

Abschlussbericht

Pilotprojekt EcoDuo- Fahrzeugkombination

Optimierung des Vor- und Nachlaufs im
Kombinierten Verkehr

März 2026



Inhaltsangabe

1	Allgemeines	3
2	Zusammenfassung	4
3	Vorwort	6
4	Einführung	7
5	Projektbeschreibung	9
6	Genehmigungsverfahren	11
7	Potenziale und Herausforderungen	14
	7.1 Mess- und Leistungsdaten	14
	7.2 Betriebswirtschaftliche Aspekte	16
	7.3 Achslastverteilung	16
	7.4 Kurvenlaufeigenschaften	18
	7.5 Kombiniertes Verkehr	19
	7.6 Fahreigenschaften	21
	7.7 Ausstattungsmerkmale im Überblick	22
8	Überführung in den Regelbetrieb	23
	8.1 Aktuelle Rechtslage	23
	8.2 Ausblick	24
9	Schlussbetrachtung	25
10	Literaturverzeichnis	28
11	Anlage	29
	11.1 TÜV Rheinland: Ingenieurwissenschaftliche Untersuchung zum Pilotprojekt EcoDuo-Fahrzeugkombination in 2025	29

1 Allgemeines

In den vorliegenden Projektbericht sind sämtliche Erkenntnisse aller am EcoDuo-Projekt beteiligten Projektpartner eingeflossen, die während des einjährigen Testlaufs gewonnen wurden. Diese umfassen sowohl technische, betriebliche und verkehrliche Erfahrungen als auch organisatorische und regulatorische Aspekte des Einsatzes der EcoDuo-Fahrzeugkombinationen.

Darüber hinaus werden die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse in einen übergeordneten nationalen und internationalen Kontext eingeordnet. Hierzu erfolgt eine Bezugnahme auf vergleichbare Projekte sowie auf Erfahrungen mit überlangen Fahrzeugkombinationen in anderen Ländern. Der spanische Transportdienstleister SESÉ brachte als Projektpartner umfangreiche Praxiserfahrungen aus Spanien in das Projekt sowie in die Analyse ein. In Spanien wurde der EcoDuo nach einer längeren Test- und Erprobungsphase im Jahr 2023 in den Regelverkehr überführt. Ebenso wird auf die ingenieurwissenschaftliche Untersuchung des TÜV Rheinland aus dem Jahr 2025 zum EcoDuo-Projekt Bezug genommen (siehe Anlage 1). Die systematische Zusammenführung der Ergebnisse ermöglicht eine ganzheitliche Bewertung der Einsatzfähigkeit des EcoDuo im realen Transportbetrieb.

Weitere Informationen zum EcoDuo-Projekt, die Kontaktdaten der Ansprechpartner sowie Bild- und Filmmaterial, beispielsweise vom Kurvenlauf aus der Vogelperspektive, der Kranverladung am Terminal etc., sind auf der Projekt-Webseite verfügbar:

[Pilotprojekt EcoDuo | VDA](#)

2 Zusammenfassung

Das EcoDuo-Konzept wurde im Rahmen eines Pilotversuchs von September 2024 bis September 2025 im Vor- und Nachlauf des Kombinierten Verkehrs Straße-Schiene in Niedersachsen untersucht und bewertet. Das zulässige Gesamtgewicht der Fahrzeugkombination ist nach den in Deutschland für den Kombinierten Verkehr (KV) geltenden Zulassungsbestimmungen auf maximal 44 Tonnen begrenzt. Die größere Zahl der Achsen führt beim EcoDuo zu einer besseren Lastverteilung, wodurch die gesamte Belastung auf die Straßeninfrastruktur reduziert wird. Die wissenschaftliche Analyse der Achslastverteilung der EcoDuo-Fahrzeugkombination durch den TÜV Rheinland zeigt, dass sowohl die statischen als auch die dynamischen Belastungen deutlich unter den zulässigen Grenzwerten liegen (siehe Anlage 1).

Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass der Transport der EcoDuo-Fahrzeugkombination auf der Schiene unproblematisch ist und es keines außergewöhnlichen Aufwands bedarf. Die EcoDuo-Fahrzeugkombination ist vollständig mit den bestehenden Anforderungen des Kombinierten Verkehrs kompatibel und kann uneingeschränkt auf die Bahn verladen werden.

Die Kombination aus geringerer Fahrtenzahl, effizienterer Lastverteilung und höherem Ladevolumen führt zu einer nachweisbaren Minderung der CO₂-Emissionen, die im Projekt durch Prüfungen des TÜV Rheinland mit einer Reduktion von knapp 28 % quantifiziert wurde.

Der spanische Projektpartner und Transportdienstleister SESÉ konnte beim Einsatz des EcoDuo in Spanien auf der Straße eine Verringerung der Logistikkosten um 30 % verzeichnen. Das Fahrzeuggesamtgewicht beträgt in Spanien 72 t. Aufgrund der in Deutschland geltenden zulässigen Gesamtgewichtsbeschränkung von 40 t bzw. 44 t im KV lassen sich diese Kostenvorteile in Deutschland nur mit Volumengütern erreichen.

Zur Überführung der EcoDuo-Fahrzeugkombination in den Regelbetrieb käme eine Anpassung der Verordnung über Ausnahmen von straßenverkehrsrechtlichen Vorschriften für Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen mit Überlänge (LKWÜberlStVAusnV) in Betracht, indem § 3 „Fahrzeuge“ um einen weiteren Fahrzeugtyp (Typ 6) ergänzt wird. Die Nutzung der EcoDuo-Fahrzeugkombination als Typ 6 mit maximal 32 m sollte ebenfalls auf einem Positivnetz erfolgen, das jedoch aufgrund der Manövrierfähigkeit gesondert definiert werden muss.

Die EcoDuo-Fahrzeugkombination stellt eine Weiterentwicklung bestehender Lang-Lkw-Konzepte dar und baut auf bewährten Sicherheitsstandards auf. Vor diesem Hintergrund ist der EcoDuo nicht als Ersatz, sondern als ergänzende Maßnahme innerhalb eines multimodalen Güterverkehrssystems zu bewerten. Gerade der Nachweis der intermodalen Anschlussfähigkeit hebt ihn von anderen Lösungen ab und stellt seinen vielfältigen Nutzen unter Beweis.

3 Vorwort

Mobilität und Güterverkehr stellen zentrale Grundpfeiler moderner Volkswirtschaften dar. Sie sichern die Versorgung von Bevölkerung und Industrie, ermöglichen wirtschaftliches Wachstum und vernetzen nationale wie internationale Märkte. Mit der fortschreitenden Globalisierung, zunehmenden Arbeitsteilung und veränderten Konsumgewohnheiten ist das Verkehrsaufkommen im Güterverkehr in den vergangenen Jahrzehnten stetig gestiegen und wird auch künftig weiter zunehmen (Abb. 1).

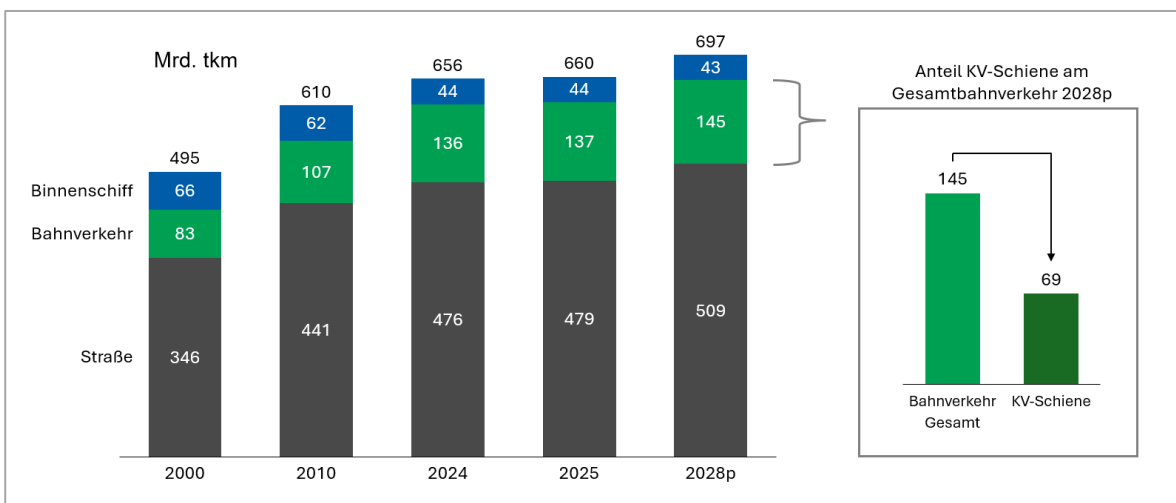


Abb. 1: Transportleistung innerhalb Deutschlands (Darstellung: VDA e.V.)

Quellen: 1) BMV: Gleitende Kurz- und Mittelfristprognose (Stand: April 2025);

2) Statistisches Bundesamt: Beförderungsmenge und Beförderungsleistung nach Verkehrsträgern (Stand: Nov. 2025)

Gleichzeitig steht der Güterverkehr vor erheblichen Herausforderungen. Neben der Sicherstellung leistungsfähiger und zuverlässiger Transportketten rücken Aspekte wie Klimaschutz, Energieeffizienz, Flächennutzung und Verkehrssicherheit zunehmend in den Fokus verkehrs- und umweltpolitischer Diskussionen. Insbesondere der Straßengüterverkehr, der einen wesentlichen Anteil am gesamten Transportaufkommen trägt, ist mit Blick auf Emissionen, Infrastrukturbelastung und Stauanfälligkeit Gegenstand intensiver Betrachtungen.

Vor diesem Hintergrund gewinnt die Entwicklung nachhaltiger Mobilitäts- und Logistikkonzepte zunehmend an Bedeutung. Effizientere Fahrzeugkonzepte, die stärkere Verknüpfung verschiedener Verkehrsträger sowie innovative organisatorische und technische Lösungen sollen dazu beitragen, die wachsende Nachfrage im Güterverkehr mit den Anforderungen an Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit in Einklang zu bringen. Durch den Einsatz von standardisierten Ladeeinheiten auf der Straße und auf der Schiene wird eine Bündelung unterschiedlichster, eigentlich voneinander unabhängiger Güterverkehre ermöglicht.

Innovative Fahrzeugkonzepte wie der Lang-Lkw können einen wichtigen Beitrag zur Effizienzsteigerung im Straßengüterverkehr, im intermodalen Verkehr sowie entlang gesamter Transportketten leisten. Das in Deutschland seit 2017 eingeführte Lang-Lkw-Konzept ist jedoch aufgrund der unterschiedlichen Ladeeinheiten nur eingeschränkt auf die Bahn verladbar. Doch für das verkehrs- und umweltpolitische Ziel, mehr Güter von der Straße auf die Schiene zu verlagern, spielt der Kombinierte Verkehr (KV) eine entscheidende Rolle.

4 Einführung

Ausgehend von der Frage, wie sich der CO₂-Fußabdruck in der intermodalen Transportkette verringern lässt, und basierend auf den positiven Erfahrungen mit vergleichbaren Projekten in anderen EU-Ländern, hat der VDA in Zusammenarbeit mit deutschen und spanischen Unternehmen das Pilotprojekt EcoDuo initiiert.

Das EcoDuo-Konzept wurde im Rahmen eines Pilotversuchs von September 2024 bis September 2025 im Vor- und Nachlauf des Kombinierten Verkehrs Straße-Schiene in Niedersachsen untersucht und bewertet. In diesem Zeitraum erfolgte eine fortlaufende Datenerfassung, um das reale Verhalten des EcoDuo zu analysieren und Schlussfolgerungen für die weitere Bewertung zu ermöglichen.

Die EcoDuo-Fahrzeugkombination mit einer Gesamtlänge von 31,70 m, bestehend aus einer Sattelzugmaschine sowie zwei über einen ungelenkten Dolly verbundenen Standard-Sattelanhängern, kann uneingeschränkt auf die Bahn verladen werden. Der Umschlag am Terminal ist jederzeit ohne den Einsatz neuer Technik möglich. Eine Erhöhung der Achslasten oder Gesamtgewichte ist mit dem Feldversuch nicht verbunden: Im regulären Betrieb war das zulässige Gesamtgewicht der Fahrzeugkombination nach den in Deutschland für den Kombinierten Verkehr (KV) geltenden Zulassungsbestimmungen auf maximal 44 Tonnen begrenzt.



Abb. 2: vereinfachte Darstellung der EcoDuo-Fahrzeugkombination

Vor dem Hintergrund des anhaltenden Wachstums des Güterverkehrs, zunehmender Infrastrukturengpässe, des Fachkräftemangels im Fahrpersonal sowie steigender Anforderungen an den Klimaschutz gewinnt das EcoDuo-Konzept besondere Relevanz. Als überlange, jedoch nicht schwerere Fahrzeugkombination adressiert der EcoDuo mehrere dieser Herausforderungen gleichzeitig, indem er die Transportleistung pro Fahrt erhöht, ohne zusätzliche Belastungen für die Straßeninfrastruktur zu verursachen. In Kombination mit standardisierten Ladeeinheiten und der Einbindung in den Kombinierten Verkehr (KV) ermöglicht der EcoDuo eine effizientere Bündelung von Güterströmen und reduziert sowohl die Anzahl der Fahrten als auch die gefahrenen Lkw-Kilometer.

Diese EcoDuo-Fahrzeugkombination ist in einigen EU-Mitgliedstaaten (Spanien, Schweden, Finnland, Dänemark) bereits im Einsatz und es wurden durchweg positive Ergebnisse verzeichnet.


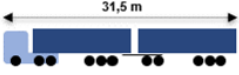

Typ	Konzept-Aufbau	Ladung		Straßenbelastung		CO ₂ -Ausstoß (alle Werte sind auf 100 km gerechnet)	
		Inkl. Gesamtgewicht	Schematische Darstellung inkl. Längen	Nutzlast (in t)	Ladung in m ³	Achslast (in t)	Tonne/Meter Straße
Heutiger Standard 40 t		25,5	93	8,0	2,42	3,11 kg	0,85 kg
EcoDuo 40+36 t (Nordics)		52,4	186	6,9	2,41	2,32 kg	0,65 kg
EcoDuo 40+30 t (Spanien)		46,5	186	7,0	2,22	2,38 kg	0,60 kg

Abb. 3: Vergleich der Fahrzeugkombinationen (Quelle: Schmitz Cargobull AG, 2019)

5 Projektbeschreibung

Eine dieser EcoDuo-Fahrzeugkombinationen ist in diesem einjährigen Testbetrieb für die Volkswagen AG auf der 70 km langen Strecke zwischen dem MegaHub Lehrte (Niedersachsen) und der Produktionsstätte von Volkswagen in Wolfsburg (Niedersachsen) auf der Straße zum Einsatz gekommen. Der Hauptlauf über eine Strecke von 1.700 km zwischen dem MegaHub Lehrte und Barcelona in Spanien wurde per Bahn durchgeführt (Abb. 4).

Für das EcoDuo-Pilotprojekt wurde ein internationales Projektkonsortium gebildet, das aus deutschen und spanischen Unternehmen bestand und das gemeinsam die Verantwortung für Planung, Durchführung sowie Analyse der Ergebnisse der überlangen Fahrzeugkombination trug.

