

# Potenziale und Grenzen alternativer Antriebe im Gleisbau

In den letzten Jahren hat sich die Diskussion um die Reduzierung von Treibhausgasemissionen stark intensiviert. Regulatorische Anforderungen werden schrittweise angehoben, wodurch sich die Nachfrage nach alternativen Antrieben verstärkt. Eine effiziente Wahl möglicher Technologien erfordert die Kenntnis ihrer Potenziale und Limitierungen.



## Einleitung

Der grundsätzliche Lösungsansatz, um direkte Treibhausgasemissionen zu reduzieren und weiteren wichtigen Aspekten wie Lärmschutz, Ergonomie, Kosteneffizienz und regulatorischen Anforderungen gerecht zu werden, ist die Elektrifizierung des Antriebsstranges, da elektrische Antriebe effizienter, leiser und auch besser regelbar sind als konventionelle Systeme.

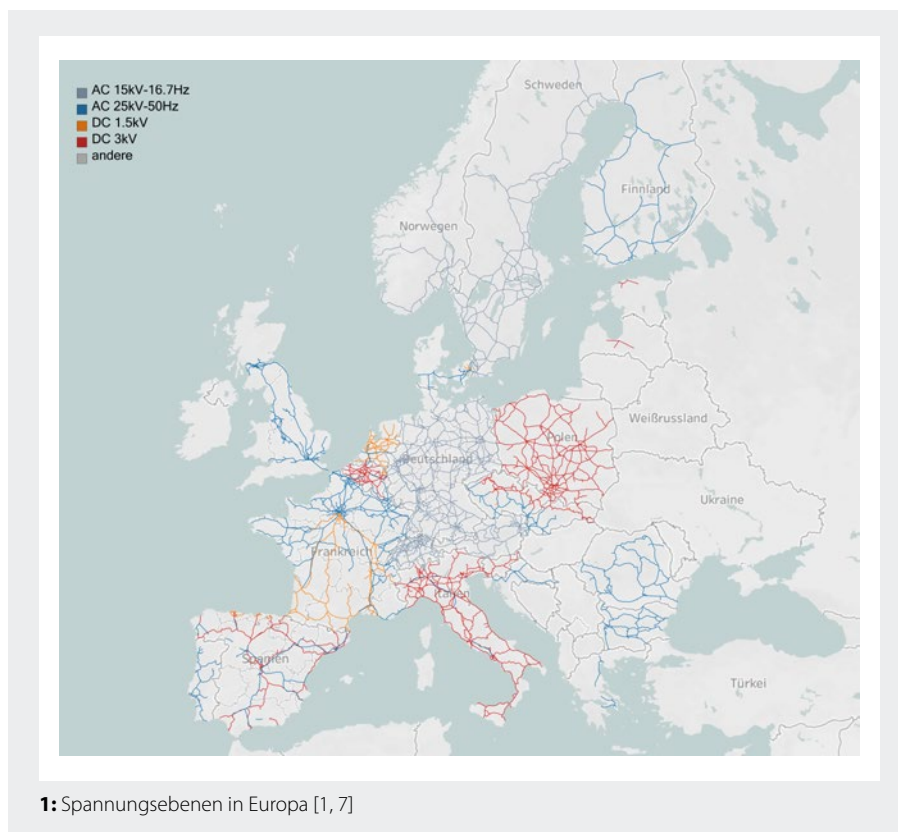
Der Wechsel von einem dieselhydraulischen auf einen dieselektrischen Antrieb verringert bei einer modernen Universalstopmaschine durch die optimierte Regelung und den effizienteren Einsatz einzelner Teilsysteme den Kraftstoffverbrauch um etwa 15%. Wird ein Retrofit älterer Motoren durchgeführt, kann die Einsparung bis zu 30% betragen.

Ein Blick auf den Elektrifizierungsgrad der Schienennetze in verschiedenen Welt-



### Dipl.-Ing. Georg Folie

Produktmanagement für alternative Antriebe und Ökologisierung  
Plasser & Theurer, Export von Bahnbaumaschinen, Gesellschaft m.b.H.  
georg.folie@plassertheurer.com

