

Einsparungen unter realen Bedingungen

Bessere Aerodynamik für Langstrecken-Lkw auf EU-Straßen

V.2021.02

BETTERFLOW GmbH

Aachen, Deutschland

1	Zusammenfassung: Die Leistung von BETTERFLOW AeroPACKAGEs unter realen Bedingungen	2
2	Relevanz und Anwendbarkeit der aerodynamischen Verbesserungen	5
3	Einflüsse auf Einsparungen unter realen Bedingungen	7
4	Flottenversuch unter realen Bedingungen	12
5	Ergebnisse	16
5.1	Grundlegende Bemerkungen zur Messung von Einsparungen	16
5.2	Typische Langstreckeneigenschaften im Flottentest	19
5.3	Methodik der Bewertung: Maschinelles Lernen	22
6	Vorhersage für einzelne Flotten	25
7	Aerodynamik des AeroPACKAGEs 204 in 2021	27
8	Praktisch für den täglichen Einsatz	28
9	BETTERFLOW Flottenversuchspartner	30



1 Zusammenfassung: Die Leistung von BETTERFLOW AeroPACKAGES unter realen Bedingungen

Das Interesse an der Verringerung des CO₂-Ausstoßes im Straßenverkehrssektor wächst. Logistik- und Transportunternehmen sehen sich zunehmend mit der Notwendigkeit konfrontiert, ihre Flotten mit weniger Kraftstoff zu betreiben – wegen 1) wachsender Umweltstandards ihrer Kunden, 2) steigender CO₂-Emissionspreise, 3) kommender EU-Mautgebühren in Verbindung mit CO₂-Emissionen und 4) steigender Energiepreise¹.

Es ist branchenweit bekannt, dass aerodynamische Verbesserungen einen wichtigen Beitrag zur Reduzierung der CO₂-Emissionen leisten. Vor allem im Langstreckensegment, wo hohe Fahrgeschwindigkeiten auf langen Strecken auftreten, **haben aerodynamische Verbesserungen sogar das größte Potenzial** zur Senkung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen – aus zwei Gründen: 1) Der Anteil des Luftwiderstands ist im Vergleich zu anderen Luftwiderstandsquellen am höchsten und 2) das Potenzial zur Optimierung der aerodynamischen Eigenschaften ist groß.

BETTERFLOW hat die Dringlichkeit und Relevanz der Aerodynamik im Fernverkehr erkannt und bietet deshalb **AeroPACKAGES** für Fernverkehrsflotten an, welche die Aerodynamik ihrer Fahrzeuge verbessert.

Berechnungen, Windkanaltests, Simulationen und zertifizierte "EU Constant Speed Tests" mit **seriennahen Demonstrator-AeroPACKAGES inkl. Heckflügel** haben ergeben, dass die Einsparungen unter Standardbedingungen für ein solches Paket in der Größenordnung von **1,5-1,8 L/100 km** liegen. Die Einsparungen für ein Paket **ohne Heckflügel** liegt bei **0,8-1,0 L/100km**. Diese Standardbedingungen werden auch zur Ermittlung der EU-VECTO-Werte verwendet, die für die Maut-Berechnung maßgebend sind.

Für einen Fuhrparkbesitzer ist jedoch allein entscheidend, welche Einsparungen unter **"realen" Bedingungen** zu erwarten sind, so dass die Anschaffung von Aerodynamik-Maßnahmen gerechtfertigt ist und dann über die gesamte Lebensdauer des Anhängers einen Mehrwert ergibt. „Reale Bedingungen“ drücken den täglichen Einsatz bei wechselnder Beladung, bei allen Witterungsverhältnissen, bei wechselndem Verkehr und auf den Routen des einzelnen Transportunternehmens aus.

¹ Diesel und Gas (heute), Wasserstoff, Biomethan, etc. (in Zukunft)



Das Problem beim Nachweis in der Praxis: Zum einen zeigt die tägliche Praxis, dass der Verbrauch identischer Fahrzeuge, auch wenn er zur Vergleichbarkeit über viele Monate oder Kilometer gemittelt wird, in einer größeren Bandbreite schwankt als der tatsächlich zu erwartende Einsparwert. Angesichts dieser Schwankungsbreite des Verbrauchs unter realen Bedingungen wird die Ermittlung der durch AeroPACKAGEs erzielten Einsparungen zu einer Herausforderung. Andererseits ist es die Erwartung und das Ziel des Betreibers, eine verlässliche Prognose für die zu erwartenden Einsparungen zu erhalten, damit eine seriöse Investitionsentscheidung getroffen werden kann. Dies erfordert eine Genauigkeit von +/- 0,2 L/100 km für die versprochenen Einsparungen.

BETTERFLOW hat sich dieser Herausforderung gestellt und 30 automatische AeroPACKAGEs als Vorserie gebaut und von ausgewählten Kunden auf allen Straßen der EU in der täglichen Praxis testen lassen, um anschließend deren reale Ersparnis robust zu ermitteln.

Es zeigte sich, dass herkömmliche Methoden der Statistik zur Ermittlung der Einsparungen nicht praktikabel sind. Denn die Verbrauchsschwankungen durch den starken Einfluss realer Einflussgrößen sind im Verhältnis zur geforderten Genauigkeit so groß, dass für eine zu große Flotte von Test- wie auch Referenzfahrzeugen zu große Strecken notwendig gewesen wären. Auch die Alternative, Test- und Referenzfahrzeuge paarweise zu fahren, um eine bessere Vergleichbarkeit zu erreichen, ist in der Praxis nicht realisierbar.

Daher wurden modernste Data-Science-Methoden, d. h. intensive Datenerfassung und **maschinelles Lernen**, eingesetzt, die die gewünschte Genauigkeit der Ergebnisse lieferten. Im Prinzip besteht das Auswerteverfahren darin, 5 km lange Abschnitte der Segmentfahrten mit und ohne AeroPACKAGE hinsichtlich der physikalischen Einflussgrößen zu klassifizieren und miteinander zu vergleichen. Damit steht eine sehr große, zuverlässige Datenbasis zur Verfügung.

Die Flottentests fanden in den Jahren **2019 und 2020** statt, wurden mit 7 Flotten in der gesamten EU durchgeführt, mit 30 Test- und 30 Referenzfahrzeugen, und nach mehr als **4 Millionen Kilometern im realen Einsatz** sind die Ergebnisse wie folgt:

1. Das BETTERFLOW AeroPACKAGE ist robust, und die einzigartige Automatikfunktion macht es im täglichen Betrieb voll praxistauglich: **Anhängerbetrieb wie gewohnt, Andocken und Beladen wie gewohnt, keine Beschädigung.**
2. Das BETTERFLOW AeroPACKAGE in seiner Vorserienkonfiguration liefert einen konservativen durchschnittlichen langfristigen Einspareffekt im Langstreckenverkehr von 5,5% bzw. 1,5 L/100km. Aufgrund von Feinabstimmungen und Verbesserungen liefert das AeroPACKAGE (AP204) in der Serienkonfiguration einen durchschnittlichen langfristigen Einspareffekt im Fernverkehr von **6,5% bzw. 1,8 L/100 km**. Diese Ergebnisse gelten für den gesamten Betriebszyklus und ganzjährige Wetter- und Straßenbedingungen in der EU.



Beide Ergebnisse ermöglichen eine solide Investitionsentscheidung für eine effiziente Flotte und machen die Aerodynamik jetzt und in Zukunft zu einer entscheidenden Technologie für eine wirksame CO₂-Reduzierung und für einen wirksamen Beitrag zur Emissionsfreiheit im Verkehr.



2 Relevanz und Anwendbarkeit der aerodynamischen Verbesserungen

Es besteht ein wachsender Bedarf an der Verbesserung der Kraftstoff- und CO₂-Effizienz im EU-Verkehrssektor. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf der Verbesserung des Lkw-Verkehrs, da dieser eine wichtige Rolle in der europäischen Lieferkette spielt. Der größte Teil der im Straßenverkehr beförderten Güter wird von europäischen Langstrecken-Lkw-Anhängerkombinationen transportiert.

