

Helmut Misar

Kosteneinsparungen durch intelligentes Schottermanagement

Auf jedem Kilometer einer zweigleisigen Strecke liegen je nach Oberbauform und Gleisabstand etwa 3000 bis 5000 m³ Schotter [1]. Die wirtschaftliche Handhabung und Verwaltung dieser riesigen Materialmengen stellen für Gleisstandhalter eine große Herausforderung dar.

Die Anforderung an die Bettung besteht darin, die auftretenden Kräfte durch den Zugverkehr möglichst gleichmäßig auf den Unterbau zu verteilen und dem Gleisrost einen ausreichenden Widerstand gegen Quer- und Längsverschiebung zu bieten und durch gute Luft- und Wasserdurchlässigkeit das Gleis trocken zu halten [2].

Im Rahmen von zwischenzeitlichen Durcharbeitungen soll, ohne wesentlichen Austausch von Oberbaumaterial, die Soll-Lage des Gleises oder der Weiche wiederhergestellt werden. Diese Wiederherstellung der Soll-Lage erfolgt mit Nivellier-, Richt- und Stopfmaschinen und die des Bettungsquerschnittes durch Schotterplaniermaschinen [3].

Schotterprofilkontrolle

Am Beginn der rationellen Schotterbewirtschaftung steht die Kenntnis der im Gleis vorhandenen Schottermengen.

Zur Ermittlung des Schotterprofils können Maschinen mit einem Laser-Messsystem und einer integrierten Computerauswertung ausgerüstet werden. Ein Laser-

Scanner arbeitet dabei als berührungsloses Messsystem, mit dem das Gleis zweidimensional abgetastet wird. Trifft der Laserimpuls auf das Schotterprofil, wird er reflektiert und im Empfänger des Lasers registriert. Aus der Abfolge der empfangenen Impulse und der im Gerät erfolgten Auswertung wird die Kontur des Schotterprofils berechnet.

Bei der Computeraufzeichnung kann das gemessene Profil mit einer Darstellung des Sollprofils überlagert werden. Aus der Soll- und Ist-Darstellung kann der Maschinenführer eines Schotterpfluges die optimale Steuerung der Pflugschilder oder die Schotterrückführung aus einem Schotter-silo ableiten.

Der Computer bietet auch eine Darstellung des Schotterüberflusses oder -mangels, z.B. als Balkendiagramm. Mit einer solchen Einrichtung zur Schotterprofilkontrolle ist eine sehr rationelle Schotterbewirtschaftung möglich. Voraussetzung für Aufnahme und Abgabe des Schotters an den entsprechenden Stellen des Gleises ist eine Schotterplaniermaschine mit Kehrförderereinrichtung und Schotter-silo (Abb. 1)

Die erste Maschine die über dieses Gesamtkonzept verfügt, ist die bei den Österreichischen Bundesbahnen eingesetzte Automatische Fahrwegkontrollmaschine AFM 2000, die erstmals 1998 im Rahmen eines Mechanisierten Durcharbeitungszuges (MDZ 2000) arbeitete.

Wenn das Profilmessgerät auf einem Gleismessfahrzeug montiert ist, besteht die Möglichkeit der vorausplanenden Schotterbewirtschaftung durch Auswahl der entsprechenden Schotterpflüge – mit oder ohne Silo – und durch genaue Berechnung der Volumendifferenzen, die

aufgrund der Computerdarstellung möglich ist [4].

Beurteilung der Schotterqualität

Da bei Schotterarbeiten im Gleis eine Umschichtung des Bettungsmaterials vorgenommen wird, könnte es interessant sein, auch die Schotterqualität, insbesondere im Flankenbereich, zu beurteilen. Die Erstellung von Radargrammen [5] ermöglicht heute eine sehr genaue Erfassung der Bettungssituation.

