinfahren des Rüttlers und beim Ausweiten der Säule beobachtet werden, denn der Torf kann beim Stopfvorgang direkt in den Kies entwässern. Die

H.-G. Kempfert

Erfahrungen/Entscheidungskriterien
Tiefenrüttlung

Beobachtung der guten Entwässerungswirkung während der Herstellung und die schnellen Stabilisierungsvorgänge im angeschütteten Dammbereich machten es möglich, auf die zunächst vorgesehene Überschüttung zur Konsolidierungsbeschleunigung zu verzichten.

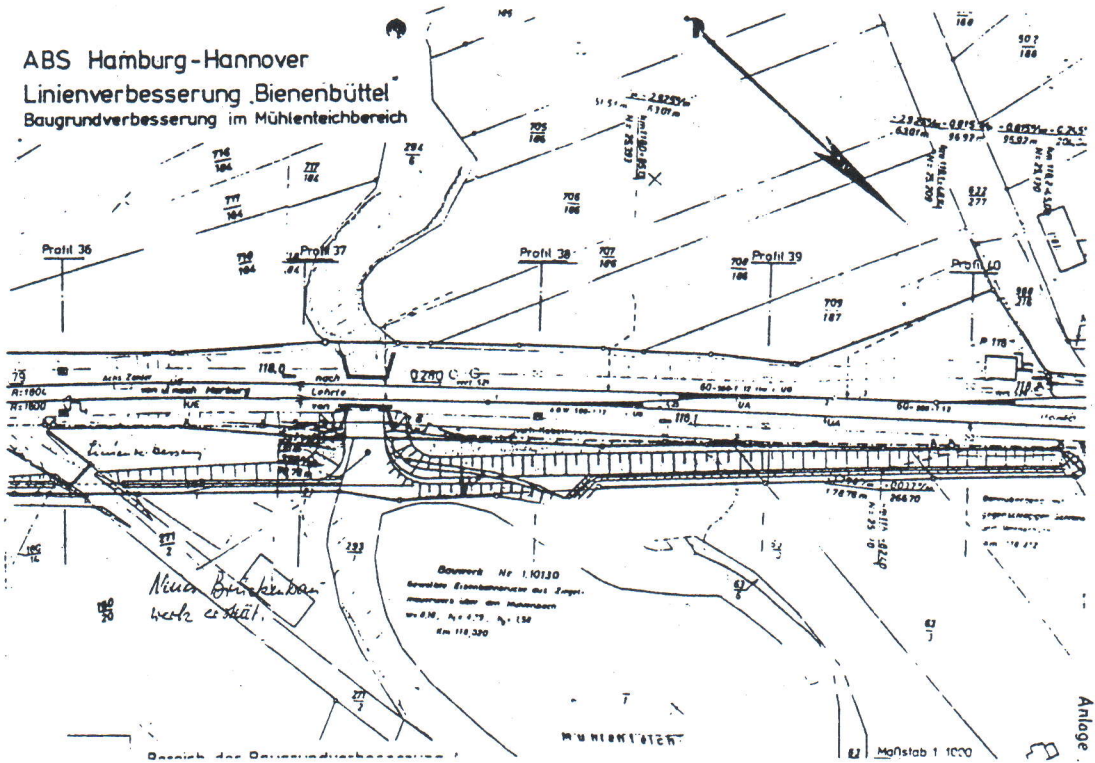


Bild 2: Lageplan

H.-G. Kempfert

Erfahrungen/Entscheidungskriterien
Tiefenrüttlung

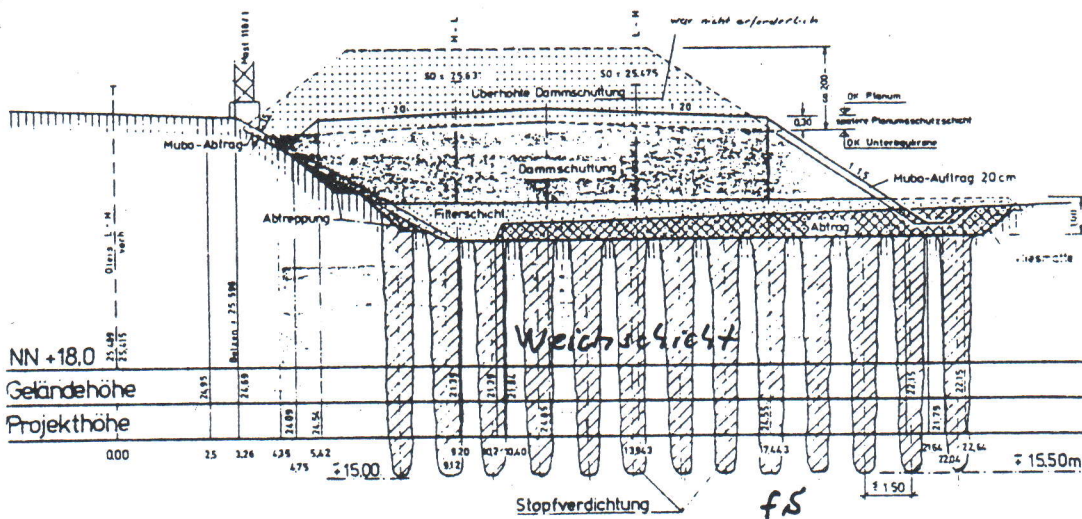
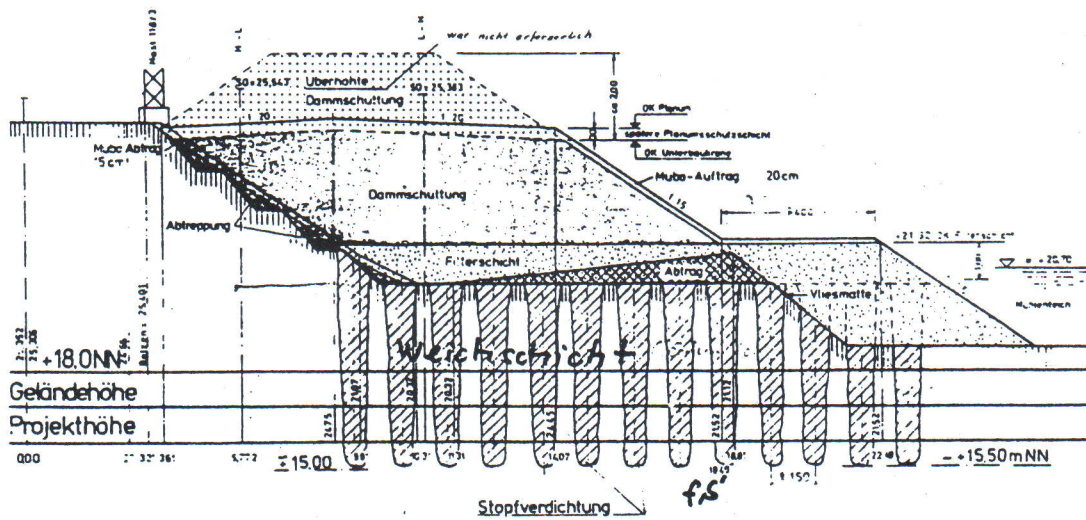


Bild 3: Querschnitte

H.-G. Kempfert

Erfahrungen/Entscheidungskriterien
Tiefenrüttlung

b) Dammrutschung Strecke Frankfurt - Göttingen bei Eichberg:

Zur Herstellung des Regelprofils auf der Dammkrone und zur Abflachung der steilen Böschung auf der Bogeninnenseite wurde eine Dammverbreiterung erforderlich. Ca. ab km 228,400 in Richtung Göttingen waren die Arbeiten bereits abgeschlossen. Im Bereich km 228,300 mußte zunächst ein Durchlaß verlängert werden. Die Erdarbeiten zur Dammverbreiterung wurden hier ab Frühjahr 1980 weitergeführt. Dabei wurde Kies bahnseits mit Fz-Wagen angeliefert, auf die Dammschulter abgekippt und zunächst am Dammfuß auf einer bereits vorhandenen Vorschüttung (Sanierungsmaßnahme einer früheren Rutschung?) eingebaut. Die Schüttung und Verdichtung erfolgte lagenweise. Vom jeweiligen Arbeitsplateau aus wurde eine Verzahnung in Form eines ca. 0,5 m tiefen Einschnittes mit dem alten Damm hergestellt. Als etwa die halbe Dammhöhe mit der Schüttung erreicht war, traten plötzlich Bewegungen im geschütteten Erdkörper auf. Die Vorschüttung wich zur Feldseite hin aus. Im oberen Bereich der Schüttung zeigten sich auf etwa 50 m Länge tiefe Abrißflächen. Das Gleis Götting - Frankfurt mußte sofort gesperrt werden.

