

Dušan Gruden

Umweltschutz in der Automobilindustrie

Motor, Kraftstoffe, Recycling

PRAXIS



VIEWEG+
TEUBNER



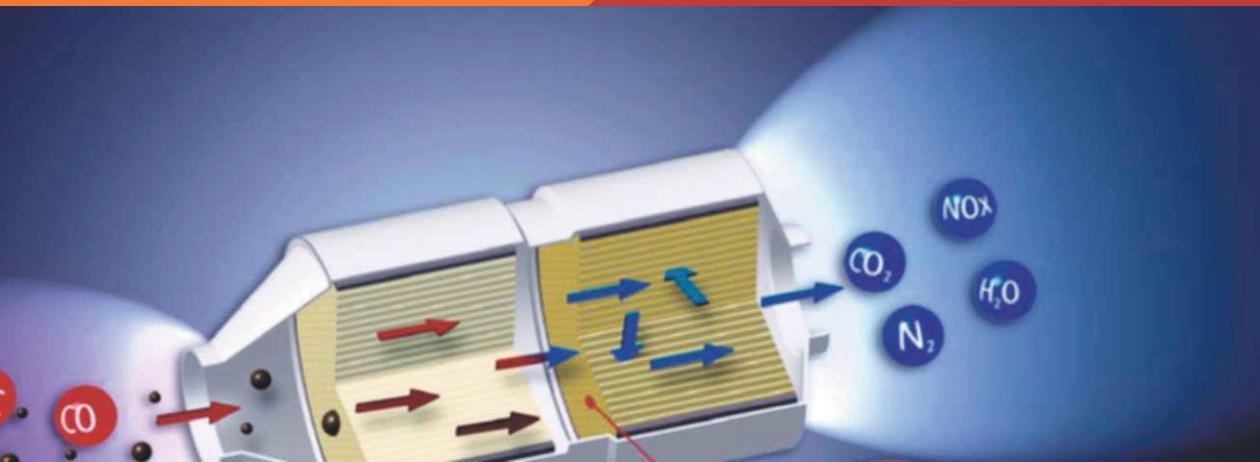
ATZ

Dušan Gruden

Umweltschutz in der Automobilindustrie

Motor, Kraftstoffe, Recycling

PRAXIS



**VIEWEG+
TEUBNER**

ATZ

Dušan Gruden

Umweltschutz in der Automobilindustrie

Dušan Gruden

Umweltschutz in der Automobilindustrie

Motor, Kraftstoffe, Recycling

Mit 305 Abbildungen und 16 Tabellen

PRAXIS | ATZ/MTZ-Fachbuch



VIEWEG+
TEUBNER

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

1. Auflage 2008

Alle Rechte vorbehalten

© Vieweg+Teubner | GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2008

Lektorat: Ewald Schmitt | Gabriele McLemore

Vieweg+Teubner ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media.

www.viewegteubner.de



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Umschlaggestaltung: KünkelLopka Medienentwicklung, Heidelberg
Satz und Technische Redaktion: KLEMENTZ publishing services, Gundelfingen
Druck und buchbinderische Verarbeitung: MercedesDruck, Berlin
Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.
Printed in Germany

ISBN 978-3-8348-0404-4

Vorwort

Für die Menschen der Antike bestand die Welt nur aus vier Elementen: Luft, Wasser, Erde und Feuer. Und obwohl die Menschheit heute, im 21. Jahrhundert, bereits über 110 chemische Elemente kennt, konzentrieren sich die Aktivitäten im modernen Umweltschutz nach wie vor auf genau diese vier. Denn, bei allem Fortschritt hat sich eines nicht geändert: für unsere Welt sind nach wie vor diese vier Elemente von fundamentaler Bedeutung. Der Fortbestand der Erde hängt immer mehr davon ab, wie wir heute nachhaltig mit diesen Elementen und deren entsprechenden Ressourcen umgehen. Diese zu schützen und zu bewahren, gehört zu den Hauptaufgaben der modernen Menschheit.

