Verbrennungsantriebe Fahrplan 2020

Bericht

RECHTLICHER HINWEIS: Übersetzungen von Materialien in andere Sprachen als Englisch sind lediglich als Hilfestellung für Personen gedacht, die der englischen Sprache nicht mächtig sind, und sind rechtlich nicht bindend. Wir sind bestrebt, eine genaue Übersetzung des englischen Originaltexts bereitzustellen, aber aufgrund von sprachlichen Nuancen bei der Übersetzung in eine Fremdsprache können geringfügige Unterschiede bestehen. Diese Übersetzung wird Ihnen unter der Voraussetzung, dass Sie diesen rechtlichen Hinweis zur Kenntnis genommen haben, zur Verfügung gestellt. Das APC haftet nicht für die Verwendung der Übersetzung durch Sie oder einen Dritten, falls sich herausstellen sollte, dass die Übersetzung Mängel aufweist.

automotive council UK

ADVANCED PROPULSION CENTRE UK

Überblick: Verbrennungsantriebe

Verbrennungsmotoren bilden seit Beginn des 20. Jahrhunderts das zentrale Element des Automobilantriebs. Um die strengeren Emissionsvorschriften zu erfüllen, sind jedoch gezielte Maßnahmen zur Verbesserung der Wärmeeffizienz, zur Systemoptimierung, zur Hybridisierung und zur Entwicklung neuer kohlenstoffarmer Kraftstoffe erforderlich.

- Die Motorleistung, üblicherweise gemessen als thermischer Wirkungsgrad, ist seit der Veröffentlichung des letzten Fahrplans zum Thema Verbrennungsantriebe im Jahr 2017 weiter gestiegen. Für leichte Nutzfahrzeuge wird erwartet, dass dieser Wert bis 2025 auf 48 % und bis 2035 auf 53 % steigen wird. Bei der Entwicklung von Motoren für schwere Nutzfahrzeuge könnte bis 2035 sogar ein Wert von 60 % erreicht werden.
- Künftige Verbrennungsantriebe werden bis zu einem gewissen Grad hybridisiert sein, um die strengen Abgasnormen zu erfüllen und eine höhere Gesamtsystemeffizienz zu erzielen. Schon jetzt kann eine radikale Abwehr von fossilen Kraftstoffen beobachtet werden, wobei Kraftstoffe mit Netto-Null-Emissionen bevorzugt werden.
- Zu den Innovationen bei leichten Nutzfahrzeugen gehören der Einsatz fortschrittlicher Beschichtungen und Werkstoffe zur Verringerung der Wärmeverluste, eine effizientere Verbrennung, z. B. durch Magerverbrennung und Wassereinspritzung, sowie integrierte Hybridmotoren.
- Im Gegensatz dazu werden für schwere Nutzfahrzeuge aufgrund ihrer einmaligen Arbeitszyklen und Antriebsstrangstrukturen Innovationen in den Bereichen Wärmerückgewinnung und Niedertemperaturverbrennung erwartet. Auf längere Sicht werden auch Anpassungen zur Nutzung alternativer Kraftstoffe ins Blickfeld rücken.
- Die wesentlichen Vorteile von Verbrennungsmotoren sind der hohe Grad an Recycelbarkeit der Komponenten, die geringen Auswirkungen auf die Ökobilanz und eine etablierte Industrie der Wiederverwertung und Wiederaufarbeitung. Schon jetzt werden Motoren weltweit in klimaneutralen Werken hergestellt.
- Es wird intensiv daran geforscht, nachhaltige Netto-Null-Alternativen für fossile Kraftstoffe zu finden, bei denen die Vorteile der bewährten Produktionssysteme, der etablierten Werkstoffzufuhr und der kostengünstigen Herstellung von Verbrennungsmotoren zum Tragen kommen. Diese Kraftstoffe werden im Fahrplan 2020 über Verbrennungsantriebe zum ersten Mal behandelt und sind entscheidend, um die Ziele der Verringerung der Treibhausgasemissionen und der Verbesserung der Luftqualität langfristig zu erreichen.
- Laut unserer Branchenumfrage wird bis 2035 eine Kostenparität zwischen Verbrennungsmotoren und batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen erwartet, was eine drastische Umstellung von derzeitigen fossilen Kraftstoffen auf Alternativen, insbesondere Biokraftstoffe und Wasserstoff, zur Folge haben wird. Einige dieser Kraftstoffe, einschließlich Biokraftstoffe und E-Fuels, können den bestehenden Kraftstoffmix in aktuellen Motoren teilweise oder gar vollständig ersetzen. Die Anpassung des Motors ermöglicht es, eine breite Palette von synthetischen Kraftstoffen zu verwenden. Branchenexperten sind äußerst zuversichtlich, dass neue Architekturen für nachhaltige Netto-Null-Verbrennungsmotoren in naher Zukunft realisierbar sind.
- Die Auflagen in Bezug auf das Recycling und die Berücksichtigung der Ökobilanz führen zu einer Vielzahl von Ansätzen in der gesamten Lieferkette, von der Entwicklung unter Berücksichtigung der Demontage über die Wiederaufarbeitung bis hin zum Recycling von Komponenten und zu einer effizienteren Fertigung. Wichtig ist dabei, dass Ökobilanzaspekte bei neuen Verbrennungssystemen, bei denen Kraftstoffe ohne CO_2-Emissionen eingesetzt werden, berücksichtigt werden.

Ein vollständiges Glossar ist am Ende dieses Berichts zu finden.

Vorwort und Danksagungen

Das Advanced Propulsion Centre UK (im Folgenden „APC“) möchte sich für die umfangreiche Unterstützung durch Industrie und Wissenschaft bei der Ausarbeitung und Veröffentlichung dieses Fahrplans bedanken.

Wir bedanken uns beim Automotive Council für das Vertrauen, das er uns bei der Überarbeitung der Produkt- und Technologiefahrpläne entgegengebracht hat, sowie für die kontinuierliche Unterstützung.

Dieses Vorhaben wurde ferner maßgeblich vom Ministerium für Wirtschaft, Energie und Industriestrategie (Department for Business, Energy and Industrial Strategy, im Folgenden „BEIS“) unterstützt.

Neville Jackson
Im Namen des
UK Automotive Council

Ich freue mich, Ihnen den Technologiefahrplan 2020 für Antriebstechnik in der Automobilindustrie vorstellen zu können, den das Advanced Propulsion Centre (im Folgenden „APC“) in enger Zusammenarbeit mit der Industrie entwickelt hat. In diesen Fahrplänen werden entscheidende Ziele für die Zukunft und die vielversprechendsten Wege zu einem CO_2-freien und nachhaltigeren künftigen Fuhrpark aufgezeigt. Sie sind ein wesentliches Instrument für die Entwicklung einer gezielten FuE-Agenda, die insbesondere für gemeinsame Innovationen relevant ist.

Die Fahrpläne, die auf den Grundlagen der vorherigen Fahrpläne des UK Automotive Council aufbauen, wurden vom APC im Jahr 2017 ausgearbeitet. Sie wurden auf den neuesten Stand gebracht, um zu verdeutlichen, wie dringend das Ziel des Vereinigten Königreichs, bis 2050 Netto-Null-Emissionen zu erreichen, angegangen werden muss. Der Wandel im Bereich der Antriebstechnologien wurde in den letzten Jahren erheblich beschleunigt: Die Verbreitung von Fahrzeugen mit Elektroantrieb nimmt zu, die Preise für Batterien sind schneller gesunken als zunächst angenommen, alternative CO_2-freie Technologien wie Brennstoffzellen kommen in einer beeindruckenden Geschwindigkeit zur Marktreife und saubere Kraftstoffe, unter anderem Wasserstoff, sind auf dem Vormarsch, um derzeitige fossile Kraftstoffe zu ersetzen.

Dabei gilt es allerdings große Herausforderungen zu bewältigen, da der Wandel noch schneller vonstattengehen muss. Voraussetzung dafür ist eine intensivere Forschung und Entwicklung sowie die Kommerzialisierung, wodurch erschwingliche Produkte auf den Markt gebracht werden, die für Verbraucher noch attraktiver sind. Die Technologiefahrpläne 2020 beruhen auf Umfragen unter Branchenexperten und Panels und liefern einen konsolidierten Überblick über zukünftige Ziele, Technologien und Zeithorizonte für Automobilantriebe.