Mittels spezieller Antennen werden extrem kurze elektromagnetische Impulse in den Gleisschotter eingekoppelt (300 bis 1000 MHz). Diese Impulse werden an Schichtgrenzen oder Einzelobjekten reflektiert. Spezielle Software bereitet die empfangenen Impulse auf. Nach erfolgter Datenbearbeitung wird das lagegenaue Abbild des Fahrweges hinsichtlich Schadstellen, Verunreinigungen und der Schichtenfolge fortlaufend auf dem Bildschirm dargestellt.

Bei der von der Firma Wiebe entwickelten Anwendung des Geo-Radar Systems – das unter der Bezeichnung GeoRail® bekannt wurde – wird neben den üblichen Profilen in Gleisachse und auf der Feldseite zusätzlich ein Profil auf der Bahnseite erzeugt. Die erzielbare Eindringtiefe der verwendeten Sensoren beträgt dabei bis zu vier Meter. Eine weitere Spezialantenne dient als „Schotterlupe“. Mit einer Eindringtiefe von 1,40 m bietet sie ein noch höheres vertikales Auflösungsvermögen.

Die jeweils vier Profile pro Gleis werden gemeinsam bei einer Fahrgeschwindigkeit von 30 km/h erzeugt. Die Schichtleistung beträgt bis zu 200 Kilometer (vier Aufzeichnungen entsprechen damit 800 Kilometer Profilerfassung). Auf diese Weise wird der Trassenaufbau lückenlos dokumentiert.

Das zur Beurteilung von Schadstellen sehr wichtige physikalische horizontale Auflösungsvermögen umfaßt sieben bis zehn Einzelmessungen je laufendem Meter. Jede Einzelmessung (Scan) wird aus etwa 1000 gesendeten Impulsen erzeugt. Dadurch ist es möglich, die Trasse mit einem Maßstab von 1:500 optisch scharf abzubilden (marktüblich 1:2500). Für die Beurteilung der Schotterqualität und Dokumentation von Schadstellen ist dies unerlässlich.

Die Messungen auf der Feldseite und auf der Bahnseite lassen eine allgemeine Ten-

Der Autor

Ing. Helmut Misar, Plasser & Theurer, Wien

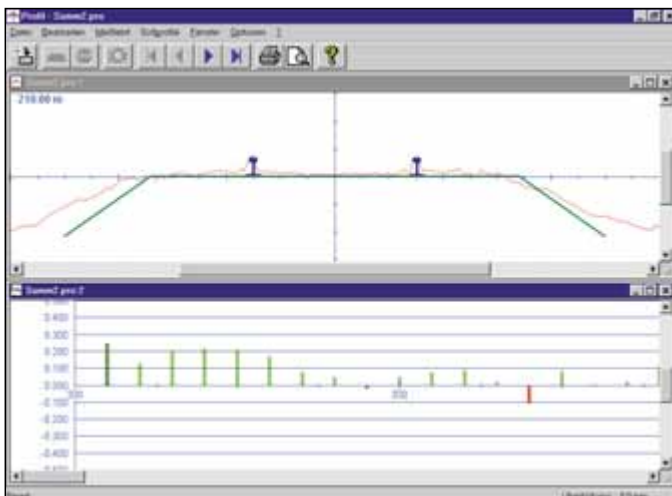


Abb. 1: Schotterprofilkontrolle – Darstellung des Schotterprofils und der Schottermengen

denz erkennen: Manchmal erscheint die Gleisachse verschmutzt, während die Feldseite eine deutlich und sauber reflektierende, kontinuierliche Schotteruntergrenze zeigt. Daraus lässt sich ableiten, dass die Gleisachse aufgrund der betrieblichen Umstände stärker verschmutzt wird. Die Flanke ist im allgemeinen sauberer oder es ist sogar eine Flankenreinigung erfolgt. Das Gleiche gilt für die Bahnseite. Damit ist das dort vorhandene Bettungsmaterial ein gutes Ausgangsmaterial für die Schottereinbringung von der Flanke oder dem Mittelkern in den Stopfbereich des Gleises.

