

ATZ/MTZ-Fachbuch



Wolfgang Maus *Hrsg.*

# Zukünftige Kraftstoffe

Energiewende des Transports als ein  
weltweites Klimaziel

**Continental** 

 Springer Vieweg

# **ATZ/MTZ-Fachbuch**

In der Reihe ATZ/MTZ-Fachbuch vermitteln Fachleute, Forscher und Entwickler aus Hochschule und Industrie Grundlagen, Theorien und Anwendungen der Fahrzeug- und Verkehrstechnik. Die komplexe Technik, die moderner Mobilität zugrunde liegt, bedarf eines immer größer werdenden Fundus an Informationen, um die Funktion und Arbeitsweise von Komponenten sowie Systemen zu verstehen. Fahrzeuge aller Verkehrsträger sind ebenso Teil der Reihe, wie Fragen zu Energieversorgung und Infrastruktur.

Das ATZ/MTZ-Fachbuch wendet sich an Ingenieure aller Mobilitätsfelder, an Studierende, Dozenten und Professoren. Die Reihe wendet sich auch an Praktiker aus der Fahrzeug- und Zulieferindustrie, an Gutachter und Sachverständige, aber auch an interessierte Laien, die anhand fundierter Informationen einen tiefen Einblick in die Fachgebiete der Mobilität bekommen wollen.

Weitere Bände in der Reihe <http://www.springer.com/series/12236>

Wolfgang Maus  
(Hrsg.)

# Zukünftige Kraftstoffe

Energiewende des Transports als ein weltweites Klimaziel

*Hrsg.*  
Wolfgang Maus  
Bergisch Gladbach, Deutschland

ATZ/MTZ-Fachbuch  
ISBN 978-3-662-58005-9      ISBN 978-3-662-58006-6 (eBook)  
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-58006-6>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2019

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Verantwortlich im Verlag: Markus Braun

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

# Vorwort MTZ-Fachbuch „Zukünftige Kraftstoffe“

Die Automobilindustrie befindet sich im wohl größten Transformationsprozess ihrer Geschichte. Neue Mobilitätskonzepte, die Vernetzung der Fahrzeuge untereinander, die zunehmende Digitalisierung, Autonomes Fahren oder der zunehmende Einsatz künstlicher Intelligenz verändern das Marktumfeld und bieten Chancen und Risiken zugleich. Darüber hinaus beschleunigen weltweit strengere Gesetzgebungsvorschriften zur Luftreinheit den Veränderungsprozess der Automobilindustrie.

Der Klimawandel ist die wahrscheinlich größte Herausforderung der Menschheit. Dabei ist das Klimaschutz- und nachhaltige Energiebereitstellung eines der wichtigsten Instrumente um der Klimaveränderung entgegenzuwirken. Das Pariser Klimaabkommen aus dem Jahr 2015 verdeutlicht die Dringlichkeit, die Erderwärmung auf deutlich unter 2 Grad zu begrenzen. Insgesamt haben 176 Staaten, einschließlich Deutschland, das Abkommen ratifiziert. Um dieses ambitionierte Ziel zu erreichen sind vor allem national bestimmte Beiträge zur Reduktion von Treibhausgasemissionen notwendig (vgl. Umweltbundesamt).

Aus der Energiewirtschaft, Gebäude und Verkehr stammen mehr als 80 % der deutschen Treibhausgasemissionen. Bis 2050 sollen diese um 80 bis 95 % gegenüber dem Basisjahr 1990 reduziert werden. Um die Ziele zu erfüllen, sind CO<sub>2</sub>-neutrale Antriebskonzepte und neue ökologische Weichenstellungen erforderlich. Die Automobilindustrie ist gefordert mit neuen Technologien und innovativen Produkten alternative, nachhaltige sowie kostenoptimierte Antriebskonzepte zu entwickeln, um langfristig die Erfüllung der CO<sub>2</sub>-Ziele zu sichern.

Die Automobilindustrie leistet bereits einen großen Beitrag für unsere Gesellschaft. Durch innovative und effiziente Technologien sowie Konzepte trägt Continental schon heute aktiv zur Luftreinheit der Städte bei. Trotzdem sind zur Erfüllung der verschärften Gesetzgebung zusätzliche Innovationen notwendig. Wie beispielsweise synthetische Kraftstoffe. Sie können eine Lösung sein, um nachhaltig vor allem die Bestandsflotte sauberer zu bekommen.

Zur Sicherstellung zukünftiger Lösungen sind einige grundsätzliche Rahmenbedingungen festzulegen, die sie auf den nächsten Seiten im Fachbuch finden. Dabei ist die Nutzung CO<sub>2</sub>-neutraler Energieträger Grundvoraussetzung. In Deutschland wird zur Deckung der Energiebedarfe im Transportsektor Wind- und Photovoltaik

präferiert. Allerdings muss volatil verfügbarer Wind- und Solarstrom in großen Mengen kostengünstig gespeichert werden, was sich durch die Umwandlung von Elektronen in Moleküle als chemische Batterie in Form von synthetischen Kraftstoffen und bereits industriell verfügbaren Prozessen realisieren lässt. Weiterhin erlauben z. B. Oxymethylen-Molekülketten, ohne Kohlenstoff-Doppelbindungen, eine schadstoffarme Verbrennung und gute Reichweiten. Zusätzlich muss der Fahrzeugbestand bereits kurzfristig bis 2050 mit zunehmend CO<sub>2</sub>-neutralen „Blends“ (Kraftstoffmischungen) versorgt werden. Die Blend-Eignung bleibt wenigen synthetischen Flüssigkraftstoffen vorbehalten. So stellte der VDA im Januar 2017 (Vgl. BDI Klimapfadstudie) fest, dass selbst bei ausschließlich in den Markt eingeführten CO<sub>2</sub>-neutral betriebenen Neufahrzeugen, die angestrebten CO<sub>2</sub>-Ziele für 2030 bis 2050 nicht erfüllt werden können. Die Bestandsflotte muss daher zur Erreichung der Ziele parallel mit „drop-in“ CO<sub>2</sub>-neutralen, strombasierten Kraftstoffen (e-Fuels) zur Reduktion beitragen.

In der ersten Ausgabe des Fachbuchs liegt der Schwerpunkt der Beiträge noch auf der optimalen industriellen Herstellung derartiger Kraftstoffvarianten. Die synthetischen Kraftstoffe werden zukünftig kostengünstiger herstellbar sein und können in Konkurrenz zu den fossil-basierten Diesel- oder Benzin Kraftstoffen mittelfristig treten. Anhand der Beiträge ist abzusehen, dass laufende Forschungen signifikante Synthese-Wirkungsgradverbesserungen der Umwandlung von „grünem“ Strom in synthetische Kraftstoffe, sogenannt e-Fuels, erlauben werden. Dabei spielen die Energiekosten eine entscheidende Rolle.

Ich würde mir wünschen, dass wir mit dem Fachbuch eine breite Leserschaft erreichen und damit die Forschung zu synthetischen Kraftstoffen weiter anregen. Denn nur der technologische Antriebsmix wird eine nachhaltige Mobilität der Zukunft sicherstellen.

Viel Freude beim Lesen!

Andreas Wolf

# Grußwort Kraftstoffbuch

Mit dem Herausgeber dieses Buches, Wolfgang Maus, verbindet mich eine langjährige Freundschaft und die Leidenschaft des Autofahrens. Diese Faszination geht bis in meine Jugendzeit zurück. Autofahren gab mir immer das Gefühl von Freiheit und Unabhängigkeit.

Die Entwicklungsprojekte von BMW und EMITEC waren in der Zusammenarbeit mit dem damaligen Geschäftsführer Wolfgang Maus davon geprägt, den Widerspruch zwischen Fahrspaß und niedrigen Abgasemissionen aufzulösen. Gerne erinnere ich mich an unser erstes gemeinsames Projekt. Der BMW 750i sollte in Kalifornien auf den Markt kommen. Es schien unmöglich, die damals weltweit schärfsten Emissionsvorgaben mit einem 12-Zylindermotor zu erfüllen. Innovationskraft beider Unternehmen führte zum elektrisch beheizten Katalysator. Um die Risiken in dem elektrischen 12-Volt-Bordnetz einer Luxuslimousine auszuschalten, bekam der BMW Alpina B12 6.0 diese Technik vorab. Die in einer Kleinserie gewonnenen Erfahrungen im Kundenbetrieb flossen in die Serienentwicklung des späteren BMW 750i ein. Der Widerspruch war aufgelöst. Das war damals eine Sensation.

Die Voraussetzungen dafür waren Pioniergeist, Innovationsstärke, Durchsetzungskraft und unternehmerisches Gespür.