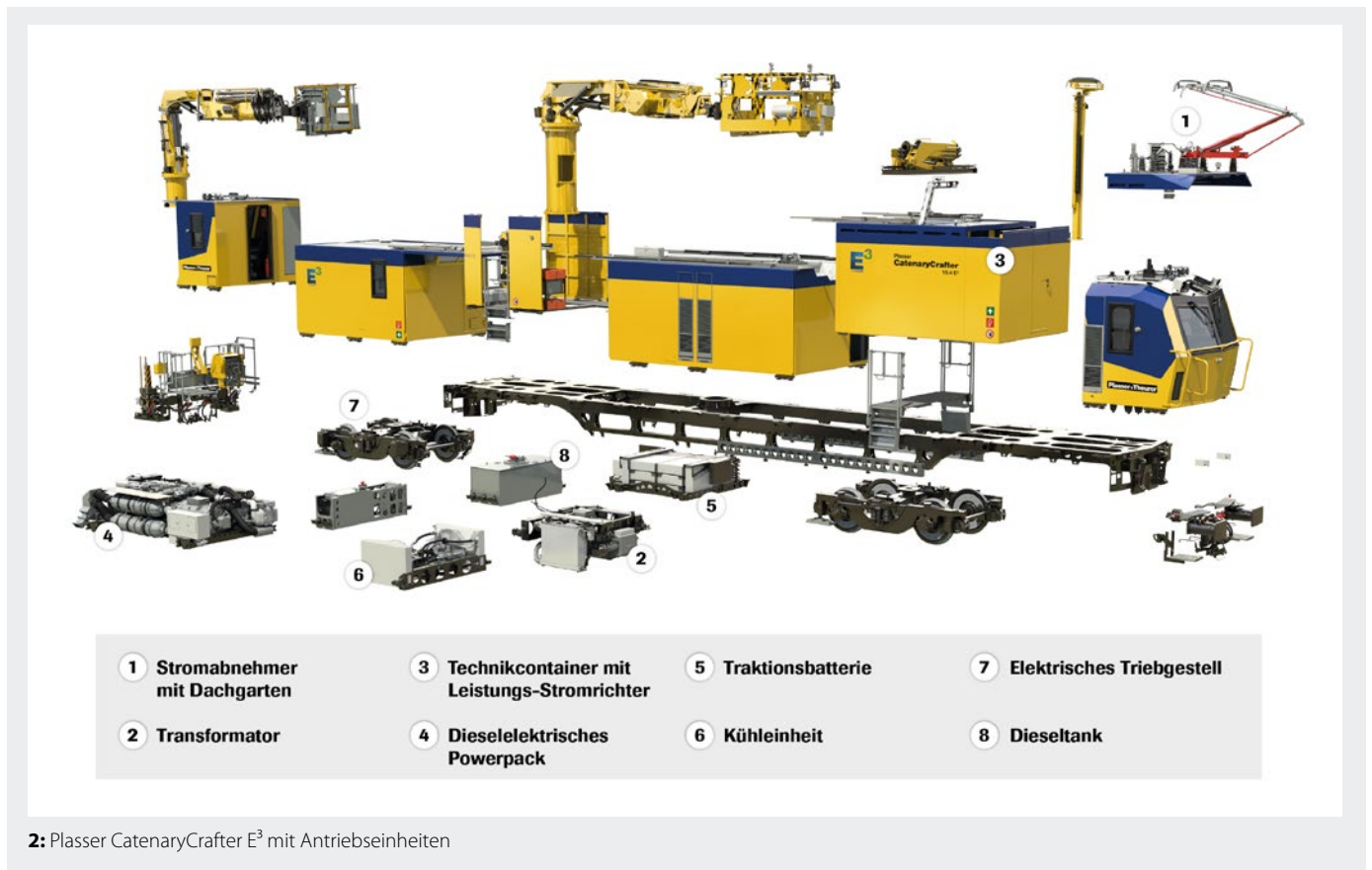


regionen zeigt, dass der alleinige Einsatz der Oberleitung, unabhängig vom Zweck und anderen Restriktionen, gewisse Grenzen aufweist. Dies unterstreicht folgende Auflistung:

- Indien 85 %
- Europa 56 %
- Deutschland 55 % (18.000 km nicht elektrifiziert)
- USA 0,92 % (218.000 km nicht elektrifiziert) [9, 10].

Die Elektrifizierung ist in den einzelnen Regionen und Ländern unterschiedlich stark vorangeschritten – ihre Spannweite reicht praktisch von 0 bis 100%.

Um die klimapolitischen Ziele und Vorgaben für die kommenden Dekaden (Stichwort „Net Zero“) zu erreichen, sind unterschiedliche Systeme und Technologien unerlässlich. Diese sollten zeitlich gestaffelt eingesetzt werden, damit bei möglichst geringem Risiko ein optimales Kosten-Nutzen-Verhältnis erreicht werden kann.