Kein politisches System und keine soziale Revolution haben in den vergangenen Jahrtausenden das getan, was Ingenieure zuwege gebracht haben, indem sie die Erkenntnisse der Naturwissenschaft nutzten: nämlich der breiten Masse der Menschheit die schwere Arbeit abzunehmen und damit die Sklaverei zu beenden und ihr einen Lebensstandard zu verschaffen, den sich noch vor einigen Jahrzehnten niemanden erträumt konnte. Die sozialen Errungenschaften im letzten Jahrhundert wurden, für einen großen Teil der Menschheit, zum ersten Mal nicht auf Kosten von anderen Menschen erreicht, sondern durch Abbau und durch Abnutzung von natürlichen Ressourcen. „Saurer Regen“, „Ozonloch“, „Waldsterben“, „Klimakatastrophe“ sind, trotz ihrer oft sehr überzogenen Darstellung, Warnsignale, die nicht überhört werden dürfen, sonst kann auch die Natur eine eigene Revolution gegen übertriebene Ausbeutung vorbereiten, durch die alle Probleme mit den Menschen unwiderruflich gelöst werden würden.

Die Sorge um die Auswirkungen der menschlichen Tätigkeit auf die Umwelt stellt allerdings keine neue Erscheinung und keine neue Eigenschaft des Menschen dar. Sie begleitet die menschliche Geschichte von ihren Anfängen an. Neu ist die Dimension der Anstrengungen über den Umweltschutz. Durch viele nationale und internationale Umweltschutzgesetze hat sie alle Teile der Erde erfasst.

Das Automobil ist eine der Erfindungen, die zum Wohlstand der Menschen wesentlich beigetragen haben und deswegen zu einem unzertrennbaren Teil der Gesellschaft geworden ist. In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts ist das Automobil von einem Luxus- und Prestigeobjekt für wenige, zu einem massenhaften Gebrauchsgut für Millionen von Menschen geworden. Die Massenmotorisierung wurde aber auch zu einem Problem, weil die Automobile zu verschiedensten Umweltbelastungen beitragen.

Die Automobilindustrie hat am Anfang dieser Entwicklung den vollen Umfang und die Reichweite der Umweltdimension nicht richtig eingeschätzt und einen Teil der negativen Diskussion über das Automobil, durch ablehnende Haltung gegenüber Neuerungen, selbst verschuldet.

Das letzte Drittel des letzten Jahrhunderts wird trotzdem in die Geschichte als eine Phase des stark gestiegenen Umweltbewusstseins in Industrieunternehmen eingehen. Das Bewusstsein über die begrenzten Ressourcen der Erde und über die sensiblen Zusammenhänge zwischen den Auswirkungen der menschlichen Aktivität und natürlichen Grundlagen für seine Existenz, haben die Entwicklungen in der Automobilindustrie stark beeinflusst.

Nach fast 100 Jahren der Automobilentwicklung, begann in den 70er Jahren die „ökologische Entwicklung“, mit dem Ziel, die negativen Auswirkungen des Automobils auf die Umwelt zu minimieren. Die meisten Mitarbeiter in der Automobilindustrie sind sich bewusst, wie wichtig ein kontinuierlich verbesserter Umweltschutz für eine erfolgreiche Zukunft ist, und wissen mit der Verantwortung für die Lebensbedingungen auch zukünftiger Generationen umzugehen. Die Schonung der Umwelt und ein sparsamer Umgang mit den vorhandenen Ressourcen stehen im Mittelpunkt der modernen Automobilentwicklung.

Die ökologischen Analysen von Fahrzeugen (Life Cycle Assessment), die mit immer präziseren Instrumenten durchgeführt werden, werden neue Erkenntnisse über die weitere Verbesserung der Umweltverträglichkeit von Fahrzeugen auf ihren gesamten Lebensweg – von der Rohstoffgewinnung bis zu Altautoverwertung – liefern.