H.-G. Kempfert

Erfahrungen/Entscheidungskriterien
Tiefenrüttlung

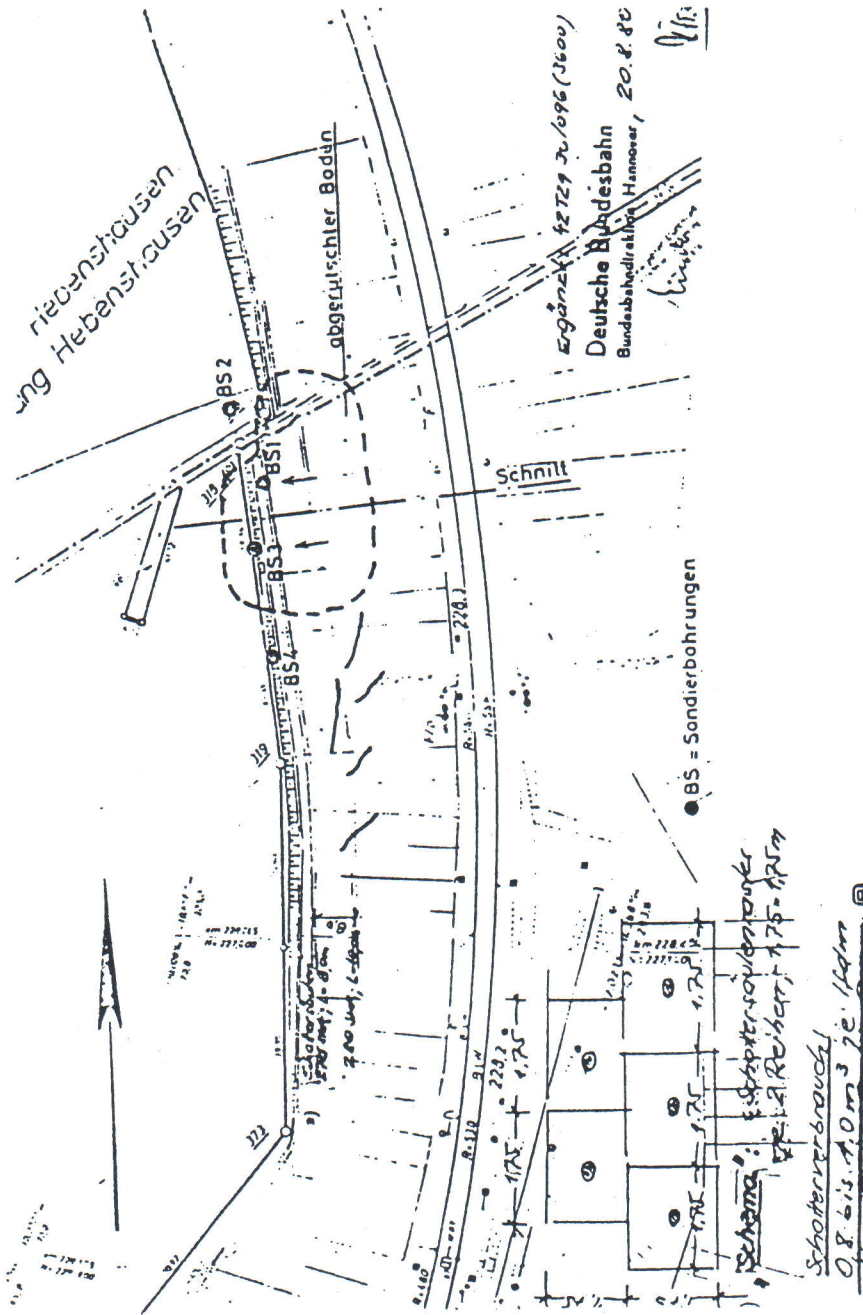


Bild 4: Lageplan

H.-G. Kempfert

Erfahrungen/Entscheidungskriterien
Tiefenrüttlung

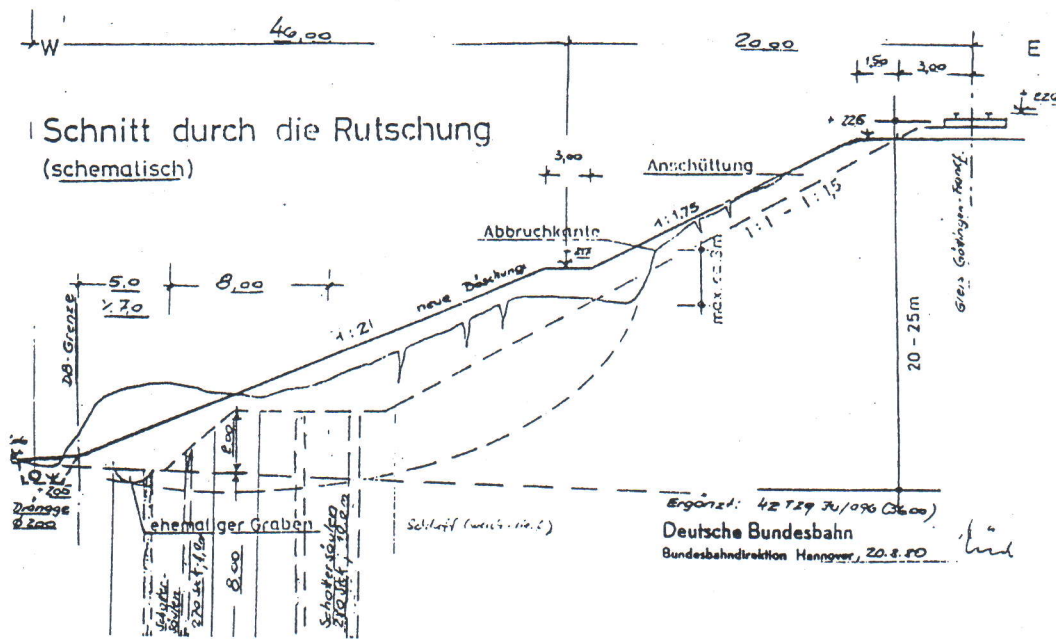


Bild 5: Querschnitt (Sanierung mit dem Rüttelstopfverfahren)

Ursache für den Schadensfall war ein Grundbruch im Bereich unter dem Dammfuß, der durch die Schüttung der Bodenmassen hervorgerufen wurde. Auslösender Faktor waren die wochenlangen Niederschläge, die dazu