## Technologieüberblick

Alle im Folgenden dargestellten Technologien sind sinnvoll mit der E<sup>3</sup>-Technologie umzusetzen. Eine Ausnahme bildet der Einsatz von synthetischen Kraftstoffen (sogenannten Synfuels) im Bereich „Retrofit“. Der E<sup>3</sup>-Technologiebaukasten von Plasser & Theurer erhöht den Wirkungsgrad unabhängig von der eingesetzten Primärenergie und ist somit ein Gewinn – sowohl für den Betreiber als auch für die Umwelt. Das Unternehmen hat bereits vor Jahren dieses Potenzial erkannt und konsequent in die Entwicklung umweltfreundlicher Systeme investiert, weshalb bereits jetzt ein breites Spektrum an Maschinen auf Basis einer elektrischen Plattform zur Verfügung steht. Aktuell werden vollelektrische Plattformen für ganze Maschinenfamilien gebildet, womit ein starkes Zeichen in Richtung Ökologisierung gesetzt wird.

## Oberleitung

Der Einsatz der Oberleitung als Energiequelle bei Gleisbau und Gleisinstandhaltung ist aus technischer Sicht erstrebenswert. Es handelt sich um die effizienteste

und kostengünstigste Bereitstellung von Energie („Power on Demand“). Diese muss nicht vor Ort gespeichert werden, was für die Maschine Gewichtsreduktion und Platzgewinn (Vermeidung von Dieseltank, Motor und Abgassystem etc.) mit sich bringt. Lokale Abgasemissionen werden vermieden und die Lärmbelastung verringert.

Dennoch sind beim Einsatz einer Oberleitung als Energiequelle folgende Randbedingungen und Grenzen zu beachten:

- Schienenstrecken weisen teilweise einen niedrigen Elektrifizierungsgrad auf.
- Neubaustrecken haben in der Bauphase noch keine Oberleitung.
- Bei bestimmten Arbeiten (z.B. an der Oberleitung, bei einem Bagger im Baugleis) muss die Oberleitung aus Sicherheitsgründen stromlos geschaltet sein.
- Zu beachten sind auch Redundanz und Verfügbarkeit (Erreichbarkeit der Baustelle bei Schäden an der Oberleitung, z.B. durch ein Naturereignis).

Die Energieverfügbarkeit ist im Gleisbau hochrelevant. Der Ausfall der Versorgung führt schnell zu hohen direkten und indirekten Kosten. Aufgrund der genannten

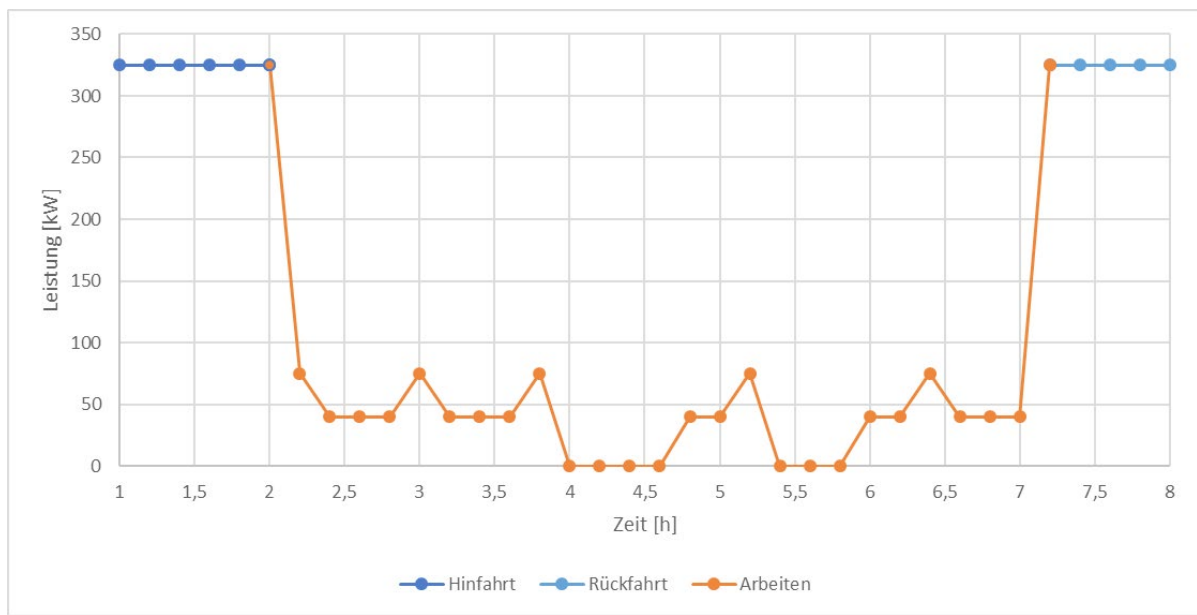
Einschränkungen ist der Einsatz einer Oberleitung als einzige Energiequelle nicht geeignet.