Verlader: Volkswagen AG
 Spediteur: Sesé, Zaragoza/Spanien und van Eupen, Essen
 Fahrzeughersteller: Schmitz Cargobull AG
 Bahnbetreiber: Kombiverkehr
 Wiss. Begleitung: TÜV Rheinland

Wesentlicher Bestandteil des Pilotprojekts war die wissenschaftliche Begleitung durch den TÜV Rheinland. Im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung wurden auf der Grundlage des Realbetriebs die Chancen und Risiken der EcoDuo-

Fahrzeugkombination evaluiert, Einsparpotenziale validiert und wissenschaftlich fundierte Ergebnisse geliefert. Die abschließende ingenieurwissenschaftliche Untersuchung des TÜV Rheinland kann der Anlage 1 dieses Berichts entnommen werden.

Die Gesamtkoordination des Vorhabens wurde durch den Verband der Automobilindustrie e.V. wahrgenommen, der die Projektsteuerung verantwortete und die Zusammenarbeit der beteiligten Projektpartner strukturierte.

Der Verlager Volkswagen hat für dieses Pilotprojekt Mehrweg-Produktionsbehälter bereitgestellt. Der EcoDuo wurde in Spanien beladen, zum Terminal Barcelona gefahren, wo die Sattelanhänger auf die Bahn verladen wurden. Der Dolly verblieb in Spanien. Von Barcelona wurden die Sattelanhänger per Bahn über Hamburg und Ludwigshafen zum MegaHub Lehrte transportiert. Im MegaHub Lehrte wurden die einzelnen Sattelanhänger wieder zu einer EcoDuo-Kombination zusammengekoppelt und auf der Straße zur Volkswagen Entladestelle in Wolfsburg gefahren. Der notwendige Dolly wurde in Lehrte bereitgestellt. In der Entladestelle wurde der EcoDuo entladen und anschließend erfolgte die erneute Beladung mit Produktionsbehältern. Dadurch wurde ein geschlossener Rundlauf des EcoDuo für den Vor- und Nachlauf im Pilotversuch realisiert (Abb. 4).

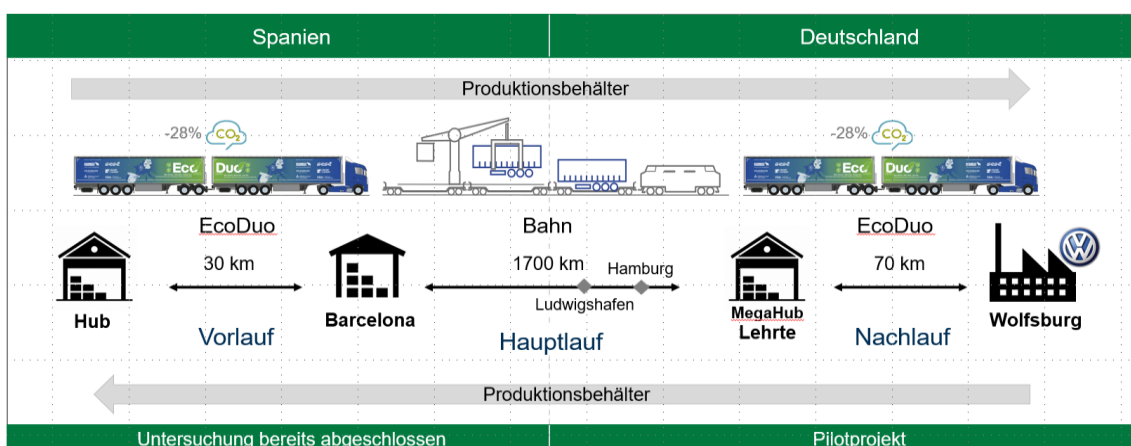


Abb. 4: Prozessbeschreibung EcoDuo-Konzept (Darstellung VDA e.V.)

Für Vergleichszwecke kam im Projekt neben dem EcoDuo-Konzept ein Standard-sattelzug mit einer Länge von 16,50 m zum Einsatz, der von derselben Spedition und mit identischen Gütern auf demselben Streckenprofil betrieben wurde.

6 Genehmigungsverfahren

Die zulässigen Abmessungen von Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen sind in Deutschland in § 32 StVZO geregelt und legen die maximal zulässigen Längen, Breiten und Höhen von Fahrzeugen fest. Für die Nutzung der überlangen EcoDuo-Fahrzeugkombination stellte das Projektkonsortium im August 2023 beim zuständigen Niedersächsischen Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Bauen und Digitalisierung in Hannover einen Antrag auf Erteilung einer Ausnahmegenehmigung für einen einjährigen Pilotversuch gemäß den einschlägigen straßenverkehrsrechtlichen Vorschriften. Wir danken dem Niedersächsischen Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Bauen und Digitalisierung für die Unterstützung und die Bereitstellung der Rahmenbedingungen zur Durchführung des Projekts in Niedersachsen.

Im Vorfeld der formellen Antragstellung wurden Sondierungsgespräche mit den zuständigen Stellen auf Landes- und Bundesebene sowie mit der Autobahn GmbH des Bundes geführt, um die rechtlichen und infrastrukturellen Rahmenbedingungen und Möglichkeiten des Pilotvorhabens abzustimmen. In diesem Zusammenhang wurde auf die grundsätzliche Möglichkeit der Erteilung entsprechender Ausnahmegenehmigungen verwiesen, wie sie bereits zuvor durch das Land Baden-Württemberg für den sogenannten Ecocombi (Juli 2009) gewährt worden war (Baden-Württemberg, Juli 2009).

Da die EcoDuo-Fahrzeugkombination nach der Zusammenstellung der beteiligten Einzelfahrzeuge nicht mehr allen Vorschriften der StVZO entsprach, insbesondere nicht hinsichtlich der zulässigen Gesamtlänge, war die Erteilung einer Ausnahmegenehmigung nach §70 StVZO zur Benutzung von öffentlichem Verkehrsraum innerhalb Niedersachsens erforderlich. Die Ausnahmegenehmigung

gemäß § 70 Abs. 2 StVZO wurde schließlich im April 2024 unter folgenden Auflagen erteilt:

- Die Fahrzeugkombination ist an der Rückseite durch ein Schild aus retroreflektierendem Material in Anlehnung an die UN/ECE Regelung Nr. 70 mit der Aufschrift „Lang-LKW“ (Schriftgröße 130 mm) zu kennzeichnen.
- Für die Anhängerkombination (Untersetzachse und zweiter Sattelanhänger) sind mindestens 2 Warndreiecke und 2 tragbare Warnleuchten nach § 53a Abs. 1 StVZO zusätzlich zur vorgeschriebenen Ausstattung der Zugmaschine (1 Warndreieck und eine tragbare Warnleuchte) mitzuführen.
- Beim Befahren von Steigungen über 8 % muss die Summe der Antriebsachslast mindestens 25 % der zulässigen Masse der Fahrzeugkombination betragen.
- Eine vorhandene Ladung soll möglichst gleichmäßig auf beide Sattelanhänger verteilt werden.
- Vor Fahrtantritt ist die komplette Beleuchtung der Fahrzeugkombination auf Funktion zu überprüfen, dabei insbesondere auf eine einwandfreie Funktion aller seitlichen Fahrtrichtungsanzeiger zu achten.
- Die Fahrzeugkombination ist innerhalb geschlossener Ortschaften beim Halten oder Parken gem. § 17 Abs. 4 StVO mit eigener Lichtquelle zu beleuchten oder durch andere zugelassene lichttechnische Einrichtungen kenntlich zu machen. Straßenbeleuchtung oder sonstige Fremdbeleuchtung genügt nicht.
- Die Fahrzeugkombination darf nur von persönlich qualifizierten und speziell hierfür geschulten Fahrern gefahren werden. Die Qualifikation der eingesetzten Fahrer sowie Schulungsinhalt und Schulungsumfang müssen mindestens den Anforderungen des § 11 der LKVÜberlStVAusnV in der Fassung vom 1. April 2021 entsprechen.

Erst mit der Erteilung der Ausnahmegenehmigung nach §70 Abs. 2 StVZO konnte das Erlaubnisverfahren nach §29 (3) StVO eingeleitet werden. Die Kurzzeiterlaubnis nach §29 (3) StVO zur Durchführung von Großraum- und/oder

Schwertransporten wurde ab September 2024 erteilt. Die wiederkehrende Genehmigungspflicht der Kurzzeiterlaubnis nach § 29 Abs. 3 StVO zur Durchführung von Großraum- und/oder Schwertransporten, die alle drei Monate erneuert werden muss, verdeutlicht den erheblichen administrativen Aufwand, der mit der Nutzung überlanger Fahrzeugkombinationen verbunden ist.

Die erteilte Kurzzeiterlaubnis nach § 29 Abs. 3 StVO umfasste unter anderem folgende Auflagen:

- Einschränkung der Fahrzeiten außerhalb der Bundesautobahn im Stadtgebiet Lehrte und im Stadtgebiet Wolfsburg.
- Privates Begleitfahrzeug auf der Teilstrecke in Lehrte ohne Wechselverkehrszeichenanlage (WVZ-Anlage) sowie privates Begleitfahrzeug auf der Gesamtstrecke zwischen Terminal Lehrte und VW Werk Wolfsburg mit Wechselverkehrszeichenanlage.

Sowohl die Ausnahmegenehmigung nach §70 StVZO als auch die Erlaubnis nach §29 StVO sahen aufgrund der außerordentlichen Bedeutung des Pilotprojektes vom Grundsatz der ausschließlichen Beförderung unteilbarer Ladungen ab und galten ausschließlich für die Nutzung der beantragten 70 km langen Strecke zwischen MegaHub Lehrte und der Produktionsstätte der VW AG in Wolfsburg. Die Streckenführung lag hauptsächlich auf der Autobahn A2 in Niedersachsen zwischen Wolfsburg und Lehrte. Die Einschränkung der Fahrzeiten beschränkte sich auf den Zubringer vom Terminal Lehrte zur Autobahn A2 und im Stadtgebiet Wolfsburg.

Da die rechtliche und technische Kompatibilität (Nutzung von Standard-Sattelanhängern) im Hauptlauf mit der Bahn im Kombinierten Verkehr (1.700 km) gegeben war, bedurfte es hierfür keiner besonderen Genehmigung.

Die Erfahrungen im Zuge der Beantragung der erforderlichen Genehmigungen zeigen, dass das Genehmigungsverfahren, dessen Dauer sich in Summe für das

EcoDuo-Projekt auf etwa ein Jahr belief, den Anforderungen von Pilot- und Forschungsvorhaben nicht gerecht wird. Insbesondere fehlt es an der notwendigen Verfahrensflexibilität, um innovative Konzepte zeitnah erproben zu können. Vor diesem Hintergrund erscheint es erforderlich, die bestehenden straßenverkehrsrechtlichen Regelungen dahingehend weiterzuentwickeln, dass Forschungs- und Entwicklungsvorhaben auch in automatisierten Genehmigungsverfahren explizit berücksichtigt und im Genehmigungsprozess priorisiert bzw. beschleunigt werden können.

7 Potenziale und Herausforderungen

7.1 Mess- und Leistungsdaten

Die Ergebnisse des Projekts verdeutlichen, dass das EcoDuo-Konzept im direkten Vergleich der untersuchten Lkw-Kombinationen deutliche Vorteile gegenüber konventionellen Sattelzügen aufweist. Die Kombination aus geringerer Fahrtenzahl, effizienterer Lastverteilung und höherem Ladevolumen führt zu einer nachweisbaren Minderung der CO₂-Emissionen, die im Projekt durch Prüfungen des TÜV Rheinland mit einer Reduktion von knapp 28 % quantifiziert wurde (Anlage 1). Vergleichbare Ergebnisse wurden ebenfalls in anderen internationalen Untersuchungen berichtet (Abb. 5).

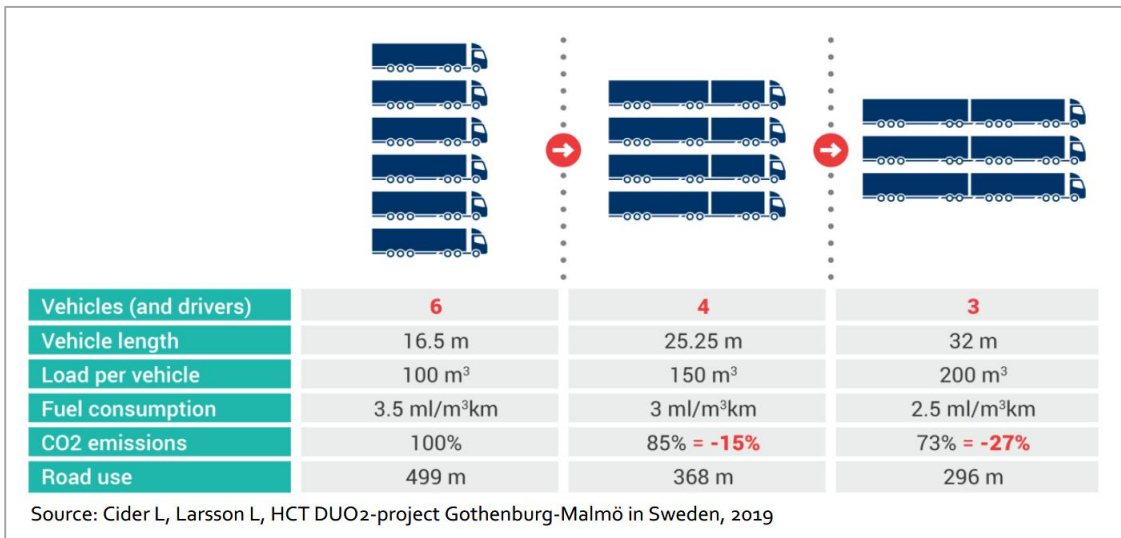


Abb. 5: Vergleich von Fahrzeugkombinationen (ACEA, 2019)

Das maximal verfügbare Ladevolumen der Kombination beträgt 200 m³. Aufgrund der geringen Dichte des Ladeguts konnte stets das volle Ladevolumina ausgeschöpft werden. Das im Projekt genutzte Ladevolumen lag bei maximal 186 m³. Demzufolge erreichte die EcoDuo-Fahrzeugkombination im Testbetrieb eine Volumenauslastung von bis zu 93 %. Bei einem zulässigen Gesamtgewicht der EcoDuo-Kombination im KV von maximal 44 t beträgt das gesamte Ladungsgewicht maximal 18t, welches im Testbetrieb in der Regel auch voll ausgeschöpft wurde (Tabelle 1).

