

Zur Unterbausanierung – Problemstellung, Entwicklung und Ausführung

Track formation improvement – problematic nature, development and implementation

em. Prof. Dr.-Ing. Klaus Lieberenz, Dresden; Franz Piereder, Linz

Zusammenfassung

Mit dem Bau der ersten Eisenbahnstrecken begann eine enorme Entwicklung im Erdbau und in der Erdbautechnik zur Herstellung einer ausreichend tragfähigen und gebrauchstauglichen Gründung für den Fahrweg. Anfänglich erfolgten die Arbeiten händisch; ab ca. 1860 begann fortschreitend die Mechanisierung der Arbeiten. Frühzeitig erkannte man die Bedeutung der Einwirkung von Wasser und Frost auf die Befahrbarkeit und den Zustand der Strecken. Mit steigender Belastung traten Verformungen und Schäden auf, worauf das Planum zunächst händisch – mit dem Einbau von Filterschichten aus Koksasche oder Sand – saniert wurde. In der Folge gewann der Einbau von Schutzschichten in Kombination mit funktionstüchtigen Entwässerungsanlagen an Bedeutung. Dies wurde bei rückgebautem Gleis mit Erdbaumaschinen und später zunehmend gleisgebunden mit Planumsverbesserungsmaschinen durchgeführt. Diese gestatten, in einem Arbeitsgang die Bettung zu reinigen und ein Schichtsystem in mehreren Lagen aus Kiessand und Geokunststoffen einzubauen.

Abstract

When the first railway lines were constructed, there began an enormous development in earthworks and earthworks engineering for the construction of a sufficiently strong bearing foundation for the track that would be fit for the intended use. Initially the work was performed manually; from around 1860 there was gradual mechanisation of the work. The significance of the effect of water and frost on the passability and the state of the lines was recognised early on. With an increase in loads came deformations and damage so that the formation had to be improved manually by installing filter layers consisting of coke ashes or sand. Subsequently the installation of protective layers in combination with well-functioning drainage systems gained importance. This was done using earth-moving machines where the track had been removed and later, increasingly on track, using formation rehabilitation machines. These are capable of cleaning the ballast bed and insert a system of several layers of gravel-sand and geosynthetics in one pass.

1 Problemstellung

Der Eisenbahnunterbau wird durch

- statische und dynamische Belastungen aus dem Zugverkehr und
- unterschiedliche Witterungseinflüsse beansprucht. Unter dem Einfluss dieser Beanspruchungen kommt es im gesamten Tragsystem und seinen Elementen Unterbau und Untergrund zu Spannungen und Verformungen [1]. Spannungen müssen von gegebenen Festigkeiten aufgenommen werden; Verformungen dürfen bestimmte Grenzwerte nicht überschreiten. Das Tragsystem muss in seinen Elementen so dimensioniert sein, dass die einwirkenden Spannungen ohne Zerstörungen und ohne schädliche Verformungen aufgenommen werden können.

Die Verformungen sind dabei von den einwirkenden Spannungen und den Widerständen des Untergrundes und des Unterbaus abhängig, die von den Lagerungsdichten und den Verformungsmoduln der Böden sowie den Eigenverformungsmoduln und Dicken der eingebauten Tragschichten bestimmt werden [2]. Die Verformungsmoduln der Böden sind von ihrem Wassergehalt abhängig und können so mit Entwässerungsanlagen beeinflusst werden.

Typisch für Eisenbahnstrecken ist, dass sowohl die Einwirkungen als auch die Widerstände stark schwanken und von den verkehrenden Zügen, von der Geschwindigkeit, vom Oberbauzustand und vom durch die Witterung und die Entwässerung beeinflussten Unterbauzustand abhängig sind.

Schäden am Unterbau treten ein, wenn Verformungen auf Grund mangelnder Dichte, Tragfähigkeit, Frostsicherheit und Filterstabilität überschritten werden. Tragfähigkeitsschäden beginnen oft in der Frühjahrs-Tauperiode bei hohem Wasserandrang und minimaler Tragfähigkeit kritischer Böden (*Bild 1*).

Das bestehende Streckennetz ist überwiegend bereits im 19. Jahrhundert unter den damaligen begrenzten technischen Möglichkeiten errichtet worden. Viele Probleme, die bei der Instandhaltung und dem Ausbau heute gelöst werden müssen, sind eine Folge des Erdbaus vor 100 bis 180 Jahren und der seitdem realisier-

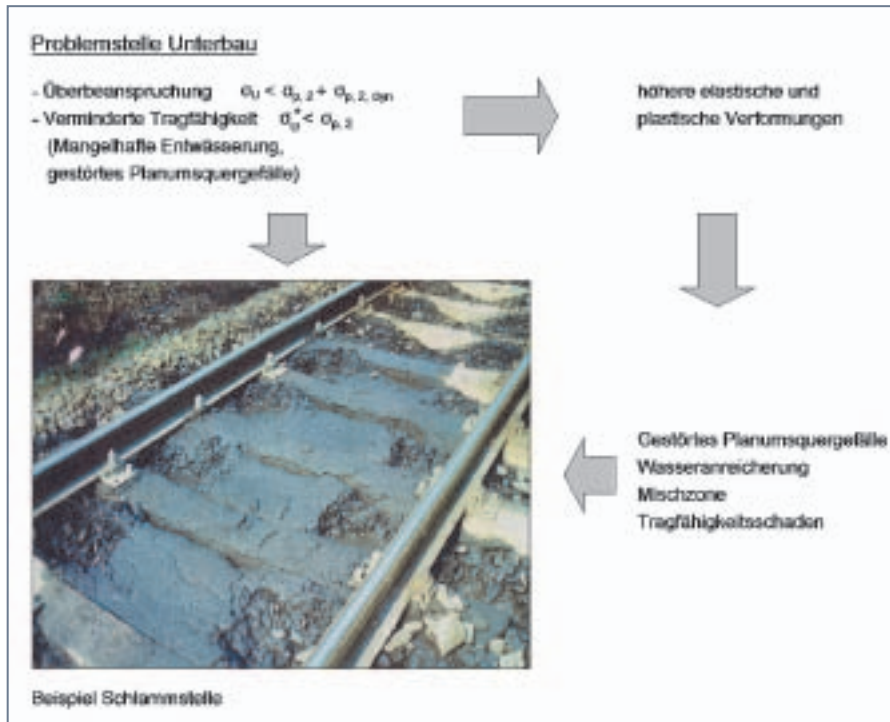


Bild 1: Tragfähigkeitsschaden im Gleis

ten Belastungserhöhung. Auf steigende Belastungen und höhere Anforderungen aufgrund höherer Geschwindigkeiten und Radsatzlasten wurde meist nur mit Maßnahmen im Oberbau reagiert. Unter der Einwirkung der Eigen- und Verkehrslasten trat bei Erdbauwerken zumeist eine Nachverdichtung im Druckbereich des Gleises bzw. eine Konsolidierung oder Teilkonsolidierung ein, so dass sich ein Gleichgewichtszustand eingestellt hat. Um dies umfassend zu werten, ist ein Wissen über die Bedingungen beim Bau der Strecken und den Erdbau im 19. Jahrhundert hilfreich. Als informative Quellen wurden dazu insbesondere die in Wien im Jahr 1876 erschienenen Bücher von W. Heyne „Der Erdbau in seiner Anwen-

dung“ [3] und von F. Rziha „Eisenbahn-Unter- und Oberbau“ [4] genutzt. Insbesondere die drei Bände von Rziha geben zusätzlich einen interessanten Überblick über die Exponate zum Eisenbahnbau auf der Wiener Weltausstellung 1873.