Mit dem Bericht bieten wir der Automobilindustrie Erkenntnisse und eine gemeinsame technologische Ausrichtung, um die Entwicklung und Bereitstellung erstklassiger Lösungen zu beschleunigen. Die Fahrpläne stellen eine wichtige Informationsquelle dar, wenn es darum geht, gemeinsame FuE-Möglichkeiten zu erschließen, um die künftigen Herausforderungen in den Bereichen Mobilität, Gütertransport und Forschung und Entwicklung von nicht für den Straßenverkehr bestimmten Fahrzeugen (Off-Highway-Fahrzeuge) anzugehen.

Prof: Chris Brace
Universität Bath, APC Spoke

Verbrennungsantriebe werden bis 2040 und darüber hinaus führende Technologien sein. Es ist zwar klar, dass Motoren noch für eine gewisse Zeit relevant sein werden, allerdings wissen wir noch nicht, was sie in dieser Zeit verbrennen werden.

Um das Netto-Null-Ziel zu erreichen, müssen Kraftstoffe schnell dekarbonisiert werden. Ein wichtiger Teil dieser Arbeit ist, kohlenstoffreduzierte Kraftstoffe für die derzeitige Flotte zu entwickeln. Mit neuartigen, nachhaltigen Kraftstoffen, für die neue effiziente Motor- und Antriebssystemtechnologien entwickelt werden, lassen sich weitere Fortschritte erzielen.

Ich bin überaus zuversichtlich, dass Technik und Wissenschaft uns dabei helfen können, die Vorteile einer sauberen, nachhaltigen Mobilität für immer mehr Menschen auf der Welt zu erschließen.

Prof: Rob Morgan
Universität Brighton, APC Spoke

Im Gegensatz zur Version von 2017 ist dieser Fahrplan darauf ausgelegt, das Netto-Null-Ziel zu erreichen. Bei der Entwicklung hat sich gezeigt, dass ein schneller Übergang hin zu nachhaltigen Kraftstoffen erforderlich ist. Es wird eine Reihe von Kraftstofflösungen mit unterschiedlichen Auswirkungen auf die künftigen Anforderungen an den Antriebsstrang geben, die eine enorme Chance bieten, die CO_2-Emissionen schnell und nachhaltig zu senken, insbesondere in den „schwer zu elektrifizierenden Sektoren“ wie dem Güterfernverkehr.

Der Fahrplan wurde in Zusammenarbeit mit einem breiten Spektrum an Experten aus Industrie und Wissenschaft entwickelt, und angesichts der Herausforderungen und der Komplexität des Problems kam es zu einem bemerkenswerten Konsens. Ich persönlich empfinde es als Privileg, an diesem Projekt mitgewirkt zu haben, und hoffe, dass die Fahrpläne für die Branche hilfreich sind, um eine saubere, nachhaltige Zukunft zu ermöglichen.

Erkenntnisse aus der Online-Umfrage unter Branchenexperten 2020

Bei den Kraftstoffen für Verbrennungsmotoren ist ein tief greifender Wandel im Gange, da bis 2035 wahrscheinlich eine Kostenparität zwischen batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen und Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren erreicht wird.

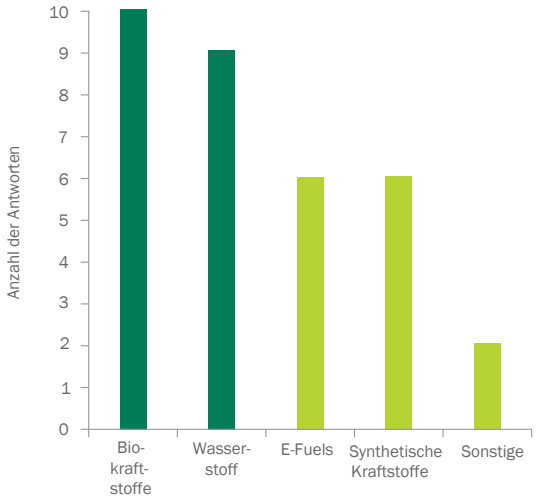
Teilnehmer an der Umfrage zum Thema Technologie

An der im September 2020 durchgeführten Online-Umfrage nahmen unterschiedlichste Branchenexperten teil:

- Ingenieurbüros/Dienstleister (22 %)
- Sonstige (17 %)
- Technologieentwickler (17 %)
- Forschung (11 %)
- Forschungsorganisationen im Bereich Technologie (11 %)
- KMU (11 %)
- Tier-1-Zulieferer (11 %)

Welche Kraftstoffe werden den Markt für Verbrennungsmotoren voraussichtlich bis 2040 dominieren?

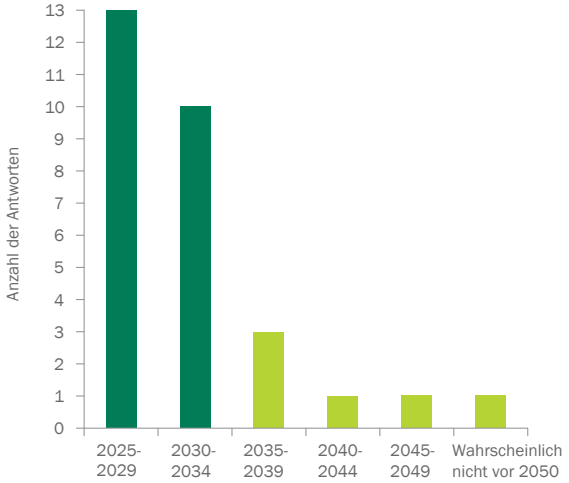
Biobrennstoffe und Wasserstoff sind die Brennstoffe, die den Markt für Verbrennungsmotoren in leichten Nutzfahrzeugen bis 2040 am ehesten dominieren werden.



Anmerkung: Biokraftstoffe können derzeit nicht in großen Mengen zur Verfügung gestellt werden, da die Versorgung mit Bioabfällen eingeschränkt ist.

Wann wird die Kostenparität zwischen batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen und Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren erreicht sein?

Bei dieser Frage antworteten fast 80 % der Umfrageteilnehmer, dass die Kostenparität bis 2035 erreicht wird.



Anmerkung: Dies könnte bei kleinen Personenkraftwagen für den Massenmarkt eher der Fall sein.

Technologiekennzahlen für Anwendungen im Leicht- und Schwerlastbereich

Technologiekennzahlen, die die Industrie in einem wettbewerbsorientierten Massenmarkt wahrscheinlich erreichen wird.

Thermischer Wirkungsgrad (BTE)

	2020	2025	2035
Leichte Nutzfahrzeuge	42 %	48 %	53 %

	2020	2025	2035
Schwere Nutzfahrzeuge	47 %	55 %	60 %

Anmerkungen:

- Die Abkürzung BTE (Brake Thermal Efficiency) bezieht sich auf den thermischen Spitzenwirkungsgrad.
- Hierbei handelt es sich um einen gängigen Indikator für die Motorleistung. Bei den aufgeführten Werten handelt es sich um Best-in-class-Werte.
- Es werden zwar einzelne thermische Spitzenwirkungsgrade angegeben, allerdings stellen sie keine genauen Kennzahlen für die Fahrzeugeffizienz in der realen Welt dar, da sie je nach Antriebstechnologie und Produktanwendung variieren.

