

# Technologieoffenheit zur Gestaltung klimafreundlicher Fahrzeugflotten - Changeability als Enabler der Anpassungsfähigkeit von Fahrzeugarchitekturen

Die dringende Notwendigkeit, Klimaziele zu erreichen und den Klimawandel einzudämmen, erfordert sowohl lokale als auch globale Anstrengungen zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen. Dieser Beitrag liefert einen Business Insight, der den Weg zu einem emissionsreduzierten bzw. -freien Rangierbetrieb als Teilgebiet des Schienenverkehrs aufzeigt.



## Einleitung

Die dringende Notwendigkeit, Klimaziele zu erreichen und den Klimawandel einzudämmen, erfordert sowohl lokale als auch globale Anstrengungen zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen (Europäisches Klimagesetz: -55% bis 2030 im Vergleich zu 1990). [1] Eine der größten Stellhebel in dieser Hinsicht liegt im Bereich der Verbrennungsmotoren, die in einer Vielzahl von Anwendungen, darunter Straßenfahrzeugen, Generatoren, Baumaschinen und Schienenfahrzeugen eingesetzt werden.

Anders als die Zugfahrt auf überwiegend elektrifiziertem Streckennetz gestaltet sich das Rangieren zur Zugzusammenstellung und zur Zustellung auf der letzten Meile in Gleisanschlüssen. Für das Rangieren kommen derzeit vorwiegend dieselbetriebene Bestandsfahrzeuge zum Einsatz, wodurch Rangierlokomotiven einen wichtigen Eingriffspunkt zur Gestaltung eines noch klimaschonenderen Verkehrsträgers darstellen. Folglich stehen derzeit viele Unternehmen, deren Geschäftstätigkeit auf dem Einsatz dieselbetriebener Rangierfahrzeuge basiert (z.B. Stahlerzeugung, Chemieindustrie, Hafengebäude etc.), vor der Herausforderung, ihre Fahrzeugflotten nachhaltig auszurichten, um so einen bedeutenden Beitrag zur Erreichung der Zero-Emission-Ziele zu leisten. Die Bewältigung dieser Fragestellungen beinhaltet zum einen die Lösung technologischer Fragestellungen durch Ingenieure. Nicht weniger wichtig jedoch ist eine Gesamtstrategie

zur Transformation der bestehenden Rangierfahrzeugflotte, um das Ziel der Emissionsreduktion bzw. -freiheit tatsächlich zu erreichen.

## Klimaneutralität der Rangierfahrzeug-Flotte

Die Anforderungen an Rangierlokomotiven sind vielfältig, wodurch unterschiedliche Bauarten (zwei bis vier Achsen) existieren und die Ausrüstung der Fahrzeuge erheblich vom Einsatzzweck abhängt. Aufgrund ihrer robusten Bauweise sind Rangierlokomotiven sehr langlebig, so dass das Alter von Fahrzeugen nicht selten über 60 Jahre beträgt und eine entsprechende Altersstruktur in der Bestandsflotte vorherrscht. Insgesamt existieren allein in Deutschland laut Studie der NOW GmbH etwa 2800 Rangierfahrzeuge, welche in das EBA-Fahrzeugeinstellungsregister eingetragen wurden (Stand 2019). [2]

Diesen Fakten folgend, müssen in den kommenden Jahren mehrere tausend Rangierfahrzeuge adressiert werden, um Emissionseinsparungen im Bereich des Rangierens zu erreichen. Als Instrument hierzu steht zum einen die Investition in neue Fahrzeuge mit entsprechender Technologie zur Verfügung. Bei Betrachtung der Akteursstruktur und der durchschnittlichen Beschaffungssituation im Rangiersektor ist zumindest infrage zu stellen, ob der derzeitige Fahrzeugbestand allein mittels Ersatzes durch neue Fahrzeuge mit entsprechender Technologie klimaneutral



**Dr.-Ing. Julian Franzen**

Westfälische Lokomotiv-Fabrik  
Reuschling GmbH & Co. KG  
Gesamtkoordinator Technik  
j.franzen@reuschling.de



**Dr.-Ing. Jannis Sinnemann**

Westfälische Lokomotiv-Fabrik  
Reuschling GmbH & Co. KG  
Innovation Manager  
j.sinnemann@reuschling.de