2 Zur Geschichte des Strecken- und Erdbaus

Der größte Teil der bestehenden Eisenbahnstrecken in Europa wird auf Erdbauwerken in Damm-, Einschnitt- oder Anschnittlage bzw. in Geländegleiche geführt; im bestehenden Streckennetz sind dies in Abhängigkeit von der Trassierung als Flachland- oder Gebirgsbahn bis zu 97 % der Streckenlänge. Die Trassierung

erfolgte bei Gebirgsbahnen mit dem Ziel des Massenausgleichs und im Flachland in leichter Dammlage zur Sicherung einer ausreichenden Entwässerung. Erdbauten wurden charakterisiert als „Bauten, die aus dem Materiale, so wie es die Natur liefert, ohne besondere Bearbeitung durch gewöhnliche Tagelöhner hergestellt werden“. Als Ziel wurde definiert, „eine Scholle Erde von einem Fleck wegzuheben und an einem anderen niederzulegen“. Der Erdbau hatte trotzdem von Anfang an eine wesentliche Bedeutung, da man frühzeitig erkannte, dass er zu maßgebenden Kosten für einen Streckenbau (bis zu 65 % der Gesamtkosten) führte und dass eine unrationelle Anlage und Ausführung das ganze Bauwerk in Frage stellen kann.

Die Ausführung des Erdbaus wurde in

- Bodengewinnung oder Erzeugung,
- Bodenförderung oder Verführung,
- Einbringen der Bodenmassen oder Aufschüttung und
- Sicherung der Erdkörper

unterschieden.

Die Geometrie der Erdkörper aus den Anfängen der Eisenbahn machen die Querschnitte in *Bild 2* ersichtlich. Die Planumsbreite einer zweigleisigen Strecke betrug ca. 6,80 m, die Böschungsneigung 1:1,25 bis 1:1,5 und die Grabentiefe ca. 0,56 m.

Das Lösen und Laden der Böden erfolgte von Hand, wobei als Werkzeuge Spaten, Schaufeln, Spitzhacken und Keile mit Schlägel unterschiedlichster regionaler Bauart (*Bild 3*) verwendet wurden. Feste Gesteinspartien wurden gesprengt. Verladen wurden die gelösten Böden mittels Wurf. Für die Entnahme der Böden im Einschnittbetrieb entwickelte sich auf dem Kontinent der Angriff vom Anfangs- und/oder Endpunkt als Lagen-, Seiten- oder Kopfbau. Der Transport zur Einbaustelle erfolgte anfänglich mit Schiebtruhlen oder Karren (*Bild 4*), von Arbeitern geschoben oder gezogen auf dem Erdboden oder auf Holzbahnen.

Bild 5 zeigt diese Arbeiten beim Herstellen des Voreinschnitts zum Oberauer Tunnel auf der Strecke Leipzig-Dresden nahe Dresden. Bald wurden dann auch Pferde zum Pferdekarren- und Wagentransport auf Bohlenwegen oder Schienen eingesetzt. Zur Rationalisierung wurden

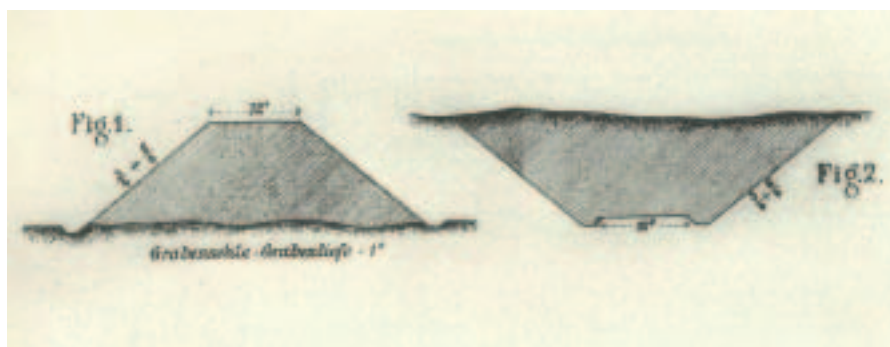


Bild 2: Bahnkörperprofile (Dämme und Einschnitte) der Leipzig-Dresdner Eisenbahn 1837



Bild 3: Arbeitswerkzeuge

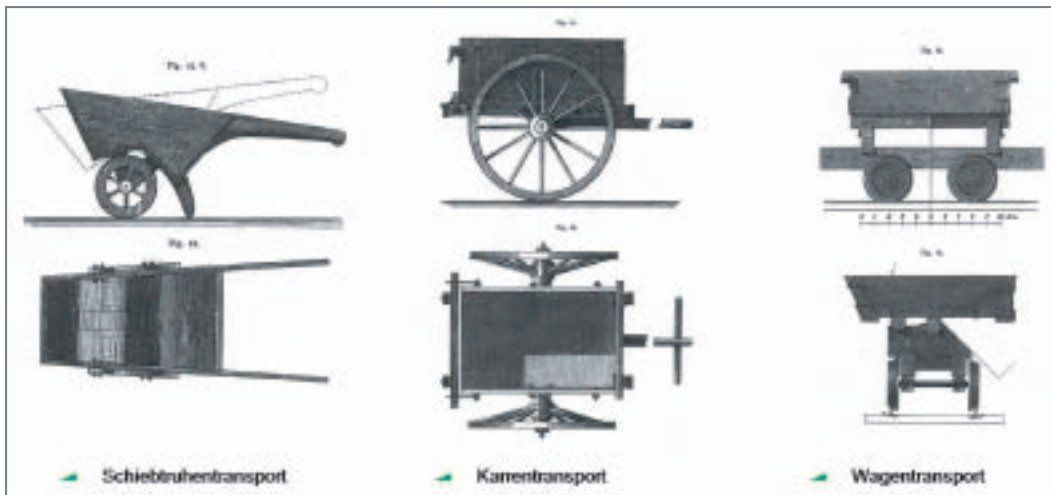


Bild 4: Förderung und Fördergefäße

dann sehr schnell transportable Gleise und Lokomotiven zum Rollwagentransport genutzt.

Der Einbau der Bodenmassen zur Aufdämmung erfolgte in Lagen-, Kopf- oder Gerüstschüttung (Bild 6), wobei die Böden meistens ungerichtet je nach ihrer Gewinnung geschüttet wurden. Oftmals wurden, wie an der Strecke Weimar–Gera 1875, hölzerne Schüttgerüste verwendet (Bild 7), deren Stützen im Damm verblieben.

Die Verdichtung der eingebauten Böden war aus heutiger Sicht völlig unzureichend, obgleich das Ziel bestand, „Die Ausführung der Schüttung ist derart zu bewirken, dass der Damm eine möglichst große Festigkeit erhält“ [3]. Bei der Kopf-

und Gerüstschüttung war überhaupt keine Verdichtung möglich, bei der Lagen- schüttung erfolgte sie durch Handstampfung und durch den Baubetrieb. Bei grobstückigem Schüttmaterial wurden die Hohlräume gezielt mit feinerem Boden verfüllt. Bei bindigen Bodenarten wurden die Klumpen an der Einbaustelle zerkleinert, mit geringer Lagendicke bis 0,30 m eingebaut und mit Handstampfung mittels hölzerner Stempel von kräftigen Arbeitern verdichtet. Bald erkannte man den Vorteil der Abwechslung von Lehm- oder Ton- mit Sandlagen. Eine leichte Überstampfung sollte vor allem den Eintritt des Sandes in leere Zwischenräume befördern. Durch die Handstampfung entstanden in der Schüttung weni-

ger wasserdurchlässige Horizonte, so dass man nach Schadensfällen hierauf überwiegend verzichtete. Um die Setzungen unter Betrieb zu verringern, wurden die Eigen-Setzungen der Dämme oft abgewartet bzw. mit Überschüttungen durch das Eigengewicht des Bodens beschleunigt (Bild 8). Die maßgebende Verdichtung wurde allerdings dem Faktor Zeit überlassen und trat erst durch den Baubetrieb und nach der Inbetriebnahme durch den Betrieb ein. Die Lastsetzungen führten im Lauf der Zeit zu einer Erhöhung der Lagerungsdichte der eingebauten Böden.

