Optimierte Maschinenkonzepte für die nachhaltige Gleisinstandhaltung

Angesichts steigender Anforderungen ist die richtige Bahnbaumaschine der Schlüssel zum Erfolg. Plasser & Theurer bietet ein breites Portfolio, das für nahezu jede Anwendung eine passende Lösung bereithält. Die Analyse von Betriebsdaten von Maschinen im produktiven Einsatz ermöglicht die gezielte Auswahl von Maschinenkonzepten und Technologien für die Herausforderungen der Zukunft.

Dipl. Ing. Thomas Radler
Data Science and Analytics, Abteilung Digital Services, Plasser & Theurer, AT-Linz
thomas.radler@plassertheurer.com

Dipl. Ing. Dr. mont. Christian Koczwara
R&D Scientist, Abteilung Research and Simulation, Plasser & Theurer, AT-Linz
christian.koczwara@plassertheurer.com

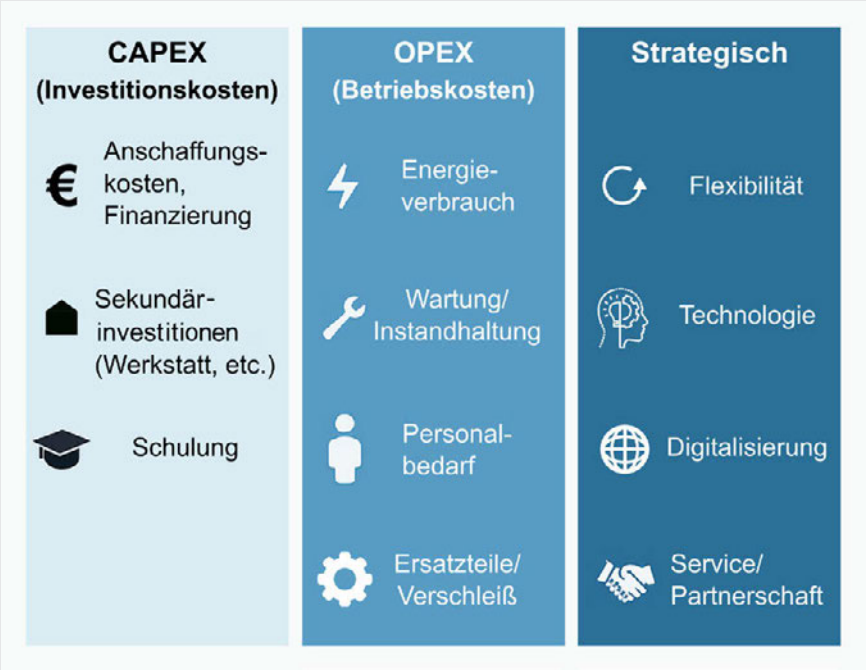
Dipl. Ing. Roland Eckerstorfer
Data Science and Analytics, Plasser & Theurer, AT-Linz
roland.eckerstorfer@plassertheurer.com

Anforderungen im modernen Gleisbau

Aufgrund der stetig steigenden Auslastung des Bahnnetzes werden verfügbare Sperrzeiten für Instandhaltungsarbeiten immer kürzer. Dadurch entstehen hohe Anforderungen an die Arbeitsleistung bei (mindestens) gleichbleibender Qualität. Gleichzeitig ist die Branche mit immer restriktiveren Umweltauflagen konfrontiert. Die EU hat mit dem Green Deal das Ziel der Klimaneutralität auf Basis der Treibhausgasemissionen bis 2050 formuliert. Das „Fit for 55"-Paket verlangt, dass die Emissionen bereits bis 2030 um mindestens 55 % (gegenüber 1990) gesenkt werden. [1] Dadurch steigt der Druck auf Eisenbahninfrastrukturbetreiber und letztlich auch Bahnbauunternehmen, klimafreundliche Lösungen zu etablieren. Darüber hinaus besteht eine kommerziell herausfordernde Situation bei der Energiebeschaffung.