Im Zuge der Internationalisierung sind Maschinenbetreiber daran interessiert, in verschiedenen Ländern arbeiten zu können, was mit einem klassischen Dieselantriebssystem möglich ist. Bei der Nutzung einer Oberleitung spielt die zusätzliche Komplexität der unterschiedlichen Spannungsversorgungen (Bild 1) und die damit einhergehende aufwendige Mehrländerzulassung eine wichtige Rolle. Der Einsatzort von Gleisbau- und Gleisinstandhaltungsmaschinen ist somit auf Strecken mit geeigneten Spannungsnetzen begrenzt. Durch Dualspannungssysteme auf den Maschinen kann hier bis zu einem gewissen Grad entgegengewirkt werden.

## Synthetische Kraftstoffe

Kraftstoffe, die synthetisch hergestellt werden und nicht aus fossilem Ursprung stammen (z.B. hydrierte Pflanzenöle, xTL-Kraftstoffe bzw. E-Fuels), werden auch als „Synfuels“ bezeichnet.

Ein solcher synthetischer Kraftstoff ist das hydrierte Pflanzenöl (kurz HVO, für „Hy-



3: Typisches Lastprofil eines Plasser CatenaryCrafter E³ pro Schicht

dro-treated Vegetable Oil“), ein Biokraftstoff der zweiten Generation, der durch die EN 15940 spezifiziert ist. HVO weist ähnliche Eigenschaften wie Diesel auf. Im Vergleich dazu ist jedoch ein CO<sub>2</sub>-Reduktionspotenzial von 75 bis 95% [6] realisierbar, wobei die rechtliche Anerkennung der CO<sub>2</sub>-Reduktion länderspezifisch abweicht.

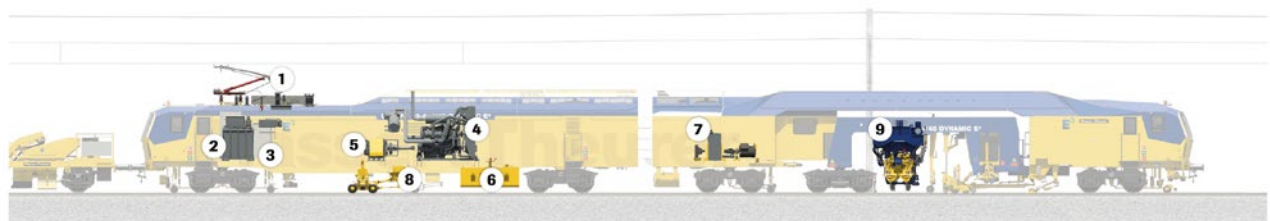
Ein Vorteil dieses Treibstoffes besteht in der Möglichkeit, die Bestandsflotte weiter zu betreiben, ohne aufwendige Umbaumaßnahmen durchführen zu müssen und trotzdem ein hohes Einsparpotenzial zu realisieren. Weitere positive Eigenschaften:

- keine Degradierung des Treibstoffes über die Zeit wie bei Diesel
- keine Winter-Sommer-Umstellung nötig
- reduzierter Verbrauch der Harnstofflösung AdBlue [4]

Aktuell werden in Europa ca. 5,1 Mt HVO produziert; bis 2025 wird eine Verdoppelung erwartet [8]. Im Vergleich werden in der EU ca. 240 Mt Diesel [2] verbraucht. Eine Verknappung der Verfügbarkeit dieses Treibstoffes ist bei großflächigem Umstieg vieler Verbraucher auf 100% HVO zu erwarten.