Die Arbeiten am Unterbau wurden mit der Herstellung des verdichteten und quer geneigten Planums abgeschlossen. Zum Planumsquergefälle wird in [5] treffend ausge- sagt: „Für eine gute Herstellung und Unterhaltung des Oberbaues ist eine trockene Bahnkro- ne von größter Wichtigkeit. Das durch die Bet- tung eindringende Tages- wasser muss, um Aufwei- chungen und Auffrierungen (Frostbeulen) zu verhüten, von dem Unterbaukörper ferngehalten werden. Daher erhält das Planum auf freier Strecke ein seitliches Gefälle von 1:20 bis 1:30.“ Beiderseitige Bahngräben sollen „zur Abführung des Tageswassers, zur Entfernung des Grund- und Quellwassers und somit der Trocken- haltung des Bahnkörpers“ dienen.

Auf das Erd-Planum des Damms oder Einschnitts wurden in der Regel die Bet- tungsstoffe direkt aufgebracht. Dabei erfolgte die unmittelbare Einbettung der Schwellen anfänglich in Kiese und Sande, bald wurde aber erkannt, dass die Bet- tung möglichst wasserdurchlässig, wider- standsfähig und dabei elastisch sein soll-



Bild 5: Erdtransport auf Holzbahnen, zeitgen. Darstellung

te. So wurden als Bettungsstoff später gute Kiese bevorzugt, wie Flusskiese bzw. Steinschlag, wie Schlägelschotter aus Basalt, Quarzit, Diorit, Grauwacke und Porphyrt verwendet. Die Bettungsstärke unter Schwellenunterkante betrug in Abhängigkeit von Belastung und Streckenart zwi-

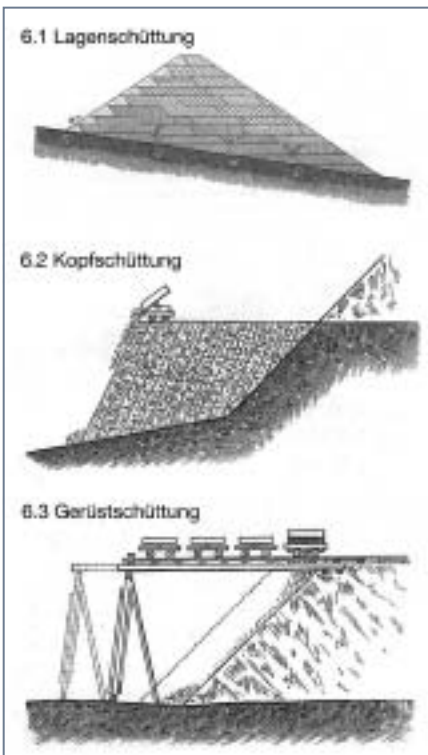


Bild 6: Aufdämmung



Bild 7: Schüttgerüst bei einer Dammschüttung an der Strecke Weimar-Gera um 1875

schon 0,10 und 0,20 m, später bis 0,30 m. Bei nachgiebigem, nassem Untergrund musste die Bettungsstärke erhöht werden oder eine Packlage für einen festen Untergrund sorgen. Bettung und Packlage sollten zu den Seiten und nach unten gut entwässert sein.

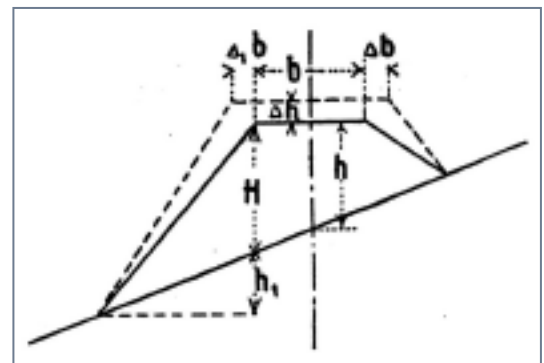


Bild 8: Verdichtung mittels Überschüttung

Standen schwache Böden an, z. B. in Lehm- oder Toneinschnitten, wurde der Untergrund mit einer Packlage aus Bruchsteinen oder mit Kies, Fluss- oder Grubenschotter verstärkt. Bei der Packlage wurden die Bruchsteine mit Hand auf die hohe Kante, mit der breiten Fläche nach unten und mit der Spitze nach oben eingesetzt. Die Oberfläche war unter Auszwickung der Hohlräume zu ebenen. In Bild 9 sind Ausführungsarten und ein Einbaubeispiel von der Brennerbahn dargestellt. Packlagen werden auch heute noch in guter Qualität bei Erkundungen und Bauarbeiten vorgefunden. Der Untergrund wurde weitestgehend ohne Verbesserung überbaut. In Sonderfällen wurden erste „außergewöhnliche Unterbauten“ mit Holzpfählen, Steinschüttungen oder Faschinen ausgeführt. Eine Mechanisierung der Erdarbeiten wurde mit der maschinentechnischen

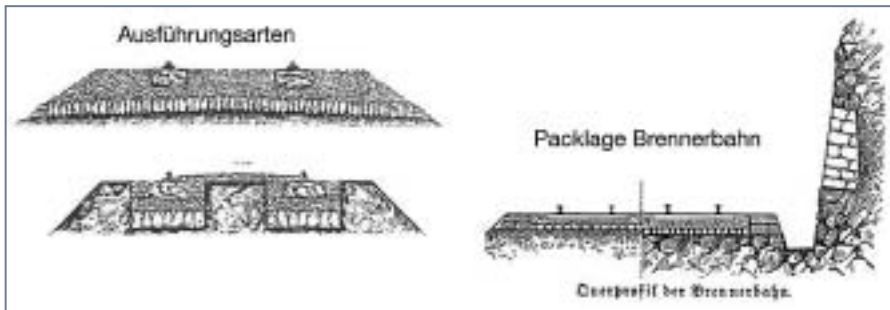


Bild 9: Packlagen

Entwicklung etwa ab 1860 möglich. Maschinelle Grabarbeiten waren aber 1870 noch nebensächlich; erst als dann die Löhne stiegen, wurde der sich entwickelnde Betrieb von Maschinen interessant und wirtschaftlich.

Zum Lösen des Bodens wurden anfänglich Pflüge verwendet, ab 1860 dann erste Maschinen zum Auffassen und Heben der Böden, und 1871 arbeitete dann der erste Excavator von Rziha im Erdbau an einer Eisenbahnstrecke in Ungarn. Zur Verdichtung der Böden wurden anfangs pferdegezogene Glattmantel- und Schaf Fußwalzen eingesetzt, ab 1862 standen erste Dampfwalzen und ab 1902 erste Motorwalzen zur Verfügung.

3 Belastungserhöhung und Betriebserfahrungen

Die unzureichende Verdichtung war anfangs nicht sehr problematisch; mit den zwangsläufigen Lastsetzungen bei den geringen Geschwindigkeiten lernte man umzugehen. Zum notwendigen Unterstopfen der Schwellen zur Korrektur und Wiederherstellung der Gleislage nutzte man frühzeitig Stopfhauen und Stopfhacken aus Holz und Stahl. Eine Vielzahl von Strecken wurde auf Grund des rasch steigenden Verkehrsbedarfs zweigleisig ausgebaut, indem im Maschinenbetrieb ein weiteres Gleis angebaut wurde. Dies kann oft an sehr unterschiedlichen Unterbauverhältnissen im Querschnitt von

zwei- und mehrgleisigen Strecken erkannt werden.

