

Emissionsnormen für Fahrzeuge

Von Euro 6, WLTP, Vecto und Co.

www.consileon.de



Inhalt

Management Summary	5
1. Einleitung	6
2. Abgasnormen von Pkw, leichten Nutz- fahrzeugen und schweren Nutzfahrzeugen	6
2.1 Pkw und leichte Nutzfahrzeuge: Luftschadstoffe	10
2.2 Pkw und leichte Nutzfahrzeuge: CO ₂ -Regelungen	10
2.3 Schwere Nutzfahrzeuge: Luftschadstoffe	12
2.4 Schwere Nutzfahrzeuge: CO ₂ -Regelungen	13
2.5 Ausblick: Euro 7	14
3. Prüfverfahren	15
3.1 Fahrzyklen und Technologien	15
3.2 Simulationstool Vecto	18
4. Internationale Betrachtungen	21
5. Fazit	22
Literaturverzeichnis	23
Abbildungsverzeichnis	23
Tabellenverzeichnis	23
Anhang	24



Management Summary

Die Rechtsnormen zur Abgasregulierung sind in den letzten Jahren zunehmend komplexer und intransparent geworden. Unser Whitepaper Emissionsnormen für Fahrzeuge: Euro 6, WLTP, VECTO und Co. bietet einen Überblick über die Historie dieser Vorschriften, den Stand im Jahr 2021 sowie anstehende Änderungen. Neben Pkw behandeln wir leichte und schwere Nutzfahrzeuge.

Mit den aktuellen und zukünftigen Grenzwerten setzt der europäische Gesetzgeber die Messlatte bei Neufahrzeugen hoch an. Die ambitionierten Vorgaben eröffnen den Herstellern aber auch Chancen. Realitätsnähere Prüfverfahren begünstigen Fahrzeuge mit emissionsarmen Antrieben. Beispielsweise ist die Ermittlung des Ausstoßes im praktischen Fahrbetrieb mittels RDE-Verfahren (Real Driving Emission) möglich. Zur Ermittlung des Kraftstoffverbrauchs und des CO₂-Ausstoßes schwerer Nutzfahrzeuge gibt die EU-Kommission das Simulationstool VECTO heraus. VECTO lässt sich dem jeweiligen Stand der Technik anpassen und ermöglicht den direkten Vergleich zwischen unterschiedlichen Fahrzeugkonfigurationen.

Mit weiteren Verschärfungen der Flottenziele und Grenzwerte ist zu rechnen. Um im globalen Wettbewerb zu bestehen, müssen sich Fahrzeughersteller frühzeitig auf die absehbare Entwicklung einstellen und gezielt handeln.

1. Einleitung

In der EU gibt es für viele Luftschadstoffe Grenzwerte: Für Kohlenstoffmonoxid (CO), Stickstoffoxide (NO_x), Kohlenwasserstoffe (C_nH_m), Kohlenstoffdioxid (CO₂) und die Partikelzahl. Je nach Fahrzeug- und Motorart unterscheiden sich die vorgeschriebenen Grenzwerte. Fahrzeughersteller müssen die Schadstoffwerte ihrer Fahrzeuge bei sogenannten Typprüfungen in einem vordefinierten Fahrzyklus messen. Der Fahrzyklus gibt an, unter welchen Bedingungen und mit welchen Geschwindigkeitsabläufen der Verbrauch und Schadstoffausstoß von Fahrzeugen gemessen wird.

Vor allem in den letzten sechs Jahren ist in der Welt der Emissionsnormen viel passiert. Im Dschungel neuer Verordnungen, Testprozeduren und Grenzwerten ist Verwirrung vorprogrammiert. Dieser Artikel gibt zum einen eine Übersicht über die historische Entwicklung der Emissionsnormen und klärt über die aktuellen Euro-Normen 6 und VI auf. Zum anderen berichtet er über neuartige Simulationstechniken zur Bestimmung von Abgasemissionen.

2. Abgasnormen von Pkw, leichten Nutzfahrzeugen und schweren Nutzfahrzeugen

2.1 Pkw und leichte Nutzfahrzeuge: Luftschadstoffe

Der Fokus dieses Kapitels liegt auf der Erläuterung und Entwirrung der Euro-Norm 6. Doch bevor die Euro-Norm 6 aufgeschlüsselt wird, lohnt es sich in das Jahr 1970 zu blicken. In diesem Jahr wurde auf europäischer Ebene die Richtlinie 70/220/EWG erlassen, die die erste einheitliche Vorschrift für Abgase von Pkw einführt. Es wurden Grenzwerte für die Gase Kohlenstoffmonoxid und Kohlenwasserstoff definiert. [1]

Im Jahr 1992 wurde mit der Verordnung 01/441/EWG die Euro-Norm 1 ins Leben gerufen. Innerhalb der Euro-Norm 1 wurden Grenzwerte für Kohlenstoffmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffe (HC), Stickstoffoxide (NO_x) und für Dieselmotoren auch die Partikelmasse (PM) definiert. In den folgenden Euro-Normen 1 bis 6 wurden die Grenzwerte sukzessive verringert und Grenzwerte für weitere Luftschadstoffe eingeführt: zum Beispiel die Partikelanzahl (PN) und Nichtmethan-kohlenwasserstoffe (NMHC). Mit der Euro-Norm 3 im Jahr 2000 wurden Grenzwerte für Schadstoffemissionen leichter Nutzfahrzeuge (N1 Gruppe 1 bis 3) definiert. Seit 2014 gilt die Euro-Norm 6 für Pkw und LNF, die in verschiedenen Evolutionsstufen eingeführt wurde. Am Zeitstrahl in Abbildung 1 sind die einzelnen Stufen in ihrem historischen Kontext zu sehen. Dabei bleibt zu beachten, dass der Einführungszeitpunkt für leichte Nutzfahrzeuge mit einem Gewicht von mehr als 1.305 kg (Kategorie N1 Klasse II und III sowie Kategorie M) um ein Jahr verzögert ist. [2]

Im Folgenden werden die wichtigsten Unterschiede zwischen den Evolutionsstufen der Euro-Norm 6 erläutert.

Die Ziel-Grenzwerte innerhalb der Euro-Norm 6 sind über alle Evolutionsstufen gleich. Jedoch werden die Höchstwerte für die reale Überprüfung mittels RDE durch vordefinierte Konformitätsfaktoren angepasst. **Exakte Grenzwerte sind im Anhang (Tabelle 1 – 3) dargestellt.** Die Veränderungen des Konformitätsfaktors werden in den folgenden Ausführungen beschrieben. Der Grund für zeitliche Überschneidungen zwischen den verschiedenen Stufen liegt darin, dass es, wie in Abbildung 1 dargestellt, unterschiedliche Stichtage für Neuwagen und neue Pkw-Typen gibt. Allgemein wichtige Verordnungen für die Euro-Norm 6 sind: (EU) 715/2007, (EG) 692/2008 und die (EG) 459/2012.

Zeitliche Einordnung der Euro 6-Evolutionsstufen

■ Einführungszeitpunkt für neue Typen
 ■ Einführungszeitpunkt für Neufahrzeuge
 ■ Letzte Möglichkeit für Erstzulassung



⚠ Euro 6b

■ 09/2014
 ■ 09/2015
 ■ 31/08/2018

Relevante Verordnungen: (EU) 2916/427 und (EU) 2016/646

Die Emissionsprüfung wurde in der Euro-Norm 6b noch nach dem alten Zyklus (NEFZ) durchgeführt. Das bedeutet, dass das Abgasverhalten von Fahrzeugen lediglich zu realitätsfernen Prüfbedingungen auf dem Prüfstand nachgewiesen werden musste. [2]

⚠ Euro 6d-TEMP EVAP

■ Freiwillige Einstufung
■ Freiwillige Einstufung
■ 31/08/2019

Relevante Verordnungen: Zusätzlich zu Verordnungen aus Euro-Norm 6b (EU) 2017/1221

Bei dieser Norm handelt es sich um eine freiwillige Einstufung, die von den Herstellern vorgenommen werden kann. EVAP steht für „Evaporative Emission“ und ist eine Technologie zur Ermittlung der ausgedünsteten Kohlenwasserstoffe aus dem Kraftstoffsystem des Autos. Dafür werden in einem Zeitraum von zwei Tagen diese Ausdünstungen gemessen. [4]

⚠ Euro 6c

■ Freiwillige Einstufung
■ Freiwillige Einstufung
 ■ 31/08/2018

Relevante Verordnungen: Zusätzlich zu Verordnungen aus Euro-Norm 6b die (EU) 2017/1151 und (EU) 2017/1154

Die Euro-Norm 6c wird mit dem modernen, realitätsnäheren WLTP-Verfahren durchgeführt. Die Unterschiede zwischen NEFZ und WLTP werden in Kapitel 3 aufgeschlüsselt. [2]

⚠ Euro 6d-TEMP

■ 09/2017
 ■ Freiwillige Einstufung
■ 31/08/2019

Ab Euro 6d-TEMP werden realistische Messungen mit RDE vorgenommen. Um den Herstellern etwas Zeit bei der Schließung der Lücke zwischen Labor- und Realverbrauch zu geben, wurde der sogenannte Konformitätsfaktor eingeführt. Dieser beträgt bei Euro 6d-TEMP 2,1. Das bedeutet: Ein Fahrzeug, das im Labor 70 mg NO_x/km ausstößt, darf im RDE-Test 147 mg NO_x/km ausstoßen (110 % mehr). Die Realfahrt-Messungen erfolgen mittels sogenannter PEMS-Systeme (Portable Emission Measurement System). [3]