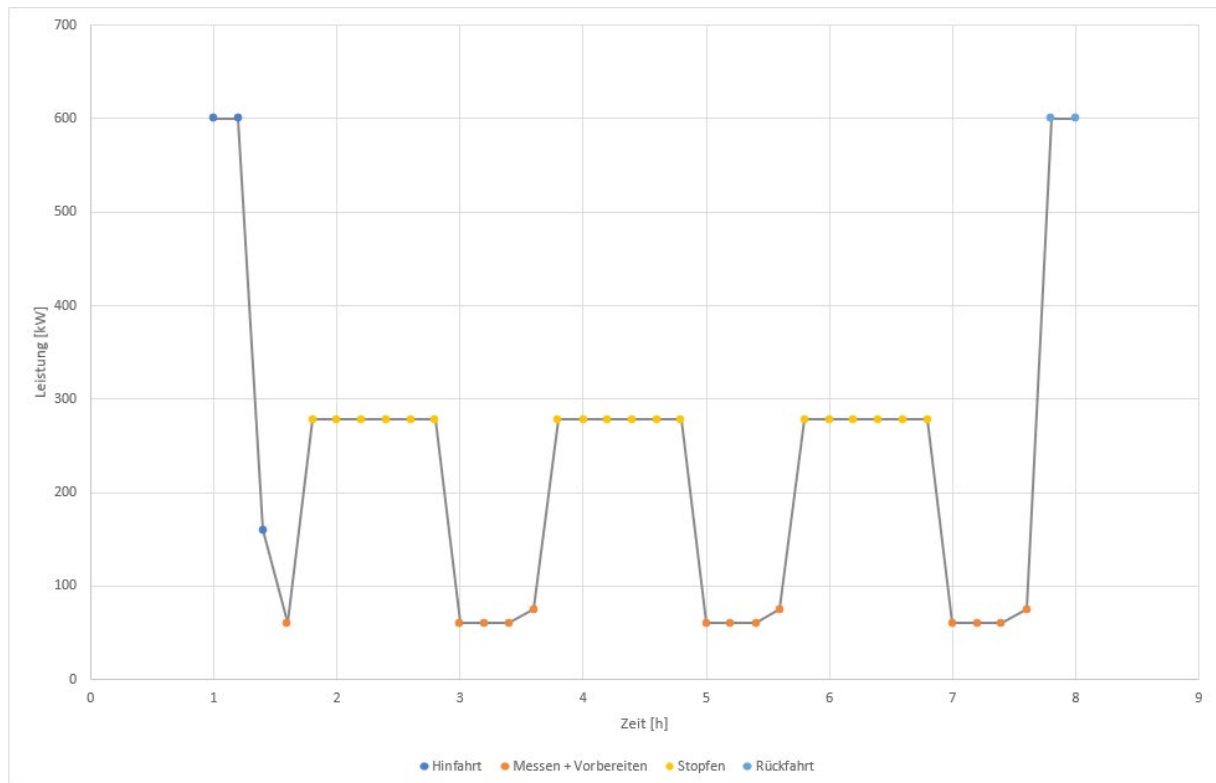
### Energiequelle Wasserstoff (H<sub>2</sub>)

Wasserstoff bietet grundsätzlich die Möglichkeit, CO<sub>2</sub>-neutrale Antriebsenergie bereitzustellen. Bei der Umsetzung in elektrische Energie (Brennstoffzelle oder Motor) entstehen keine lokalen Belastungen wie CO<sub>2</sub> oder Feinstaub. H<sub>2</sub>-Systeme bieten eine günstige gravimetrische Energiedichte auf Systemebene. Dies hat Vorteile für energieintensive Arbeiten wie etwa die Durcharbeitung oder Neulage des Gleisbettes. Anzumerken ist, dass derzeit der überwiegende Teil des pro-



- |                 |                    |                                 |
|-----------------|--------------------|---------------------------------|
| 1 Stromabnehmer | 4 Dieselmotor      | 7 Hydraulisches Powerpack       |
| 2 Transformator | 5 Generatoreinheit | 8 Dynamischer Gleisstabilisator |
| 3 Stromrichter  | 6 Dieseltank       | 9 Stopfaggregat                 |

4: Antriebseinheiten einer ökologischen Universalstopmaschine



5: Lastzyklus einer Unimat 09-4x4/4S Dynamic E<sup>3</sup> pro Schicht

duzierten Wasserstoffs nicht klimaneutraler, „grauer“ Wasserstoff ist und nur ein sehr geringer Teil davon kohlenstoffarm, „grün“ produziert wird.

