

Nachhaltige Antriebe für Oberbaumaschinen

Alternative Energieversorgung und CO₂-Reduktion bei Neu- und Bestandsmaschinen

BERNHARD LICHTBERGER

Der Klimawandel stellt eine Bedrohung des Lebens auf der Erde dar. Die EU beschloss eine Senkung der CO₂-Emission um 55 % bis 2030 und CO₂-Neutralität bis 2050. Mit 14 % Anteil an den weltweiten Treibhausgasemissionen ist der Verkehr einer der Hauptverursacher. Die Bahn antwortet mit alternativen nachhaltigen Antrieben. Dazu zählen die drei Antriebstechnologien Brennstoffzellen-Batterie-Hybrid, Diesel-Batterie-Hybrid und Oberleitungs-Batterie-Hybrid sowie Mischformen. Die Zukunft alternativer Antriebe bei Oberbaumaschinen liegt schwerpunktmäßig zukünftig bei reinen Wasserstoffantrieben. Da „grüner“ Wasserstoff und Tankmöglichkeiten noch nicht ausreichend zur Verfügung stehen, bieten sich aktuell Dual-Antriebsausführungen an. Die Versorgung wird über Oberleitung oder Dieselpowerpack bereitgestellt.

Die Notwendigkeit alternativer Antriebe zur Dieseltraktion

14 % der weltweiten Treibhausgasemissionen entspringen dem Verkehr durch Verbrennung erdölbasierter Kraftstoffe, hauptsächlich Benzin und Diesel [2]. Der Individualverkehr liefert den größten Beitrag an CO₂, gefolgt vom Schwerlastverkehr auf der Straße. Die Eisenbahn ist das umweltfreundlichste Verkehrsmittel und weist die beste CO₂-Bilanz auf. Pkw sind für 3,6 Gt CO₂, Lkw für 2,4 Gt CO₂ und die Eisenbahn für nur 0,1 Gt CO₂ verantwortlich. Der europäische Rat hat als Klimaziel eine globale Senkung der Treibhausgase um 55 % bis 2030 bezogen auf 1990 beschlossen. Erstmals vereinbarte die EU ein erhebliches Budget für Maßnahmen zum Klimaschutz. Darauf einigten sich Mitte Dezember 2020 die EU-Staats- und Regierungschefs. 2050 soll die EU klimaneutral werden – das ist der europäische Umweltvertrag (European Green Deal). Dies bedeutet eine jährliche Reduktion der Gesamtemissionen um 6 %. Der European Green Deal ist die Antwort der EU im Kampf um die Gesundheit des gefährdeten Planeten. Ab 2021 sind für den Green Deal 100 Mrd. EUR jährlich vorgesehen. Zur Relativierung: 2017 investierte Europa 244 Mrd. EUR als Subventionen in fossile Brennstoffe [3]. Bis 2050, so die EU, soll ein Großteil der Fahrten mittlerer Entfernung

mit der Bahn erfolgen. Im Jahr 2030 sollen 30 % der Güterbeförderung über eine Strecke von mehr als 300 km von der Straße auf die Schiene oder das Schiff verlagert werden [1]. Aus aktueller Sicht ergeben die Hochrechnungen der Wissenschaftler, dass das 1,5-Grad-Ziel von Paris deutlich verfehlt werden wird. Es gibt keinen Grund, optimistisch zu sein.

Randbedingungen des Bahnbetriebes

Die Bahn fährt, dort wo sie elektrisch fährt, bereits nachhaltig und umweltschonend. Voraussetzung dafür: fossilfreie Erzeugung elektrischer Energie.

Die vorhandenen verschiedenartigen in Europa üblichen Bahnstromsysteme verhindern kostengünstige und universelle alternative elektrische Antriebe. 60 % des europäischen Netzwerkes sind elektrifiziert, und auf diesen Strecken werden 80 % des Verkehrs abgewickelt. Abb. 1 gibt einen Überblick über die prozentualen Anteile elektrifizierter Strecken in Europa. Nur in ganz wenigen Ländern Europas liegt der Elektrifizierungsanteil über 70 %. Obwohl die Elektrifizierung der Bahnsysteme voranschreitet, ist nicht anzunehmen, dass alle

Strecken elektrifiziert werden. Selbst unter der Annahme, dass vorwiegend die Hauptstrecken elektrifiziert sind und intensiver instandgehalten werden als die übrigen Strecken, wird immer noch ein erheblicher Anteil an Bahnbauarbeiten in nicht elektrifizierten Gleisen stattfinden und benötigt daher eine ergänzende Energiequelle.

Charakteristischer konventioneller Dieselantrieb einer Oberbaumaschine

Die Energieversorgung von Oberbaumaschinen erfolgt derzeit hauptsächlich durch Dieselmotoren. Sie weisen einen geringen Wirkungsgrad (ca. 60 %) auf, schlechtere Performance sowie begrenzte Lebensdauer. Verbrannt werden fossile Brennstoffe, wobei Lärm, Feinstaub, CO₂ und NOx-Gase erzeugt werden. Vorteilhaft sind die niedrigen Anschaffungskosten, die Robustheit einer bewährten Technologie, die lange Betriebszeit über getankten Treibstoff. Die Einsatzdauer ist im Wesentlichen von der Tankgröße abhängig. Diesel weist die hohe Energiedichte von 11,9 kWh/kg auf. Die Leistung der eingesetzten Dieselmotoren bei Oberbauma-