H.-G. Kempfert

Erfahrungen/Entscheidungskriterien
Tiefenrüttlung

führten, daß einerseits das Gewicht der Schüttmassen erhöht wurde und andererseits der Untergrund infolge Wasseranreicherung seine Tragfähigkeit einbüßte. Da zur Sanierung eine Auskofferung im Dammfußbereich mit anschließendem Bodenaustausch mit großen Schwierigkeiten verbunden war (weitere Verminderung der Standsicherheit des Dammfusses, Grundwasser) wurde beschlossen, die Vorschüttung zu belassen und zusammen mit dem Untergrund durch Einrütteln von Schottersäulen zu stabilisieren. Da das Gelände zum Bahndamm hin einfiel, wurde vor der Vorschüttung ein Entwässerungsgraben gelegt. Weiterhin wurde für spätere Unterhaltungsmaßnahmen und zur Erzielung einer flacheren Generalneigung eine Berme angelegt. Während der Sanierungsarbeiten wurde die Böschungsschulter durch Messungen beobachtet und der Betrieb konnte mit einer Langsamfahrstelle unter ständiger Überwachung wieder aufgenommen werden.

c) Rutschung Warburg - Altenbeken:

Hier kam es ebenfalls zu einem Böschungsbruch, der durch das Rüttelstopfverfahren im Dammfußbereich in Verbindung mit dem Neuaufbau der Böschungsoberfläche saniert wurde.

Nach diesen insgesamt sehr positiven Beispielen auch einige Vorbehalte bzw. Beispiele wo das Verfahren der Tiefenrüttlung nicht zum Zuge gekommen ist.

H.-G. Kempfert

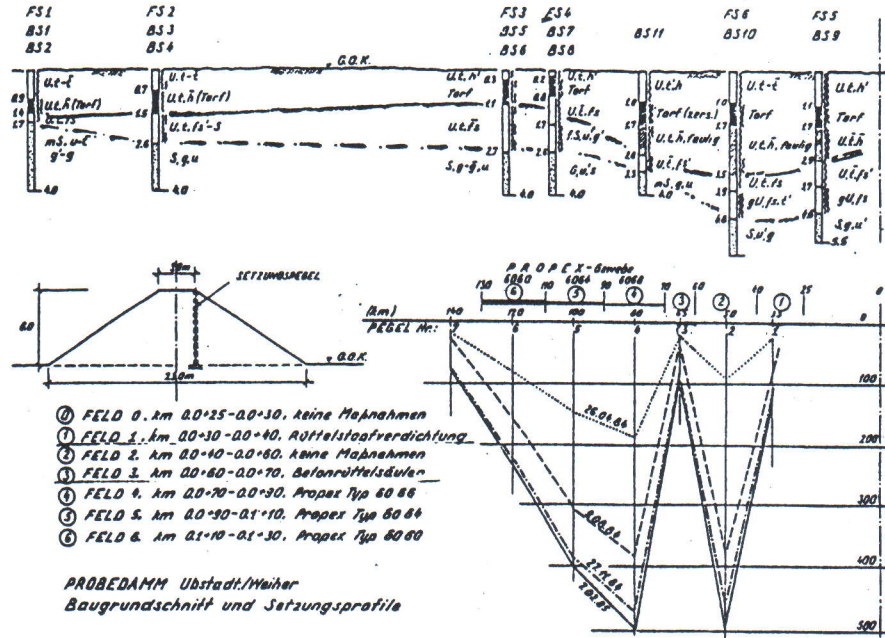
Erfahrungen/Entscheidungskriterien
Tiefenrüttlung

d) Probedamm Ubstadt - Weiher:

Im Zuge der Aufschüttung der Dämme für die NBS Mannheim - Stuttgart im Raum Ubstadt - Weiher sind im Bereich der Kinzig-Murg-Rinne (Übergang Rheintal-Kraichgau) Torf und organische Schluffe in einer Mächtigkeit bis zu 5,0 m unter der Geländeoberfläche vorhanden. Der Grundwasserstand liegt teilweise nur 0,5 m unter GOK. Ausgeschrieben wurde ein Bodenaustausch bzw. alternativ eine Baugrundverbesserung mit Betonrüttelsäulen oder einer Rüttelstopfverdichtung. Dazu wurde eine Probedamm mit dem Dammmaterial (Bunte Mergel aus dem Rollenbergtunnel) eingerichtet. Die undrainierte Scherfestigkeit ergab sich aus Flügelsondierungen in einem Bereich von $c_u = 15$ bis 40 kN/m². Die Ergebnisse der Setzungsmessungen zeigen deutlich Einfluß der Untergrundverbesserung, wobei sich kein wesentlicher Unterschied zwischen den Betonrüttelsäulen und der Stopfverdichtung zeigt. Im Vergleich zum nichtverbesserten Untergrund betragen die Setzungen nur 20 %. Dennoch war der Bodenaustausch in diesem Fall das wirtschaftlichere Verfahren bei geringerem Risiko.