! Euro 6d-TEMP ISC

■ 01/2019 ■ *Freiwillige Einstufung*
■ 31/08/2019

Relevante Verordnungen: Zusätzlich zu Verordnungen aus Euro-Norm 6b (EU) 2018/1832

Im Sinne der ISC-Regelung (In-Service-Conformity-Tests) muss der Fahrzeughersteller anhand von Fahrzeug-Stichproben nachweisen, dass die im Betrieb befindlichen Pkw die gesetzlichen Vorgaben erfüllen. Das erneute Testen nach WLTP und RDE erfolgt im Rahmen der Fahrzeug-Untersuchung. Fahrzeuge qualifizieren sich für den ISC-Test, wenn sie [5]:

1. min. sechs Monate alt sind und eine Mindestlaufleistung von 15.000 km haben
2. max. fünf Jahre alt sind und maximal 100.000 km Laufleistung haben

! Euro 6d-TEMP EVAP ISC

■ 09/2019 ■ 09/2019 ■ 31/12/2020

Relevante Verordnungen: Alle aus den Evolutionsstufen der Euro 6d-TEMP

Seit 31. Dezember 2020 können Pkw dieser Klasse nicht mehr erstmalig zugelassen werden. Die Hersteller können für Lagerfahrzeuge beim Kraftfahrt-Bundesamt Ausnahmegenehmigungen beantragen. So kann die Frist auf den 31.12.2021 verzögert werden. [6]

! Euro 6d

■ *Freiwillige Einstufung*
■ *Freiwillige Einstufung*
■ 31/08/2019

Relevante Verordnungen: Wie bei Euro 6d-TEMP EVAP ISC

Der Kernunterschied zu den vorherigen Normen liegt darin, dass der Konformitätsfaktor für Stickoxide von 2,1 auf 1,43 sinkt. Fahrzeuge dürfen im praktischen Fahrbetrieb also nur noch 50 % mehr Stickoxide ausstoßen als im Labortest. [2]

! Euro 6d ISC

■ *Freiwillige Einstufung*
■ *Freiwillige Einstufung* ■ 31/12/2020

Relevante Verordnungen: Siehe Euro 6d

Seit dem 31. Dezember 2020 können Pkw dieser Klasse nicht mehr erstmalig zugelassen werden. Die Hersteller können für Lagerfahrzeuge beim Kraftfahrt-Bundesamt Ausnahmegenehmigungen beantragen. So kann die Frist auf den 31.12.2021 verzögert werden. [6]

! Euro 6d ISC-FCM

■ 01/2020 ■ 01/2021

Relevante Verordnungen: Siehe Euro 6d

FCM steht für „Fuel Consumption Monitoring“. Dahinter verbirgt sich ein System, das den realen Kraftstoffverbrauch des Fahrzeugs während des gesamten Fahrbetriebs speichert. Die gespeicherten Daten können über eine Diagnose-Schnittstelle ausgegeben und ausgewertet werden. Ziel ist es einen konstanten Abgleich zwischen Prüfstandemissionen und Realemissionen zu schaffen. [6]

Dies ist die aktuelle Euro-Norm und stellt die finale Evolutionsstufe der Euro-Norm 6 dar. Derzeit ist nicht klar, bis zu welchem Zeitpunkt sie gültig sein wird.





2.2 Pkw und leichte Nutzfahrzeuge: CO₂-Regelungen

Grundlagen CO₂-Normen

An dieser Stelle kommt die Frage auf, wo die Grenzwerte für das Klimawandel beschleunigende CO₂ definiert sind. Seit 2009 wird der CO₂-Ausstoß von Pkw und LNF durch die EU reguliert. Allerdings werden die CO₂-Grenzwerte durch die Verordnungen (EG) 443/2009, (EU) 333/2014, (EU) 510/2011 und (EU) 253/2014 bis in das Jahr 2021 getrennt von den restlichen Luftschadstoffemissionen geregelt. Im Rahmen der Typgenehmigung von Fahrzeugen auf dem Rollenprüfstand wird noch bis ins Jahr 2021 der CO₂-Ausstoß nach dem NEFZ ermittelt. Ab dem Jahr 2022 basiert der Wert dann auf dem neuen Prüfverfahren WLTP. Die Prüfverfahren und relevanten Technologien werden in Kapitel 4 beschrieben. [2]

Zur Ermittlung des CO₂-Ausstoßes und des durchschnittlichen Kraftstoffverbrauchs wird, im Gegensatz zum Vorgehen bei anderen Luftschadstoffen, nicht das individuelle Auto betrachtet, sondern die Fahrzeugflotte. Die Fahrzeugflotte setzt sich dabei aus verschiedenen Fahrzeugen einer Gruppe zusammen. Das können zum Beispiel alle Fahrzeuge eines Unternehmens, Herstellers, einer Fahrzeugklasse oder eines Fahrzeugtyps sein. Der Wert gibt Aufschluss über das gesamte durchschnittliche Verhältnis von Kraftstoffverbrauch zur gefahrenen Strecke. [2]

Entwicklung der CO₂-Grenzwerte

Der 2009 definierte flottenbasierte CO₂-Ziel-Grenzwert für Pkw für das Jahr 2015 betrug 130 g CO₂/km (nach NEFZ-Prüfverfahren) und wurde für 2020 auf 95 g CO₂/km (nach NEFZ-Prüfverfahren) reduziert. Das entspricht 4,1 Liter/100 km für Benziner und 3,6 Liter/100 km für Diesel. Der flottenbasierte CO₂-Zielwert berechnet sich individuell für jeden Hersteller. Er hängt von den Leergewichten der in den Vorjahren verkauften Fahrzeuge ab. Die Berechnung ergibt sich aus folgender Formel: [7]

$$\text{CO}_2 [\text{g/km}] = 95 + a(M-M_0)$$

Wobei $a=0,33$ bei Pkw und $0,093$ bei LNF, M =Leergewicht des Fahrzeugs in kg, $M_0 = 1379,99$ kg für Pkw und $1766,40$ kg für LNF

Ebenfalls neu war im Jahr 2020, dass der Zielwert von 95 % der Pkw-Fahrzeugflotte eingehalten werden muss. Ab 2021 muss der Zielwert dann von der gesamten Flotte eingehalten werden. Zudem wird der Zielwert ab diesem Zeitpunkt durch das neue, realitätsnähere WLTP-Testverfahren ermittelt. Für die Jahre 2025 und 2030 sind im Rahmen der Verordnung (EU) 2019/631 Senkungen des Grenzwerts von 15 % und 37,5 % zum WLTP-Zielwert im Referenzjahr 2021 für Pkw angesetzt [2]. Analog betrug der Ziel-Grenzwert bei den LNF für 2014 175 g CO₂/km (nach NEFZ-Prüfverfahren) und ab 2020 147 g CO₂/km (nach NEFZ-Prüfverfahren) und wird ebenfalls zu 2025 um 15 %, zu 2030 um 31 % im Vergleich zum Referenzjahr 2021 verringert. Bei den LNF muss die gesamte Neuwagenflotte ab 2020 unter dem Zielwert liegen. Analog zu den Pkw wird der Verbrauch leichter Nutzfahrzeuge auch ab dem Jahr 2021 über das neue WLTP-Verfahren gemessen [8]. [9]

Durch das neue, realitätsnähere und dynamischere WLTP-Prüfverfahren wird der Kraftstoffverbrauch der Fahrzeuge ca. 20 % über den Werten liegen, die durch NEFZ ermittelt wurden und ca. 40 % geringer ausfallen als reale Verbrauchswerte. Somit besteht auch bei dem neuen WLTP-Verfahren eine Differenz von 20 % zum Realverbrauch. Um diese Lücke nach und nach zu schließen, hat die EU-Kommission mit der Verordnung (EU) 2018/1832 beschlossen, neue Fahrzeuge ab 2021 verpflichtend mit Verbrauchsmesseinrichtungen, sogenannten On-Board Fuel Consumption Meter (OBFCM), auszustatten. Dieses System erfasst bei Verbrennern den Kraftstoffverbrauch und bei Elektroautos den Energieverbrauch. Die gemessenen Verbräuche werden an die EU-Kommission weitergeleitet. Auf dieser Datenbasis will die EU-Kommission einen Abgleich der Realwerte mit den Werten aus den Testzyklen vollziehen. Die technische Umsetzung sowie Zuweisung der Verantwortlichkeiten steht noch nicht fest. Ein Vorschlag wird derzeit von der EU-Kommission erarbeitet. [10]

Anreize und Geldstrafen

Neben der Definition der CO₂-Zielwerte enthält die CO₂-Regulierung weitere Bestandteile. So ist es beispielsweise in den Jahren 2020, 2021 und 2022 möglich, emissionsfreie und emissionsarme Fahrzeuge, sogenannte Zero and Low Emission Vehicles (ZLEV, CO₂-Emissionen < 50 g/km), mehrfach anrechnen zu lassen. Dieses System der Mehrfachanrechnung wird „Supercredits“ genannt und steht für eine stärkere statistische Bewertung emissionsarmer Fahrzeuge. ZLEV werden in den Jahren 2020, 2021 und 2022 respektive 2-fach, 1,67-fach und 1,33-fach angerechnet. Maximal darf der Zielwert jedoch um 7,5 g/km gemindert werden, damit die Regelungen ihr Ziel nicht verfehlen. Ab 2023 werden ZLEV 1-fach angerechnet. Das System der „Supercredits“ gilt nur für Pkw und wird ab 2025 durch andere Anreizmechanismen für ZLEV ersetzt. [7]