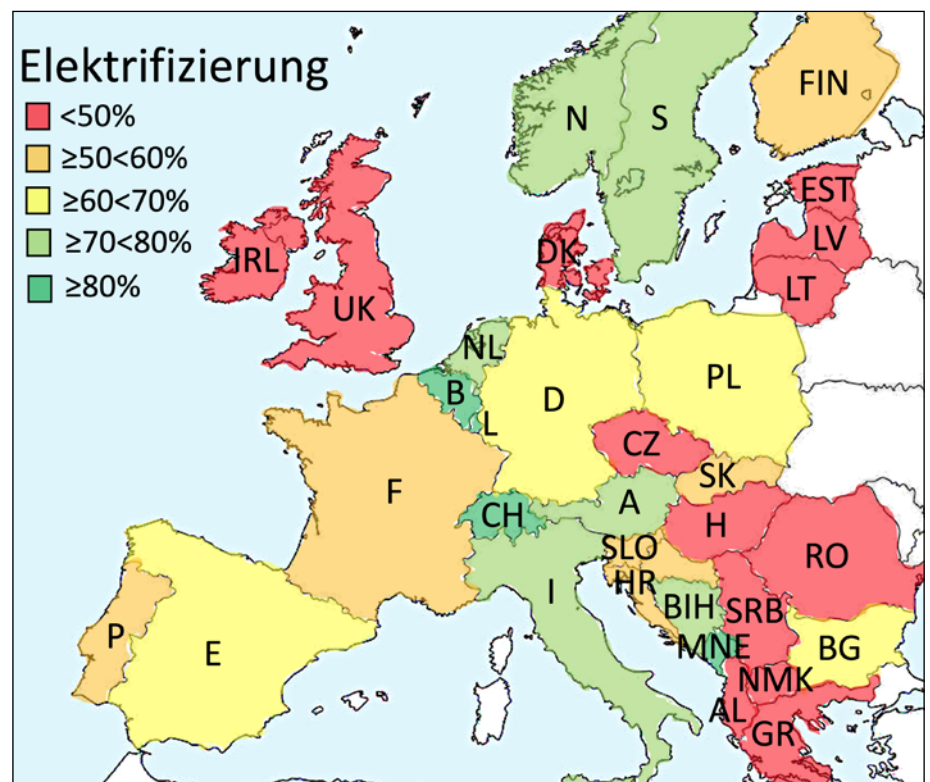


Abb. 1: Prozentualer Anteil der Elektrifizierung vorhandener Strecken in Europa

Quelle: Autor

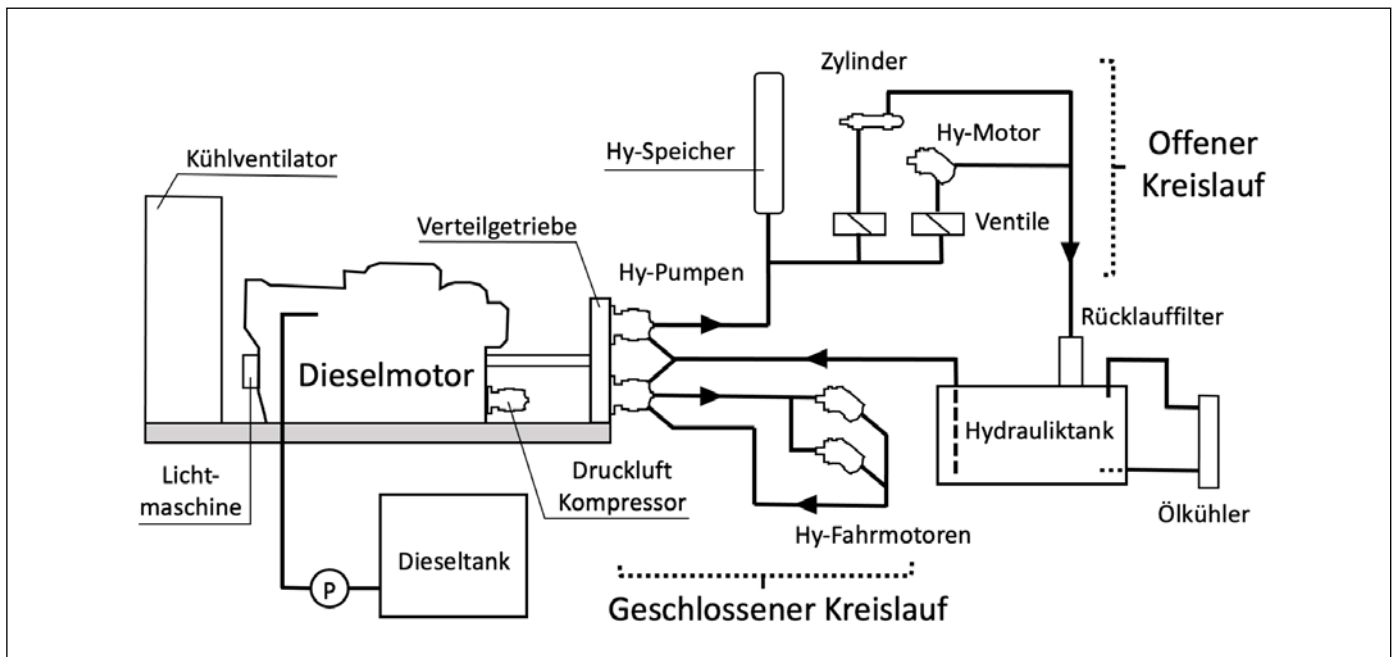


Abb. 2: Schematischer Antriebsstrang und hydraulische Arbeitskreisläufe einer Oberbaumaschine

Quelle: Autor nach [5]

schinen bewegt sich je nach Anforderung zwischen 300 und 600 kW. Dieselmotoren mit 400 bis 600 kW dienen vorrangig der Energieversorgung von Stopfmaschinen. Bei Großmaschinenzügen – wie Umbauzügen, Planumssanierungsmaschinen und Reinigungsmaschinen – kommen meist mehrere Dieselmotoren mit einer Gesamtleistung um 1000 kW zum Einsatz.