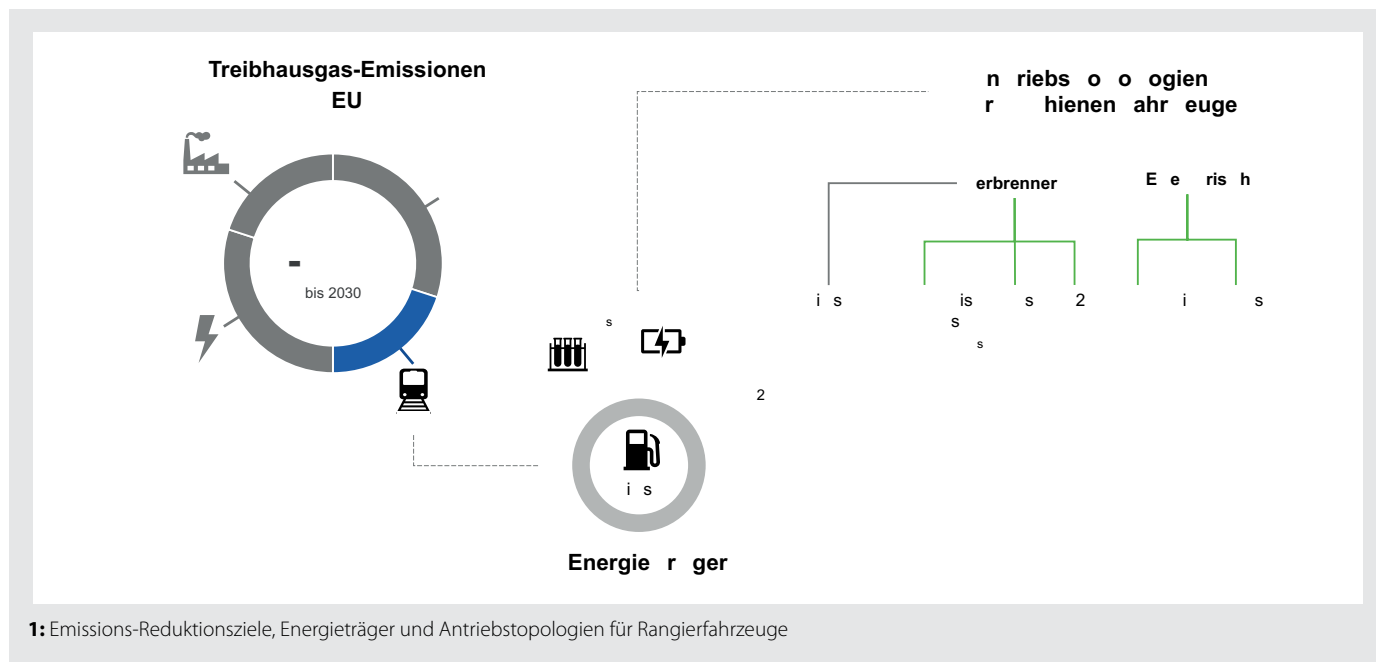
**Dipl. Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Udo Pinders**

Westfälische Lokomotiv-Fabrik  
Reuschling GmbH & Co. KG  
Geschäftsführer  
u.pinders@reuschling.de



**Prof. Dr.-Ing. Karsten Wittek**

Hochschule Heilbronn  
Leiter des Labors für  
Kolbenmaschinen  
karsten.wittek@hs-heilbronn.de



gestaltet werden kann. Kritische Faktoren bei dieser Einschätzung stellen unter anderem die Technologiereife und deren Markverfügbarkeit, Produktionskapazitäten für nennenswerte Fahrzeug-Stückzahlen und der hohe finanzielle Aufwand für Neufahrzeuge, insbesondere bei Integration alternativer Antriebe, dar.

Neben diesen Faktoren spielt die Restlebensdauer der Bestandsfahrzeuge insbesondere in der Nachhaltigkeitsbetrachtung eine wichtige Rolle. Auch wenn der Fahrzeugbestand bereits ein hohes durchschnittliches Alter aufweist, verfügen die strukturellen Bauteile wie der Fahrzeugrahmen und das Fahrwerk über eine erhebliche Restlebensdauer. Gespiegelt auf die vorigen Aspekte, welche eine Anpassung des Fahrzeugbestands allein durch Neufahrzeuge fraglich erscheinen lassen, kann der Retrofit einen wichtigen Baustein durch finanzielle, ökologische und zulassungs-

seitige Vorteile bei der Gestaltung einer klimafreundlichen Gesamtflotte darstellen.