Die Aktivitäten der Automobilindustrie auf dem Gebiet des Umweltschutzes in der Vergangenheit, in der Gegenwart sowie bereits vorliegende Pläne für die Zukunft, zeigen deutlich, dass der Themenkomplex Umwelt tief in die Aktivitäten der Automobilindustrie verinnerlicht ist, und diesem auch täglich Rechnung getragen wird.

Bei der Behandlung des Themas „Umweltschutz in der Automobilindustrie“ im vorliegenden Buch, konnten viele wichtige Begleiterscheinungen, ohne die das hohe Niveau des Umweltschutzes nicht möglich gewesen wäre, nicht erwähnt werden. Dies bezieht sich vor allem auf die gigantische Entwicklung der Messtechnik, auf die Produktions- und Werkstofftechnologie bei zahlreichen Zulieferunternehmen, bis hin zu Anlagen in Recyclinghöfen bei Altautoverwertern.

Niemals in der Geschichte wurden die Vorgänge, die zwischen der Rohstoffgewinnung und Altautoentsorgung stattfinden von so vielen Leuten verfolgt. Automobilhersteller, ihre Zulieferer, Forschungsinstitute, Hochschulen, politische und andere Organisationen zeigen großes Interesse an dieser Entwicklung.

Die Lösung des Problems „Umweltauswirkungen des Automobils“ findet sich jedoch nicht allein in der Entwicklung des Kraftfahrzeuges. Ein wesentlicher Beitrag zur Lösung muss auch vom Energieträger bzw. vom Kraftstoff kommen. Eine besondere Bedeutung kommt daher der Zusammenarbeit zwischen Automobil- und Mineralölindustrie zu. Denn „saubere Motoren“ brauchen „saubere Kraftstoffe“.

Der Gesetzgeber und die Technik kommen nicht zum Stillstand. Sehr oft wird das, was vor einem Jahr noch als sehr aktuell galt, durch neue Gesetze und Verordnungen schnell

überholt. So kann auch der Inhalt dieses Buches nur einen momentanen Stand der Technik beschreiben.

Im Zentrum der gegenwärtigen Europäischen Umweltpolitik steht die Verringerung des CO₂-Ausstoßes und anderer Emissionen, die für den vermuteten Klimawandel mitverantwortlich gemacht werden. Die Automobilindustrie unternimmt große Anstrengungen um die CO₂-Emission zu verringern, obwohl der Anteil von Personenwagen und Nutzfahrzeugen an der gesamten weltweiten anthropogenen CO₂-Emission unter 12 % liegt.

Reduzierung des Kraftstoffverbrauches bzw. der CO₂-Emission und Verminderung anderer schädlichen Emissionen bleiben die Hauptthemen bei der ökologischen Automobilentwicklung.

Die Ingenieure in der Automobilindustrie sind aufgefordert, die physikalischen Gesetze, auf welchen die Technik basiert, nicht gegen, sondern in Zusammenarbeit mit der Natur und ihren Gesetzen zu verwenden. Im Idealbild der technischen Automobilentwicklung wird sich das Automobil harmonisch in die Natur voll einfügen.

Die vier Elemente, auf denen die Welt seit der Antike bestehen, werden weiterhin geschützt: die Luft, indem die schädlichen Abgasemissionen weiterhin reduziert werden; das Wasser, indem es vor schädlichen Einträgen und vor Verunreinigungen geschützt wird; die Erde, indem man die Abfallmenge reduziert und die Boden- und Erdressourcen schont; das Feuer, indem in Motoren und anderen technischen Anlagen der Verbrennungsprozess noch besser beherrscht und die Verbrennungseffizienz gesteigert werden.

Die großen Fortschritte in der Entwicklung von modernen Automobilen waren nur möglich, weil das Wissen und die Erfahrungen von einer Ingenieursgeneration zur nächsten weitergegeben wurden und sich wie Mosaiksteinchen zu einem immer freundlicheren Gesamtbild der Technik zusammenfügten.