Fahrzeu glänge	31,7 m
Fahrzeu gesamtgewicht beladen	44 t (KV)
Fahrzeu gesamtgewicht leer	25 t
Nutzlast pro Anhänger	9 t
Nutzlast Fahrzeugkombination	18 t
Ladevolumen Fahrzeugkombination	200 m³
Geschwindigkeit maximal	85 km/h
Kraftstoffverbrauch	34,3 l/100 km
Minderung der CO ₂ -Emissionen (im Vergleich zu zwei Standard-Lkw)	- 28 %

Tabelle 1: EcoDuo-Parameter im Überblick

Der Einsatz einer EcoDuo-Fahrzeugkombination ermöglicht die Reduktion der Straßenfahrten, da eine EcoDuo-Kombination die Transportleistung von zwei herkömmlichen Lkw-Fahrten übernehmen kann (doppelte Transportladung). Das führt zugleich zu einer Verringerung der gefahrenen Lkw-Kilometer und damit zu einer positiven Wirkung auf die Verkehrsnachfrage. Des Weiteren leistet das EcoDuo-Konzept einen indirekten Beitrag zur Minderung des Fahrermangels, indem durch die erhöhte Transportkapazität weniger Fahrer für die gleiche Gütermenge benötigt werden (Abb. 5).

7.2 Betriebswirtschaftliche Aspekte

Der spanische Projektpartner und Transportdienstleister SESÉ konnte beim Einsatz des EcoDuo in Spanien auf der Straße eine Verringerung der Logistikkosten um 30 % verzeichnen (Zaragoza, March 2020). In Spanien waren im Jahr 2025 bereits über 1.000 EcoDuo-Fahrzeugkombinationen im Einsatz, was einem Anstieg von 83 % seit 2023 entspricht, als die Begrenzung der Anzahl der Genehmigungen pro Unternehmen aufgehoben wurde. Das Fahrzeuggesamtgewicht beträgt in Spanien 72 t. Aufgrund der in Deutschland geltenden zulässigen Gesamtgewichtsbeschränkung von 40 t bzw. 44 t im KV lassen sich diese Kostenvorteile nicht durch das absolute Transportgewicht, sondern nur durch eine erhöhte Ladeeinheits- beziehungsweise Stellplatzkapazität realisieren, welche nur mit Volumengütern erreicht werden kann, wie beispielsweise verpackte Konsumgüter, Schnittblumen, Textilien/Bekleidung, Kunststoff- und Leichtbauteile, Dämmstoffe, Fahrzeugkomponenten, Verpackungsmaterialien, Mehrweg-/Leergutbehältern oder Kurier-, Express- und Paketdienste.

7.3 Achslastverteilung

An dieser Stelle soll nochmals betont werden, dass die untersuchte EcoDuo-Kombination lediglich eine größere Länge, aber kein größeres Gewicht als die bisher in Deutschland zugelassenen Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen besitzt. Beim EcoDuo führt die größere Zahl der Achsen zu einer besseren

Lastverteilung, wodurch die nicht angetriebenen Achsen weniger belastet werden und die gesamte Belastung auf die Straßeninfrastruktur reduziert wird.

Die wissenschaftliche Analyse der Achslastverteilung der EcoDuo-Fahrzeugkombination durch den TÜV Rheinland zeigt, dass sowohl die statischen als auch dynamischen Belastungen deutlich unter den zulässigen Grenzwerten liegen und verdeutlicht damit die infrastrukturverträgliche Auslegung der EcoDuo-Fahrzeugkombination. Die statischen Einzelachslasten liegen deutlich unter den nach § 34 StVZO festgelegten Höchstwerten (10 t für nicht angetriebene und 11,5 t für angetriebene Achsen). Dies gewährleistet, dass bereits im stationären Zustand keine Überlastungen auftreten. Die dynamische Achslastbetrachtung zeigte über alle Achsen eine Reduktion der Spitzenbelastungen, wodurch insbesondere Stahlinfrastrukturkomponenten, wie ungeschweißte Stahlbrücken, deutlich entlastet werden. Die Berechnungen ergaben, dass die Lebensdauer dieser Stahlinfrastrukturkomponenten bei Einsatz des EcoDuo um den Faktor 2,9 höher liegt als bei der Nutzung herkömmlicher Sattelzugkombinationen und unterstreicht damit die technische Vorteilhaftigkeit des EcoDuo im Hinblick auf die Schonung der Verkehrsinfrastruktur (vgl. Anlage 1).

Da das Gesamtgewicht des EcoDuo dem gesetzlich zulässigen Gesamtgewicht entspricht und auch die Achslast geringer ist, sind die Auswirkungen auf Straße und Brücken nicht relevant.

Auch im Feldversuch mit dem Lang-Lkw der BASt „wurde das Thema „Brücken“ auch nicht als relevantes Themenfeld für den Feldversuch eingestuft ... und daher aus der wissenschaftlichen Begleitung ausgeklammert“ (BASt, Feldversuch mit Lang-Lkw, 2016, S. 24), (BASt, Auswirkungen von neuen Fahrzeugkonzepten, 2008).

7.4 Kurvenlaufeigenschaften

Die EcoDuo-Fahrzeugkombination wird gebildet aus einer handelsüblichen StVZO-konformen Sattelzugmaschine und zwei handelsüblichen StVZO-konformen Sattelanhängern, welche mittels einer ungelenkten Untersetzachse (Dolly) verbunden und als Kombination an die Sattelzugmaschine angehängt werden. Bei der EcoDuo-Fahrzeugkombination handelt es sich um eine Fahrzeugkombination mit den Eigenschaften eines Sattelkraftfahrzeugs und eines Lkw-Zuges, die in dieser Form in den „Empfehlungen zu §70 StVZO“ nicht erfasst ist. Allerdings werden die in den Empfehlungen Nr. 8 und 9 der „Empfehlungen zu §70 StVZO“ für einen Außenradius von 14 m und eine Teilkreisfahrt von 120° vorgegeben Werte für Fahrzeuglängen >27 m bis 32 m von der EcoDuo-Fahrzeugkombination für die Ringflächenbreite und das Ausschermmaß eingehalten („Empfehlungen zu §70 StVZO“ in der aktuell gültigen Fassung vom 26.05.2014).

Die Untersuchungen von TÜV Rheinland haben allerdings gezeigt, dass der reguläre BO-Kraft-Kreis mit einem Außenradius von 12,50 m vom EcoDuo in der Praxis nicht durchfahren werden kann. Der zweite Sattelanhänger rollt ab einem Kurvenwinkel von ca. 270° nicht mehr sinnvoll ab, sondern das Achsaggregat wird zunehmend quer über den Boden gezogen und überstreicht dabei im Endstadium sogar den Kurvenmittelpunkt (vgl. Anlage 1).

Für das Pilotprojekt wurde ausschließlich ein ungelenkter Dolly verwendet. Denn einem sehr kleinen zu erwartenden Vorteil für die Kurvenlaufeigenschaften mit einem gelenkten Dolly steht ein deutlicher Nachteil bei der Wirtschaftlichkeit aufgrund der erheblich höheren Kosten für den gelenkten Dolly gegenüber.

Der uneingeschränkte Einsatz längerer Fahrzeuge auf öffentlichen Straßen ist dementsprechend keine Option. Vor diesem Hintergrund sollte die Nutzung der EcoDuo-Fahrzeugkombination mit einer maximalen Länge von 32 m analog zum Lang-Lkw auf ein Positivnetz beschränkt werden, das aufgrund der spezifischen Manövrier- und Kurvenlaufcharakteristik gesondert zu definieren ist. Für den

Betrieb der EcoDuo-Fahrzeugkombination sind enge Kreisfahrten, enge Kurvenradien, stark befahrene Kreuzungen, Ortsdurchfahrten sowie Baustellenbereiche zu vermeiden.



Abb. 6: Kurvenlauf der EcoDuo-Fahrzeugkombination (Quelle: Schmitz Cargobull AG)

Die Fahrdynamik der EcoDuo-Fahrzeugkombination wird maßgeblich durch ihre Kurvenlaufeigenschaften bestimmt, die sich aus der Fahrzeuglänge, der Anzahl der Gelenkpunkte sowie dem Nachlaufverhalten der Anhänger ergeben. Die Achslastverteilung stellt dabei einen wesentlichen Einflussfaktor dar, der das fahrdynamische Verhalten insbesondere hinsichtlich Stabilität, Seitenführung und Bremsverhalten unterstützt. Zur Beurteilung der Fahrdynamik der EcoDuo-Fahrzeugkombination wurden Unterlagen gesichtet, die von der Universität Zaragoza, Departamento de Ingenieria Mecanica erstellt wurden und die die grundsätzliche Fahreignung bestätigen (Zaragoza, March 2020).

7.5 Kombiniertes Verkehr

Mit dem EcoDuo verfolgt das Projekt das Ziel, den straßengebundenen Vor- und Nachlauf im Kombinierten Verkehr effizienter und klimagerechter zu gestalten. Bei der Einbindung des EcoDuo in bestehende KV-Strukturen sind lediglich gesonderte Anforderungen und Abläufe bei der Behandlung der Fahrzeugkombination im Anlieferungs- und Abholprozess am Umschlagterminal zu beachten.

Anders als bei gängigen Kombinationen müssen die beiden mit Dolly gekoppelten Sattelaufleger vor der Verladung auf den Zug entkoppelt bzw. nach der Entladung entkoppelt bzw. erneut verkoppelt werden. Dazu müssen an den Terminalstandorten ausreichende Flächenkapazitäten zur Abwicklung vorgehalten werden. Durch die Länge von gut 32 m sollten Vorstauparkplätze (Haltebereich vor Terminaleinfahrt zur Anmeldung) und die Manövrierflächen ausreichend dimensioniert sein. Bei der Einsatzplanung des EcoDuo sind hierzu bei bestehenden Terminals standortbezogene Analysen nötig (Halteflächen, Kurvenradien, Kreisverkehre etc.). Bei Terminalneuplanungen könnten diese Anforderungen bereits berücksichtigt und in entsprechende Richtlinien aufgenommen werden. Alternativ könnte durch die Ausweisung gesonderter Abstellflächen im Vorstaubereich eine Einzelzuführung der Sattelaufleger ins Terminal ermöglicht werden.

Während der Laufzeit des Pilotprojekts wurde ein pragmatischer Ansatz im Umgang mit dem Dolly, der beide Sattelaufleger verbindet, gewählt. Der Terminalbetreiber rangiert ihn selbst, stellt den Dolly auf seinem Gelände ab und verwahrt ihn bis zur Wiederverwendung. Dieses Verfahren und der damit verbundene Aufwand müssen für jeden Standort hinsichtlich der organisatorischen Umsetzung geprüft werden.

Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass der Transport der EcoDuo-Fahrzeugkombination auf der Schiene unproblematisch ist und es keines außergewöhnlichen Aufwands bedarf. Die EcoDuo-Fahrzeugkombination ist vollständig mit den bestehenden Anforderungen des Kombinierten Verkehrs kompatibel und kann uneingeschränkt auf die Bahn verladen werden. Es müssen lediglich die regulären Anforderungen erfüllt werden: Sattelaufleger mit Kodifizierung und Greifkanten sowie geeignete Waggons zur Verladung der Aufleger (Abb. 7).

Obwohl die Transportlaufzeit im Kombinierten Verkehr (KV) im Projektverlauf durchschnittlich etwa doppelt so lang war wie bei einem durchgängigen Straßentransport auf der Gesamtstrecke – bedingt durch infrastrukturelle Engpässe im

Schienenetz –, bietet der KV jedoch eine ökologisch attraktive Ergänzung zum reinen Straßentransport.



Abb. 7: Kranverladung der EcoDuo-Fahrzeugkombination auf den Waggon (Quelle: Schmitz Cargobull AG)

7.6 Fahreigenschaften

Jeder Fahrer, der Erfahrung im Fahren konventioneller Lkw hat, kann nach einer kurzen Einweisung einen EcoDuo fahren: Geschwindigkeit, Bremsweg, Kurvenfahren etc. sind ähnlich wie bei herkömmlichen Lkw. Die Qualifikation der eingesetzten Fahrer sowie Umfang und Inhalte der Schulungen müssen dabei den gesetzlichen Anforderungen gemäß §11 der Verordnung über Ausnahmen von straßenverkehrsrechtlichen Vorschriften für überlange Kraftfahrzeugkombinationen (LKWÜberStVAusnV) entsprechen. Die Fahrer müssen seit mindestens fünf Jahren ununterbrochen im Besitz der Fahrerlaubnis der Klasse CE sein und über

mindestens fünf Jahre Berufserfahrung im gewerblichen Straßengüter- oder Werkverkehr verfügen. Außerdem ist eine Unterweisung der Fahrer durch den Hersteller oder eine durch diese beauftragte Stelle zu absolvieren, bei der insbesondere das Rangieren im Mittelpunkt der Übungen stehen soll.

Die Testfahrten haben gezeigt, dass die überlange Fahrzeugkombination in einzelnen Situationen eine erhöhte Aufmerksamkeit der Fahrer erfordert, bei angepasster Fahrweise jedoch keine gravierenden Beeinträchtigungen der Verkehrssicherheit oder des Verkehrsablaufs zu beobachten waren. Stress oder eine erhöhte psychologische Beanspruchung der Fahrer konnten nicht festgestellt werden. Einschränkungen ergaben sich lediglich beim Rückwärtsfahren, bei dem der tote Winkel im Vergleich zu herkömmlichen Lkw größer ausfällt. Dieser Umstand wird jedoch durch den Einsatz zusätzlicher technischer Assistenzsysteme, insbesondere kamerabasierter Lösungen, wirksam kompensiert.

Während des Modellversuchs wurde die überlange Fahrzeugkombination nahezu ausschließlich auf Autobahnabschnitten ohne Unterbrechungen der Lenkzeiten eingesetzt. Aussagen zur Befahrbarkeit von Rastanlagen konnten daher aus der Untersuchung nicht abgeleitet werden. Gleichwohl ist festzuhalten, dass es während der gesamten Laufzeit des Modellversuchs zu keinen Unfällen mit der EcoDuo-Fahrzeugkombination kam und keine Gefährdungen anderer Verkehrsteilnehmer dokumentiert wurden. Negative Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit wurden entsprechend nicht berichtet.

7.7 Ausstattungsmerkmale im Überblick

Die EcoDuo-Fahrzeugkombination erfüllt die gemäß §5 der „Verordnung über Ausnahmen von straßenverkehrsrechtlichen Vorschriften für Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen mit Überlänge (LKWÜberStVAusnV)“ geforderten technischen Voraussetzungen.

Im Folgenden sind einige wichtige Ausstattungsmerkmale der EcoDuo-Fahrzeugkombination aufgeführt:

- Alle Achsen sind mit Luftfederung ausgestattet.
- Alle Achsen verfügen über eine automatische Achslastüberwachung.
- Die Antriebsachse verfügt über Differenzialsperre und Antriebsschlupfregelung.
- elektronisch gesteuertes Bremssystem
- Scheibenbremsen
- Die Sattelzugmaschine verfügt über eine Dauerbremsanlage, ein Spurhaltewarnsystem, einen Abstandstempomaten, ein Notbremssystem und Fahrdynamikregelsysteme und erfüllt die aktuellen Anforderungen an die indirekte Sicht.
- Die Sattelzugmaschine verfügt über ein Abbiegeassistenzsystem und über einen digitalen Fahrtschreiber gemäß Verordnung (EU) Nr. 165/2014.
- Die Fahrzeugkombination verfügt über ein Kamera-System am Heck und ist durch Konturmarkierungen aus retroreflektierendem Material gekennzeichnet.
- Die Fahrzeugkombination verfügt für die rückwärtige Kenntlichmachung über ein Schild aus retroreflektierendem Material mit der Aufschrift „Lang-Lkw“ (Schriftgröße 130 mm).
- Die Fahrzeugkombination verfügt über die gesamte Länge über Seitenmarkierungsleuchten, die bei Betätigung des Fahrtrichtungsanzeigers mitblinken (Erfüllung der Anforderungen des Absatzes Nr. 6.5.3.1 der Regelung Nr. 48).
- Die Sattelanhänger sind mit niedrig montierten Umrissleuchten ausgestattet.

