

Schotterprofilierung im Kontext der mechanisierten Gleisdurcharbeitung

Durch ein optimales Zusammenspiel von Stopfen, Stabilisieren und Profilieren kann die Wirtschaftlichkeit der Gleisdurcharbeitung signifikant gesteigert werden.

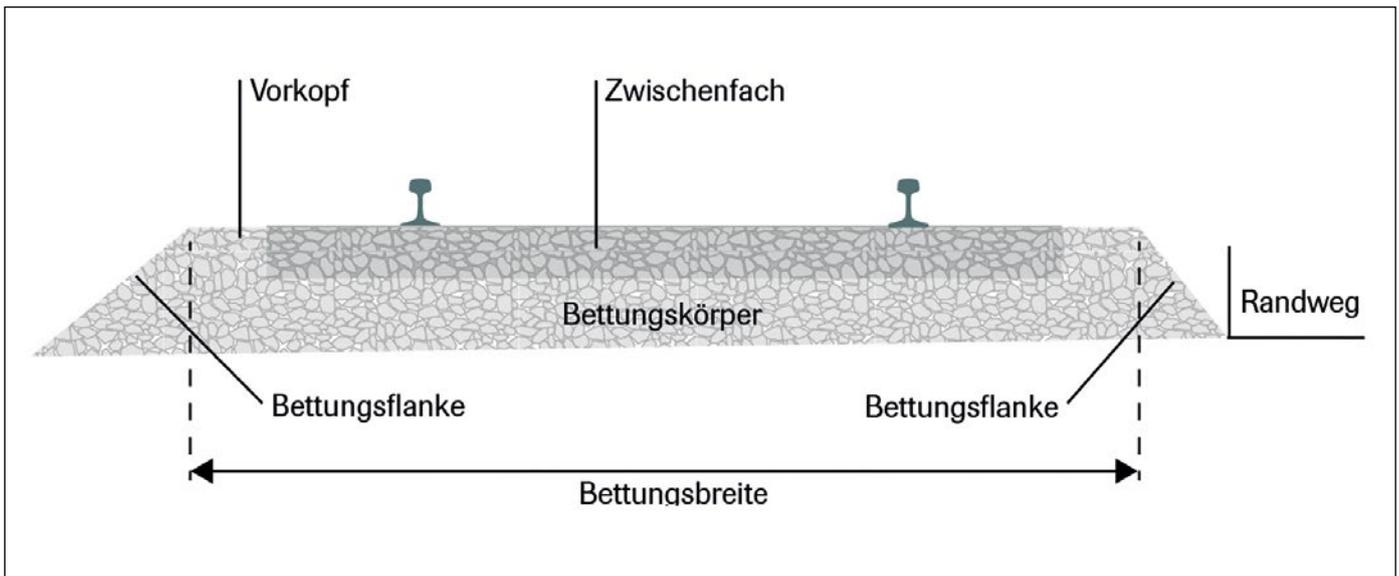


Abb. 1: Die Schotterbettung im Querschnitt

Quelle aller Abb.: eigene Darstellung

MARC DEMML | HANNES STEINWENKER

Das Verteilen und Planieren von Gleisschotter spielt in der Wahrnehmung der Gleisdurcharbeitung oft nur eine Nebenrolle. Zu Unrecht besonders dann, wenn wirtschaftliche Aspekte nicht nur auf Instandhaltungsaufwände oder Materialkosten reduziert werden, sondern beides ganzheitlich betrachtet wird. Schotterbearbeitungsmaschinen tragen seit den 1950er Jahren dazu bei, die Verwendung der in vielen Ländern sehr knappen Ressource Schotter höchst effizient zu gestalten und so die Kosten der Gleisinfrastruktur zu senken sowie die Verfügbarkeit zu optimieren. Heute sind moderne All-in-one-Gesamtmaschinensysteme unterschiedlicher Größenklassen dazu in der Lage, mehrere Arbeitsvorgänge abzuwickeln. Das ist sowohl der Wirtschaftlichkeit als auch der Nachhaltigkeit im Bahnbau zuträglich.