Dieses Buch ist ein Ergebnis der Vorlesungsreihe „Umweltschutz in der Automobilindustrie“, die ich seit 1993 an der Technischen Universität Wien halte. Die Erfahrungen aus einer über 40 Jahre langen Tätigkeit auf dem Gebiet der Forschung und Entwicklung von Verbrennungsmotoren sowie als Koordinator der Umweltaktivitäten bei Dr.Ing.h.c.F. Porsche AG flossen in dieses Buch ein.

Im Buch werden vor allem die technischen Aspekte diskutiert. Die wirtschaftliche Problematik, d.h. die Kosten werden nur am Rande erwähnt. Einerseits, weil es schwierig ist die tatsächlichen Kosten für den Umweltschutz zu identifizieren und andererseits, weil viele Lösungen, die am Anfang als „unbezahlbar“ gelten, später zum normalen Stand der Technik gehören.

In meiner beruflichen Laufbahn, seit Beginn der 60er Jahre, rückte die ökologische Dimension des Automobils in den Vordergrund seiner Entwicklung und ich konnte sie im vollen Umfang miterleben und aktiv an Lösungen mitwirken.

Nach einer fast über 100 Jahre andauernden Entwicklung des Automobils und seines Verbrennungsmotors, wurde damals oft die Frage gestellt, was kann da noch weiter entwickelt werden?

Die Fähigkeit der Ingenieure hat das eindrucksvoll bewiesen: moderne Automobile stoßen um 99 % weniger Schadstoffe aus und verbrauchen über 40 % weniger Energie als ihre Vorgänger. Zudem sind sie sicherer, leistungsfähiger, komfortabler und preiswerter geworden.

Von vielen Mitarbeitern der Porsche AG sowie von vielen Kollegen aus der weltweiten Automobilindustrie habe ich viel gelernt. Allen ihnen bin ich nach wie vor zu Dank verpflichtet.

Mein besonderer Dank gilt dem Unternehmen Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG, wo ich eine schöne Ingenieurlaufbahn durchlaufen durfte sowie meinen Töchtern Marina und Monika Gruden, die mir bei technischen Vorbereitungen und ersten Korrekturen viel geholfen haben.

Ditzingen, im Januar 2008

Prof. Dr. techn. Dr. h.c. Dušan Gruden

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
1 Auto und Umwelt	1
1.1 Einleitung	1
1.2 Der Mensch und die Mobilität	7
1.3 Umweltauswirkungen des Automobils	10
1.4 Natürliche und anthropogene Emissionen	11
1.4.1 Gesetzlich limitierte Schadstoffkomponenten	12
1.4.1.1 Kohlenmonoxid (CO)	13
1.4.1.2 Kohlenwasserstoffe (HC), Volatile Organic Compounds (VOC)	14
1.4.1.3 Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe (NMHC)	14
1.4.1.4 Stickstoffoxide (NO _x)	16
1.4.1.5 Schwefeloxide (SO _x)	16
1.4.1.6 Partikel-Emissionen (PM)	19
1.4.2 Nichtlimitierte Schadstoffe	21
1.4.2.1 Treibhauseffekt	21
1.4.2.2 Kohlendioxid (CO ₂)	22
1.4.2.3 Methan (CH ₄)	25
1.4.2.4 Lachgas (Distickstoffmonoxid N ₂ O)	26
1.4.2.5 Halogene und andere verwandte Kohlenwasserstoffe	26
1.4.2.6 Wasserdampf (H ₂ O)	27
1.5 Abwärme	27
Literatur	28
2 Umweltschutzgesetze in der Automobilindustrie	29
2.1 Emissionen und Immissionen	29
2.2 Konzentration, Dosis, Wirkung	30
2.3 Grenzwerte für Innenluft	34
2.3.1 MAK – Maximale Arbeitsplatz-Konzentration	34
2.3.2 GWEU – Grenzwerte für berufsbedingte Expositionen	35
2.3.3 TRK – Technische Richt-Konzentrationen	35
2.4 Grenzwerte für Außenluft	36
2.4.1 Kohlenmonoxid (CO)	40
2.4.2 Stickstoffoxide (NO _x = NO + NO ₂)	40
2.4.2.1 Stickstoffmonoxid (NO)	40
2.4.2.2 Stickstoffdioxid (NO ₂)	41
2.4.3 Kohlenwasserstoffe (HC), Volatile Organic Compounds (VOC)	42
2.4.4 Partikel (PM)	42
2.4.5 Schwefeldioxid (SO ₂)	44
2.4.6 Blei (Pb)	45

