

# Einsatzpotentiale alternativer Antriebe in Rangierlokomotiven

## Zusammenfassung einer Machbarkeitsuntersuchung

Johannes Pagenkopf, Mathias Böhm, Victoria Jäger, Marcel Konrad

In diesem Beitrag wird die grundsätzliche Eignung verschiedener alternativer Antriebe für Rangierlokomotiven untersucht, basierend auf betrieblich-technischen Anforderungen. Zudem werden Potentiale und Limitationen batterie- und wasserstoffbasierter Antriebe aufgezeigt sowie das zukünftige Marktpotential von Rangierlokomotiven mit alternativen Antrieben in Deutschland abgeschätzt. Bei diesem Beitrag handelt es sich um eine gekürzte und überarbeitete Fassung der [Ergebnisbroschüre einer Machbarkeitsanalyse](#), die von den Autoren im Auftrag der NOW GmbH erarbeitet wurde.

### Status Quo

Die Einsatzfelder von Rangierlokomotiven sind vielfältig. Neben dem Rangierdienst für die Zugbildung und -auflösung oder dem Verschub von Wagen und Wagengruppen in Anschlussgleisen werden sie im reinen Werksbahnbetrieb und teilweise auch im Streckendienst für Übergabefahrten im Einzelwagenverkehr zu Anschlussgleisen sowie für Shuttle-Fahrten im regionalen Schienengüterverkehr eingesetzt. Ähnlich vielgestaltig wie die Einsatzfelder ist die Halterstruktur von Rangierlokomotiven sehr divers und setzt sich aus einer Vielzahl an Eisenbahnverkehrsunternehmen sowie Vermietungsgesellschaften zusammen. Der Branchendienst RailBusiness listet allein über 100 Rangierdienstleister in Deutschland auf und laut dem Eisenbahnbundesamt führen in Deutschland über 300 Unternehmen Schienengüterverkehre durch.

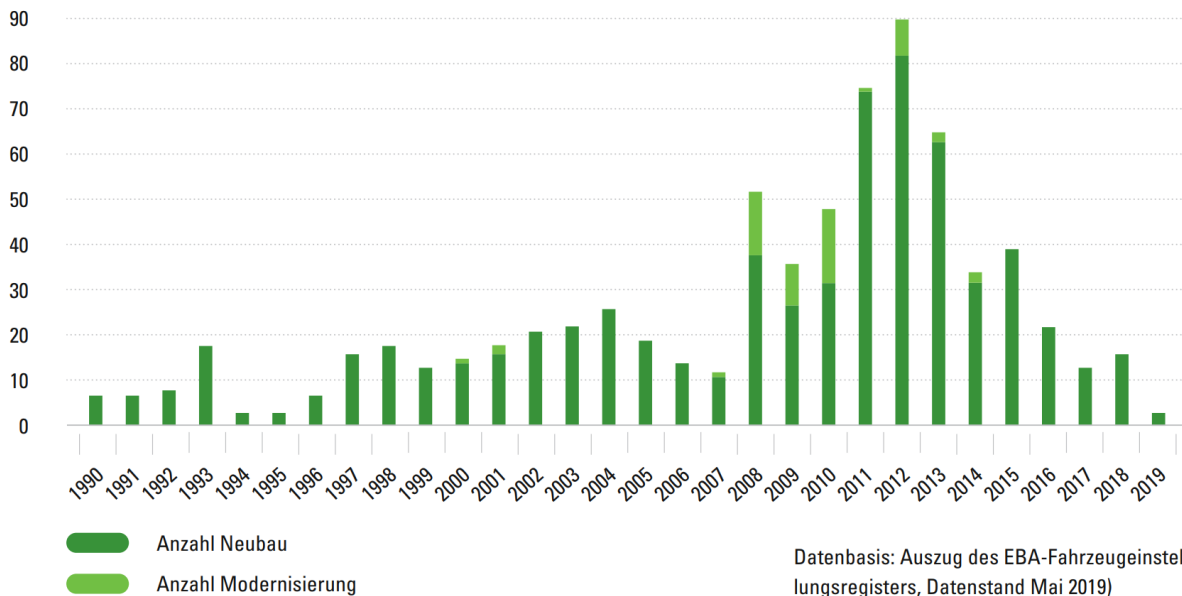
Rangierlokomotiven sind in der Regel mit Mittelführerhaus ausgeführt um einen schnellen Richtungswechsel zu ermöglichen. Der Einsatzzweck bestimmt die Dienst- und Reibmasse sowie das Antriebs- und Energieübertragungskonzept, wodurch am Markt eine große Bandbreite an Ausführungen (u.a. Zweiwegefahrzeuge, 3-achsige mittelschwere Rangierloks, schwere Drehgestell-Rangierloks) verfügbar sind. Bestandsfahrzeuge verfügen überwiegend über Dieselmotoren als Hauptenergiewandler mit dieselhydraulischer Kraftübertragung, jüngst zeigt sich jedoch ein Trend hin zu dieselektrischer Leistungsübertragung z.T. in Kombination mit Traktionsbatterien (Dieselhybrid). Zudem werden vermehrt zweikraftfähige Streckenlokomotiven für Rangierleistungen auf nicht-elektrifizierten Abschnitten eingesetzt (Dual-Mode, Last-Mile) und ersetzen dort Rangierlokomotiven.