Das abgebildete Radargrammbeispiel (Abb. 2) zeigt eine gleichmäßige Verschmutzung in der Gleisachse (Abb. oben) und eine gereinigte Flanke (Abb. unten)

Anforderungen an Schotterplaniermaschinen

In einem DB-Fachbuch wird gefordert: „Zur Herstellung des Bettungsquerschnittes werden auch an moderne Schotterplaniermaschinen hohe Ansprüche gestellt.“ [6]. Da der wirtschaftliche Faktor immer mehr zum Tragen kommt, müssen Schotterplaniermaschinen folgende Kriterien erfüllen:

- Schnelle Einsatzbereitschaft,
- hohe Durcharbeitungsgeschwindigkeit – abgestimmt auf Drei-Schwellen-Stopfmaschinen oder andere Hochleistungsmaschinen,
- hohe Kehrleistung mit einwandfreiem Ergebnis,
- Speichermöglichkeit von Schotter,
- kontinuierliche Arbeitsweise und damit genaue Reprofilierung des Bettungsquerschnittes in einem Arbeitsgang und
- Erfüllung der gültigen Normen (CEN) (Abb. 3).

Seitenpflüge (Flankenpflüge)

Nach den Oberbaurichtlinien der DB AG (DS 820 01 06) heißt es: „Bei Arbeiten an der Bettung soll die Schotterböschung mit dem natürlichen Schüttwinkel (1:1,25) hergestellt werden. Beim Entwurf des Bettungsquerschnittes ist eine Neigung der Schotterböschung von 1:1,5 zugrunde zu legen“. Die Schwellen müssen vor Kopf je nach zulässiger Streckengeschwindigkeit 0,4 - 0,5 m (+ max. 0,1 m) eingeschottert sein.

Durch die Toleranz der Neigung der Schotterböschung im vorgeschriebenen Bettungsquerschnitt besteht die Möglichkeit, Schotter in den Stopfbereich hochzupflügen und im Bereich der Bettungskrone zu verteilen. Der Flankenwinkel bei den oben angegebenen Neigungen liegt zwischen etwa 31 und 38 Grad (gemessen von der Horizontalen).

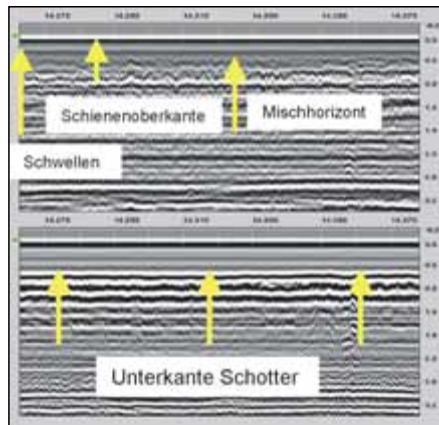


Abb. 2: Radargramm Gleisachse verschmutzt (o.) Flanke sauber (u.)

Da der Schüttwinkel nach der Durcharbeitung durch Umwelteinflüsse und Zugverkehr im Laufe der Zeit verflacht, wird durch die Pflugarbeiten der unwirtschaftlichen Verbreiterung des Schotterbettes entgegengewirkt. Aufgrund der Unterschiede im Flankenwinkel kann Schotter zurückgewonnen werden, um in anderen Bereichen Verwendung zu finden. Der Schotterhaushalt innerhalb des genannten Bettungsquerschnittes wird dadurch äußerst wirtschaftlich gestaltet.

