

2024 (Jahrgang 148) / Ausgabe 10 / Sprache: Deutsch

Investitionssicherheit für alternative Antriebe im Bahnbau

Autoren: Dipl.-Ing. Markus Jürgen Buchner, Simon Misar, Ing. Marc Demml

Zusammenfassung

Die Anforderungen und Rahmenbedingungen an Instandhaltung, Sanierung und Neubau im Oberbau haben sich innerhalb der letzten Dekade signifikant verändert. Nachhaltigkeitsaspekte und veränderte ökonomische Randbedingungen für die Betreiber bedingen eine umfassende Betrachtung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses bei Neuinvestitionen. Dies wird in diesem Artikel anhand der Total Cost of Ownership-Analyse (TCO) dargelegt. Die Entwicklungen der vergangenen zehn Jahre prägten den Weg zum nachhaltigen mechanisierten Durcharbeitungszug. Die zunehmende Nachfrage nach Bahnbaumaschinen mit alternativen Antrieben mündet in aktuellen Angeboten, die sich neben ökologischen Vorteilen am Prüfstein der Wirtschaftlichkeit bewähren müssen. Eine besondere elektrische Stopfmaschine für Nahverkehrsbetreiber markiert einen Meilenstein der technologischen Machbarkeit.

1 Der grüne Weg

Vor 70 Jahren wurde durch den Wechsel vom mechanischen zum hydraulischen Stopfantrieb eine Zeitenwende in der Gleisdurcharbeitung eingeleitet. Mittels asynchronem Gleichdruck-Stopfprinzip und hydrostatischem Antrieb konnten erstmals Wirkungsgrade von ca. 70 % erzielt werden. Diese Grundidee wurde im Laufe der Jahrzehnte von Plasser & Theurer stetig weiterentwickelt und mit neuen Lösungen für die Kundenanforderungen angereichert: Mehr-Schwellen-Stopftechnologie, kontinuierliche Arbeitsweise oder Drehzahlregelung bei Stopfaggregaten sind Beispiele für wichtige technologische Entwicklungen. Als nächster richtungweisender Schritt kann der Wechsel vom hydraulischen zum elektrischen Antrieb gesehen werden.

Wegbereiter für einen möglichen CO₂-neutralen Betrieb war 2014 eine Erweiterung des Antriebssystems zur Anbindung an den Bahnstrom durch Oberleitungskomponenten. Im ersten Schritt konnte die etablierte

Grundarchitektur der Maschinen beibehalten werden. Neben dem Dieselmotor, der dem hydraulischen Antriebssystem die Energie liefert, wurde ein zusätzlicher Elektromotor durch Bahnstrom über Stromabnehmer, Transformator und Stromrichter gespeist. Dies leitete die Ankunft in der ersten Evolutionsstufe der E³-Technologie von Plasser & Theurer ein: das elektro-hydraulische Antriebskonzept (Bild 1).

Es konnte erstmals Bahnstrom für den Antrieb einer Bahnbaumaschine genutzt werden.

Als nächster Schritt in der E³-Technologie folgte die konsequente Weiterentwicklung zu einem vollelektrischen System, das den Gesamtwirkungsgrad auf ca. 83 % erhöhen konnte. Das Rückgrat bildet eine 750 V-DC-Spannungsversorgung (DC supply link), welche die vollelektrische Energieverteilung an alle relevanten Verbraucher auf der Bahnbaumaschine ohne Umwege übernimmt. Das Bordsystem, die Heizung, Lüftung und Klimatisierung und auch alle rotatorischen Bewegungen werden elektrisch angetrieben. Dies schließt auch den Fahrtrieb (elektrisch angetriebene Triebdrehgestelle), die Antriebe der Arbeitsaggregate (Vibrationsantrieb der Stopfaggregate und Dynamischer Gleisstabilisator) sowie die elektrische Satellitenvorfahrt einer kontinuierlich arbeitenden Stopfmaschine ein. Die elektrischen Antriebe ermöglichen Steigerungen der Performance durch erhöhte Wiederholgenauigkeiten, mehr Effizienz und verringerte Wartungsaufwände. Bei Linearbewegungen spielt das Hydrauliksystem weiterhin seine Vorteile aus: effizient, robust und mit hoher Leistungsdichte. Somit wird das Beste beider Welten kombiniert (Bild 2).