Historische Betrachtung der mechanisierten Gleisinstandhaltung

Die Mechanisierung des Gleisbaus hat ihre Wurzeln in den 1920er Jahren, als erste Kraftstopfer für die maschinelle Gleisstopfung

entwickelt wurden. Erst in den 1950er Jahren nahmen die technologischen Entwicklungen im Gleisbau Fahrt auf. Ein Hauptgrund war neben den wieder ruhigeren politischen Rahmenbedingungen und den mit dem Wirtschaftsaufschwung einhergehenden wachsenden Transportanforderungen die erstmalige Verwendung von Betonschwellen, für die mechanisierte Verlegeverfahren alternativlos sind [1].

Die Entwicklung seitdem war rasant: Ein immer größerer Anteil der Neu- und Umbauaktivitäten wurde schon in den 1950er und 1960er Jahren mit Unterstützung von Bahnbaumaschinen durchgeführt. Diese Entwicklung war vor allem dort zu beobachten, wo hohe Anforderungen an die Belastbarkeit der Strecken und Langlebigkeit der Gleislage gestellt wurden.

Das Schotterbett als Fundament des Systems Bahn

Das Schotterbett (Abb. 1) hat die kritische Aufgabe, die Kräfte, die auf Schienen und damit auch auf Schwellen wirken, möglichst gleichmäßig auf den Unterbau bzw. Untergrund zu verteilen. Wesentlich für die Sicherheit der Gleislage sind dabei Längs- und Querverschiebewiderstände, die den Schwellen entgegengesetzt werden [2]. Hohe Widerstandswerte beeinflussen we-

sentlich den sicheren und nachhaltigen Betrieb der Anlage.

Der Dreiklang der Gleisdurcharbeitung

Auch wenn dem Stopfen und Richten eine essenzielle Rolle in der Wiederherstellung einer optimalen Gleislage zukommt, so ist für nachhaltige Ergebnisse immer das Zusammenspiel von drei Arbeitstechnologien verantwortlich:

- Stopfen und Richten
- Stabilisieren
- Profilieren.

Oberstes Ziel ist dabei immer, Gleislagefehler zu beseitigen, um den betrieblichen Anforderungen an die Infrastruktur zu genügen. Betriebssicherheit, Fahrkomfort und die Reduktion der dynamischen Kräfte auf ein für den Untergrund erträgliches Maß definieren im Wesentlichen die Bedingungen an die Gleislage wie auch insgesamt an den Fahrweg der Eisenbahn. Besondere Bedeutung hat in diesem Zusammenhang die Planung der Durcharbeitungsintervalle. Es gilt, Instandhaltungsarbeiten durchzuführen, bevor ein Verfall des Gleises einsetzt, der nicht mehr umkehrbar ist und damit deutlich aufwendigere Arbeiten notwendig macht.

Bevor das Gleis bearbeitet wird, sind Informationen zum Status quo essenziell. Dabei kommt Messtechnik zum Einsatz, die Höhen- und



Abb. 2: Die SV51 war die erste Schotterverteiler- und Planiermaschine von Plasser & Theurer.

Richtungsabweichungen der beiden Schienenstränge dokumentiert und so die Basis für eine effiziente Durcharbeitung liefert.

Stopfen

Durch die dauernde Belastung im operativen Bahnbetrieb kommt es zu einer Verschlechterung der Gleislage wie z. B. durch Entstehung von Hohllagen. Beim Stopfen wird der Gleisrost zurück in die geforderte Lage gebracht und durch den Beistellprozess in dieser Position fixiert. Die so entstandenen Auflager sorgen für eine homogene Lastverteilung und höchste Stabilität.

Plasser & Theurer hat mit der hydraulischen Gleisstopfmaschine HGL im Jahr 1953 die weltweit erste Maschine dieser Art gebaut und seitdem die technologische Entwick-

lung in Richtung Mechanisierung des Gleisbaus auch beim Stopfen maßgeblich vorangetrieben.