Der typische Antriebsstrang und die Energieversorgung einer Oberbaumaschine sieht schematisch wie in Abb. 2 aus. Der Dieselmotor wird über eine Kraftstoffpumpe mit Diesel versorgt. Zur Bordstromversorgung mit typisch 24 V DC Gleichstrom treibt er eine Lichtmaschine an. Ein Druckluftkompressor erzeugt die Druckluft für die Arbeitskreise und die Bremse. Eine Kardanwelle treibt ein Verteilgetriebe mit mehreren Hydraulikpumpen an. Meist werden in einem geschlossenen Hydraulikkreis Pumpen mit Antriebsmotoren für hydrostatische Antriebe betrieben. Die Arbeitswerkzeuge werden bei Oberbau-

maschinen über Hydraulikzylinder (Linearbewegungen) oder Hydraulikmotoren (Drehbewegungen) angetrieben.

Möglichkeiten alternativer Antriebe

Die angestrebte Mobilität mit null Treibhausgasemissionen ist durch elektrische Antriebe mit Batterien oder mit Brennstoffzellen und Wasserstoff möglich [7]. Abb. 3 zeigt verschiedene Fahrzeugkonzepte.

Abb. 4 zeigt die umweltrelevanten Prozesse und Komponenten für Öko-Wasserstoff/Brennstoffzellenfahrzeuge, Öko-Strom/Batterie-Fahrzeuge und Diesel/Verbrennungsmotor-Fahrzeuge. Dual-Mode-Fahrzeuge verfügen über zwei vollwertige Energieversorgungsmöglichkeiten, erstens Stromabnehmer und zweitens Diesel-Generator-Maschinensätze zur oberleitungsunabhängigen Versorgung. Die Tab.1 gibt einen Überblick über Vor- und Nachteile von derartigen Hybridantrieben.

Das Marktpotenzial für den deutschen Personennahverkehr bis 2038 für Hybridantriebe

wird mit 1800 bis 2500 Triebzügen angegeben [6]. Die wichtigsten Energiespeicher für Hybridantriebe sind [7]:

- Dieselkraftstoff – auslaufender fossiler Brennstoff
- Akkumulatoren – insbesondere Lithium-Ionen-Polymer Akkus (Zukünftiges Problem: begrenzte Ressourcen von Lithium)
- Supercaps – 100-fach höhere Leistungsdichte verglichen mit Akkus, Zyklenzahl ≥ 1000000 mit geringen klimatischen Anforderungen, Energiedichte 25 % derjenigen von Akkus
- Wasserstoff.

Brennstoffzellen / Batterie-Hybride

Reiner Brennstoffzellenantrieb ist aus Gründen der Belastbarkeit und der optimalen Betriebsbedingungen für Brennstoffzellen ungünstig. Circa ein Drittel der benötigten Leistung wird daher durch Batterien zur Pufferung von Lastschwankungen aufgebracht.

Wasserstoffbasierte Antriebe sind gekennzeichnet durch:

Vorteile	Nachteile
Geringere Energie- bzw. CO ₂ - und NO _x -Emissionen	Umweltbelastung durch die Akkuherstellung
Geringere Feinstaubbelastung	Erhöhung des Fahrzeuggewichts
Geringere Lärmentwicklung	Sicherheitsaspekte (Akku, Wasserstoffspeicher)
Lokale Emissionsfreiheit	Hohe Anschaffungskosten
Bei ökologischer Stromerzeugung künftig mögliche 100 %ige CO ₂ -Neutralität	Kurze Lebensdauer der Akkus
Reduzierte Instandhaltungs- und Betriebskosten von 20–40 %	Einrichtung von Ladestationen oder Wasserstofftankstellen
Unabhängigkeit von fossilen Brennstoffen	Bei Akkubetrieb nur kurze realisierbare Betriebszeiten der Oberbaumaschinen
Breiteres Einsatzspektrum der Fahrzeuge	
Hoher Wirkungsgrad	
Geringe Wärmeentwicklung, keine Abgasführung, keine Problematik der Wärmeabfuhr durch Elektromotoren	

Tab. 1: Vor- und Nachteile von Hybridantrieben bei Oberbaumaschinen

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für system7-railsupport GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

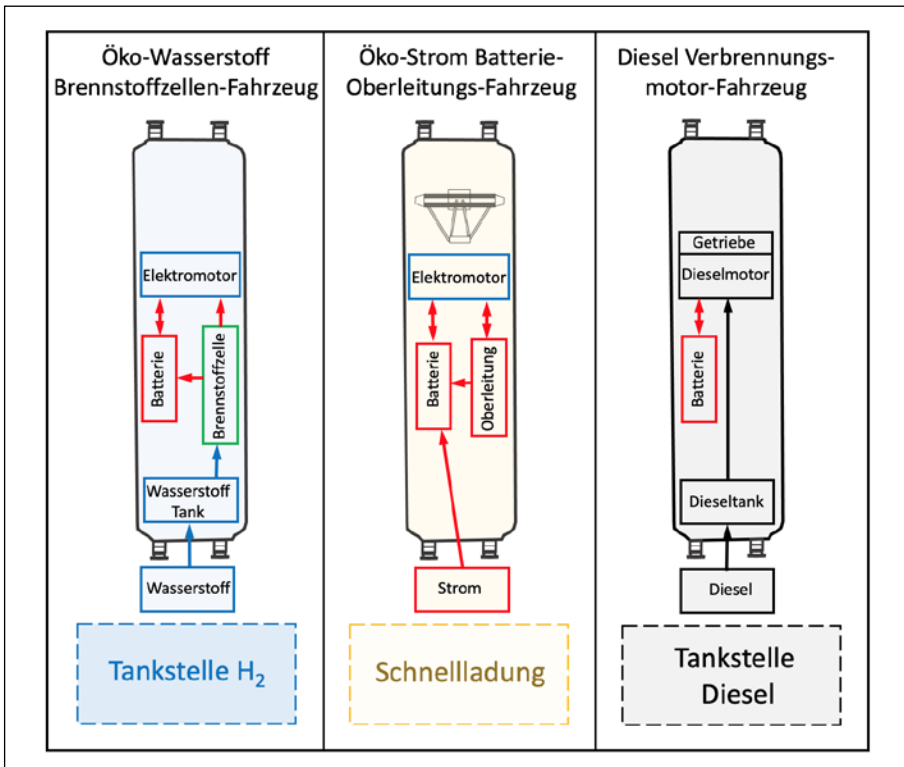


Abb. 3: Fahrzeugkonzepte im Vergleich

Quelle: Autor nach [8]