Einflussfaktoren für die Regulierung von Treibhausgasemissionen und Luftqualität

Definierte Einflussfaktoren | Erwartete Einflussfaktoren

Leichte Nutzfahrzeuge	CO_2-Emissionen	95 g/km (NEFZ)	-15 % (WLTP)	Pkw -37,5 % & Lieferwagen -31 % (WLTP)	Hin zu Netto-Null-CO_2-Äquivalenten und Ökobilanz-Konformität
	Verschmutzung und Ressourcen	Euro 6d/Tier 3 der EPA	Euro 7/Tier 3 der EPA	Ganzheitliche Gesetzgebung zu Umweltauswirkungen (flüchtige organische Verbindungen, Ressourcenverbrauch, Landnutzung) und Ökobilanz-Konformität	
Schwere Nutzfahrzeuge	CO_2-Emissionen	CO_2: Einführung VECTO	CO_2: -15 %	CO_2: -30 %	Hin zu Netto-Null-CO_2-Äquivalenten und Ökobilanz-Konformität
	Verschmutzung und Ressourcen	Euro VI/EPA 2015 NRE Stufe V	Euro VII/EPA 2015 NRE Stufe V+	Euro VII+/EPA 2015 MY27 NRE Stufe V++	Ganzheitliche Gesetzgebung zu Umweltauswirkungen (flüchtige organische Verbindungen, Ressourcenverbrauch, Landnutzung) und Ökobilanz-Konformität

2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | 2045 | 2050 | ...

Technologiekennzahlen für Anwendungen im Leicht- und Schwerlastbereich

Technologiekennzahlen, die die Industrie in einem wettbewerbsorientierten Massenmarkt wahrscheinlich erreichen wird.

Technologiekennzahlen
Im Jahr 2020 ersetzen sie die Ziele in den Fahrplänen und geben eine Stoßrichtung und einen Ansatz zur Messung der Best-in-class-Leistung für diese Technologie vor.

Thermischer Wirkungsgrad (BTE)

	2020	2025	2035
Leichte Nutzfahrzeuge	42 %	48 %	53 %

	2020	2025	2035
Schwere Nutzfahrzeuge	47 %	55 %	60 %

Thermischer Wirkungsgrad (BTE)
Die Indikatoren für leichte und schwere Nutzfahrzeuge werden separat angegeben, da schwere Nutzfahrzeuge andere Arbeitszyklen haben und andere Technologien für sie ausgewählt wurden.

Einflussfaktoren für die Regulierung von Treibhausgasemissionen und Luftqualität

Definierte Einflussfaktoren | Erwartete Einflussfaktoren

Leichte Nutzfahrzeuge	CO_2-Emissionen	95 g/km (NEFZ)	-15 % (WLTP)	Pkw -37,5 % & Lieferwagen -31 % (WLTP)	Hin zu Netto-Null-CO_2-Äquivalenten und Ökobilanz-Konformität
	Verschmutzung und Ressourcen	Euro 6d/Tier 3 der EPA	Euro 7/Tier 3 der EPA	Ganzheitliche Gesetzgebung zu Umweltauswirkungen (flüchtige organische Verbindungen, Ressourcenverbrauch, Landnutzung) und Ökobilanz-Konformität	
Schwere Nutzfahrzeuge	CO_2-Emissionen	CO_2: Einführung VECTO	CO_2: -15 %	CO_2: -30 %	Hin zu Netto-Null-CO_2-Äquivalenten und Ökobilanz-Konformität
	Verschmutzung und Ressourcen	Euro VI/EPA 2015 NRE Stufe V	Euro VII/EPA 2015 NRE Stufe V+	Euro VII+/EPA 2015 MY27 NRE Stufe V++	Ganzheitliche Gesetzgebung zu Umweltauswirkungen (flüchtige organische Verbindungen, Ressourcenverbrauch, Landnutzung) und Ökobilanz-Konformität

Einflussfaktoren für die Regulierung
Die sich entwickelnden Vorschriften in Bezug auf CO_2-Emissionen, Schadstoffe und Ressourcen sind in dem Fahrplan über Verbrennungsantriebe aufgeführt. Sie wirken sich stark auf die Entwicklung und den Einsatz von Technologien für Verbrennungsmotoren aus.

Technologiekennzahlen für Anwendungen im Leicht- und Schwerlastbereich

Technologiekennzahlen, die die Industrie in einem wettbewerbsorientierten Massenmarkt wahrscheinlich erreichen wird.

Thermischer Wirkungsgrad (BTE)

	2020	2025	2035
Leichte Nutzfahrzeuge	42 %	48 %	53 %

	2020	2025	2035
Schwere Nutzfahrzeuge	47 %	55 %	60 %

Allgemeine Anmerkungen

Es sind zwar höhere thermische Spitzenwirkungsgrade möglich, z. B. durch die Abstimmung des Motors auf einen einzigen Optimierungspunkt, allerdings ist dies nicht zielführend, wenn es darum geht, die eigentlichen Ziele zu erreichen: höhere „Netto"-Wirkungsgrade im Arbeitszyklus.

Gemittelte thermische Spitzenwirkungsgrade für den Fahrzyklus, die die Systemeffizienz angeben, werden bevorzugt, sie waren aber lange nicht verfügbar. Der thermische Spitzenwirkungsgrad ist eine Kennzahl für die Richtung von Entwicklung und Innovation.

Die Prognosen wurden von führenden Branchenexperten in vom APC organisierten Workshops aufgestellt.

Leichte Nutzfahrzeuge

Um die vorgeschlagenen Kraftstoffeinsparungen zu erreichen, muss die verfügbare Energie des Kraftstoffs im Motor besser genutzt werden. Ganz gleich, wie effizient ein Motor ist, ein erheblicher Teil der Kraftstoffenergie wird immer noch über die Abgas- und Kühlmittelströme ausgestoßen.

Die Motorleistung, die üblicherweise als thermischer Wirkungsgrad gemessen wird, wurde seit der Veröffentlichung der letzten Fahrpläne zum Thema Verbrennungsantriebe im Jahr 2017 weiter verbessert. Bis 2026 wird erwartet, dass ein Standard-Viertaktmotor einen thermischen Wirkungsgrad von 48–50 % erreichen wird, wobei durch die Anwendung des Organic Rankine Cycle (ORC)-Verfahrens eine weitere Steigerung auf einen Wert von 52 % möglich ist. Derzeitige kommerzielle Motoren sind in der Lage, einen thermischen Spitzenwirkungsgrad von 42 % oder höher zu erreichen.

Schwere Nutzfahrzeuge

Die Leistung von Antriebssträngen für schwere Nutzfahrzeuge wird weiter verbessert: Durch Wärmerückgewinnung und grundlegend neue Motorkonzepte werden große Fortschritte erwartet.

Als Beispiel dienen Produktionsprogramme für schwere Nutzfahrzeuge, die bis 2026 einen thermischen Wirkungsgrad von 55 % anstreben, die Euro-VII-Emissionsnormen einhalten und die SULEV-Norm (Super Ultra Low Emissions Vehicle; US-Norm für abgasarme Fahrzeuge) erfüllen. Ihnen liegen Wassereinspritzsysteme zugrunde, durch die die Verdichtung reduziert wird. Bis 2030 streben einige Motorenentwickler einen thermischen Wirkungsgrad von 60 % an, indem ORC-Verfahren, Zylinderabschaltungssysteme und andere hocheffiziente Systeme eingesetzt werden.

	und Ressourcen				Ganzheitliche Gesetzgebung zu Umweltauswirkungen (flüchtige organische Verbindungen, Ressourcenverbrauch, Landnutzung) und Ökobilanz-Konformität
Schwere Nutzfahrzeuge	CO_2-Emissionen	CO_2: Einführung VECTO	CO_2: -15 %	CO_2: -30 %	Hin zu Netto-Null-CO_2-Äquivalenten und Ökobilanz-Konformität
	Verschmutzung und Ressourcen	Euro VI/EPA 2015 NRE Stufe V	Euro VII/EPA 2015 NRE Stufe V+	Euro VII+/EPA 2015 MY27 NRE Stufe V++	Ganzheitliche Gesetzgebung zu Umweltauswirkungen (flüchtige organische Verbindungen, Ressourcenverbrauch, Landnutzung) und Ökobilanz-Konformität

Allgemeine Anmerkungen

Die definierten und erwarteten Einflussfaktoren für Treibhausgasemissionen werden im Abschnitt „CO_2-Äquivalente“ aufgeführt. CO_2-Äquivalente sind eine Masseneinheit, mit der die Erwärmungswirkung einer bestimmten Menge und Art eines Treibhausgases im Vergleich zu derjenigen von CO_2 ausgedrückt wird.