Stabilisieren

Durch Stabilisieren wird mittels Vorwegnahme von Setzungen die Beständigkeit der Gleislage weiter erhöht. Der Querverschiebewiderstand wird dabei durch den Dynamischen Gleisstabilisator (DGS) erhöht, was sich positiv auf die Betriebssicherheit nach der Stopfung auswirkt [3]. Das hat auch positive Auswirkungen auf die Durcharbeitungsintervalle, die sich dadurch verlängern.

Profilieren

Der Begriff Schotterprofilierung umfasst alle Tätigkeiten rund um das Verteilen und Pla-

nieren des Gleisschotters. Erste Maschinen aus diesem Segment gibt es seit den späten 1950er Jahren (Abb. 2). Heute beinhaltet das Leistungsspektrum das Pflügen von Bettungsflanke, Randweg und Bettungskrone, unterschiedliche Kehrarbeitsgänge sowie das Aufnehmen, Speichern und Wiedereinbringen von Schotter. Das Spektrum an Maschinen für diese Aktivitäten ist breit. Von einfachen Schotterpflügen bis zu komplexen Schotterbewirtschaftungssystemen ist jeder erdenkliche Anwendungsfall abgedeckt.

Einsatzspektrum von modernen Schotterpflügen

Bahninfrastrukturbetreiber können heute aus einer breiten Palette an Schotterbearbeitungsmaschinen entsprechend ihren indivi-



Abb. 3: Schotterverteiler- und Planiermaschine BDS 2000 E³ im Arbeitseinsatz

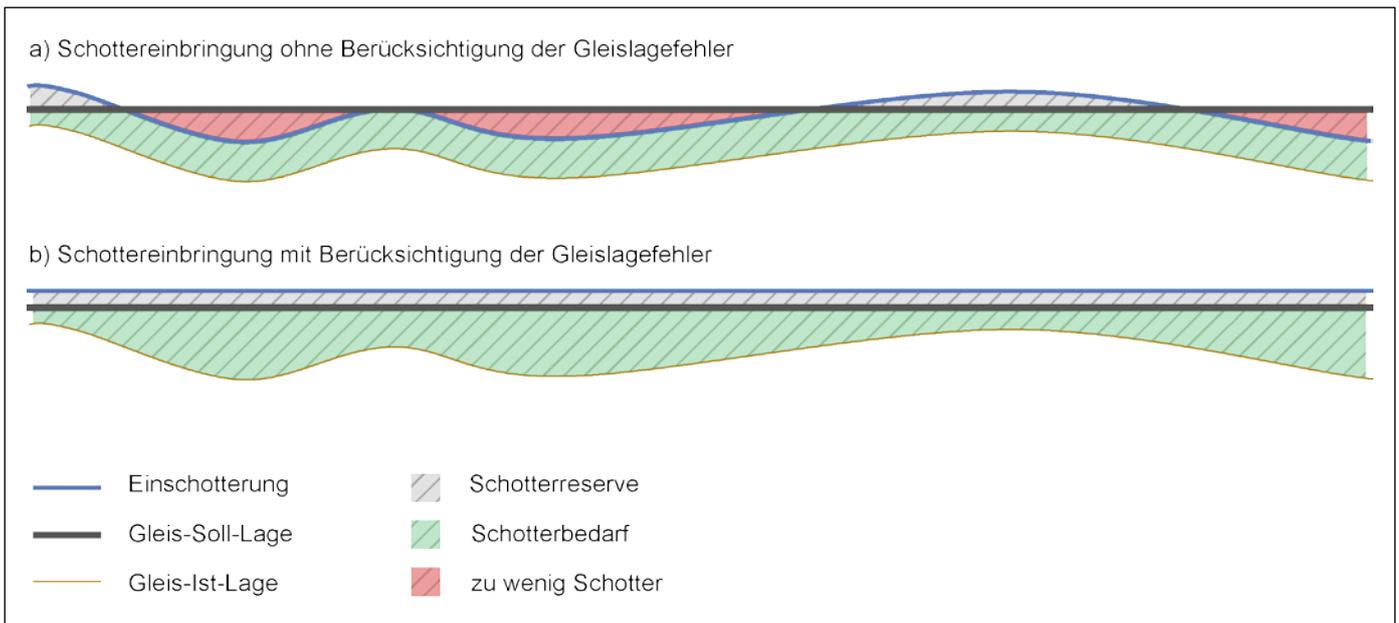


Abb. 4: Durch Berücksichtigung der Gleislagefehler kann eine optimale Schottereinbringung erreicht werden.