Schotterplanierarbeiten im Mittelkern einer zweigleisigen Strecke erfordern eine Ausschwenkbegrenzung des Seitenpfluges. Eine rechnergesteuerte Messeinrichtung macht den Einsatz des Flankenpfluges in diesem Bereich problemlos möglich. Die elektronisch gesteuerte Messanlage gibt bei Vorgabe des Gleisabstandes nur jene Arbeitsbreite frei, die ein ungehindertes Befahren des Nachbargleises ermöglicht und in den Regellichtraum des Nachbargleises nicht eingreift. Durch den Rückgewinn der Schottermengen aus dem Mittelkernbereich können auch diese Massen genutzt werden. Bei Einführung der Ausschwenkbegrenzung im Jahr 1986/87 wurde von Stellen der Deutschen Bundesbahn geschätzt, dass etwa 990 000 t Schotter pro Jahr aus dem Bereich des Mittelkerns zurückgewonnen werden könnten. [7]

Die Flankenpflüge der Plasser & Theurer Planiermaschinen entsprechen den Forde-

rungen des Einsatzes voll; sie sind tief angeordnet und werden im Wesentlichen seitlich ausgefahren und nicht hinuntergeklappt. Damit wird auch das Nachbarprofil durch Pflugausschwenkbewegungen nicht berührt. Die Pflüge weisen einen großen Winkelverstellbereich (von 0° bis 45°) auf, einen zusätzlichen Verstellbereich über die Horizontale von ca. 10° für Arbeiten im Bahnhofsbereich. Um relativ kleine Anstellwinkel zu ermöglichen, die den Schotterfluss im aufsteigenden Bereich begünstigen, verfügen die Seitenpflüge über eine optimal lange Pflugschar.

Einige Maschinenausführungen sind ausgerüstet mit Zusatzeinrichtungen zum Freihalten des Randwegbereiches durch bewegliche Schildspitzen oder mittels einer rotierenden Bürste (SSP 110). Symmetrische Pflugscharen mit Zubringerschildern an beiden Pflugseiten, ermöglichen das Arbeiten in jede Richtung. Teleskopartige Ausführungen, damit auch bei Überhöhung bis 150 mm im Randwegbereich (d.h. an der Bogenaußenseite) gearbeitet werden kann (SSP 120, SSP 121), tragen ebenfalls zur universellen Einsatzmöglichkeit der Schotterpflüge bei.

Nebeneffekte der Flankenbearbeitung

Durch das Heranziehen und Hochpflügen des Schotters von der Flanke auf die Bettungskrone wird scharfkantiger Schotter in den Stopfbereich gebracht. Dadurch entsteht im Schotterbett ein teilweiser Materialkreislauf, so dass für die nächsten Stopfarbeiten fast neuwertiger Schotter zur Verfügung steht und damit die Nachhaltigkeit der Stopfarbeiten noch gefördert wird. Auch ein bedeutender Faktor des Umweltschutzes ist durch den Einsatz von Schotterplaniermaschinen gewährleistet. Das Bepflügen der Flanke und Bearbeiten des Randweges dient in gewissem Maße auch der Wildkrautbekämpfung. Natürlich ist dies hauptsächlich eine die oberen Schichten des Bettungsmaterials betreffende Maßnahme, da die Humusansammlung in der Bettung oder eventuell tief reichende Wurzeln nicht erreicht werden.



Abb. 3: Universal-Schotterverteiler- und Planiermaschine USP 2000 SWS im Einsatz bei DB-Bahnbau

Pflugarbeiten im Bereich der Bettungskrone

Aufgrund der Anordnung dieses Pfluges an der Maschine zum Bearbeiten des oberen Bereiches der Bettung wird von einem Stirnpflug oder von einem Mittelpflug gesprochen. Die Stirnpflüge sind im allgemeinen in V-Form ausgeführt und ermöglichen einzelne einfache Arbeiten, Mittelpflüge als Kreuzpflug können in beide Richtungen arbeiten und komplexe Aufgaben erfüllen.

Bei den Hochleistungs-Schotterplaniermaschinen ist meist ein Mittelpflug in Verwendung, der so angeordnet ist, dass er den Schotter von den Flankenpflügen übernimmt und weiter verteilt. Damit ist es möglich, bei Bedarf Schotterbewegungen quer über das gesamte Bettungsprofil, von einer Flanke zur anderen, oder von der Flanke zum Mittelkern oder umgekehrt, durchzuführen. In einem Arbeitsgang kann in Kombination sowohl ausgepflügt, wie an Stellen des Bedarfs eingeschottert werden.