Neben Dieselhybridantrieben werden ab 2024 erste Oberleitungs-Akku-Hybrid-Rangierloks (OL-Akku-Hybrid) im Einsatz sein. Elektro-Diesel Dual-Mode-Rangierlokomotiven werden für den deutschen Markt aktuell nicht angeboten, sind aber in der Schweiz auf Grund der nahezu kompletten Vollelektrifizierung im Einsatz. Daneben befinden sich erste Demonstratoren –mit Brennstoffzellenhybrid (BZH) und Wasserstoffverbrennungsmotor (H2VM) in Entwicklung oder in der Konzeption. Bereits heute sind im innerbetrieblichen Rangierdienst akkubetriebene Rangierroboter und Zweiwegefahrzeuge im Einsatz. Große Akkulokomotiven sind in den USA in Entwicklung. Alternative Kraftstoffe für Verbrennungsmotoren auf Basis von hydrogenierten Pflanzenölen (HVO) werden aktuell von der Deutschen Bahn erprobt. Im Jahr 2019 waren laut EBA-Fahrzeugeinstellungsregister in Deutschland etwa 2.800 Rangierlokomotiven gemeldet. Die DB Cargo als größter Fahrzeughalter hatte 2020 ca. 670 Fahrzeuge im Einsatz. Kennzeichnend für Rangierlokomotiven ist das hohe Durchschnittsalter (DB Cargo-Flotte: ca. 42 Jahre). Ein großer Teil der heute noch aktiven Flotte wurde in den Jahren 1955 bis 1980 produziert. In den letzten 30 Jahren konnten 684 Rangierlokomotiven sowie 56 Modernisierungen erfasst werden. Zwischen 2008 und 2015 ist eine Zunahme an Neuzulassungen zu verzeichnen (Abbildung 1).

Von August 2019 bis Februar 2021 wurden 21 Diesellokomotiven (Vossloh DE 12 und DE 18) und 71 Dieselhybridloks (9 Alstom H3, 4 CRRC Hybridrangierloks, 58 Toshiba HDB 800) für den Einsatz in Deutschland bestellt (Quelle: RailBusiness). Hinzu kommen 162 Bestellungen von Streckenlokomotiven mit Dual-Mode oder Last-Mile-Antrieb (6 Bombardier Traxx LastMile, 106 Siemens Vectron Dual Mode und ca. 50 Stadler Rail EuroDual), die zumindest teilweise Arbeiten im klassischen Einsatzfeld von Rangierlokomotiven übernehmen werden.

Im Rangierverkehr sind hohe Zugkräfte gefordert, charakteristisch sind ferner häufige Anfahrvorgänge, geringe Geschwindigkeiten sowie ein hoher Leerlauf- und geringer Volllastanteil. Daraus resultieren geringe mittlere Leistungen, obwohl es kurzzeitig zu hohen Leistungspeaks kommen kann, welche sich aus Beschleunigungsvorgängen mit hohen Anhängemassen ergeben. Werden die Lokomotiven im Streckendienst eingesetzt, erhöhen sich die mittleren Leistungen aufgrund des erhöhten Volllastanteils.