duellen Anforderungen wählen. So sind alle Schotterverteiler- und Planiermaschinen von Plasser & Theurer mit Flankenpflügen, einem Mittelpflug und mindestens einer Kehreinrichtung ausgestattet, um ihre zentrale Aufgabe zu erfüllen: das Verteilen und Profilieren des Schotters. Bei den Flankenpflügen ist dabei entscheidend, dass sie über eine hohe Reichweite verfügen, um auch den Randweg mit bearbeiten zu können. Beim Mittelpflug wiederum wird vor allem Wert auf die unterschiedlichsten Möglichkeiten des Schotterflusses gelegt, um den Schotter je nach Bedarf korrekt verlagern zu können. Hier gibt es verschiedene Ausführungen, um auch speziellen Anforderungen gerecht zu werden, wie etwa dem Pflügen von Gleisen mit Linienleitern. Fast noch wichtiger als die einzelnen Pflüge ist das Zusammenspiel von Flankenpflug und Mittelpflug. Sie müssen so angeordnet sein, dass in einem Arbeitsgang

ein direkter Schotterfluss über die Flankenpflüge von der Bettungsflanke in den Mittelpflug und damit auf den Vorkopfbereich und das Zwischenfach möglich ist. So kann der Schotter mit nur einer Durchfahrt von einer Bettungsflanke ganz außen in den Vorkopfbereich der anderen Bettungsflanke verlagert werden.

Um nach der Arbeit eine saubere Bettungskrone zu hinterlassen, ist auch eine Kehreinrichtung mit ausreichend dimensionierter Leistung und Bürstendurchmesser erforderlich, um überschüssige Schotterkörner aufkehren und entweder auf die Bettungsflanke auswerfen oder in einen Silo aufnehmen zu können. Bei Bedarf gibt es auch Kehreinrichtungen mit der Möglichkeit des sogenannten „Tiefkehrens“. Damit können die Zwischenfächer auf Hochgeschwindigkeitsstrecken entsprechend ausgekehrt werden, um das Hochwirbeln von Schotter (sog.

„Schotterflug“) bei schnellen Überfahrten zu verhindern.

Das Portfolio reicht von kleinen Schotterpflügen, die ihre Arbeitstätigkeiten auf das Profilieren des Schotterbettes konzentrieren, bis hin zu größeren Schotterverteiler- und Planiermaschinen. Diese sind zusätzlich mit einem integrierten Silo ausgestattet, um den Schotter als wertvolles Gut zwischenspeichern oder gezielter zu verteilen. Vor allem Schotterpflüge mit Silo können vor der Stopfung durch optimale Verteilung des vorgelagerten Schotters die Wirtschaftlichkeit der Schotternutzung deutlich erhöhen. Das große Schottermanagementsystem BDS (Ballast Distribution System) sorgt auf Baustellen mit höchsten Ansprüchen für eine besonders wirtschaftliche Schotterbettbearbeitung (Abb. 3). Wird die Schotterverteilung präzise durchgeführt, wirkt sich das auch unmittelbar positiv auf das Arbeitsergebnis und die Stabilität der Gleislage aus. Wenn die eingebrachte und optimal verteilte Schottermenge auf jedem Gleismeter an die Anforderungen der Gleishebung durch die Stopfmaschine angepasst ist, kann eine gründliche Durcharbeitung erreicht werden. Die Grafik (Abb. 4) veranschaulicht, dass sich punktuell zu wenig eingebrachter Schotter negativ auf die erforderlichen Hebewerte der Stopfmaschine auswirkt, da diese nicht erreicht werden können.