- hohe Leistungsfähigkeit bei gutem Wirkungsgrad
- Emissionsarmut
- Nachhaltigkeit und hohe Wirtschaftlichkeit
- praktisch unbeschränkt in der Reichweite
- schnelle Tankzeiten (vergleichbar mit Dieseltreibstoff)
- geringes Gewicht.

Brennstoffzellenantriebe sind in der Anschaffung teuer. Ab einem Preis des Wasserstoffs von 4,5 EUR/l (aktuell 2,8 - 6,2 EUR/l) ziehen die Gesamtbetriebskosten mit Dieselantrieben gleich [9]. Das Tanknetz im Bahnbereich und im automotiven Bereich ist erst im Aufbau begriffen. Wasserstoff wird derzeit zum Großteil

durch industrielle Prozesse gewonnen und erfüllt die hohen Erwartungen an die ökologisch saubere CO₂-freie Wirkung nicht. Neben der Verwendung von Wasserstoffmotoren, die wegen der Ansaugluft Stickoxide abgeben, kommt bei mit Wasserstoff angetriebenen Schienenfahrzeugen vorrangig die Brennstoffzelle zum Einsatz [10]. Allerdings könnte der Wasserstoff-Verbrennungsmotor trotz des geringeren Wirkungsgrades eine Lösung für den Übergang weg von fossilen Brennstoffen sein [11]. Mit den ersten auf dem Markt verfügbaren ausgereiften Wasserstoffmotoren wird allerdings nicht vor 2025 gerechnet.

Ökologisch vorteilhaft ist die Brennstoffzellentechnik nur, wenn sie mit Öko-Wasserstoff betrieben wird [10, 11]. Wie bei einem dieselegetriebenen Fahrzeug Diesel, wird bei einem wasserstoffgetriebenen Fahrzeug Wasserstoff getankt. Das Betanken mit Wasserstoff geht ähnlich schnell wie bei einem Dieselfahrzeug. Die Reichweite des Fahrzeuges ist von der Größe der verwendeten Druckspeicher abhängig. Die Energiedichte von Wasserstoff liegt bei 33,3 kWh/kg und damit dreimal so hoch wie beim Diesel. Die volumetrische Energiedichte von Batterie- und Brennstoffzellenfahrzeugen ist etwa gleich groß. Die gravimetrische Energiedichte von Batterieantrieben ist allerdings deutlich niedriger. Das bedeutet in etwa gleichen Raumbedarf bei deutlich höherem Gewicht des Batterieantriebes (Tab. 2). Die Reichweite wasserstoffbetriebener Fahrzeuge kann über die Wahl eines geeigneten Tankvolumens praktisch unbegrenzt ausgeführt werden.

Oberleitungs/ Batterie-Hybride

Batteriezüge sind Schienenfahrzeuge mit elektrischem Antrieb und Batteriespeicher. Diese werden während der Fahrt unter Fahrdraht, durch rückgespeiste Bremsenergie und/ oder in Ladestationen geladen. Während des Betriebs bleibt wenig Zeit, die Akkumulatoren aufzuladen [12]. Die Einrichtung der Ladestationen verlangt entsprechend hohe elektrische Ladeleistungen [13]. Man rechnet gegenüber Dieselfahrzeugen mit reduzierten Betriebs- und Instandhaltungskosten zwischen 20 und 40 %. Nachteilig sind die hohen Investitionskosten und die mangelnde Lebensdauer der Akkumulatoren. Für Bahnbaumaschinen wie Gleisstopfmaschinen mit einem Leistungsbedarf von typisch 300 bis 400 kW und mehreren Schichten hintereinander ist eine ausreichende Energieversorgung über Batterien unmöglich. Die Akkutechnik vorhandener Oberleitungsstandhaltungsmaschinen, die vergleichsweise

Bezeichnung	Technische Daten	
	Batterie- / Oberleitungsantrieb (Lithium-Ionen-Akkus)	Wasserstoffantrieb
Volumetrische Energiedichte	110 – 140 Wh/l	1300 Wh/l (bei 700 bar) 530 Wh/l (bei 200 bar)
Gravimetrische Energiedichte	130 Wh/kg	33300 Wh/kg
Reichweite	ca. 100 km für Batteriezüge	quasi unbegrenzt – speicherabhängig
Ladedauer / Tankdauer	Stunden	10 – 15 Minuten
Lebensdauer	10 000 Ladezyklen (entsprechen einer halben Revisionsperiode)(Ladung auf 60 % beschränkt)	15 000 – 20 000 Betriebsstunden (Arbeiten im Teillastbereich – Akkus zur Abdeckung von Spitzen)
Kosten	Lithium-Akkus kosten ca. 1000 EUR/kWh	Brennstoffzellen kosten ca. 1000 EUR/kWh
Haltbarkeit	Akkus Lebensdauer derzeit 7 – 8 Jahre	8 – 10 Jahre
Betriebsdaten	Typisches Batteriepack: 28 kWh, 662 V, max. Ladeleistung 45 A/30 kW Lebensdauer > 3000 Zyklen, Flüssigkühlung	Speicherung in Tanks bei 200 – 700 bar 25 – 55 l Behälter (Alu mit Kohlefaserummantelung)