**ABBILDUNG 1 Bestand Rangierlokomotiven in Deutschland nach Herstellungsjahr, unterteilt in Neubau (N=684) und Modernisierungen (N=56), für den Zeitraum 1990 bis 2019**



**Abbildung 1: Fahrzeugbestand**

Die folgenden technischen Analysen wurden durch eine systematische **Befragung von Rangierlokaltern** begleitet. Die Ergebnisse zeigen, dass neben den wechselnden Anhängelasten das Einsatzspektrum von Rangierlokomotiven auch im Hinblick auf Laufleistung und Einsatzzeit sehr vielfältig ist. Es wird von den Befragten erwartet, dass sich zukünftig die Anhängelasten erhöhen. Sehr wichtig sind den befragten Betreibern neben kurzen Tank- und Ladezeiten die Nutzung erneuerbarer Energieträger sowie eine hohe Verfügbarkeit der Rangierlokomotiven mit alternativen Antrieben. Flottenerneuerung sowie CO<sub>2</sub>- und Schadstoffvermeidung sind die häufigsten genannten Motive für eine Fahrzeugneubeschaffung bzw. -umrüstung.

### Grobauslegung Antriebssysteme

Als Referenzlokomotiven werden eine Drehgestell-Rangierlokomotive mit 1.500 kW Leistung am Rad und einer Anfahrzugkraft von 300 kN sowie eine dreiachsige Rangierlokomotive mit 700 kW Leistung am Rad und 225 kN Anfahrzugkraft betrachtet. Basierend auf den Befragungsergebnissen wurden drei Szenarien definiert und simuliert, um die grundsätzliche energetische und leistungsbezogene Machbarkeit unterschiedlicher alternativer Antriebssysteme zu ermitteln. Das Szenario Rangierbetrieb (R) mit 66 km Länge, 11,3 h Dauer und 1.469 kWh Gesamtenergiebedarf am Rad bildet eine Abfolge aus verschiedenen leichten bis schweren Rangierprofilen ab. Das Szenario Zwischenwerkverkehr (Z) mit 117 km, 7,6 h Dauer und 1.368 kWh Gesamtenergiebedarf setzt sich aus einer Kombination aus Rangier- und mittlerem Streckendienst zusammen. Das Szenario Zustell-/Bedienfahrt (B) besteht aus einem Rangier- und Beladungsfahrtzyklus und einer Zustellfahrt. Die untersuchten **Antriebssysteme** sind nachfolgend in Abbildung 2 dargestellt. Die Varianten mit Oberleitungsausrüstung wurden auf die vierachsige Drehgestellkonfiguration beschränkt, da das Einsatzprofil der dreiachsigen Lok überwiegend Rangierdienst und den Einsatz auf nicht elektrifizierten Nebenstrecken vorsieht.

Für die Referenzprofile wurden für die Antriebssysteme die jeweils erforderlichen Energiespeicher und Leistungswandler überschlägig dimensioniert und ausgelegt. Dazu wurde eine vorkonzeptionelle Anordnung der Komponenten auf dem je Loktyp zur Verfügung stehenden Bauraum vorgenommen. Auf dieser Grundlage konnte eine überschlägige Machbarkeit der Antriebssysteme vorgenommen, aber auch Restriktionen der jeweiligen Antriebssysteme aufgezeigt werden.

Der für alternative Antriebs- und Speicherkomponenten zur Verfügung stehende Bauraum ist bei Beibehaltung der in Fahrzeuglängsrichtung beidseitig angeordneten Umläufe im Vergleich zu Streckenlokomotiven mit zwei Endtriebfahrzeugführerständen eingeschränkt. Die Auslegungsergebnisse der untersuchten Antriebssysteme werden nachfolgend exemplarisch durch konzeptionelle Anordnung der wichtigsten Wandler- und Speicherkomponenten für den BZH im Szenario R dargestellt (Abbildung 3).