Die Zahl der jährlich zurückgelegten Kilometer liegt in der Regel zwischen **80.000-200.000 km pro Jahr**, mit einem durchschnittlichen Spitzenwert von 120.000 km pro Jahr. Die effektiven europäischen Reisegeschwindigkeiten im Langstreckenverkehr liegen zwischen **75-90 km/h** in Bezug auf die einzelnen Geschwindigkeitsprofile. Die typische Luftwiderstandseigenschaft liegt zwischen **c_{wA} = 5,8-6,2**. Diese Fahrzeugparameter (Geschwindigkeit und aerodynamische Eigenschaften) führen zu einem sehr hohen nominalen Luftwiderstand, der **36-60% des gesamten Kraftstoffverbrauchs** ausmacht (je nach Einsatz des Fahrzeugs).

Die Botschaften von BETTERFLOW:

1. Eine Reduzierung nur des Luftwiderstands des Anhängers in größerem Umfang (12-16%) ist heute bereits technisch möglich und führt zu einer verbesserten Kraftstoff- und CO₂-Effizienz von 6-8% je nach Betriebszyklus.
2. Im Fernverkehr ist die Verringerung des Luftwiderstands des Anhängers praktisch die einzige Lösung, um spürbare Effizienzsprünge zu vertretbaren Kosten zu erzielen. "A"-Reifen auf Lkw und Anhängern sind bereits weit verbreitet, und spürbare Verbesserungen der Motoren nähern sich einer technischen, thermodynamischen Grenze.

In Nordamerika ist die Verbesserung der Kraftstoffeffizienz durch Anhänger-Aerodynamik in realen Flotten, beginnend seit 2021, nachgewiesen. Der ICCT bestätigt das Potenzial der Anhänger-Aerodynamik für europäische Lkw und dass sie für das Erreichen der notwendigen Klimaziele relevant ist – auch in Kombination mit anderen wirksamen Maßnahmen. Die Akteure der Branche erkennen die Wirkung der Aerodynamik an. Im Vergleich zu anderen innovativen Klimaverbesserungsmaßnahmen im Fernverkehr (z.B. LNG-Lkw) ist diese Effizienzverbesserung nicht nur relevant, sondern auch leicht zugänglich, da die Markteintrittsbarrieren konsequent überwunden wurden:

- Im Jahr 2019 hat die EU die **Verordnungen** für die Typgenehmigung und den Betrieb von aerodynamischen Maßnahmen wie Heckklappen erlassen.

- Eine schnelle Anwendbarkeit ist durch die Möglichkeit der **Nachrüstung** bestehender Flotten und der Integration **ab Werk** durch OEMs für neue Anhänger gegeben.
- Im Vergleich zu anderen Effizienzmaßnahmen im Fernverkehr (z.B. LNG-Lkw) liegen die Kosten für eine aerodynamische Voll-Optimierung mit 8.000-9.000 € deutlich niedriger. Das Verhältnis von "CO₂-Reduktion pro Euro" ist im Vergleich zu anderen Maßnahmen sehr attraktiv.
- **Nationale Subventionen (z. B. in Deutschland seit 2021) erleichtern die Anschaffung deutlich.**
- Es ist seitens EU geplant, dass die künftige **Fernstraßen-Maut** (ab 2023/24) die CO₂-Effizienz von Fahrzeugen (insbesondere aufgrund ihrer Aerodynamik) in Form von reduzierten (bzw. erhöhten) Mautgebühren belohnen (und Nichteffizienz bestrafen) werden.

BETTERFLOW hat **AeroPACKAGES** für Fernverkehrsanhänger nach wesentlichen Kriterien konzipiert, so dass das oben genannte Potenzial dauerhaft realisiert werden kann: Sie sind robust, nehmen im täglichen Einsatz keinen Schaden und können ohne besondere Auflagen oder zusätzliche Arbeiten oder Prozesse eingesetzt werden. Sie beweisen ihre Kraftstoffeffizienz nicht nur in theoretischen oder wissenschaftlichen Tests, sondern bestätigen die angestrebten Verbesserungen der Kraftstoffeffizienz auch unter realen Bedingungen im täglichen Betrieb der Fahrzeugflotte. Dieser Beitrag gibt einen Einblick in die umfangreichen, transparenten und strengen Testverfahren und Ergebnisse von BETTERFLOW, so dass Flottenbesitzer, Politiker und Verbände fundierte und informierte Entscheidungen treffen können.

Die Testflotten während der Flottenversuchskampagne 2019/2020





3 Einflüsse auf Einsparungen unter realen Bedingungen

In der realen Betriebsumgebung gibt es viele Einflüsse, die sich auf den Kraftstoffverbrauch und die aerodynamischen Einsparungen auswirken.

Die durch den Flottenversuch erzielten Einsparungsergebnisse für das Demonstrator-AeroPACKAGE umfassen alle diese Umwelt- und Betriebseffekte.

Die folgende Zusammenstellung dient der Information und Aufklärung:

Mögliche Beeinflussung	Erläuterung
Wetter	
Wind	Wind herrscht in einer statistischen Vielfalt von Geschwindigkeiten und Richtungen in Bezug auf den Kurs und die Geschwindigkeit des Fahrzeugs. Im Allgemeinen verbessert der Wind den Einsparungswert aufgrund des quadratischen Effekts von Luftgeschwindigkeit und Luftwiderstand bzw. eingespartem Luftwiderstand und aufgrund der Eigenschaft des AeroPACKAGEs (besonders inkl. Heckflügel), sich bei Seitenwind zu verbessern. Beim Umgang mit Wind ist es wichtig zu wissen: Durch die bodennahe "Grenzschicht" verlangsamt sich die Windgeschwindigkeit in Bodennähe. Bei der Betrachtung in einem aerodynamisch relevanten Geschwindigkeitsbereich oberhalb von 60 km/h wurde ein durchschnittlicher resultierender Anstellwinkel der Luftströmung von $\beta = 2,8^\circ$ in 2 m Höhe festgestellt². Der tatsächliche Einfluss des Windes wurde bei den Flottentests gemessen, bei denen Fahrzeug- und Wetterdaten synchron aufgezeichnet wurden.
Temperatur	Die Temperatur hat einen spürbaren thermodynamischen Einfluss auf die Luftdichte, was sich auf den Luftwiderstand sowie die Reifen- und Motorleistung auswirkt.

² 2 m ist der aerodynamische Mittelpunkt von 0 m (Boden) und 4 m (Lkw-Höhe).



	Bezüglich der Aerodynamik: Im Allgemeinen ist kältere Luft dichter und erzeugt daher mehr Widerstand und Einsparungen als wärmere Luft. Während der Flottenversuche wurde ein ganzjähriges Temperaturprofil in der gesamten EU aufgezeichnet, mit einer symmetrischen Verteilung der Temperaturen zwischen -10°C und $+45^{\circ}\text{C}$ und einem gewichteten Durchschnitt von $+20^{\circ}\text{C}$. Für die Ermittlung eines langfristigen Gesamteinsparungseffekts ist $+20^{\circ}\text{C}$ ein praktikabler und repräsentativer Ausgangswert.
Luftfeuchtigkeit	Die relative Luftfeuchtigkeit verändert die Luftdichte und erreicht im Allgemeinen Werte über 75%. Hier gibt es jedoch keinen spürbaren Einfluss auf die Aerodynamik.
Regen	Niederschlag tritt in verschiedenen Varianten und Stärken auf. Im Allgemeinen hat Regen keine nennenswerten Auswirkungen auf die aerodynamischen Eigenschaften von Lastkraftwagen. Im Flugzeugbau hätte Regen sogar einen positiven Effekt auf die Strömung. Hintergrund: Sehr kleine und versprühte Tröpfchen folgen dem Strömungspfad (siehe den turbulenten Nachlauf eines Lastwagens bei Regenwetter) der Stromlinien (genauer gesagt "Rauchlinien") und sind damit so klein, dass die Energie, die benötigt wird, um die Partikel in der Strömung zu tragen, vernachlässigt werden kann. Stärkere Niederschläge bringen durch eine erhöhte Turbulenz vorteilhafte Energie in die Strömung ein, was sich im Allgemeinen positiv auswirkt. Allerdings wirkt sich der Regen stark auf den Rollwiderstand und das Messrauschen bei der Erfassung von Kraftstoffdaten aus. Eine Nässe von nur 0,3 mm auf der Fahrbahn kann bei Autobahngeschwindigkeiten zu einer Erhöhung des Rollwiderstands um 40% führen³. Daher ist eine große Anzahl von Fahrdaten unter verschiedenen Regenbedingungen erforderlich, um glaubwürdige Ergebnisse zu erhalten.
Schnee	Die Erkenntnisse über Regen lassen sich ebenfalls auf Ereignisse mit Schnee übertragen. Nach den Aufzeichnungen über die jährliche Temperaturverteilung in der EU während der Flottenversuchskampagne lag die Jahrestempera-