NEFZ: Der Neue Europäische Fahrzyklus, der zuletzt im Jahr 1997 überarbeitet wurde, dient zur Bewertung der Emissionswerte von Pkw-Motoren und des Kraftstoffverbrauchs von Pkw (ausgenommen leichte Nutzfahrzeuge).

WLTP: Das „Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure“ (weltweit harmonisiertes Prüfverfahren für leichte Nutzfahrzeuge) ist eine globale, harmonisierte Norm zur Ermittlung der Schadstoff- und CO_2-Emissionen und des Kraftstoffverbrauchs von Fahrzeugen mit herkömmlichen und Hybridmotoren sowie der Reichweite von Fahrzeugen mit vollelektrischem Antrieb.

Leichte Nutzfahrzeuge

Die Kennzahlen stammen aus der Verordnungen der Europäischen Kommission zur Festsetzung von CO_2-Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen und für neue leichte Nutzfahrzeuge (für 2020 und danach). Die Normen für Pkw und Transporter werden in diesem Fahrplan separat aufgeführt.

Verschmutzung und Ressourcen werden als separate Kategorien aufgeführt, um die verschiedenen Überlegungen zu natürlichen Ressourcen zu berücksichtigen, die für die Automobilindustrie immer mehr an Bedeutung gewinnen. Dazu gehören Luft, Wasser, Land, biologische Werkstoffe und Rohstoffe.

Die Norm Euro 6d für leichte Nutzfahrzeuge ist ab Januar 2020 für alle Neuwagen, die zugelassen werden, vorgeschrieben und enthält die Forderung nach einem Grenzwert für Stickoxide (NO_x) unter Realbedingungen. Die Tier-3-Norm bezieht sich auf eine Reihe von Kraftstoff- und Fahrzeuganforderungen, die von der amerikanischen Bundes-Umweltschutzbehörde (Environmental Protection Agency; EPA) angenommen wurden und eng an die kalifornischen LEV-III-Normen angelehnt sind, die zwischen 2017 und 2025 schrittweise eingeführt werden. Mit dieser Norm werden auch die Schwefelgrenzwerte für Benzin verschärft. In dieser Kategorie werden zunehmend strengere und ganzheitlichere Regelungen für natürliche Ressourcen erwartet.

Schwere Nutzfahrzeuge

Für schwere Nutzfahrzeuge wird ein ähnlicher Ansatz zur Verringerung von Treibhausgas- und Schadstoffemissionen gefordert. Mit dem neuen Simulationstool VECTO, das von der Europäischen Kommission entwickelt wurde, werden CO_2-Emissionen und Kraftstoffverbrauch von schweren Nutzfahrzeugen (Lkw, Busse und Reisebusse) mit einem zulässigen Gesamtgewicht über 3,5 Tonnen ermittelt.

Andere Regionen wie Japan und die USA setzen auf Normen für den Kraftstoffverbrauch und die CO_2-Emissionen, die denen für leichte Nutzfahrzeuge ähneln. Japan etwa erwartet für Lkw eine durchschnittliche Optimierung des Kraftstoffverbrauchs um 11,9 % bis 2025 gegenüber dem Ausgangsjahr 2015.

Die europäischen CO_2-Emissionsnormen für Motoren (Kategorie NRE), die in neuen, nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschinen und Geräten verwendet werden, umfassen schrittweise strengere Stufen, die als Stufen I bis V bezeichnet werden. Mit der Emissionsverordnung für die Stufe V wurde ein neuer Grenzwert für die Partikelanzahl (PN) für Emissionen eingeführt. Mit dem PN-Grenzwert soll sichergestellt werden, dass eine hocheffiziente Partikelkontrolltechnologie, wie z. B. Wall-Flow-Partikelfilter), bei allen betroffenen Motorkategorien eingesetzt wird. Unter anderem wurde mit der Verordnung für die EU-Abgasstufe V auch der auf der Partikelmasse beruhende Grenzwert für mehrere Motorkategorien von 0,025 g/kWh auf 0,015 g/kWh gesenkt.

Ab 2035 sind schrittweise strengere Normen für schwere Nutzfahrzeuge und Off-Highway-Fahrzeuge zu erwarten.

Einflussfaktoren für die Regulierung von Treibhausgasemissionen und Luftqualität

Leichte Nutzfahrzeuge	CO_2-Emissionen	95 g/km (NEFZ)	-15 % (WLTP)	Pkw -37,5 % & Lieferwagen -31 % (WLTP)	Hin zu Netto-Null-CO_2-Äquivalenten und Ökobilanz-Konformität
	Verschmutzung und Ressourcen	Euro 6d/Tier 3 der EPA	Euro 7/Tier 3 der EPA	Ganzheitliche Gesetzgebung zu Umweltauswirkungen (flüchtige organische Verbindungen, Ressourcenverbrauch, Landnutzung) und Ökobilanz-Konformität	
Schwere Nutzfahrzeuge	CO_2-Emissionen	CO_2: Einführung VECTO	CO_2: -15%	CO_2: -30%	Hin zu Netto-Null-CO_2-Äquivalenten und Ökobilanz-Konformität
	Verschmutzung und Ressourcen	Euro VI/EPA 2015 NRE Stufe V	Euro VII / EPA 2 015 NRE Stage V+	Euro VII + / EPA 2015 MY27 NRE Stage V++	Ganzheitliche Gesetzgebung zu Umweltauswirkungen (flüchtige organische Verbindungen, Ressourcenverbrauch, Landnutzung) und Ökobilanz-Konformität

Fahrplan 2020

Verbrennungsantriebe

Technologiefahrplan

Technologiekennzahlen für die Jahre 2020–2035 finden Sie auf Seite 2.

automotive council UK

ADVANCED PROPULSION CENTRE UK

Dieser Fahrplan stellt eine Momentaufnahme der weltweiten Prognosen für Antriebstechnologien in der Automobilindustrie für den Massenmarkt dar. Anwendungsspezifische Technologien können je nach Region unterschiedlich sein.

Dunkler Balken: Die Technologie ist auf dem Massenmarkt etabliert. In diesem Zeitrahmen werden bahnbrechende Innovationen erwartet.

Übergang: Ein Übergang bedeutet kein Rückzug aus dem Markt, sondern eine Neuausrichtung des FuE-Schwerpunkts.

Balken mit gestrichelter Linie: Marktreife: Die Technologie hat Marktreife erreicht. Sie verbleibt voraussichtlich im Massenmarkt, bis sie verdrängt wird.

Thermischer Wirkungsgrad

Ausrichtung auf leichte Nutzfahrzeuge

- Geringere Wärmeverluste, z. B. Beschichtungen, Thermomanagement, Verbrennungsphasen
- Effiziente Verbrennungssysteme, z. B. Magerverbrennung, Wassereinspritzung, flexible Ventilsteuerung) → Auf künftige Kraftstoffe und auf Luftqualität zugeschnittene Verbrennungssysteme
- Downsizing von Verbrennungsmotoren und effiziente spezielle Hybridmotoren (DHE) → Nachhaltige Kraftstoffe für hybride Verbrennungsmotoren mit Blick auf Luftqualität

Ausrichtung auf schwere Nutzfahrzeuge

- Geringere Wärmeverluste, z. B. Beschichtungen, Thermomanagement, Verbrennungsphasen
- Technologien der Niedertemperaturverbrennung
- Wärmerückgewinnung (z. B. Turbo-Compound, ORC) → Hocheffiziente Antriebe mit integrierter Wärmerückgewinnung, z. B. Split Engine
- Verbrennungssysteme (Tank, Motor, Einspritzung), die für Non-Drop-in-Kraftstoffe optimiert sind → Auf künftige Kraftstoffe und Luftqualität ausgerichtete Verbrennungssysteme