8 Überführung in den Regelbetrieb

8.1 Aktuelle Rechtslage

§ 3 der Verordnung über Ausnahmen von straßenverkehrsrechtlichen Vorschriften für überlange Kraftfahrzeugkombinationen (LKWÜberStVAusnV) regelt die grundsätzlichen Voraussetzungen und Rahmenbedingungen für den Einsatz überlanger Fahrzeugkombinationen im öffentlichen Straßenverkehr. Die Vorschrift

legt insbesondere fest, unter welchen Bedingungen und auf welchen Strecken solche Fahrzeugkombinationen betrieben werden dürfen und bildet damit eine zentrale Grundlage für die verkehrssichere, infrastrukturechonende und rechtssichere Durchführung von Pilot- und Regelbetrieben.

Nach dem derzeitigen Wortlaut enthält § 3 LKWÜberStVAusnV fünf Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen mit Überlänge (Lang-Lkw). Diese bis zu 25,25 m langen Fahrzeugkombinationen (Abb. 8) müssen das jeweils freigegebene und vorab definierte Positivnetz nutzen.

Typ 1, verlängerter Sattelaufleger	Sattelzugmaschine mit Sattelanhänger (Sattelkraftfahrzeug) bis zu einer Gesamtlänge von 17,80 Metern	
Typ 2	Sattelkraftfahrzeug mit Zentralachsanhänger bis zu einer Gesamtlänge von 25,25 Metern	
Typ 3	Lastkraftwagen mit Untersetzachse und Sattelanhänger bis zu einer Gesamtlänge von 25,25 Metern	
Typ 4	Sattelkraftfahrzeug mit einem weiteren Sattelanhänger bis zu einer Gesamtlänge von 25,25 Metern	
Typ 5	Lastkraftwagen mit einem Anhänger bis zu einer Gesamtlänge von 24,00 Metern	

Abb. 8. Lang-Lkw Typ 1 bis Typ 5 der LKWÜberStVAusnV

8.2 Ausblick

Ziel des Pilotversuches war es, nach erfolgreicher Durchführung und darauffolgender wissenschaftlicher Bewertung durch TÜV Rheinland, die EcoDuo-Kombination in den Regelbetrieb in Deutschland zu überführen, wie bereits in Spanien und Skandinavien erfolgt. Ein möglicher Weg für die Überführung der EcoDuo-

Fahrzeugkombination in den Regelbetrieb wäre eine Anpassung der bestehenden Verordnung über Ausnahmen von straßenverkehrsrechtlichen Vorschriften für Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen mit Überlänge (LKWÜberStVAusV). Konkret wäre eine Erweiterung von § 3 „Fahrzeuge“ um einen neuen Fahrzeugtyp (Typ 6) erforderlich.


Typ 6	Sattelzugmaschine mit zwei Standard-Sattelanhängern bis zu einer Gesamtlänge von 32 Metern.	
-------	---	--

Abb. 9: Mögliche Nennung des EcoDuo in der LKWÜberStVAusV

Die Nutzung der EcoDuo-Fahrzeugkombination als Typ 6 mit maximal 32 m sollte ebenfalls auf einem Positivnetz erfolgen, das jedoch aufgrund der Manövrierfähigkeit gesondert definiert werden muss. In einem ersten Schritt wird die Festlegung eines Positivnetzes vorgeschlagen, das sich insbesondere an den Standorten von KV-Terminals ausrichtet.

9 Schlussbetrachtung

Vor dem Hintergrund wachsender verkehrs- und klimapolitischer Anforderungen kann das EcoDuo-Konzept einen relevanten Beitrag zur Effizienzsteigerung im Güterverkehr leisten, insbesondere durch die Erhöhung der Transportleistung pro Fahrt und die damit verbundene Reduktion von Fahrten und Emissionen. Gleichzeitig wird deutlich, dass sein Einsatz an klar definierte Rahmenbedingungen gebunden ist, etwa an geeignete Strecken, ein freigegebenes Positivnetz sowie an eine geringe Dichte des Ladungsgutes.

Das EcoDuo-Konzept stellt eine sinnvolle, technologieoffene und straßen- wie auch schienentaugliche Ergänzung für die europäischen Güterverkehre dar. Gerade der Nachweis der intermodalen Anschlussfähigkeit hebt ihn von anderen Lösungen ab und stellt seinen vielfältigen Nutzen unter Beweis. Deshalb ist es

wichtig – gerade auch für die Gestaltung des Vor- und Nachlaufs im Kombinierten Verkehr –, dass der EcoDuo in einem zukünftigen Regelbetrieb flexibel einsetzbar bleibt.

Auch das zulässige Gesamtgewicht von 40 t bzw. 44 t (KV) wird nicht überschritten und entspricht dem von herkömmlichen Lkw. Damit stellt die EcoDuo-Fahrzeugkombination eine Weiterentwicklung bestehender Lang-Lkw-Konzepte dar und baut auf bewährten Sicherheitsstandards auf. Vor diesem Hintergrund ist der EcoDuo nicht als Ersatz, sondern als ergänzende Maßnahme innerhalb eines multimodalen Güterverkehrssystems zu bewerten. Seine Stärken entfaltet das Konzept insbesondere dort, wo ökologische Zielsetzungen, Infrastrukturverträglichkeit und betriebliche Effizienz miteinander in Einklang gebracht werden können. Eine erfolgreiche Weiterentwicklung setzt daher angepasste regulatorische Rahmenbedingungen, eine verlässliche Schieneninfrastruktur sowie eine zielgerichtete Einsatzstrategie voraus.

Auch nach einer möglichen Serieneinführung des EcoDuo sind weitere Pilotversuche zu begrüßen, um zusätzliche betriebliche und technische Erfahrungen zu sammeln. Dies betrifft insbesondere Versuche mit höheren Nutzlasten zur vertieften Schädigungsbetrachtung der Infrastruktur, um die Vorteile des EcoDuo möglichst vollständig ausschöpfen zu können. Darüber hinaus wäre es sinnvoll, den Einsatz des EcoDuo in Kombination mit einer elektrischen Sattelzugmaschine (E-SZM) weiter zu untersuchen, um auch hierzu belastbare Erkenntnisse zu gewinnen.

Abschließend lassen sich die wesentlichen Eigenschaften und zentralen Merkmale der EcoDuo-Fahrzeugkombinationen zusammenfassend wie folgt darstellen:

- Der EcoDuo ist eine Kombination aus einer Sattelzugmaschine, einem ungeLenkten Dolly und zwei Standard-Sattelanhängern mit einer Gesamtlänge von 31,70 m.

- Das Gesamtgewicht dieser Fahrzeugkombination beträgt die zugelassenen maximal 44 t im KV und verteilt sich dabei auf insgesamt 10 Achsen. Die durchschnittliche Achslast sinkt auf nur 4,4 t und reduziert so die Straßenlast. Damit sind die Auswirkungen auf Straße und Brücken nicht relevant.
- Eine EcoDuo-Fahrt ersetzt zwei Fahrten mit einem konventionellen Lkw.
- Hohe Effizienzsteigerung insbesondere bei Transporten von Volumengütern.
- Besonders geeignet für den KV durch den Einsatz von zwei herkömmlichen Sattelanhängern: die bestehenden Abmessungen im Transportgewerbe bleiben unverändert, die existierende Infrastruktur im Kombinierten Verkehr ist voll nutzbar.
- Die Standard-Anhänger haben europaweit die gleichen Abmessungen und funktionieren mit jeder Zugmaschine und allen Trailern. Die Anhänger können ohne Probleme getrennt und von zwei Zugmaschinen weitergezogen werden.
- Die Sattelzugmaschine kann konventionell, elektrisch oder alternativ angetrieben werden
- Minderung der CO₂-Emissionen von knapp 28 % im Vergleich zu zwei Standard-Lkw.

10 Literaturverzeichnis

ACEA. (Mai 2019). *High Capacity Transport*. (ACEA, Herausgeber) Von

https://www.acea.auto/uploads/publications/ACEA_Paper-High_Capacity_Transport.pdf abgerufen

Baden-Württemberg, L. v. (Juli 2009). *Daimler Endbericht zum Pilotversuch „Ecocombi“*.

Stuttgart. Von https://www.landtag-bw.de/resource/blob/49392/3b458bfd76b43fc9cb257a7df1d6019e/14_5207_D.pdf abgerufen

BAST. (2008). *Auswirkungen von neuen Fahrzeugkonzepten*. Bergisch Gladbach. Von

https://www.bast.de/DE/Publikationen/BerichteBAST/Fachveroeffentlichungen/Verkehrstechnik/Downloads/V1-Neue-Fahrzeugkonzepte.pdf?__blob=publicationFile&v=1 abgerufen

BAST. (2016). *Feldversuch mit Lang-Lkw*. Bergisch Gladbach. Von

https://www.bast.de/DE/Themen/Energie/HF_6/Massnahmen/lang-lkw/v-lang-lkw-abschluss.pdf?__blob=publicationFile&v=1 abgerufen

Zaragoza, U. (March 2020). *Analysis of behaviour of modular vehicles in DUOTRAILER groups during performance tests*. Zaragoza, Spain.

11 Anlage

11.1 TÜV Rheinland: Ingenieurwissenschaftliche Untersuchung zum Pilotprojekt EcoDuo- Fahrzeugkombination in 2025

Ansprechpartner VDA

Andreas Rade

Geschäftsführer

andreas.rade@vda.de

Dr.-Ing. Sascha Pfeifer

Leiter Fachgebiet Transportpolitik

sascha.pfeifer@vda.de

Swetlana Bergmann

Referentin

swetlana.bergmann@vda.de

Der Verband der Automobilindustrie (VDA) vereint rund 620 Hersteller und Zulieferer unter einem Dach. Die Mitglieder entwickeln und produzieren Pkw und Lkw, Software, Anhänger, Aufbauten, Busse, Teile und Zubehör sowie immer neue Mobilitätsangebote.

Wir sind die Interessenvertretung der Automobilindustrie und stehen für eine moderne, zukunftsorientierte multimodale Mobilität auf dem Weg zur Klimaneutralität. Der VDA vertritt die Interessen seiner Mitglieder gegenüber Politik, Medien und gesellschaftlichen Gruppen.

Wir arbeiten für Elektromobilität, klimaneutrale Antriebe, die Umsetzung der Klimaziele, Rohstoffsicherung, Digitalisierung und Vernetzung sowie German Engineering. Wir setzen uns dabei für einen wettbewerbsfähigen Wirtschafts- und Innovationsstandort ein. Unsere Industrie sichert Wohlstand in Deutschland: Mehr als 726.000 Menschen sind direkt in der deutschen Automobilindustrie beschäftigt.

Der VDA ist Veranstalter der größten internationalen Mobilitätsplattform IAA MOBILITY und der IAA TRANSPORTATION, der weltweit wichtigsten Plattform für die Zukunft der Nutzfahrzeugindustrie.

Herausgeber Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA)
Behrenstraße 35, 10117 Berlin
www.vda.de

Deutscher Bundestag Lobbyregister-Nr.: R001243
EU-Transparenz-Register-Nr.: 9557 4664 768-90

Copyright Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA)

Nachdruck und jede sonstige Form der Vervielfältigung
ist nur mit Angabe der Quelle gestattet.

Version Vorläufige Version, März 2026

Technischer Bericht Nr.: 249351403_00_00
Prüfobjekt: EcoDuo-Fahrzeugkombination
Auftraggeber: Projektteam Pilotprojekt EcoDuo

Technischer Bericht
Nr. 249351403_00_00

Ingenieurwissenschaftliche Untersuchung zum Pilotprojekt EcoDuo-Fahrzeugkombination in 2025

Bearbeitung:

TÜV Rheinland Kraftfahrt GmbH

Geschäftsfeld
Engineering & Homologation

Am Grauen Stein
51105 Köln

Technischer Bericht Nr.: 249351403_00_00
Prüfobjekt: EcoDuo-Fahrzeugkombination
Auftraggeber: Projektteam Pilotprojekt EcoDuo

Auftraggeber: Projektteam Pilotprojekt EcoDuo bestehend aus:

Verband der Automobilindustrie e.V.
Behrenstr. 35
10117 Berlin

Schmitz Cargobull AG
Bahnhofstraße 22
48612 Horstmar

Volkswagen Konzernlogistik GmbH & Co. OHG
Heßlinger Straße 12
38440 Wolfsburg

Grupo Sesé
C/ Virgen del Buen Acuerdo
5. 50014 Zaragoza España

Kombiverkehr Deutsche Gesellschaft für kombinierten
Güterverkehr mbH & Co. KG
Zum Laurenburger Hof 76
60594 Frankfurt/Main

Auftragnehmer: TÜV Rheinland Krafftahrt GmbH
Engineering & Homologation
Am Grauen Stein
51105 Köln

TÜV Auftragsnummer: 932/7400179

QS-Nummer: 249351403

Beteiligte Personen:

Bearbeitung: Jörg Kimmerle, Christian Intfeld, Christian von Stosch,
Andreas Herr

Projektverantwortlich: B. Eng. Andreas Herr

Prüfdatum: 13.11.2024 – 15.11.2024, 03.09.2025 – 04.09.2025

Bearbeitungszeitraum: 23.09.2024 – 21.11.2025

Inhaltsverzeichnis

0.	Allgemeines.....	4
1.	Kurzfassung – Abstract	5
2.	Summary – Abstract.....	7
3.	Einleitung	9
3.1.	Motivation	9
3.2.	Aufgabenstellung.....	9
4.	Übersicht EcoDuo-Fahrzeugkombination	10
5.	Untersuchungsansatz.....	10
6.	Datenerhebung	11
6.1.	Ermittlung der statischen Achslasten	12
6.1.1.	Ergebnisse.....	13
6.2.	Ermittlung der dynamischen Achslasten	14
6.2.1.	Ergebnisse.....	16
6.3.	Schädigungsbetrachtung	17
6.3.1.	Erläuterung Rainflowzählung	18
6.3.2.	Erläuterung Miner Elementar	18
6.3.3.	Ergebnisse.....	19
6.4.	Kraftstoffverbrauch und CO ₂ -Bilanz (Tank to Wheel)	19
6.4.1.	Ergebnisse.....	20
7.	Kurvenlaufeigenschaft.....	20
8.	Zusammenfassung.....	22
9.	Ausblick.....	24

Anhänge

Anhang 1: Technische Daten Fahrzeuge

Anhang 2: Statische Achslasten

Anhang 3: Simulation der Kurvenlaufeigenschaften

Anhang 4: Literaturverzeichnis

0. Allgemeines

Dieser Technische Bericht enthält Prüfergebnisse sowie Beurteilungen von Bauteilen, Baugruppen oder kompletten Konstruktionen. Wir weisen darauf hin, dass dieser Technische Bericht keine durch den Gesetzgeber vorgeschriebenen, amtlichen Genehmigungs- bzw. Zulassungsverfahren ersetzt. Der Bericht kann jedoch der Entscheidungsfindung im Rahmen derartiger Verfahren dienlich sein. Veröffentlichung und Weitergabe dieses Berichts an Dritte ist nur in vollständiger, ungekürzter Form zulässig. Veröffentlichung oder Verbreitung von Auszügen, Zusammenfassungen, Wertungen oder sonstige Bearbeitungen und Umgestaltungen, insbesondere zu Werbezwecken, sind nur mit vorheriger schriftlicher Zustimmung der TÜV Rheinland Kraftfahrt GmbH zulässig. Kopien dieses Berichts haben nur Gültigkeit, wenn sie auf der letzten Seite dieses Berichtes mit dem Firmenstempel und der Originalunterschrift des Auftraggebers versehen sind. Diese Kennzeichnung stellt die rechtsverbindliche Übereinstimmungserklärung zwischen Kopie und Original sicher. Die Übertragbarkeit und Gültigkeit des nachfolgenden Berichts ist nur für Bauteile und Konstruktionen gegeben, die den geprüften Mustern in allen Belangen entsprechen. Die den in diesem Bericht dargestellten Ergebnissen zu Grunde liegenden Berechnungen bzw. Messdaten sind beim Auftragnehmer archiviert.