Die aktuellen Herausforderungen dieser Technologie sind vielfältig:

- Notwendigkeit einer signifikanten Steigerung des kohlenstoffarm produzierten H<sub>2</sub>
- relativ hohe Umwandlungsverluste „Well2Wheel“ (etwa 60 bis 80 %)
- Lebensdauer der Brennstoffzellen
- volumetrische Energiedichte
- hohe Anschaffungskosten durch geringe Marktreife verschiedener Komponenten im System
- hohe Sicherheitsanforderungen (Safety)
- regulatorische und normative Risiken (Sind z. B. Arbeiten im Tunnel erlaubt?)
- Notwendigkeit des Aufbaus einer Tankstelleninfrastruktur für den Bahnbetrieb

Darüber hinaus erfordert ein H<sub>2</sub>-Antrieb mit Brennstoffzelle immer auch den Einsatz einer zweiten Energiequelle, um Leistungsspitzen abdecken zu können und das System nicht überdimensionieren zu müssen.

### Batteriespeicher (Akku)

Batteriespeicher, auch Akkumulatoren genannt, sind Stand der Technik in vielen stationären sowie mobilen Anwendungsbereichen.

Batteriespeicher bieten einige Vorteile:

- sehr hohe Wirkungsgrade bei Energieumwandlung (> 90 %)
- schnelle Reaktionsfähigkeit auf Lastwechsel
- Rückgewinnung von Bremsenergie (Rekuperation)

Im Vergleich zu herkömmlichen Kraftstoffen bringen Batteriespeicher auch einige Nachteile mit sich:

- Die geringe Energiedichte (etwa 0,2 kWh/kg) im Vergleich zu Diesel (11,8 kWh/kg) kann rasch zu einem Überschreiten der geforderten Achslasten führen.
- Die Zyklfestigkeit ist bei Maschinen mit einer Nutzungsdauer von über 20 Jahren eine Herausforderung. Diese liegt derzeit – je nach Batterietyp (NMC

oder LTO) – in einem Bereich zwischen 3500 und 20.000 Ladezyklen.

- relativ hohe Temperaturabhängigkeit
- hohe Kosten

### Einsatzbereiche

In verschiedenen Einsatzbereichen im und um den Gleisbau entstehen unterschiedliche Leistungs- und Energieanforderungen an den Antriebsstrang. Um die beschriebenen Technologien auf Gleisbaumaschinen optimal kombinieren und nutzen zu können, ist eine Leistungskategorisierung anhand des mittleren Leistungsbedarfs sinnvoll:

- Leistungsbedarf „klein“ < 300 kW
- Leistungsbedarf „mittel“ 300 < x < 600 kW
- Leistungsbedarf „groß“ > 600 kW

Im Folgenden wird für jeden Leistungsbedarf eine beispielhafte Anwendung diskutiert.

### Plasser CatenaryCrafter E<sup>3</sup>

Ein Plasser CatenaryCrafter E<sup>3</sup> (Bild 2) kann beim Fahren zum Einsatzort und retour

|              |               | Leistungsbereich                  |   |  |
|--------------|---------------|-----------------------------------|---|--|
|              |               | klein [< 300 kW]                  | mittel [300-600 kW]                           | groß [> 600 kW]  |
| Zeithorizont | kurzfristig   | Hybrid (Oberleitung/Batterie/HVO) | Hybrid (Oberleitung/Batterie/HVO)             | Gleisgebundenes Arbeiten, HVO  |
|              | mittelfristig | Hybrid (Oberleitung/Batterie)     | Hybrid (Oberleitung/Batterie/H <sub>2</sub> ) | Gleisgebundenes Arbeiten, E <sup>3</sup> -Technologie, Synfuels                  |
|              | langfristig   | Batterie                          | Hybrid (Oberleitung/Batterie/H <sub>2</sub> ) | Gleisgebundenes Arbeiten, E <sup>3</sup> -Technologie, H <sub>2</sub> , Synfuels |

Tabelle 1: Technologieauswahl

rund 1 MW Spitzenleistung aufbringen; bei typischen Arbeiten, wie z.B. beim Arbeiten an der Oberleitung mit Eisenbahnkran oder Hubarbeitsbühne, werden jedoch nur rund 50 kW benötigt. Ein typisches Lastprofil dieses Fahrzeuges ist in Bild 3 ersichtlich.

In diesem Anwendungsfall ist eine Kombination aus Oberleitung und Akku ideal, zusammen mit einem HVO-Motor als Backup. Die Oberleitung kann für die benötigten Leistungen bei den Überstellfahrten verwendet werden, der Akku für die moderaten Anforderungen während der Arbeit. Die benötigte Energie für eine gesamte Arbeitsschicht wird durch die Akkupacks sinnvoll bereitgestellt. Die Akkus können während der Hin- und Rückfahrt über die Oberleitung bzw. durch Rekuperation geladen werden.