Tab. 2: Gegenüberstellung technischer Daten verschiedener Antriebe

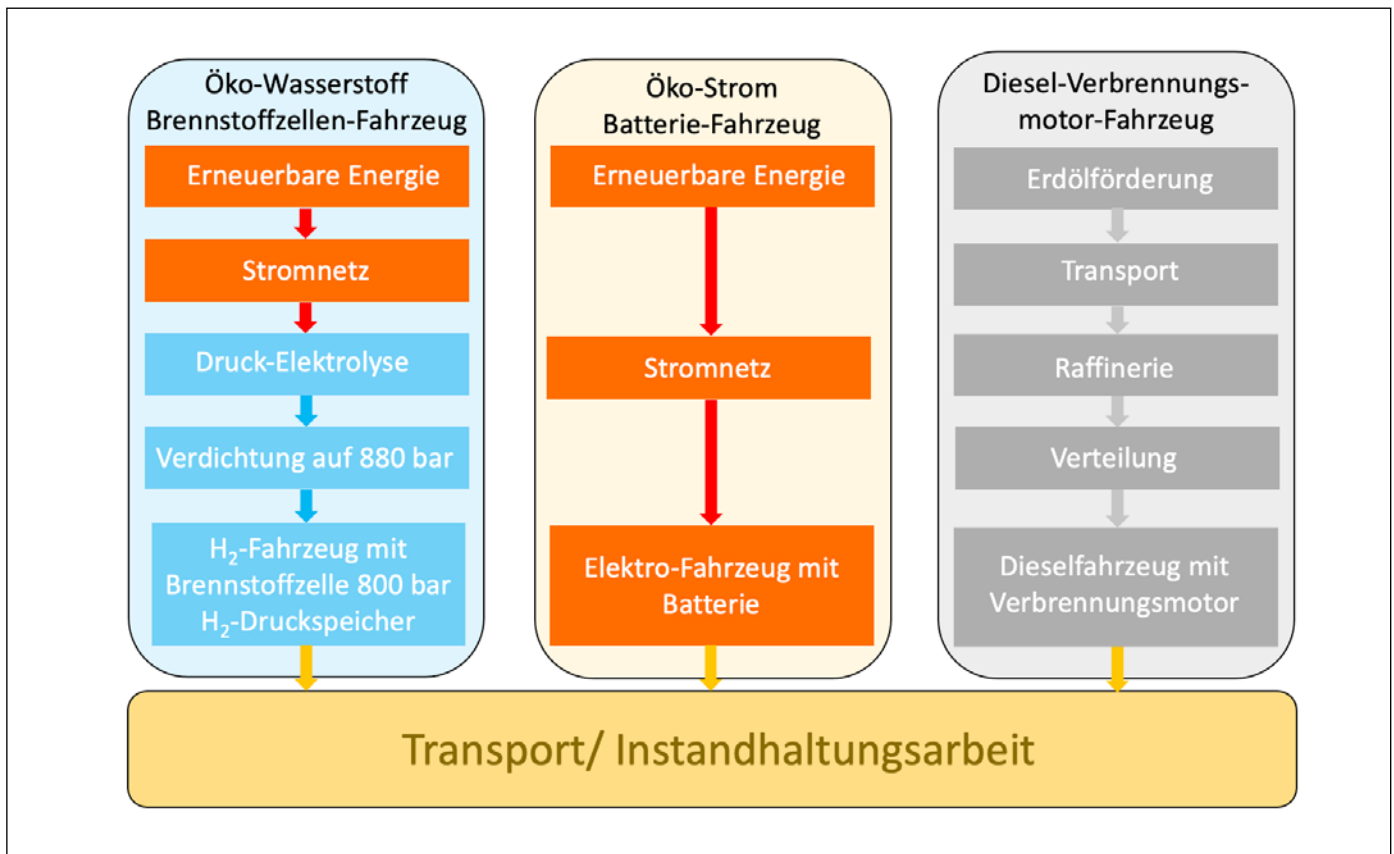


Abb. 4: Umweltrelevante Prozesse und Komponenten im Vergleich verschiedener Fahrzeugantriebsarten

Quelle: Autor nach [8]

wenig Leistung benötigen, ist für einen Betrieb von zwei Sechs-Stunden-Schichten ausgelegt. Dabei wird die Akkuleistung nicht zum Fahren genutzt, sondern nur für die Kranbewegungen und die Arbeitsvorfahrt.

Dual-Mode-Fahrzeuge

Im Bereich der Eisenbahn-Instandhaltungsfahrzeuge werden kombinierte Hybridantriebe eingesetzt [14]. Diese nutzen einen Dieselmotor als Antriebsquelle. Parallel dazu aufgebaut ist ein Oberleitungs-Batterie-System, das einen Elektromotor antreibt. Dieselmotor oder Elektromotor werden alternativ auf ein Verteilgetriebe geschaltet. Dieses versorgt Hydraulikpumpen und Arbeitskreise mit Energie.

Nachteile dieser Technologie gegenüber „grünen“ Wasserstoffantrieben sind:

- Das Ziel Zero CO₂ wird prinzipiell nicht erreicht.

- Das Gewicht und der hohe Aufwand für die zusätzlichen Akkumulatoren und den Dieselmotor sowie den Pantografen, die Wechselrichter, Akkuschränke, Akkukühlung und das Getriebe sind nachteilig.
- Auf längeren Strecken ohne Oberleitung muss mit dem Dieselantrieb gefahren werden – das ist nicht im Sinne des Klimaschutzes und einer nachhaltigen Betriebsweise.
- Der Batterieantrieb ist aufgrund der begrenzten Kapazitäten (Gewicht, Kosten) nur für kurze Strecken und Arbeitseinsätze geeignet.