Ebenfalls können „Öko-Innovationen“ auf den individuellen CO₂-Zielwert angerechnet werden. Öko-Innovationen zeichnen sich dadurch aus, dass sie zur Senkung der CO₂-Emissionen im Realbetrieb, aber nicht zur Senkung auf dem Prüfstand beitragen (zum Beispiel moderne LED-Scheinwerfer). Voraussetzung zur Anrechnung dieser Innovationen ist eine absehbare und methodisch schlüssig nachgewiesene Verringerung der CO₂-Emissionen von mindestens 0,5 g CO₂/km im Realbetrieb. Die maximale Anrechnung auf den Zielwert beträgt für Öko-Innovationen 7 g CO₂/km. Dieser Wert soll zukünftig von der EU-Kommission angepasst werden. [11]

Ab 2025 wird es einen Anreizmechanismus geben, der sowohl für Pkw, als auch für LNF gelten soll. Anders als beim System der „Supercredits“ ergeben sich bei den Herstellern nicht schon durch den Verkauf einzelner Fahrzeuge Vorteile, sondern erst durch das Erreichen einer Benchmark. Diese Benchmark beträgt ab 2025 15 % und ab 2030 30 % (für Pkw) bzw. 35 % (für LNF). Die Hersteller erhalten für jeden Prozentpunkt über dem Benchmark-Wert eine Erleichterung des Flottengrenzwerts von 1 %. Maximal werden 5 % angerechnet. Plug-In-Hybride werden schwächer gewichtet als Fahrzeuge mit Null-Emissionen. So wird ein Fahrzeug mit einem CO₂-Ausstoß von 0 g CO₂/km als ein ZLEV und ein Pkw mit 50 g CO₂/km als 0,3 ZLEV angerechnet. Durch lineare Interpolation zwischen den beiden Werten wird die Gewichtung für dazwischenliegende Pkw ermittelt. [9]

Im Falle einer Überschreitung der Zielwerte sind Strafzahlungen zu leisten. Für jedes Gramm CO₂, das zusätzlich zum Flottenzielwert emittiert wird, fallen Strafzahlungen von 95 € pro Pkw an. Dieser Wert wurde laut EU-Kommission so gewählt, damit die Einhaltung der Flotten-Zielwerte günstiger ist, als Überschreitungen. [9]

Potentielle Strafzahlungen können minimiert oder verhindert werden, indem einzelne Hersteller untereinander sogenannte Emissionsgemeinschaften bilden. Dies soll verhindern, dass Hersteller mit einem eingeschränkten Sortiment benachteiligt werden und die Möglichkeit bekommen, die Grenzwerte kostenwirksam einzuhalten. Der Emissionswert gilt dann für die Pkw-Flotte aller beteiligten Unternehmen. So könnte beispielsweise ein Hersteller, der Premiumfahrzeuge mit hohen Verbräuchen anbietet und allein den Grenzwert überschreiten würde, eine Kooperation mit einem Hersteller sparsamer Fahrzeuge eingehen. Die Gemeinschaften dürfen für maximal fünf Jahre gebildet werden, können aber verlängert werden. Weitere Ausnahmen gibt es für kleinere Hersteller, die weniger als 10.000 Fahrzeuge pro Kalenderjahr zulassen. Diese können bei der EU-Kommission eine Ausnahmegenehmigung beantragen. Für Hersteller mit 10.000 – 300.000 Fahrzeugen pro Kalenderjahr kann die EU-Kommission gegebenenfalls Sonderregelungen zulassen. [9]



2.3 Schwere Nutzfahrzeuge: Luftschadstoffe

Seit der Einführung der ersten Euro-Norm für SNF konnten die Schadstoffemissionen von Fahrzeugen dieser Klassen insgesamt um 98 % gesenkt werden. Die erste Euro-Norm für SNF trat durch die Richtlinie 91/542/EWG am 01.07.1992 in Kraft. Damals wurden Grenzwerte für CO, HC, NO_x und PM definiert. Seitdem wurden mit der Einführung neuerer Euro-Normen sukzessive diese Grenzwerte verringert und Werte für neue Schadstoffe hinzugefügt. Seit Januar 2013 existiert die aktuell gültige Euro-Norm VI, auf welcher der Fokus dieses Abschnitts liegen soll. Zwecks Differenzierung zwischen Pkw und LNF erfolgt die Benennung der Euro-Normen für SNF über die römischen Zahlen I-VI. [12]

Die Euro-Norm VI gilt seit 01/2013 und unterliegt der Richtlinie (EU) 582/2011. **Die genauen Schadstoffgrenzwerte finden sich in Tabelle 4 im Anhang.** Grundsätzlich werden bei SNF die Grenzwerte nicht pro Kilometer, sondern pro Kilowattstunde Motorleistung angegeben. Neu eingeführt wurden mit der Euro-Norm VI Grenzwerte für Ammoniak (NH₃) und die Partikelzahl (PN). Nicht mehr relevante Grenzwerte aus den Vorgänger-Normen sind NMHC, Methan sowie Trübung. [13]

Die Zertifizierung gemäß Euro-Norm VI erfolgt mittels **WHTC** (World Harmonized Transient Cycle) oder **WHSC** (World Harmonized Stationary Cycle), welche die alten Testzyklen ESC (European Stationary Cycle), ETC (European Transient Cycle) sowie ELR (European Load Response Test) ablösen. Der Unterschied WHTC und WHSC besteht darin, dass WHTC einen Kalt- sowie Warmstart beinhaltet, während WHSC lediglich einen Warmstart verlangt. So soll sichergestellt werden, dass die Grenzwerte auch in der ineffizienten Kaltphase eingehalten werden. Um dies zu erreichen, nutzen Hersteller verschiedenste Technologien und Methoden, wie zum Beispiel beheizbare Katalysatoren, modifizierte Schließzeiten der Abgasklappen oder spätere Einspritzzeitpunkte des Kraftstoffes in den Motor. Eine weitere Technologie um die Abgasnormen einzuhalten ist, die Abgasrückführung (AGR) mit selektiver, katalytischer Reduktion SR (Harnstofflösung AdBlue). [14]

Die Entwicklung und Etablierung der neuen Testmethoden begründet sich analog zum Wechsel von NEFZ auf WLTP bei Pkw und LNF.

Die modernen Testprozeduren WHTC und WHSC sollen ein realistischeres Bild des Schadstoffausstoßes schwerer Nutzfahrzeuge zeichnen.

So enthält WHTC im Sekundentakt Veränderungen der Drehzahl- und Drehmomentwerte. Im Vergleich zu den alten Testverfahren wurde der emissionsintensive Stadt- und Niedriglastanteil erhöht sowie stärker bewertet. Der WHSC-Test erfolgt unter Bedingungen, in denen stationäre Dieselmotoren normalerweise im Betrieb wieder sind und spiegelt somit den Emissionsausstoß bei längerem Betrieb. Besonders die WHTC-Prozedur stellt eine Herausforderung für die Fahrzeugzulassung dar, da moderne Lkw-Dieselmotoren erst nach ca. 1.200 Sekunden die Arbeitstemperatur von 250 °C erreichen, bei der sie am effizientesten arbeiten. [15]

Mit der Einführung der Euro-Norm VI bei SNF ist auch ein RDE-Anteil beim Zulassungsverfahren vorgeschrieben. Es werden wie bei Pkw und LNF die Emissionen mittels PEMS-Systems im realen Fahrbetrieb gemessen. Der Konformitätsfaktor liegt hier gegenüber den auf dem Prüfstand erreichten Emissionswerten bei 1,5.

SNF unterliegen zudem bereits seit Einführung der Euro-Norm VI einer permanenten Emissions-Kontrolle im Fahrbetrieb (ISC: In-Service-Conformity-Test mittels PEMS). Der Gesetzgeber schreibt vor, dass Fahrzeuge nach Inbetriebnahme über einen Zeitraum von sieben Jahren und einer Laufleistung bis 300.000 km (3,5-16 t zulässiges Gesamtgewicht) und 700.000 km (> 16 t zulässigem Gesamtgewicht) die Schadstoff-Grenzwerte auf der Straße einhalten müssen. Die Schadstoff-Emittierung zugelassener Fahrzeuge muss spätestens 18 Monate nach Inbetriebnahme und danach alle zwei Jahre im realen Betrieb kontrolliert werden. [12]

2.4 Schwere Nutzfahrzeuge: CO₂-Regelungen

Schwere Nutzfahrzeuge machen 25 % der CO₂-Emissionen im Straßenverkehr aus. Bis ins Jahr 2019 gab es jedoch keine CO₂-Grenzwerte für schwere Nutzfahrzeuge (SNF). Bis dahin wurde das Motto „der Kunde als Regulierer“ verfolgt und aufgrund des Wettbewerbsdrucks sank der Kraftstoffverbrauch von SNF seit Beginn der 90er-Jahre jährlich um 0,8 bis 1,5 % [16]. Die Produktvielfalt, bestehend aus zahlreichen Kombinationen verschiedener Zugmaschinen und Aufbauten, macht es zu einer Herausforderung, Emissions-Grenzwerte festzulegen, die in einem einheitlichen Testverfahren ermittelt werden können.