Das Spektrum bei Maschinen mit Schottersilo reicht von Speichervolumen mit ca. 5 m³, um Schotterverlagerungen und auch kleine Speicherungen von überschüssigem Schotter vornehmen zu können, über Maschinen mit 7,5 m³ oder 10 m³ Speichervolumen bis zu Maschinen mit einem integrierten 15 m³-Silo. Zudem ist es möglich, beim BDS-System mit integriertem 15 m³-Speicher bis zu drei

m ³ Schotter	Tonnen Schotter	Wert*
1	1,6	48 €
5	8	240 €
7,5	12	360 €
10	16	480 €
15	24	720 €
70	112	3.360 €
219	350,4	10.512 €

* **Annahmen:**
 1,6 t Schotter pro m³ (lose)
 Kosten pro Schotter 30 € (inkl. Logistik)

Abb. 5: Monetäre Bewertung von vollen Schottersilos

Materialförder- und Siloeinheiten (MFS) einzureihen. So lässt sich das Volumen nochmals deutlich erhöhen. In Kombination mit MFS 120-Einheiten mit einem Fassungsvermögen von jeweils ca. 68 m³ lässt sich das Speichervolumen beispielsweise auf bis zu 219 m³ erhöhen.

Wirtschaftlichkeit durch Zwischenlagern von Schotter

Sehr großes Einsparungspotenzial lässt sich erkennen, wenn man beachtet, dass moderne Maschinen sparsam mit der Ressource Schotter umgehen, überflüssigen Schotter aufnehmen, speichern und an benötigten Stellen wieder einbringen können. Die mögliche Einsparung von neuem Schotter hat dabei nicht nur wirtschaftliche, sondern auch ökologisch gesehen positive Auswirkungen.

Bei allen kommerziellen Betrachtungen der Schotterbewirtschaftung ist anzumerken, dass die Kosten von Schotter am Gleis allein innerhalb Europas stark schwanken. Ursachen dafür sind sehr unterschiedliche Einflussfaktoren:

- Verfügbarkeit von Schotter
- geforderte Schotterqualität
- Logistikkosten je nach Gleisstandort.

Berechnungen in diesem Beitrag gehen von einem Preis von 30 EUR pro t Schotter aus. Das inkludiert die Logistik zur Baustelle, d. h. der Schotter wird zu diesem Preis vor Ort zur Verfügung gestellt. Anzumerken ist jedoch, dass es zweifellos Szenarien gibt, bei denen deutlich höhere (oder auch niedrigere) Werte anzusetzen wären (Abb. 5).

Schotterprofilierung – eine unterschätzte Investition

Die Erfahrung auf allen Kontinenten zeigt, dass die Bedeutung der Schotterprofilierung höchst unterschiedlich ausfallen kann. Wird diesem Thema wenig Aufmerksamkeit geschenkt, treten vermehrt Langsamfahrstellen auf, und es werden kürzere Durcharbeitungsintervalle notwendig. Eine sorgfältige Durchführung der Schotterprofilierung ist eine Möglichkeit, die Aufwände für die langfristige Gleisstandhaltung nachhaltig zu reduzieren.

Die Gründe für Investitionen in State-of-the-Art-Equipment für die Schotterprofilierung sind technischer und kommerzieller Natur. Schlüssel für eine nachhaltige Gleislagestabilität (insbesondere Richtungsfehler und Verwerfungsrisiko) ist ein möglichst hoher Längs- und Querverschiebewiderstand der Schwellen. Durch Stopfen und Stabilisieren wird der Schotter zwar unter der Schwelle optimal verdichtet, das Profil des Schotterbettes wird aber durch diese Arbeitsschritte nicht korrigiert. Nach dem Stopfen muss das Schotterprofil deshalb wieder ordnungsgemäß hergestellt werden. Dies erfordert eine Neuverteilung (Abb. 6) bzw. Einbringung von Schotter. Nur wenn die Schwellenfächer und der Vorkopfbere-