**Unimat 09-4x4/4S Dynamic E<sup>3</sup>**

Stopfmaschinen wie der Unimat 09-4x4/4S Dynamic E<sup>3</sup> weisen im Vergleich zum Plasser CatenaryCrafter E<sup>3</sup> im Arbeitsmodus einen höheren Leistungs- und Energiebedarf auf. Der Lastzyklus einer typischen Arbeitsfahrt im Baustellenbetrieb ist in Bild 5 dargestellt.

Pro Schicht kann beim Einsatz einer Stopfmaschine mehr als 1 MWh Energie benötigt werden. Es ist daher vorteilhaft, die Oberleitung zu verwenden. Sollte keine vorhanden sein oder diese aus regulatorischen Gründen nicht benützt werden dürfen, können Synfuel-Antriebe eingesetzt werden. Kurzfristige Lösungen sind HVO oder Methanol, mittel- bis langfristig bieten sich batterieelektrische oder H<sub>2</sub>-Antriebskonzepte an. Schnelle Lastwechsel (im Diagramm nicht dargestellt) erhöhen die Anforderungen an das System zusätzlich.

Der Trend bei Gleisinstandhaltung geht europaweit in Richtung immer kürzerer Sperrpausen von zwei bis drei Stunden. Diese Arbeitsschichten können zukünftig mit Batterien als Sekundärenergiequelle abgedeckt werden, während bei Überstellfahrten die Energieversorgung über die Oberleitung erfolgt. Bei der Entscheidung über die Verwendung eines batterieelektrischen Systems ist zu berücksichtigen, dass dieses auf eine bestimmte Region und deren spezifische Gegebenheiten ausgelegt ist. Ein solches System kann nur bedingt in einem anderen Gebiet eingesetzt oder dorthin weiterverkauft werden.

**Gleisneubau und Gleisumbau, Bettungsreinigung, Planumssanierung, Materiallogistik**

Bei Schotterbetteinigung, Planumsverbesserung oder Streckenneubau ist entweder gar keine Oberleitung vorhanden oder diese kann nicht verwendet werden. Die benötigte mittlere Leistung und Energie während einer Arbeitsschicht ist sehr hoch (> 600 kW), bei Spitzenleistungen sind es bis zu 2 MW. Werden diese Arbeiten gleisgebunden durchgeführt, ist dies ein großer Schritt in Richtung CO<sub>2</sub>-Vermeidung. So ist eine 30%ige Reduktion des ökologischen Fußabdruckes im Vergleich zu einem konventionellen, nicht gleisgebundenen Umbau erzielbar [3].

In all diesen Bereichen bietet Plasser & Theurer bereits jetzt vorteilhafte Lösungen wie den Plasser ScreenLiner, den Plasser FormationLiner und den Plasser AssemblyLiner an.

Aufgrund des hohen Energiebedarfs und der zusätzlichen Randbedingungen, wie z.B. bei fehlender Oberleitung oder einer nicht sichergestellten Ladeinfrastruktur

im Megawatt-Bereich, ist es zielführend, primär auf eine flüssige (HVO, Synfuels) oder gasförmige (H<sub>2</sub>) Energiebereitstellung zu setzen. Zusätzliche Anforderungen wie das Einhalten von Achslasten für C2-Strecken (< 20 t) benötigen eine Energiequelle mit hoher Energiedichte und schließen Akkus als Hauptenergiequelle faktisch aus. Sie können jedoch zum Abdecken von Verbrauchsspitzen oder für Nebenaggregate eingesetzt werden.

Bei Nutzung von Wasserstoff sind sowohl Brennstoffzellen (BZ) als auch Verbrennungsmotoren denkbar. Hier würde reines Fokussieren auf höhere Effizienz der BZ der Komplexität und der Optimierung des Gesamtsystems nicht gerecht.

Unabhängig davon kann durch die E<sup>3</sup>-Technologie von Plasser & Theurer, ähnlich wie bereits erwähnt, zukünftig auch in diesem Bereich weiteres Potenzial für Ökologisierung ausgeschöpft werden. Der vermehrte Einsatz elektrifizierter rotatorischer Subsysteme (z.B. Vortrieb, Siebe, Brecher, Förderbänder) innerhalb der Maschine reduziert den Primärenergiebedarf auf ein Minimum und bietet gleichzeitig die geforderte Robustheit und Zuverlässigkeit im Baustelleneinsatz. Der modulare Aufbau ermöglicht sowohl eine kosteneffiziente als auch ökologisch sinnvolle Ausgestaltung des Antriebsstranges.