³ Ejsmont, J. et al: "Influence of Road Wetness on Tire-Pavement Rolling Resistance", Journal of Civil Engineering and Architecture 9 (2015), 1302-1310, doi: 10.17265/1934-7359/2015.11.004



	tur zwischen -10°C und +45°C. Die BETTERFLOW-Komponenten sind in jedem Fall für diesen gesamten Bereich und auch für Temperaturen unter -10°C ausgelegt. BETTERFLOW RearFLOW 500 verfügt darüber hinaus über eine Temperaturabschaltung bei Gefriertemperaturen.
Fahrzeug	
Geschwindigkeit	Aufgrund des quadratischen Verhältnisses zwischen der erlebten Luftgeschwindigkeit des Fahrzeugs und seinem Luftwiderstand bzw. der Einsparung hat die Gesamtluftgeschwindigkeit (die Vektorsumme aus Wind- und Fahrgeschwindigkeit) mit ihrem Hauptfaktor, der Fahrgeschwindigkeit, einen großen Einfluss auf die Einsparungen. Daher sind die aerodynamischen Einsparungen bei Lastkraftwagen im Stadt- oder Regionalverkehr geringer, so dass der eigentliche Anwendungsbereich für aerodynamische Verbesserungen im Langstreckenverkehr liegt. Hier ist eine hohe und kontinuierliche Fahrgeschwindigkeit typisch, und die Einsparungen werden zusätzlich nur noch durch die Gesamtmasse des Fahrzeugs bzw. die Beladung und die Topografie beeinflusst. Aufgrund des aktiven Tempomats und der meist ausreichend leistungsstarken Motoren im Fernverkehr kommt es jedoch nur selten zu ineffizienten Verlangsamungen an Steigungen unter maximaler Last. So bleiben die Reisegeschwindigkeit und der aerodynamische Benefit konstant.
Beladung	Wie oben erläutert, wirken sich schwere Lasten nur bei untermotorisierten Motoren nachteilig auf das Geschwindigkeitsprofil und die Einsparungen aus. Im Allgemeinen wirkt sich die Zuladung auf den Rollwiderstand aus und verschiebt auch den Motorbetriebspunkt innerhalb des Motorkennfelds, was zu leicht veränderten Werten für den spezifischen Kraftstoffverbrauch führt.
Andere externe Einflüsse	
Verkehr	Der Verkehr hat einen spürbaren Einfluss auf die Einsparungen, weshalb er schon sehr früh in die Testkampagne von BETTERFLOW einbezogen wurde. Kurz gesagt: Fahren im dichten Verkehr (Englisch: "slip stream", Deutsch: "Windschatten") ist gleichbedeutend mit Fahren mit reduzierter Geschwindigkeit. Das wirkt sich auf die Ersparnis aus. Platooning, ein Konzept, bei dem die Fahrzeuge eng hintereinander fahren, zielt darauf ab, diesen Effekt zu maximieren und die Kraftstoffeffizienz zu verbessern. Aber auch ohne Platooning ist der allgemeine Verkehrseffekt



immer vorhanden⁴, und während der Flottenversuchskampagne – ein Test im realen Verkehr – wurde er automatisch bei der Ermittlung der Einsparungen berücksichtigt. Die ausgewiesenen BETTERFLOW-Einsparungen sind ein realer Einspareffekt **mit Verkehr**.

Im Detail: Um den tatsächlichen Einfluss verschiedener Verkehrsdichte-Situationen zu ermitteln, wurden 2015/2016 erste Testkampagnen auf der Test-Strecke und auf der Autobahn durchgeführt. Unter Verwendung eines kalibrierten Windanemometers an der Vorderseite des Lkw (Kalibrierung bedeutet Abbildung der gemessenen Daten in Bezug auf ein sekundäres ungestörtes Anemometer) und Synchronisierung mit lokalen Wetterdaten, FMS-Daten des Fahrzeugs und Abstandsdaten des Fahrzeugs war es möglich, den Anteil der Luftgeschwindigkeit zu extrahieren, der mit der Verkehrssituation zusammenhing. Für dichte Verkehrssituationen auf westdeutschen Autobahnen (dichter Verkehr im Vergleich zum Rest der EU) in Bezug auf unterschiedliche Tages- und Nachtzeiten konnte ein Bereich von Verkehrsabständen mit einem gewichteten Durchschnittsabstand von 85 m und einer damit verbundenen Verringerung der Luftgeschwindigkeit um 1,5 m/s (5,4 km/h) ermittelt werden. Messungen, die während der Flottenversuchskampagne 2019/2020 durchgeführt wurden, bestätigen diesen Wert für die gesamte EU mit einem durchschnittlichen gewichteten Lkw-Folgeabstand von 87 m für die gesamte Versuchskampagne. Ein detaillierterer Blick in die Daten zeigt sogar den Einfluss des Ereignisses der Covid19-Pandemie in der EU während des Flottenversuchs 2019/2020: Ein Vergleich der Fahrzeugdistanzen vor und nach dem Beginn von Covid19 in Europa im März 2020 (die Verkehrsdichte ist ein Indikator für die wirtschaftliche Lebendigkeit) zeigt einen durchschnittlichen Anstieg der Fahrzeugdistanz (bzw. einen Rückgang der kommerziellen Lkw-Aktivität) von 86 m auf 94 m. Verzerrungen der Kraftstoffeinsparungen aufgrund der geringeren Verkehrsdichte während des Testzeitraums können somit berücksichtigt werden.

So kann die Verkehrsdichte äquivalent bis zu 5,4 km/h reduzierte Fahrgeschwindigkeit betragen, was bei der Übertragung der aerodynamischen Einsparpotenziale auf die reale Umgebung zu berücksichtigen ist.

⁴ Off-Topic: Bei der Bewertung des Platooning müssen auch die Auswirkungen des realen täglichen Verkehrs berücksichtigt werden.



3 Einflüsse auf Einsparungen unter realen Bedingungen



4 Flottenversuch unter realen Bedingungen

Die Testkonfiguration 2019/2020 des BETTERFLOW Demonstrator-AeroPACKAGE (vergl. AP 203) besteht aus den folgenden Teilen in ihrem Vorserienzustand:

**BETTERFLOW
RearFLOW 500**



**BETTERFLOW
LowFLOW**



**BETTERFLOW
HighFLOW
Connect**





Die AeroPACKAGES wurden den Flottenteilnehmern von BETTERFLOW zur Verfügung gestellt, die auch für die Ausstattung der Fahrzeuge sorgten.

Prüfmethodik

Dies sind die Merkmale der Flotten-Test-Methodik:

- Für die Tests wurden die regulären Fahrzeuge der Flotten verwendet. Die Konfiguration von Referenz- und Testfahrzeug war immer gleich; Alter und Abnutzung von Reifen und Außenhaut waren so gleich wie möglich.
- Die Fahrzeuge waren regelmäßig auf ihren täglichen Routen unterwegs.
- Die Fahrer wurden nicht speziell geschult oder behandelt, um Verzerrungen zu vermeiden.
- Twin-Prinzip: Für jeden Test-Lkw gab es einen Referenz-Lkw im Fuhrpark.
- Daten-FMS-Logger mit zusätzlichen Sensoren für GPS, Kurs und Beschleunigung wurden in Referenz- und Testfahrzeugen installiert. Sie sammelten FMS-Daten und Sensordaten mit einer Frequenz von 10 Hz, die über ein Mobilfunknetz zur Datenauswertung übertragen wurden.
- GPS-koordinierte Wetter- und Höhendaten (für die Straßenneigung) wurden zusätzlich zu den Datensätzen aggregiert.
- Metadaten zur Bewertung des Zustands der Fahrzeuge und Systeme wurden täglich in enger Zusammenarbeit mit den Flotten und Fahrern erhoben.