Abb. 4: Ballast Management System mit zwischengeschalteter Material-Förder- und Siloeinheit zur erweiterten Materialaufnahme

Der Stopfzonenbereich wird dabei optimal verfüllt; durch entsprechende Höhenverstellung soll maximal eine Korngröße über der Schwellenoberkante liegen bleiben. Zusätzliche, in Längsrichtung einstellbare Prallbleche verbessern die Einschotterung der Stopfzone und schützen den mittig liegenden Linienleiter vor Beschädigung durch unerwünschten Schotterfluss. Zur schonenden Behandlung der Schiene und des Kleineisens ist ein Kleineisen-Tunnel vorgesehen, der diese Bereiche abdeckt und trotzdem den Schotterfluss ermöglicht. Eine übersichtliche Schaltung der einzelnen verstellbaren Schilder mit klaren Symbolen ermöglicht ein rasches Verstellen der Schotterflussbewegungen. In der Längsrichtung mittig geteilte Pflughälften ermöglichen den teilweisen Einsatz im Weichenbereich.

Kehrarbeiten im Schwellenbereich

Nach Stopf- und Pflugarbeiten ist, insbesondere auf Strecken die mit höheren Geschwindigkeiten als 140 km/h befahren werden, die Bearbeitung der Schwellenoberfläche und der Zwischenfächer durch gründliches Abkehren wichtig, um das Aufwirbeln von Schottersteinen aufgrund der hohen Geschwindigkeit zu verhindern. Die Kehreinrichtung ist jeweils so angeordnet, dass damit der letzte Arbeitsgang durchgeführt und ein völlig einwandfreies Gleis hinterlassen wird.

Die Planiermaschinen können entweder mit einer Kehranlage mit Querförderband ausgerüstet werden oder bei Vorhandensein eines Schottersilos mit einer Kehrförderanlage, welche das aufgenommene Material an ein Steilförderband zur Förderung in den Schotterspeicher weitergibt. Dort steht es für Bereiche mit Schottermangel zur Verfügung. Bei Maschinen ohne Schotterspeicher wird das überschüssige Material über das reversible

Strecken, die mit mehr als 140 km/h befahren werden, sollen die Schwellenfächer im Bereich zwischen den Schienen 3 bis 6 cm tiefer ausgekehrt werden als die Schwellenoberkante liegt. Dazu ist eine entsprechend ausgerüstete Kehrbürste erforderlich.

Die Kehrarbeit ist unwillkürlich von einer Staubeentwicklung begleitet. Zur Staubniederschlagung während der Kehrarbeit kann die Maschine mit einer wassersparenden Niedernebelungsanlage ausgerüstet werden. Insbesondere bei der Arbeit auf neu eingeschotterten Gleisen ist dies von Vorteil. Damit ist es möglich, auch in diesem Bereich einen Beitrag zum Umweltschutz zu liefern. Für hohe Durcharbeitungsgeschwindigkeiten bietet sich der Einsatz einer zweiten Kehranlage an. Die erste Kehrbürste leistet die Grob-, die zweite Bürste die Feinarbeit.

Planiermaschinen mit Schottersilo

Die Schotterverteiler- und Planiermaschinen von Plasser & Theurer können derzeit mit Schottersilos in der Größenordnung von 5 m³ bis 13 m³ ausgerüstet sein. Bei einer Dichte von 1,65 t/m³ entspricht dies einer Masse von 8,25 t bis 21,5 t.

Dabei darf nicht unberücksichtigt bleiben, dass der Schotterrückgewinn eigentlich ein Nebeneffekt der Pflug- und Planierarbeiten ist, d.h. der Rückgewinn erfordert keinen eigenen Arbeitsgang, sondern wird im Zuge der regulären Durcharbeitung erzielt. Schotterverteiler- und Planiermaschinen die über keinen Schottersilo verfügen, können den Schotter nur im Nahbereich umschichten und dabei das gewünschte Profil herstellen.