Aufgrund der schwierigen Testsituation hat die EU-Kommission in Kooperation mit der TU Graz eine Abgas-Simulationssoftware entwickelt: Vecto. Diese Software soll es ermöglichen, auf Basis fahrzeugspezifischer Parameter, eine zuverlässige Aussage über den Kraftstoffverbrauch zu treffen und so herstellerspezifische Flotten-Zielwerte zu ermitteln. Im Kapitel 3.2 wird Vecto detaillierter betrachtet.

Die EU führt mit der Verordnung (EU) 2019/1242 erstmals CO₂-Flottenzielwerte für SNF ein. Diese sehen basierend auf den Werten einer Vergleichsflotte aus den Jahren 2019/2020 ab 2025 eine Verringerung der durchschnittlichen, spezifischen CO₂-Emissionen pro Kilometer um 15 % und ab 2030 eine Verringerung um 30 % vor. [17]

Davon sind zunächst einmal die Fahrzeugklassen N2 und N3 betroffen. Ganz konkret Lkw mit einer Achskonfiguration von 4x2 und einer zulässigen Gesamtmasse in beladenem Zustand von mehr als 16 Tonnen, 6x2 Lkw, 4x2 Sattelzugmaschinen mit einer zulässigen Gesamtmasse in beladenem Zustand von mehr als 16 Tonnen sowie 6x2 Sattelzugmaschinen. Seit 2020 ist die Angabe der CO₂- und Verbrauchswerte bei Fahrzeugen ab 7,5 t ebenfalls verpflichtend.

Ab 2022 wird damit gerechnet, dass die Regelungen auch Fahrzeuge ab 5 t betreffen sowie dass sie in den darauffolgenden Jahren auf Fahrzeuge ab 3,5 t ausgeweitet werden.

Die CIF (Customer Information File) wird dem Fahrzeugkäufer übermittelt und gibt Aufschluss über technische Spezifikationen sowie CO₂-Emissionen und Verbrauch des Fahrzeugs. Mittels CIF wird das Fahrzeug in der EU registriert (seit Mai 2019). Die CIF bleibt für die gesamte Lebensdauer des Fahrzeugs valide.

Ab 2025 müssen Hersteller über die Einhaltung der ihnen auferlegten Flotten-Ziel-Emissionswerte berichten. Wie bei Pkw und LNF werden hier ZLEV-Fahrzeuge auf den Flotten-Zielwert angerechnet, um den Herstellern Anreize zu bieten, explizit diese Fahrzeuge zu verkaufen. Analog zur Regelung bei Pkw und LNF gilt bis 2024 das Anreizsystem der „Supercredits“ und ab 2025 das Benchmark-System. [17]

Bei Nichteinhaltung der herstellerspezifischen Grenzwerte müssen die Hersteller Strafe zahlen [18]:

Von 2025 bis 2029

CO₂-Emissionsüberschreitung x 4.250 €/g CO₂ /tkm

Ab 2030

CO₂-Emissionsüberschreitung x 6.800 €/g CO₂ /tkm

2.5 Ausblick: Euro 7

Es stellt sich die Frage: Wann kommt Euro 7? Darauf gibt es derzeit noch keine Antwort. Aktuell erarbeitet ein von der EU-Kommission beauftragtes Konsortium (CLOVE-Konsortium) wissenschaftliche Studien und Lösungen für eine mögliche Gestaltung der neuen Emissionsnorm. Teil des CLOVE-Konsortiums sind diverse Forschungs- und Beratungseinrichtungen: LAT/AUTH, Emisia, FEV, Ricardo, TNO, die TU Graz sowie VTT Technical Research Centre of Finland Ltd. Das Verfassen der Studien wird voraussichtlich bis Mitte 2021 andauern. Es ist geplant, dass die EU-Kommission noch im Jahr 2021 einen Vorschlag zur Norm Euro 7 unterbreitet, der dann zu einem Gesetzgebungsverfahren im Europäischen Parlament führt. [19]

Die neue Emissionsnorm wird die Grenzwerte für Fahrzeuge weiter senken und somit die Notwendigkeit für Innovationen auf dem Gebiet der Abgastechnik weiter erhöhen. Außerdem könnten Grenzwerte für Schadstoffe geschaffen werden, deren Ausstoß vorher noch nicht beschränkt war. So könnte das Reizgas Ammoniak (NH₃) reguliert werden. Bei SNF ist der Ammoniak-Ausstoß nämlich bereits gesetzlich limitiert. Außerdem könnten Regelungen für Treibhausgase wie Methan (CH₄) und Distickstoffmonoxid (N₂O) geschaffen werden. Konkrete Aussagen lassen sich jedoch erst nach einem offiziellen Vorschlag der EU-Kommission treffen. [19]



3. Prüfverfahren

3.1 Fahrzyklen und Technologien

NEFZ

NEFZ steht für „Neuer Europäischer Fahrzyklus“ und war seit 1992, bevor es von WLTP abgelöst wurde, für alle in der EU zugelassenen Neufahrzeuge gültig. NEFZ ist ein Rollenprüfstand-Fahrzyklus und dient der Bestimmung von Luftschadstoffwerten. Dafür wird das Fahrzeug nach einer genau definierten Abfolge auf dem Rollenprüfstand beansprucht. Während des Vorgangs werden die Emissionen aus dem Auspuff gemessen. Alle Fahrzeuge müssen diesen Fahrzyklus vor ihrer Markteinführung durchlaufen. Dabei gelten einheitliche Testbedingungen für alle Fahrzeughersteller. Hier einige Fakten zum Testablauf:

- Umgebungstemperatur 20 – 30° Celsius.
- Kaltstart.
- Insgesamt 11 km Strecke und 20 Minuten Fahrzeit,
- Der Fahrer bekommt angezeigt, zu welchem Zeitpunkt er wie schnell fahren muss, wann er zu beschleunigen hat, wann er schalten und bremsen muss. Die Schaltpunkte sind fahrzeugunabhängig festgelegt.
- Simulation des Stadtverkehrs und einer Autobahnfahrt. Dabei wird die Maximalgeschwindigkeit von 120 km/h für nur 10 Sekunden gehalten.
- Die Durchschnittsgeschwindigkeit beträgt 34 km/h.
- Die Standzeit beträgt 25 %.
- Einfluss von Sonderausstattung und Klimaanlage werden nicht berücksichtigt.

Die NEFZ-Prozedur bringt einige Ungenauigkeiten mit sich, die nicht zuletzt auch der Grund dafür sind, dass es durch das moderne Verfahren WLTP ersetzt wurde. Diese äußern sich in einer großen Diskrepanz zwischen Prüfstand-Messwerten und solchen aus dem realen Fahrbetrieb. Als Gründe dafür sind die geringe Durchschnittsgeschwindigkeit und langsame Beschleunigung von 0 auf 50 km/h in 26 Sekunden. Aufgrund physikalischer Gesetzmäßigkeiten nimmt der Luftwiderstand bei hohen Geschwindigkeiten überproportional zur Geschwindigkeit zu und somit den Kraftstoffverbrauch stark beeinflusst. Ebenso wird bei starker Beschleunigung mehr Kraftstoff verbraucht. Besonders bei SUVs entstehen so nennenswerte Differenzen zwischen Labor- und Realverbrauch. [20]

WLTP

Seit dem 01.09.2017 (mit der Einführung von Euro 6c) ist WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure) in der EU vorgeschrieben. Im Gegensatz zu seinem Vorgänger, dem NEFZ, deckt WLTP durch mehr Beschleunigungs- und Bremsvorgänge eine heterogenere, realistischere Fahrsituation ab. Die Prozedur wurde anhand von global gesammelten Fahrdaten entwickelt. Fahrzeughersteller müssen jetzt die Verbrauchsangaben für jede konfigurierbare Ausstattungsvariante angeben. So entstehen größere Emissionsspannen für gleiche Fahrzeugtypen. Es gibt innerhalb des WLTP drei Prüfzyklen. Die Auswahl des Prüfzyklus hängt vom Leistungsgewicht P_{Wr} (kW/t) ab. [21]

Klasse 3: Hochleistungsfahrzeuge mit $P_{Wr} > 34$ kW/t

Klasse 2: Fahrzeuge mit 22 kW/t $< P_{Wr} \leq 34$ kW/t

Klasse 1: Low Power Fahrzeuge mit $P_{Wr} \leq 22$ kW/t

In der Regel wird der Prüfzyklus nach Klasse 3 relevant. Bei Kleinbussen, Transportern und Kastenwagen kann es aufgrund des Verhältnisses von Leistung und Gewicht aber auch Klasse 2 sein. Kernunterschiede zu NEFZ sind die 10 Minuten längere Prüfzeit und dynamischere Beschleunigungs- und Geschwindigkeitskurven.