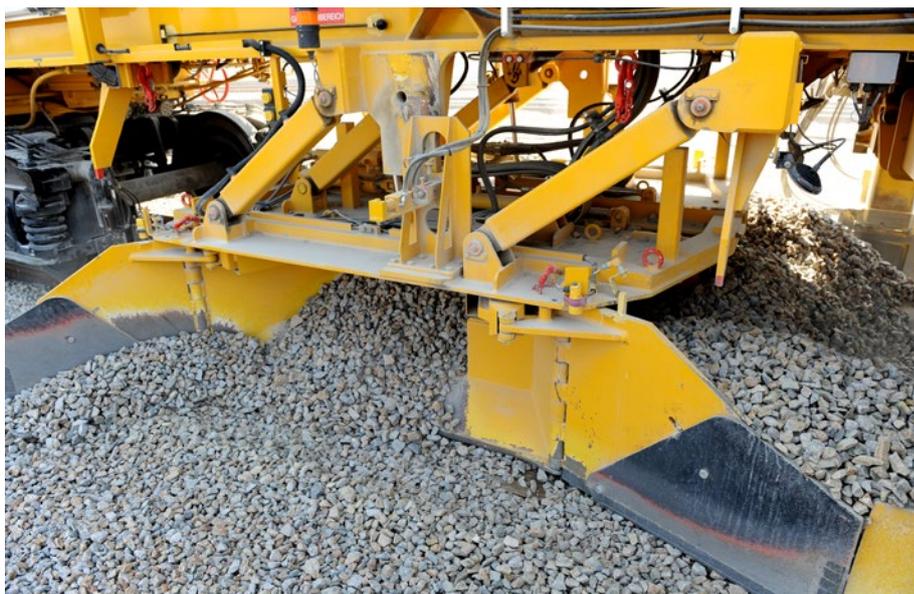


Abb. 6: Umverteilung von überschüssigem Schotter

reich der Schwellen nach der Durcharbeitung wieder verfüllt sind, ist die Langzeithaltbarkeit der Gleislage gewährleistet.

Vorteile regelmäßiger Schotterprofilierung

Schotterprofilierung ist eine essenzielle Instandhaltungsmaßnahme, deren Investition sich rechnet. Die Vorteile liegen auf der Hand:

Ungenutzter Schotter kann wieder nutzbringend eingesetzt werden

Es gibt Strecken, bei denen ein gewisser Anteil des Schotters nicht zweckmäßig genutzt wird. Beispielsweise verflacht der Schüttwinkel der Bettungsflanke durch den Zugverkehr und Witterungseinflüsse im Laufe der Zeit. Der von der Gleisachse weiter als ursprünglich entfernte und damit kaum wirksame Schotter kann durch Pflügen mittels Flankenpflug wieder nutzbringend zurückverlagert werden. Die Alternative ist das Einbringen von Neuschotter, was mit erheblichen Investitionskosten verbunden ist.

Der Anteil der von Schotter verursachten Kosten an den gesamten Infrastrukturkosten vari-

iert stark und ist abhängig von den folgenden Faktoren:

- regulatorische Vorgaben
- geografische Umgebung
- Anteil an nicht zweckmäßig genutztem Schotter
- Kosten für Neuschotter.

Während die ersten beiden und der letzte Faktor nicht unmittelbar beeinflusst werden können, schlummert im Anteil an nicht zweckmäßig genutztem Schotter ein nicht zu unterschätzendes Potenzial, um Infrastrukturkosten zu senken.

Folgende beispielhafte Kalkulation (Abb. 7) zeigt, in welcher Größenordnung sich Materialkosten für Schotter bewegen können und welche monetären Einsparungen (5 % – 15 %) sich durch eine optimierte Schotterverteilung ergeben können. Basis dieser Betrachtung sind 2000 m³ Schotter pro km Gleis, ein spezifisches Gewicht von 1,8 t pro m³ (verdichtet) und wie oben angegeben Kosten von 30 EUR pro t Schotter (inklusive Verladung und Zustellung). Auf Strecken, auf denen sich zu viel Schotter befindet, kann dieser aufgenommen und auf anderen Abschnitten Neuschotter spendend wieder eingebracht werden.