2.5	Nichtlimitierte Schadstoffe	45
2.5.1	Kohlendioxid (CO ₂).....	45
2.5.2	Methan (CH ₄)	46
2.5.3	Benzol (C ₆ H ₆)	46
2.5.4	Ozon (O ₃).....	46
2.6	Geruch	47
2.7	Geräusch, Lärm	48
2.8	Umweltschutzgesetze.....	50
2.8.1	Prinzipien des Umweltrechts	52
2.9	Umweltschutzgesetze für die Produktion	53
2.9.1	Produktverantwortung	53
2.9.2	Bundesimmissionsschutzgesetz.....	54
2.9.3	EG-Richtlinien.....	54
2.9.4	Wasserhaushaltgesetz	55
2.9.5	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz	56
2.9.6	Chemikaliengesetz.....	57
2.9.7	Strategische Umweltprüfung	57
2.9.8	Umwelthaftungsgesetz	57
2.9.9	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA-Luft).....	58
2.9.10	TA-Lärm	59
2.9.11	TA-Abfall.....	60
2.9.12	Umwelthinformationen	60
2.10	Umweltschutzgesetze für das Produkt.....	61
2.10.1	Abgasemissionen.....	61
2.10.1.1	Europäische Union (EU).....	61
2.10.1.2	USA.....	70
2.10.1.3	Emissionen des stehenden Fahrzeugs.....	72
2.10.1.4	Zertifizierungsverfahren	74
2.10.1.5	Japan	75
2.10.1.6	Andere Länder	75
2.10.2	Kraftstoffverbrauch	77
2.10.3	Geräuschemission	79
2.10.3.1	Europäische Union	79
2.11	Gesetze für Fahrzeuge im Verkehr.....	82
2.11.1	Begrenzung der Verdampfungsemission bei Betankung.....	82
2.11.2	Abgasuntersuchung (AU)	82
2.11.3	On-Board-Diagnose (OBD).....	84
2.11.4	Smogalarm.....	85
2.11.5	Geräusch	85
2.11.6	Recycling.....	86
	Literatur.....	86

3	Umweltschutz in der Produktion	89
3.1	Integrierter Umweltschutz	89
3.2	Voraussetzungen für einen aktiven Umweltschutz in der Produktion	91
3.2.1	Umweltmanagement	92
3.2.1.1	Zuständigkeiten	93
3.2.1.2	Betriebsbeauftragte für den Umweltschutz	94
3.2.1.3	Umweltmanagement-Handbuch	96
3.3	Stoff- und Energieströme	98
3.3.1	Energieverbrauch	100
3.3.2	Wasserverbrauch und Abwasser	102
3.3.3	Gasförmige Emissionen	103
3.3.4	Geräuschemissionen	106
3.3.5	Abfälle	106
3.4	Kreislaufwirtschaftsgesetz	109
3.4.1	Abfälle zur Verwertung	109
3.4.2	Abfälle zur Beseitigung	110
3.4.3	Abfallwirtschaftskonzepte	111
3.4.3.1	Vermeidung von Abfällen	112
3.4.3.2	Verwertung von Abfällen	112
3.5	Emissionskataster	114
3.6	Kostenaufwand für Umweltschutz	114
3.7	Umwelt- oder Öko-Audit	115
3.7.1	EMAS	115
3.7.2	EMAS und ISO 14001	120
	Literatur	123
4	Umweltauswirkungen des Ottomotors	125
4.1	Allgemeine Grundlagen	125
4.1.1	Verbrennung als fundamentaler Prozess	125
4.1.2	Kohlenmonoxid (CO)	127
4.1.3	Unverbrannte Kohlenwasserstoffe (HC)	127
4.1.4	Stickstoffoxide (NO _x)	128
4.1.5	Partikel (PM)	129
4.2	Ottomotor	132
4.2.1	Leistung und Kraftstoffverbrauch	135
4.2.2	Abgasemissionen	138
4.3	Motorinterne Maßnahmen zur Schadstoffreduzierung	138
4.3.1	Betriebsparameter	138
4.3.1.1	Gemischbildung, Kraftstoff-Luft-Gemisch	138
4.3.1.2	Zündung	140
4.3.2	Konstruktionsparameter	141
4.3.2.1	Brennraumform	141
4.3.2.2	Verdichtungsverhältnis (ϵ)	142
4.3.2.3	Saugsystem und Ventilsteuerzeiten	144
4.3.3	Grenzen der Schadstoffreduzierung durch motorinterne Maßnahmen	144