Durch die steigende Nachfrage nach alternativen Antrieben im Bahnbau stehen heute in zahlreichen Arbeitsbereichen umweltfreundliche, CO₂-reduzierende Lösungen zur Verfügung. Inzwischen werden auch Fahrzeuge und Maschinen für Oberleitungsbau und -instandhaltung, Fahrweg- und Oberbauinstandhaltung mit neuen E³-Antrieben ausgestattet. Bei Stopfmaschinen für Strecken und Weichen, Schottermanagement und dynamische Gleisstabilisation entfaltet der Entwicklungsvorsprung von zehn Jahren deutliche Skalierungseffekte für das System Bahn, vor allem in Europa.

Für das Stopfen und Stabilisieren bietet die neue Plasser UnimatExpress E³-Serie eine Variantenvielfalt für die Bearbeitung von Strecken und Weichen. In serienreifer Weiterentwicklung des vollelektrischen Antriebs wird der Strom aus der Oberleitung genützt. Bei Bedarf können zwei unterschiedliche Fahrstromsysteme als Energiequelle dienen. Alternativ übernimmt, z. B. bei ausgeschalteter Oberleitung, ein integriertes Diesel-Powerpack die Stromerzeugung. Dieses kann auch mit synthetischen Kraftstoffen wie HVO 100 betrieben werden.

Antriebsvarianten von Universalstopfmaschinen mit integrierter dynamischer Stabilisation: Plasser UnimatExpress Dynamic E³ (Bild 3):

- Hybridantrieb mit Strom aus AC-Oberleitung oder Generator „E³ C/I“ Antrieb (Catenary/Internal combustion engine)
- Hybridantrieb mit Strom aus AC- und DC-Oberleitung „E³ CC/I“ Antrieb (CC (Dual) Catenary/Internal combustion engine)

Neben dem Stopfen und Stabilisieren erfordert die Gleisinstandhaltung mit mechanisierten Durcharbeitungszügen ein leistungsmäßig abgestimmtes Schottermanagement. Mit dieser Erweiterung können Sperrpausen und Ressourcen vorhandenen Gleisschotters optimal genutzt werden. Bereits seit den Anfängen der E³-Antriebstechnologie wurden Vorgängersysteme wie das BDS 2000 E³ mit Stromversorgung aus der Oberleitung kombiniert. Die Schotterbewirtschaftung bzw. das Profilieren des Schotters wird nun durch die Plasser BallastExpress E³-Serie mittels elektrischen Antriebs bewerkstelligt. Die Versorgung erfolgt wie bei den Stopfmaschinen über die Oberleitung, wobei wahlweise unterschiedliche Spannungssysteme genutzt werden können: ein reines AC-System (E³ C/I) oder ein Dual-Antriebssystem (E³ CC/I) für DC- oder AC- und DC-Oberleitungssysteme. Zur Senkung der Wartungskosten, Erhöhung der Gleichteile auf Flottenebene und Vereinheitlichung der Bedienung kommen Antriebseinheiten wie auch bei der Plasser UnimatExpress E³-Serie zum Einsatz (Bild 4).

Die BallastExpress E³-Serie steht für die höchste Leistung im Profilieren von Schotter. Auch hier gilt: Wo technologisch sinnvoll, werden alle rotierenden Bewegungen elektrisch angetrieben. Die benötigte Leistung für diesen Maschinentyp beläuft sich auf ca. 500 kW, daher ist der Einsatz eines hybriden Antriebskonzeptes die optimale Wahl (Tabelle 1).

In Zusammenarbeit mit der Plasser UnimatExpress E³-Stopfmaschinenteknologie kann damit die gesamte funktionale Arbeitskette eines mechanisierten Durcharbeitungszuges inklusive Stopfen, Stabilisieren und Profilieren mit höchster Energieeffizienz nachhaltig dargestellt werden (Bild 5).