Diese Werte bringen unsere Gesellschaft voran. Heute müssen wir bei den gesellschaftlichen Schlüsselthemen Mobilität, Klimaschutz, Energie, Sicherheit und Gesundheit Fortschritte erzielen. Nur so können wir im globalen Wettbewerb unsere starke Position als Exportnation weiterhin sicherstellen. Selbst ernannte Experten und überzogene Umweltpolitik bringen Klimaschutz und Gesundheit in Widerspruch zur Mobilität. Die Einschränkung der Mobilität darf kein Lösungsweg sein. Mobilität sichert unseren Wohlstand. Wohlstand entsteht durch Wachstum, Wachstum entsteht durch Beschäftigung, Beschäftigung entsteht durch Wettbewerbsvorteile, Wettbewerbsvorteile entstehen durch Innovationen, Innovationen entstehen durch kluge Köpfe. Kluge Köpfe können Widersprüche auflösen. Ich wünsche mir, dass die Politik trotz Vertrauensverlust wieder mehr auf kompetente Wissenschaftler hört.



Bis heute verdanken wir unsere Mobilität Verbrennungsmotoren, Turbinen und fossilen Kraftstoffen, die Personenkraftwagen, Nutzfahrzeuge, Schiffe und Flugzeuge antreiben. Ein weiter so darf es nicht geben. Für die Mobilität von morgen brauchen wir sozialverträglich umsetzbare Lösungen, die unkompliziert, weltweit einsetzbar, CO<sub>2</sub>-neutral und ohne Belastung der Luftqualität sind.

Regenerativ erzeugte elektrische Energie ist dafür der Schlüssel. Für die Nutzung gibt es zwei Wege: die direkte Nutzung über elektrifizierte Antriebe und die indirekte Nutzung über synthetische Flüssigkraftstoffe oder synthetisch erzeugtes Gas. Die Politik setzt auf Elektromobilität. Lokale Emissionsfreiheit spricht dafür. Unsere klugen Köpfe aus Forschung und Wissenschaft zeigen, dass auch Verbrennungsmotoren mit dem heutigen Technologiestand Emissionsgrenzwerte sicher einhalten können und dass bei Betrachtung des Gesamtsystems sogar niedrigere CO<sub>2</sub>-Emissionen als mit alternativen Antrieben möglich sind.

Ich wünsche dem Autorenteam, dass dieses Fachbuch dazu beiträgt, mehr Wissen aufzubauen und zu verbreiten, um Irrwege zu vermeiden. Die Reglementierung der Mobilität darf keine Lösung sein. Physik und Volkswirtschaft zusammen helfen nachhaltige Lösungen zu finden. Diese Lösungen müssen mit Innovationskraft und unternehmerischem Gespür vorangetrieben werden. Ich hoffe, dass die Politik die Chance erkennt, unsere angeschlagene Automobilwirtschaft damit wieder an die technologische Weltspitze zu führen.

Dr. Johannes Liebl



**BOSCH**  
Technik fürs Leben

# Erste Wahl für effizientes und wirtschaftliches Fahren

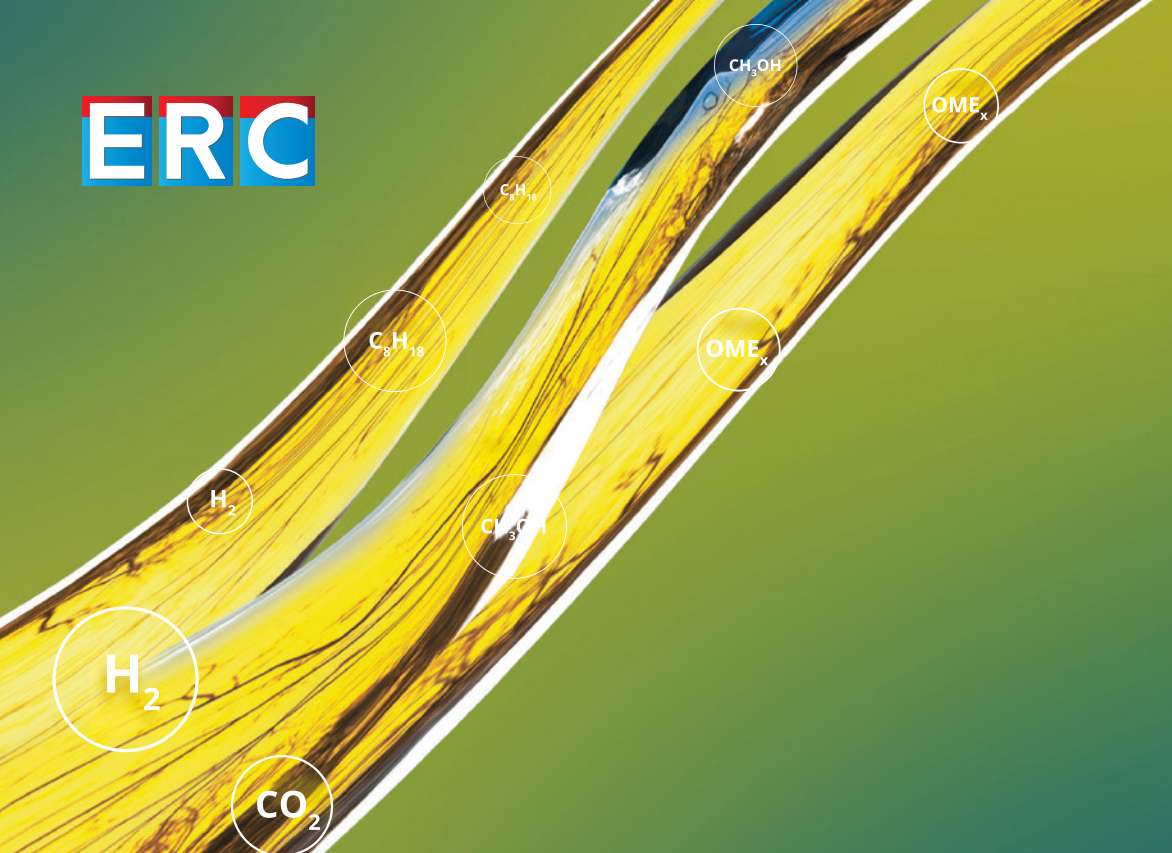
Antriebssysteme und elektrifizierte  
Mobilität von Bosch



Mit kompletten Antriebssystemen für alle Fahrzeugklassen sorgt Bosch für Energieeffizienz in der Mobilität. Dazu gehören nicht nur die kontinuierliche Weiterentwicklung von Verbrennungsmotoren sondern auch Niedervolt- und Hochvolt-Hybridsysteme und Antriebssysteme für Elektrofahrzeuge. Die intelligente

Vernetzung von Komponenten und Systemen macht den Antrieb effizient und damit auch wirtschaftlich. Dafür kombiniert Bosch Hardware, Software und Services zu umfassenden Antriebslösungen.

[www.bosch-mobility-solutions.de](http://www.bosch-mobility-solutions.de)



$\text{CH}_3\text{OH}$

$\text{OME}_x$

$\text{C}_8\text{H}_{18}$

$\text{C}_8\text{H}_{18}$

$\text{OME}_x$

$\text{H}_2$

$\text{CH}_3\text{COH}$

$\text{H}_2$

$\text{CO}_2$

$\text{CO}_2$

## WE ADD POWER TO LIQUID

ERC hat viele Jahre Erfahrung mit der Additivierung von alternativen Kraftstoffen und kennt die gesamte Wertschöpfungskette flüssiger Kraft- und Brennstoffe von der Raffinerie bis zum Verbraucher. Ob synthetisches Benzin oder Diesel, Methanol oder  $\text{OME}_x$ , maßgeschneiderte Additive von ERC optimieren Kraftstoffe der Zukunft für die Motoren und Anlagen von heute und morgen.

- ✓ Chemische Stabilisierung
- ✓ Verbesserte Schmierfähigkeit
- ✓ Sicherer Korrosionsschutz
- ✓ Optimierte Verbrennung
- ✓ Zuverlässige Selbstreinigung

Rufen Sie uns an! Wir sind für Sie da!