In der Folgezeit nahmen dann die Fahrgeschwindigkeiten und die Radsatzlasten ständig zu. Bild 10 aus [1] zeigt, dass die Radsatzlasten von 1835 bis 1910 von 2 t auf 14 t und die Fahrgeschwindigkeiten von 25 km/h auf 100 km/h anstiegen. Dies führte zu erhöhten Beanspruchungen im Tragsystem und insbesondere im Unterbau und Untergrund zu Verformungen und Tragfähigkeitsschäden. Die plastischen Verformungen als Lastsetzungen bewirkten eine Nachverdichtung im Druckbereich des Gleises bis ca. 1,50 m unter Schienenoberkante und eine Teilkonsolidierung mit begrenzt ausreichendem Gleichgewichtszustand. Unter den elastischen Verformungen und bei kritischer Durchfeuchtung bildeten sich bei anstehendem bindigen Boden im Planum kleine Mulden, in denen sich Wasser sammelte. Die Pumpwirkung beim Befahren erzeugt dann Schlamm, der in den Schotter aufdringt und zu Verschlämmungen in der Bettung führt. Als besonders kritisch wurden die Tragfähigkeitsschäden als Frostauschäden bei Böden mit kapilarem Wasseraufstieg erkannt. In Bild 11 aus [6] wird die Entstehung und die Behebung von Schlammstellen treffend charakterisiert und das stauende Wasser als kritisch erkannt. Auf Probleme im Unterbau/ Untergrund wurde folgerichtig mit Maßnahmen zur Entwässerung aber auch mit Verstärkungen im Oberbau reagiert. So wird noch 1911 in [5] unter Unterhaltung/Ausbesserung nur auf die Verbesserung und Verstärkung des Oberbaus eingegangen, unter Bettung allerdings auch die Entwässerung mit einbezogen und ausgeführt, dass sich „die Unterhaltung der Bettung auf die Instandhaltung der Entwässerung, auf die Reinigung der Abzugsgräben und Sickerschlitze, die Beseitigung des verschlammten Bettungsteils

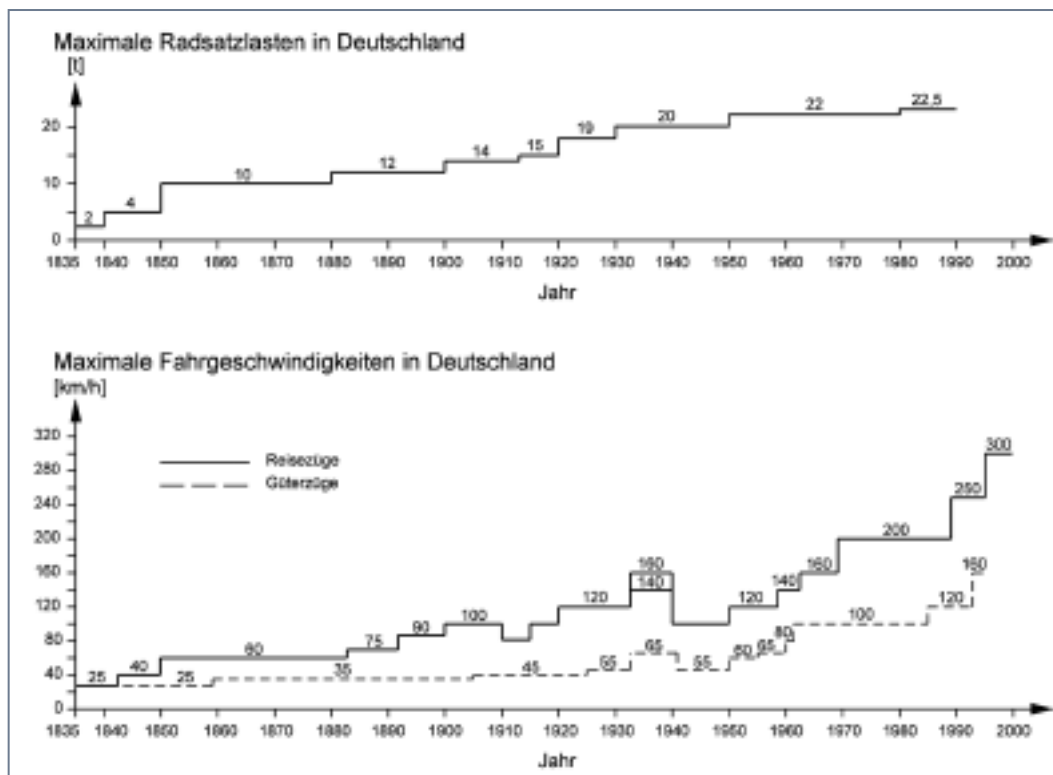


Bild 10: Entwicklung der Radsatzlasten und Fahrgeschwindigkeiten

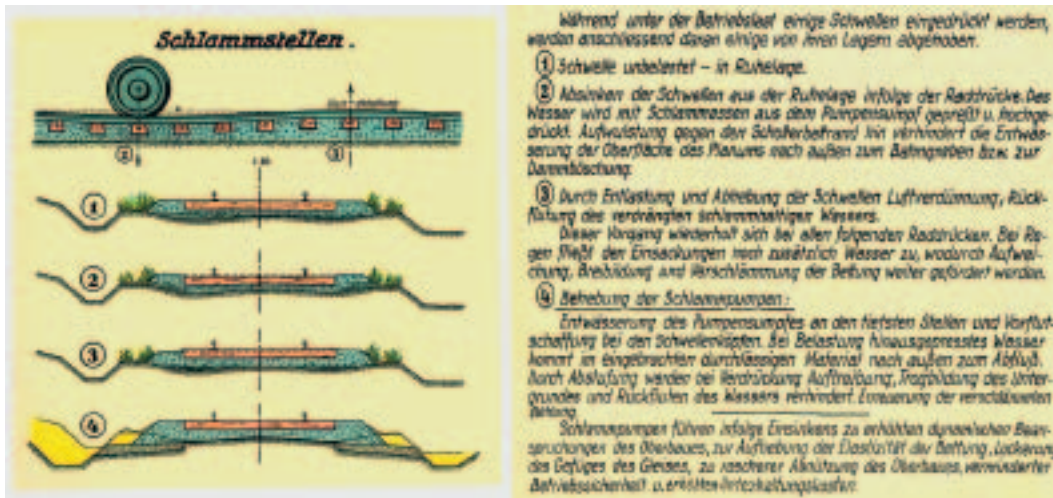


Bild 11: Entwicklung von Schlammstellen

und die Entfernung des Grasbewuchses erstreckt“. Die sachgerechte Entwässerung wurde also für die Tragfähigkeit und Frostsicherheit der Böden als maßgebend erkannt und immer gefordert aber nur partiell durchgesetzt. Bei größeren Problemen erhöhte man die Bettungsdicke, baute eine zusätzliche untere Lage aus Bruchsteinen ein oder ordnete anfangs zur Abhilfe unter der Bettung Sickerschlitze quer und/oder längs an. Erst deutlich später wurden dann als Filter eine Lage Sand, Kiessand oder Koksasche erprobt. Bild 12 zeigt in Einschnittlage die Entwässerung durch Sickerschlitze in Kombination mit einer Filterschicht aus Koksasche. Damit begann die Sanierung und Verstär-

kung des Unterbaus mit gesonderten Trag- bzw. Planumsschutzschichten.

Zusätzlich führten für steigende Transportaufgaben veränderte Lichtraumprofile aus der Fahrzeugentwicklung auch zu veränderten, insbesondere breiteren Streckenquerschnitten. Im Jahr 1904 betrug die Planumbreite einer zweigleisigen Strecke inzwischen 9,28 m (Bild 13) gegenüber ca. 6,80 m nach Bild 2. In vielen Fällen wurde das Planum nicht anforderungsgerecht mit nur unkontrollierten Anschüttungen verbreitert, und somit wurden die Randwege und die Entwässerungsanlagen eingeschränkt. Dies führte zur Beeinträchtigung der Wasserableitung und in der Folge zu kritischen hydro-

logischen Bedingungen mit weiter zunehmenden Tragfähigkeits- und Frostproblemen.

4 Entwicklung der Unterbausanierung

Bereits Ende des 19. Jahrhunderts zeigten sich Mängel im Unterbau an, und sie wurden vorrangig dem Einwirken des Wassers und des Frostes zugeschrieben. Die Vorschriften des bayerischen Ministeriums aus dem Jahr 1907 für die Herstellung

und Unterhaltung des Bahnoberbaus [7] können als Zusammenfassung der damals vorliegenden Erfahrungen dienen. Darin wird zur Unterhaltung empfohlen, die Bahngräben tiefer zu legen, die Bettung zu verstärken, unter der Bettung eine Schicht Sand aufzubringen oder eine zweischichtige Bettung mit einer unteren Lage aus Bruchsteinen zu verwenden. Als dünnlagige Trenn- und Filterschichten wurden bei Schotterbettung regional unterschiedliche, meist gleichkörnige Sande mit 0,06 bis 2,00 mm Korngröße eingebaut. Die Maßnahmen wurden meist abschnittsweise sehr mühsam in Handarbeit ausgeführt, wobei der Sand auf die vorhandene Schotterbettung gegeben und bei der Gabelung des Schotters auf das Planum eingebracht und verteilt wurde.