1. Kurzfassung – Abstract

Im Rahmen der ingenieurwissenschaftlichen Untersuchung wurden zwei Testreihen durchgeführt, um statische und dynamische Achslasten, Schädigungsanalysen sowie den Kraftstoffverbrauch und die CO₂-Bilanz der EcoDuo-Fahrzeugkombination im Vergleich zu einer Referenz-Fahrzeugkombination zu analysieren. Für die Datenerhebung wurden im Rahmen der Untersuchung insgesamt 971 km auf der Strecke zwischen Lehrte und Wolfsburg zurückgelegt.

- Statische Achslasten:

Im Vergleich zur Referenz ergibt sich eine statische Gewichtersparnis von 6,52 Tonnen, da eine zusätzliche Sattelzugmaschine durch eine Dollyachse ersetzt wird.

- Dynamische Achslasten:

Die dynamische Achslastbetrachtung zeigte über alle Achsen eine Reduzierung der Spitzenwerte von bis zu 8,3 Tonnen bei der EcoDuo-Fahrzeugkombination.

- Schädigungsbetrachtung:

Die Lebensdauer von Stahlinfrastrukturkomponenten, z.B. ungeschweißte Stahlbrücken, ist bei der Nutzung des EcoDuo 2,9-mal höher als bei der Referenz.

- Kraftstoffverbrauch und CO₂-Bilanz:

Die ermittelte Kraftstoffeinsparung der EcoDuo-Fahrzeugkombination lag bei 13,1 l/100 km. Diese Einsparung führte zu einer Reduktion des CO₂-Ausstoßes um 27,6 % (2,65 kg CO₂/l Diesel).

- Kurvenlaufeigenschaften

Die Fahrzeugkombination entspricht hinsichtlich der Kurvenlaufeigenschaften den Empfehlungen 8 bzw. 9 der „Empfehlungen zu §70 StVZO“ für Fahrzeugkombinationen mit einer Länge von > 27 bis 32m. Daher muss im Rahmen einer möglichen Zulassung der Fahrzeugkombination im Straßenverkehr eine separate Positivliste für nutzbare Streckenabschnitte erarbeitet werden.

Fazit:

Die Untersuchung zeigt signifikante Vorteile der EcoDuo-Fahrzeugkombination in Bezug auf Gewichtersparnis, dynamische Beanspruchung, Lebensdauer von Stahlinfrastrukturkomponenten sowie Kraftstoffverbrauch und CO₂-Bilanz im Vergleich zur Referenz-Fahrzeugkombination. Eine Lebensdauerbetrachtung des Straßenoberbaus wurde

in dieser Untersuchung nicht durchgeführt. Einflüsse auf den Straßenoberbau eines Lang-Lkws können der Untersuchungen der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) im Rahmen des Projekts „Feldversuch mit Lang-Lkw“ in Deutschland¹ entnommen werden.

Die bei der ingenieurwissenschaftlichen Untersuchung zum Pilotprojekt EcoDuo-Fahrzeugkombination erzielten Ergebnisse sind vergleichbar mit den Erkenntnissen aus dem „Feldversuch mit Lang-Lkw“ der BASt in Deutschland¹ sowie der Studie der Universität Zaragoza „Analysis of behaviour of modular vehicles in DUOTRAILER groups during performance tests“ in Spanien“ (Madrid, 2020).²



Abbildung 1 – EcoDuo-Fahrzeugkombination im Betrieb

¹ (bast, 2016)

² (Zaragoza, 2020)

2. Summary – Abstract

As part of an engineering study, two test series were carried out to analyze the static and dynamic axle loads, damage analyses, fuel consumption, and the CO₂ balance of the EcoDuo vehicle combination compared to a reference vehicle combination. For the data collection as part of the investigation, a total of 971 km was covered on the route between Lehrte and Wolfsburg.

- - Static Axle Loads:

Compared to the reference, a weight reduction of 6.52 tons was achieved, as an additional tractor unit was replaced by a dolly axle.

- Dynamic Axle Loads:

The analysis of dynamic axle loads showed a reduction in peak values of up to 8.3 tons for the EcoDuo vehicle combination.

- Damage Analysis:

The service life of steel infrastructure components, such as non-welded steel bridges, is 2.9 times higher when using the EcoDuo compared to the reference.

- Fuel Consumption and CO₂ Balance:

The EcoDuo vehicle combination achieved a fuel saving of 13.1 l/100 km, resulting in a CO₂ reduction of 27.6% (2.65 kg CO₂/l diesel).

- Cornering Performance:

The EcoDuo vehicle combination complies with Recommendations 8 and 9 of the "Recommendations for §70 StVZO" for vehicle combinations with a length of >27 to 32 m. However, for potential approval of the vehicle combination for road traffic, a separate positive list of usable road sections must be developed.

Conclusion:

The study demonstrates significant advantages of the EcoDuo vehicle combination in terms of weight reduction, dynamic stress, service life of steel infrastructure components, fuel consumption, and CO₂ balance compared to the reference vehicle combination. A service life analysis of the road surface was not conducted. Potential impacts on the road surface of long trucks can be derived from the studies conducted by the Federal Highway Research Institute

(BASt) as part of the "Field Trial with Long Trucks" project in Germany.³

The results of the engineering study on the EcoDuo vehicle combination pilot project are comparable to the findings from the "Field Trial with Long Trucks" by BASt in Germany⁴ and the study by the University of Zaragoza ("Analysis of behaviour of modular vehicles in DUOTRAILER groups during performance tests," Madrid, 2020)⁵.



Abbildung 2 – EcoDuo vehicle combination in service

³ (bast, 2016)

⁴ (bast, 2016)

⁵ (Zaragoza, 2020)

3. Einleitung

3.1. Motivation

Im Rahmen eines regelmäßigen länderübergreifenden deutsch-spanischen Warentransports wurde die EcoDuo-Fahrzeugkombination im Rahmen eines Pilotprojekts zur gleichzeitigen Optimierung der Wirtschaftlichkeit des Warentransports und zur Verringerung der Umwelt- und Klimabelastung im „Kombinierten Verkehr Straße-Schiene“ für die Dauer von etwa einem Jahr eingesetzt und getestet.

Der Betrieb der EcoDuo-Fahrzeugkombination wurde als Pilotprojekt wissenschaftlich begleitet und abschließend bewertet („Pilotprojekt EcoDuo“). Das Pilotprojekt wurde unter der Federführung des Verbands der Automobilindustrie (VDA) umgesetzt, der die Zusammenarbeit der Partner koordinierte. Die weiteren Projektpartner sind Schmitz Cargobull AG, Volkswagen Konzernlogistik GmbH & Co. OHG, Grupo Sesé und Kombiverkehr Deutsche Gesellschaft für kombinierten Güterverkehr mbH & Co. KG. Vergleichbare Fahrzeugkombinationen sind bereits in Spanien und anderen Ländern seit längerem im Einsatz, zumeist als serienmäßige Lösung im regulären Betrieb. Zweck des Pilotprojekts ist es, eine deutliche Verbesserung der Umwelt- und Klimaverträglichkeit des Warentransports bei gleichzeitiger Verbesserung der Wirtschaftlichkeit über den gesamten Transportweg durch eine weitreichende Einbindung des Verkehrsträgers Schiene zu erreichen.

3.2. Aufgabenstellung

Im Auftrag des Projektteams Pilotprojekt EcoDuo hat die TÜV Rheinland Kraftfahrt GmbH (TRK) eine ingenieurwissenschaftliche Untersuchung des Projekts „EcoDuo“ durchgeführt. Bei dieser Untersuchung wurden der Kraftstoffverbrauch sowie CO₂ Einsparung wie auch die dynamischen Achslasten ermittelt. Diese Daten wurden jeweils im Vergleich mit einem konventionellen, identisch beladenen Fahrzeug auf gleicher Transportstrecke erfasst und abgeglichen. Darüber hinaus hat der TÜV Rheinland vorab die Fahrzeugprüfung und die Erstellung eines Gutachtens für die notwendige Ausnahmegenehmigung nach §70 StVZO durchgeführt.

4. Übersicht EcoDuo-Fahrzeugkombination

Die EcoDuo-Fahrzeugkombination wird gebildet aus einer 2-achsigen Sattelzugmaschine und zwei Sattelanhängern, welche durch einen Dolly verbunden sind. Die Fahrzeugkombination hat insgesamt 10 Achsen und eine Gesamtlänge von 31,70 m und wird mit einer zulässigen Gesamtmasse von max. 44 t im kombinierten Verkehr Straße-Schiene betrieben.

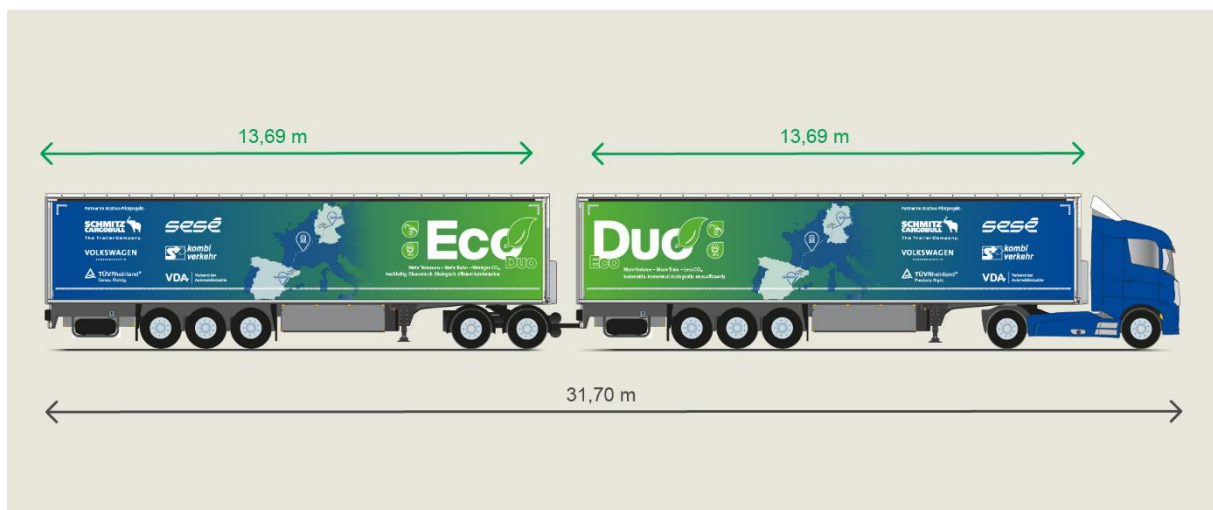


Abbildung 3 – EcoDuo-Fahrzeugkombination ⁶

Die technischen Daten der bei der Untersuchung verwendeten Fahrzeuge sind im Anhang 1 dokumentiert.

5. Untersuchungsansatz

Im Rahmen des Pilot-Projekts soll der Kraftstoffverbrauch sowie die Belastung durch die EcoDuo-Fahrzeugkombination bewertet werden. Diese Bewertung soll im Vergleich zu Standard-Sattelzügen, welche im kombinierten Verkehr eingesetzt werden, stattfinden. Um eine Bewertung durchführen zu können, wurde im Rahmen der ingenieurwissenschaftlichen Untersuchung zunächst die zu untersuchenden Beladungszustände für die EcoDuo-Fahrzeugkombination sowie die Referenz-Fahrzeugkombination, bestehend aus zwei Standard-Sattelzügen, definiert. Hierbei wurde der Ansatz verfolgt, dass zwei Standard-Sattelzüge erforderlich sind, um die Beladung (Volumen und Gewicht) einer EcoDuo-

⁶ (VDA, 2025)

Fahrzeugkombination zu transportieren. Dieser Ansatz basiert auf einem maximal zulässige Zugesamtgewicht im kombinierten Verkehr von 44 Tonnen, sowie einer gleichmäßigen Beladung auf den Sattelaufliegern.

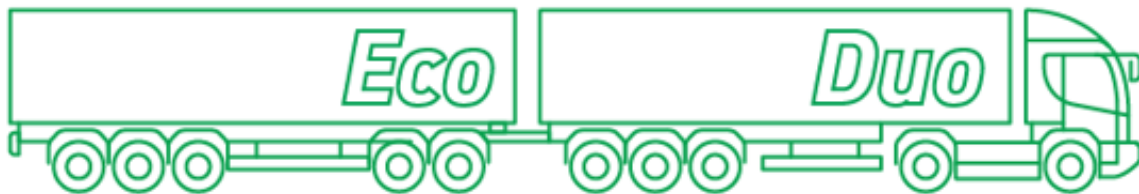


Abbildung 4 – Definition EcoDuo-Fahrzeugkombination



Abbildung 5 - Definition Referenz-Fahrzeugkombination

Auf Basis dieses Ansatzes wurde die Beladung für die Untersuchung so festgelegt, dass das maximal zulässige Gesamtgewicht von 44 Tonnen (Zielgewicht) für die EcoDuo-Fahrzeugkombination erreicht wird. Gleichzeitig wurde darauf geachtet, dass die Zuladung der einzelnen Sattelaufleger gleichmäßig verteilt ist. Daraus ergab sich eine Zuladung von jeweils 8.900 kg je Trailer.

Um die dynamischen Achslasten zu bestimmen, wurden Fahrversuche im Straßenbetrieb mit der EcoDuo-Fahrzeugkombination sowie einer Referenz-Fahrzeugkombination auf der Strecke zwischen Lehrte und Wolfsburg durchgeführt. Während dieser Fahrten wurden mithilfe von Dehnungsmessstreifen die Beanspruchungs-Zeit-Verläufe aufgezeichnet, die anschließend vergleichend ausgewertet wurden.

Zur Ermittlung des Kraftstoffverbrauchs bzw. der CO₂ Einsparung wurde zunächst die Bordcomputeranzeige der Sattelzugmaschine verifiziert. Im Anschluss wurde diese Anzeige für die weitere Betrachtung verwendet.