**Ansprechpartnerin**  
Dr. Svetlana Crusius  
Forschung und Entwicklung  
Tel.: +49 4181 216-533  
E-Mail: [s.crusius@erc-additiv.de](mailto:s.crusius@erc-additiv.de)



Made in EU

ERC Additiv GmbH · Bäckerstraße 11–13 · 21244 Buchholz i.d.N. · Germany  
+49 4181 216-500 · [office@erc-additiv.de](mailto:office@erc-additiv.de) · [www.erc-additiv.de](http://www.erc-additiv.de)

# Inhaltsverzeichnis

## **Regulatorische und umweltpolitische Randbedingungen**

<b>Verkehrsemissionsgesetzgebungen in der Europäischen Union sowie in Industrienationen und Schwellenländern</b> .....	3
Hans Nuglisch, Thomas Maier, und Sandra Müller	

<b>Europäische Regulierungen für Kraftstoffe, alternative Kraftstoffinfrastruktur und CO<sub>2</sub>-Ausstoß von Fahrzeugen</b> .....	45
Markus Maly	

<b>CO<sub>2</sub> und Emissionsgesetze, Anforderungen &amp; Lösungen</b> .....	76
Joachim Damasky und Tobias Block	

## **Energiebereitstellung, Sektorkopplung, wirtschaftliche Bedeutung**

<b>Mobilität und Energie bedeuten Wohlstand</b> .....	89
Wolfgang Maus	

<b>Die volkswirtschaftliche Bedeutung von Automobilindustrie und Mobilität</b> .....	100
Ulrich van Suntum	

<b>Kohlenstoffbasierte EFuels – wird der „grüne“ Kohlenstoff zur knappen Ressource?</b> .....	114
Christoph Gatzen und David Bothe	

<b>Indirekte Elektrifizierung mittels eFuels</b> .....	125
David Bothe	

<b>Strom und erneuerbare Kraftstoffe – gemeinsame Lösung für die Verkehrswende</b> .....	136
Stephan Stollenwerk, Jens Kanacher, und Frank-Detlef Drake	

<b>Nachhaltige Kraftstoffe (PtX) für die Energiewende im Transport-, Verkehrssektor</b>	
<b>C-1 Oxygenate als nachhaltige Kraftstoffe und deren günstige Eigenschaften</b> .....	155
Eberhard Jacob	
<b>CO<sub>2</sub> Capture from Air: A Breakthrough Sustainable Carbon Source for Synthetic Fuels</b> .....	181
Valentin Gutknecht and Louise Charles	
<b>Synthetic Fuels</b> .....	191
Robert Schlögl	
<b>Industrial Approach for Direct Electrochemical CO<sub>2</sub> Reduction in Aqueous Electrolytes</b> .....	224
Maximilian Fleischer, P. Jeanty, K. Wiesner-Fleischer, and O. Hinrichsen	
<b>Strombasierte Kraft- und Brennstoffe als Verknüpfung von weltweiten Energiesystemen</b> .....	251
Alexander Tremel	
<b>Konzepte für die nachhaltige und CO<sub>2</sub>-neutrale Energieerzeugung aus organischen Rest- und Abfallstoffen sowie NONFOOD-NawaRo.</b> . . . .	284
Ergun Çehreli und Arno Schneider	
<b>Technologien zur Produktion von Wasserstoff für die Herstellung synthetischer Kraftstoffe</b> .....	305
Günter Harp	
<b>Homogen katalysierte Synthese von Oxymethylenethern (OME) durch Aufnahme von molekularem Formaldehyd</b> .....	371
Andreas Peter, Eberhard Jacob, und Ingo Krossing	
<b>Power-to-Methanol: Techno-Economical and Ecological Insights</b> . . . . .	380
Mohamed Ouda, Christoph Hank, Florian Nestler, Max Hadrich, Johannes Full, Achim Schaadt, and Christopher Hebling	
<b>Sunfire – Erneuerbare Moleküle aus CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O zur Substitution von Erdöl und Erdgas</b> .....	410
Christian von Olshausen und Karl Hauptmeier	
<b>A Technology Review and Cost Analysis of the Production of Low Carbon Methanol and Following Methanol to Gasoline Process</b> . . . . .	433
Christian Bergins, Torsten Buddenberg, Efthymia-Ioanna Koytsoumpa, Maria João Duarte, Emmanouil Kakaras, Stephan Schmidt, und Alexander Deierling	
<b>Sustainable Fuel from CO<sub>2</sub> and Electricity: A Commercial Scale Solution Ready to Meet Future Challenges</b> .....	464
Benedikt Stefansson and Ómar Sigurbjörnsson	

<b>Methanol – der Kraftstoff, der uns morgen antreibt. . . . .</b>	<b>480</b>
Martin Bertau, Michael Kraft, Ludolf Plass, und Hans-Jürgen Wernicke	
<b>Die Rolle von Dimethylether (DME) als Schlüsselbaustein synthetischer Kraftstoffe aus erneuerbaren Rohstoffen . . . . .</b>	<b>532</b>
Ulrich Arnold, Philipp Haltenort, Karla Herrera Delgado, Benjamin Niethammer, und Jörg Sauer	
<b>Nutzung synthetischer, nachhaltiger Otto- und Dieselmotor Kraftstoffe (PtX)</b>	
<b>Defossilizing the Transportation Sector . . . . .</b>	<b>565</b>
Ulrich Kramer	
<b>Das Potenzial einer alternativen Kraftstoffstrategie . . . . .</b>	<b>664</b>
Olaf Toedter und Thomas Koch	
<b>Gibt es in der Industrie in 20 Jahren noch Verbrennungsmotoren? . . . . .</b>	<b>676</b>
Rudolf Ellensohn und Andreas Link	
<b>Oktan- &amp; Vorentflammungskennzahlen . . . . .</b>	<b>695</b>
Josef Graf und Christian Martin	
<b>Einsatz von Alkoholen in MPFI und DI Ottomotoren. . . . .</b>	<b>713</b>
Peter Hofmann und Thomas Lauer	
<b>e-Fuels – ein zentraler Baustein für den Motor der Zukunft? . . . . .</b>	<b>750</b>
Lars Hentschel, Karsten Michels, Thomas Garbe, und Martin Hönig	
<b>DMC+ als partikelfreier und potenziell nachhaltiger Kraftstoff für DI Ottomotoren. . . . .</b>	<b>758</b>
Martin Härtl, Andreas Stadler, Sebastian Blochum, Dominik Pélerin, Thomas Maier, Vinicius Berger, Georg Wachtmeister, Philipp Seidenspinner, Thomas Wilharm, und Eberhard Jacob	
<b>DME – A Sustainable Fuel Solution for Clean and Closed CO<sub>2</sub>-Cycle-Mobility for CI Powertrain. . . . .</b>	<b>783</b>
M. Zübel, T. Ottenwälder, B. Heuser, C. Herudek, H. Maas, and W. Willems	
<b>OME als Reinstoff: Emissionsreduktion bei Dieselmotoren durch sauerstoffhaltige synthetische Kraftstoffe . . . . .</b>	<b>799</b>
Martin Härtl, Dominik Pélerin, Kai Gaukel, Patrick Dworschak, und Georg Wachtmeister	
<b>Synthetische Kraftstoffe . . . . .</b>	<b>814</b>
Christian Beidl, Markus Münz, und Alexander Mokros	
<b>Alcoholic Fuels in Diesel Engines. Methanol, Ethanol and Butanol . . . . .</b>	<b>850</b>
Aleksandar Damyanov	

<b>Di-<i>n</i>-Butylether (DBE)</b> .....	863
Aleksandar Damyanov	
<b>Tributylcitrat, Butyllevulinat und Diglyme als mögliche sauerstoffhaltige Biokomponenten im Dieselmotorkraftstoff</b> .....	872
Aleksandar Damyanov	
<b>Fischer-Tropsch-Diesel</b> .....	881
Aleksandar Damyanov	
<b>Hydriertes Pflanzenöl (HVO)</b> .....	891
Aleksandar Damyanov	
<b>Kraftstofftechnologien für emissionsarme Mobilität</b> .....	902
Peter Sauer und Bochum Ian Sharp	
<b>Diesel-OME-Blends</b> .....	918
Aleksandar Damyanov	
<b>OME – Diesel Blends für niedrigere Well-to-Wheel CO<sub>2</sub> Emissionen in PKW Motoren</b> .....	929
O. Kastner, G. Avolio, und G. Rösel	
<b>Schlussbemerkungen</b>	
<b>Schlussbemerkungen</b> .....	945
R. Schlögl, G. Wachtmeister, E. Jacob, und W. Maus	
<b>Autorenverzeichnis</b> .....	947

# **Regulatorische und umweltpolitische Randbedingungen**





# Verkehrsemissionsgesetzgebungen in der Europäischen Union sowie in Industrienationen und Schwellenländern

Hans Nuglich<sup>(✉)</sup>, Thomas Maier, und Sandra Müller

Continental Powertrain, Regensburg, Deutschland  
hans.nuglich@continental-corporation.com

## 1 Einführung

*Dieser Beitrag orientiert sich an dem Continental Emission Booklet „Worldwide Emission Standards and Related Regulations“.*

Der Fokus dieses Beitrages liegt auf den Gesetzgebungen bezüglich der Emissionen von Personenkraftwagen (Pkw) und leichten Nutzfahrzeugen (Light-Duty Vehicles). Für tiefer gehende Details insbesondere zu On-board Diagnose (OBD), In-Service-Konformität (ISC), Messverfahren bei Hybridfahrzeugen usw. sei auf das Continental Emission Booklet sowie insbesondere auf die entsprechenden Original-Regularien verwiesen.

Dieser Beitrag dient nur zur allgemeinen Information und Übersicht, mit dem Verständnis, dass Continental keine rechtlichen, behördlichen oder sonstigen professionellen Dienstleistungen erbringt. Diese Veröffentlichung sollte nicht als Ersatz für die jeweiligen offiziellen Vorschriften verwendet werden, die immer zurate gezogen werden sollten.

Der Schwerpunkt liegt hier aus aktuellem Anlass auf der europäischen Emissionsgesetzgebung, aber es wird auch der Status bezüglich Pkw und leichten Nutzfahrzeugen für andere wichtige Weltregionen, wie USA, China, Indien, Korea, Japan und Brasilien skizziert.