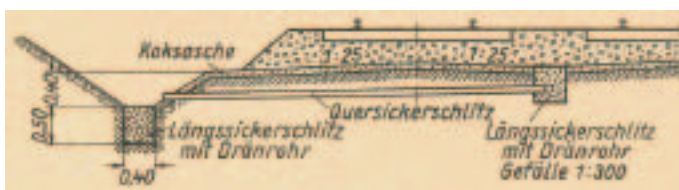


Bild 12: Filterschicht und Sickerschlitze ca. 1890

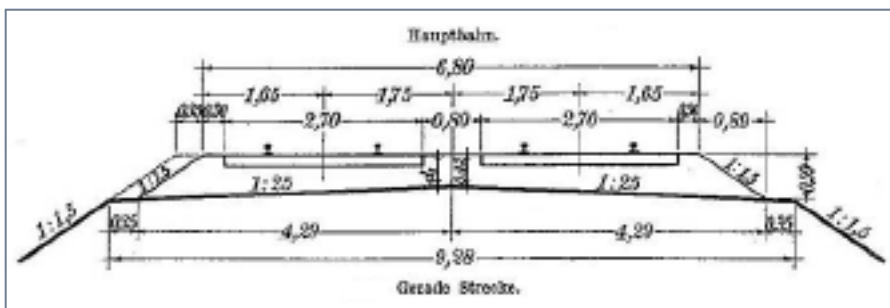


Bild 13: Bettungsquerschnitt für zweigleisige Bahnen 1904

1935 wird von K. Gunther (zitiert in [7]) festgestellt, dass ein guter Untergrund mit funktionierender Entwässerung die Qualität und Güte des Oberbaus verdreifacht. „Das Trockenhalten des Planums kann durch richtige Abführung des Tageswassers mittels Sicker- und Entwässerungsanlagen, durch Verhüten des Aufsteigens des Grundwassers und Aufquellen weichen Bodens durch Einlegen von Isolierschichten durchgeführt werden. Diese bezwecken die Brechung der Kapillarität, verhindern ein Aufsteigen des Wassers bei Frost, ferner erschweren sie durch ihre Wärmeisolierung das Eindringen von Frost.“ Für Isolierschichten kamen Schichten aus Sand, Reisig, Moor, Teer, Bitumen, Zement und Blech in Fra-

ge. Letztgenannte waren rissgefährdet und verfehlten deshalb schnell ihre Wirkung. In Österreich war K. Pfahnl ein Vorausdenker auf dem Fachgebiet des Unter- und Oberbaus; er hat in der Zeit 1940 bis 1945 den Behelf „Die Bahnerhaltung“ [6] mit vielen bildlichen Darstellungen herausgegeben. Auf Basis von treffenden Analysen für Mängel und Schäden (Bild 11) hat er viele praktikable Lösungen dargestellt. Dies sind die bevorzugte Entwässerung im Vorkopf- und Randwegbereich (Bild 14), der Einbau von Schichten aus Sand, Kohlenschlacke, Spreitlagen und Faschinen sowie die Entwässerung von Schottersäcken (Bild 11). Diese Arbeiten mussten noch in mühsamer Handarbeit und im Betriebsgleis ausgeführt werden. Es mangelte zudem an einer ausreichenden Verdichtung und an geeigneten Gesteinsmischungen. Die Entwässerungsröhre und Dränagen waren wegen fehlender Filterstabilität schon nach einigen Jahren verschlammte und bedurften mühevoller Reinigung.

In [7] wird von R. Raab resümiert, dass der Einbau von Packlagen, Steinen, Splitten, Sanden, groben Kohlenschlacken sowie Reisig und Moor nicht den erwarteten Erfolg zeigte, weil diese Materialien „zu viele und zu große Hohlräume“ hatten. Mehr zufällig erkannte man, dass alter Bettungs-Kiessand, der anfangs über-

wiegend als Bettung verwendet wurde, leicht vermischt mit lehmigem Boden aus dem Untergrund bzw. sogenannter „Schmutzschotter“ aus Schotterkorn, Gesteinsabrieb und Lehm eine gut geeignete Kornzusammensetzung aufwies. Beliebt man nämlich diese alten Bettungsschichten bzw. alte Sandschichten im Gleis und hob das Gleis entsprechend an, so war in Kombination mit funktionsfähigen Entwässerungsanlagen die Unterbausanierung erfolgreich.

Während des Zweiten Weltkrieges und in der Nachfolgezeit war gezielte Unterhaltung insbesondere am Unterbau untergeordnet, und danach widmete man sich vorrangig der Fortentwicklung der Oberbaukonstruktionen. So nahmen die Mängel und Schäden zu, der Unterbau geriet zunehmend in den Fokus und bereits ab 1954 wurden fortgeschrittene Erfahrungen mit Maßnahmen am Unterbau wieder publiziert [7]. Es wurden Empfehlungen für die Art und den Aufbau von Schutzschichten zwischen Planum und Bettung sowie ihre Kornzusammensetzung herausgearbeitet. Dazu wurden von R. Raab folgende Bedingungen an eine sogenannte „Planumsschutzschicht“ (PSS) formuliert:

„1. Sie muss verhindern, dass Feinteile lehmiger und toniger Böden nach oben steigen.

2. Sie muss verhindern, dass Niederschlagswasser auf die Unterbaukrone sickert.
3. Sie muss aber erreichen, dass die innere Stabilität und Reibung eine tragfähige Platte bilden, die bei Bewegung des Untergrundes dicht bleibt und Risse schließt.
4. Sie darf zur Verhinderung von Frostschäden keine kapillaren Eigenschaften haben.“

Die nun folgende intensive Auseinandersetzung mit den Themen Entwässerung und Schutzschichten führte 1957 zur Herausgabe der Erdbaurichtlinie Dienstvorschrift DV 836 [8]. Darin wurde die Schutzschicht als grundlegendes Element zur Sicherung von Tragfähigkeit und Frostsicherheit, zur Verhinderung von Vermischungen und zur Ableitung des Oberflächenwassers auf der PSS vorgestellt und als eine Regellösung benannt. In Anlage 1 der DV 836 wurde die Kornzusammensetzung des Schutzschichtmaterials in engen Grenzen festgeschrieben. Die Fortschreibung der Richtlinie erfolgte nach weiterer Grundlagenarbeit in Schritten bis zur Druckschrift DS 836, der Vorschrift für Erdbauwerke vom 1. Januar 1985 [9]. Diese wurde mit zusätzlichen Technischen Lieferbedingungen (TL 918 062) für die Qualitätsanforderungen an Mineralstoffgemische