Die wichtigsten Fakten

Die folgende Tabelle gibt einen kurzen Überblick über die Flottenversuchskampagne 2019/2020:



Teilnehmer der Flotte	7 Flotten, 2 technische Partner
Übliche jährliche Reichweiten der Flotten	120.000-200.000 km/a
Beim Flottenversuch erfasstes Gebiet	EU und UK
Anzahl der beteiligten Lkw	30 aerodynamische Fahrzeuge 30 Referenz-Fahrzeuge
Von der Testflotte zurückgelegte Kilometer	4,3 Millionen
Datenpunkte für die gesamte Testkampagne	1,8 Milliarden

Während der Datenaufzeichnung und -erfassung wurde jeder Fahrvorgang mit **46 Parametern** überwacht. Die folgende Liste enthält die wichtigsten Leistungsparameter.

Fahrzeugdaten	Wetterdaten	Einsatzdaten
• Art des Fahrzeugs (Aero oder Referenz) • Name der Flotte • ID von Lkw und Anhänger • Lkw- und Anhängermodell • Komponenten • Alter, Kilometerstand und Abnutzung	• Niederschlagswahrscheinlichkeit, -intensität und -art (Regen, Schneeregen, Schnee) • Lufttemperatur	• GPS- und Höhendaten • Geschwindigkeit • Entfernung • Kraftstoffverbrauch • Luftgeschwindigkeit und β-Winkel in 2 m Höhe. β ist der Winkel, mit dem die Luftgeschwindigkeit dem Fahrzeug gegenübersteht. Er ergibt sich aus der Fahrgeschwindigkeit, dem Kurs des Fahrzeugs, der Windgeschwindigkeit und der Windrichtung. • Gesamtgewicht • Drosselklappenstellung,



4 Flottenversuch unter realen Bedingungen

		Motordrehzahl und Temperatur des Motorkühlmittels. • Tempomat und Bremsaktivität • Abstand zum vorderen Fahrzeug, Typ des vorderen Fahrzeugs, Geschwindigkeitsbegrenzung und seitliche Position auf der Fahrbahn (bei einigen Fahrzeugen mit optischer Technologie gemessen)
--	--	---



5 Ergebnisse

5.1 Grundlegende Bemerkungen zur Messung von Einsparungen

Die Grundaussage der Aerodynamik im Lkw-Verkehr lautet: Unabhängig vom Einsatz des Lkw, vom Wetter, vom Straßenzustand oder von den Fähigkeiten des Fahrers: Der Luftwiderstand ist im Fernverkehr aufgrund der resultierenden Luftgeschwindigkeit und der Widerstandseigenschaften des Fahrzeugs **immer vorhanden**. Ein mit einem AeroPACKAGE ausgerüsteter Lkw-Anhänger hat also weniger Luftwiderstand und weniger Verbrauch:

Rein physikalisch bewirkt eine verbesserte Aerodynamik automatisch weniger Verbrauch.

Das folgende Diagramm gibt ein kurzes Beispiel für die Größenordnung eines aerodynamischen Einspareffekts im typischen grenzüberschreitenden EU-Langstreckenverkehr:

Regular Load (19,3 t)			
Normal Consumption	28 L/100km		
Aerodynamic Share	45%	→	13 L/100km
Aerodynamic Improvement Potential		12%	→ 1,5 L/100km

Die grundsätzliche Existenz der Verbesserung des Luftwiderstands ist allgemein bekannt und wurde in der Vergangenheit ausgiebig getestet und nachgewiesen. Außerdem hat BETTERFLOW verschiedene Windkanal-Kampagnen, CFD-Simulationen⁵ und 1:1 Constant Speed Tests gemäß EU-Zertifizierungsstandards und VECTO⁶ durchgeführt. Der wissenschaftliche Nachweis von standardisierten Einsparungen ist für die Zertifizierung und eine allgemeine Standardisierung der Technologie unerlässlich. Aber:

Über Zertifizierungs- und Standardwerte hinaus ist es für Flottenbesitzer wichtig, die tatsächlichen Nettoeinsparungen in der Praxis und in ihrem spezifischen Betriebsumfeld zu kennen.

Leider ist die Ermittlung von Einsparungen durch Fahrten in der realen Betriebsumgebung eine hochkomplexe Angelegenheit und mit vielen Schwierigkeiten verbunden, da der Verbrauch des Fahrzeugs stark von mehreren Parametern beeinflusst wird. Diese sind:

Beladung, Topografie, Wetter, Fahrstil, Reifenqualität und -zustand, Straßenzustand usw.

⁵ CFD: Computergestützte Strömungsmechanik: Modernste Simulationstechnik für komplexe 3D-Strömungen.

⁶ CST: Test der konstanten Geschwindigkeit: Die EU verlangt eine CO₂-Einstufung für Lkw und Anhänger, die durch diesen zertifizierten Track-Test und die anschließende Analyse mit dem EU VECTO-Tool erfolgt.



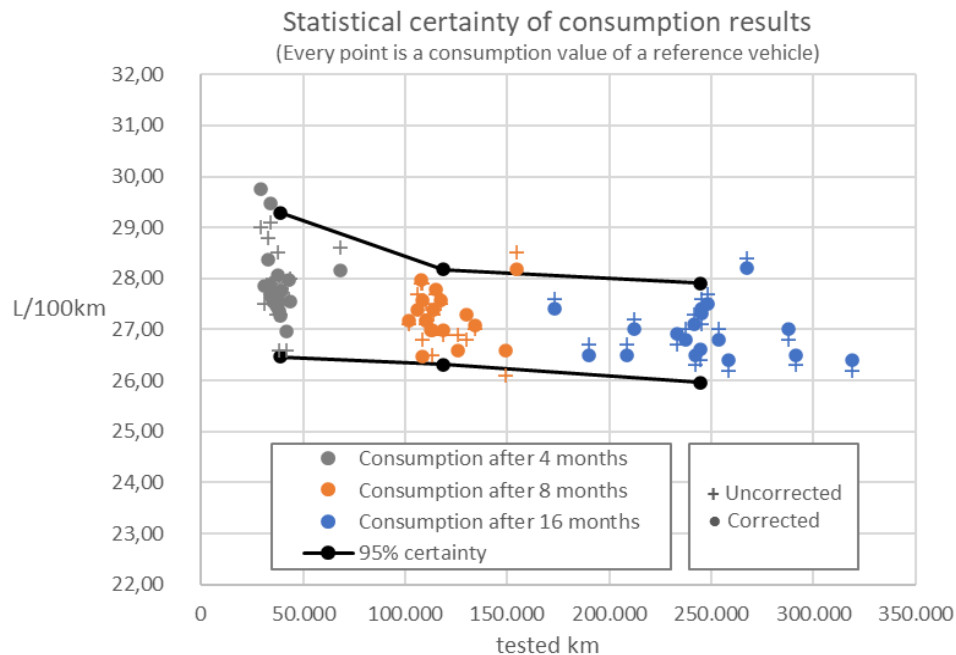
Die Schwierigkeit bei diesen Parametern ergibt sich aus ihren zahlreichen unglücklichen Eigenschaften:

- Sie haben eine starke Auswirkung auf den Verbrauch (z.B. pro 1 zusätzliche Tonne ca. +0,4 L/100km, im Langstreckeneinsatz)
- Sie stehen in starker Wechselwirkung (z. B. Beladung und Topografie)
- Sie ändern sich im Laufe der Zeit (z. B. saisonale Transporte, saisonales Wetter, Winterdiesel)

Intuitiv würde man erwarten, dass sich bei möglichst gleichen Bedingungen und sehr langen Fahrten die durch diese Einflüsse verursachten Schwankungen ausgleichen, bis eine statistische Sicherheit eintritt. Dem ist nicht zwingend so:

Die folgende Grafik zeigt die absoluten Verbrauchswerte für eine Gruppe von 18 gleichen Fahrzeugen auf beliebigen Fahrten durch die EU über mehrere Monate. Die Verbrauchswerte sind unkorrigiert (+) dargestellt, was den Daten entspricht, die ein normaler Fuhrparkleiter sehen würde, und korrigiert (●) um mögliche Gewichtsunterschiede⁷. **Trotz dieser Korrektur schwanken die Verbräuche nach 16 Monaten Beobachtung und ca. 250.000 km immer noch zwischen 26,4 und 28,2 L/100km.** Die schwarzen Kurven zeigen den Korridor der 95%igen Sicherheit für den durchschnittlichen Verbrauchswert. Intuitiv verständlich, verbessert sich die Sicherheit zu Beginn mit zunehmender Entfernung. Nach 100.000 km verbessert sie sich jedoch nicht weiter, sondern stagniert. **Selbst nach durchschnittlich 250.000 km kann der Verbrauch von einem Flottenmanager nur mit einer Sicherheit von +/- 1 L/100km (> 7% des Gesamtverbrauchs) ermittelt werden.** Es ist daher möglich, dass ein Vergleich von Fahrzeugen mit und ohne technologischer Behandlung entweder zu einer massiven Über- oder Unterschätzung des technologischen Effekts (hier Aerodynamik) führt. Diese Unsicherheit liegt in der gleichen Größenordnung wie die möglichen Einsparungen und ist daher zu hoch. **Daher ist die verbreitete Unsicherheit über die Wirkung aerodynamischer Maßnahmen in der Praxis nur zu verständlich.**

⁷ +0,4 L/100km pro zusätzlicher Tonne Gewichtsunterschied in Bezug auf ein Durchschnittsgewicht.



Aus diesen Ergebnissen ergeben sich zwei Botschaften:

1. Die Einflüsse realer Bedingungen auf den Verbrauch sind so gravierend, dass ein Langstreckenflottenbesitzer beim Betrieb einer Flotte nicht unbedingt ein genaues Einsparungsergebnis aus einfachen statistischen Überprüfungen erwarten kann (nach dem Motto "lange warten – und dann schauen").
2. Der Nachweis der Kraftstoffeffizienz in der Praxis kann dennoch gelingen, allerdings nur bei strikter Gleichheit der Auswirkungen für Referenz- und Testfahrzeuge. Dies kann nur in umfangreichen parallelen paarweisen Testläufen erfolgen, die aber für Flottenbetreiber über einen längeren Zeitraum im täglichen Einsatz nicht realisierbar sind.

Allerdings:

Aufgrund der Komplexität der Daten bieten moderne wissenschaftliche Ansätze wie das maschinelle Lernen (siehe Abschnitt 5.3) Lösungen für das Dilemma mehrerer, interagierender und variierender externer Einflussparameter.



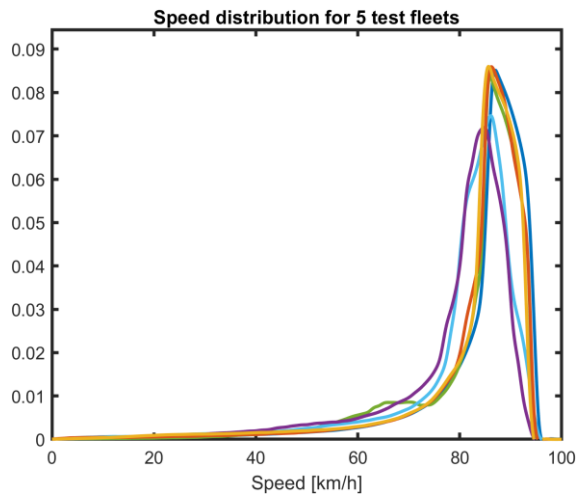
5.2 Typische Langstreckeneigenschaften im Flottentest

Die während des Flottenversuchs gesammelten Daten enthalten alle komplexen und vielfältigen Einflüsse auf den Kraftstoffverbrauch wie Wetter, Windgeschwindigkeit, Höhenlage, Geschwindigkeit usw. Die folgenden Abbildungen zeigen die Verteilung des Auftretens von sehr aussagekräftigen Parametern aus der realen Welt. Sie repräsentieren typische EU-Langstrecken-Fahrcharakteristika der Flottentestpartner⁸.

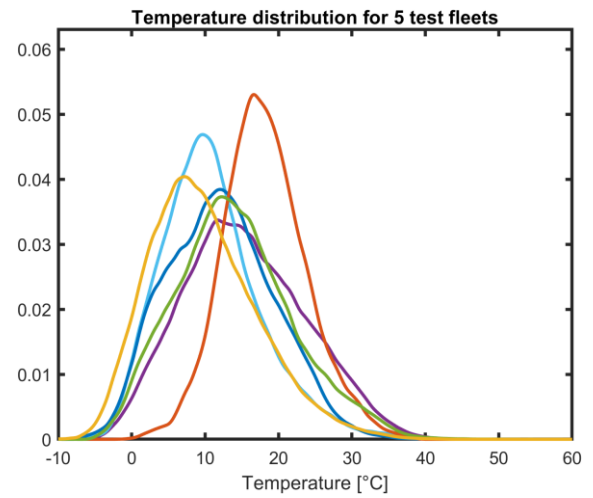
⁸ Beachten Sie, dass von 7 Testflotten 5 für diese eingehendere Datenanalyse verwendet wurden. Jede Verteilung stellt die Häufigkeit des Auftretens in Bezug auf die zurückgelegte Entfernung dar. Zum Zweck der Anonymisierung werden die Farben zwischen den verschiedenen Figuren randomisiert.