H.-G. Kempfert

Erfahrungen/Entscheidungskriterien
Tiefenrüttlung



PROBEDAMM UBSTADT/WEINER -- SETZUNGEN DER PEGEL

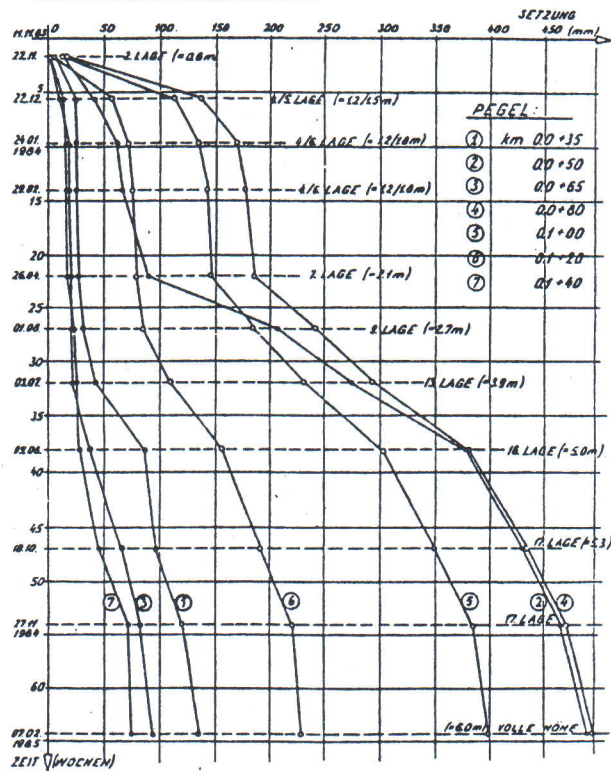


Bild 6: Setzungs- und Zeitsetzungslinien (aus Kurzber. BSP)

H.-G. Kempfert Erfahrungen/Entscheidungskriterien
Tiefenrüttlung

e) Rüttelstopfverdichtung für Talbrücken der NBS:

Im Zuge der Baumaßnahmen für die NBS werden zahlreiche Talbrücken errichtet. Wobei eine Ausführung mit Einfeldträgern überwiegt. Dabei sind zeitabhängige Horizontallasten (Längskräfte) auf Bremsen, Anfahren und Temperatur an jedem Pfeiler direkt in den Baugrund einzuleiten, was zu exzentrischen Fundamentbelastungen führt.

Im Bereich der NBS H/W Nord sind mehrfach Teilbereiche vorhanden, bei denen im Untergrund der tragfähige Baugrund in Tiefen ansteht bei denen die Ausführung von z. B. Großbohrpfahlgründung, technisch und wirtschaftlich kaum zu vertreten sind. Die Füllung dieser Talböden besteht aus Beckensedimenten in vorwiegend weicher bis steifer Konsistenz ($c_u = 50$ bis 70 kN/m^2), wobei häufig ab ca. 15 m Tiefe eine etwas festere Konsistenz angetroffen wurde. Als Gründungsverfahren wurde für die Talbrücken Rüttelstopfverdichtungen vorgesehen und ein entsprechendes Versuchsprogramm an der Mahmilchtalbrücke mit mehreren quadratischen Modellfundamenten von 2,8 m Kantenlänge ausgeführt. Die Ergebnisse zeigten im Vergleich zu einem unverbesserten Versuch zwar erhebliche Baugrundverbesserungsfaktoren in der Größenordnung von ca. 4 bis 6, konnten aber im Hinblick auf die erforderliche Verdrehungssteifigkeit der Fundamente zur Abtragung der angesprochenen Längskräfte nicht voll befriedigen. U. a. bestand auch eine