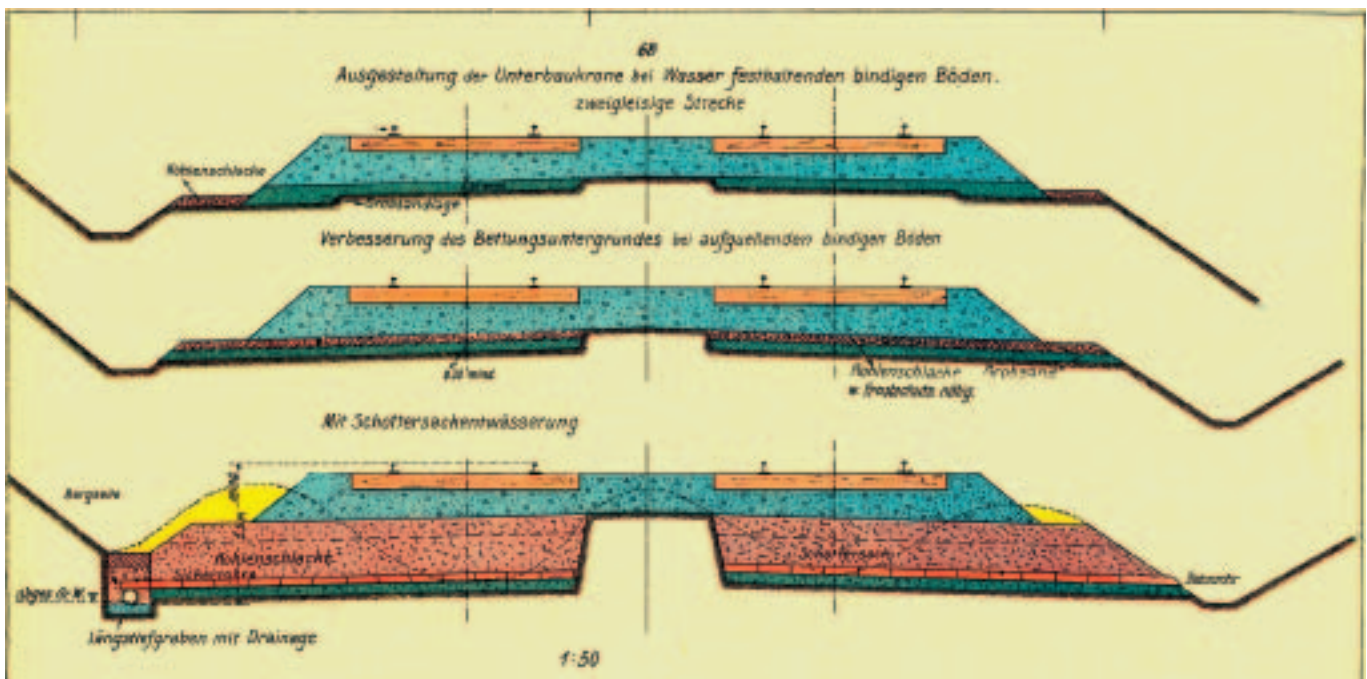


Bild 14: Planumsverbesserung nach Pfahnl [6]

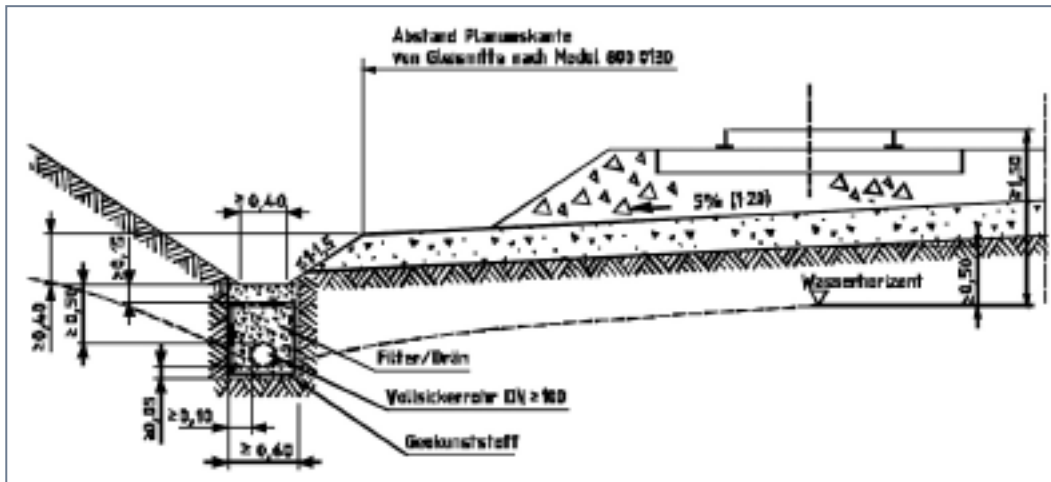


Bild 15: Querschnitt mit Entwässerung und Schutzschicht

als Schutzschichtmaterial ergänzt. Damit wurde bei der damaligen Deutschen Bundesbahn DB ein Schutzschichtmaterial bevorzugt, das durch einen erhöhten Feinkornanteil eine verminderte Wasserdurchlässigkeit aufweist und so den Abfluss des Oberflächenwassers weitgehend auf seiner Oberfläche gewährleisten soll. Dieses Konzept führte zu qualitativ hochwertigen Schutzschichten, aber auch zu einer Überbetonung der Schutzschicht und damit zu weniger Aufmerksamkeit für die Entwässerungsanlagen.

Bei den Österreichischen Bundesbahnen ÖBB wurde aufbauend auf die Erfahrungen von K. Pfahnl eine eher wasserundurchlässige PSS bevorzugt und der Entwässerung, die als grundlegend für Tragfähigkeit und Frostsicherheit erkannt wurde, eine höhere Aufmerksamkeit gegeben. Dies entsprach auch der Entwicklung bei der damaligen Deutschen Reichsbahn DR bis 1990, die im Fachbereichsstandard Eisenbahnunterbau [10] festgeschrieben wurde. Nach der politischen Wende wurde dann mit den Ausführungsbestimmungen (ABest) zur DS 836 [11] und der Richtlinie 836 vom 20. Dezember 1999 [12] neben dem eher wasserundurchlässigen Korngemisch 1 auch das wasserundurchlässigere Korngemisch 2 zugelassen, so dass nunmehr gezielter nach den örtlich anstehenden hydrologischen und geologischen Bedingungen gewählt werden konnte.

Heutiger Stand der Technik für die Unterbausanie rung sind die Kombination von Maßnahmen zur Entwässerung und der Einbau von Trag- bzw. Schutzschichten

(Bild 15). Mit Maßnahmen zur Entwässerung ist Wasserstau mit Wasseranreicherungen im Boden und damit eine kritische Erhöhung des Wassergehalts mit Konsistenzänderung und Tragfähigkeitsverminderung zuverlässig zu verhindern. Am Bahnkörper übernehmen das Planumsquergefälle, die offenen Bahngräben, die Abfanggräben und die dazu gehörigen Vorflutanlagen die Fassung und Ableitung des Oberflächenwassers. Tiefenentwässerungen werden als unterirdische Entwässerungsanlage zur Aufnahme und Ableitung von ungebundenem Bodenwasser und Schichtwasser angeordnet. Entwässerungsanlagen sollen wegen ihrer verzögerten Wirkung immer im Vorlauf zum Einbau von Schutzschichten bzw. zu Gleisumbauten hergestellt werden.

Trag- bzw. Schutzschichten sind ein auf das Planum aufgebrachtes Schichtsystem, das mit seiner Wirkung als Trag-

Frostschutz-, Trenn-, Filter- und Versiegelungs- bzw. Dichtungsschicht den anstehenden Boden vor schädlichen Verformungen und Frosteinwirkungen schützt. Sie werden aus Korngemischen hergestellt und können durch Zusatzmaßnahmen aus Geokunststofflagen, Übergangs- oder Bodenverbesserungsschichten in ihrer Wirksamkeit verbessert oder ergänzt werden. Die Schichten können gleislos oder gleisgebunden eingebaut werden.

den.

Diese Zusatzmaßnahmen wie Geokunststoffe, Abdichtungsbahnen, Wärmedämmplatten, Unterschottermatten und Bindemittelzugaben [1] wurden seit 1973 entwickelt, so dass heute noch variabler auf örtliche Bedingungen reagiert werden kann. Mit ihnen können zusätzliche oder verstärkt trennende, filternde, dränierende, bewehrende, abdichtende oder dämmende Wirkungen erzielt werden (Bild 16). Daraus wurden inzwischen Tragsysteme entwickelt, die vielfältige weitere Aufgaben übernehmen können (Abschnitt 6).