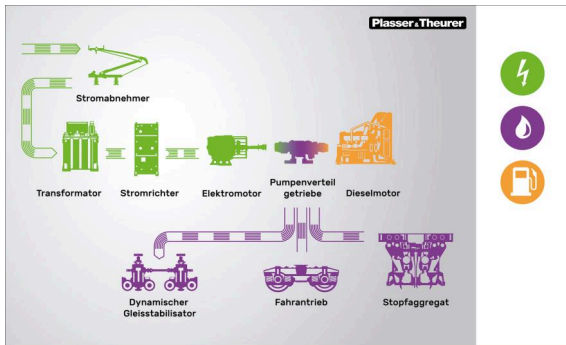


Bild 1: Elektro-hydraulisches Antriebskonzept als erste Entwicklungsstufe von E³



Bild 2: Stufen zur emissionsfreien Gleisdurcharbeitung

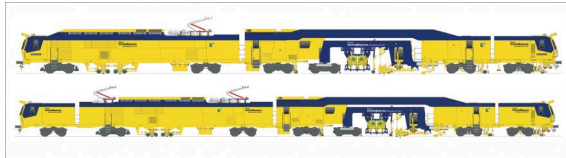


Bild 3: Unterschiedliche Antriebsvarianten des Plasser UnimatExpress mit E³-Technologie für eine oder zwei unterschiedliche Fahrstromsysteme



Bild 4: Ressourcenschonendes Schottermanagement mit Stromversorgung aus der Oberleitung: Plasser BallastExpress L E³ C/I

		Leistungsbereich		
		klein [< 300 kW]	mittel [300 bis 600 kW]	groß [> 600 kW]
Zeit-horizont	Kurz-fristig	Hybrid (Oberleitung/Batterie/HVO)	Hybrid (Oberleitung/Batterie/HVO)	Gleisgebundenes Arbeiten, HVO
	Mittel-fristig	Hybrid (Oberleitung/Batterie)	Hybrid (Oberleitung/Batterie/H2)	Gleisgebundenes Arbeiten, Synfuel, H2
	Lang-fristig	Batterie	Hybrid (Oberleitung/Batterie/H2)	Gleisgebundenes Arbeiten, Synfuel, H2

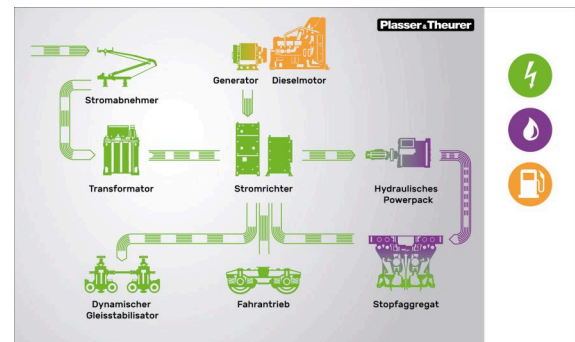


Tabelle 1: Bei der Wahl des Antriebssystems müssen Leistungsbereich und Zeithorizont berücksichtigt werden. Bei mittlerem Leistungsbedarf (z. B. Stopfmaschinen) bewähren sich

Bild 5: Vollelektrisches E³-C/I-Antriebskonzept mit Stromversorgung aus der Oberleitung und integriertem Dieselpowerpack (Catenary/Internal combustion engine)

2 CO₂-neutrales Fahren und Arbeiten

Getrieben von steigenden Nachhaltigkeitsanforderungen hat Plasser & Theurer das E³-Antriebssystem weitergedacht und um ein Batteriesystem erweitert. In einem ersten Schritt wurde es für Oberleitungsbau und -instandhaltung sowie universelle Oberbauarbeiten umgesetzt. Diese Innovationsleistung und proaktive Entwicklung startete mit dem Prototypen HTW 100 E³. Das Fahrzeug wurde 2017 auf der internationalen Fahrwegausstellung iaf in Münster erstmals vorgestellt und in den darauffolgenden Jahren intensiv getestet. Dabei hielt es harten Erprobungen stand. Der Klimakanal forderte das Material bei Temperaturschwankungen von -30 bis +50 Grad Celsius. Der Prototyp bewährte sich auch im Arbeitsalltag bei der Fahrleitungsinstallation des 15 km langen Ceneri-Tunnels in der Schweiz [1]. Schließlich führte der Entwicklungsaufwand zum größten Einzelauftrag der Firmengeschichte. Die 56 Oberbaufahrzeuge für die ÖBB, die mit einem trimodalen Antriebssystem ausgestattet sind, können komplette Schichten nachhaltig, geräuscharm und nur mit Batteriestrom abwickeln. Daneben dient die Oberleitung als Energiequelle für vollelektrisches Fahren. Als Backup ist ein dieselektrisches Powerpack mit an Bord [2].