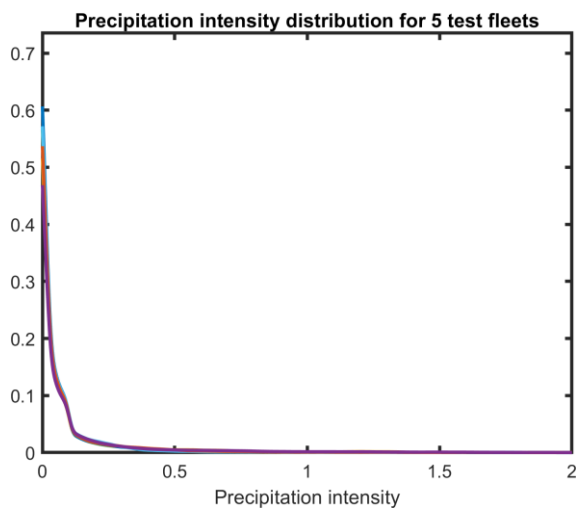
Geschwindigkeit



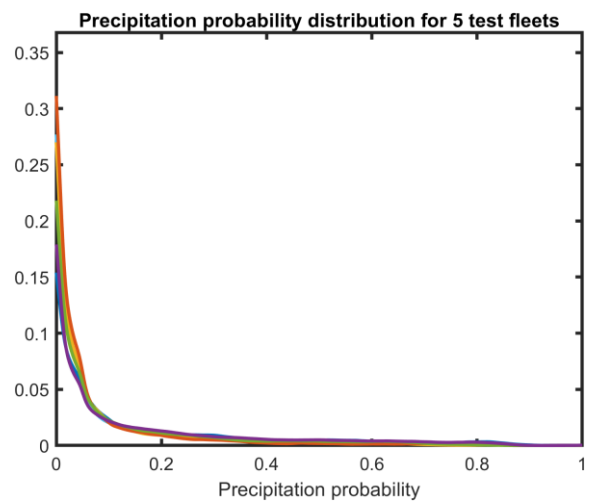
Lufttemperatur



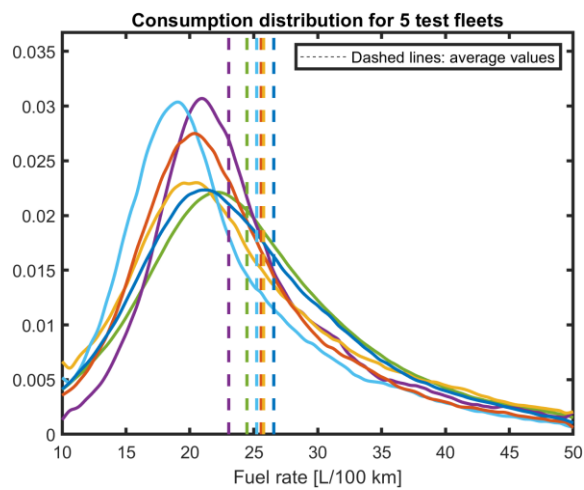
Intensität der Niederschläge



Niederschlagswahrscheinlichkeit



Kraftstoffverbrauch

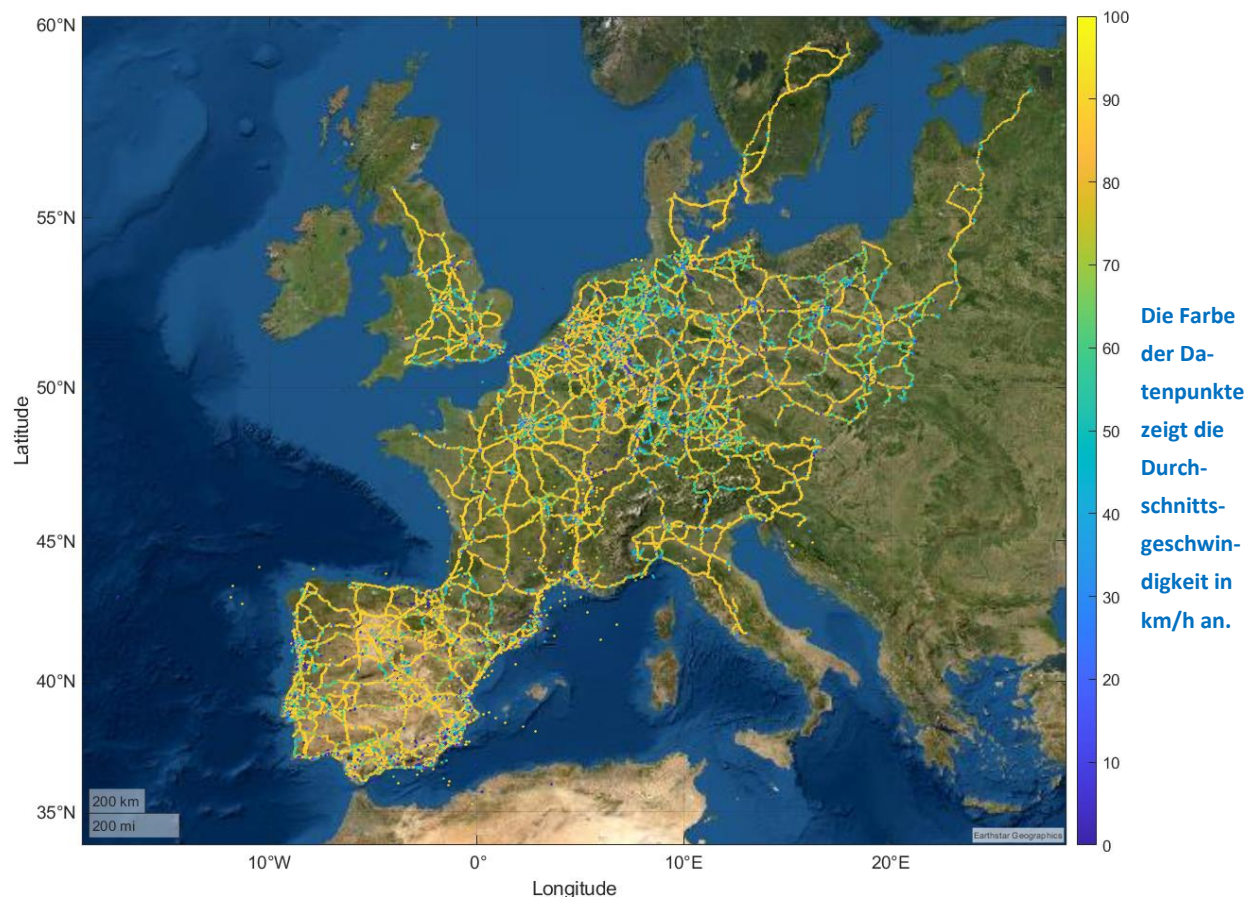




Die Geschwindigkeitsverteilung ist das aussagekräftigste Merkmal. Sie zeigt ein extrem hohes Vorkommen für Hochgeschwindigkeits-Fahrsituationen bei Autobahn-Geschwindigkeiten:

- Mehr als 94% der Fahrstrecke wird mit Geschwindigkeiten > 60 km/h zurückgelegt.**
- Mehr als 80% der Fahrstrecke wird mit Geschwindigkeiten über 80 km/h zurückgelegt.**
- Dies rechtfertigt eindeutig aerodynamische Verbesserungen im Langstreckenverkehr.**

Außerdem zeigt die folgende Karte sehr anschaulich, wo auf EU-Strecken welches durchschnittliche Geschwindigkeitsniveau erreicht werden kann.



Geschwindigkeitskarte des Flottenversuchs in der EU. Die farbigen Strecken zeigen die gemessenen Durchschnittsgeschwindigkeiten in km/h.

Um die Fahrdaten mit Wetterdaten zu ergänzen, wurden lokale Wetterdaten erfasst und auf den aktuellen Standort des Fahrzeugs abgebildet: Die Lufttemperaturverteilungen zeigen, dass der Flottenversuch einen ganzjährigen Temperaturzyklus repräsentiert, der in der EU typischerweise von -10°C bis +45°C reicht. Die Niederschlagsverteilungen zeigen die Intensität und die Wahrscheinlichkeit von Niederschlägen (meist Regen) entlang des Weges der einzelnen Fahrzeuge während des Testzeitraums.

Die Flottentests wurden unter dem Einfluss der ganzjährigen Wetterverteilungen in der EU durchgeführt.

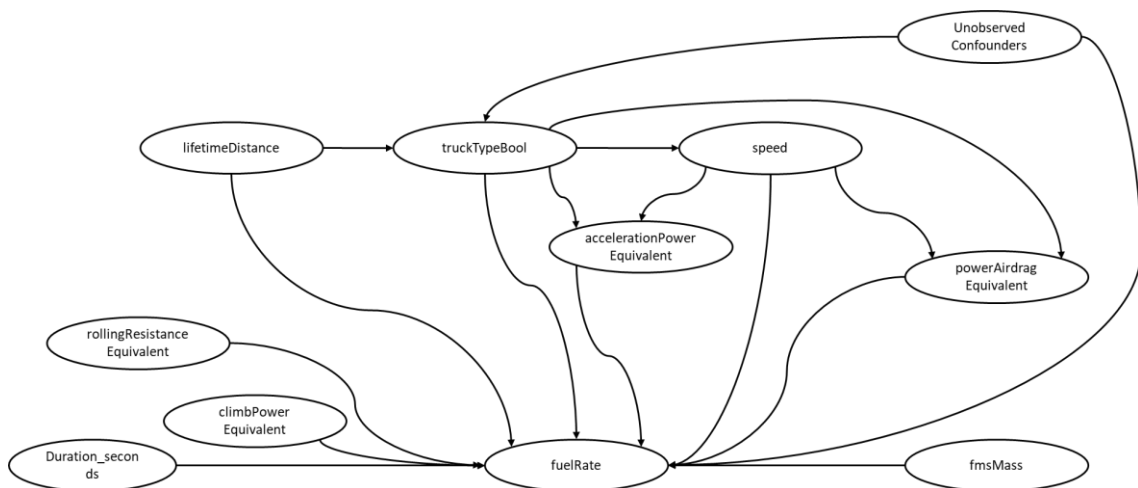


Die Verteilung des Kraftstoffverbrauchs zeigt einen gewichteten Durchschnitt zwischen 23-27 L/100 km, abhängig von den oben genannten realen Parametern und den einzelnen Flotteneinsätzen.