System-effizienz

Kraftstoffsysteme und Abgas-behandlung

- Flexible Kraftstoffeinspritzanlage, z. B. Einspritzverlaufsformung, Mehrfacheinspritzung, Dual-Fuel-Technologie, Düsengeometrie, Förderung alternativer Kraftstoffe
- Abgasnachbehandlung für Diesel (DPF und NO_x-Speicherkatalysator) und für Benzin (fortschrittl. Kat., Drei-Wege-Katalysatoren, elektrisch beheizbarer Katalysator)

Motorsysteme und -steuerung

- Versch. Nachbehandlungstechnologien (z. B. vor Turbine, niedrige Temp., elekt. unterstützt, auf alt. Kraftstoffe ausgerichtet) → Gasreformierung im Fahrzeug
- Multi-Boost-Geräte für sehr weites Kennfeld → Kontrollierte Luftzufuhr zur Unterstützung einer hocheffizienten Verbrennung und integriertes Design, z. B. E-Boost, Multi-Device)
- Fortschrittl. Antriebskontrolle, Sicherheit → Modellprädiktive Regelung über V2X-Technologie und mehr Geofencing → Vollautomatische Steuerung des Antriebsstrangs, KI, erweiterte Sicherheit

Antriebssysteme

- Vollautomatische Steuerung des Antriebsstrangs, KI, erweiterte Sicherheit und E-Clutch → Gemeinsam entwickelter Motor für schwere Nutzf./Auto, kein Drehmomentwandler
- Spezielle Hybridgetriebe; integriert, modular, kostengünstig → Anpassbare und flexible Hybridgetriebe

Ökobilanz

- Entwicklung mit Blick auf Demontage, Recycling, Wiederaufarb. & Ökobilanz → Ökobilanz-orientierte Wertketten & Umwidmung von Anlagen zur Herstellung neuer Netto-Null-Verbrennungsmotoren
- Herstellung von Verbrennungsmotoren und energiearmer DHE → Stark dekarbonisierte Herstellung von Verbrennungsmotoren und DHE → Herstellungssysteme mit Netto-Null-Emissionen

Nachhaltige Kraftstoffe

- Drop-in-Kraftstoffe: höhere Beimischungsanteile gemäß EN 228 oder EN 590 aus nachhaltigen Quellen, z. B, Abfall, Biomasse (2. Gen.), synthetische Kraftstoffe/E-Fuels
- Non-Drop-in-Kraftstoffe: Biokraftstoffe, DME, CNG, LNG, synthetisch, E-Fuels (PTL und PTG), H2, Ammoniak
- Zukünftige Kraftstoffe: neuartige kohlenstofffreie Kraftstoffe

2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | ...

Primäre Technologiebereiche

Thermischer Wirkungsgrad

- Ausrichtung auf leichte Nutzfahrzeuge
- Ausrichtung auf schwere Nutzfahrzeuge

Ausrichtung auf leichte Nutzfahrzeuge: Dieser Abschnitt bezieht sich auf Verbrennungstechnologien für leichte Nutzfahrzeuge. Kleinere Verbrennungsmotoren und der Übergang zu speziellen Hybridmotoren (DHE) sind die wichtigsten Trends in dieser Kategorie.

Ausrichtung auf schwere Nutzfahrzeuge: Der Arbeitszyklus und die Emissionsanforderungen für schwere Nutzfahrzeuge unterscheiden sich deutlich von denen für leichte Nutzfahrzeuge. Eine gezielte Optimierung der Verbrennungstechnologie und neu entwickelte Antriebsarchitekturen ermöglichen Emissionsreduktionen sowie bessere Verbrauchswerte im Güternah- und -fernverkehr.

System-effizienz

- Kraftstoffsysteme und Abgas-behandlung
- Motorsysteme und -steuerung
- Antriebssysteme

Systemeffizienz:

Die Themen **Kraftstoffsysteme und Abgasbehandlung** werden im Fahrplan 2020 separat aufgeführt, um eine bessere Übersicht über die technolo gischen Veränderungen und die Entwicklung der Kraftstoffzufuhr im Fahrzeug sowie der Innovationswege für die Abgasbehandlung zur Verringerung v on CO_2-Emissionen und Schadstoffen zu liefern.

Im Abschnitt **Motorsysteme und -steuerung** geht es um Leistungssteigerungen durch Luft-, Wärme- und Abgasmanagement, die Reduzierung parasitärer Verluste und Fortschritte bei der Antriebsstrangsteuerung.

Antriebssysteme sorgen dafür, dass Verbrennungsantriebe in einem reduzierten Geschwindigkeits-/Lastbereich betrieben werden können, wodurch erhebliche Effizienzsteigerungen und Emissionsreduktionen möglich sind. Integrierte und hybride Getriebe sind hierbei ein zentrales Thema.

Ökobilanz

Die **Ökobilanz** umfasst die Energieintensität, die ökologischen Auswirkungen, den Ressourcenverbrauch, die Recyclingkette für Komponenten von Verbrennungsantrieben. Derzeitige Schlagworte sind Entwicklung unter Berücksichtigung der Demontage, Recycling und Wiederaufarbeitung. Bei der Entwicklung spezieller Hybridmotoren und neuer Verbrennungssysteme für Netto-Null-Kraftstoffe müssen Ökobilanzaspekte von Anfang an berücksichtigt werden.

Nachhaltige Kraftstoffe

Nachhaltige Kraftstoffe: Der Fahrplan wurde um einen völlig neuen Abschnitt über nachhaltige Kraftstoffe ergänzt. Verbrennungsmotoren sind Verbraucher von Kraftstoff, woraus sich die entsprechenden Emissionswirkungen ergeben. Werden die in den Motoren verwendeten Kraftstoffe optimiert, wirkt sich dies direkt auf die Auspuffemissionen und die künftigen Netto-Null-Ziele aus. In diesem Fahrplan werden drei Kraftstoffarten thematisiert (Drop-in-, Non-Drop-in- und zukünftige Kraftstoffe), ergänzt um Beispiele für kohlenstoffarme und kohlenstofffreie Optionen, die derzeit verfügbar sind oder sich noch in der Entwicklung befinden.

Thermischer Wirkungsgrad (leichte Nutzfahrzeuge)

Geringere Wärmeverluste, effiziente Verbrennung und Hybridisierung sind zentrale Strategien, um die Leistung zu steigern und die gesetzlichen Anforderungen zu erfüllen, insbesondere für Fahrzeuge im innerstädtischen Verkehr.

Thermischer Wirkungsgrad
- Ausrichtung auf leichte Nutzfahrzeuge
- Ausrichtung auf schwere Nutzfahrzeuge

System-effizienz
- Kraftstoffsysteme und Abgas-behandlung
- Motorsysteme und -steuerung
- Antriebssysteme

Ökobilanz

Nachhaltige Kraftstoffe

1. Geringere Wärmeverluste, z. B. Beschichtungen, Thermomanagement, Verbrennungsphasen
2. Effiziente Verbrennungssysteme, z. B. Magerverbrennung, Wassereinspritzung, flexible Ventilsteuerung) → Auf künftige Kraftstoffe und auf Luftqualität zugeschnittene Verbrennungssysteme
3. Downsizing von Verbrennungsmotoren und effiziente spezielle Hybridmotoren (DHE) → Nachhaltige Kraftstoffe für hybride Verbrennungsmotoren mit Blick auf Luftqualität

1 Geringere Wärmeverluste

Die Verringerung des Wärmeverlusts, z. B. vom Gas im Zylinder zur Brennkammerwand, erweist sich als eine der zentralen Lösungen zur Verbesserung des thermischen Wirkungsgrads von Verbrennungsmotoren.

Moderne Beschichtungen und Werkstoffe, wie keramische und Silicium-basierte Beschichtungen, können dazu beitragen, Wärmeverluste zu verringern und so den thermischen Wirkungsgrad zu verbessern. Sie müssen auch bei hohen Temperaturen eine gute Haftkraft aufweisen, langlebig, korrosionsbeständig und hoch belastbar sein.

2 Effiziente Verbrennung

Unter Magerverbrennung versteht man die Verbrennung von Brennstoff, wobei mehr Verbrennungsluft im Motor vorhanden ist. Durch die Magerverbrennung wird die Verbrennungs-temperatur und damit der Wärmeverlust reduziert. Außerdem werden die NO_x-Werte auf ein sehr niedriges Niveau gesenkt, wenn das Verfahren gut durchgeführt wird.