Im Allgemeinen sind Emissionsregularien für Personenkraftfahrzeuge in zwei unterschiedliche Kategorien einzuteilen: Treibhausgasemissionen und Schadstoffemissionen.

### 1.1 Treibhausgasemissionen

In der Emissionsgesetzgebung für Kraftfahrzeuge betrachtete Treibhausgasemissionen sind hauptsächlich CO<sub>2</sub> (GWP<sup>1</sup> = 1), aber auch CH<sub>4</sub> (GWP ~ 30) und N<sub>2</sub>O (GWP ~ 265). Treibhausgase beeinflussen das Weltklima. Die besondere Relevanz

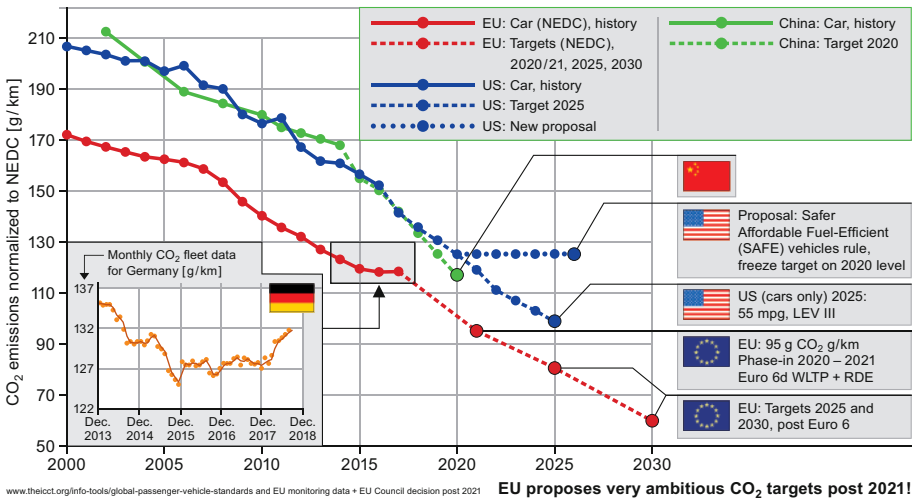
---

<sup>1</sup> GWP: Greenhouse Warming Potential.

liegt hier bei den Gesamtemissionen in die Atmosphäre, nicht wie bei den gesundheitsschädlichen Abgasen bei den lokalen Emissionen. Aus diesem Grund begrenzen alle großen Weltregionen die CO<sub>2</sub>-Emissionen als Durchschnittswert für die in einem Jahr verkaufte Neufahrzeugflotte. Größere Fahrzeuge dürfen mehr Treibhausgase emittieren, wenn deren Emissionen durch geringere Emissionen kleinerer Fahrzeuge in der Flotte ausgeglichen werden. Die Einzelheiten der Regelungen in den Weltregionen sind unterschiedlich, jedoch konvergiert das Ziel für die Hauptregionen im Zeitraum 2020–2025 auf etwa 100 g CO<sub>2</sub>/km mit den ehrgeizigsten Zielen in Europa: 95 g CO<sub>2</sub>/km für 2020/2021, noch einmal reduziert um 15 % im Jahr 2025 und um 37,5 % im Jahr 2030 (siehe Abb. 1).

Während im europäischen Flottendurchschnitt in den vergangenen Jahren stetige Rückgänge zu verzeichnen waren, emittierten neue Pkw im Jahr 2017 durchschnittlich 0,4 g CO<sub>2</sub>/km mehr als 2016, als der Wert bei 118,5 g/km lag. Dieser Trend scheint sich auch 2018 fortzusetzen und stellt das Erreichen des Grenzwertes für 2020 infrage, siehe auch Abb. 1.

Seit Beginn der Überwachung im Rahmen der geltenden EU-Rechtsvorschriften sind die offiziellen Emissionen seit 2010 um 22 g CO<sub>2</sub>/km (16 %) zurückgegangen.<sup>2</sup>



**Abb. 1.** Historische CO<sub>2</sub> Emissionen für Pkw, CO<sub>2</sub>-Emissionsziele sowie Ausblick für verschiedene Weltregionen und monatliche deutsche Fahrzeug-Zulassungszahlen 2014–2018, veröffentlicht vom KBA

<sup>2</sup> <https://www.eea.europa.eu/highlights/no-improvements-on-average-co2>.

## 1.2 Schadstoffemissionen

Hierunter fallen Luftschadstoffe, welche schädlich für die menschliche Gesundheit sind und über die lokalen Luftqualitätsvorschriften definiert sind. Maximale Umweltkonzentrationen werden von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) definiert. Der Fahrzeugsektor ist an folgenden Emissionen stark beteiligt:

- Kohlenstoffmonooxid (CO; im Folgenden „Kohlenmonoxid“), hochtoxisch
- Unverbrannte Kohlenwasserstoffe (Hydrocarbons, HC), können in unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung auftreten, toxisch
- Stickstoffoxide NO sowie NO<sub>2</sub> (meist gemeinsam betrachtet als NO<sub>x</sub>), u. a. potenziell schädliche Auswirkungen auf das Atmungssystem, photochemische Effekte in der Atmosphäre
- Partikel (Ruß und Asche) aus dem Verbrennungsprozess, quantifiziert als emittierte Masse (PM) in mg/km sowie bei ihrer Anzahl (Particle Number, PN) in #/km, potenziell schädlich für das Herz-Kreislauf- und Atmungssystem. Partikelemissionen werden auch durch Brems- und Reifenabrieb verursacht, für diese gibt es jedoch noch keine allgemein akzeptierten Messmethoden. Die Entwicklung dieser Messmethoden ist Thema der UNECE Arbeitsgruppe Particle Measurement Program (PMP).

Diese Emissionen sind in den Weltregionen durch verschiedene Gesetzgebungspakete geregelt (bekannt als Euro 5, Euro 6, ULEV, LEVII, LEVIII usw.). Weltweit gesehen sind folgende Hauptregionen zu sehen:

- Die USA und einige mittel- und südamerikanische Länder verwenden das US-Testverfahren (FTP) oder Teile davon
- Europa und die Länder, die den EU-Rechtsvorschriften folgen, die ab 2017 auf dem neuen WLTP und dem neu geschaffenen Test für die Emissionen im tatsächlichen Fahrbetrieb (Real-Driving-Emissions, RDE) basieren werden
- Japan hat sein eigenes Testverfahren, wird aber zum neuen Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure (WLTP) wechseln
- China kombiniert Elemente aus Europa (heute NEFZ, aber Übergang zu WLTP und RDE) und Elemente der US-Gesetzgebung (siehe Abb. 2)

**Alle Vorschriften begrenzen die maximalen Emissionen pro Wegstrecke (z. B. mg/km) für jedes verkaufte Fahrzeug. Das heißt, jedes Fahrzeug muss zertifiziert sein, eine große Luxuslimousine oder ein kleines Fahrzeug müssen dieselben maximalen Emissionen einhalten.**

Als strengste Schadstoffemissionsverordnung kann aktuell die US-amerikanische gesehen werden, ab 2023 verschärfen sich in China die Grenzwerte stärker als in Europa (siehe weltweite Übersicht in Abb. 3)

Eine vergleichende Übersicht der mittels der regionalen Regularien bestehenden Emissionsgrenzwerte sowie deren Einführungszeitpunkte ist in Abb. 3 für die vier Schadstoffkategorien NO<sub>x</sub>, NMHC oder NMOG, CO sowie PM dargestellt.

Diese Übersicht soll hierbei lediglich einen groben Vergleich der Grenzwerte geben – eine direkte absolute Vergleichbarkeit ist nicht gegeben: Einerseits durch die Nutzung verschiedener Fahrzyklen in den Regionen sowie andererseits, da die Grenzwerte sowohl fahrzeugindividuell als auch teilweise über Flottengrenzen vorgegeben sind.