4.4	Motorexterne Maßnahmen zur Schadstoffreduzierung	145
4.4.1	Kraftstoffunempfindliche Maßnahmen	145
4.4.1.1	Sekundärlufteinblasung	145
4.4.1.2	Abgasrückführung (AGR)	146
4.4.1.3	Portliner	147
4.4.1.4	Thermische Abgasnachbehandlung	147
4.4.1.5	Grenzen der Schadstoffreduzierung durch Kraftstoffunempfindliche motorinterne und motorexterne Maßnahmen	148
4.4.2	Kraftstoffempfindliche Maßnahmen	149
4.4.2.1	Oxidationskatalysator	149
4.4.2.2	Reduktionskatalysator	150
4.4.2.3	Drei-Wege-Katalysator, Konzept λ -Sonde	150
4.4.2.4	Kaltstartverhalten und Langzeitstabilität des Drei-Wege-Katalysators	153
4.4.3	Maßnahmen zur Verringerung der Verdampfungsemissionen	156
4.4.4	On-Board-Diagnose (OBD)	156
4.4.5	Übersicht von Maßnahmen für minimale Abgasemissionen bei Ottomotoren	157
4.5	Kraftstoffverbrauch und CO ₂ -Emission	159
4.6	Der Magermotor als Ziel der Entwicklung	162
4.6.1	Probleme beim Magerbetrieb	162
4.6.2	Stand der Technik	164
4.6.3	Abgasnachbehandlung bei Magermotoren	166
4.6.3.1	DeNO _x (Spalt)-Katalysatoren	167
4.6.3.2	NO _x -Speicherkatalysatorsysteme	167
4.7	Geräuschemission	170
	Literatur	173
5	Umweltauswirkungen des Dieselmotors	175
5.1	Allgemeine Grundlagen	175
5.2	Leistung und Kraftstoffverbrauch	179
5.3	Abgasemissionen	181
5.4	Motorinterne Maßnahmen zur Schadstoffreduzierung	182
5.4.1	Betriebsparameter	183
5.4.1.1	Luftbewegung, Drall	183
5.4.1.2	Einspritzdruck	183
5.4.1.3	Einspritzzeitpunkt, Einspritzgesetz	184
5.4.1.4	Aufladung	186
5.4.2	Konstruktionsparameter	186
5.4.2.1	Brennraumform, Lage der Einspritzdüse	186
5.4.2.2	Verdichtungsverhältnis	187
5.4.3	Grenzen der Schadstoffreduzierung durch motorinterne Maßnahmen	188