### Technische Lösungen für eine höhere Klimafreundlichkeit

Rangierfahrzeuge sind üblicherweise als dieselelektrische oder dieselhydraulische Variante ausgeführt. In Abhängigkeit davon ergeben sich unterschiedliche Möglichkeiten für die Integration alternativer Antriebe. Bei alternativen Antrieben kann zwischen elektrischen, verbrennungs-basierten und Hybrid-Lösungen unterschieden werden. Während elektrische Antriebsstränge ihre Energie aus Landladung oder der Oberleitung beziehen bzw. diese auf dem Fahrzeug durch Umwandlung erzeugen (Brennstoffzelle) und zwischenspeichern, wird bei Verbrenner-Fahrzeugen der bisherige Dieselmotor durch eine klimafreundlichere Variante ersetzt. Die Bandbreite reicht von emissionsarmen Dieselmotoren, welche teilweise bereits jetzt mit synthetischen Kraftstoffen (HVO, E-Fuels ...) betrieben werden können, bis zum Wasserstoff-Verbrenner, welcher als „Zero-Emission“-Antrieb gemäß EU-Definition eingestuft wird. Alle skizzierten Lösungen bieten das Potenzial, Emissionen zu reduzieren oder sogar zu vermeiden, besitzen jedoch vollkommen unterschiedliche Reifegrade sowie Verfügbarkeiten und sind je nach Einsatzgebiet des Fahrzeugs für vollkommen verschiedene (Infrastruktur-) Szenarien geeignet. Hieraus resultiert eine

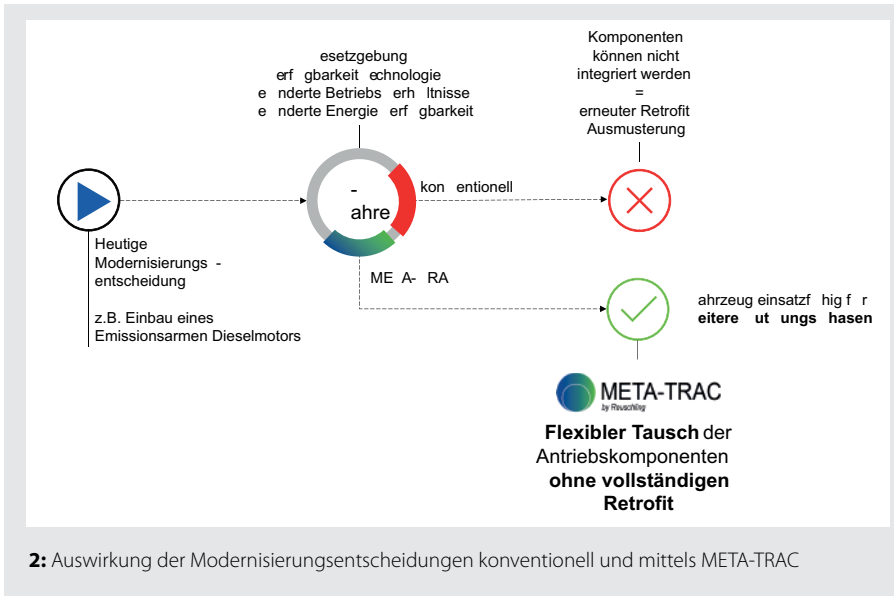
Unsicherheit darüber, welche Fahrzeug-Architektur für den jeweiligen Anwendungsfall die geeignete Wahl darstellt.