Der Ablauf gestaltet sich wie folgt: [20]

- Umgebungstemperatur 20–30° Celsius
- Kaltstart
- Insgesamt 23,25 km Strecke und 30 Minuten Fahrzeit
- Der Fahrer bekommt angezeigt, zu welchem Zeitpunkt er wie schnell fahren muss, wann er beschleunigen, schalten und bremsen muss. Die Schaltpunkte sind fahrzeugspezifisch
- Simulation des Stadtverkehrs und einer Autobahnfahrt. Dabei wird die Maximalgeschwindigkeit von 131 km/h erreicht
- Die Durchschnittsgeschwindigkeit beträgt 46,6 km/h
- Die Standzeit beträgt 13 %
- Einfluss von Sonderausstattung (außer Klimaanlage!) auf Gewicht, Aerodynamik, Bordnetz-Bedarf usw. wird berücksichtigt

Der Fokus bei der Entwicklung von WLTP lag auf der weltweiten Wiederholbarkeit. Seit September 2019 gilt der WLTP 2nd Act. Er ändert einige Details in der Testprozedur: zum Beispiel Vorgaben zur Schaltpunktberechnung für Handschalter, Fahrzeugkoeffizienten und die Vorgabe, dass für alle ab 2021 neu zugelassenen Fahrzeuge der Kraftstoffverbrauch der On-Board-Diagnose (OBD) um weniger als ± 5 Prozent von dem in einem WLTP-Zertifizierungstest (bei 23° C) ermittelten Wert abweichen darf. [22]

WLTP gilt auch für Elektro- und Wasserstofffahrzeuge. Dabei ist der Prüfablauf analog zu dem der Verbrenner. Am Ende des Tests wird die Batterie beim E-Auto wieder vollgeladen. Mittels geladener Strommenge wird der Stromverbrauch abgeleitet. Verbraucher profitieren beim Kauf von E-Autos vom WLTP-Verfahren, da es wesentlich realistischere Reichweitenangaben für Elektroautos zulässt. Bei Wasserstoffautos wird während des Tests ein externer Wasserstofftank genutzt. Der Wasserstoff-Verbrauch ergibt sich aus der Differenz des Tankgewichts vor und nach dem Test. [22] Bei herkömmlichen Hybridfahrzeugen (Batterie kann nicht extern aufgeladen werden) wird während des WLTP-Zyklus der Ladezustand der Batterie gemessen. Ist der Ladezustand nach dem Test gleich, so wird die elektrische Komponente nicht beachtet. Ist der Ladezustand niedriger als vor dem Test, so wird der Stromverbrauch in den Kraftstoffverbrauch mit eingerechnet. [22]

Der Test von Plug-in-Hybriden mittels WLTP ist langwierig und wesentlich komplexer als bei reinen Verbrennungsmotoren oder Elektroautos. Es gibt einen Best-Case-Test (vollgeladene Batterie) und einen Worst-Case-Test (mit leerer Batterie). Im Best-Case-Test, auch „Charge-Depleting-Mode“ genannt, wird der Zyklus so lange wiederholt, bis der Antrieb nicht mehr elektrisch unterstützt werden kann. Die Dauer des Tests hängt somit wesentlich von der BatteriegroÙe ab. Im Worst-Case-Test („Charge-Sustaining-Test“) wird das Fahrzeug mit leerer Batterie getestet. Am Ende fließen mehrere Faktoren in die Bewertung ein, wie zum Beispiel die Anzahl der Testdurchläufe mit geladener Batterie. Das Fahrzeug muss während aller Tests die Schadstoffgrenzwerte einhalten. [22]

RDE

Mit der Einführung der Euro-Norm 6d-Temp im September 2019 wurden auch Messungen im realen Betrieb auf der Straße für die Partikelanzahl (PN) und Stickstoffdioxid (NO_x) Bestandteil der Prüfprozedur bei Fahrzeugzulassungen. Die RDE-Verordnungen erhalten Anforderungen mit verhältnismäßig großen Spannweiten bezüglich Streckencharakteristika und Rahmenbedingungen (Fahrodynamik, Umgebungstemperatur, usw.) für die Messungen, um einen möglichst großen Bereich unterschiedlicher Fahrprofile abzubilden. Während der Realfahrt wird das Abgas mittels PEMS-System (Portable Emission Measurement System) gemessen und analysiert. Das PEMS-Messgerät ist dabei entweder auf der Anhängerkupplung oder im Kofferraum untergebracht, wird vor jeder Realmessung auf dem Rollenprüfstand kontrolliert und bei Abweichungen neu kalibriert.

Der Ablauf der RDE-Messung gestaltet sich wie folgt:

- Testroute nahezu frei wählbar, einzige Bedingungen: mind. 16 km in der Stadt, Überland und auf der Autobahn und zwischen 1,5 und 2 Stunden Dauer
- Temperaturen zwischen –7 und 35° C
- Fahrzeugzuladung bis zu 90 %
- Start (Kaltstart) der Messfahrt in der Stadt
- Stadt: Geschwindigkeit zwischen 15 und 40 km/h im Durchschnitt, maximal 60 km/h
- Landstraße: Geschwindigkeit zwischen 60 und 90 km/h
- Autobahn: 145 km/h und kurzzeitig bis zu 160 km/h

Bei Elektro- und Wasserstofffahrzeugen entfallen RDE-Tests. Hybridfahrzeuge werden im „Charge-Sustaining-Mode“ getestet (Worst-Case mit leerer Batterie). Die Erklärung zu diesem Modus ist im letzten Teil des Absatzes „WLTP“ zu finden. [22]

OBFCM

Das On Board Fuel Consumption Monitoring System (OBFCM) misst den realen Kraftstoffverbrauch über den gesamten Lebenszyklus und speichert ihn im Fahrzeugsystem. Doch nicht nur der Kraftstoffverbrauch, auch diverse andere Fahrzeug-, Motor- und Stromparameter wie zum Beispiel die zurückgelegte Strecke, der Kraftstoffdurchsatz und die Fahrgeschwindigkeit werden gespeichert. Über die Diagnoseschnittstelle des Fahrzeugs können diese Daten ausgewertet und in Relation zu den Prüfstand-Werten gesetzt werden. Dabei darf der im Fahrzeug ermittelte Kraftstoffverbrauch nicht mehr als $\pm 5 \%$ von dem in einem WLTP Typ 1-Zertifizierungstest bei 23° C ermittelten Wert abweichen. Die Genauigkeit des Systems ist gesetzlich vorgeschrieben und wird mittels WLTP-Prozedur geprüft. Seit Januar 2021 müssen die ermittelten Daten zu Kraftstoff- bzw. Stromverbrauch der EU-Kommission zur Verfügung gestellt werden. [22]



3.2 Simulationstool Vecto

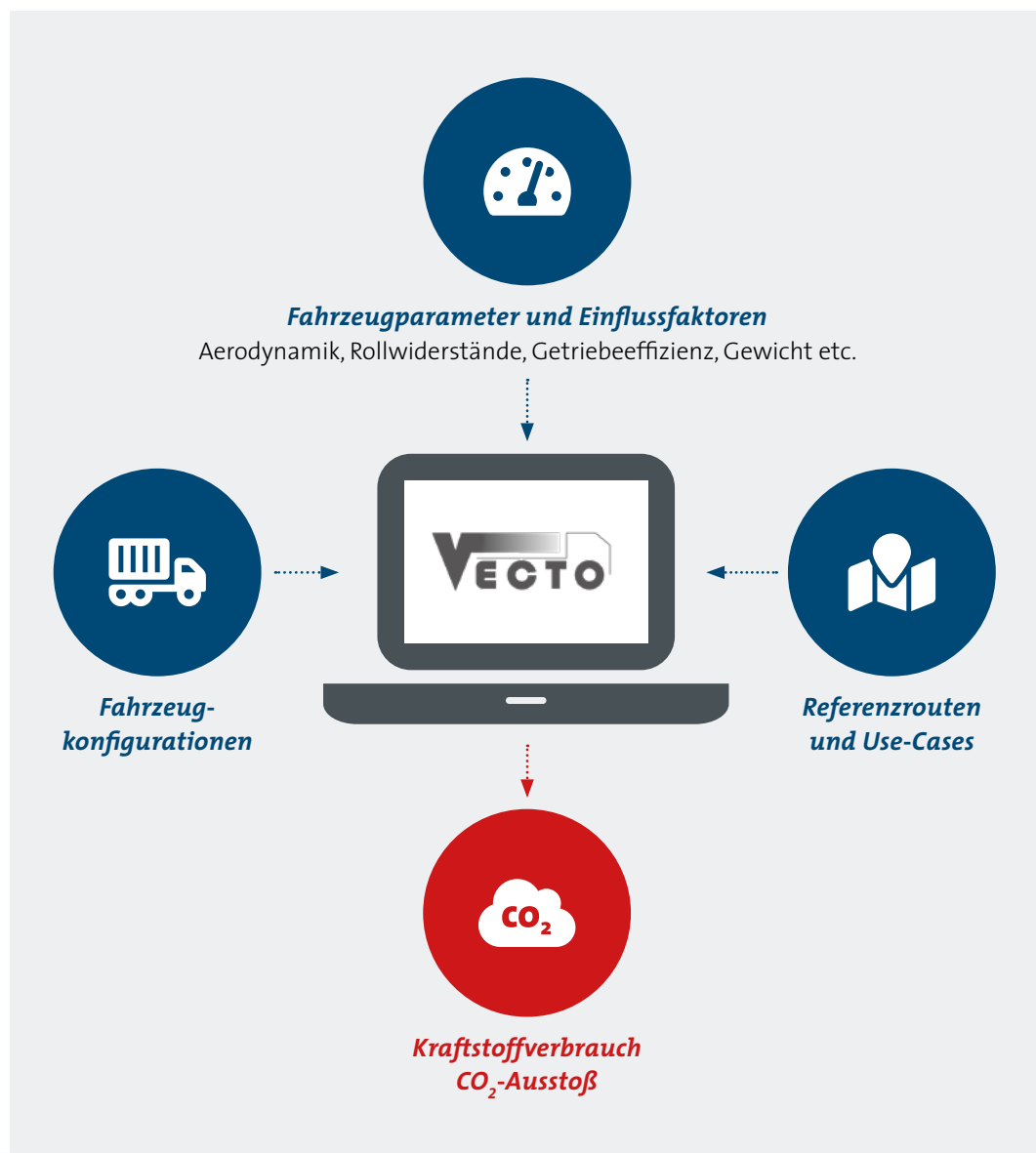
Die Ermittlung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emission von SNF ist aufgrund der Diversität und individuellen Charakteristiken verschiedener SNF eine Herausforderung. So kann beispielsweise ein und derselbe Lkw bei der Nutzung verschiedener Sattelaufleger oder anderer Aufbauten unterschiedliche Mengen Kraftstoff verbrauchen. Die Lösung dafür ist das Simulationstool „Vecto“.