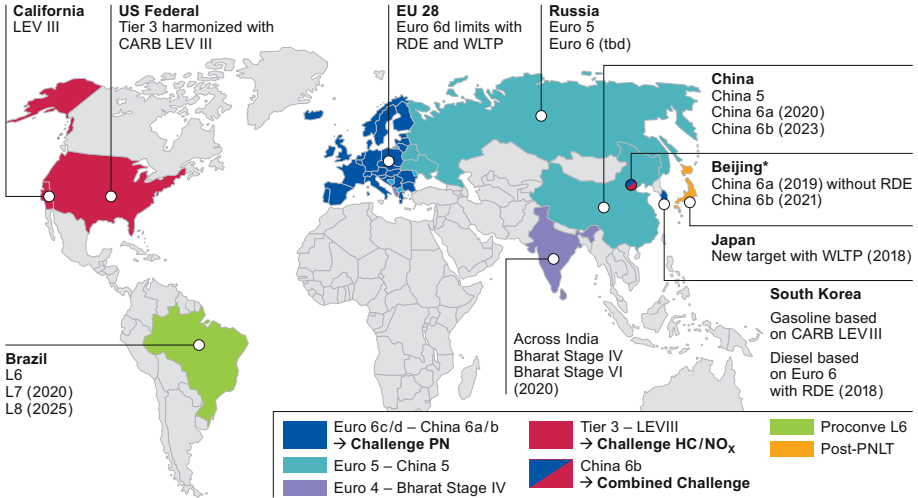


Abb. 2. Weltweite Emissionsgesetzgebungen für Pkw nach Weltregionen

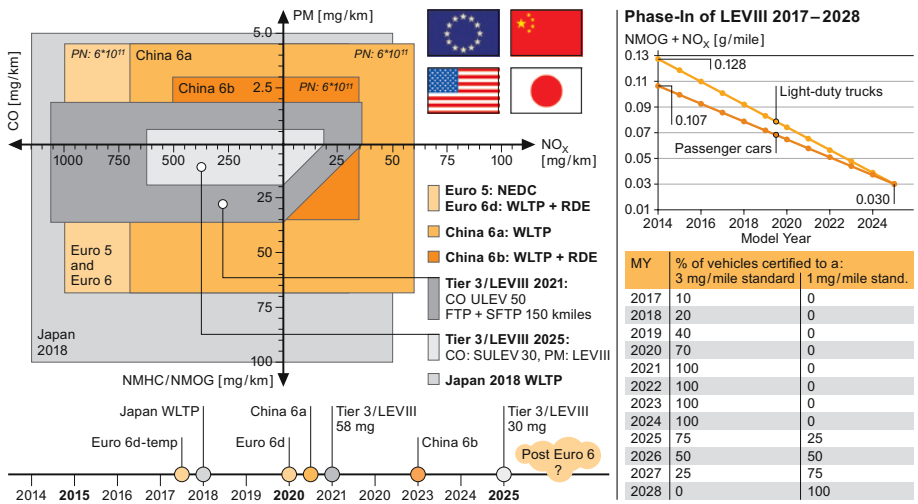


Abb. 3. Emissionsgrenzen und Einführungszeitpunkte in verschiedenen Weltregionen (Otto-Motoren)

### 1.3 Internationale Harmonisierung der Emissionsgesetzgebung im Rahmen der UNECE<sup>3</sup>

**1.3.1 UNECE Forum für Harmonisierung der Fahrzeuggesetzgebung.** Innerhalb der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UNECE) ist die Arbeitsgruppe für Emissionen und Energie (GRPE)<sup>4</sup> Teil des weltweiten Forums für Harmonisierung der Fahrzeuggesetzgebung, der UNECE WP.29<sup>5</sup>. Dieses Forum verwaltet hierfür die drei Kategorien internationaler Vereinbarungen, welche die internationale Zusammenarbeit regeln:

- **UN Regelungen (1958 Agreement, UN Regulations)** die von den teilnehmenden Staaten direkt übernommen werden können und direkt international rechtsverbindlich sind.
- **UN Richtlinien (1998 Agreement, GTRs)<sup>6</sup>** sind international anerkannte Prüfverfahren die in nationale/regionale Gesetze übernommen werden, zum Beispiel der neue GTR 15 (WLTP) als Teil des neuen europäischen Regelprüfverfahrens für Schadstoffemissionen.
- **Gegenseitige Anerkennung von periodischen technischen Inspektionen (1997 Agreement).**

Im Folgenden sollen hier nur die wichtigsten emissionsrelevanten Vorschriften vorgestellt werden.

**1.3.2 UNECE-Regelung Nr. 83 (ECE-R 83) und Typ-1-Test (NEFZ).** Die UNECE-Regelung Nr. 83<sup>7</sup> beschreibt ein Prüfverfahren für Schadstoffemissionen, das bis Ende August 2018 auch für die europäische Typengenehmigung Standard war. Dazu gehören Abgasemissionen bei normaler und niedriger Umgebungstemperatur, Verdunstungsemissionen, Emissionen des Kurbelgehäuses, Dauerhaltbarkeit von Abgassystemen für die Abgasreinigung sowie On-Board-Diagnosesysteme (OBD) für Light-Duty (LD) Fahrzeuge (Pkw und leichte Nutzfahrzeuge der Klassen M1, N1).

Die verschiedenen Arten von Tests, welche die ECE-R 83 definiert, sind:

- Typ I (Überprüfung der Abgasemissionen nach einem Kaltstart zwischen 20 °C und 30 °C)
- Typ II (Kohlenmonoxid-Emissionen im Leerlauf)
- Typ III (Emissionen des Kurbelgehäuses)
- Typ IV (Verdunstungsemissionen), soweit zutreffend

<sup>3</sup> UNECE: The United Nations Economic Commission for Europe.

<sup>4</sup> GRPE: Working Party on Pollution and Energy.

<sup>5</sup> WP.29: World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations, permanent UNECE working party.

<sup>6</sup> GTR: Global Technical Regulation.

<sup>7</sup> UNECE Regulation 83: [http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:42006X1227\(06\)R\(01\)](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:42006X1227(06)R(01))

- Typ V (Haltbarkeit der emissionsmindernden Komponenten)
- Typ VI (Überprüfung der Kohlenmonoxid- und Kohlenwasserstoffemissionen bei niedriger Umgebungstemperatur nach einem Kaltstart bei  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), gegebenenfalls OBD-Test.

Der Typ-1-Testzyklus gemäß UNECE-Regelung Nr. 83 entspricht dem Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ), siehe Abb. 4. Der NEFZ 2000 gilt für Emissionsprüfungen ab Euro 3 (2000) (Änderung vs. NEFZ 1992: Wegfall der ersten 40 s, Beutelsammlung ab Motorstart).

Der NEFZ wird in Europa, China, Japan und Indien mit der Einführung des WLTC-Zyklus und des WLTP-Testverfahrens auslaufen, wie in der GTR 15 beschrieben (siehe folgendes Kapitel).

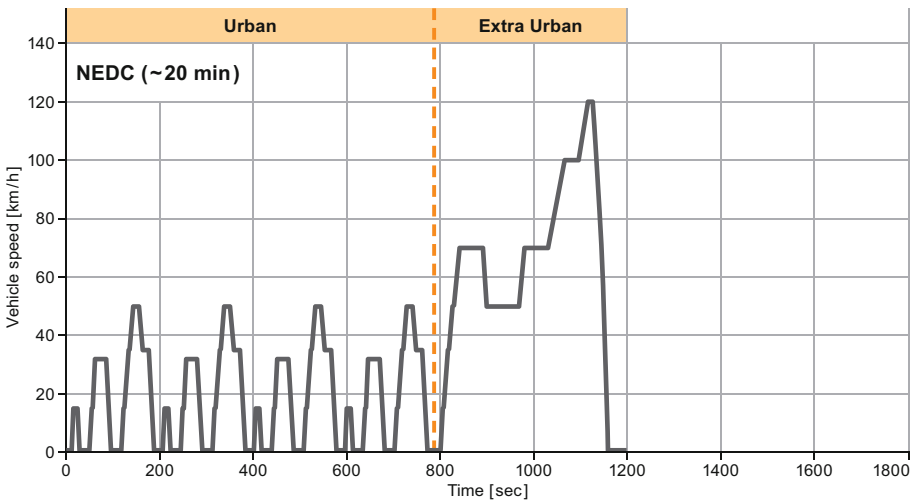


Abb. 4. NEFZ/NEDC Testzyklus

### 1.3.3 Worldwide Harmonized Light Vehicle Test Procedure (WLTP). UNECE GTR 15.

Es war seit vielen Jahren bekannt, dass der NEFZ-Testzyklus gemäß der Definition in der UNECE-Regelung Nr. 83 (siehe Abb. 4) das reale Fahrverhalten nicht ausreichend widerspiegelt. Schadstoffemissionen, Kraftstoffverbrauch und  $\text{CO}_2$ -Emissionen, die mit diesem Verfahren ermittelt werden, entsprechen nicht den realen Emissionswerten.

Aus diesem Grund hat die UNECE WP. 29 im Jahr 2007 beschlossen, im Rahmen von GRPE eine informelle Arbeitsgruppe für die **Entwicklung des WLTP** einzusetzen. Die Gruppe entwickelte von 2009 bis 2015 den Worldwide Harmonized Light-Duty Test Cycle (WLTC, siehe Abb. 5) und das damit verbundene Testverfahren (Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure, WLTP) für die Messung der limitierten Schadstoffemissionen,  $\text{CO}_2$ , Treibstoff- und Energieverbrauch. Die erste

Version hierzu wurde im Jahr 2014 als UNECE GTR 15<sup>8</sup> und die letzte Änderung hierzu im September 2018 veröffentlicht<sup>9</sup>.

Diese Global Technical Regulation (GTR) hat das Ziel, eine weltweit abgestimmte Methode zur Bestimmung der Emissionen von gasförmigen Verbindungen, Partikelmasse, Partikelanzahl, CO<sub>2</sub>-Emissionen, Kraftstoffverbrauch, Stromverbrauch sowie elektrischer Reichweite von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen bereitzustellen, die so ausgelegt ist, dass sie den realen Fahrzeugbetrieb gut und in einer wiederholbaren und reproduzierbaren Weise abbildet. Dies soll die Grundlage für Verordnungen im Rahmen von regionalen Typgenehmigungs- und Zertifizierungsverfahren bilden (1998 Agreement).