Bei der nassen Verdichtung (Wet Compression) wird an einem Einlass Wasser eingespritzt, das durch die Verdampfung von Wassertröpfchen beim Verdichtungsprozess der Luft für eine kontinuierliche Kühlung sorgt. Dadurch wird ein hoher Wirkungsgrad bei potenziell geringen Schadstoffemissionen ermöglicht.

Die Zylinderabschaltung, die durch flexible Ventilsteuerungen ermöglicht wird, ist entscheidend für die Verbesserung des Verbrennungswirkungsgrads.

Branchendaten zeigen, dass derzeit ein BTE-Wert von 48–50 % erreicht werden kann.

Mit der Verbesserung von Software und Steuerung werden die Strategien zur Zylinderabschaltung zunehmend intelligenter. Der derzeitige Ansatz, einen oder zwei Zylinder ein- und abzuschalten, wird wahrscheinlich dahin gehend entwickelt, dass mehrere Zylinder ein- und ausgeschaltet werden, um dynamisch auf die Fahrbedingungen zu reagieren.

3 Downsizing von Verbrennungsmotoren und spezielle Hybridmotoren

Das Downsizing von Verbrennungsmotoren ist bereits als äußerst geeignete Methode anerkannt, um gleichzeitig den angegebenen Umwandlungswirkungsgrad zu erhöhen und die CO_2-Emissionen zu senken.

Hybridsysteme werden in Verbrennungsmotoren integriert, wodurch sich Synergien beim Packaging und flexible Leistungsvorteile ergeben. Mahle hat zum Beispiel einen vollintegrierten Plug-in-Hybridantrieb mit einem besonders effizienten 2- oder 3-Zylinder-Turbo-Benzinmotor entwickelt.

In Zukunft werden diese Hybridantriebe mit nachhaltigen Kraftstoffen betrieben werden müssen, um die Vorgaben in Bezug auf Netto-Null-Emissionen zu erfüllen.

2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | ...

Thermischer Wirkungsgrad (schwere Nutzfahrzeuge)

Durch die besonderen Arbeitszyklen und die Antriebsstrangarchitekturen schwerer Nutzfahrzeuge ergeben sich Chancen für Verbrennungsmotoren, die von der Wärmerückgewinnung, Niedertemperaturverbrennung bis hin zur Anpassung für neue Kraftstoffe reichen.

Thermischer Wirkungsgrad

- Ausrichtung auf leichte Nutzfahrzeuge
- Ausrichtung auf schwere Nutzfahrzeuge

1. Geringere Wärmeverluste, z. B. Beschichtungen, Thermomanagement, Verbrennungsphasen
2. Technologien der Niedertemperaturverbrennung
3. Wärmerückgewinnung (z. B. Turbo-Compound, ORC) → Hocheffiziente Antriebe mit integrierter Wärmerückgewinnung, z. B. Split Engine
4. Verbrennungssysteme (Tank, Motor, Einspritzung), die für Non-Drop-in-Kraftstoffe optimiert sind → Auf künftige Kraftstoffe und Luftqualität ausgerichtete Verbrennungssysteme

System-effizienz

- Kraftstoffsysteme und Abgas-behandlung
- Motorsysteme und -steuerung
- Antriebssysteme

Ökobilanz

Nachhaltige Kraftstoffe

1 Geringere Wärmeverluste

Ähnlich wie bei leichten Nutzfahrzeugen können fortschrittliche Beschichtungen und Werkstoffe auch bei schweren Nutzfahrzeugen dazu beitragen, den Wärmeverlust zu verringern, um den thermischen Wirkungsgrad zu optimieren; allerdings werden sie bei schweren Nutzfahrzeugen auf den jeweiligen Arbeitszyklus und die Anwendung abgestimmt sein. So müssen beispielsweise bei keramischen und Silizium-basierten Beschichtungen, die sich derzeit in der Entwicklung befinden, eine gute Haftkraft aufweisen, langlebig, korrosionsbeständig und hoch belastbar sein.

2 Technologien der Niedertemperatur-verbrennung

Die Niedertemperaturverbrennung ist eine neuere Motorentechnologie, mit der sich die NO_x- und Rußemissionen reduzieren lassen und gleichzeitig ein höherer thermischer Wirkungsgrad beibehalten wird. Dies kann beispielsweise durch eine Vormischung von Luft und Kraftstoff vor der Zündung und eine Reaktion des verdünnten Gemisches erreicht werden, wodurch NO_x- und Partikelemissionen nahezu vollständig vermieden werden.

3 Lösungen für die Wärmerückgewinnung

In Motorsystemen geht ein großer Teil der Energie des verbrannten Kraftstoffs als Wärme verloren. Diese Abwärme kann zurückgewonnen und als Heizenergie genutzt oder in Strom umgewandelt werden, z. B. zum Laden von Fahrzeugbatterien.

Durch die Wärmerückgewinnung können Leistung und Wirkungsgrad des Systems gesteigert und Emissionen reduziert werden. Turbo-Compound-Motoren und Motoren, bei denen das ORC-Verfahren angewendet wird, sind Beispiele für Wärmerückgewinnungssysteme.

4 Verbrennungssysteme

Im Fahrplan für Verbrennungsantriebe 2020 werden mögliche Non-Drop-in-Kraftstoffe genannt, die den CO_2-Fußabdruck von Verbrennungsmotoren reduzieren können. Bei manchen von ihnen sind kleine bis mittlere Anpassungen an bestehenden Verbrennungssystemen erforderlich, z. B, am Tank, an Einspritzsystemen oder an internen Motorkomponenten. Hier zeichnet sich eine Möglichkeit ab, Verbrennungsmotoren zu dekarbonisieren und die Netto-Null-Vorgaben zu erreichen.

Die Verbrennungssysteme müssen bei künftigen Fortschritten in Bezug auf Kraftstoffe angepasst oder auf diese Kraftstoffe abgestimmt werden.

2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | ...

Kraftstoffsysteme und Abgasbehandlung

Die Verfahren der Abgasbehandlung werden weiterentwickelt, um die Partikel- und Stickstoffoxid (NO_x)-Emissionen zu verringern, müssen aber auch auf die neuen Kraftstoffe der Zukunft abgestimmt werden.

Fahrplan 2020
Verbrennungsantriebe

Technologiefahrplan

Thermischer Wirkungsgrad
- Ausrichtung auf leichte Nutzfahrzeuge
- Ausrichtung auf schwere Nutzfahrzeuge

System-effizienz
- Kraftstoffsysteme und Abgas-behandlung
- Motorsysteme und -steuerung
- Antriebssysteme

Ökobilanz

Nachhaltige Kraftstoffe

1 Flexible Kraftstoffeinspritzanlage, z. B. Einspritzverlaufsformung, Mehrfacheinspritzung, Dual-Fuel-Technologie, Düsengeometrie, Förderung alternativer Kraftstoffe

2 Abgasnachbehandlung für Diesel (DPF und NO_x-Speicherkatalysator) und für Benzin (fortschrittl. Kat., Drei-Wege-Katalysatoren, elektrisch beheizbarer Katalysator)

1 Kraftstoffeinspritzanlagen

Da sich die Verbrennungszyklen ändern, neue Kraftstoffe eingesetzt und hohe Effizienzsteigerungen angestrebt werden, müssen auch die Einspritzsysteme weiterentwickelt werden. Einige Beispiele werden genannt.

2 Abgasnachbehandlung für Diesel- und Benzinmotoren

Entwicklungen in der Abgasnachbehandlung sind ein Teil der Lösung, um die zunehmend strengeren NO_x-Vorschriften (Partikelmasse und Partikelanzahl) zu erfüllen. Es ist davon auszugehen, dass neue kohlenstoffarme und Netto-Null-Kraftstoffe künftig den Markt dominieren werden, wodurch der Bedarf an Nachbehandlungstechnologien ab 2040 abnehmen wird.