Die Entwicklung von Vecto wurde von der EU-Kommission initiiert und in Kooperation mit der TU Graz umgesetzt. Das wissenschaftliche Papier zu Vecto wurde bereits am 08.09.2013 veröffentlicht [23]. Die Kernmethodik, die es mit Vecto ermöglicht, die CO₂-Emissionen und den Kraftstoffverbrauch von SNF zu erfassen, basiert auf einer Kombination von Komponententests und Fahrzeugsimulationen. Die fahrzeugkomponentenspezifischen Messungen und Fahrzeugsimulationen werden in enger Zusammenarbeit mit den europäischen SNF-Herstellern, Zulieferern und anderen Stakeholdern erarbeitet. Ein besonderer Augenmerk lag bei der Entwicklung auf der Anpassbarkeit des Tools. So ist es möglich, aktuelle Ergebnisse und Erkenntnisse von Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten einzubeziehen und das Tool so stetig an den aktuellen Stand der Technik anzupassen. [24]

Für Hersteller von schweren Nutzfahrzeugen hat Vecto einen Zweifachnutzen. Das Ergebnis der Vecto-Simulation kann zum einen für Zulassungszwecke und zum anderen für Vertriebs- und Marketingzwecke genutzt werden. Hersteller können die Ergebnisse nutzen, um mit der Qualität ihrer Kraftstoff- und CO₂-Einspartechnologien für ihre Fahrzeuge zu werben und faktenbasierte Wettbewerbsvorteile zu schaffen. Für die Kunden ergibt sich eine hohe Transparenz bezüglich des Kraftstoffverbrauchs und ein objektiver Vergleich gleichwertiger Fahrzeuge unterschiedlicher Hersteller wird ermöglicht.

Funktionsweise

Das Tool ist in der Sprache C# programmiert und steht als Open-Source-Software zur Verfügung. Die Parameter, die den Kraftstoffverbrauch beeinflussen, werden simuliert. Es wird mit standardisierten Aufbauten und Sattelaufliegern gemessen, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu garantieren. Außerdem werden realistische Referenzrouten in Bezug zum jeweiligen Use-Case verwendet. So müssen zum Beispiel bei einem Lkw, der innerstädtisch genutzt wird, mehr Beschleunigungs- und Abbremsvorgänge stattfinden sowie die Durchschnittsgeschwindigkeit niedriger sein, als bei einem Langstrecken-Fahrzeug. Schon in der Simulation lassen sich so optimale Fahrzeugkonfigurationen für die jeweiligen Use-Cases ermitteln. Es sind mehrere Fahrzyklen vordefiniert, zum Beispiel: städtische Zustellung, regionale Zustellung, Fernverkehr, kommunale Versorgungsunternehmen und Bauwesen. So hat bei Langstreckenfahrten beispielsweise die Aerodynamik einen erheblichen Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch, während bei innerstädtischem Einsatz andere Komponenten, wie der Motor, für den Verbrauch ausschlaggebend sind. [25]



Skizzierte Funktionsweise von Vecto

Die eingegebenen Fahrzeugparameter werden in standardisierten Messprozeduren erzeugt und von Herstellern und Zulieferern zur Verfügung gestellt. Doch nicht alle Modelldaten sind fahrzeugspezifisch. Einige Komponenten wie das Gangschaltverhalten oder die Modellierung des Fahrers sind für die Deklaration der offiziellen CO₂-Emissionen des Fahrzeugs standardisiert, um die Vergleichbarkeit zu garantieren. Allerdings können auch diese im „Engineering Mode“ variiert werden, um verschiedenste Fahrzeugkonfigurationen zu simulieren. [25]

Fahrzeug-Variablen, die den Kraftstoffverbrauch beeinflussen und in Vecto eingepflegt werden, sind zum Beispiel: Luftwiderstand, Drehmomentverlust im Antriebsstrang, Kraftstoffkennfeld des Motors, Leistungsbedarf der Nebenaggregate, Reifen-Rollwiderstand, Gewicht und so weiter. Die primären Fahrzeugangaben, um eine Vecto-Simulation zu starten sind [25]:

1. Fahrzeugkategorie (z.B. starrer Lkw, Zugmaschine usw.)
2. Achsenkonfiguration (z.B. 4x2, 4x4, 6x2 usw.)
3. Zulässige Gesamtmasse des Fahrzeugs (ohne Anhänger) in kg
4. Fahrzeug-Leergewicht in kg
5. $C_d \times A$ [m²] (Widerstandsbeiwert mal Fläche)
6. Reifeneigenschaften
7. Motorkennndaten
8. Getriebe- und Endantriebseigenschaften
9. Hilfsspezifikationen (Auswahl aus einer Liste von Technologien)

Für jede dieser neun Kategorien, sind mehrere Input-Parameter zu definieren.

Die Endresultate der Simulation werden in drei Formen präsentiert: nach zurückgelegter Strecke (g CO₂/km, l/100 km), nutzlastspezifisch (g CO₂/Tonne km, l/Tonne km) und volumenspezifisch (g CO₂/m³ km, l/m³ km). [25]

Es ist davon auszugehen, dass Vecto als offizielles Simulations-Tool im europäischen Raum in Zukunft weiter an Relevanz gewinnt und bei immer mehr Nutzfahrzeugen bei der Zulassung genutzt werden muss. Mit der Einbindung weiterer Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen ist es für die Hersteller jedoch von hoher Relevanz, dass Vecto kontinuierlich weiterentwickelt wird. Dies ist besonders wichtig, da Hersteller primär in Technologien investieren, die sich positiv auf das Emissionspotential auswirken und auch anerkannt und angerechnet werden. Ein weiterer Punkt, der die Notwendigkeit der Weiterentwicklung untermauert, ist die zukünftige Teil- oder Vollelektrifizierung bei Nutzfahrzeugen. Aufgrund des langen Produktlebenszyklus von SNF im Vergleich zu regulären Pkw wird dieser Prozess zwar langsamer vonstattengehen, nichtsdestotrotz ist aufgrund weiterer politischer Regulierungen davon auszugehen, dass der Prozess in diesem Jahrzehnt vollzogen wird. Die fortlaufende Anpassung von Vecto an aktuelle politische Entschlüsse und technologische Neuheiten ist für den erfolgreichen Einsatz der Software also maßgeblich. [16]

Betrachtung USA

Ein Blick in die USA unterstreicht die Zukunftsfähigkeit von Vecto. Die Vereinigten Staaten von Amerika setzen ebenfalls auf ein Tool, das auf eine Kombination von Komponenten-Tests und Simulation setzt: GEM (Greenhouse Gas Emissions Model). Es wurde von der Environmental Protection Agency (EPA) und der National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) entwickelt. [26] Vecto und GEM sind beide physikbasierte Modelle, die die Längsdynamik von SNF simulieren. Sie unterscheiden sich jedoch darin, dass Vecto eine rückwärts gerichtete und GEM eine vorwärts gerichtete Architektur verwendet. So erfolgt der Simulationsfluss bei Vecto in die entgegengesetzte Richtung der tatsächlichen Energie- und Drehmomentflüsse. Bei GEM interagiert der Fahrer im Gegensatz dazu direkt über das Gaspedal mit dem Fahrzeug. Diese grundsätzlichen Unterschiede in der Architektur der Tools haben jedoch keinen messbaren Einfluss auf ihre Leistungsfähigkeit und Ergebnisqualität. Bei Vergleichsmessungen zeigt sich eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den zwei Simulations-Tools. [26]

4. Internationale Betrachtungen

Zum Abschluss dieser Arbeit soll ein Blick über die europäischen Grenzen hinaus geworfen werden. Wie wird in anderen Teilen der Welt die Abgas-Emission von Fahrzeugen geregelt?