Schotterkosten für 100 km Strecke			
10.800.000 €			
Einsparungspotenzial durch Reduktion der benötigten Schottermenge			
	5 %	10 %	15 %
100 km	540.000 €	1.080.000 €	1.620.000 €

Abb. 7: Schotter ist ein signifikanter Kostenfaktor im System Bahn.



Abb. 8: Plasser BallastMaster 205 bei der iaf 2022 in Münster

Reibungsloser Betrieb durch die Reduktion von Langsamfahrstellen

Verschlechtert sich die Gleislage durch die Beanspruchung im Betrieb, kann die Spurführungssicherheit einer Strecke stark eingeschränkt sein. Werden durch Gleislagemessungen Streckenabschnitte identifiziert, auf die das zutrifft, muss eine Instandhaltungsmaßnahme durchgeführt oder im Einzelfall die Geschwindigkeit bis zur Behebung reduziert werden.

Die Kosten dieser Langsamfahrstellen lassen sich viel schwerer quantifizieren als durch ordnungsgemäße und regelmäßige Schotterprofilierung eingesparte Schottermengen. Sie sind aber gerade dort relevant, wo sie direkte Auswirkungen auf den Betrieb der Anlage haben.

Großmaschinen sorgen für effiziente Durcharbeitung

Infrastrukturbetreiber achten sehr genau darauf, wie sich Investitionen in Bahnbau- und Planiermaschinen amortisieren. Die ganzheitliche Betrachtung der Gleisarbeiten unter Einbezug aller Arbeitsschritte hat gezeigt, dass sich Investitionen in Schotterverteil- und Planiermaschinen rechnen [4]. Optimale Schotterverteilung und Wiederverwendung von Schotter reduzieren Investitionen in Neuschotter signifikant, was den gesamten Kostenaufwand für die Baumaßnahme deutlich senken kann. Hinzu kommt, dass sich auch aus Sicht von Bauunternehmern gerade in Zeiten von Facharbeitermangel Vorteile durch moderne All-in-one-Gesamt-

maschinensysteme ergeben. Mehrere Arbeitsvorgänge, die in der Vergangenheit mit Einzelmaschinen durchgeführt wurden, sind hier in einer Einheit kombiniert. Maschinen mit integrierten Silolösungen bringen den Schotter exakt in die Stopfzonen ein, wo damit die Gleisgeometrie präzise und nachhaltig hergestellt werden kann. Die Nutzung von oft sehr kurzen Sperrpausen kann so hocheffizient und flexibel gestaltet werden.

Der Ökologisierung im Bahnbau wird Rechnung getragen

Neben dem wirtschaftlichen Aspekt für Betreiber spielt auch Nachhaltigkeit im Bahnbau für das Gesamtsystem Bahn eine immer größere Rolle. Weltweit haben sich Bahnen in dieser Hinsicht ambitionierte Ziele gesteckt. Neben einer Dekarbonisierung aller Aktivitäten geht ein Trend auch in Richtung Kreislaufwirtschaft. Die Deutsche Bahn AG (DB) hat sich beispielsweise das ehrgeizige Ziel gesetzt, bis 2040 eine vollständige Kreislaufwirtschaft zu erreichen. Als Zwischenziel soll bis 2030 das Schotterrecycling verdreifacht werden. Das entspricht einer Recyclingquote von 40 % [5].

Neue Entwicklung bei Plasser & Theurer

Im Mai 2022 wurde bei der Internationalen Ausstellung für Fahrwegtechnik iaf in Münster mit dem Plasser BallastMaster 205 erstmals ein neu entwickelter Schotterpflug der Öffentlichkeit präsentiert (Abb. 8). Besonderes Augenmerk wurde auf Ökonomie und Eff-

izienz für Bediener und Betreiber gelegt. Sowohl Wartung als auch Bedienung wurden durch ein überarbeitetes Design verbessert. Für den Nutzer bietet die Maschine hohe Flexibilität im Hinblick auf Einschotterung, Kehren und Pflügen.