Die Entwicklung eines strategischen Technologiefahrplans über alle Sparten von Gleisbaumaschinen hinweg führte zu einer leistungs- und zeitabhängigen Matrix an optimalen Technologiekombinationen (Tabelle 1).

Anzumerken ist, dass speziell der Einsatz von Wasserstoff im Rahmen einer detaillierten Machbarkeitsstudie im Bereich der Stopfmaschinen überprüft wurde. Mit dem Ergebnis, dass dies technisch zwar realisierbar ist, aber sowohl wirtschaftlich als auch ökologisch keine optimale Lösung.

Deutlich wirtschaftlicher bei der Wiederherstellung der Gleislage ist die Kombination aus Oberleitung und Batterie. Aufbauend auf diesen Ergebnissen, hat Plasser & Theurer für unterschiedliche Kundenanforderungen Lösungen erarbeitet, die auf das übergeordnete Ziel einer nachhaltigen Arbeitsweise ausgerichtet sind (Bild 2).

3 Technologischer Meilenstein für Nahverkehrsbetreiber

Schadstofffreies Arbeiten ist vor allem in Tunneln von großem Nutzen, um die Sicherheit des Personals zu erhöhen, die gesundheitlichen Risiken auf ein Minimum zu reduzieren und die Attraktivität des Arbeitsplatzes zu steigern. Emissionen von Baumaschinen wirken sich in Tunneln verstärkt aus: Schall wird von den Tunnelwänden reflektiert und lässt den Gesamtschallpegel ansteigen. Die Konzentration von Luftschadstoffen aus Verbrennungsmotoren und die Staubentwicklung nehmen zu, da durch die limitierten Belüftungsmöglichkeiten nur wenig abtransportiert werden kann. In besonderem Maße treffen diese Punkte auf U-Bahnen zu, da hier der überwiegende Teil der Arbeiten in Tunnelsystemen erfolgt, und das bis heute manuell.

Dies hat ein europäischer Nahverkehrsbetreiber erkannt und neue mechanisierte Stopf-, Richt- und Nivelliermaschinen ausgeschrieben. Durch den Einsatz von Stopfmaschinen wird der Personaleinsatz im Gefahrenbereich verringert, die Qualität der Arbeit bleibt gleichförmig auf hohem Niveau, die Arbeitsbedingungen verbessern sich und die Arbeitsleistung wird gesteigert. In dieser Ausschreibung wurde besonderes Augenmerk auf die Nachhaltigkeit und Verbesserung der Arbeitsbedingungen gelegt und daher der Einsatz von Verbrennungsmotoren komplett ausgeschlossen.

Neben diesen Anforderungen an Nachhaltigkeit und Sicherheit zeichnet sich das Projekt durch weitere Besonderheiten aus, die neuer Lösungsansätze bedürfen. So ist z. B. nicht nur das Stopfen von Stahlradstrecken gefordert, sondern auch das Stopfen von Gummiradstrecken, wie in Bild 6 ersichtlich. Plasser & Theurer hat speziell für diese komplexen, herausfordernden Anforderungen ein innovatives Entwicklungsprojekt gestartet, bei dem unter anderem das Stopfaggregat individuell für die Kombination Stahlrad/Gummirad adaptiert wurde (Bild 7).