5.3 Methodik der Bewertung: Maschinelles Lernen

Die Erstellung eines zuverlässigen Einsparungsergebnisses auf der Grundlage realer Fahrdaten, die durch eine Vielzahl komplexer externer Effekte unregelmäßig beeinflusst werden, ist nur mit Hilfe fortschrittlicher Datenanalysetechniken wie dem maschinellen Lernen möglich.

Maschinelles Lernen bedeutet die Erstellung eines mathematischen Modells mit Hilfe eines Algorithmus. In diesem Fall muss ein Kausalmodell der Auswirkungen verschiedener Parameter auf die Kraftstoffmenge erstellt werden. Letztlich ist der kausale Effekt der "Behandlung", also AeroPACKAGE vs. kein AeroPACKAGE (ausgedrückt durch *truckTypeBool*, "1" vs. "0"), von Interesse. Als Grundlage werden die kausalen Zusammenhänge wichtiger Parameter in einem Graphen festgehalten, wie er in der folgenden Abbildung dargestellt ist. In den mathematischen Wissenschaften stellt ein "Graph" die Beziehungen zwischen Objekten dar. Der Graph wird von menschlichen Experten erstellt, und das Ergebnis wird dann von Algorithmen statistisch kontrolliert und von neuronalen Netzen bestätigt.



Grafik, die die kausalen Zusammenhänge des erstellten statistischen Modells zeigt.

Dieses Diagramm dient als Input für eine Methode namens *Causal Inference*, die anhand der Daten aus den Flottenversuchen ein statistisches Modell für jede kausale Beziehung erstellt, einschließlich verschiedener Prüfungen, um sicherzustellen, dass das Ergebnis nicht durch einen methodischen Fehler beeinflusst wird.

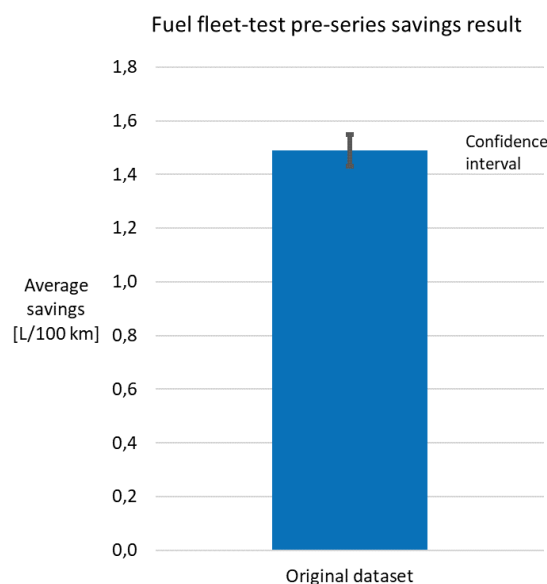
Die Originaldaten werden mit einer Auflösung von 10 Hz aufgezeichnet (10 Mal pro Sekunde). Daher ist die physikalische Dynamik des Lkw – wie die Verzögerung zwischen einer Beschleunigung und einem Anstieg der Kraftstoffmenge – enthalten. Um einen für die aktuellen Aufgaben



geeigneten Datensatz zu erhalten, werden die Datenpunkte zu **Snippets** zusammengefasst, **die durch eine Fahrstrecke von 5 km definiert sind**.

Um die besten Ergebnisse des maschinellen Lernens zu erzielen, wurden einige grundlegende Modellierungen vorgenommen, um einzelne Parameter mit Leistungsäquivalenten zu verbinden. Das *Leistungsäquivalent "Luftwiderstand"* ist beispielsweise eine Kombination aus dynamischem Druck und Fahrgeschwindigkeit des Fahrzeugs: Der dynamische Druck wird aus Lufttemperatur, Fahrgeschwindigkeit, Kurs, Windgeschwindigkeit, Windrichtung und einer konstanten Fahrzeugfläche berechnet und bildet den Luftwiderstand. Durch Multiplikation mit der Fahrgeschwindigkeit wird er zu einem Leistungsäquivalent.

Neben dem oben beschriebenen Originaldatensatz wurden zwei Teilmengen untersucht: Eine mit entfernten Ausreißern und eine mit einer perfekten Übereinstimmung aller Parameter für die Aerodynamik-Gruppe und die Kontrollgruppe. Das sich daraus ergebende Einsparungsergebnis ist unten dargestellt, das schließlich auf dem "Original"-Datensatz basiert. Die Ergebnisse, die auf den beiden anderen bearbeiteten Datensätzen basieren, werden verworfen (obwohl sie zu höheren Einsparungen führen würden), weil: Entfernte Ausreißer im bereinigten Datensatz könnten die Daten konditionieren; und das Matching könnte die Auswertung in Richtung höherer Geschwindigkeiten verzerren, da hier mehr Matching-Paare in den Daten gefunden werden können, und den Effekt überbewerten.



**Als Endergebnis der Flottenversuchskampagne ermittelt BETTERFLOW
1,5 L/100km Einsparung bei Verwendung des konservativen "Original"-Datensatzes.
Dieses Ergebnis basiert auf dem Vorserien-AeroPACKAGE-Design (vergl. AP 203).**



Der hier verwendete Algorithmus ist *DoWhy* von Microsoft Research. Die Daten wurden von BETTERFLOW gesammelt und die Auswertung wurde von externen Experten der aiXbrain GmbH in Aachen durchgeführt⁹.

Abschließende Bemerkungen:

- **Für die Bewertung des Nutzens von CO₂-reduzierenden Technologien in der Praxis ist eine präzise wissenschaftliche Grundlage unerlässlich.**
- **Die Ergebnisse belegen die Relevanz von aerodynamischen Komponenten für den Fernlastverkehr.**
- **Die Ergebnisse belegen den kraftstoffsparenden Effekt der BETTERFLOW-Komponenten im realen Umfeld.**

⁹ Der Bericht ist unter BETTERFLOW verfügbar.



6 Vorhersage für einzelne Flotten

Der Flottentest liefert einen repräsentativen Einsparungswert für typische Langstreckenflotten in der EU. Zusätzlich kann auf Basis der Ergebnisse eine individuelle robuste Vorhersage der Einsparungen für einzelne Flotten durchgeführt werden.

Zu diesem Zweck hat BETTERFLOW die Simulationsumgebung CONSEMS erstellt¹⁰. Mit dieser werden die Fahrzeug- und Missionsphysik modelliert und anschließend der Kraftstoffverbrauch simuliert. Die zugrundeliegende Methodik ist ähnlich dem VECTO-Simulationswerkzeug. Das Tool berechnet die benötigte Energie des Fahrzeugs für die Durchführung einer flottenspezifischen realen Lkw-Mission auf EU-Straßen¹¹ und ermittelt anhand von Antriebsstrangdaten den Kraftstoffverbrauch. Im Folgenden wird ein Überblick über die CONSEMS-Top-Level-Einstellungen für einen repräsentativen Fernverkehrsfall gegeben und die simulierten Ergebnisse für den Flottenversuch 2019/2020 dargestellt.

CONSEMS-Parameter

Vehicle Parameters

Mass	Empty Masses	Loading	Fuel mass over time	Ad-Blue masses over time	Mass of aero-equipment	Drivers
Tire Rolling Resistance	c_R (Tire Label)	Tire Pressure	Temperature	Speed	Load	Rain
Aerodynamic resistance	c_D (Drag coefficient)	Frontal area	Wind direction	Wind speed		
Drive train	No. of gears	η gear	Gear ratios	Axle transmission ratio	η axle transmission	Wheel diameter
Engine Mechanics	specific consumption	η engine	Max Power	EUR Norm		

Mission Parameters

Traffic	Effic.-density-correlation	
Topography on route	Height profile	Lat.-long. wind profile

Environmental Parameters

Wind	Direction	Speed	
Air data	Temperature	Humidity	Pressure

¹⁰ CONSEMS: Verbrauchs- und Emissionssimulationstool von BETTERFLOW. Simulationsumgebung ähnlich dem VECTO-Tool, in der einzelne Flottenbetriebszyklen validiert werden können, um Verbrauchs- und Einsparungswerte vorherzusagen.

¹¹ Auch VECTO- und ACEA-Langstreckenprofile können durchgeführt werden.