Beispiele für Abgasnachbehandlungstechnologien für Dieselmotoren sind Dieselpartikelfilter, NO_x-Speicherkatalysatoren oder Dieseloxidationskatalysatoren.

Beispiele für Abgasnachbehandlungstechnologien für Benzinmotoren sind neben der Filtration auch katalytisch hochaktive Schichten, die mittels Benzinpartikelfiltern und Drei-Wege-Katalysatoren zur Reduzierung der gasförmigen Emissionen beitragen.

2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | ...

Motorsysteme und -steuerung

Eine ganze Reihe von Verbesserungen bei Motorsystemen und der Motorsteuerung werden die Entwicklung bestehender Motoren und die Entwicklung neuer Systeme ankurbeln.

Fahrplan 2020
Verbrennungsantriebe

Technologiefahrplan

Thermischer Wirkungsgrad
- Ausrichtung auf leichte Nutzfahrzeuge
- Ausrichtung auf schwere Nutzfahrzeuge

System-effizienz
- Kraftstoffsysteme und Abgas-behandlung
- Motorsysteme und -steuerung
- Antriebssysteme

Ökobilanz

Nachhaltige Kraftstoffe

1 Breites Spektrum an Nachbehandlungsmöglichkeiten

Der Schwerpunkt wird immer mehr auf Systeme gelegt, die bereits ein breites Leistungsspektrum bieten können, selbst wenn es in Zukunft weniger Abwärme geben wird (vor allem im Bereich schwerer Nutzfahrzeuge). Langfristig können neuartige Technologien wie On-Board-Reformierung und CO_2-Speicherung im Fahrzeug eine Rolle spielen, insbesondere für schwere Nutzfahrzeuge. Nach 2025 liegt der Fokus bei leichten Nutzfahrzeugen darauf, die Emissionen über einen kleineren Betriebsbereich des Motors zu steuern.

2 Boost-Geräte und -Technologien

Boost-Systeme bieten durch die Kombination von Geräten ein breites Spektrum an effektiven Einsatzmöglichkeiten. Durch Werkstoff- und Lagerentwicklungen (höhere Temperatur, geringere Reibung) werden diese Geräte immer besser. Höhere Spannungen (mehr als 48 V) sorgen dafür, dass E-Boosting-Geräte auf breiter Fläche Anwendung finden, und ergänzen somit den Multi-Device-Ansatz.

3 Steuersysteme (Antriebsstrang, modellprädiktiv, mit KI)

Ein intelligenteres Antriebsstrangmanagement verbessert schon jetzt den Kraftstoffverbrauch. Durch die modellprädiktive Regelung auf der Grundlage von V2X-Technologien, komplexer modellbasierter Steuerung und bekannten Straßen-/Verkehrsbedingungen lässt dies sich in Zukunft noch optimieren. Durch intensives Geofencing könnten Motoren vorübergehend abgeschaltet oder in einem besonders emissionsarmen Modus betrieben werden, um die Vorgaben von emissionsfreien Zonen in Städten zu erfüllen. Auch darüber hinaus sind vollautomatische Steuersysteme möglich, insbesondere im Zusammenhang mit dem vernetzten und autonomen Fahren.

1	Versch. Nachbehandlungstechnologien (z. B. vor Turbine, niedrige Temp., elekt. unterstützt, auf alt. Kraftstoffe ausgerichtet)	Gasreformierung im Fahrzeug
2	Multi-Boost-Geräte für sehr weites Kennfeld	Kontrollierte Luftzufuhr zur Unterstützung einer hocheffizienten Verbrennung und integriertes Design, z. B. E-Boost, Multi-Device)
3	Fortschrittl. Antriebskontrolle, Sicherheit	Modellprädiktive Regelung über V2X-Technologie und mehr Geofencing → Vollautomatische Steuerung des Antriebsstrangs, KI, erweiterte Sicherheit

2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040

Antriebssysteme

Die Getriebe und die Hybridisierung sind für die Effizienz des Antriebssystems maßgeblich. Durch eine gemeinsame Weiterentwicklung können sie dichter am Spitzenwirkungsgrad betrieben werden.

Fahrplan 2020

Verbrennungsantriebe

Technologiefahrplan

Thermischer Wirkungsgrad

- Ausrichtung auf leichte Nutzfahrzeuge
- Ausrichtung auf schwere Nutzfahrzeuge

System-effizienz

- Kraftstoffsysteme und Abgas-behandlung
- Motorsysteme und -steuerung
- Antriebssysteme

Ökobilanz

Nachhaltige Kraftstoffe

1 Getriebe und Drehmomentwandler

Getriebe ermöglichen einen optimalen Motorbetrieb durch intelligente Schalt- und Automatikgetriebe, durch die die Handschaltung ersetzt wird (insbesondere mehrstufige und stufenlose Getriebe für leichte Nutzfahrzeuge). Durch die Hybridisierung werden sich die Getriebe für leichte Nutzfahrzeuge künftig verändern. Im Schwerlastbereich werden in Zusammenarbeit entwickelte Automatikgetriebe die Motorentwicklung vorantreiben.

2 Spezielle Hybridgetriebe

Werden elektrische und mechanische Speicher und Antriebsunterstützung integriert, bieten Hybridsysteme in naher Zukunft eine größere Energierückgewinnung. Bei zunehmender Hybridisierung sind durch gemeinsam entwickelte Motor- und Hybridsysteme für einen optimalen Motorbetrieb verringerte Emissionen und hohe Effizienz möglich.

1 Vollautomatische Steuerung des Antriebsstrangs, KI, erweiterte Sicherheit und E-Clutch → Gemeinsam entwickelter Motor für schwere Nutzf./Auto, kein Drehmomentwandler

2 Spezielle Hybridgetriebe; integriert, modular, kostengünstig → Anpassbare und flexible Hybridgetriebe

2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040

Ökobilanz

Eine umweltgerechte Fertigung ist für die Bewertung der Nettoauswirkungen aller Fertigungsverfahren, Rohstoffe und Betriebsabläufe entscheidend.

Thermischer Wirkungsgrad
- Ausrichtung auf leichte Nutzfahrzeuge
- Ausrichtung auf schwere Nutzfahrzeuge

System-effizienz
- Kraftstoffsysteme und Abgas-behandlung
- Motorsysteme und -steuerung
- Antriebssysteme

1 Recycling, Wiederaufarbeitung und Ökobilanz

Verbrennungsmotoren können hervorragend recycelt werden und es gibt eine etablierte Industrie, die die Wiederverwendung und Wiederaufbereitung ermöglicht. Im Vergleich zu anderen Antriebstechnologien sind die Auswirkungen der Fertigung von Verbrennungs-motoren auf die Ökobilanz gering.

Die stärkere Durchsetzung von Recyclingvorschriften trägt dazu bei, dass Ökobilanzaspekte bei der Entwicklung berücksichtigt werden. Da Ökobilanzaspekte immer stärker zum Tragen kommen, werden bei der Werkstoffauswahl verschiedene Umweltauswirkungen (z. B. Wassernutzung, Verschwendung, Stromverbrauch usw.) zunehmend berücksichtigt.

Weltweit gibt es einen großen Markt für wiederaufgearbeitete Motoren, wobei der größte Marktanteil in den USA liegt und Asien die höchste Wachstumsrate aufweist. Das umfasst die Demontage des Produkts, den Austausch und die Instandsetzung von Komponenten sowie die Prüfung sowohl des gesamten Produkts als auch einzelner Teile gemäß der ursprünglichen Entwurfsspezifikation.

Darüber hinaus wird die Umwidmung von Anlagen für die Fertigung von Verbrennungsmotoren hin zu Fertigungsanlagen für Netto-Null-Motoren oder elektrifizierte Systeme in den nächsten fünf Jahren wahrscheinlich an Fahrt aufnehmen.

2 Energieeffiziente Fertigung mit Netto-Null-Emissionen

Nicht nur die Auspuffemissionen, sondern auch die klimatischen Einflüsse durch die Fertigung des Antriebsstrangs spielen bei der Dekarbonisierung eine wichtige Rolle.