ABBILDUNG 2 Untersuchte Antriebssysteme und Arten der Energiezuführung

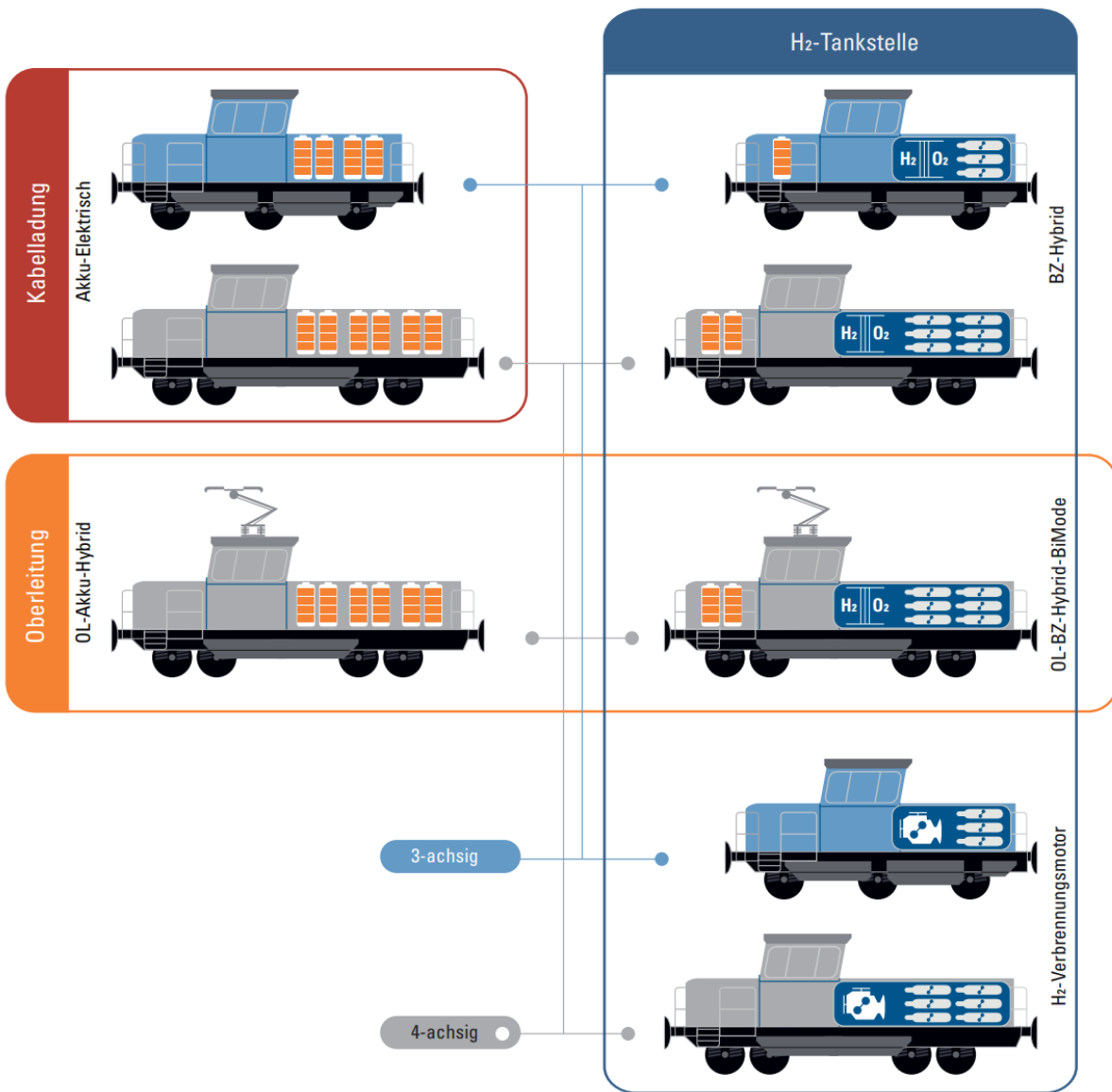
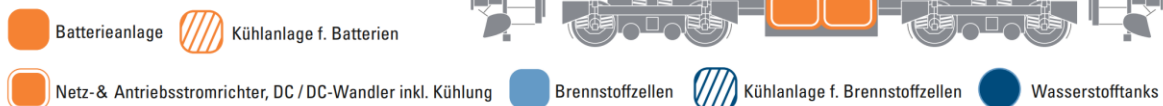


Abbildung 2: Untersuchte Antriebssysteme

ABBILDUNG 3 Auslegung und Komponentenanzordnung für vierachsige Drehgestellloks

**BZ-Hybrid Auslegung Szenario R\***

- Brennstoffzellenleistung: 600 kW
- Batteriespeicher: 146 kWh
- Wasserstoffvorrat: 109 kg H<sub>2</sub>