### Technologieoffenheit und Flexibilität als Enabler

Im Zuge der Modernisierung oder Beschaffung müssen Entscheidungen für die Konfiguration der Fahrzeuge getroffen werden. Wie zuvor geschildert, stellt sich die Grundlage derzeit jedoch so dar, dass noch nicht absehbar ist, welche Variante der alternativen Antriebe sich in Zukunft durchsetzen wird oder ob sich gegebenenfalls sogar mehrere Varianten in Abhängigkeit des Einsatzszenarios etablieren werden. Als zusätzliche Problematik der Entscheidungsfindung kommt hinzu, dass viele alternative Antriebsoptionen noch gar nicht oder nicht in ausreichender Marktreife verfügbar sind. Die Frage, welche Antriebsoption sich in Zukunft durchsetzt, wird daher nicht jetzt, sondern im Laufe der Zeit in der Kombination aus betreiberseitiger Nachfrage und anbieterseitiger Ingenieurleistung beantwortet werden.

Um mit jetzigen Modernisierungsent-scheidungen keine zukünftigen Lösungen zu verhindern, stellt die Changeability, also die flexible Anpassbarkeit des Antriebsstrangs, die zentrale Anforderung an technologieoffene Architekturen der Fahrzeuge dar. Changeability beschreibt also die Fähigkeit eines Fahrzeugs, zwischen verschiedenen Antriebskonfigurationen

Das Rangieren im Schienenverkehr erfolgt meist mit dieselbetriebenen Fahrzeugen und ist deswegen eine wichtige Stellgröße zur Emissionsreduktion.



eines Fahrzeugs schnell, unkompliziert und wirtschaftlich wechseln zu können, ohne das Fahrzeug einem grundlegenden Umbau zu unterziehen. Dies wird erreicht, indem Funktionsgruppen standardisiert und in funktionsbezogenen Bauräumen angeordnet werden, anstatt die Architektur des Fahrzeugs an den tatsächlichen (Antriebs-) Komponenten auszurichten.

Der Bedarf, zwischen verschiedenen Antriebskonfigurationen zu wechseln, resultiert zukünftig aus geänderter Verfügbarkeit von Technologien, rechtlichen Verpflichtungen oder der Änderung des Einsatzszenarios. So kann beispielsweise jetzt ein emissionsarmer Dieselmotor als reiner Verbrennungsmotor oder als Hybrid in ein dieselhydraulisches Rangierfahrzeug integriert werden, um den Weg in Richtung eines emissionsarmen Rangierbetriebs zu beschreiten. Sind andere, fortgeschrittene Technologien wie z.B. der H2-Verbrenner marktreif verfügbar, kann mittels des bauraumorientierten Ansatzes der Die-

selmotor und -tank durch entsprechende Komponenten des H2-Verbrenners ersetzt werden. Eine tiefgehende Anpassung der Fahrzeugarchitektur ist nicht notwendig, da die Bauraumorientierung diese Änderung bereits im Voraus berücksichtigt.

Die Auswahl der alternativen Antriebslösung erfordert jedoch nicht nur die Betrachtung der aktuell verfügbaren Lösungen, sondern auch das jeweilige Einsatzszenario des Fahrzeugs. So kann ein Fahrzeug z.B. zunächst in einem Betriebszenario mit sehr guter Wasserstoffinfrastruktur (z.B. bei Wasserstoff als Abfallprodukt chemischer Prozesse), ausgerüstet mit einer Brennstoffzelle oder einem H2-Verbrenner, eingesetzt werden. Wird dieses Fahrzeug nun in einem anderen Szenario eingesetzt, wo diese Infrastruktur nicht vorhanden ist, bietet die Changeability des Fahrzeugs die Möglichkeit, die Antriebskonfiguration auf das neue Einsatzszenario anzupassen. Hierzu werden die Komponenten des wasserstoffbasierten Antriebs-

strangs ausgebaut und in den für den Antriebsstrang vorgesehenen Bauräumen können die Komponenten des geänderten Antriebsstrangs (z. B. Akku-Stacks) platziert werden.