5 Einbautechnologien für Planumsschutzschichten

Der anfänglich manuelle Einbau von Planumsschutzschichten aus Kiessanden im

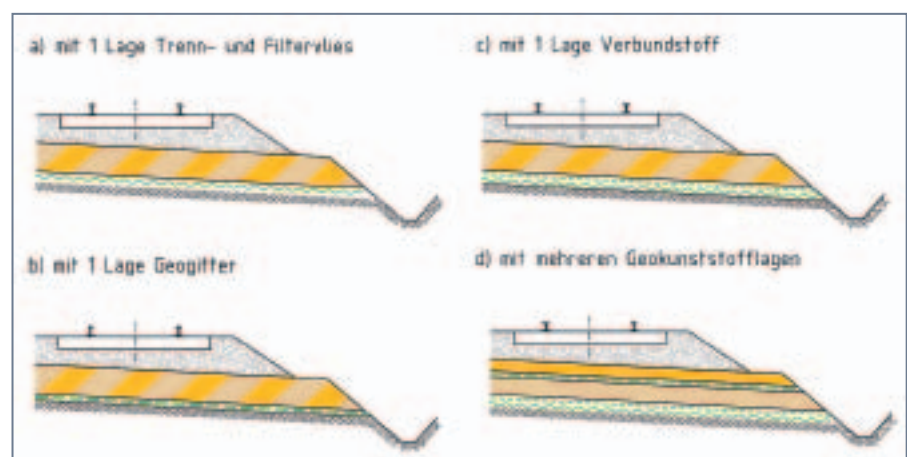


Bild 16: Schutzschichten mit Geokunststoffen

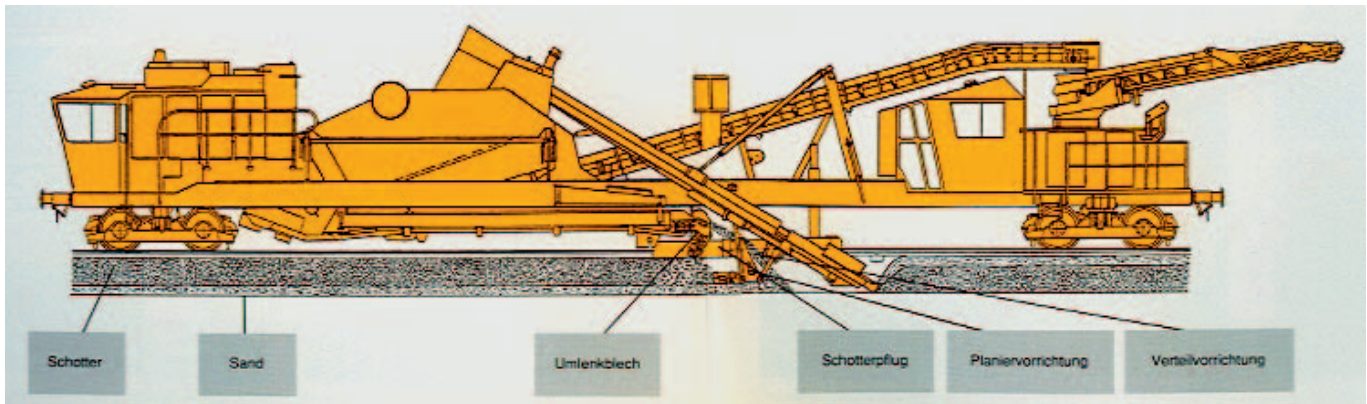


Bild 17: RM 61 für Kiessandeinbau



Bild 18: RM 61 – Arbeitsschritte

Klotzverfahren (Verfahren bei der vollständig händischen Bettungsreinigung) ohne Gleisabtrag oder in offener Bauweise mit Gleisabtrag war sehr arbeitsaufwändig und lohnintensiv. Durch den Einsatz von Baumaschinen und Fahrzeugen konnten beim gleislosen Einbau zunehmend die händischen Arbeiten ersetzt werden. Dabei wird unter Gleissperrung das vorhandene Gleis rückgebaut, Bettung und geschädigter Boden werden ausgebaut und die neue PSS und Bettung eingebaut. Die Technologien wurden immer ausgefeilter, die Baumaschinen immer leistungsstärker und der Recycling-Anteil aus dem Schotter immer größer. Basierend auf vorhandenen Gleisbaumaschinen wurden seit ca. 1960 Maschinen und Systeme entwickelt, mit denen die Planumsschutzschichten ohne Gleisrückbau eingebaut werden konnten. So konnte Ende 1960 ein von der Fa. Plasser & Theurer, Wien, entwickeltes System bereits im Zusammenhang mit der Bettungsreinigungsmaschine RM 61 in zwei

Durchgängen eine ca. 15 cm dicke Kiessandschicht ohne Gleisabtrag einbauen.

Die *Bilder 17 und 18* zeigen die Maschine und die Arbeitsschritte. Dabei wurde



Bild 19: Aufgrabung bei Umbau 2005

nach der Bettungsreinigung der Kiessand auf der Bettung verteilt und beim zweiten Durchgang der Maschine Kiessand und Schotter aufgenommen, durch Sieben getrennt und lagenweise eingebaut. In **Bild 19** ist der Schichtenaufbau bei ei-

geführten Kiessand sowie gereinigten Altschotter und Neuschotter einbaute und die PSS sowie den Schotter verdichtete. Damit begann eine maschinentechnische und bautechnische Entwicklung, die zu einer immer ausgefeilteren Mecha-

zustellen, so kann das jetzt eine Maschine in einem Durchgang leisten (**Bild 20**). Die Umbauleistungen wurden ständig gesteigert und zugleich Abraum, Transporte, Bauzeiten und die Betriebsbeeinflussung deutlich reduziert, das Materialrecycling und die Qualität von Schotter und Korngemischen weiter verbessert. In [13] sind die Entwicklungsschritte detailliert erläutert.

So kann heute je nach örtlichen geohydrologischen, geometrischen, ökologischen und baubetrieblichen Bedingungen gezielt die am besten geeignete bau- und maschinentechnische Lösung ausgewählt und eingesetzt werden.

Aus den unterschiedlichen Technologien der gleislosen und der gleisgebundenen Verfahren ergeben sich unterschiedliche Bedingungen und Voraussetzungen für den Einbau, die Verdichtung und die Qualitätskontrolle der Schutzschicht. Dabei gilt grundsätzlich, dass bei beiden Verfahren das gleiche Qualitätsniveau (Dichte und Tragfähigkeit) und die gleichen Gebrauchseigenschaften für die Schutzschicht erreicht und nachgewiesen werden müssen. Beide Einbauverfahren haben aber deutlich unterschiedliche Charakteristika bezüglich der technologischen, baubetriebstechnologischen und betrieblichen Bedingungen [1, 14], die



Bild 20: Planumsverbesserungsmaschine – Überblick

ner ca. 1970 auf diese Weise eingebauten PSS nach 35 Jahren Liegedauer zu sehen. Ab 1983 kam mit der PM 200-1 die erste eigenständige Planumsverbesserungsmaschine zum Einsatz, die mit einer Aushubkette den geschädigten Boden und den Schotter ausbaute, gesondert zuge-

nisierung, zu einem zunehmenden Material-Recycling und zu einer immer höheren Einbauqualität führte [13]. Waren anfangs noch bis zu fünf Arbeitsschritte mit fünf verschiedenen Gleisbaumaschinen erforderlich, um eine mehrlagige Unterbauanierung ohne Gleisabtrag her-