Geeignete alternative Antriebe für Oberbaumaschinen

Die obigen Angaben und die Zuordnung des Energiebedarfs in Tab. 3 zeigen den generellen Trend zum Brennstoffzellenantrieb. Zukünftige CO₂-Zero-Oberbaumaschinen werden mit Wasserstofftechnologie und / oder Energie aus der Oberleitung betrieben.

Im Arbeitseinsatz benötigt eine Stopfmaschine je nach Type durchschnittlich eine Leistung von 200-350 kW. Bei einer Acht-Stunden-schicht bedeutet dies einen Energiebedarf zwischen 1600 und 2800 kWh. Ein Akkusatz mit 60 kWh hat ein Volumen von etwa 3 m³ und ein Gewicht von 700 kg. Das würde für eine Schicht zwischen 30 und 50 Akkusätze, ein Bauvolumen von 90 bis 150 m³ und ein Gewicht zwischen 18 und 30 t bedeuten. Dieses Bauvolumen und zusätzliche Gewicht ist auf Baumaschinen nur schwer realisierbar.

Der Fahrbetrieb einer Oberbaumaschine kann in vier Modi eingeteilt werden: Beschleunigen, Fahren, Rollen und Bremsen. Im Beschleunigungsmodus bezieht das Fahrzeug Energie aus der Oberleitung oder der Brennstoffzelle bzw. dem Akku. Im Fahrbetrieb ist die bezogene Energie zur Aufrechterhaltung des Bewegungszustandes nahezu konstant und geringer als beim Beschleunigen. Im Rollmodus ist

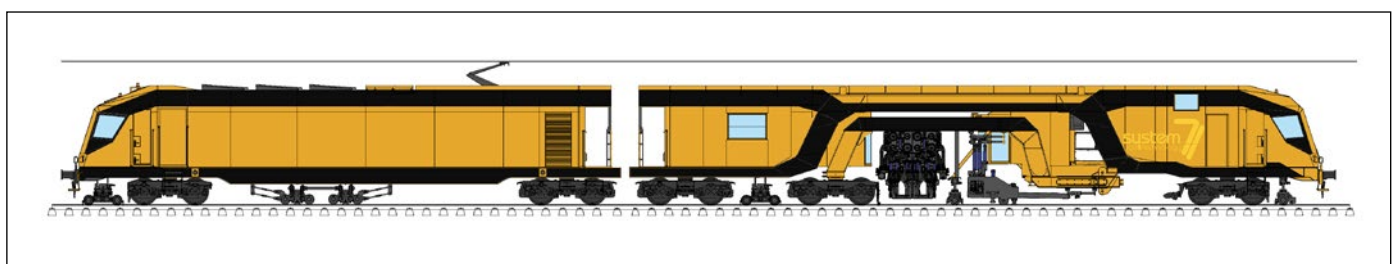


Abb. 5: Kontinuierliche Zwei-Schwellen-Universalstopfmaschine mit Energieversorgungsanhänger

Quelle: system7-railsupport

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für system7-railsupport GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

Bereiche	Maschinentype	Bevorzugte Hauptenergiequelle
< 300 kWh	Oberleitungsinspektion	Batterie
< 800 kWh	Materiallogistik – Material-Förderwagen	Batterie oder Brennstoffzellen
	Gleismesswagen (≤ 60 km/h)	
	Schotterverteiler- und Profliermaschine	
< 1200 kWh	Gleismesswagen (≤ 100 km/h)	Batterie oder Brennstoffzellen
	Dynamischer Gleisstabilisator	
≥ 1200 kWh	Universalstopfmaschine	Brennstoffzelle (+Batterie)
	Gleisumbauzug	
	Schotterbettreinigung	
	Planumsverbesserung	

Tab. 3: Energiebedarf verschiedener Oberbaumaschinen und vorgeschlagener Hauptenergeträger

die Leistungsaufnahme vernachlässigbar, und im Bremsmodus erzeugen die Motoren elektrische regenerative Energie. Ähnlich verhält es sich bei Oberbaumaschinen bei zyklischer Arbeit. Es werden entweder die gesamte Maschine oder integrierte Teile davon in periodischen Intervallen im Bereich von wenigen Sekunden beschleunigt und wieder abgebremst [15]. Die entstehende regenerative Bremsenergie kann in Supercaps, Akkumulatoren oder Schwungrädern gespeichert werden. Diese Lösung vermeidet Lastspitzen, kurzzeitige Lasterhöhungen werden von den Speichern ausgeglichen [1]. Die reine Batterietechnologie beschränkt sich derzeit im Bahnbaumaschinensektor auf elektrisch betriebene Handgeräte oder kleinere Maschinen. Derzeit werden für emissionsarme Fahrzeuge meist keine höheren Schichtpreise bezahlt. Die Mehrkosten für Hybridantriebe betragen

zwischen 30 und 60 % des Maschinenpreises einer konventionellen Maschine mit Dieselantrieb. Die Motivation – mit neuer innovativer Technologie aufzuwarten und sich als umweltbewusst zu präsentieren – wird sich ohne weiteren Anreiz vermutlich nicht auf breiter Basis durchsetzen.