**Demonstration des Prinzips für den Retrofit**

Die Firma Reuschling beschäftigt sich seit vielen Jahren mit dem Retrofit von Rangierfahrzeugen und hat META-TRAC als technologieoffenes Konzept für zukunfts-sichere Retrofits mit konventionellen und alternativen Antrieben durch Bauraumorientierung entwickelt. [3] Aufbauend auf den zuvor geschilderten Anforderungen an die Changeability, hat die Firma Reuschling im September 2023 der Öffentlichkeit ein Demonstrator-Fahrzeug vorgestellt (siehe Bild 3). Dieses Fahrzeug wurde mittels META-TRAC modernisiert und mit einem Wasserstoff-Verbrennungsmotor ausgestattet. Die Demonstration greift neben der Entwicklung des Wasserstoff-Verbrennungsmotors, welche im Folgenden beschrieben wird, insbesondere die derzeit herrschende Unsicherheit bei der Auswahl des passenden Antriebskonzepts bei Modernisierungsentscheidungen auf (siehe Bild 2). So konnte mittels des Demonstrators die technische Machbarkeit aufgezeigt werden, durch Bauraumorientierung Antriebsstränge für Bestandsfahrzeuge mittels META-TRAC (z.B. Diesel- auf Wasserstoffverbrenner oder Hybridlösungen) flexibel zu tauschen und diese vielen weiteren Nutzungsphasen zur Verfügung zu stellen.

Das Prinzip META-TRAC bietet damit schon jetzt eine zentrale Antwort auf die eingangs geschilderte Situation der Flottenbetreiber, ihren Fuhrpark nachhaltig, zukunfts-fähig und klimafreundlich auszurichten, indem nach aktueller Sachlage sinnvolle Modernisierungsentscheidungen getroffen werden können, ohne Lösungsräume für zukünftige Antriebslösungen zu verbauen.

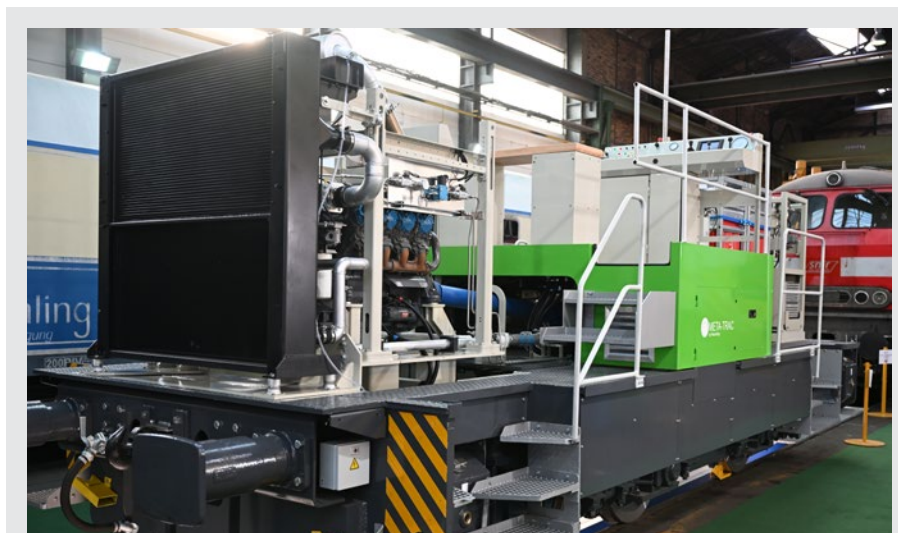
**Gesamtstrategie zur Transformation der bestehenden Rangierfahrzeugflotte**

Wie eingangs geschildert, leitet sich aus dem Ziel, den Fahrzeugbestand klimaneutral zu gestalten, die Notwendigkeit ab, mehrere tausend Fahrzeuge für den Be-

**HydroLoc:**

Im Rahmen des Projektes HydroLoc wurde ein Wasserstoffverbrennungsmotor in der Leistungsklasse > 500 kW auf Basis eines Motors der Firma Deutz entwickelt und in ein Demonstrator-Fahrzeug der Firma Reuschling integriert. Die Fahr-fähigkeit der Lösung konnte im September 2023 demonstriert werden. Insgesamt zeigen erste Testreihen neben einer nahezu vollständigen Emissionsreduktion (Zero Emission), dass die Leistung eines vergleichbaren Dieselmotors übertroffen wird. Aktuell befindet sich der Motor in der intensiven Dauererprobung und wird nach derzeitigem Stand in zwei Jahren am Markt verfügbar sein.