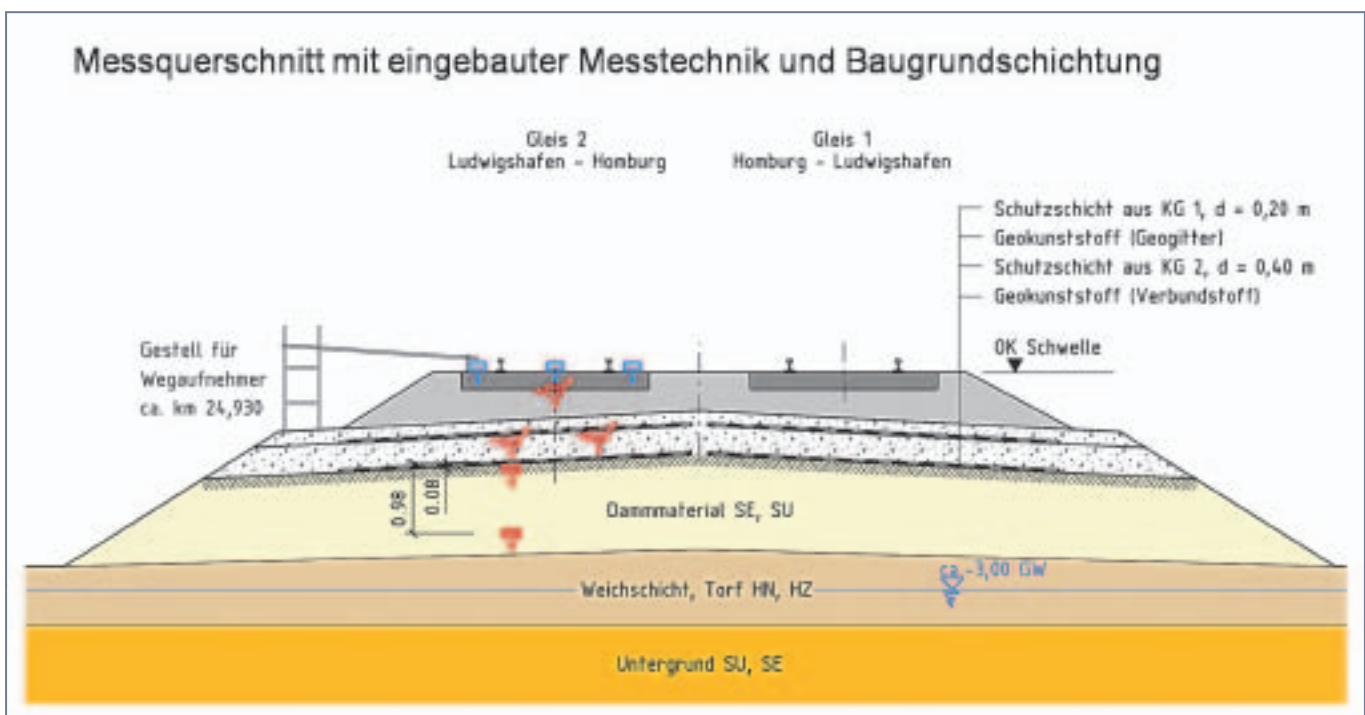


Bild 21: Gleisnahes bewehrtes Tragsystem



Bild 22: Einbau eines Tragsystems mit Geogitter

sich insbesondere aus der Nutzung des Baugleises als Arbeits- und Transportebene, dem Entfall eines Gleislängsverbaus und dem weitest gehenden Ausschluss von Witterungsfaktoren während des Maschineneinsatzes beim gleisgebundenen Verfahren ergeben.

6 Ausblick – Entwicklung zu Tragsystemen

Vertiefende Untersuchungen zur Gebrauchstauglichkeit [15] haben unter besonderer Berücksichtigung dynamischer Anregungen durch den Eisenbahnverkehr gezeigt, dass gleisnahe bewehrte Tragsysteme aus Korngemischen und Geokunststoffen eine höhere Steifigkeit und eine bessere Last verteilende Wirkung aufweisen und so mögliche Setzungen reduzieren und vergleichmäßigen. Gleislage und Fahrkomfort werden auch bei höheren Fahrgeschwindigkeiten deutlich verbessert. Zudem werden durch ihre dämpfende Wirkung die dynamischen Beanspruchungen unterhalb dieser gleisnahen Tragsysteme reduziert. Somit können die bei Untergrundertüchtigungen bisher überwiegend angewandten tiefgründigen erdbautechnischen Maßnahmen im Unterbau und Untergrund zukünftig noch mit gleisnahen bewehrten Tragsystemen ergänzt und dadurch optimiert werden.

Dies gilt insbesondere in Kombination mit dem Einbau einer höheren Elastizität im Oberbau, die eine höhere Wirkung als Feder- und Dämpfungselement bei steiferen gleisnahen Tragsystemen zeigt. Auch diese – dynamische Beanspruchungen reduzierenden – Tragsysteme können gleislos oder gleisgebunden eingebaut werden. **Bild 21** zeigt ein ausgeführtes Beispiel eines Tragsystems bei einer Eisenbahnstrecke mit Weichschicht im Untergrund mit den eingebaute Messgebern zum Nachweis der Wirkung. **Bild 22** gestattet einen Blick auf den Einbau einer Geogitterlage mit der PM 1000, mit welcher in einem Durchgang ein vierlagiges Tragsystem – bestehend aus einem Geoverbundstoff, darüber eine mechanisch verbesserte Tragschicht aus Schotter- und



Prof. Dr.-Ing. Klaus Lieberenz (70). Studium des Bauingenieurwesens an der HfV Dresden bis 1966, Tätigkeit bei der DR, insbesondere im Erdbau bis 1992, 1984 Promotion zum Dr.-Ing., von 1993 bis 2007 Professor für Eisenbahnbau an der HTW Dresden, seit 1994 Berater bei der GEPRO Ingenieurgesellschaft, Dresden.

Anschrift: GEPRO Ingenieurgesellschaft, Caspar-David-Friedrich-Straße 8, 01219 Dresden, Deutschland.

E-Mail: klaus.lieberenz@kabelmail.de

Bodenrecyclingmaterial, ein Geogitter darauf und zuoberst ein Korngemisch – eingebaut wurde. – A 199 –

(Indexstichworte: Eisenbahnbau, Eisenbahnoberbau, Fahrwegtechnik)
(Bildnachweis: 1 und 3 bis 22, Autoren; 2, *Civilingenieur 1889, Taf. VI Fig. 1 u. 2*)

Literatur

- [1] Göbel, C.; Lieberenz, K.: Handbuch Erdbauwerke der Bahnen. Eurailpress, Hamburg 2004.
- [2] Kipper, R.; Lieberenz, K.: Zum Einfluss des Unterbaues und des Tragsystems auf die Gleislage. *Eisenbahningenieur* 60 (2009) 9, S. 18–24.
- [3] Heyne, W.: Der Erdbau in seiner Anwendung auf Eisenbahnen und Straßen. Alfred Hölder, Wien 1876.
- [4] Rziha, F.: Eisenbahn-Unter- und Oberbau. Erster bis dritter Band, Druck und Verlag der K.-K. Hof- und Staatsbücherei, Wien 1876.
- [5] Schau, A.: Der Eisenbahnbau. Verlag von B. G. Teubner, Leipzig/Berlin 1911.
- [6] Pfahnl, K.: Die Bahnerhaltung. Österreichische Bundesbahnen, Linz 1944.
- [7] Raab, R.: Erinnerung an die Entwicklung des Gleisunterbaues – Wege und Irrwege. *Eisenbahntechnische Praxis* 4/1980, S. 34–37, 2/1981, S. 33–38, 4/1981, S. 34–37.
- [8] Richtlinien für die Entwässerung und Festigung der Erdbauten (Erdbaurichtlinien). DV 836, DB, 1.4.1957.
- [9] Vorschrift für Erdbauwerke (VE). DS 836, DB, 1.1.1985.
- [10] Fachbereichsstandard Eisenbahnunterbau. TGL 24756, Entwurf September 1990.
- [11] Ausführungsbestimmungen (ABest) zur Vorschrift für Erdbauwerke DS 836. DR, 1.7.1991.
- [12] Erdbauwerke planen, bauen und instand halten. Ril 836, DB, 20.12.1999.
- [13] Riebold, K.; Piereder, F.: Gleisgebundene Unterbausanierungstechnologien. EIK 2010, S. 31–44.
- [14] Hillig, J. et. al: Anforderungen an den gleisgebundenen Einbau von Schutzschichten. EIK 2004, S. 109–123.
- [15] Kipper, R.; Weisemann, U.: Wirkungsweise von mehrfach bewehrten Tragschichten – ein Erfahrungsbericht. *Bautex* 2010, Chemnitz, 28.10.2010.



Franz Piereder (77). Leiter der Gleisbaumaschineneinsätze bei den Österreichischen Bundesbahnen, ÖBB-Direktion Linz, von 1955 bis 1992. Privatanschrift: Ahornweg 4, 4800 Attnang-Puchheim, Österreich.

E-Mail: franz.piereder@utanet.at