Die in Fertigungsanlagen verbrauchte Energie geht mit einem entsprechenden CO_2-Fußabdruck einher. Eine langfristige Strategie für die meisten OEMs besteht darin, den Energieeinsatz in der Fertigung zu reduzieren und kontinuierlich Verbesserungen zu erzielen, um eine Fertigung mit Netto-Null-Emissionen zu erreichen. Schon jetzt werden Motoren weltweit in klimaneutralen Werken hergestellt. Dies ist bei anderen Antriebstechnologien wie Batterien und Brennstoffzellen nicht der Fall.

Dieser Ansatz muss auf künftige Netto-Null- und hybridisierte Motorkomponenten ausgeweitet werden, bei denen besondere Anforderungen an Werkstoffe und Fertigung/ Montage bestehen.

Ökobilanz

1. Entwicklung mit Blick auf Demontage, Recycling, Wiederaufarb. & Ökobilanz → Ökobilanz-orientierte Wertketten & Umwidmung von Anlagen zur Herstellung neuer Netto-Null-Verbrennungsmotoren
2. Herstellung von Verbrennungsmotoren und energiearmer DHE → Stark dekarbonisierte Herstellung von Verbrennungsmotoren und DHE → Herstellungssysteme mit Netto-Null-Emissionen

Nachhaltige Kraftstoffe

2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | ...

Nachhaltige Kraftstoffe

Drop-in-Kraftstoffe ohne CO_2-Emissionen, Non-Drop-in-Kraftstoffe und die Entwicklung künftiger Kraftstoffe rücken zunehmend in den Fokus, wenn es darum geht, leistungsfähige und kosteneffiziente Lösungen für die Abkehr von bestehenden fossilen Kraftstoffen zu finden.

Thermischer Wirkungsgrad
- Ausrichtung auf leichte Nutzfahrzeuge
- Ausrichtung auf schwere Nutzfahrzeuge

System-efizienz
- Kraftstoffsysteme und Abgas-behandlung
- Motorsysteme und -steuerung
- Antriebssysteme

Ökobilanz

1 Drop-in-Kraftstoffe

Hierbei handelt es sich um kohlenstoffarme und kohlenstofffreie Kraftstoffe, die bestehenden Kraftstoffen beigemischt werden oder diese ersetzen und in derzeitigen Motorsystemen gut funktionieren. Es werden einige bekannte Beispiele genannt, die von E-Fuels (erzeugt unter Verwendung von Elektrizität) bis hin zu Kraftstoffen aus pflanzlichen Abfallwerkstoffen reichen. Biokraftstoffe (z. B. Biomethan), die für landwirtschaftliche Fahrzeuge verwendet werden, stammen derzeit aus einer Biomassequelle, allerdings muss eine nachhaltige Lebensmittel- und Wärmeversorgung entwickelt werden. Synthetische Kraftstoffe und E-Fuels sind eine sinnvolle Alternative, bei ihrer Herstellung muss jedoch auf erneuerbare Energieträger gesetzt werden.

2 Non-Drop-in-Kraftstoffe

Diese Kraftstoffe können nicht direkt in derzeitigen Verbrennungsmotoren verwendet werden; das System muss zunächst entsprechend angepasst werden. Dies kann von einer einfachen Anpassung des Tanks oder des Einspritzsystems bis hin zu einer vollständigen Umrüstung der Komponenten von Verbrennungs-motoren reichen. In Bezug auf kohlenstofffreie Non-Drop-in-Kraftstoffe sind die Möglichkeiten zahlreich, darunter Dimethylether (DME), gasförmige Kraftstoffe aus Methanol, Wasserstoff (gasförmig oder flüssig) und verschiedene andere synthetische Kraftstoffe oder E-Fuels.

3 Zukünftige Kraftstoffe

Hierbei handelt es sich überwiegend um neue Kraftstoffe ohne CO_2-Emissionen, die derzeit noch nicht großflächig eingesetzt werden. Auf der Suche nach neuen Kraftstoffen für Verbrennungsmotoren wird intensiv nach Alternativen zu fossilen Kraftstoffen geforscht, bei denen die Vorteile der etablierten Werkstoffzufuhr und der kostengünstigen Herstellung von Verbrennungsmotoren zum Tragen kommen.

Nachhaltige Kraftstoffe

1. Drop-in-Kraftstoffe: höhere Beimischungsanteile gemäß EN 228 oder EN 590 aus nachhaltigen Quellen, z. B, Abfall, Biomasse (2. Gen.), synthetische Kraftstoffe/E-Fuels
2. Non-Drop-in-Kraftstoffe: Biokraftstoffe, DME, CNG, LNG, synthetisch, E-Fuels (PTL und PTG), H2, Ammoniak
3. Zukünftige Kraftstoffe: neuartige kohlenstofffreie Kraftstoffe

2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | ...

Glossar

Abkürzung	Erläuterung
KI	Künstliche Intelligenz. Intelligente Maschinen und Algorithmen, die in der Lage sind, Aufgaben auszuführen, für die normalerweise menschliche Intelligenz erforderlich ist.
BEV	Battery Electric Vehicle (batteriebetriebenes Elektrofahrzeug).
BTE	Brake Thermal Efficiency (thermischer Wirkungsgrad). Der thermische Wirkungsgrad zeigt in Prozent an, wie viel Energie ein Basismotor an der Kurbelwelle in nutzbare mechanische Leistung umsetzt (ohne Getriebe- und Antriebsstrangverluste).
CAV	Die Bezeichnung „vernetzte und autonome Fahrzeuge“ (Connected Autonomous Vehicles) ist ein Sammelbegriff für die verschiedenen Autonomiestufen und Technologien im Zusammenhang mit selbstfahrenden Fahrzeugen.
THG	Treibhausgase halten die Wärme in der Atmosphäre. Zu ihnen gehören Kohlendioxid, Methan, Distickstoffoxid und fluorierte Gase.
HDV	Heavy-Duty Vehicle (schweres Nutzfahrzeug).
ICE	Internal Combustion Engine (Verbrennungsmotor).
Ökobilanz	Bewertung der Lebenszyklen. Hierbei werden die Umweltauswirkungen über alle Phasen des Lebenszyklus eines Produkts hinweg erfasst (z. B. von der Rohstoffgewinnung über die Verarbeitung, Herstellung und Nutzung bis hin zum Recycling bzw. zur Entsorgung am Ende der Lebensdauer).
ORC	Organic Rankine Cycle. Bei diesem Verfahren wird zusätzlicher Strom aus Abwärme erzeugt. Das Prinzip ähnelt dem einer herkömmlichen Dampfturbine, allerdings wird statt Wasserdampf eine organische Flüssigkeit verwendet, wodurch sich mehr Leistungsvorteile ergeben.
PM	Partikelmaterie bzw. Feinstaub ist die Bezeichnung für eine komplexe Mischung aus festen und flüssigen Partikeln organischer und anorganischer Stoffe, die in der Luft schweben.
PN	Die Partikelanzahl (Particulate Number) gibt die Anzahl der Partikel unterschiedlicher Größe an und liefert Hinweise darauf, dass die Partikelgröße für die beobachteten gesundheitlichen Auswirkungen von Belang ist.
TPS	Thermal Propulsion System (Verbrennungsantrieb bzw. Wärmeantrieb). Hierbei handelt es sich um ein System, in den ein Motor oder eine Brennstoffzelle mit thermischen und/oder elektrischen Systemen integriert ist, um die Leistungsabgabe an die Räder zu steuern und überschüssige Energie für eine verbesserte Leistung und Effizienz zurückzugewinnen. Das wichtigste Merkmal eines TPS ist, dass die Primärenergie chemisch gespeichert wird (und nicht elektrochemisch wie in einer Batterie).
V2X	Vehicle-to-X bezeichnet ein intelligentes Verkehrssystem, bei dem alle Fahrzeuge und Infrastruktursysteme miteinander vernetzt sind.

Ein besonderer Dank geht an Spell Creative und Mindraft für die Unterstützung bei der Gestaltung und Ausarbeitung dieses Berichts sowie an BMG Research für die Durchführung der Umfrage unter Branchenexperten für den Fahrplan im Auftrag des APC und für die Unterstützung.