6. Datenerhebung

Im Rahmen der ingenieurwissenschaftlichen Untersuchung wurden zwei Testreihen zur

Datenerhebung durchgeführt. Dabei wurden Fahrten mit insgesamt 971km mit den definierten Fahrzeugkombinationen in definierten Beladungszuständen auf der Strecke zwischen Lehrte und Wolfsburg absolviert. Im Zuge der ingenieurwissenschaftlichen Untersuchung wurden die folgenden Betrachtungen durchgeführt:

6.1. Ermittlung der statischen Achslasten

Zur Ermittlung der tatsächlichen statischen Achslasten und zur Überprüfung der bereitgestellten Beladungszustände wurden die Fahrzeugkombinationen mithilfe von Plattenwagen verwogen. Die Messungen aller Fahrzeugkombinationen wurden an einem definierten Platz im DB-Hub in Lehrte durchgeführt. Die Verwiegung erfolgte achsweise für jede Fahrzeugkombination. Um mögliche Höhenunterschiede zwischen der Achse auf der Waage und den angrenzenden Achsen auszugleichen, wurden Auffahrmatten verwendet. Die Anordnung der Wägeeinrichtungen sowie ein beispielhaftes Ereignis einer Messung sind in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt.



Abbildung 6 – Ermittlung der statischen Achslasten

Die für die Untersuchung benötigte Beladung wurde durch Sesé in Form von Transportbehältern zur Verfügung gestellt. Bei der Beladung wurde auf eine gleichförmige Auslastung der Sattelaufleger geachtet. Die Nachfolgenden Bilder zeigen die EcoDuo-Fahrzeugkombination an der Ladestell sowie die bei den Fahrten genutzte Beladungssituation.



Abbildung 7 –EcoDuo-Fahrzeugkombination an der Ladestelle



Abbildung 8 – Beladungssituation EcoDuo-Fahrzeugkombination

6.1.1. Ergebnisse

Die Ermittlung der statischen Achslasten zeigte mit einer Toleranz von +/- 2% eine gute gleichförmige Beladung der Sattelaufleger und der Zielwert des EcoDuo Fahrzeug-Gesamtgewichts von 44 Tonnen wurde mit einer Abweichung von -0,7% erreicht. Somit ergeben sich für die Untersuchung folgenden Fahrzeug-Gesamtgewichte:



Fahrzeugkombination	Nutzlast pro Auflieger	Fahrzeug-Gesamtgewicht
EcoDuo 	AVG 8.880 kg (+/- 2 %)	43.695 kg (0,7 % unter Zielwert)
Referenz 		24.970 kg x 2 = 49.940 kg

Tabelle 1: Übersicht Beladung Fahrzeugkombinationen

Als Ergebnis der Betrachtung der statischen Achslasten kann festgehalten werden, dass die EcoDuo- im Vergleich zur Referenz-Fahrzeugkombination eine statische Gewichtersparnis von 6,52 Tonnen aufweist. Dies ist damit zu erklären, dass in der EcoDuo-Fahrzeugkombination eine zweite Sattelzugmaschine durch eine Dollyachse ersetzt wird und somit dadurch bereits einen Gewichtsvorteil aufweist. Grafische Darstellungen zu den einzelnen statischen Achslasten je Fahrzeugkombination sind in dem Anhang 2 dokumentiert.

6.2. Ermittlung der dynamischen Achslasten

Zur Ermittlung der dynamischen Achslasten wurde die Fahrzeugkombination an allen 10 Achsen einseitig mit Dehnungsmesstreifen (DMS) in Form von Biegehalbbrücken ausgerüstet. Insgesamt wurden somit 20 DMS appliziert und mit entsprechenden Messkabeln versehen. Durch die applizierten DMS ist es möglich, die dynamischen Bauteilbeanspruchungen an der jeweiligen Achse während des normalen Betriebs auf der Straße in Form eines Beanspruchungszeitkollektivs zu ermitteln. Die dynamische Achslast setzt sich zusammen aus der statischen Achslast und der dynamischen Achslaststeigerung.

Die Applikationsorte wurden so gewählt, dass ein Rückschluss auf die Belastung der Fahrbahnoberfläche gezogen werden kann. Eine beispielhafte Applikation ist in den folgenden Abbildungen zu sehen:



Abbildung 9 – Applikation DMS

Während eines Entladevorgangs der EcoDuo-Fahrzeugkombination wurde die Empfindlichkeit der Dehnungsmessstreifen (DMS) in der Einheit N/mm^2 pro Tonne ermittelt. Diese Empfindlichkeit dient als Basis, um die über die DMS gemessenen Bauteilspannungen in die entsprechende Achslast (in Tonnen) umzurechnen.

Im Rahmen der Untersuchung der dynamischen Achslasten wurden Überfahrten über eine Normschwelle am DB Hub Lehrte durchgeführt. Ziel dieser Manöver war es, die dynamischen Effekte auf die EcoDuo-Fahrzeugkombinationen zu analysieren. Dabei geben die Messungen einen ersten Überblick über das Fahrverhalten und die Einflüsse von Fahrbahnunebenheiten auf die auftretenden Achslasten. Aus den ermittelten Spitzenwerten der dynamischen Achslasten kann ein Stoßfaktor berechnet werden, der die zusätzlichen Belastungen durch kurzfristige Stoßeinwirkungen beschreibt.



Abbildung 10 – Überfahren der Normschwelle

6.2.1. Ergebnisse

Die Auswertung der ermittelten Spitzenwerte zeigt an der Antriebsachse der Zugmaschine einen Stoßfaktor von 1,2, was bedeutet, dass die dynamische Achslast um 20 % höher ist als die statische Achslast. Die ermittelten statischen Achslasten sind im Anhang 2 dokumentiert. Dies lässt auf eine entsprechende Erhöhung der mechanischen Beanspruchung an dieser Achse schließen.

Ein Vergleich der EcoDuo-Fahrzeugkombination mit einer Referenz-Fahrzeugkombination zeigt hingegen klare Vorteile der EcoDuo-Lösung, insbesondere an den Achsen 6 und 7. Hier wurde eine dynamische Einsparung von etwa 4 Tonnen identifiziert.

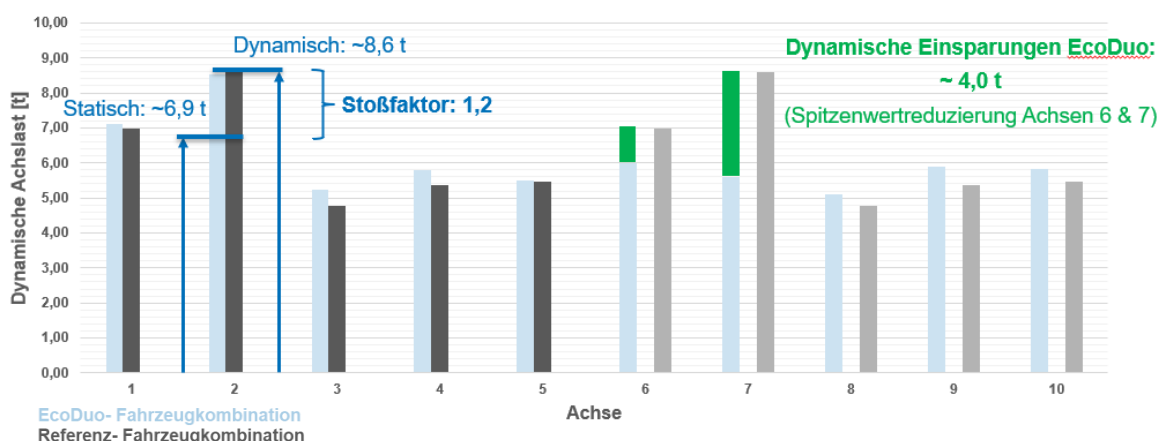


Abbildung 11 – Ergebnisse Spitzenwertbetrachtung Überfahrt Schwelle

Um die dynamischen Achslasten unter realen Betriebsbedingungen auf der Straße zu ermitteln, wurden Messfahrten mit beiden Fahrzeugkombinationen – der EcoDuo-Kombination und der Referenz-Fahrzeugkombination – auf der Strecke zwischen Lehrte und Wolfsburg durchgeführt. Dabei wurden die Spannungs-Zeit-Verläufe während der Fahrten aufgenommen und analysiert.

Im ersten Schritt wurde eine Spitzenwertbetrachtung durchgeführt, um die höchsten auftretenden Belastungen zu identifizieren. Diese Analyse liefert wichtige Erkenntnisse über die dynamischen Einflüsse und Belastungsspitzen, die im Straßenverkehr entstehen, und ermöglicht einen direkten Vergleich der Leistungs- und Belastungsunterschiede der beiden Fahrzeugkombinationen.

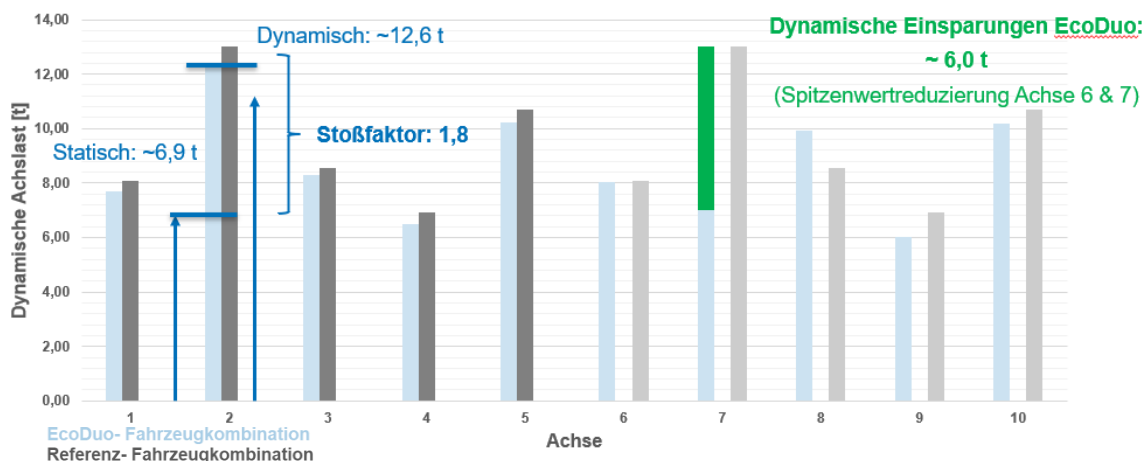


Abbildung 12 – Ergebnisse Spitzenwertbetrachtung Fahrten Lehrte – Wolfsburg

Die Messfahrten unter Realbedingungen ergaben an der Antriebsachse der Zugmaschine einen Stoßfaktor von 1,8, was auf eine 80 % höhere dynamische Achslast im Vergleich zur statischen Achslast hinweist. Diese erhöhte Belastung spiegelt die dynamischen Einflüsse wider, die während des realen Fahrbetriebs auftreten.

Auch unter Realbedingungen zeigt die EcoDuo-Fahrzeugkombination ihre Vorteile im Vergleich zur Referenz-Fahrzeugkombination auf. Durch die geringeren Achslasten an den Achsen 6 und 7 konnte eine dynamische Einsparung von etwa 6 Tonnen festgestellt werden. Über alle Achsen zeigt sich eine Spitzenwertreduzierung von insgesamt 8,3 Tonnen.

6.3. Schädigungsbetrachtung

Zusätzlich zur Spitzenwertbetrachtung wurden die dynamischen Straßenlastdaten einer weiterführenden Analyse unterzogen. Hierbei wurden die ermittelten Beanspruchungs-Zeit-Verläufe mittels einer Rainflow-Zählung klassifiziert, um ein Belastungskollektiv abzuleiten. Anschließend wurde eine Schädigungsbetrachtung durchgeführt, basierend auf der Miner-Elementar-Schadensakkumulation. Für die Lebensdauerbetrachtung wurde eine Wöhlerlinie für ungeschweißte Stahlbauteile herangezogen.

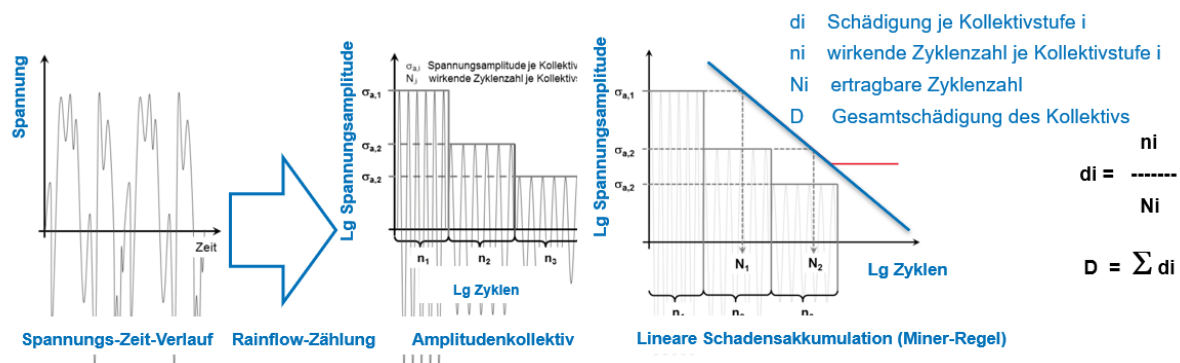


Abbildung 13 – Ablauf Schadensbetrachtung

6.3.1. Erläuterung Rainflowzählung

Die Rainflow-Zählmethode ist ein Verfahren zur Auswertung von Last-Zeit-Verläufen, das in der Ermüdungsanalyse Anwendung findet. Sie dient dazu, komplexe zyklische Lastfolgen auf einzelne Lastspielklassen (Zyklen) zu reduzieren, um so eine Lebensdauerabschätzung eines Bauteils vornehmen zu können. Dabei werden die Spannungs- oder Dehnungszeitreihen in sogenannte "Halbzyklen" zerlegt, die nach bestimmten Kriterien ("Regeln der Rainflow-Methode") zu vollständigen Lastzyklen zusammengeführt werden. Dieses Verfahren ist besonders nützlich bei variablen Amplituden und ermöglicht die Anwendung der linearen Schadensakkumulation nach Miner.⁷

6.3.2. Erläuterung Miner Elementar

Die Miner-Elementar-Methode ist eine Erweiterung der klassischen Miner-Regel, die in der Betriebsfestigkeit zur Lebensdauerabschätzung von Bauteilen unter zyklischer Belastung verwendet wird. Während die klassische Miner-Regel die Schädigung für Gruppen von Lastwechseln mit ähnlicher Amplitude zusammenfasst, betrachtet die Miner-Elementar-Methode die Schädigung auf der Ebene einzelner Belastungszyklen. Dies ermöglicht eine detailliertere Analyse, insbesondere bei komplexen Lastkollektiven.