Das von der EU definierte CO₂-Ziel für Pkw von 95 g CO₂/km ist das schärfste der Welt. Die USA schreiben seit 2020 einen Grenzwert von 121 g CO/km, China 117 g CO₂/km und Japan 105 g CO₂/km vor. Dies birgt Chancen und Risiken. Zum einen belasten die europäischen Fahrzeughersteller die im internationalen Vergleich höheren Kosten, da sie primär den heimischen Markt bedienen und somit dessen hohe Anforderungen umsetzen müssen. Zum anderen werden europäische Unternehmen gezwungen, Technologien zu forcieren, die in Zukunft auch in anderen Teilen der Welt notwendig werden, um neue Grenzwerte zu erreichen. Somit bringen die schärferen Grenzwerte auch Zukunftspotential mit sich. [27]

Bei Betrachtung des WLTP-Verfahrens stellt man fest, dass das „Worldwide“ im Namen relativ zu sehen ist. So waren die USA zwar anfangs in den Entwicklungsprozess eingebunden, sind aber während des Prozesses ausgestiegen. Die in den USA zuständige Behörde EPA (Environmental Protection Agency) wird weiterhin auf eine Kombination verschiedener Fahrzyklen zurückgreifen. Der wichtigste dieser Fahrzyklen hat den Namen „FTP-75“. Die EPA überprüft zudem Fahrzeuge, die mit anderen Testzyklen, als denen der EPA getestet wurden und spricht bei Abweichungen Geldstrafen aus. Dabei bleibt anzumerken, dass die US-Testprozeduren durchaus herausfordernder sein können als der WLTP. So werden beispielsweise bei einer Version des Fahrzyklus „Supplemental Federal Test Procedure“ (SFTP) Außentemperaturen von –7° C angenommen [28]

In Indien und Südkorea sollen nur Teile des WLTP eingeführt werden. Japan befindet sich aktuell im Klärungsprozess, inwieweit das Verfahren eingeführt werden soll. Alle 28 Länder der EU sowie einige weitere Staaten werden das Verfahren einführen. [29]

Auch bei SNF gibt es länderspezifische Unterschiede bei der Regulierung und Zulassung von Fahrzeugen. So werden in den USA Fahrzeug, Motor und Trailer völlig getrennt voneinander reguliert. In Japan wird ausschließlich der Antriebsstrang betrachtet und mit einem Benchmark (bester Antrieb am Markt) verglichen. China misst den Verbrauch von SNF nicht in Tonnenkilometern, wie es in der EU gängige Praxis ist, sondern wie bei Pkw in Liter pro 100 Kilometer. [29]



5. Fazit

Ziel dieser Arbeit war es, das komplexe Thema Emissionsnormen aufzuschlüsseln und zukünftige Entwicklungen sowie Trends darzustellen. Mit der Euro-Norm 6d und VI sind die finalen Evolutionsstufen der Euro-Norm 6 erreicht. Neue Prüfprozeduren wie WLTP und RDE sowie die Überprüfung von Fahrzeugen während des Betriebs erhöhen die Transparenz des Umwelteinflusses von Fahrzeugen und sind ein Schritt in die richtige Richtung. Die Schadstoff-Grenzwerte innerhalb der EU wurden im Rahmen der relevanten Verordnungen auf internationale Tiefstwerte festgesetzt und stellen Fahrzeughersteller vor Herausforderungen. Diese können aber auch positiv interpretiert werden. Eine beschleunigte Entwicklung hin zu zukunftsfähigen, nachhaltigen Technologien und Antrieben ist nicht nur als Sicherung der Absatzzahlen zu sehen, sondern auch als Bewahrung der technologischen Führerschaft. Es ist absehbar, dass die Grenzwerte auf der ganzen Welt sinken werden – in einigen Regionen schneller, in anderen langsamer. Aktuell entwickelt die EU-Kommission gemeinsam mit relevanten Unternehmen und Forschungseinrichtungen die Inhalte der Euro-Norm 7. Die genauen Inhalte stehen noch nicht fest, aber es wird davon ausgegangen, dass im Laufe des Jahres neue Erkenntnisse und Informationen veröffentlicht werden.

Da bei schweren Nutzfahrzeugen die Ermittlung des Verbrauchs (und somit des CO₂-Ausstoßes) aufgrund der Diversität bei Fahrzeugkonstellationen und Einsatzzwecken eine große Herausforderung darstellt, gibt es für diese Fahrzeuge erst seit 2019 einen CO₂-Flotten-Zielwert. Die nötigen Emissionstests werden mithilfe des Tools „Vecto“ durchgeführt. Vecto ist eine modulare Software, die durch die Kombination von echten Fahrzeugkomponententests und Simulationen zuverlässig den Kraftstoffverbrauch von SNF ermitteln kann. In der EU ist die Zulassung mit Vecto bereits für schwere Nutzfahrzeuge der Klassen N3 und seit 2020 auch für Fahrzeuge ab 7,5 Tonnen verpflichtend. Man rechnet damit, dass die Lücke für Fahrzeuge bis 3,5 Tonnen in naher Zukunft geschlossen wird. Im Vergleich zu ähnlichen Simulationstools zur Ermittlung des Verbrauches, wie dem US-amerikanischen Tool GEM, schneidet Vecto gut ab. Die Ergebnisse der zwei Tools gleichen sich. Essenziell für die weitere, erfolgreiche Nutzung von Vecto ist die kontinuierliche Weiterentwicklung und Anpassung an aktuelle Fahrzeug-Technologien.

Literaturverzeichnis

[1] Europäische Union. (1970). Richtlinie 70/220/EWG des Rates vom 20. März 1970 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Maßnahmen gegen die Verunreinigung der Luft durch Abgase von Kraftfahrzeugmotoren mit Fremdzündung.

[2] Umweltbundesamt. (09.06.2020). Emissionsstandards: Pkw und leichte Nutzfahrzeuge. Abgerufen am 17.02.2021, von <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/emissionsstandards/pkw-leichte-nutzfahrzeuge#die-europaische-abgas-gesetzgebung>

[3] VDA. (o. D.). Abgasemissionen. Abgerufen am 17.02.2021, von <https://www.vda.de/de/themen/umwelt-und-klima/abgasemissionen/emissionsmessung.html>

[4] Auto Motor und Sport. (o. D.). Alles Wissenswerte zur aktuellen Abgasnorm. Abgerufen am 17.02.2021, von <https://www.auto-motor-und-sport.de/euro-6-alles-wissenswertes-zur-aktuellen-abgasnorm/>

[5] Fuhrpark & Management. (08.01.2021). Was bedeutet Euro 6d-ISC-FCM? Abgerufen am 17.02.2021, von <https://www.fuhrpark.de/was-bedeutet-euro-6d-isc-fcm>

[6] ADAC. (04.02.2021). Euro 6d: Was hinter der Abgasnorm steckt und ab wann sie gilt.

Abgerufen am 17.02.2021, von <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/auto-kaufen-verkaufen/neuwagenkauf/euro-6d-temp-modelle/>

[7] Europäische Union. (11.03.2014). VERORDNUNG (EU) Nr. 333/2014 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 11. März 2014 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 443/2009 hinsichtlich der Festlegung der Modalitäten für das Erreichen des Ziels für 2020 zur Verringerung der CO₂-Emissionen neuer Personenkraftwagen.

[8] Europäische Union. (26.02.2014). VERORDNUNG (EU) Nr. 253/2014 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 26. Februar 2014 zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 510/2011 hinsichtlich der Festlegung der Modalitäten für das Erreichen des Ziels für 2020 zur Verringerung der CO₂-Emissionen neuer leichter Nutzfahrzeuge.

[9] Europäische Union. (17.04.2019). VERORDNUNG (EU) 2019/631 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 17. April 2019 zur Festsetzung von CO₂-Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen und für neue leichte Nutzfahrzeuge und zur Aufhebung der Verordnungen (EG) Nr. 443/2009 und (EU) Nr. 510/2011. Neufassung.

[10] Europäische Union. (05.11.2018). VERORDNUNG (EU) 2018/1832 DER KOMMISSION vom 5. November 2018 zur Änderung der Richtlinie 2007/46/EG des Europäischen Parlaments und des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 692/2008 der Kommission und der Verordnung (EU) 2017/1151 der Kommission im Hinblick auf die Verbesserung der emissionsbezogenen Typgenehmigungsprüfungen und -verfahren für leichte Personenkraftwagen und Nutzfahrzeuge, unter anderem in Bezug auf die Übereinstimmung in Betrieb befindlicher Fahrzeuge und auf Emissionen im praktischen Fahrbetrieb und zur Einführung von Einrichtungen zur Überwachung des Kraftstoff- und des Stromverbrauchs.

[11] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. (04.05.2020). Das System der CO₂-Flottengrenzwerte für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge. Abgerufen am 18.02.2021, von https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Luft/zusammenfassung_co2_flottengrenzwerte.pdf

[12] VDA. (o. D.). Sind Lastwagen und Busse von der Diesellaffäre betroffen? Abgerufen am 18.02.2021, von <https://www.vda.de/de/themen/umwelt-und-klima/diesel/lastwagen-und-busse.html>

[13] Umweltbundesamt. (05.01.2021). Emissionsstandards: Schwere Nutzfahrzeuge. Abgerufen am 18.02.2021, von <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/emissionsstandards/schwere-nutzfahrzeuge>

[14] eurotransport. (28.01.2014). Die Stadt wird wichtiger. Abgerufen am 19.02.2021, von <https://www.eurotransport.de/artikel/whtc-abgastestzyklus-die-stadt-wird-wichtiger-6530915.html>

[15] L.-E. Schulte, S. Nentwig, TÜV NORD; A. Kies, M. Rexeis, S. Hausberger, TU Graz. (2013). Begrenzung der CO₂-Emissionen aus Nutzfahrzeugen. Abgerufen am 19.02.2021, von <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/begrenzung-der-co2-emissionen-aus-nutzfahrzeugen>