Durch die Elektrifizierung lassen sich darüber hinaus erhebliche Mengen an Hydrauliköl einsparen. Lange Leitungen können entfallen oder stark verkürzt werden, da die elektrohydraulische Energiewandlung am Einsatzort erfolgen kann.

**Auswahlkriterien**

Wie dargestellt, ist die Auswahl der geeigneten Technologien abhängig vom Ein-

satzzweck und dessen Leistungsbedarf. Zusätzlich müssen der zeitliche Aspekt der Marktreife, gesetzliche Anforderungen und zu erwartende technische und kommerzielle Optimierungen der einzelnen Systeme mitberücksichtigt werden. In Tabelle 1 werden Lösungen für all diese Faktoren zusammengefasst.

### Zusammenfassung

In diesem Überblick über alternative Antriebstechnologien werden Vorteile und Nachteile aufgezeigt und für unterschiedliche Bereiche des Gleisbaus eingeordnet. Das Ziel der Dekarbonisierung wird durch maßgeschneiderte Lösungen je nach Leistungsbereich erreicht. Strenger werdende ökologische und gesetzliche Anforderungen eröffnen ein breites Feld für die wirtschaftlichen Vorteile gleisgebundener Arbeiten. Mittels E<sup>3</sup>-Technologie werden diese Aspekte berücksichtigt und zukunftssicher ausgestaltet. ●

### Literatur

- [1] ERA. (24 05 2023). European Union Agency for Railways, Register of Infrastructure. Von <https://rinf.era.europa.eu/rinf/> abgerufen.
- [2] eurostat. (03 04 2023). eurostat. Von [https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20220407-1#:~:text=In%20terms%20of%20gas%20and,2019%20levels%20\(%2D6%25\)](https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20220407-1#:~:text=In%20terms%20of%20gas%20and,2019%20levels%20(%2D6%25)) abgerufen.
- [3] Klügel. (04 2015). EI - Der Eisenbahningenieur, S. 20-25.
- [4] Liebherr. (03 04 2023). Liebherr. Von <https://www.liebherr.com/de/aut/produkte/loesungen/hvo-bei-liebherr/hvo-bei-liebherr.html> abgerufen.
- [5] Mobility, H. (03 04 2023). Wasserstoffbetankung von Schwerlastfahrzeugen - die Optionen im Überblick. Von Wasserstoffbetankung von Schwerlastfahrzeugen-die Optionen im Überblick: [https://h2-mobility.de/wp-content/uploads/sites/2/2021/10/H2M\\_Ueberblick\\_BetankungsoptionenLNFSNF\\_TankRast\\_2021-10-21.pdf](https://h2-mobility.de/wp-content/uploads/sites/2/2021/10/H2M_Ueberblick_BetankungsoptionenLNFSNF_TankRast_2021-10-21.pdf) abgerufen.
- [6] Neste. (03 04 2023). Neste.com. Von <https://www.neste.com/releases-and-news/renewable-solutions/neste-welcomes-german-governments-plan-approve-sales-100-synthetic-fuels-germany-important-step> abgerufen.
- [7] OpenStreetMap. (24 05 2023). OpenStreetMap. Von [OSM: https://www.openstreetmap.org/copyright](https://www.openstreetmap.org/copyright) abgerufen.
- [8] Rangaraju, S. (2021). 10 years of EU fuels policy increased. Transport & Environment.

[9] Schiene, A. p. (03 04 2023). Allianz pro Schiene. Von [Allianz pro Schiene: https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/infrastruktur/elektrifizierungsbahn/](https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/infrastruktur/elektrifizierungsbahn/) abgerufen.

[10] Wiki. (30 03 2023). Countries. Von [List of countries by rail transport network size: https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_countries\\_by\\_rail\\_transport\\_network\\_size](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_rail_transport_network_size) abgerufen.

### Summary

#### Potentials and limits of alternative drives in track construction

In this overview on alternative drive technologies, advantages and disadvantages are shown and classified for the different sectors in track construction. The aim of decarbonization will be achieved by customized solutions depending to the scope of service. Stricter ecological and legal requirements are opening up a broad field for the economic advantages of track-related work. By using E<sup>3</sup>-technology, these aspects are taken into account and are designed to be future-proof.