Eine zweite Phase (WLTP Phase 2), die im Jahr 2016 startete, hat bis 2020 das Ziel, folgende zusätzliche Themen in die UNECE GTR zu integrieren: Testverfahren für niedrige Temperaturen, Dauerhaltbarkeit, In-Service-Konformität (ISC), On-Board-Diagnose (OBD) und Effizienz von Klimaanlage (MAC).

Zusätzlich wurde im September 2018 auch im Rahmen der UNECE eine neue Arbeitsgruppe gestartet, um ein weltweit harmonisiertes Verfahren zur Ermittlung der Emissionen unter realen Fahrbedingungen zu definieren (Real-Driving-Emissionen, RDE).

Der WLTP definiert den Testzyklus WLTC, der ein realistischeres Profil der Fahrzeuggeschwindigkeiten darstellt als der NEFZ. Er wurde abgeleitet auf Basis einer internationalen Datenbank mit tatsächlich gefahrenen Fahrsequenzen.

**Der zweite und noch wichtigere Teil des WLTP ist eine deutlich striktere Definition der Testverfahren, als sie im Vergleich zum NEFZ und in der UNECE 83 gegeben sind.** So sind beispielsweise Fahrzeugmasse, Rollwiderstand, Fahrzeugkonditionierung und Umweltbedingungen genauer definiert.

Um den regionalen Marktcharakteristiken gerecht zu werden (Indien, Japan K-cars) definiert der WLTP drei Hauptklassen von Fahrzeugen (Klasse 1–3) abhängig von der gewichtsspezifischen Motorleistung mit jeweils einem Zyklus, sowie zwei Unterklassen für die Klasse 3. Zusätzlich ist unter bestimmten Bedingungen eine Anpassung des Geschwindigkeitsprofils erlaubt.

Der zu verwendende Zyklus ist abhängig vom Leistungsgewicht P<sub>mr</sub>:

$$P_{mr} = \text{Leistung [W]} / (\text{Masse in fahrbereitem Zustand [kg]} - 75[\text{kg}])$$

Mit „Masse in fahrbereitem Zustand“: Masse des Fahrzeugs, dessen mit mindestens 90 % gefüllten Kraftstofftank(s), Masse des Fahrers, Betriebsflüssigkeiten, Ausrüstung nach Herstellerangaben, Masse der Karosserie, der Kabine, der Verbindungsstücke und des Ersatzrades sowie Werkzeuge.

<sup>8</sup> UNECE GTR 15 with amendment 2016: <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29registry/ECE-TRANS-180a15am1e.pdf>.

<sup>9</sup> Addendum 15: United Nations Global Technical Regulation No. 15 <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29registry/ECE-TRANS-180a15am4e.pdf>.

Fahrzyklen sind für die drei Klassen mit folgenden spezifischen Fahrzeugmassen definiert:

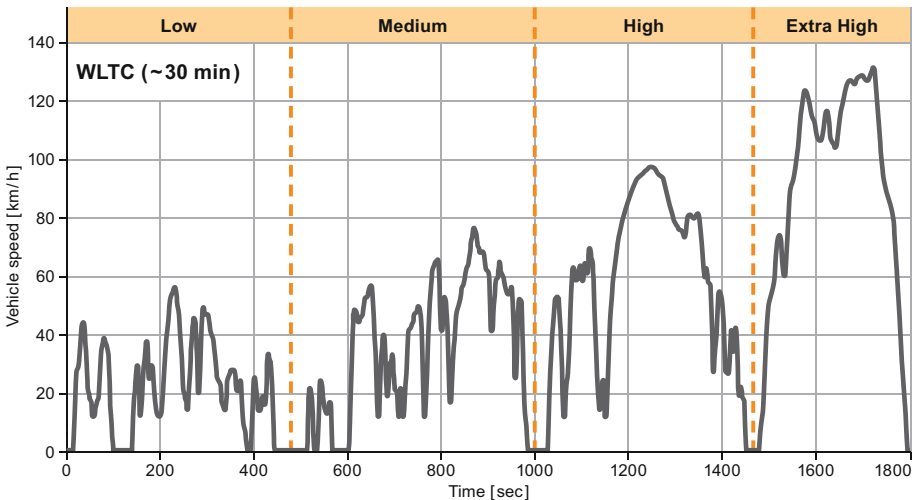
- Klasse-1-Test:  $P_{mr} < 22$  W/kg
- Klasse-2-Test:  $P_{mr} > 22$  W/kg, aber  $< 34$  W/kg
- Klasse-3-Test:  $P_{mr} > 34$  W/kg

Die Zyklen sind in verschiedene Phasen unterteilt: niedrige, mittlere und hohe Geschwindigkeit und eine zusätzliche vierte Phase mit erhöhter Geschwindigkeit für den europäischen Autobahnverkehr. Die verschiedenen Phasen sind fahrzeugklassenspezifisch. Beispielhaft ist in Abb. 5 der für in Europa typische Fahrzeuge nötige WLTC Klasse 3 Test gezeigt.

Für Fahrzeuge der Klasse 1 umfasst der vollständige Test eine Phase mit niedriger Geschwindigkeit, gefolgt von einer Phase mit mittlerer Geschwindigkeit und einer zweiten Phase mit niedriger Geschwindigkeit.

Ein kompletter Zyklus für Fahrzeuge der Klassen 2 und 3 besteht aus den jeweiligen Phasen mit niedriger, mittlerer und hoher Geschwindigkeit und optionaler extra schneller Phase. Für Fahrzeuge der Klasse 3 gibt es zwei Unterklassen für Fahrzeuge mit einer Höchstgeschwindigkeit  $< 120$  km/h und solche mit höherer Höchstgeschwindigkeit.

Für Fahrzeuge mit einer maximalen Fahrzeuggeschwindigkeit, die nicht ausreicht, um die maximale Geschwindigkeit des Zyklus zu erreichen, wird ein Downscaling-Verfahren angewendet. Hybrid- und Elektrofahrzeuge gelten als Fahrzeuge der Klasse 3.



**Abb. 5.** WLTC Fahrzeuggeschwindigkeitsprofil für Fahrzeuge der Klasse 3 mit einem  $P_{mr}$ -Verhältnis von  $> 34$  W/kg



## 2 Emissionsgesetzgebung in Europa





### 2.1 Überblick aktueller Entwicklungen

In der Europäischen Union laufen in mehreren Bereichen wichtige Entwicklungen:

- Reduzierung der Schadstoffemissionen
- Reduzierung von Treibhausgasen
- Überarbeitung des Rahmenwerks für die Typgenehmigung von Fahrzeugen

Die Europäische Union konzentriert sich weiterhin auf die Erreichung der für den zweiten Verpflichtungszeitraum des Kyoto-Protokolls (2013 bis 2020) vereinbarten Ziele, um bis zum Jahr 2020 eine 20 % Reduktion der Treibhausgase gegenüber dem Basisjahr 1990 zu erreichen (vgl. Abb. 6).

Die weiteren Maßnahmen zur CO<sub>2</sub> Reduktion bis 2030 werden durch die bei der Pariser Klimakonferenz (COP 21) eingegangenen Verpflichtungen diktiert. Die EU hat sich bis 2030 zu einer **Senkung der Treibhausgasemissionen** um 40 % im Vergleich zu 1990 verpflichtet.

	<p><b>United Nations Framework Convention on Climate Change 1992</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>› Agreement on cooperation and reporting, installation of regular conferences</li> <li>› Decision making: Conference of the Parties (COP)</li> </ul>
	<p><b>Kyoto Protocol 1998 (COP 3)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>› Phase 1 (2008–2012): EU 8% reduction target compared to 1990, (EU-15 has achieved an overall cut of 11.7% domestically)</li> <li>› Phase 2 (2013–2020): EU 20% reduction target compared to 1990</li> </ul>
	<p><b>Paris Agreement 2015 (COP 21): Targets 2021–2030</b></p> <p>Global average temperature increase &lt; 2°C above pre-industrial levels, efforts to limit to 1.5°C</p> <p>COUNCIL DECISION (EU) 2016/1841: Paris Agreement adopted</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>› Intended Nationally Determined Contribution (INDC) of the EU and its member states</li> <li>› Definition of individual CO<sub>2</sub> emissions target for each member state</li> </ul>
	<p><b>Measures taken at EU level will help Member States to reduce emissions:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>› Road transport: Reducing CO<sub>2</sub> emissions from vehicles             <ul style="list-style-type: none"> <li>– CO<sub>2</sub> standards for cars and vans, CO<sub>2</sub> labelling for cars</li> <li>– Comprehensive strategy to reduce CO<sub>2</sub> emissions from heavy-duty vehicles</li> <li>– Fuel Quality: GHG intensity of vehicle fuels to be cut by up to 10% by 2020</li> </ul> </li> <li>› Measures to improve the energy performance of buildings</li> <li>› Restrictions on fluorinated industrial gases</li> </ul>