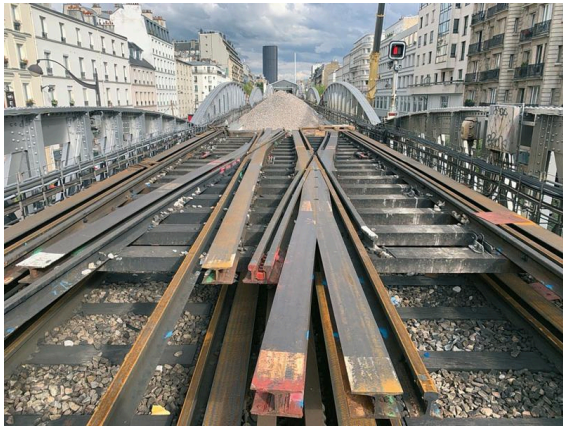


Bild 6: Ausgebaute Weiche für Stahlrad- und Gummiradantrieb

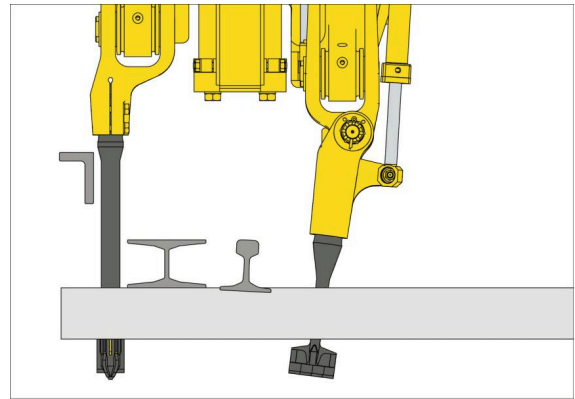


Bild 7: Ausführungsbeispiel eines Stopfaggregates für Gleise mit Gummiradantrieb

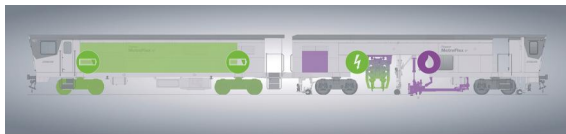


Bild 8: Batteriebetriebenes Antriebskonzept optimiert für den urbanen Einsatz

3.1 Lokal emissionsfreies Antriebskonzept mit höchster Effizienz

Die Forderung nach einem Antrieb ohne Verbrennungsmotor wirft sofort die Frage nach einer geeigneten Energiequelle auf. Für das Einsatzgebiet der Bahnbaumaschinen im Rahmen eines mechanisierten Durcharbeitungszuges erweist sich ein vollelektrischer Hybridantrieb als optimale Wahl [3]. Zum selben Ergebnis kommt auch die Studie „Assessment and Recommendations for a Fossil Free Future

for Track Work Machinery“, in der für dieses Einsatzszenario eine Kombination aus Oberleitung und Batterie empfohlen wird [4].

Im konkreten Fall gibt es die zusätzliche Anforderung, dass die Infrastruktur in der U-Bahn nicht über eine herkömmliche Oberleitung verfügt, wie es im klassischen Eisenbahnwesen in Europa üblich ist. Die Energiebereitstellung über eine dritte Schiene, auch Stromschiene genannt, erfolgt hier mit einer Gleichspannung von 750 V [5].

Die Bereitstellung des benötigten Energiebedarfs über Batterietechnik für das emissionsfreie Betreiben der Stopfmaschine sowohl im Arbeitsmodus als auch im Fahrmodus ist ein Novum bei Gleisbaumaschinen und markiert einen weiteren Meilenstein auf dem Weg zu einer emissionsfreien Gleisstandhaltung.

Plasser & Theurer hat bereits trimodale Antriebskonzepte mit mehr als 100 kWh Batteriekapazität erfolgreich für Fahrzeuge zur Oberbauinstandhaltung entwickelt (Plasser CatenaryCrafter E³-Serie und Plasser MultiCrafter E³-Serie). Im Bereich von Stopfmaschinen mit noch größerem Energiebedarf sind sie jedoch eine Innovation.

Diese Maschinen werden somit die ersten weltweit sein, die mit Batterie zu 100 % elektrisch arbeiten. Das Prinzip des Antriebsstranges wird in Bild 8 skizziert.

Der U-Bahn-Betrieb läuft von ca. 5:30 Uhr morgens bis 01:00 Uhr nachts, wodurch nur relativ kurze Pausen für die Instandhaltung genutzt werden können. Das batteriebetriebene Antriebskonzept ist vorteilhaft für dieses Einsatzszenario, da das Verhältnis von benötigter Energie (Batteriekapazität) und vorhandener Ladezeit zwischen zwei Einsätzen günstig ausfällt.