Die Flankenpflüge des BallastMaster 205 sind zweiteilig ausgeführt und lassen sich flexibel an die Bettungsflanke anpassen, wodurch das Lichtraumprofil von Nachbargleisen nicht verletzt wird. Verstellbare Pflugschilder und Leitbleche steuern im Mittelpflug den Schotterfluss. So kann eine optimale Verfüllung des Stopfzonenbereiches erreicht werden. Liegendebleibene Schotterkörner werden von der Kehranlage aufgenommen und entweder im 5 m³-Speichersilo gelagert oder seitlich entladen.

Eine neu entwickelte, verstellbare Bürstenwelle ermöglicht die Bearbeitung von verschiedenen Schwellentypen. Je nachdem, wo eine Schwelle verlegt ist (z. B. im Gleis, im Bahnübergang, in einer Weiche), hat diese ein charakteristisches Profil. Anstatt wie bisher komplette Bürstenwellen zu tauschen, wird die variable Bürstenwelle im installierten Zustand direkt auf der Maschine verstellt. Das steigert die effektiv mögliche Arbeitszeit.

Schotterprofilierung als Teil eines Gesamtsystems

Neben reinen Schotterpflügen, die ganz dem Verteilen und Planieren des Gleisschotters gewidmet sind, gibt es im Angebot von Plasser & Theurer auch Stopfmaschinen mit

zusätzlichen Funktionen. Der auch bei der iaf in Münster erstmals der Öffentlichkeit präsentierte Unimat 09-8x4/4S BR-Dynamic E³ zeigt als Technologieträger, was heute in der ganzheitlichen Weichen- und Gleisinstandhaltung möglich ist. Einschottern, Stopfen, Planieren und Stabilisieren sowie auch Auf- und Nachmessen sind hier in einer Maschine integriert.

Ein weiteres Beispiel für ein All-in-one-Gesamtsystem ist der Unimat 09-4x4/4S Dynamic E³ der DB Bahnbau Gruppe GmbH. Hier ist eine hochmoderne Stopfmaschine mit einem Kehranhänger ausgestattet, der ein perfektes Finish nach der Stopfung garantiert. Diese Maschine wurde im September 2022 bei der InnoTrans in Berlin präsentiert. Beide Maschinen sind neben dem hohen Funktionsumfang als E³ ausgeführt¹ und können rein elektrisch angetrieben werden. Das reduziert CO₂- und Lärmemissionen, was auch für das Bedienpersonal ein signifikanter Vorteil ist und das Arbeiten angenehmer macht.

Betreiber von solchen Maschinen sind für eine Zukunft bestens gerüstet, in der ein bewusster Umgang mit Ressourcen hohe Priorität hat. ■

QUELLEN

- [1] Henn, W.: 125 Jahre „Eiserne Bahn“ in Deutschland, Das Flügelrad 10/1960, S. 328
 [2] Klotzinger, E.: Der Oberbauschotter – Teil 1: Anforderungen und Beanspruchung, ETR – Eisenbahntechnische Rundschau 1+2/2008, S. 34–41
 [3] Feurig, S.: Experimentelle und theoretische Untersuchungen zur Optimierung des Dynamischen Gleisstabilisators (DGS) im Hinblick auf eine Verbesserung der Gleislagestabilität. München, Technische Universität München, Dissertation, 2020
 [4] Nemetz, W.: Das Schotterbewirtschaftungssystem „BDS 2000“, ETR – Eisenbahntechnische Rundschau 05/2008, S. 288-291
 [5] https://www.deutschebahn.com/resource/blob/8949330/418d7fc63ff0b96840a5f5b4e53efa62/20221006_PI-Recycling-Ziele-data.pdf, 23.11.2022 um 09:00

¹ E³ steht bei Plasser & Theurer für Maschinen, die mit alternativen Antriebstechnologien ausgestattet sind. Seit 2015 werden Maschinen dieser Art gebaut. Sie werden entweder zusätzlich zum Verbrennungsmotor elektrisch (hybrid) oder vollelektrisch angetrieben.



Ing. Marc Demml

Product Definition Team
 Plasser & Theurer, AT-Linz
 export@plassertheurer.com



Ing. Hannes Steinwenker

Product Portfolio Manager
 Plasser & Theurer, AT-Wien
 export@plassertheurer.com