<https://www.hs-heilbronn.de/de/hydroloc>



**3:** META-TRAC Retrofit einer LHB530C mit Wasserstoffverbrennungsmotor im Rahmen des Forschungsprojektes HydroLoc  
Quelle: Reuschling

trieb mit alternativen Antrieben zu befähigen. Diese Größenordnung zeigt auf, dass unter Berücksichtigung finanzieller Aspekte und Produktionsressourcen auch über mehrere Jahrzehnte betrachtet die Transformation der Flotte nur durch gleichzeitige Beschaffung von Neufahrzeugen und dem Retrofit des Bestands erfolgen kann. Dieser Effekt dürfte sich perspektivisch verschärfen, wenn politische und gesellschaftliche Ziele weiterhin auf einen wachsenden Anteil der Verkehrsleistung auf der Schiene abzielen, da im Zuge dessen auch der Rangierbedarf und damit der Bedarf an Fahrzeugen steigen wird. Die Beschaffung neuer Fahrzeuge und der Retrofit sind damit keine konkurrierenden Ansätze,

sondern in der Kombination ein Schlüssel sowohl zur Adressierung des gesamten Bestands als auch einzelner Flotten eines Betreibers. Ebenso wichtig ist neben dieser Erkenntnis aufgrund derzeitiger technologischer Reifegrade der Antriebslösungen die Flexibilität der Fahrzeugarchitektur durch Bauraumorientierung. Nur wenn Fahrzeuge in den kommenden Jahren und Jahrzehnten antriebsseitig wandelbar sind (Changeability), kann das Ziel der Transformation bereits jetzt angegangen und erfolgreich bestritten werden. Changeability muss daher zwingend ein wichtiger Baustein der Gesamtstrategie für klimafreundliche Fahrzeuge sein – sowohl beim Retrofit als auch beim Neubau.

### Fazit

Das Rangieren im Schienenverkehr erfolgt meist mit dieselbetriebenen Fahrzeugen und ist deswegen eine wichtige Stellgröße zur Emissionsreduktion. Um eine klimafreundliche Rangierfahrzeug-Flotte zu erreichen, sind enorme Anstrengungen notwendig, da mehrere tausend Fahrzeuge adressiert werden müssen. Unter gegebenen Bedingungen kann das Ziel der durchgängigen Klimafreundlichkeit nicht allein durch Neufahrzeuge erreicht werden. Der Retrofit stellt daher kein konkurrierendes, sondern vielmehr ergänzendes Instrument zur Erreichung der Ziele auf globaler Ebene, aber auch für einzelne Flotten von Betreibern dar. Da derzeit noch keine Eindeutigkeit bezüglich der Nutzbarkeit der

zahlreichen Varianten alternativer Antriebe besteht, müssen Fahrzeugarchitekturen, unabhängig ob bei Neu- oder Bestandsfahrzeugen, für ein Gelingen der Transformation den Prinzipien der Changeability genügen, damit keine technologische Einbahnstraße entsteht. Das gezeigte Beispiel demonstriert, wie mittels der technologieoffenen Plattform META-TRAC im Retrofit Fahrzeugarchitekturen geschaffen werden können, um flexible Antriebslösungen unter dem Gesichtspunkt der Changeability zu realisieren. ●

### Literatur

- [1] Verordnung (EU) 2021/1119 des europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Juni 2021.  
[2] NOW GmbH (2022): Kernergebnisse der Machbarkeitsanalyse alternativer Antriebe im Einsatzgebiet von Rangierloks in Deutschland.  
[3] siehe <https://www.reuschling.de/lokomotiv-plattform/>

### Summary

#### Technological openness to design climate-friendly vehicle fleets - Changeability as enabler of adaptability of vehicle architectures

Shifting in rail transport is often made by diesel driven vehicles and is therefore an important control variable for emission reduction. Under given conditions, the aim of a continuing climate friendliness cannot be reached alone by new vehicles. Hence, retrofit represents a complementary instrument to achieve the goals. As at the moment there is no clarity regarding the usability of the numerous variants of alternative drives, vehicle architectures, whether for new or existing vehicles, have to comply with the principles of changeability for the transformation to succeed, so that no technological one-way street is created. The shown example demonstrates how the technological openness platform META-TRAC can create vehicle architectures in retrofit in order to realise flexible driving solutions from the point of view of changeability.

Das gezeigte Beispiel demonstriert, wie mit der technologieoffenen Plattform META-TRAC im Retrofit Fahrzeugarchitekturen geschaffen werden können, um flexible Antriebslösungen unter dem Gesichtspunkt der Changeability zu realisieren.