Die Maschinen verfügen über mehrere Möglichkeiten, um die Batterien zu laden. Zum schnellen Laden kann die Leistung direkt von der dritten Schiene über den Stromrichter zum Batteriepack geleitet werden. Ein geeignetes BTMS (Battery Thermal Management System) hält dabei die Betriebsparameter für die Batterien in einem geeigneten Rahmen, sodass die geforderte Lebensdauer nicht beeinträchtigt wird. Als weitere Möglichkeit bietet die Maschine auch eine 3 x 400 V-Ladeschnittstelle an. Diese ist für eine Erhaltungsladung oder bei längerem Stillstand auch für ein Nachladen der Batterien geeignet. Die übertragbare Leistung hängt von der vorhandenen Infrastruktur ab, bei einer konventionellen 64 A-Schnittstelle können z. B. 44 kVA (35 kW Wirkleistung) übertragen werden, dies würde bei einem 100 kWh-Speicher einer ca. dreistündigen Ladezeit entsprechen. Falls auf der Infrastrukturseite eine höhere Absicherung dieser Ladeschnittstelle zur Verfügung steht, kann mit einer noch höheren Leistung geladen und die Ladezeit entsprechend reduziert werden.

Um den ökologischen Fußabdruck noch weiter zu reduzieren, verfügt die Maschine neben der mechanischen Bremse über die Möglichkeit, elektrisch zu bremsen. Dadurch werden zum einen direkte Emissionen in Form von Wärme, Lärm und Bremsstaub reduziert und zum anderen kann die Bremsenergie bei geeigneten Randbedingungen ins Netz oder in die Batterie zurückgespeist werden. Neben den reduzierten Emissionen hat die Sicherheit der Bediener einen hohen Stellenwert, daher wird bei der Entwicklung der Systeme darauf besonders geachtet.

Damit auch die Staubemissionen, die zwangsläufig bei der Wiederherstellung der Gleislage entstehen, so gering wie möglich gehalten werden, gibt es die Möglichkeit einer Staubbiedernebelung. Gesamtheitlich betrachtet wird deutlich, dass dieses Projekt einen neuen Maßstab in puncto Effizienz, Umweltfreundlichkeit und Sicherheit darstellt, ganz nach dem Motto der E³-Technologie: Economic, Ecologic und Ergonomic.

3.2 Neue Technologien erfordern ganzheitliche Bewertungsmethoden

Eine Total Cost of Ownership-Berechnung (TCO) zeigt eine ganzheitliche Kostenperspektive für fundierte Investitionsentscheidungen auf. Die Analyseverfahren bietet dabei eine übersichtliche Vergleichbarkeit etablierter und alternativer Antriebsformen. Sie verfolgt das Ziel: ökonomische, nachhaltige und ergonomische Lösungen für die Bahn der Zukunft.

3.3 Investition in Zukunftssicherheit

Kaufentscheidungen wurden sehr oft vorrangig basierend auf dem Anschaffungspreis einer Gleisbaumaschine getroffen. Alle weiteren im Produktlebenszyklus anfallenden Kosten hatten dabei einen untergeordneten Einfluss. Gemeint sind Energiekosten durch Diesel oder Bahnstrom, Wartungskosten und nun auch anfallende CO₂-Zertifikatskosten.

Warum braucht es eine erweiterte, ganzheitliche Bewertung der Kosten über den gesamten Lebenszyklus des Produkts? Weshalb sollten zusätzliche Fakten erhoben und mitberücksichtigt werden?

Bahnbaumaschinen erreichen eine sehr lange Lebensdauer. Mehr als 50 % der in den letzten 70 Jahren von Plasser & Theurer ausgelieferten Maschinen sind noch weltweit im Einsatz. Somit leistet eine typische Bahnbaumaschine ihren Dienst über mehrere Jahrzehnte – nicht selten sogar länger als 30 Jahre. Bei einer Kostenbewertung über die lange Einsatzdauer steigt der Stellenwert der Lebenszykluskosten, die wie in Bild 9 ersichtlich zu einem beträchtlichen Teil aus Betriebskosten entstehen.

3.4 Ökologische und wirtschaftliche Vorteile Hand in Hand

Die Potenziale durch den Einsatz alternativer Antriebe sind realistisch kalkulierbar.

Im konkreten Beispiel werden die Betriebskosten einer 2-Schwellen-Universalstopfmaschine UnimatExpress für den Einsatz in Deutschland als wesentliche Eingangswerte für die LCC-Bewertung genauer betrachtet. Verglichen wird zwischen einem diesel-hydraulischen Antrieb und der hybriden E³ C/I-Technologie. Die Investitionskosten bilden das andere Teilstück einer LCC-Bewertung. Sie sind abhängig von der Ausstattung der Maschine und der angesetzten Nutzungsdauer und müssen vom Maschinenbetreiber separat berücksichtigt werden.