\* Szenario R: Rangierverkehr

Bildquelle Hintergrundabbildung: Vossloh Locomotives

Abbildung 3: Beispielhaftes Packaging

**Eignungsanalyse**

Der Akku-Antrieb (ohne Möglichkeit des Strombezugs aus dem 15 kV-Fahrdraht) ist für den lokal begrenzten Rangier- und Zugbildungseinsatz eine mögliche Option. Bei einem hohen Tagesenergiebedarf ist die Installation einer hohen Batteriespeicherkapazität erforderlich. Hohe Erst- und Ersatzinvestitionen eröffnen für diese Variante voraussichtlich nur ein vergleichsweise enges Anwendungsfeld. Der BZH eröffnet je nach Auslegung ein breites Spektrum an möglichen Leistungen und

Speicherkapazitäten bzw. Reichweiten. Der H2VM kann bei der zeitlich unabhängigen Bereitstellung einer hohen Dauerleistung punkten, jedoch ist aufgrund des Systemwirkungsgrades die Reichweite limitierter als beim BZH, insbesondere, durch Bauraumbeschränkungen für installierbare H<sub>2</sub>-Tanks. Die Varianten mit der Möglichkeit des Betriebs unter Oberleitung (OL-Akku-Hybrid und OL-BZH-BiMode) vergrößern einerseits den Aktionsradius und die Reichweiten, begrenzen andererseits auf Grund des Bauraumbedarfs der 15 kV-Baugruppen (insbesondere Transformator) jedoch die Reichweite und Leistungsfähigkeit im OL-freien Betrieb. Sofern Rangierlokomotiven auch im Streckendienst und mit hohen Anhängelasten eingesetzt werden wie im Zwischenwerkverkehr, sind für Strecken ohne substantielle Ausstattung mit Fahrleitungen der BZH und (wegen der Reichweitenlimitationen) mit Einschränkungen auch der H2VM am ehesten geeignet. Für den Fall, dass ein großer Teil der Streckenfahrt unter Fahrdrabt absolviert werden kann, ist der OL-Akku-Hybrid und der Dual-Mode-Antrieb mit BZH eine sinnvolle alternative Antriebseinheit. Da die befahrenen Strecken im Güterverkehr jedoch typischerweise sehr variabel sind (Spotverkehre sowie baustellenbedingte Umleitungen), ist der Aktionsradius solcher Fahrzeuge damit auf oberleitungsfreien Strecken eingeschränkt. Um im Streckenbetrieb ohne Fahrdrabt durchgehend hohe Leistungen bereitstellen zu können, müssen BZ-Systeme mit hohen Leistungen installiert werden.

Zustellfahrten des Einzelwagenverkehrs im regionalen Güterverkehr sind in der Regel gekennzeichnet durch kleine Wagengruppen (und damit geringere Anhängelasten) sowie die Nutzung von Nebenstrecken (geringe Fahrgeschwindigkeiten). Somit ist der Leistungsbedarf trotz Streckenverkehr in der Regel geringer als im Zwischenwerkverkehr. Auch hier sind bei Nutzbarkeit von Oberleitungen der OL-Akku-Hybrid und der BiMode-BZH geeignet. Auf nicht elektrifizierten Strecken eignen sich der BZH und der H2VM sowie mit Einschränkungen auch die Akku-Lok (Abbildung 4).

ABBILDUNG 4 Vorzugsantriebssysteme nach Oberleitungsverfügbarkeit und Einsatzfeldern

<b>Rangierverkehr</b>					
	<table border="1"> <tr> <td>Ohne OL</td> <td>Mit OL-Nachlademöglichkeit</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Ohne OL	Mit OL-Nachlademöglichkeit		
Ohne OL	Mit OL-Nachlademöglichkeit				
<b>Leichter Rangierdienst</b>	<table border="1"> <tr> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Akku, H2VM, BZ-Hybrid</td> <td>OL-Akku-Hybrid, OL-BZ-Hybrid-BiMode, (BZ-Hybrid + H2VM)</td> </tr> </table>			Akku, H2VM, BZ-Hybrid	OL-Akku-Hybrid, OL-BZ-Hybrid-BiMode, (BZ-Hybrid + H2VM)
Akku, H2VM, BZ-Hybrid	OL-Akku-Hybrid, OL-BZ-Hybrid-BiMode, (BZ-Hybrid + H2VM)				
<b>Schwerer Rangierdienst</b>	<table border="1"> <tr> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>BZ-Hybrid, H2VM, (Akku)</td> <td></td> </tr> </table>			BZ-Hybrid, H2VM, (Akku)	
BZ-Hybrid, H2VM, (Akku)					
<b>Kombinierter Strecken- und Rangierdienst</b>					
	<table border="1"> <tr> <td>Ohne OL</td> <td>Mit OL-Nachlademöglichkeit</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Ohne OL	Mit OL-Nachlademöglichkeit		
Ohne OL	Mit OL-Nachlademöglichkeit				
<b>Zwischenwerkverkehr</b> (Rangierdienst + mittlerer/ schwerer Streckendienst)	<table border="1"> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </table>				
<b>Zustell-/Bedienfahrten</b> im regionalen Güterverkehr (leichter/mittlerer Rangier-/ Streckendienst)	<table border="1"> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </table>				