H.-G. Kempfert

Erfahrungen/Entscheidungskriterien
Tiefenrüttlung

Unsicherheit in der Übertragung der Ergebnisse aus dem Kleinversuch auf den Prototyp sowie in der Ausbildung der Übergangsschicht. Trotz der vom BZA München vorgetragenen erheblichen Vorbehalte (wir haben alternativ schwimmende Rammpfahlgründungen vorgeschlagen, die in die etwas festeren Bereiche ab ca. 15 m Tiefe einbinden sollten) entschloß sich die zuständige Projektgruppe aufgrund der Empfehlungen des Gutachters Rüttelstopfverdichtungen für Talbrücken auszuschreiben. Bisher haben die Firmen allerdings immer eine Sondervorschlag auf Franki-Ort-betonrammpfählen mit Kiesvordichtung eingebracht und dann auch, nachdem Versuche recht günstige Ergebnisse geliefert hatten ausgeführt.

Ausgeführt wurde die Rüttelstopfverdichtung bei den Widerlagern der Wambachbrücke in steifem bis halbfestem Untergrund ($c_u \cong 100 \text{ kN/m}^2$); hier allerdings mit erheblichen Schwierigkeiten die geforderte Tiefe zu erreichen.

H.-G. Kempfert Erfahrungen/Entscheidungskriterien
Tiefenrüttlung

4 - Berücksichtigung spezifischer Belange des Bauherrn

Unter dieser Überschrift möchte ich nur die spezifischen Punkte der Eisenbahn kurz ansprechen. Andere Bauherrn werden andere spezifische Belange haben. Das sind bei uns vorwiegend betriebliche Belange insbesondere, wenn die Tiefenrüttlung als Sanierungsmaßnahme ausgeführt werden soll.

Beispiele:

a) Strecke Regensburg - Nürnberg bei Pölling:

Alternativ zum vom Gutachter vorgeschlagenen Bodenaustausch, der auch nur mit erheblichem konstruktivem Aufwand zur Sicherung des Nachbargleises möglich wäre, war eine Rüttelstopfverdichtung erwogen worden. Mit Großgeräte ins Gleis zu gehen bedeutet aber immer längere Gleissperrung und in der Regel Abbau der Fahrleitungsdrähte. Wir haben dagegen vorgeschlagen, hier nur eine Planungsverbesserung durch eine Planumsschutzschicht als Trag- und Dichtungsschicht auszuführen, was sich an vielen Stellen bewährt hat.

H.-G. Kempfert

Erfahrungen/Entscheidungskriterien
Tiefenrüttlung

b) Strecke Hamburg-Harburg - Cuxhafen bei Stade:

Der Gutachter hat eine Sanierung durch das Rüttelstopfverfahren zur Erhöhung der Scherfestigkeit vorgeschlagen. Da die Strecke nicht für längere Zeit stillgelegt werden konnte, war dieser Sanierungsvorschlag unbrauchbar. Alternativ wurde zunächst die hangseitige Entwässerung wieder hergestellt. Zu einem späteren Zeitpunkt werden ggf. am Dammfuß Vorschüttung oder andere Stabilisierungsmaßnahmen ausgeführt.

In dem Vortrag wurde versucht einen Einblick zu geben, unter welchen Kriterien und Randbedingungen die Tiefenrüttlung im Bereich der Deutschen Bundesbahn eingesetzt werden kann, wobei die positiven Erfahrungen eindeutig überwiegen und die Anwendungsgrenzen, die im eingangs zitierten Merkblatt aufgeführt sind insgesamt bestätigt wurden.