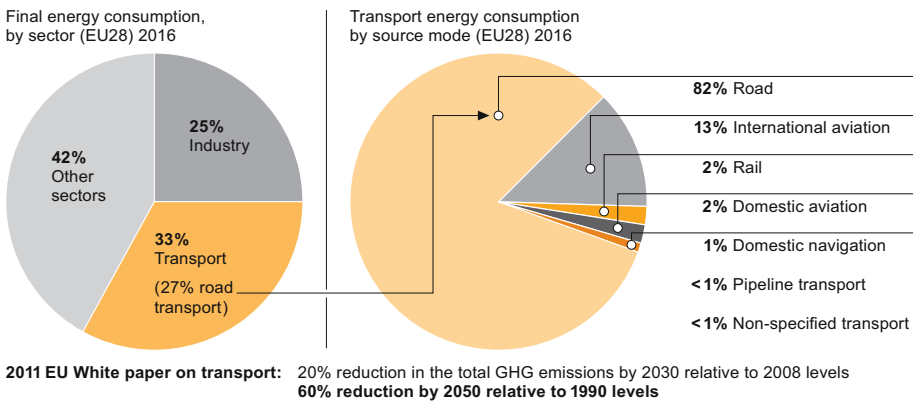
**Abb. 6.** Internationaler Rahmen für die CO<sub>2</sub>-Gesetzgebung

Der Verkehrssektor hat einen großen Anteil an den europäischen CO<sub>2</sub>-Emissionen, die für nicht regenerative Energieträger dem Energieverbrauch folgt (siehe Abb. 7).

Deshalb verschärft die EU weiterhin die CO<sub>2</sub>-Emissionsgrenzwerte für Personenkraftwagen und leichte Nutzfahrzeuge.

Die Regulierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Straßenverkehrssektor ist der Haupttreiber für die Entwicklung von neuen Technologien im Fahrzeugbereich.

### Split of Final Energy Consumption in the EU 2016 (Source EUROSTAT)



**Abb. 7.** Bedeutung des Straßenverkehrs bezüglich Energieverbrauch

Die Notwendigkeit für treibhausgasneutrale Antriebe treibt die Entwicklung von Elektrifizierung und die Suche nach realistischen Lösungen für alternative Kraftstoffe voran.

Eine zweite Priorität definiert die **europäische Clean-Air-Politik**<sup>10</sup>. Maximale Konzentrationen von Schadstoffen in der Umgebungsluft sind europaweit gesetzlich festgelegt (Immissionsgrenzwerte). Vor allem die Stickoxid- und Feinstaubkonzentrationen überschreiten in verschiedenen europäischen Ballungsgebieten regelmäßig die festgelegten Grenzwerte (z. B.  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in Europa für  $\text{NO}_2$ ). Pkw und leichte Nutzfahrzeuge haben einen großen Anteil an den  $\text{NO}_x$ - und Feinstaubemissionen.

Die Tatsache, dass vor allem Dieselfahrzeuge unter realen Fahrbedingungen oft mehr  $\text{NO}_x$  emittierten als unter Typgenehmigungsbedingungen, war ein Grund für die Einführung des Prüfverfahrens für Emissionen im tatsächlichen Fahrbetrieb (RDE). Dieses Prüfverfahren betrifft hauptsächlich die Abstimmung sowie die Abgasnachbehandlung von Dieselmotoren, wird aber ebenso zur Verbreitung von Technologien zur Minimierung von PN- und  $\text{NO}_x$ -Emissionen bei Benzinfahrzeugen führen, insbesondere bei solchen mit GDI-Motoren (Benzin-Direkteinspritzer).

## 2.2 EU Verordnungen und Richtlinien

**EU-Richtlinien** (EU-Directives, bis 2009 EG-Richtlinien) sind Vorgaben der Europäischen Kommission, die für alle Mitgliedstaaten verbindlich sind. Die Mitgliedstaaten müssen diese zu bestimmten Terminen in nationale Gesetze konvertieren. Die Anwendung dieser Richtlinien kann im Detail länderspezifische Abweichungen zeigen.

**EU-Verordnungen** (EU-Regulations) werden von den gesetzgebenden Parteien der Gemeinschaft in Brüssel entschieden (EU Parlament und Rat). Diese sind direkt in allen Mitgliedstaaten verbindlich und brauchen kein nationales Äquivalent.

<sup>10</sup> [http://ec.europa.eu/environment/air/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/air/index_en.htm).

**UNECE/EU Äquivalenz:** In der Vergangenheit gab es immer eine ECE und eine entsprechende EU-Richtlinie, die in den Ländern, die das Abkommen von 1958 unterzeichnet haben, das gleiche Testverfahren für die Zertifizierung erlaubt.

**Mit den neuen WLTP- und RDE-Testverfahren besteht für die neue europäische Durchführungsverordnung (Verordnung (EU) 2017/1151<sup>11</sup>) ab September 2017 kein ECE-Äquivalent für neue Typgenehmigungen. Typgenehmigungen werden nur basierend auf der europäischen Verordnung erlassen.**

Auch wenn der WLTP auf dem GTR 15 (WLTP) basiert, sind regionale Ergänzungen wie der in Europa erforderliche 14 °C Umgebungstemperaturkorrekturtest (ATCT) ohne Äquivalent auf UNECE-Ebene. Die informelle Arbeitsgruppe der UNECE zur Phase 2 des WLTP wird die EU und die UNECE-Regelungen auch in Zukunft harmonisieren, aber es wird höchstwahrscheinlich eine Regelung geben, die einige Kernregeln enthält, die von allen Parteien akzeptiert werden, ergänzt durch regionale Zusätze.

Die neue EU-Verordnung verweist stellenweise dennoch auf UNECE-Regelungen, wo die Prüfverfahren nicht geändert wurden (z. B. Verweise auf die UNECE-Regelung Nr. 83 für Rauchtrübung, Kurbelgehäuseemissionen, -7 °C Tieftemperaturtest usw.).

### 2.3 Fahrzeugtypgenehmigung in der Europäischen Union

Die Kraftfahrzeugzulassungsrichtlinie oder -verordnung beschreibt die Verfahren zur Zertifizierung von Fahrzeugen, Systemen und Komponenten, welche in Europa verkauft werden (gültig für Pkw sowie leichte und schwere Nutzfahrzeuge). Dieser Rahmen definiert die Anforderungen in Bezug auf Sicherheit und Umwelt für mehr als 70 verschiedene Elemente, die in verschiedenen Verordnungen und Richtlinien festgelegt sind.

Das Grundlagendokument, welches die europäische Gesetzgebung zur Typgenehmigung bis Ende August 2020 definiert, ist die **Rahmenrichtlinie 2007/46<sup>12</sup>**.

Hauptziel der Rahmenrichtlinie ist die technische Harmonisierung innerhalb der EU. Im Rahmen der Typgenehmigung von Fahrzeugen (Whole Vehicle Type Approval System, WVTA) kann ein Hersteller eine Zertifizierung für einen Fahrzeugtyp in einem EU-Land erhalten und diesen EU-weit ohne weitere Tests vermarkten. Die Zertifizierung wird von einer nationalen Typgenehmigungsbehörde ausgestellt, und die Prüfungen werden von den vorgesehenen technischen Diensten durchgeführt. Ein technischer Dienst ist eine Organisation oder eine Stelle, die von der nationalen Genehmigungsbehörde als Prüflabor zur Durchführung von Prüfungen und Konformitätsbewertungen benannt wurde zur Durchführung der Erstprüfung und anderer Prüfungen oder Inspektionen. Die nationalen Genehmigungsbehörden müssen eine Kopie

---

<sup>11</sup> Commission Regulation (EU) 2017/1151: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32017R1151>

<sup>12</sup> Consolidated framework directive 2007/46 with amendments: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:02007L0046-20160701>

des Zertifikats einer Fahrzeug-Typgenehmigung für jeden zugelassenen, zurückgewiesenen oder zurückgenommenen Fahrzeugtyp an die Genehmigungsbehörden in anderen EU-Ländern senden.

**Vor der Erteilung einer Typgenehmigung** muss die Genehmigungsbehörde prüfen, ob der Fahrzeugtyp den Sicherheits- und Umwelanforderungen der Rahmenrichtlinie entspricht und ob die Produktion den Vorschriften entspricht. Das Konformitätszertifikat (CoC) ist eine Erklärung des Herstellers, dass das Fahrzeug den EU-Typgenehmigungsbedingungen entspricht.

**Nach der Erteilung der Typgenehmigung** muss die Genehmigungsbehörde sicherstellen, dass die Gewährleistung der Übereinstimmung der Produktion gegeben ist (Conformity of Production Tests, CoP).

Die Überprüfung der Dauerhaftigkeit der Emissionskonformität erfolgt durch die Gewährleistung der Übereinstimmung in Betrieb (In Service Conformity Tests, ISC).