Abbildung 4: Vorzugsantriebssysteme

Anders als im SPNV, wo Akku- und BZ-basierte Antriebssysteme ihre Machbarkeit bereits unter Beweis gestellt haben und aktuell in den Regelbetrieb gehen, gibt es derzeit bei Rangierlokomotiven noch keine entsprechenden Umsetzungsprojekte. Dies begründet sich durch das anspruchsvolle, höchst variable und damit schwer planbare Nutzungsspektrum im Rangier-/Streckenbetrieb der Lokomotiven. Insbesondere in den Fällen, in denen die Lokomotiven auch im Streckendienst mit hohen Wagenzuglasten eingesetzt werden resultieren relativ hohe Dauerleistungen und daraus bedingt eingeschränkte Reichweiten. Dies stellt für die Auslegung der untersuchten Antriebssysteme auf Grund der im Vergleich zu Dieselantrieben geringeren Energiedichte von Wasserstofftankanlagen und mehr noch von Akkumulatorsystemen eine besondere Herausforderung dar. Hier zeigt sich, dass der zur Verfügung stehende Bauraum auf Rangierlokomotiven eine größere Limitation darstellt als die Begrenzung der Achslasten.

## Kosten und Marktpotenzial

Die zukünftigen Kosten und Beschaffungspreise von Rangierlokomotiven mit alternativen Antriebssystemen sind schwer prognostizierbar. So wirkt sich die konkrete technische Ausgestaltung der Fahrzeuge einzelfallspezifisch sehr unterschiedlich auf die Höhe der Gesamtkosten aus, wobei die Antriebskomponenten den größten kostenbestimmenden Faktor darstellen. Die Kosten für die Entwicklung und Zulassung einer neuen Rangierlokplattform wird in der Branche auf einen zweistelligen Millionenbetrag abgeschätzt. Je größer die Anzahl der potentiell absatzfähigen bzw. umrüstbaren Lokomotiven ist, desto geringer sind die lokspezifischen Einzelkosten. Hinzu kommen bei einer Antriebsumstellung zusätzliche Kosten für die benötigte Infrastruktur - Nachlade- und Tankinfrastruktur, Anpassungen Abstell- und Werkstatanlagen.

Am Beispiel einer 4-achsigen Rangier-Drehgestelllok wurden für die Variante mit Dieselantrieb mit 1.500 -1.800 kW Motorleistung Material- und Montagekosten in Höhe von 2 Mio. € abgeschätzt. Die aktuellen Verkaufspreise solcher Lokomotiven betragen je nach Ausführung etwa 2,7 bis 3,5 Mio. €. Die Differenz zu den 2 Mio. € bilden anteilige Entwicklungs-, Zulassungs- und Gemeinkosten sowie Risikorückstellungen und die Marge.

Entsprechend wurden Kosten für alternative Antriebe im Fall **Neubau** für Material, Montage und Inbetriebsetzung in Bezug auf die Energiewandler- und Energiespeicheranlagen von ca. 2,2 Mio. € für die OL-Akku-Hybridlok und für die Lok mit H2VM und ca. 2,9 Mio. € für BZH (Szenario R-Auslegung) sowie die OL-BZH-BiMode-Lok abgeschätzt. Die reine Akku-Lok wurde auf ca. 3,1 Mio. € abgeschätzt. Hinzu kommen analog zur Diesellok anteilige Entwicklungs-, Zulassungs- und Gemeinkosten sowie Risikorückstellungen und Marge. Für die dreiaxige Rangierlok wurden Kosten von 1,3 Mio. € (BZH), 1,1 Mio. € (H2VM) und 1,4 Mio. € (Akku-Lok) gegenüber 1 Mio. € für eine konventionelle Diesellok abgeschätzt. Hinzu kommen auch hier anteilige Einmalkosten, Margen usw.