Betriebskosten im Fokus

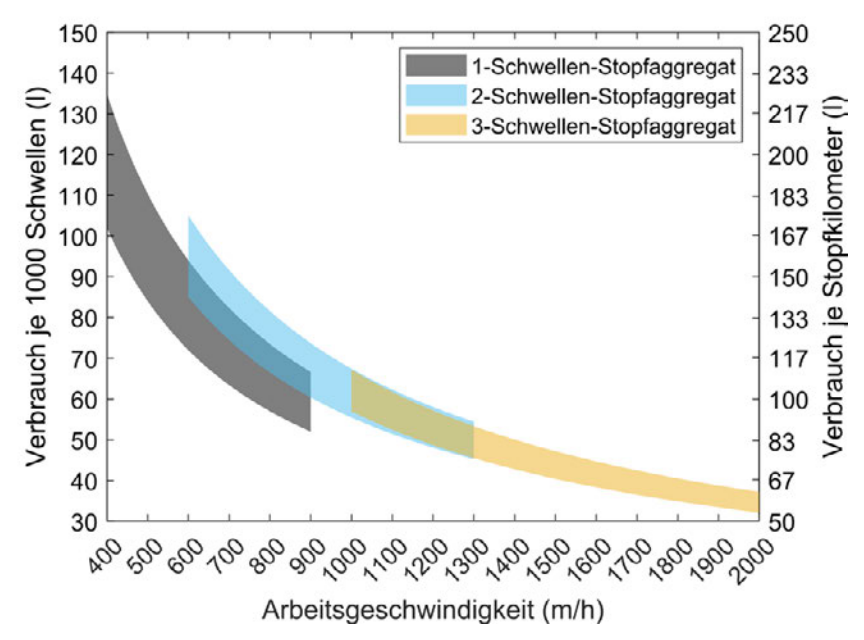
Über die Lebensdauer einer typischen Bahnbaumaschine – oft mehr als 30 Jahre – übersteigen die Betriebskosten in der Regel die Investitionskosten deutlich. Ein erheblicher Anteil entfällt auf den Energiebedarf, der wiederum maßgeblich die Emissionsbilanz beeinflusst (Abbildung 1).



1: Entscheidungsfaktoren für die Wahl der richtigen Instandhaltungsmaschine

Plasser & Theurer ist mit der E^3-Technologie auf dieses Thema frühzeitig eingegangen und hat ein modulares Antriebssystem entwickelt, das abhängig von den Anforderungen die Nutzung von Bahnstrom, Akkus und den Einsatz konventioneller Verbrennungsmotoren kombinieren kann. Eine weitere Verbesserung der Emissionsbilanz von Verbrennungsmotoren wird durch die Verwendung von HVO-Treibstoffen und den Einbau ausge-

© DVV Media Group GmbH



2: Zusammenhang zwischen Verbrauch je Strecke und Arbeitsgeschwindigkeit für kontinuierlich arbeitende Stopfmaschinen bei Schwellenabstand 0,6 m und einer Tauchung pro Schwelle

klügelter Abgasnachbehandlungssysteme ermöglicht. Aktuelle Studien und Praxisbeispiele zeigen, wie dadurch signifikante Einsparungen bei Betriebskosten und Emissionen möglich sind. [2] So lassen sich bei einer Stopfmaschine im vollelektrischen Betrieb im Vergleich zu einer konventionellen dieselhydraulischen Maschine bereits bis zu 70 % der Energiekosten und nahezu 100 % der lokalen Emissionen einsparen. [3] Auch die Lärmemissionen können durch den Wegfall des Dieselmotors um bis zu 20 dB(A) reduziert werden – ein Vorteil, der insbesondere im urbanen Raum von großer Bedeutung ist. [4, 5]

Die richtige Maschine für jeden Einsatz

Moderne Antriebs- und Maschinenkonzepte können ihre Vorteile nur ausspielen, wenn sie zum konkreten Einsatzprofil passen. Die Auswahl der richtigen Maschine ist daher nicht nur eine technische, sondern auch eine strategische Entscheidung. Sie beeinflusst die gesamte Lebenszykluskostenrechnung und kann über Jahrzehnte hinweg über den kommerziellen Erfolg entscheiden.

Die Betrachtung des Energieverbrauchs als eine zentrale Kennzahl, die sowohl ökologische als auch ökonomische Auswirkungen hat, ist daher unerlässlich für eine fundierte Investitionsentscheidung. Dazu ist eine strukturierte Analyse unter Berücksichtigung von Einsatzprofil, Leistungsbedarf, Infrastrukturbedingungen und verfügbaren Technologien nötig. Im Folgenden wird gezeigt, wie auf Basis der Betriebsdaten bestehender Maschinen vorgegangen werden kann.