Das Grundprinzip der Miner-Elementar-Methode basiert darauf, dass die zyklische Belastung eines Bauteils zunächst in einzelne Zyklen zerlegt wird, beispielsweise mithilfe der Rainflow-Zählmethode. Für jeden dieser Zyklen wird die Schädigung separat berechnet, basierend auf

⁷ (Matsuishi, 1968)

der Spannungsamplitude des Zyklus und der Wöhlerlinie des Materials. Die Schädigung eines einzelnen Zyklus ergibt sich aus dem Kehrwert der Anzahl der Lastwechsel, die das Bauteil bei dieser Spannungsamplitude bis zum Bruch aushalten würde. Die Gesamtschädigung wird schließlich durch die Summe der Schädigungen aller Zyklen ermittelt. Wenn die Gesamtschädigung den Wert 1 erreicht oder überschreitet, wird angenommen, dass das Bauteil versagt.⁸

6.3.3. Ergebnisse

Durch die Verwendung der gemessenen dynamischen Straßenlastdaten für jede Achse und unter Berücksichtigung der linearen Schadensakkumulation (Miner-Elementar) lässt sich die Lebensdauer von Stahlinfrastrukturkomponenten, z.B. ungeschweißte Stahlbrücken, bei Verwendung des EcoDuo im Vergleich zur Referenz als 2,9-mal höher berechnen.

6.4. Kraftstoffverbrauch und CO₂-Bilanz (Tank to Wheel)

Zur Analyse des Kraftstoffverbrauchs sowie der damit verbundenen CO₂-Einsparungen wurden während der Testfahrten die Daten der Kraftstoffverbrauchsanzeige des Bordcomputers überprüft. Der angezeigte Verbrauch wurde durch begleitete Tankvorgänge verifiziert, bei denen der tatsächlich verbrauchte Kraftstoff volumetrisch ermittelt wurde. Der gemessene Verbrauch aus den Nachtankungen betrug 258,64 Liter, während die Telemetriedaten des Bordcomputers einen Verbrauch von 260,3 Litern auswiesen. Mit einer Differenz von 1,66 Litern entspricht dies einer Abweichung von etwa 0,7 %.

Für die weitere Betrachtung des Kraftstoffverbrauchs wurden die Telemetriedaten des Fahrzeugs verwendet. Während der durchgeführten Versuchsfahrten wurden folgende durchschnittlichen Kraftstoffverbräuche für die Fahrzeugkombinationen ermittelt:

- Referenz einzeln: 23,7l/100 km
- Referenz gesamt: 47,4l/100 km
- EcoDuo: 34,3 l/100 km

⁸ (Haibach, 2006)

6.4.1. Ergebnisse

Der ermittelte Kraftstoffverbrauch liegt bei der Referenz-Fahrzeugkombination bei 47,4 l/100 km. Im Vergleich dazu senkt der Einsatz des EcoDuo-Fahrzeugs den durchschnittlichen Verbrauch auf 34,3 l/100 km, was eine Ersparnis von 13,1 l/100 km bedeutet.

Die daraus resultierende CO₂-Bilanz wurde auf Basis eines Durchschnittswerts von 2,65 kg CO₂ pro Liter Diesel (Tank-to-Wheel) berechnet. Die Kraftstoffeinsparung durch den EcoDuo führt zu einer Reduktion des CO₂-Fußabdrucks um 27,6 %.

7. Kurvenlaufeigenschaft

Bei der EcoDuo-Fahrzeugkombination handelt es sich um eine Fahrzeugkombination mit den Eigenschaften eines Sattelkraftfahrzeugs und eines LKW-Zuges, die in dieser Form in den „Empfehlungen zu §70 StVZO“ nicht erfasst ist. In Anlehnung an die Richtlinien Nr. 8 und 9 der „Empfehlungen zu §70 StVZO“ wurde zur Prüfung der Kurvenlaufeigenschaften ein Kreis mit einem Außenradius von 14,0 m benutzt und in einer ersten Messung eine Teilkreisfahrt über 120° mit tangentialer Ein- und Ausfahrt durchgeführt. In einer zweiten Messung wurde die Fahrzeugkombination vollständig in den Kreis gefahren, um die dabei benötigte Ringfläche aufzunehmen.

Die jeweils gemessenen Werte für das Ausschermaß und die überstrichenen Ringflächenbreiten können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden.

Länge der Fahrzeugkombination [m]	Außenradius [m]	Kreisfahrt t [°]	Ringflächenbreite [m]	Ausschermaß [m]
31,7	14	120	max. 7,0	0,15
31,7	14	360	9,90	0,15

Tabelle 2 Kurvenlaufeigenschaft

Bewertung: Die in den Empfehlungen Nr. 8 und 9 der „Empfehlungen zu §70 StVZO“ für einen Außenradius von 14m und eine Teilkreisfahrt von 120° vorgegeben Werte für Fahrzeuglängen >27m bis 32 m werden von der EcoDuo-Fahrzeugkombination für die Ringflächenbreite und das Ausschermaß eingehalten.

Im Anschluss wurde zu Vergleichszwecken versucht, den regulären BO-Kraft-Kreis mit einem Außenradius von 12,50 m zu durchfahren. Es wurde im Ergebnis festgestellt, dass ein Kreis mit einem Außenradius von 12,50 vom EcoDuo in der Praxis nicht durchfahren werden kann. Der zweite Sattelanhänger rollt ab einem Kurvenwinkel von ca. 270° nicht mehr sinnvoll ab, sondern das Achsaggregat wird zunehmend quer über den Boden gezogen und überstreicht dabei im Endstadium sogar den Kurvenmittelpunkt.

Vor der Überprüfung der Kurvenlaufeigenschaft in der Praxis erfolgte seitens der Firma Schmitz Cargobull AG eine computergestützte Simulationsberechnung (Ergebnis siehe Anlage 3). Die reale Überprüfung hat eine gute Übereinstimmung mit den berechneten Werten des Simulationsprogramms der Firma Schmitz Cargobull AG ergeben, wobei in der Praxis sogar eine etwas kleinere überstrichene Ringflächenbreite gemessen wurde als zuvor berechnet wurde. Bei der realen Überprüfung der Kurvenlaufeigenschaften wurde ein Dolly ohne einzeln lenkbare Achsen verwendet. Durch den Einsatz einzeln lenkbarer Achsen des Dollys ist theoretisch noch eine leichte Verbesserung der Kurvenlaufeigenschaft im Hinblick auf eine Verringerung der überstrichenen Ringflächenbreite zu erwarten. Da die Doppelachse des Dolly insgesamt aber lenkbar ist und der Drehpunkt der Doppelachse quasi unter dem Sattelzapfen des zweiten Sattelanhängers liegt, ist demzufolge durch einzeln lenkbare Achsen am Dolly in der Praxis keine wirklich relevante Verbesserung der Kurvenlaufeigenschaften zu erwarten. Mit Hilfe des Simulationsprogramms wurde dies als Alternative ebenfalls überprüft. Für eine praktische Überprüfung stand zum Testzeitpunkt kein gelenktes Dolly zur Verfügung. Es ist jedoch mit angemessener Wahrscheinlichkeit davon auszugehen, dass sich die theoretischen Werte bei einer praktischen Überprüfung in gleicher Weise bestätigen werden, wie dies bei dem un gelenkten Dolly der Fall war. Diesem sehr kleinen zu erwartenden Vorteil für die Kurvenlaufeigenschaften mit einem gelenkten Dolly steht ein deutlicher Nachteil bei der Wirtschaftlichkeit aufgrund der erheblich höheren Kosten für den gelenkten Dolly gegenüber. Aus vorgenannten Gründen wird für das Pilotprojekt ausschließlich ein un gelenktes Dolly verwendet.

Die Abweichungen hinsichtlich der Kurvenlaufeigenschaften (§32d StVZO) führen dazu, dass für die EcoDuo-Fahrzeugkombination die Ermittlung der möglich nutzbaren Streckenverläufe notwendig ist. Aufgrund der besonderen Länge der Fahrzeugkombination wurde zusätzliches Augenmerk darauf gelegt, dass die Fahrzeugkombination über die technische Ausstattung

verfügt, die im Rahmen des §5 der LKWÜberStVAusnV, auch bekannt als Lang-LKW-VO, gefordert wird.

8. Zusammenfassung

Im Rahmen der ingenieurwissenschaftlichen Untersuchung wurden zwei Testreihen durchgeführt, um statische und dynamische Achslasten, Schädigungsanalysen sowie den Kraftstoffverbrauch und die CO₂-Bilanz der EcoDuo-Fahrzeugkombination im Vergleich zu einer Referenz-Fahrzeugkombination zu analysieren. Für die Datenerhebung wurden im Rahmen der Untersuchung insgesamt 971 km auf der Strecke zwischen Lehrte und Wolfsburg zurückgelegt.

- Statische Achslasten:

Im Vergleich zur Referenz ergibt sich eine statische Gewichtersparnis von 6,52 Tonnen, da eine zusätzliche Sattelzugmaschine durch eine Dollyachse ersetzt wird.

- Dynamische Achslasten:

Die dynamische Achslastbetrachtung zeigte über alle Achsen eine Reduzierung der Spitzenwerte von bis zu 8,3 Tonnen bei der EcoDuo-Fahrzeugkombination.

- Schädigungsbetrachtung:

Die Lebensdauer von Stahlinfrastrukturkomponenten, z.B. ungeschweißte Stahlbrücken, ist bei der Nutzung des EcoDuo 2,9-mal höher als bei der Referenz.

- Kraftstoffverbrauch und CO₂-Bilanz:

Die ermittelte Kraftstoffeinsparung der EcoDuo-Fahrzeugkombination lag bei 13,1 l/100 km. Diese Einsparung führte zu einer Reduktion des CO₂-Ausstoßes um 27,6 % (2,65 kg CO₂/l Diesel).

- Kurvenlaufeigenschaften

Die Fahrzeugkombination entspricht hinsichtlich der Kurvenlaufeigenschaften den Empfehlungen 8 bzw. 9 der „Empfehlungen zu §70 StVZO“ für Fahrzeugkombinationen mit einer Länge von > 27 bis 32m. Daher muss im Rahmen einer möglichen Zulassung der Fahrzeugkombination im Straßenverkehr eine separate Positivliste für nutzbare

Streckenabschnitte erarbeitet werden.

Fazit:

Die Untersuchung zeigt signifikante Vorteile der EcoDuo-Fahrzeugkombination in Bezug auf Gewichtersparnis, dynamische Beanspruchung, Lebensdauer von Stahlinfrastrukturkomponenten sowie Kraftstoffverbrauch und CO₂-Bilanz im Vergleich zur Referenz-Fahrzeugkombination. Eine Lebensdauerbetrachtung des Straßenoberbaus wurde in dieser Untersuchung nicht durchgeführt. Einflüsse auf den Straßenoberbau eines Lang-Lkws können der Untersuchungen der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) im Rahmen des Projekts „*Feldversuch mit Lang-Lkw*“ in Deutschland⁹ entnommen werden.

Die bei der ingenieurwissenschaftlichen Untersuchung zum Pilotprojekt EcoDuo-Fahrzeugkombination erzielten Ergebnisse sind vergleichbar mit den Erkenntnissen aus dem „*Feldversuch mit Lang-Lkw*“ der bast in Deutschland¹ sowie der Studie der Universität Zaragoza „*Analysis of behaviour of modular vehicles in DUOTRAILER groups during performance tests*“ in Spanien“ (Madrid, 2020).¹⁰

⁹ (bast, 2016)

¹⁰ (Zaragoza, 2020)

9. Ausblick

Die Ergebnisse der Untersuchung verdeutlichen das bedeutende wirtschaftliche und ökologische Potenzial der EcoDuo-Fahrzeugkombination. Dieses Konzept ermöglicht eine effizientere Ressourcennutzung und reduziert die Belastung der Infrastruktur. Durch den Wegfall einer zweiten Sattelzugmaschine entsteht ein statischer Gewichtsvorteil von 6,5 Tonnen, welcher sich positiv auf die Gesamtbelastung auswirkt. Gleichzeitig führt dieser Wegfall ebenfalls zu einer Reduzierung des CO₂ Fußabdrucks im Herstellungsprozess. Typische CO₂-Emissionen in dieser Phase liegen laut Industrieberichten und LCA-Studien (Life Cycle Assessment) zwischen: 30–60 Tonnen CO₂ pro Sattelzugmaschine. [Quelle: "Life Cycle Emissions of Commercial Vehicles: A Study of Heavy-Duty Diesel Trucks," (J. Odhams et al.)]. Nach Angaben des Herstellers SCB liegen die CO₂-Emissionen einer Dollyachse im Herstellungsprozess bei etwa 5,72 Tonnen CO₂ pro Dollyachse. Bezogen auf die Sattelzugmaschinen führt die EcoDuo-Kombination im Herstellungsprozess zu einer Reduzierung des CO₂ Fußabdrucks von 24,28 bis 54,28 Tonnen CO₂ beziehungsweise 40 bis 45 %.

Um die Vorteile des EcoDuo-Konzepts voll auszuschöpfen, wäre es sinnvoll, das zulässige Gesamtgewicht der Fahrzeugkombination zu erhöhen. Theoretisch könnte der EcoDuo, bei äquivalenter Schädigung wie herkömmliche Referenzkombinationen, um ca. 5 Tonnen mehr beladen werden. Dies führt zu einem Fahrzeuggesamtgewicht von rund 49 Tonnen. Es sei jedoch zu beachten, dass diese Berechnungen auf theoretischen Annahmen und den Messdaten dieser Untersuchung basieren. Fahrzeugkombinationen mit höheren zulässigen Gesamtgewichten müssen gesondert untersucht und betrachtet werden. Für diese Untersuchung sind unter anderem weitere Testfahrten mit höheren Nutzlasten auf Testgeländen oder auf einer für das Fahrzeuggewicht zugelassenen Strecke sowie weitere Betrachtungen hinsichtlich der Schädigung der Infrastruktur notwendig.

Hinsichtlich des Kraftstoffverbrauchs zeigen die theoretischen Berechnungen ebenfalls Vorteile für den EcoDuo im Vergleich zur Referenzfahrzeugkombination. Für den Fall höherer Gesamtgewichte ist der Kraftstoffverbrauch erneut zu überprüfen, da die Fahreigenschaften zu den bisherigen abweichen können.

Insgesamt zeigt der EcoDuo ein erhebliches Potenzial, den Transportsektor durch eine

bessere Ressourcenauslastung, eine Reduktion des Fahrzeugbedarfs und geringere Emissionen nachhaltiger zu gestalten. Um dieses Potenzial jedoch realisieren zu können, sind praxisnahe Tests erforderlich sowie Anpassungen der rechtlichen Vorschriften zu prüfen.

Die EcoDuo-Fahrzeugkombination könnte in Zukunft in den Regelbetrieb überführt werden, wenn diese innerhalb der LKWÜberStVAusnV als zusätzlicher potenzieller Typ 6 aufgenommen wird. Im Rahmen diese Überführung müssen die Besonderheiten der EcoDuo-Fahrzeugkombination Berücksichtigung finden. Dies ist insbesondere eine Festlegung eines Positivnetz, dass von den übrigen Fahrzeugkombinationstypen unabhängig ist. Bei der Festlegung des Streckennetzes kann dann neben infrastrukturbedingten Einschränkungen insbesondere die Abweichung bei den Kurvenlaufeigenschaften berücksichtigt werden.