[16] A. Renschler. (2021). Die Zukunft des Nutzfahrzeugs im Spannungsfeld von Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit. Springer Berlin Heidelberg <https://www.springerprofessional.de/die-zukunft-des-nutzfahrzeugs-im-spannungsfeld-von-nachhaltigkeit/18830488>

[17] Europäische Union. (2019). VERORDNUNG (EU) 2019/1242 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 20. Juni 2019 zur Festlegung von CO₂-Emissionsnormen für neue schwere Nutzfahrzeuge und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 595/2009 und (EU) 2018/956 des Europäischen Parlaments und des Rates sowie der Richtlinie 96/53/EG des Rates

[18] Europäische Union. (o. D.). Reducing CO₂ emissions from heavy-duty vehicles. Abgerufen am 19.02.2021, von https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/heavy_da

[19] ADAC. (05.02.2021). Euro-7-Abgasnorm: Die geplante Reform im ADAC Check. Abgerufen am 19.02.2021, von <https://www.adac.de/verkehr/abgas-diesel-fahrverbote/abgasnorm/euro-7/>

[20] VDA. (o. D.). NEFZ und WLTP. Abgerufen am 19.02.2021, von <https://www.vda.de/de/themen/umwelt-und-klima/nefz-und-wltp/nefz-und-wltp.html>

[21] Wikipedia. (25.10.2019). Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure. Abgerufen am 19.02.2021, von https://de.wikipedia.org/wiki/Worldwide_harmonized_Light_vehicles_Test_Procedure

[22] Automobil Industrie Vogel. (08.09.2020). NEFZ, WLTP, RDE, PEMS und OBFCEM – ein Überblick. Abgerufen am 23.02.2021, von <https://www.automobil-industrie.vogel.de/nefz-wltp-rde-pems-und-obfcm-ein-ueberblick-a-657992/>

[23] G. Fontaras, M. Rexeis, P. Dilara, S. Hausberger, K. Anagnostopoulos. (2013). The Development of a Simulation Tool for Monitoring Heavy-Duty Vehicle CO₂ Emissions and Fuel Consumption in Europe. SAE International

[24] C. Heidt, K. Biemann, F. Dünnebeil, M. Jamet, U. Lambrecht, H.-J. Althaus, P. Wüthrich, S. Hausberger. (2019). Abschlussbericht: Entwicklung und Bewertung von Maßnahmen zur Verminderung von CO₂-Emissionen von schweren Nutzfahrzeugen. Umweltbundesamt

[25] Europäische Union. (01.12.2019). Vecto: Frequently Asked Questions (FAQ). Abgerufen am 19.02.2021, von https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/transport/vehicles/vecto/faq_en.pdf

[26] F. Rodríguez. (2018). Fuel Consumption Simulation of HDVS in the EU: Comparison and Limitations. The international Council on clean Transportation (icct)

[27] VDA. (o. D.). Welche Grenzwerte müssen Autos einhalten? Abgerufen am 19.02.2021, von <https://www.vda.de/de/themen/umwelt-und-klima/diesel/grenzwerte.html>

[28] DieselNet. (o. D.). FTP-75 Abgerufen am 19.02.2021, von <https://dieselnet.com/standards/cycles/ftp75.php>

[29] Samira Kammerer. (30.08.2018). Unterschiede zwischen WLTP, NEFZ, EPA & RDE. Home and Smart. Abgerufen am 19.02.2021, von <https://www.homeandsmart.de/elektroauto-reichweite-wltp-nefz-epa-rde-vergleich-uebersicht>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zeitliche Einordnung der Euro 6-Evolutionsstufen

Abbildung 2: Skizzierte Funktionsweise von Vecto

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Euro-Norm 6 Schadstoff-Grenzwerte (Pkw und LNF der Klasse N1 Gruppe 1 (< 1.305 kg))

Tabelle 2: Euro-Norm 6 Schadstoff-Grenzwerte (LNF der Klasse N1 Gruppe 2 (1.305 – 1.760 kg))

Tabelle 3: Euro-Norm 6 Schadstoff-Grenzwerte (LNF der Klasse N1 Gruppe 3 (> 1.760 kg))

Tabelle 4: Euro-Norm VI Schadstoff-Grenzwerte (SNF)

Anhang

Tabelle 1: Euro-Norm 6 Schadstoff-Grenzwerte (Pkw et ist Firmennamen vorbehalten LNF der Klasse N1 Gruppe 1(< 1.305kg))

Schadstoff	Einheit	Diesel	Benziner
Stickstoffoxide (NO _x)	mg/km	80	60
Kohlenstoffmonoxid (CO)	mg/km	500	1.000
Kohlenwasserstoffe (HC)	mg/km	-	100
Summe HC+CO	mg/km	170	-
Nichtmethanolkohlenwasserstoffe (NMHC)	mg/km	-	68
Partikelmasse an Feinstaub (PM)	mg/km	4,5	4,5
Partikelanzahl an Feinstaub (PN)	[Anzahl/km]	6·10 ¹¹	6·10 ¹¹

Tabelle 2: Euro-Norm 6 Schadstoff-Grenzwerte (LNF der Klasse N1 Gruppe 2 (1.305 – 1.760 kg))

Schadstoff	Einheit	Diesel	Benziner
Stickstoffoxide (NO _x)	mg/km	105	75
Kohlenstoffmonoxid (CO)	mg/km	630	1.810
Kohlenwasserstoffe (HC)	mg/km	-	130
Summe HC+CO	mg/km	-	-
Nichtmethanolkohlenwasserstoffe (NMHC)	mg/km	90	90
Partikelmasse an Feinstaub (PM)	mg/km	4,5	4,5
Partikelanzahl an Feinstaub (PN)	[Anzahl/km]	6·10 ¹¹	6·10 ¹¹

Tabelle 3: Euro-Norm 6 Schadstoff-Grenzwerte (LNF der Klasse N1 Gruppe 3 (> 1.760 kg))

Schadstoff	Einheit	Diesel	Benziner
Stickstoffoxide (NO _x)	mg/km	125	82
Kohlenstoffmonoxid (CO)	mg/km	740	2.270
Kohlenwasserstoffe (HC)	mg/km	-	160
Summe HC+CO	mg/km	215	-
Nichtmethanolkohlenwasserstoffe (NMHC)	mg/km	-	108
Partikelmasse an Feinstaub (PM)	mg/km	4,5	4,5
Partikelanzahl an Feinstaub (PN)	[Anzahl/km]	6·10 ¹¹	6·10 ¹¹

Tabelle 4: Euro-Norm VI Schadstoff-Grenzwerte (SNF)

Schadstoff	Einheit	Nach WHTC	Nach WHSC
Stickstoffoxide (NO _x)	mg/kWh	460	400
Kohlenstoffmonoxid (CO)	mg/km	1.500	-
Kohlenwasserstoffe (HC)	mg/kWh	160	130
Ammoniak (NH ₃)	ppm	10	-
Partikelmasse an Feinstaub (PM)	mg/kWh	10	10
Partikelanzahl an Feinstaub (PN)	Anzahl/kWh	6·10 ¹¹	8·10 ¹¹

Der Autor

Sprechen Sie uns bei Fragen oder für weitere Informationen gerne an.



Frank Stienemeier

+49 15222877940

frank.stienemeier@consileon.de

www.consileon.de

Consileon

Konzipieren, Initiieren und implementieren – wir können alle diese Disziplinen. Denn wir haben Consileon 2001 mit dem Anspruch gegründet, nachhaltige Strategien für Unternehmen nicht nur zu definieren, sondern auch gemeinsam mit dem Auftraggeber umzusetzen. Damit stellen wir sicher, dass zukunftsweisende Ansätze nicht auf dem Weg von der Vorstandsetage in die Abteilungen versanden. Wir sind an Ihrer Seite, um richtige Strategien in passende Maßnahmen zu überführen.

Ein prominent besetzter Beirat sowie die Zusammenarbeit mit renommierten deutschen und internationalen Hochschulen steigern unsere Innovationskraft, sichern die Qualität unserer Beratung und fördern unsere Expansion. Mit 450 Mitarbeitern und Standorten in Deutschland und Europa gehören wir zu den wachstumsstärksten Beratungshäusern Deutschlands und werden seit 2015 kontinuierlich als „Beste Berater“ vom Wirtschaftsmagazin „brand eins“ ausgezeichnet. Nehmen Sie uns in die Pflicht! **Consileaner sind Unternehmer für Unternehmer, Gesprächspartner auf Augenhöhe, manchmal unbequem, oft anders. Aber stets erfolgreich.**

Herausgeber

Team Automotive

Consileon Business Consultancy GmbH

Kontakt

Consileon Business Consultancy GmbH

Maximilianstraße 5

76133 Karlsruhe

www.consileon.de

© 2021 Consileon Business Consultancy GmbH

brand eins
/thema

b

2021

Heft 19

Beste
Unternehmens-
berater

Consileon im brand eins Ranking der »Beste Berater 2015 bis 2021«

Die Basis für unsere exzellenten Projektergebnisse sind unsere Werte gepaart mit Methodik, fachlichem Know-how und unserer Change-Management-Kompetenz. Consileaner beherrschen Theorie und Praxis gleichermaßen und zeichnen sich durch eine zupackende, unternehmerische Einstellung aus. Teams aus analysestarken Generalisten und erfahrenen Spezialisten stellen die richtigen Fragen und finden differenzierte Antworten. Consileon verfügt über zahlreiche erfolgreiche nationale und internationale Referenzen im Rahmen der Transformation zur Digitalisierung im Banking.