In der Beispielkalkulation wird angenommen, dass der Verbrennungsmotor zu 20 % für das Arbeiten und

Fahren verwendet wird, bei 80 % kann die Fahrleitung verwendet werden. Es wird von 180 Schichten und einer Transferleistung (Fahren von und zur Baustelle) von 10 000 km pro Jahr ausgegangen.

Über 20 Jahre betrachtet, fallen ersichtlich mit einer Hybridmaschine E³ C/I ca. 40 % weniger Kosten für den Betrieb an im Vergleich zu einer dieselhydraulischen Maschine (Bild 10). Primär ist diese Kosteneinsparung auf den reduzierten Energieverbrauch rückzuführen (Bild 11).

Ein weiterer Grund sind die durch die Elektrifizierung reduzierten LCC-Kosten. Elektrische Komponenten haben zudem längere Wartungsintervalle als Hydraulikkomponenten. Die E³-Technologie setzt, wo technologisch sinnvoll, auf reduzierte Hydrauliksysteme. Eine E³-Maschine verwendet nur noch 600 l Hydrauliköl im Unterschied zu 2 000 l bei einer dieselhydraulischen Maschine. Durch diese Reduktion werden wichtige Ressourcen sowie auch Kosten beim Ersetzen des Hydrauliköls gespart (Bild 12).

Eine weitere wichtige Information für die Investitionsentscheidung ist die Berechnung des CO₂-Ausstoßes der Maschine. Der TCO-Rechner bietet diese Möglichkeit und gibt transparent Auskunft über die Einsparungen an CO₂-Emissionen (Bild 13). Diese Betrachtung wird über die Nutzungsdauer der Maschine, das definierte Einsatzprofil und die jeweilige Technologie dargestellt.

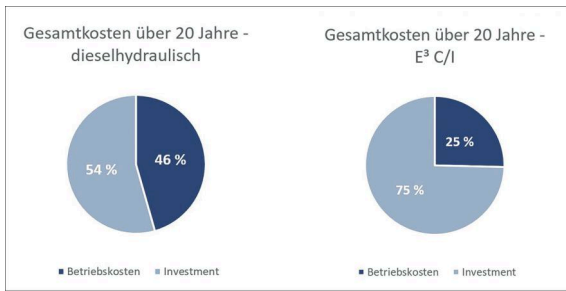


Bild 9: Betriebs- und Investitionskosten für konventionelle und mit E³-Technologie angetriebene Maschinen im Vergleich



Bild 10: Der Betriebskostenvergleich unterschiedlicher Antriebssysteme zeigt das ökonomische Einsparungspotenzial hybrider Systeme