Datenbasierte Entscheidungen

In [6] wurde der Zusammenhang zwischen Arbeitsgeschwindigkeit und Verbrauch für Bahnbaumaschinen im Detail erläutert. Dabei wurden die Verbrauchskennlinien zweier Stopfmaschinen verglichen, die sich lediglich durch ihr Antriebskonzept (dieselelektrisch versus dieselhydraulisch) unterscheiden. Dieser Ansatz eignet sich auch für den Vergleich unterschiedlicher Maschinenkonzepte.

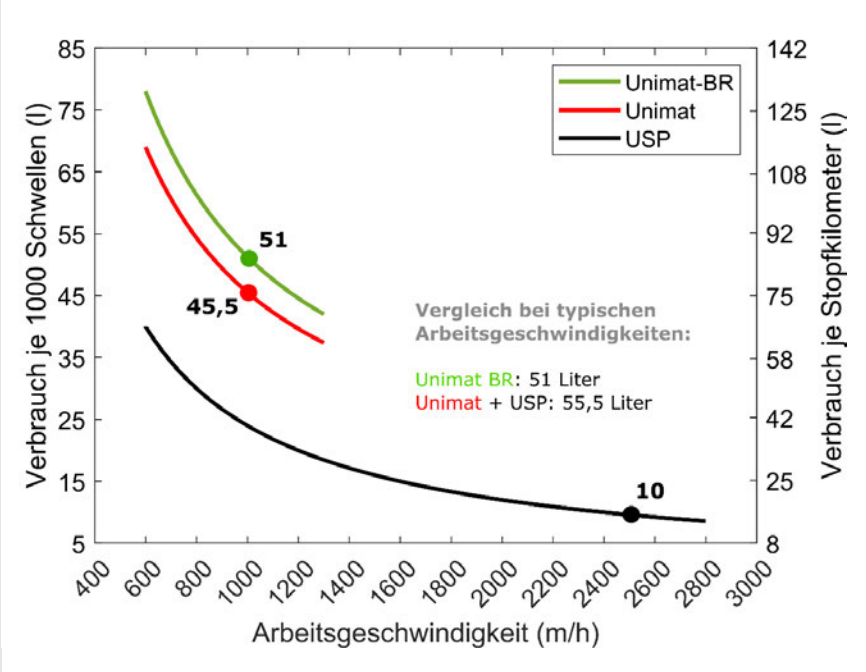
Abbildung 2 zeigt reale Verbrauchsdaten von unterschiedlichen kontinuierlich arbeitenden Stopfmaschinen von Plasser & Theurer, gruppiert nach 1-, 2-, und 3-Schwellen-Stopfaggregat. Dafür wurden Betriebsdaten unterschiedlicher Maschinentypen über mehrere Jahre gesammelt und ausgewertet. Die Ergebnisse zeigen einerseits klar die Verbrauchsvorteile einer Maschine mit 3-Schwellen-Stopfaggregat beim Streckenstopfen, andererseits auch die Notwendigkeit, mit entsprechend hoher Arbeitsgeschwindigkeit zu operieren, um die Vorteile voll auszuspielen. Das kann helfen, eine fundierte Entscheidung bei der Maschinenauswahl zu treffen. Genauso kann ermittelt werden, ob eine Bestandsmaschine aktuell im optimalen Einsatzbereich betrieben wird.

Ermöglicht werden solche detaillierten Auswertungen durch die Anwendung Plasser Datamatic, die Digitalisierungslösung von Plasser & Theurer. Hier wird auf der Maschine ein bahnzertifiziertes IIoT (Industrial Internet of Things)-Edge-Device verbaut, das über das Maschinennetzwerk in das Maschinensteuerungssystem integriert ist, wobei völlige Rückwirkungsfreiheit sichergestellt ist. Mittels mobiler Breitbandverbindung werden die Daten in Echtzeit durch Verschlüsselung gesichert übertragen und dem Betreiber über eine webbasierte Plattform zur Verfügung gestellt.

Ein weiteres Beispiel einer datenbasierten Analyse der Energieeffizienz ist der Vergleich eines typischen Gespanns aus einer Stopfmaschine Unimat 09-8x4 Dynamic E^3 (kurz Unimat) und eines Schotterpfluges USP mit der Stopfmaschine Unimat 09-8x4 BR Dynamic E^3 (kurz Unimat-BR), die die Funktionen Stopfen und Schotterprofilieren in einer Maschine vereint (siehe Abbildung 3 bzw. detaillierte Beschreibung in [7]). Ein Vergleich dieser beiden Konzepte (Abbildung 4) zeigt die höhere Effizienz