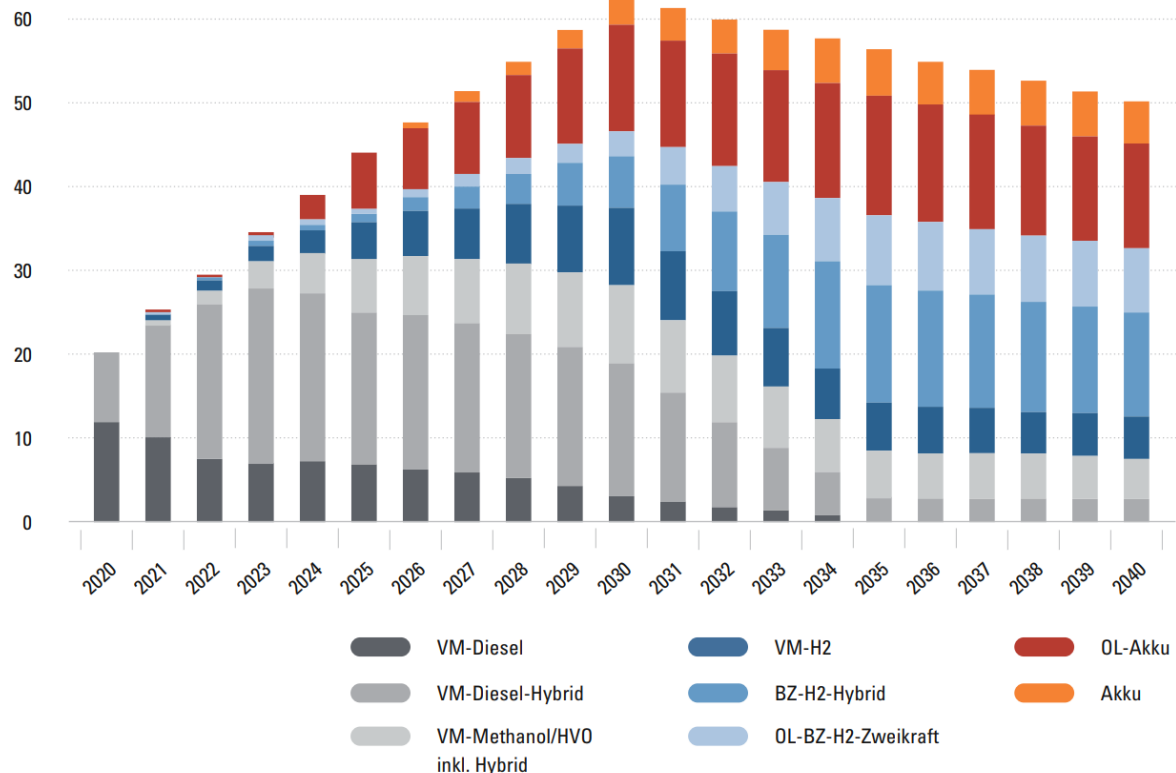
Entscheidenden Einfluss auf die tatsächlich resultierende Kostenhöhe von **Umbauvorhaben** bestehender Diesellokomotiven haben eine Reihe von Randbedingungen, wie der technische Ausrüstungsstand sowie Zustand und Modernisierungsbedarf der umzurüstenden Lokomotive, das alternative Antriebssystem, auf das umgerüstet werden soll und der erforderliche Zulassungsaufwand. Bei der 4-achsigen Rangierlok werden die geringsten Umbaukosten mit ca. 1,5 Mio. € für den H2VM und auf OL-Akkuhybrid geschätzt, gefolgt vom BZH und der OL-BZH-BiMode-Lok mit ca. je 2,2 Mio. € und der reinen Akkulok (2,5 Mio. €). Für die dreiaxige Rangierlok werden Umbaukosten von ca. 0,85 Mio. € (H2VM), 1 Mio. € (BZH) sowie 1,3 Mio. € (Akku-Lok) abgeschätzt. Hinzu kommen wieder anteilige Einmalkosten für Entwicklung, Zulassung sowie Marge.