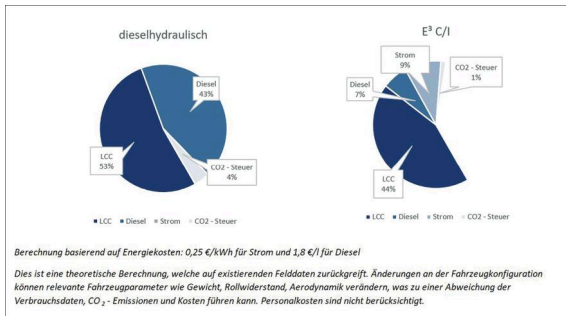


Bild 11: Detaillierte Betrachtung der Betriebskostenanteile über 20 Jahre

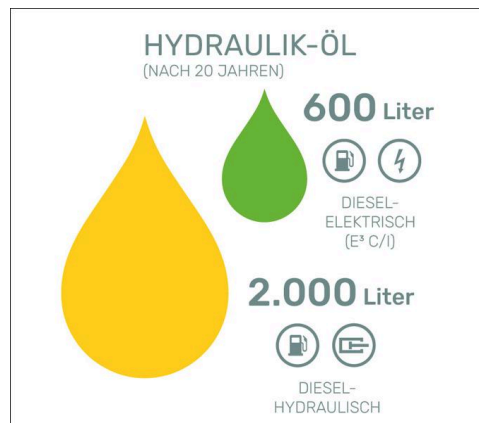


Bild 12: Reduzierung von Hydrauliköl bei hybriden Antriebssystemen

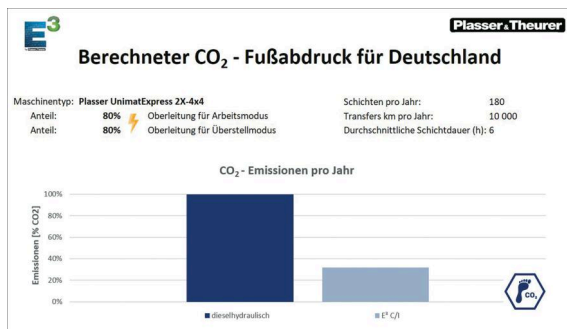


Bild 13: Signifikant reduzierte CO₂ Emissionen bei hybriden Antriebssystemen

4 E³ rechnet sich für Umwelt und Betreiber

Die Betrachtung der Kosten über den Lebenszyklus erlaubt einen klaren Vergleich unterschiedlicher Maschinenkonzepte. Unterschiedliche Technologien werden transparent bezüglich Energiebedarf, CO₂-Ausstoß und Wartungskosten über den Lebenszyklus dargestellt. Neben der Geschwindigkeit und Qualität der Arbeit sprechen die Vorteile der Energieeffizienz für die E³-Technologie. Der ökologische Fußabdruck „grüner“ Bahnbaumaschinen zeichnet sich als nachhaltige Investition in die Zukunft ab.

4.1 Monetarisierung von Umweltauswirkungen

Der Umstieg in die nachhaltige E³-Technologie bedingt höhere Investitionskosten bei gleichzeitig geringeren laufenden Kosten. Die fehlende Monetarisierung von Umweltauswirkungen ist derzeit in Europa noch ein großer Hemmschuh, der die breite und zügige Umsetzung von vorhandenen Möglichkeiten hinauszögert (Bild 14).

Um den Umstieg zu beschleunigen und den Unternehmen die nötige Investitionssicherheit zu geben, ist eine geeignete Monetarisierung der Umweltauswirkungen nötig, damit diese nicht mehr nur als untergeordnete Faktoren betrachtet werden.



Bild 14: Unterschiedliche Energiequellen im Vergleich betreffend Nachhaltigkeit und Kosten

5 Fazit

Mit neuesten Bahnbaumaschinen lässt sich bereits eine emissionsfreie Durcharbeitung realisieren. Durch stete Weiterentwicklungen in den letzten zehn Jahren stehen erneuerbare Energiequellen für unterschiedliche Einsatzszenarien in Serienreife zur Verfügung. Weitere technologische Meilensteine zeichnen sich bereits ab, wie die weltweit erste elektrische Stopfmaschine für den U-Bahnbereich mit Batterieantrieb.

In welchem Umfang Hersteller und Betreiber von Bahnbaumaschinen Investitionen in die Dekarbonisierung ihrer Lösungen weiter forcieren können, hängt auch stark von den Anreizen ab, die von öffentlicher Hand gegeben werden.

Individuelle Betrachtungen der Total Costs of Ownership belegen Einsparungen von CO₂-Emissionen passend zur prognostizierten Auslastung der Maschinen.

Zusätzlich kann heute schon belegt werden, dass die Betriebskosten über den Lebenszyklus bei der Wahl moderner hybrider Maschinen signifikant reduziert werden können.

Literatur

[1] Steinwenker, H.: Batteriebetrieb von Gleisbaumaschinen und Eisenbahnfahrzeugen. El Sonderheft Gleisbaumaschinen, September 2019, S. 15.

[2] Adamiczek, C., Raffel, J.: Grüne Instandhaltungsflotte für Österreichs Bahnnetz. Internationales Verkehrswesen 4 | 2022, S. 36 [3].

[3] Folie, G.: Potenziale und Grenzen alternativer Antriebe im Gleisbau. Eurailpress, ETR September 2023, S. 32-37.

[4] Landgraf, M.: Assessment and Recommendations for a Fossil Free Future for Track Work Machinery. Institute of Railway Engineering and Transport Economy, TU Graz 2021.

[5] Kiessling, F., Puschmann, R., Schmieder, A.: Fahrleitungen elektrischer Bahnen: Planung, Berechnung, Ausführung, Betrieb. John Wiley & Sons, New York, 2014, S. 162.

[6] Landgraf, M.: Ökologische Aspekte des Systems Bahn. ÖVG, 24. Internationale Tagung des Arbeitskreises Eisenbahntechnik, Salzburg, Mai 2023.