3: Grafik des Unimat-BR

© DVV Media Group GmbH



4: Gegenüberstellung des Streckenverbrauchs im Dieselbetrieb zweier Maschinenkonzepte: Unimat + USP versus Unimat-BR bei Schwellenabstand 0,6 m und Einfachstopfung

5: Zusammensetzung der Gesamtleistung aus einzelnen Verbrauchern im Streckenstopfbetrieb und Einfachstopfungen

der kombinierten Maschine, wenn man die jeweils mit einem Punkt markierte maschinentypische Arbeitsgeschwindigkeit heranzieht. In der Praxis wird der Unterschied noch deutlicher ausfallen, da der USP Leerlaufzeiten aufweist, die in dieser ersten Auswertung nicht berücksichtigt sind. Für die Grafik wurde der Dieselbetrieb herangezogen, wobei auch Oberleitungsbetrieb möglich wäre.

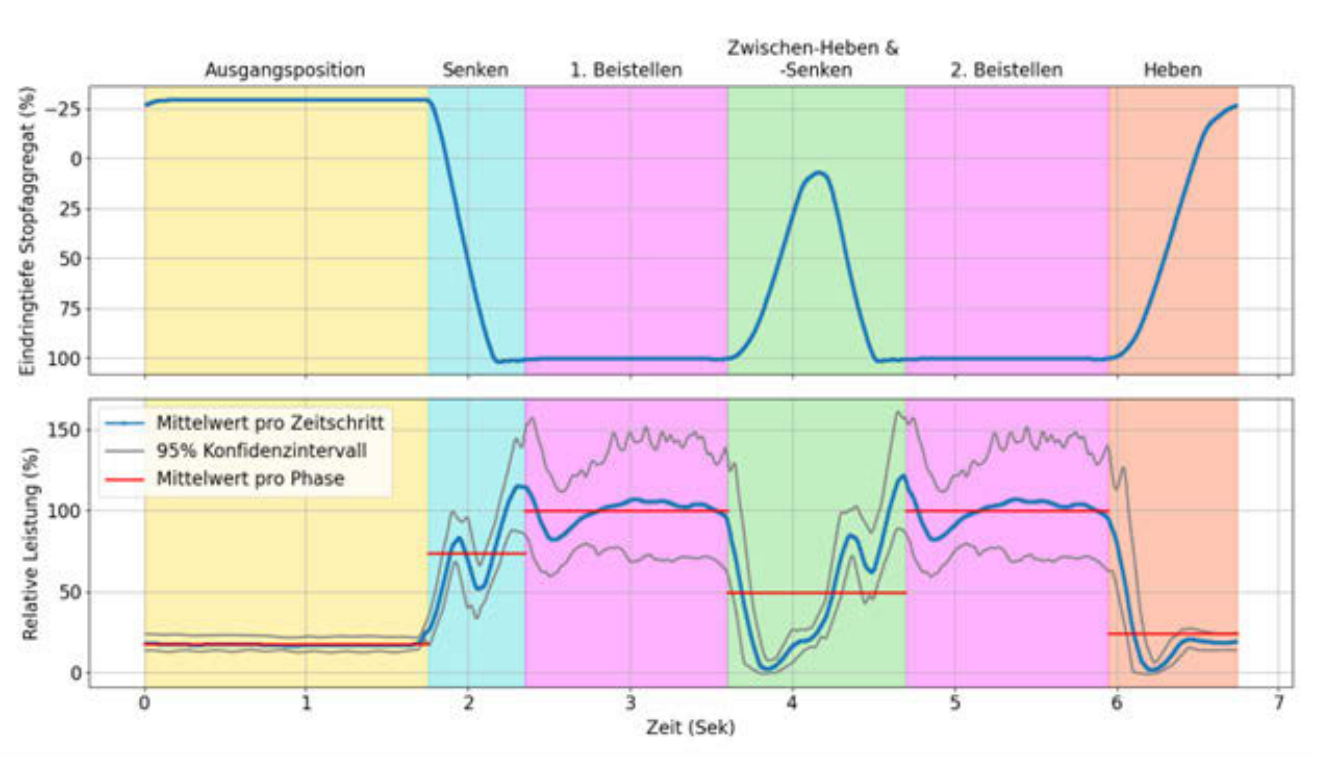
Komponenten im Blick

Wie können weitere Effizienzsteigerungen aussehen? Dafür ist es notwendig, zu wissen, wo man den Hebel ansetzen muss. Konkret stellt sich die Frage, welchen Anteil am Gesamtverbrauch die einzelnen Teile beziehungsweise Komponenten einer Maschine haben. Kennt man die Größenordnungen, ist der nächste Schritt, vielversprechende Bereiche gezielt weiterzuentwickeln. Die Betriebsdaten in der Anwendung Plasser Datamatic erlauben genau diesen detaillierten Blick auf einzelne Komponenten und deren Charakteristik.