Top-Level-Einstellungen für eine repräsentative Simulation der Flotten-Tests

Mission	Langstreckenverkehr, mittlerer Verkehr, 20 t Last, 85 km/h EU-Höchstgeschwindigkeit
Fahrzeug	Kühlauflieger, Effizienz-Reifen, moderner Antriebsstrang, $c_{wA_{Referenz}} = 6,0$
Wetter	Saisonale Durchschnittsbedingungen

Simulierte Ergebnisse des Flottenversuchs

Referenzkonfiguration	27,7 L/100km
BETTERFLOW Flotten-Test 2019/2020 Konfiguration	26,3 L/100km
Ersparnis	1,4 L/100km

Die Ergebnisse zeigen, dass mit der CONSEMS-Simulation eine genaue und konservative Vorhersage der individuellen Ersparnis möglich ist.

Für eine individuelle Vorhersage der Einsparungen einer Flotte sind folgende Eingangsdaten der Flotte erforderlich:

1. Fahrzeug-Konfiguration

(Palettenkästen, Staukästen, Servicekästen, vorhandene aerodynamische Komponenten, Anordnung der Reserveräder, Konfiguration des hinteren Unterfahrschutzes)

2. Geschwindigkeitsbegrenzung

3. Typische Masse

4. Motorleistung

Diese Parameter sind für Flottenbesitzer einfach zu ermitteln und dienen als Eingangsdaten für die Leistungs- und Einsparungsanalyse. In Fällen, in denen die betrieblichen Rahmenbedingungen genauer definiert sind, können diese Daten hinzugefügt werden:

1. Besonderes Wetter

2. Besondere Routen



7 Aerodynamik des AeroPACKAGEs 204 in 2021

Basierend auf den Ergebnissen von Vorserien- und Flottentests wurde die Leistung des BETTERFLOW AeroPACKAGEs verbessert und ist nun serienreif.

Im Vergleich zum Referenzfall (hier mit Hilfe von CFD-Strömungsbildern dargestellt, die Farben bezeichnen die Luftgeschwindigkeit) ist die Strömung deutlich besser:

- ✓ Im Bereich von HighFLOW Connect und der Lücke zwischen Zugmaschine und Trailer: Beachten Sie, dass die Bereiche mit Strömungsablösung eliminiert wurden.
- ✓ Im Bereich von LowFLOW unter dem Trailer: Beachten Sie, dass die Strömung ihre Energie während ihrer Bewegung unter dem Fahrzeug beibehält, ohne durch die Form des Unterbodens gestört zu werden.
- ✓ Im Bereich von LowFLOW und RearFLOW 500 hinter dem Trailer: In Kombination miteinander wird die energieverzehrende Nachlaufströmung stabilisiert, symmetrischer und kleiner.
- ✓ Durch die Einführung von LowFLOW Shape, Leitelemente im Bereich des Unterfahrschutzes, wird die Abströmung in Bodennähe verbessert.

Beispiel für eine Referenzkonfiguration



Beispiel für eine BETTERFLOW 2021 Konfiguration



Verbesserte Ergebnisse für die Serie 2021

Verbesserte Einsparungen beim „BETTERFLOW AeroPACKAGE 204“ aufgrund der Verbesserungen von LowFLOW bei verschiedenen Trailer-Konfigurationen.

1,8 L/100km



8 Praktisch für den täglichen Einsatz

Aerodynamische Vorrichtungen können nur dann langfristige Vorteile bringen, wenn sie im täglichen Einsatz praktisch sind und eine sehr robuste Konstruktion aufweisen. Viele Fuhrparkbesitzer zögern, in aerodynamische Komponenten zu investieren, weil sie in der Vergangenheit enttäuschende Erfahrungen mit anderen Produkten gemacht haben.

Bei der Flottenversuchskampagne 2019/2020 standen vor allem die Kraftstoffeffizienz und diese praktischen Aspekte im Vordergrund. Die Ergebnisse sind hier zusammengefasst:

Zweifeln	Ergebnisse	Status
Störungen im täglichen Dienst	BETTERFLOW RearFLOW 500 ist automatisch und arbeitet von selbst – es ist kein Eingreifen des Fahrers erforderlich. Dies wird von den Fahrern sehr geschätzt. Das RearFLOW-System kann auch manuell geschlossen werden. LowFLOW und HighFLOW stören in keiner Weise den täglichen Betrieb. Die Reparatur der Kühlmaschine oder der Achsen ist ungestört.	OK
Schäden im täglichen Dienst	RearFLOW 500 ist automatisch und funktioniert von selbst. So ist er bereits geschlossen, wenn das Manövrieren beginnt. Während der gesamten Testphase sind keine Schäden aufgetreten. LowFLOW und HighFLOW sind den Rädern nicht im Weg und es können keine Schäden, z.B. an der Rampe, auftreten. Während der gesamten Testphase sind keine Schäden aufgetreten.	OK
Andocken an den Rampen	BETTERFLOW RearFLOW 500 erhielt eine extrem robuste und starke Kinematik, die so flach wie möglich gestaltet wurde. Natürlich ist die Türöffnung nicht mehr so weit wie zuvor, und einige Fahrer berichteten, dass sie bei einigen Rampen zunächst mehr Vorsicht beim Anfahren der Andockstelle benötigten. Es gab jedoch keine Beschwerden und es wurden keine Schäden gemeldet. Wenn die Türen geöffnet sind, ist RearFLOW 500 sicher zwischen Tür und Seitenwand verstaut.	OK
Schmutz im täglichen Dienst	Während der Flottenversuche wurden die Fahrzeuge wie üblich eingesetzt. Zwar lagern sich Straßenschmutz, Salz und Regen auf den Oberflächen ab, aber nicht in nachteiliger Weise. RearFLOW 500 wurde ausgiebig in industriellen Lebensdauertests	OK



	mit regelmäßiger Anwendung von Schmutz und Salz getestet. Aufgrund der verbesserten Strömung an der Rückseite des Lkw wird viel weniger Schmutz mitgerissen, so dass die hinteren Türen des Lkw viel sauberer sind. LowFLOW verfügt über eine verbesserte Version des "A-förmigen" Giebels: Der Schmutz gleitet ab, so dass er sich nicht im Bereich der Räder festsetzt.	
Reinigung im täglichen Dienst	Die Systeme sind robust und speziell für die regelmäßige Reinigung in der LKW-Waschanlage oder mit dem Hochdruckreiniger konzipiert.	OK
Schnee und Eis	RearFLOW 500 wurde in Eiskammern bis zu -5°C und darunter getestet. Die Temperaturbereiche während des Flottentests wurden in 2 Wintern 2018/19 und 2019/20 in ganz Europa erfasst und es gab keine nennenswerten Fahrten unter -5°C. Tests unter schweren Winterbedingungen zeigen, dass sich aufgrund der verbesserten Strömung deutlich weniger Schnee/Eis an den Hecktüren ansammelt als bei Anhängern ohne Aerodynamiksysteme. LowFLOW verfügt über einen speziellen "A-förmigen" Giebel: Tests unter harten Winterbedingungen haben gezeigt, dass Schnee und Eis abrutschen, so dass sie im Bereich der Räder nicht zu kleben beginnen. Es wurden keine Probleme mit Schnee oder Eis gemeldet. Weitere Wintertests in 2021 unter extremen Bedingungen haben ebenfalls keine Beeinträchtigungen ergeben.	OK



9 BETTERFLOW Flottenversuchspartner

Wir sind sehr dankbar für eine beeindruckende Reihe von innovativen und engagierten Unternehmen, die BETTERFLOW unterstützen und an der Testkampagne teilgenommen haben:

Bussmann Spedition Logistik - Deutschland

CCT Logistik - Deutschland

Kawczynski Logistik - Polen

March Transporte - Deutschland

Papstar - Deutschland

Primafrío - Spanien

Sackmann Transport - Deutschland

Refritrans 2000 - Spanien

Truck Center Vreden - Deutschland

Dr.-Ing. Rainer Buffo

Rainer Buffo

Dipl.-Ing. Ingo Martin

Dirk Sieprath

Dirk Sieprath