5.5	Motorexterne Maßnahmen zur Schadstoffreduzierung	188
5.5.1	Abgasrückführung (AGR)	188
5.5.2	Oxidationskatalysator	191
5.5.3	Reduktionskatalysator	192
5.5.3.1	NSCR-Katalysatoren	192
5.5.3.2	SCR-Katalysatoren	193
5.5.4	NO _x -Speicherkatalysator	196
5.5.5	Partikelfilter	197
5.5.5.1	CRT – Continuously Regenerating Trap	201
5.5.6	Sonstige Maßnahmen zur Schadstoffreduzierung im Dieselmotor	204
5.5.7	On-Board-Diagnose (OBD)	204
5.5.8	Übersicht von Maßnahmen zur Schadstoffreduzierung beim Dieselmotor	205
5.6	Kraftstoffverbrauch und CO ₂ -Emission	206
5.7	Geräuschemission	209
	Literatur	213
6	Betriebsstoffe und Umwelt	215
6.1	Einleitung	215
6.2	Kraftstoffe und Motoreigenschaften	216
6.2.1	Siedekurve	216
6.2.2	Oktanzahl	218
6.2.3	Cetanzahl	220
6.3	Kraftstoffe und Abgasemission	222
6.3.1	Limitierte Abgaskomponenten	223
6.3.1.1	Ottomotor	223
6.3.1.2	Dieselmotor	224
6.3.2	Nichtlimitierte Abgaskomponente	226
6.3.2.1	CO ₂ -Emission	227
6.4	Anforderungen an Kraftstoffe	228
6.4.1	Additive	232
6.4.2	Schwefelgehalt (S ₂ -Gehalt)	233
6.5	Ökologische Bilanz	235
6.6	Alternative Kraftstoffe	237
6.6.1	Alternative Kraftstoffe fossilen Ursprungs	239
6.6.1.1	Erdgas	240
6.6.1.2	Flüssiggas	241
6.6.1.3	GTL (Gas to Liquid)-Kraftstoffe	242
6.6.1.4	Methanol (CH ₃ OH)	242
6.6.1.5	Dimethylester (DME)	243
6.6.1.6	MTBE (Methyl-Tertiär-Butyl-Ether)	244
6.6.1.7	Wasserstoff (H ₂)	244

6.6.2	Kraftstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen.	245
6.6.2.1	Flüssige Biokraftstoffe erster Generation.	249
6.6.2.2	Synthetische Biokraftstoffe (BTL, Biokraftstoffe der 2. Generation)	252
6.6.2.3	Gasförmige Biokraftstoffe	253
6.7	Aussichten für die Zukunft	254
6.8	Andere Betriebsstoffe.	258
6.8.1	Schmierstoffe	258
6.8.2	Kühlmittel	258
	Literatur	259
7	Auto im Verkehr	261
7.1	Einleitung	261
7.2	Mobilität und Verkehr	261
7.3	Auto und Mobilität	262
7.4	Umweltbelastungen des Verkehrs	266
7.4.1	Energieverbrauch und Emissionen einzelner Verkehrsträger	267
7.5	Verkehrsmanagement.	269
7.6	Information und Kommunikation (Telematik).	275
7.7	Integration unterschiedlicher Verkehrssysteme	278
7.8	Individuelles Fahrverhalten	283
	Literatur.	286
8	Über das Recycling von Altfahrzeugen	289
8.1	Einleitung.	289
8.2	Produktverantwortung	291
8.3	Stand der Technik bei Recycling von Altfahrzeugen	292
8.3.1	Gesetzliche Rahmenbedingungen	292
8.3.2	Annahmestellen.	293
8.3.3	Trockenlegung	294
8.3.4	Demontage.	297
8.3.5	Schredder.	302
8.3.5.1	Eisen-Fraktion.	304
8.3.5.2	Nicht-Eisen-Metalle	304
8.3.5.3	Kunststoffe	304
8.3.5.4	Schredder-Leichtfraktion (SLF)	304
8.4	Recyclingverfahren	306
8.4.1	Materielles (stoffliches) Recycling	307
8.4.2	Rohstoffliches (chemisches) Recycling.	308
8.4.3	Thermische Verwertung (energetisches Recycling)	308
8.5	Design for Recycling – Recyclinggerechtes Konstruieren	310
8.5.1	Auswahl von Werkstoffen	312
8.5.1.1	Energiebedarf	314
8.5.1.2	Kunststoffe	315
8.5.2	Demontagegerechte Konstruktion.	320