**Eine umfassende Überarbeitung des Rahmenwerks für die Typgenehmigung wurde verabschiedet und tritt im September 2020 in Kraft. Eine wichtige Neuerung ist, dass die o. g. Rahmenrichtlinie 2007/46 durch eine EU-weit bindende Verordnung, EU Verordnung (EU) 2018/858<sup>13</sup> ersetzt wird:**

Wichtige Neuerungen sind hierbei Tests und Marktüberwachung durch Dritte und eine verbesserte Kontrolle der nationalen Typgenehmigungsbehörden.

Ursprünglich waren für die Rahmenrichtlinie für Typgenehmigungen nach einem sogenannten ‚fitness check‘ der EU-Kommission 2013 nur geringfügige Aktualisierungen geplant. Ab Herbst 2015 änderte sich die Situation jedoch drastisch durch die Entdeckungen von Abschaltvorrichtungen, und der Typgenehmigungsprozess wurde heftig kritisiert. Dies hat eine größere Überarbeitung der Richtlinie 2007/46 hervorgerufen. 2015 hat das EU-Parlament einen Untersuchungsausschuss für Emissionsmessungen (EMIS) eingerichtet. Hauptthemen waren eine verbesserte Durchsetzung der europäischen Rechtsvorschriften in allen Mitgliedstaaten, die Bewertung der Möglichkeit einer Kontrolle der nationalen Dienste durch die EU-Kommission und die Verbesserung der Kontrolle im Betrieb sowie die Einführung eines Marktüberwachungsmechanismus.

Im Dezember 2017 ist es zu einer Einigung zwischen Rat und Parlament gekommen und die finale Version der neuen **Typgenehmigungsverordnung** wurde am 14. Juni 2018 als **Verordnung 2018/858** publiziert.

Die wichtigsten Punkte in der neuen Verordnung sind:

- **Einschränkung des nationalen Spielraumes** für die Anwendung der Vorgaben durch Ersetzen der EU-Richtlinie durch eine verbindlichen EU Verordnung.
- **Einführung von Marktüberwachung.** Die Mitgliedstaaten sind verpflichtet, eine Mindestanzahl von Fahrzeugen im Umlauf zu prüfen.
- **Die Qualität der Tests** sollte verbessert werden. Akkreditierung der Technischen Dienste und auditsystembasierte Peer-Reviews wurden eingeführt.

<sup>13</sup> Regulation (EU) 2018/858: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32018R0858>

Im Folgenden soll genauer auf die CO<sub>2</sub>- und Schadstoffgesetzgebung für **Pkw und leichte Nutzfahrzeuge** eingegangen werden. Schwere Nutzfahrzeuge werden von einer speziellen Verordnung geregelt.

**Definition der Fahrzeugklassen für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge** (Definition in den Typpengenehmigungsvorschriften der Verordnung 2007/46 oder 2018/858 und 715/2007):

- Fahrzeuge der Klassen M1, M2, N1 oder N2 mit einer **Bezugsmasse von höchstens 2610 kg**. „Bezugsmasse“ ist die Masse des Fahrzeugs in fahrbereitem Zustand abzüglich der Masse des Fahrers von 75 kg und erhöht um eine einheitliche Masse von 100 kg.
  - **Personenkraftwagen** der Kategorie M1 (Fahrer+ max. 8 Personen) und der Kategorie M2 (mehr als 8 Personen)
  - Fahrzeuge, die hauptsächlich für die Beförderung von Gütern bestimmt und gebaut sind (**Nutzfahrzeuge**) N1 (technisch zulässige Gesamtmasse <3500 kg) und N2 (technisch zulässige Gesamtmasse zwischen 3500 kg und 12.000 kg), N2 mit Bezugsmasse >2610 kg fallen nicht mehr in diese Verordnung)
  - Nutzfahrzeuge (Commercial Vehicles, CVs) der Klasse N1 sind in 3 Klassen unterteilt
    - Klasse 1: Bezugsmasse <1305 kg
    - Klasse 2: 1305 kg <Bezugsmasse <1760 kg
    - Klasse 3: Bezugsmasse >1760 kg
- Auf Antrag des Herstellers kann die Verordnung für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge bis zu einer Bezugsmasse von höchstens 2840 kg gelten.

Die technischen Einzelheiten des Zertifizierungsverfahrens sind heute in der **Durchführungsverordnung (EU) Nr. 2017/1151 festgelegt**, in der detaillierte technische Anforderungen beschrieben sind, die sich zum Teil auf die UNECE Prüfverfahren (GTR 15 und 19) und die UNECE Regulation 83 beziehen:

- **Erstmusterprüfungen (Initial Type Approval Tests, TA)**
  - Auspuffemissionen für die Prüfzyklen WLTC und RDE (Emissionsprüfung Typ 1 und Typ 1A) inklusive der Messung von Treibhausgasemissionen und Kraftstoffverbrauch
  - Emissionen bei Leerlaufdrehzahl (Prüfung Typ 2)
  - Kurbelgehäuseemissionen (Prüfung Typ 3)
  - Verdunstungsemissionen (Prüfung Typ 4)
  - Dauerhaltbarkeit von emissionsmindernden Einrichtungen (Prüfung Typ 5)
  - Emissionen bei niedriger Umgebungstemperatur (Prüfung Typ 6)
  - Rauchtrübung und korrekte Funktion und Regeneration von Nachbehandlungssystemen
  - OBD-Systeme und ihre Leistung im Betrieb (in-use performance) inklusive der Fehlfunktionsanzeige der emissionsmindernden Einrichtungen
  - Hybridfahrzeuge und Fahrzeuge mit alternativen Kraftstoffen
  - Erweiterung der Typpengenehmigungen und Anforderungen für Kleinserienhersteller
  - Testausrüstung

- **Übereinstimmung der Produktion** (Conformity of Production Tests, CoP)
  - Regelmäßige Überprüfung von Serienfahrzeugen auf Einhaltung der Anforderungen der Typgenehmigung
- **Übereinstimmung im Betrieb** (In-Service-Conformity Tests, ISC)
  - Regelmäßige Überprüfung der Fahrzeuge im Feld, ob die Anforderungen für die Typgenehmigung über die Nutzungsdauer von 100.000 km erfüllt sind.
  - Dies ist eine wichtige Änderung mit der letzten Ergänzung der Verordnung 2017/1151 eingeführt mit der Ergänzung 2018/1832.

## 2.4 Grenzwerte für Schadstoffemissionen

Ein wichtiger Aspekt unter den Sicherheits- und Umwelanforderungen für die Typzulassung sind die Schadstoffemissionen von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen, die in der Verordnung (EG) Nr. 715/2007<sup>14</sup> geregelt sind. Diese Verordnung legt die Emissionsgrenzwerte für die verschiedenen regulierten Schadstoffe fest (Euro 5 und Euro 6 Grenzwerte).

Die Grenzwerte wurden über den europäischen Gesetzgebungsprozess mit Abstimmung im Parlament und im europäischen Rat verabschiedet. In dieser Entscheidung wurde auch schon die Änderung der Durchführungsverordnung gefordert, mit dem Ziel realitätsnähere Prüfverfahren einzuführen. Die Durchführungsverordnung ist nicht dem normalen gesetzgeberischen Prozess unterworfen, sondern wird über einen vereinfachten Prozess, den Delegated Act entschieden. Die Verabschiedung erfolgt hier durch ein Technisches Komitee der Mitgliedsstaaten (TCMV).

- Die wesentliche Änderung im Bereich der **Schadstoffemissionen** ist der Wechsel vom NEFZ- zum **WLTP- und den zusätzlichen RDE Testverfahren** durch die Einführung der neuen Durchführungsverordnung 2017/1151 (ersetzt 692/2008) ohne Änderung der Euro 6 Emissionsgrenzwerte. Der WLTP wurde im September 2017 für die Typgenehmigung eingeführt.
- Die Hauptänderung im Bereich der Schadstoffemissionen ist der neue Typzulassungstest, der die **Schadstoffemissionen unter realistischen Fahrbedingungen** behandelt, die weder vom NEFZ noch vom WLTP abgedeckt werden. Hauptziel sind die NO<sub>x</sub>-Emissionen von Dieselfahrzeugen und PN-Emissionen von Benzin-Direkteinspritzern (GDI). Um eine Optimierung der Schadstoffreduktion auf bestimmte Zyklen – auch den realistischen WLTP – zu vermeiden, wurde eine Randomisierung der Testbedingungen als notwendig erachtet. Dieses neue **Testverfahren** für Emissionen im tatsächlichen Fahrbetrieb (**Real-Driving-Emissions, RDE**) basiert auf mobilen Emissionsmesssystemen (PEMS<sup>15</sup>) und dem Fahren auf öffentlichen Straßen. PEMS wird für die Messung von CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> (CO nur zur Überwachung) und für PN angewendet. HC-Emissionen sind im RDE-Testverfahren nicht enthalten. Grenzwerte für Emissionen im tatsächlichen Fahrbetrieb

<sup>14</sup> Consolidated regulation 715/2007 with amendments: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:02007R0715-20121231&from=EN>

<sup>15</sup> PEMS: Portable Emission Measurement Systems.