Als Richtmarke bietet der Unimat-BR eine gute Datenbasis, da durch den hohen Elektrifizierungsgrad einzelne Komponenten und Systeme detaillierter analysiert werden können. Im Folgenden wird der Streckenstopfbetrieb mit einer Tauchung pro Schwelle (Einfachstopfung) im dieselelektrischen Modus dargestellt. Hinsichtlich der Energiekosten im Lebenszyklus einer Maschine sind auch andere Betriebsmodi wie zum Beispiel Überstellfahrten zu betrachten. Dabei ist es wichtig, das tatsächliche Einsatzprofil zu kennen. Auch in diesem Fall leistet Plasser Datamatic wertvolle Dienste.

Abbildung 5 zeigt, wie sich der gesamte Leistungsbedarf des Unimat-BR zusammensetzt. Erwartungsgemäß entfällt ein wesentlicher Anteil des Energieverbrauchs in diesem Betriebszustand auf die Arbeitsaggregate – jene Komponenten, die direkt für die mechanische Bearbeitung des Gleises verantwortlich sind. Die Verteilung der eingesetzten Energie innerhalb dieser Arbeitsaggregate zeigt, dass ein erheblicher Teil in die Umlagerung und Verdichtung des Schotterbetts fließt (siehe „Linearbewegungen Hydraulik“ und Vibration der Stopfaggregate in Abbildung 5). Dieser Prozess ist besonders energieintensiv, da mechanische Kräfte aufgebracht werden müssen, um den Schotter zu verdichten und die Gleislage dauerhaft zu stabilisieren. Eine Reduktion der in den Schotter

© DVV Media Group GmbH



6: Zeitlicher Verlauf der Vibrationsleistung eines einzelnen Aggregats beim Stopfen, im Detail die Mittelung aus einer Vielzahl an Zweifachstopfungen; in der oberen Grafik liegt die Schienenoberkante bei 0 mm

eingebrachten Energie kann zu geringerer Verdichtung und somit reduzierter Stopfqualität führen. Moderne Maschinenkonzepte setzen daher auf effizientere Antriebe, optimierte Stopfverfahren und intelligente Steuerungssysteme, um den Energieeinsatz bei gleichbleibender Arbeitsqualität zu minimieren. Der Leistungsbedarf im Leerlauf, verstärkt durch die dabei reduzierte Drehzahl, ist im Vergleich zur aktiven Verdichtphase vernachlässigbar, wie Abbildung 6 zeigt.

Auffallend ist der geringe Anteil der Traktion an der Gesamtleistung während des Arbeitsbetriebs. Das ist nachvollziehbar, wenn man sich das geringe Geschwindigkeitsniveau bewusst macht. Zusätzlich wird bei kontinuierlich arbeitenden Stopfmaschinen während des Arbeitsbetriebs lediglich ein Teil der Maschine (der sogenannte Satellit) beschleunigt und abgebremst, während die Hauptmaschine kontinuierlich fährt. Dieses Konzept erlaubt eine wesentlich höhere Arbeitsgeschwindigkeit bei geringerem Energiebedarf. Die Leistungsaufnahme des Traktionsantriebs bei Überstellfahrt liegt deutlich über der im Arbeitsbetrieb.

Eine Maschine mit einem derartigen Funktionsumfang ist zwangsläufig auch mit Aggregaten ausgestattet, die nicht direkt dem Arbeitsbetrieb zuzuordnen sind (in Abbildung 5 grün dargestellt). Deren Anteil am Gesamtverbrauch ist nicht unwesentlich und hat sowohl bei Neumaschinen als auch im Retrofitbereich noch Einsparungspotenzial.

Der geringe Anteil an Systemverlusten am Beispiel Unimat-BR (in Abbildung 5 rot dargestellt) zeigt die hohe Güte des E^3-Maschinenkonzepts. Erreicht wird dies maßgeblich durch die Elektrifizierung der rotatorischen Antriebe und der Traktion sowie mittels intelligenter Steuerungsbausteine. Da diese den Bediener durch Assistenzsysteme entlasten, erhöht sich die Arbeitsqualität.