Antriebsausführung neuer Oberbaumaschinen

Oberbaumaschinen, die einen hohen Leistungsbedarf während der Arbeit aufweisen, benötigen ein duales Antriebssystem. Zum einen ist dies die Energieversorgung über die Oberleitung und zum anderen ein zusätzliches unabhängiges System wie Brennstoffzellen oder ein Diesel-Powerpack. Rein über Wasserstoff betriebene Brennstoffzellenfahrzeuge sind die Zukunft. Derzeit scheiden sie noch wegen des Mangels an Wasserstoff-Tankstel-

len und der hohen Kosten aus. Neue nachhaltig ausgeführte Oberbaumaschinen werden am besten mit einem Energieversorgungsanhänger konstruiert und gebaut (Abb. 5). Der Energieversorgungsanhänger stellt Energie zum Fahren und zum Arbeiten aus der Oberleitung bereit. Beim Arbeiten werden die kurzzeitigen Lastwechsel über Batteriesätze und Supercaps ausgeglichen. Die in ihnen gespeicherte Energie wird beim Beschleunigen zugeführt. Mit der Bremsenergie werden die Speicher geladen.

Abb. 6 zeigt die duale Energieversorgung eines modularen Energieversorgungsanhängers. Das Fahrzeug wird so ausgeführt, dass der Raum für einen alternativen Wasserstoffantrieb vorhanden ist. Damit kann der Dieselmotor jederzeit durch einen Elektrogenerator ersetzt werden. Über den Gleichstromzwischenkreis wird die Arbeitsmaschine mit

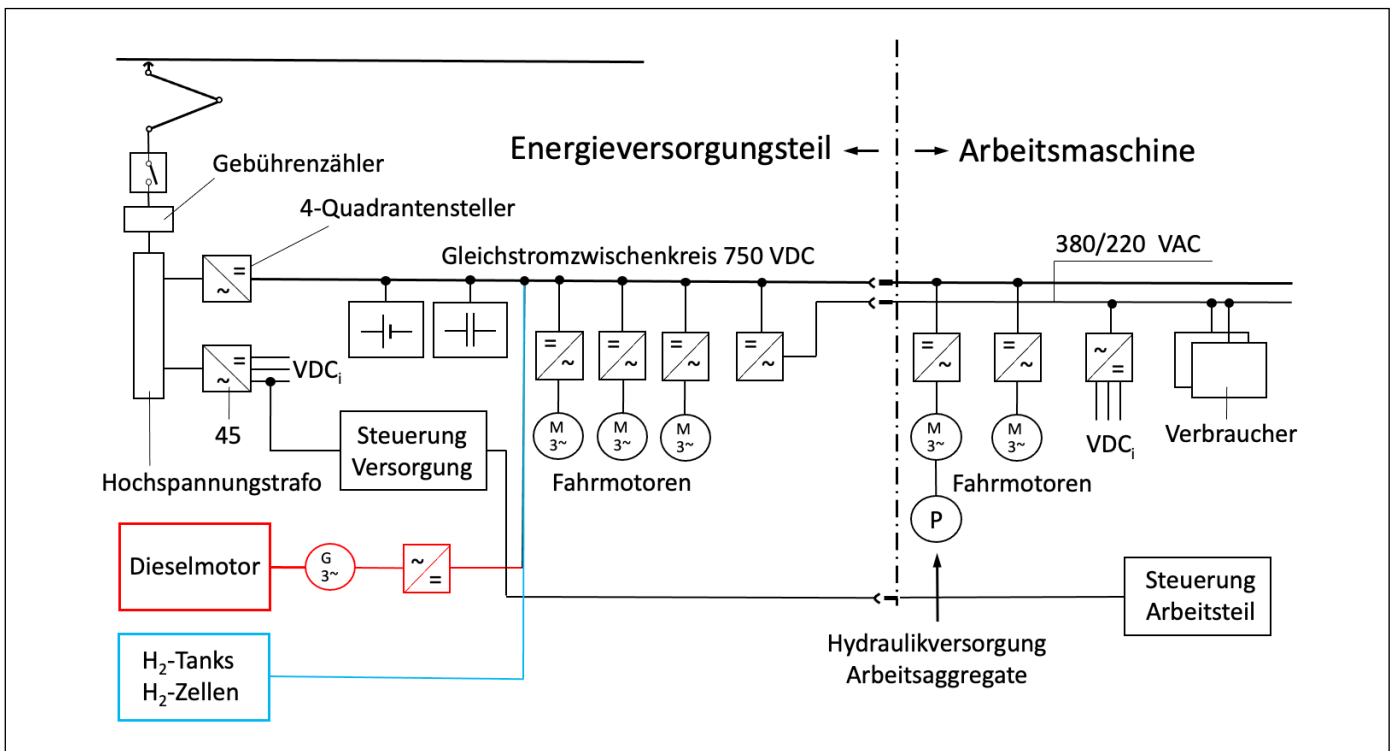


Abb. 6: Schematischer Elektroplan eines Energieversorgungsanhängers

Quelle: Autor



Abb. 7: Modulare Energieversorgungsmaschine mit Zusatzeinrichtungen

Quelle: system7-railsupport

Energie versorgt. Ein Elektromotor treibt den Hydraulikkreis an. Die notwendigen Kräfte und die erforderlichen Steuerungsabläufe der Arbeitsaggregate werden optimal durch Hydraulikeinrichtungen erzeugt.

Umrüstung Oberbau-Bestandsmaschinen auf alternative Antriebe

Oberbaumaschinen weisen typische Lebensdauern zwischen 18 und 24 Jahren auf. Vorhandene Maschinen werden nach dem Jahr 2040 noch arbeiten. Viele Länder streben für diesen Zeitraum bereits CO₂-Zero-Szenarien an. Wie hoch wird der CO₂-Preis pro Tonne steigen? Werden die gesetzlichen Vorgaben eine Weiterverwendung fossiler Antriebe erlauben? Das notwendige Bauvolumen und die zusätzlichen Gewichte durch Batterien, Umformer, Wechselrichter und Transformatoren erlauben einen Umbau vorhandener Maschinen mit Verbrennermotoren nicht.