Mit Silo können Schottermengen auch in Gleislängsrichtung zu Stellen des Bedarfs verfrachtet werden, in Weichenbereiche, zu Wegübergängen, in den Bereich vor und nach Brücken usw. Die Wirtschaftlichkeit beim Einsatz einer Schotterplaniermaschine mit Silo besteht nicht einfach im Vorhandensein von rückgewonnenem Schotter, sondern insbesondere darin, dass bei Bedarf keine weiteren organisatorischen oder einsatzmäßigen Maßnahmen erforderlich sind, sondern der rückgewonnene Schotter im Zuge der Durcharbeitung wieder eingebaut werden kann. Demnach können dadurch Fahrten mit Schotterzügen eingespart werden – die Bereitstellung von Schotterwaggons, Arbeitsloks und des erforderlichen Personals. In den USA, bei Amtrak, ist man bei der Schotterbewirtschaftung mit der Einführung des Ballast Distribution Systems noch einen Schritt weiter gegangen. Die Aufnahmekapazität der Anlage kann durch Zwischenkoppeln von Material-För-

der- und Siloeinheiten (MFS-Serie) beliebig vergrößert werden (Abb. 4).

Dieses System besteht aus zwei voneinander unabhängigen Maschineneinheiten. Der vordere Maschinenteil verfügt über die Schotterdosiereinrichtung, den Pflug zum Bearbeiten der Bettungskrone und die Flankenpflüge. Ein integrierter Schotterlo hat eine Aufnahmekapazität von 25 m³. Die zweite Maschineneinheit trägt die Kehreinrichtung und das Förderband, das den Schotter zum Silo und den zwischengeschalteten Siloeinheiten (MFS) befördert.

Im Jahr der Inbetriebnahme dieses Systems, 1991, erreichte die Einsparung 71 Prozent, obwohl die Maschine erst im Mai jenes Jahres die Arbeit aufnahm. Diese Einsparung von rund US\$ 360 000,- an Neuschotter entspricht etwa einer Menge von 34 000 t ab Schotterwerk. Vorteile die weiters angeführt wurden: man benötigt keinen Arbeitszug, keine Arbeiterkolonne um den Schotter zu entladen und auch keine anderen Maschinen, um das Schotterbett zu profilieren [8]. Das System hat sich bei Amtrak, USA, nach den Aussagen des Vice-Präsidenten of Engineering and Mechanical, innerhalb von zwei Jahren amortisiert [9].

Im Zuge des technischen Fortschrittes, auf Wunsch von Eisenbahnverwaltungen und Oberbauunternehmern, wurden in den letzten Jahren sehr unterschiedliche Maschinenkombinationen verwirklicht: die Ergänzung von Stopfmaschinen mit Kehrend/oder Pflugeinrichtungen. Universaloder Weichenstopfmaschinen mit Kehrförderanlage und Schotterlo haben sich bewährt, um im Weichenbereich Schotter verfügbar zu haben.

Vorhandenen Schotter wirtschaftlich nutzen

Ein latentes Einsparungspotential liegt heute in einer größtmöglichen Reduktion der alljährlich zuzukaufenden Menge an Neuschotter sowie in der Vermeidung der entsprechenden Transport- und Entladekosten durch Einsatz von intelligenten Systemen zur Schotterbewirtschaftung.

Die ungleichmäßige Schotterverteilung entlang des Gleises stellt eine Quelle für Einsparungsmöglichkeiten dar. Auf vielen Streckenabschnitten liegt im Verhältnis



Abb. 5: Automatische Fahrweg-Kontroll-Maschine AFM 2000 im Einsatz bei den Österreichischen Bundesbahnen

zum Regelprofil zu viel Schotter, der aufgenommen werden kann. Auch der Gleisumbau durch Änderung der Schwellenarten und des Bettungsprofils kann einen Schotterüberschuss bewirken, sei es wegen des größeren Schwellenquerschnittes oder wegen einer Änderung des Regelprofils. Somit kann es im Gleisbau zahlreiche Ursachen geben, um vorhandenen Schotter wirtschaftlich zu nutzen.