Schlussfolgerung

Die Wahl der richtigen Stopfmaschine für den jeweiligen Einsatzzweck ist ein entscheidender Faktor für die Effizienz, Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit der Gleisinstandhaltung. Der gezielte Einsatz spezialisierter Maschinen kann erhebliche Vorteile bieten. Diese Maschinen sind für bestimmte Aufgaben optimiert, wodurch sich sowohl die Betriebskosten als auch die CO_2-Emissionen signifikant reduzieren können. Allerdings geht mit dieser Spezialisierung auch ein gewisser Verlust an Flexibilität einher. Universell einsetzbare Maschinen bieten zwar eine breitere Anwendbarkeit, sind jedoch nicht in jedem Szenario die effizienteste Lösung. Die Herausforderung besteht darin, für jeden Einsatzfall die optimale Balance zwischen Flexibilität und Effizienz zu finden. Plasser & Theurer unterstützt seine Kunden aktiv bei dieser Entscheidung mit einem umfassenden Portfolio an Stopfmaschinen für unterschiedlichste Anforderungen in Kombination mit der digitalen Infrastruktur zur Analyse des Maschinenbetriebs. Mit der Anwendung Plasser Datamatic können Betriebsdaten in Echtzeit erfasst, ausgewertet und für fundierte Entscheidungen genutzt werden. Diese Daten ermöglichen eine präzise Einschätzung von Energieverbrauch, Emissionen und Leistungskennzahlen im laufenden Betrieb und dienen auch als Basis für zukünftige Investitionen. Darüber hinaus begleitet Plasser & Theurer

© DVV Media Group GmbH

seine Kunden bei der Interpretation dieser Daten. Durch die Kombination aus technologischem Know-how, datenbasierter Analyse und breitem Maschinenangebot kann für jeden Einsatzzweck eine maßgeschneiderte Lösung gefunden werden – unabhängig davon, ob es sich um eine elektrisch betriebene, hybride oder konventionelle Maschine handelt.

Die Elektrifizierung ist ein wichtiger Schritt zur Emissionsreduktion, aber nicht der einzige. Bereits durch die gezielte Auswahl der richtigen Maschine und ihren optimalen Einsatz lassen sich erhebliche Einsparungen erzielen – sowohl ökologisch als auch ökonomisch. Plasser & Theurer hat dafür nicht nur die passenden Maschinen, sondern auch die Werkzeuge und das Know-how, um diese Potenziale voll auszuschöpfen. ●

Literatur

[1] Rat der Europäischen Union. „Fit für 55" [Online.] Verfügbar: https://www.consilium.europa.eu/de/policies/fit-for-55/
[2] M. Buchner, M. Demml und S. Misar, „Emissionsfreier Bahnbau: Ökonomisch und ökologisch nachhaltig," ETR - Eisenbahntechnische Rundschau, Nr. 9, S. 100-103, 2024.
[3] T. Radler, L. Hofmann, C. Koczwara und M. Buchner, „Energieeffizient und emissionsarm stopfen," EI - Der Eisenbahningenieur Nr. 1, S. 15–18, 2024.
[4] F. Auer, A. Pumberger und G. Jodlbauer, „Lärmreduktion Stopfen – schalltechnische Vergleichsmessung," EI - Der Eisenbahningenieur, Nr. 3, S. 16–19, 2019.
[5] G. Achs und S. Floss, „Schalltechnische Untersuchung bei unterschiedlichen Antriebsarten von Stopfmaschinen," ETR - Eisenbahntechnische Rundschau, Nr. 10, S. 50–54, 2023.
[6] T. Radler, L. Hofmann, C. Koczwara und M. Buchner, „Electric drives offer energy-efficient tamping," Railway Gazette International, Nr. 8, S. 36–38, 2024.
[7] Plasser & Theurer. „Unimat 09-8x4/4S BR-Dynamic E³." Zugriff am: 13. August 2025. [Online.] Verfügbar: https://www.plassertheurer.com/de/machine/universalstopfmaschinen/unimat-09-8x4-4s-br-dynamic-e3-1.

Summary

Optimised machine concepts for sustainable track maintenance

In view of increasing requirements, the right track maintenance machine is the key to success. Plasser & Theurer offers a broad portfolio that provides a suitable solution for almost every application. Analysing operating data from machines in productive use enables the targeted selection of machine concepts and technologies for the challenges of the future.

© DVV Media Group GmbH