Köln den 16.01.2026

Bearbeitung

Bearbeitung

B.Eng. Andreas Herr

Arbeitsgebietsleiter Labor Köln
Lokales Geschäftsfeld M.04 Deu Nord
Engineering & Type Approval

Dipl.-Ing. Christian von Stosch

Arbeitsgebietsleiter LKW, Bus & Importeure
Lokales Geschäftsfeld M.04 Deu Nord
Engineering & Type Approval

Geprüft:

**Thomas
Kampmann**

Digital signiert von: Thomas
Kampmann
Name: CN = Thomas Kampmann
email = kampmann@de.tuv.com
Datum: 2026.01.19 08:49:12 +
01'00'

Dipl.-Ing. Thomas Kampmann

Regionaler Geschäftsfeldleiter M.04 Deutschland
Engineering & Type Approval

Anhang 1: Technische Daten Fahrzeuge

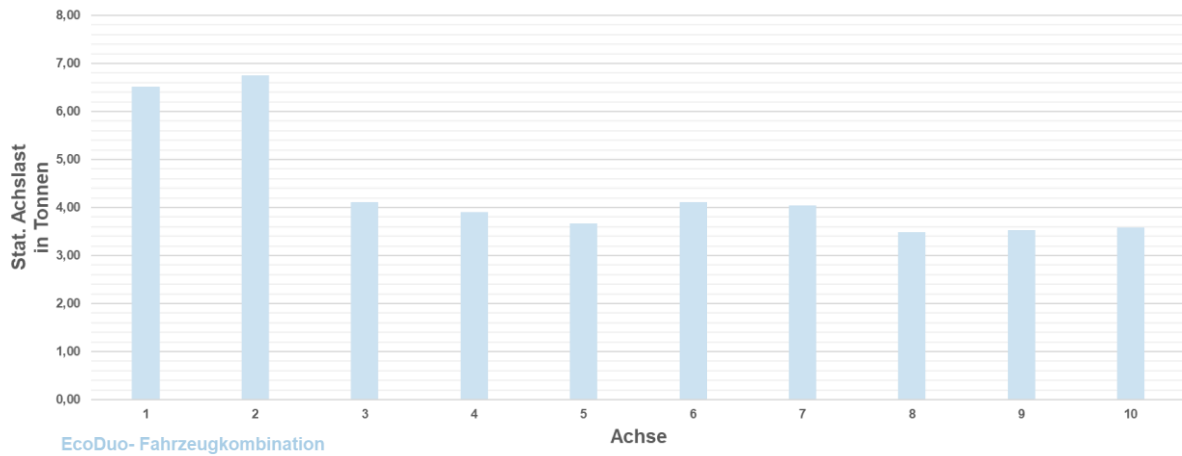
	Kraftfahrzeug	ErsterSattelanhänger	Untersetzachse (Dolly, ungelenkt)
Kennzeichen	EVE 446	E VE 2888	EVE 3888
Fahrzeug- u. Aufbauart	Sattelzugmaschine	Sattelanhänger, Plane und Spriegel	Anhänger, Untersetzachse
Fahrzeughersteller	MAN	Schmitz Cargobull AG	Schmitz Cargobull AG
Fahrzeugklasse	N3	04	04
Typ	TGX	SCB*S3	NKS*SCB*Y2
Variante	13K04ZBBAAAT5AA	06VLN	99VLN
Version	GOACF	39B4AHOB3GO	16BHOBOGO
Fahrzeug Ident.-Nr.	WMA13KZZ2RP27544	WSM00000003428747	WSM0000000342874
Höchstgeschw. (km/h)	85	100	100
Leistung (kW)	375		-
Leistungsgewicht (kW/t)	-		-
Leergewicht (kg)	8262	7660	2504
Zul. Gesamtmasse (kg)	18000	39000	16500
Technisch zulässige Masse Achse 1 (kg)	7500	9000	8250
Technisch zulässige Masse Achse 2 (kg)	11500	9000	8250
Technisch zulässige Masse Achse 3 (kg)	-	9000	-
Technisch zulässige Masse je Achsgruppe	-	27000	16500
Zul. Gesamtmasse als Sattel-Kfz im kombinierten Verkehr	44000		-
Sattellast (kg)	9738	-	-
Zul. Anhängelast (kg)	-	40000	
Länge (mm)	5995	13886	-
Breite (mm)	2550	2550	-
Höhe (mm)	3769	4000	-
Anz. d. Achsen / angetrieben	2 / 1	3 / -	-
Maß „a“/ „b“ (mm)	4500	12000	-

A.1.1 – Technische Daten der Fahrzeuge Teil 1

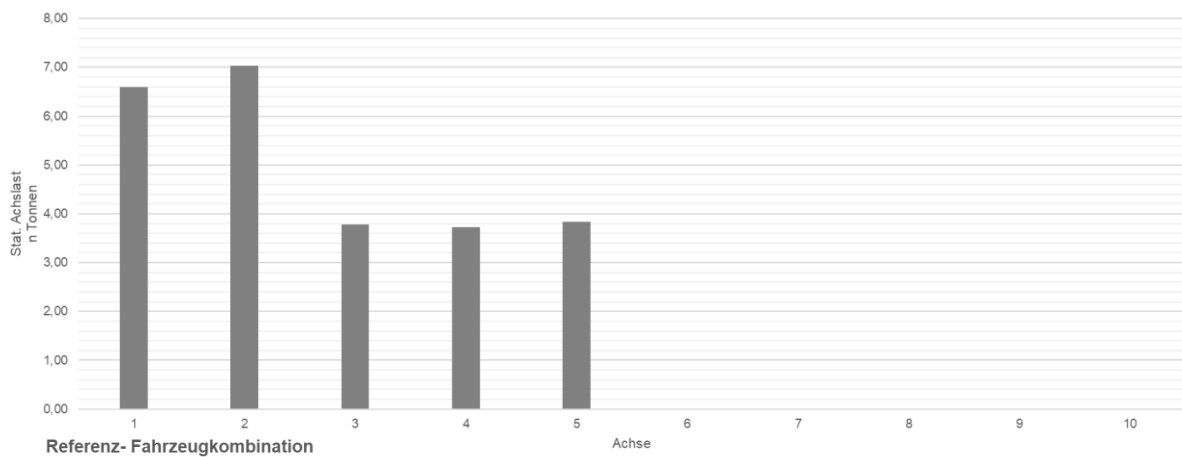
	Zweiter Sattelanhänger	EcoDuo-Fahrzeugkombination
Kennzeichen	EVE 1888	-
Fahrzeug- u. Aufbauart	Sattelanhänger, Plane und Spriegel	Sattel-Kfz („EcoDuo“)
Fahrzeughersteller	Schmitz Cargobull AG	MAN und Schmitz Cargobull AG
Fahrzeugklasse	O4	-
Typ	SCB*S3	-
Variante	06VLN	-
Version	39B400AH0B3G0	-
Fahrzeug Ident.-Nr.	WSM00000003428748	-
Höchstgeschw. (km/h)	100	85
Leistung (kW)	-	-
Leistungsgewicht (kW/t)	-	8,52 (bei 44t zGM) bis 15,83 (bei Leergew.)
Leergewicht (kg)	6942	23683
Zul. Gesamtmasse (kg)	39000	-
Technisch zulässige Masse Achse 1 (kg)	9000	-
Technisch zulässige Masse Achse 2 (kg)	9000	-
Technisch zulässige Masse Achse 3 (kg)	9000	-
Technisch zulässige Masse je Achsgruppe (kg)	27000	-
Zul. Gesamtmasse als Sattel-Kfz im kombinierten Verkehr (kg)	-	44000
Sattellast (kg)	-	9766
Zul. Anhängelast (kg)	-	-
Länge (mm)	13886	31700
Breite (mm)	2550	2550
Höhe (mm)	4000	4000
Anz. d. Achsen / angetrieben	3 / -	10/1
Maß „a“/ „b“ (mm)	12000	-

A.1.2 – Technische Daten der Fahrzeuge Teil 2

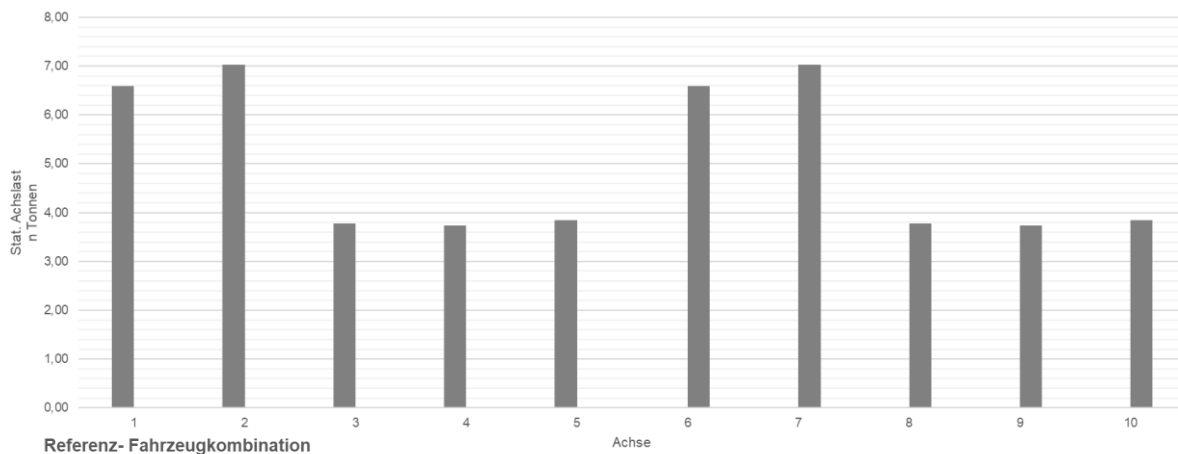
Anhang 2: Statische Achslasten



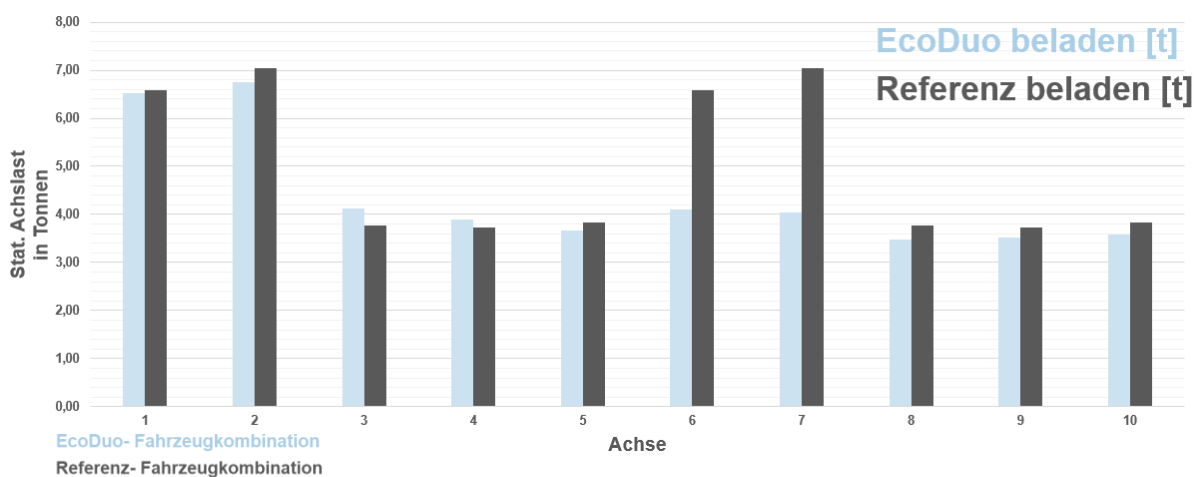
A.2.1 - Statische Achslasten EcoDuo-Fahrzeugkombination



A.2.2 - Statische Achslasten Standard Sattelzug

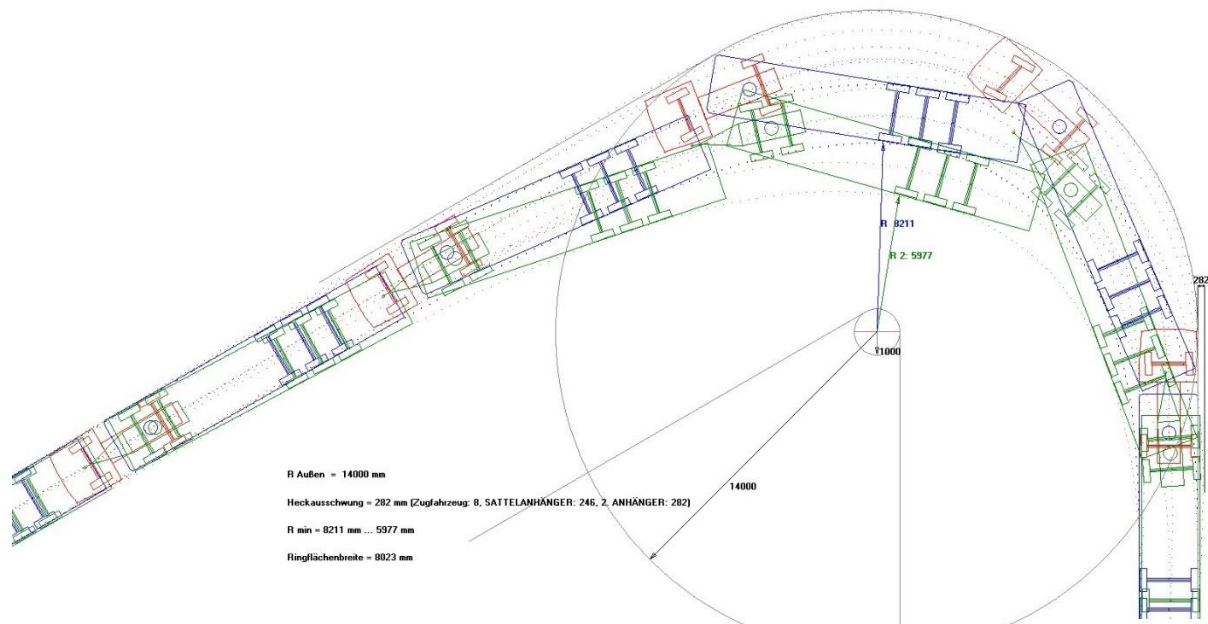


A.2.3 - Statische Achslasten Referenz-Fahrzeugkombination



A.2.4 – Vergleich Statische Achslasten EcoDuo- und Referenz-Fahrzeugkombination

Anhang 3: Simulationsergebnis der Kurvenlaufeigenschaften nach §70 StVZO
120° - 14m außen // 1m innen // 13m Spurweite



A.3.1 – Simulationsergebnis der Kurvenlaufeigenschaften

Anhang 4: Literaturverzeichnis

- bast. (2016). *Feldversuch mit Lang-Lkw*. Bergisch Gladbach.
- Haibach, E. (2006). *Betriebsfestigkeit – Verfahren und Daten zur Bauteilberechnung*. Springer-Verlag.
- Matsuishi, M. E. (1968). *Fatigue of metals subjected to varying stress. Proceedings of the Japan Society of Mechanical Engineers*. Fukuoka, Japan.
- VDA. (2025).
<https://www.vda.de/de/themen/automobilindustrie/nutzfahrzeuge/pilotprojekt-eco-duo#Ansprechpersonen>.
- Zaragoza, U. (2020). *Analysis of behaviour of modular vehicles in DUOTRAILER groups during performance tests*. Madrid.