Bei geringen Wasserstoffbezugspreisen, z.B. bei Nutzung von Prozess-H<sub>2</sub> aus der chemischen Industrie, ist mit geringeren **Betriebskosten** im Vergleich zu Dieselerangierlokomotiven zu rechnen. Für regenerativ erzeugten Wasserstoff z.B. aus der Wasserelektrolyse ist die Höhe der Strombezugs- und insbesondere der Stromnebenkosten kostenbestimmend. Bei rein elektrischen Rangierlokomotiven sind die Energiekosten auf Grund des besseren Traktionswirkungsgrades, der Vermeidung von Leerlaufverbräuchen und der Möglichkeit der Energierückspeisung geringer als bei Dieselerangierlokomotiven. Die **Instandhaltungskosten** fallen bei elektrischen Antrieben grundsätzlich geringer als bei Dieselantrieben aus. Einen bedeutenden Kostenfaktor stellen Austausch- bzw. Wechselkosten neuartiger Energiespeicher und -wandler dar. Auf Grund der im Vergleich zu Dieselmotoren geringeren Lebensdauer von Akkumulatoren und Brennstoffzellen wirken sich diese erhöhend auf die Lebensdauerkosten aus.

Auf Basis aktuell getätigter Bestellungen von Rangierlokomotiven (mit EBO-Zulassung) wurde das **Marktpotenzial** von Rangierlokomotiven mit alternativen Antrieben abgeschätzt. Im untersuchten Szenario wird die Anzahl der jährlich neu zugelassenen Rangierlokomotiven - ausgehend von 2020

etwa 25 Rangierlokomotiven - bis etwa 2030 kontinuierlich auf 50-75 Lokomotiven jährlich zunehmen und sich danach auf hohem Niveau zwischen 40 und 60 Lokomotiven pro Jahr einpendeln. Das jährliche Potential an Umbauten auf alternative Antriebe wird mit 20 bis 30 Lokomotiven angenommen. Aus heutiger Sicht ist nur mit hoher Unschärfe abzuschätzen, wie sich die Anteile der Antriebssysteme im Neubau und Modernisierung entwickeln werden, da bisher (mit Ausnahme des Dieselhybrids) keine Erfahrungen mit neuen Antriebssystemen in Rangierloks vorliegen und andere alternative Antriebssysteme erst nach und nach am Markt verfügbar sein werden (Abbildung 5).

**ABBILDUNG 5** Neubau-Rangierlokomotiven – Aufteilung Antriebssysteme  
(Ansatz Mittelwert aus Min- und Max-Schätzung)



**Abbildung 5: Marktentwicklung nach Antriebssystemen**

Die in der Studie untersuchten fünf Antriebssysteme stellen nur einen Ausschnitt aus dem grundsätzlich möglichem Antriebs- und Energieträgerspektrum dar. Diese stellen zum gegenwärtigen Zeitpunkt allerdings keine gleichwertige Alternative zu konventionellen Diesellokomotiven dar, z.B. in Bezug auf die betriebliche Flexibilität. Letztlich sind auch weitere Derivate sowie Untervarianten möglich. Diese konnten im Rahmen dieser Studie nicht in im Detail untersucht werden. Ferner könnten weiterentwickelte oder andere Energiespeichertechnologien die Eignung alternativer Antriebssysteme beeinflussen, dies betrifft neben den H<sub>2</sub>-basierten auch die akkubasierten Antriebssysteme. Damit spannt sich ein breites Feld an relevanten Untersuchungsgegenständen auf, deren Machbarkeit in weiteren Untersuchungen und vor allem in Umsetzungsprojekten unter Beweis gestellt werden muss.

### Autorinnen und Autoren

M.Sc. Johannes Pagenkopf, Gruppenleiter Schienenfahrzeuge, Institut für Fahrzeugkonzepte, Forschungsfeld Technologiebewertung und Systemanalyse, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Berlin, Johannes.Pagenkopf@dlr.de

Dipl.-Ing. Mathias Böhm, wissenschaftlicher Mitarbeiter, DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte, Forschungsfeld Technologiebewertung und Systemanalyse, Berlin, Mathias.Boehm@dlr.de

M.Eng. Victoria Jäger, wissenschaftliche Mitarbeiterin, DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte, Forschungsfeld Fahrzeugenergiekonzepte, Berlin, Victoria.Jaeger@dlr.de

M.Sc. Marcel Konrad, wissenschaftlicher Mitarbeiter, DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte, Forschungsfeld Fahrzeugenergiekonzepte, Berlin, Marcel.Konrad@dlr.de