Die Fa. System7 hat eine selbstfahrende und damit flexibel einsetzbare Energieversorgungsmaschine zum Patent eingereicht, welche universell für verschiedenste Maschinen Anwendung finden kann. Dabei bezieht dieses Versorgungsfahrzeug die Energie von der Oberleitung, wahlweise von Brennstoffzellen oder einer alternativen Diesel-Power-einheit. Ein Batteriesatz zur Abpufferung von Leistungsspitzen ist in jedem Fall vorhanden. Zusätzlich werden Supercaps eingesetzt. Das Fahrzeug versorgt die Bestandsmaschine mit einem Gleichstromzwischenkreis über eine kuppelbare Stromschiene. Auf der Bestandsmaschine werden Verbrennungsmotor und Dieseltank ausgebaut und durch einen Elek-

tromotor ersetzt. Dadurch muss für die Oberbaumaschine keine Neuzulassung beantragt werden. Die Energieversorgungsmaschine hingegen wird generell zugelassen und kann universell eingesetzt werden. Damit können Oberbaumaschinen, die noch eine längere Lebensdauer vor sich haben, auch unter CO₂-Zero weiter betrieben werden. Einen weiteren Vorteil bietet die Ausrüstung des Energiefahrzeuges mit ECTS (European Train Control System), welches derzeit noch nicht Standard auf Oberbaumaschinen ist.

Die an eine Altmaschine kuppelbare Versorgungseinheit kann mit Zusatzeinrichtungen wie Gleis-Stabilisierungsaggregaten oder einer inertialen universalen Messeinheit ausgestattet werden, wie Abb. 7 zeigt. ■

QUELLEN

[1] Optimismus im Klimawandel – Klimaziele EU, USA und China, https://klimacrash.com/my_climate_view/optimismus-im-klimawandel-klimaziele-eu-usa-und-china/ abgerufen am 16.7.2022
 [2] Lichtberger, B.: Unser Planet im Klimawandel – Ein Handbuch über physikalische und gesellschaftliche Zusammenhänge, Oekom Verlag, München, 2021
 [3] Ein neues europäisches Bauhaus – Europas Antwort auf den Klimawandel? https://klimacrash.com/my_climate_view/ein-neues-europaeisches-bauhaus-europas-antwort-auf-den-klimawandel/ abgerufen am 16.7.2022
 [4] Meyer, G.; Bucknail, R.; Breuil, D.: Electrification of the Transport System – Studies and reports, European Union, 2017
 [5] Lichtberger, B.: Das Große Handbuch der Gleisinstandhaltung – Band 1 – Geschichte der Mechanisierung des Gleisbaus – Das System Gleis – Neubau und Umbau – Belastung – Überwachung und Messen – Schienenbearbeitung – Gleisgeometrieberechtigung – Stopfen, Tredition Verlag GmbH, Hamburg, 2022
 [6] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V (DLR): Wasserstoff als ein Fundament der Energiewende, Teil 2: Sektorenkopplung und Wasserstoff: zwei Seiten der gleichen Medaille, 2020
 [7] Kometer, J.; Seelos, G.; Kurzeck, B.; van der Linden, F.: Alternative Antriebsvarianten für Schienenfahrzeuge – Trend zur Vermeidung bzw.

Reduktion von Verbrennungskraftmaschinen, ZEVrail 143 (2019) Tagungsband SFT Graz 2019
 [8] Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH, Institut für Energieforschung: Erneuerbarer Wasserstoff in Österreich – Technologien, Einsatzbereiche und energiewirtschaftliche Perspektiven, 2009
 [9] Wiener Motoren-symposium 2020: Die größten Herausforderungen für Wasserstoff und synthetische Kraftstoffe, https://www.ots.at/presseaussendung/OTS_20200423_OTS0090/wiener-motorensymposium-2020-die-groessten-herausforderungen-fuer-wasserstoff-und-synthetische-kraftstoffe, abgerufen am 4.4.2022
 [10] Kache, M.; Günther, S.: Brennstoffzellen in Schienenfahrzeugantrieben; EI – EISENBAHNINGENIEUR SPEZIAL Fahrzeuge – Entwicklung, Design, Ausstattung, 9/2017, S. 26-31
 [11] Handwerker, M.; Wellnitz, J.; Marzbani, H.: Comparison of Hydrogen Powertrains with the Battery Powered Electric Vehicle and Investigation of Small-Scale Local Hydrogen Production Using Renewable Energy, Hydrogen 2/2021, S. 76-100
 [12] El-Barudi, S.; Kliefoth, M.; Baentsch, F.: Stromversorgung von Batterie-zügen mittels Oberleitung, ETR – Eisenbahntechnische Rundschau, 10/2019, S. 56-62
 [13] Pilsen, H.: Können die fahrdrahtlosen Batteriefahrzeuge die Dieseltraktion im regionalen Eisenbahnbetrieb ersetzen? ZEVrail 143 (2019), Tagungsband SFT Graz 2019, S. 12-21
 [14] Steinwenker, H.: Batteriebetrieb von Gleisbaumaschinen und Eisenbahnfahrzeugen, EI – EISENBAHNINGENIEUR Sonderheft Gleisbaumaschinen, 9/2019, S. 13-16
 [15] Lichtberger, B.: Handbuch Gleis – Unterbau Oberbau Instandhaltung Wirtschaftlichkeit, DVV Media Group GmbH/ Eurailpress, Hamburg, 3. Auflage, 2010



Univ.-Doz. Dr. Bernhard Lichtberger
 Chief Technical Officer
 system7-railsupport GmbH,
 A-Laakirchen
 bernhard.lichtberger@s7-rail.com

Wir freuen uns, Ihnen spannende Neuheiten vorzustellen!

- Digitaler Audioverstärker mit PAN-System
- TFT-Stretch-Monitor zur Informationsanzeige
- FELA Cloud als einheitliche Plattform
- TVM zum bargeldlosen Ticketing

www.fela.swiss