Die Schottereinbringung in den Bereichen mit Schottermangel würde im Rahmen einer Neueinschotterung zusätzlich Materialeinsatz, Zeit und Kosten erfordern, während es in vielen Fällen Teil der regulären Instandhaltungsarbeiten durch optimale Verteilung sein kann.

Im Jahre 1967 haben die Österreichischen Bundesbahnen als erste Eisenbahnverwaltung begonnen, den Mechanisierten Durcharbeitungszug (MDZ) einzusetzen. Ein wichtiger Bestandteil einer solchen Maschinengruppe ist die Schotterverteil- und Planiermaschine, angeführt von einer Nivellierstopfmaschine und abgestimmt auf die immer höher werdenden Leistungen der Stopfmaschinen.

Weitere Konzepte bestehen in einer Zusammenführung von Dynamischem Gleisstabilisator mit Pflug- und Kehreinrichtungen. Für die Gleisinstandhaltung in Japan wurden solche Kombinationen mit stirnseitigen Pflügen und heckseitiger Kehreinrichtung ausgeführt; eine ähnlichen Kombination für die Instandhaltung von Schnellfahrstrecken in Frankreich.

Das Spitzenprodukt dabei ist die AFM 2000, die in Österreich bereits erfolgreich im Rahmen eines Mechanisierten Durcharbeitungszuges arbeitet (Abb. 5).

Literatur

- [1] Vergleiche: Oberbaurichtlinien für Regelspurbahnen DS 820 01 06 Anlage I/6 03
- [2] Oberbautechnik und Oberbauwirtschaft, Gerhard Schramm, Otto Elsner Verlag 1973, S. 97
- [3] Arbeitsverfahren für die Instandhaltung des Oberbaues, Lothar Max, Detlef Bugenhagen Dietmar Moßham Eisenbahn Fachverlag, Heidelberg – Mainz, 1995, S. 399
- [4] Der Eisenbahn Ingenieur, Heft 6/2000, Lothar Max, Bernhard Lichtberger, Elektronisch gestützte Messarbeiten in Gleisen und Weichen mit GPS-Anbindung, Unterthema: Erweiterungsmöglichkeiten für den EM-SAT mit einem Schotterprofilmesssystem
- [5] GeoRail®, Gleisbaumaschinen Hermann Wiebe GmbH, Im Finigen 8, 28832 Achim, Deutschland, Tel. 0049-(0)4202-987-430, JNiessen@Wiebe.de
- [6] Arbeitsverfahren für die Instandhaltung des Oberbaues, Lothar Max, Detlef Bugenhagen, Dietmar Moßham Eisenbahn Fachverlag, Heidelberg – Mainz, Band 8/13, 1995, S.375
- [7] ETR 36/1987, H 11-November, S. 743, 744
- [8] Rail Engineering International 1993, Nr. 3, Considerable cost-savings achieved by efficient ballast distribution – experience gained on North American railways, Roy V. Brawner
- [9] Peter Cannito, Vice President of Engineering and mechanical, Amtrak, Railway Track & Structures, Dezember 1994

Summary / Résumé

Intelligent ballast management saves costs

Every kilometre of a two-track railway line has, depending on permanent way type and track distance, between around 3,000 and 5,000 cubic metres of ballast. Cost-effective treatment and management of such huge quantities of material represents a major challenge for the track maintenance operation.

Economies de coutes grace á une gestion intelligente du ballast

Chaque km de double voie comporte, selon le type de superstructure et d'entrevoie, entre 3000 et 5000 m³ de ballast. La manipulation et la gestion de ces énormes quantités de matériaux constituent un important défi pour l'entreprise de maintenance.