

Michael Trzesniowski

Rennwagentechnik

Handbuch Verbrennungsmotor

herausgegeben von R. van Basshuysen und F. Schäfer

Lexikon Motorentechnik

herausgegeben von R. van Basshuysen und F. Schäfer

Ottomotor mit Direkteinspritzung

herausgegeben von R. van Basshuysen

Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik

herausgegeben von H.-H. Braess und U. Seiffert

Automobildesign und Technik

herausgegeben von H.-H. Braess und U. Seiffert

Bremsenhandbuch

herausgegeben von B. Breuer und K. H. Bill

Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik

von H. Eichlseder und M. Klell

Umweltschutz in der Automobilindustrie

von D. Gruden

Fahrwerkhandbuch

herausgegeben von B. Heißing und M. Ersoy

Verbrennungsmotoren

von E. Köhler und R. Flierl

Automobilelektronik

herausgegeben von K. Reif

Automotive Software Engineering

von J. Schäuuffele und T. Zurawka

Virtuelle Produktentstehung für Fahrzeug und Antrieb im Kfz

herausgegeben von U. Seiffert und G. Rainer

Motorradtechnik

von J. Stoffregen

Handbuch Kraftfahrzeugelektronik

herausgegeben von H. Wallentowitz und K. Reif

Bussysteme in der Fahrzeugtechnik

von W. Zimmermann und R. Schmidgall

Die BOSCH-Fachbuchreihe:

- **Ottomotor-Management**
 - **Dieselmotor-Management**
 - **Autoelektrik/Autoelektronik**
 - **Sicherheits- und Komfortsysteme**
 - **Fachwörterbuch Kraftfahrzeugtechnik**
 - **Kraftfahrtechnisches Taschenbuch**
- herausgegeben von Robert Bosch GmbH

Michael Trzesniowski

Rennwagentechnik

Grundlagen, Konstruktion, Komponenten, Systeme

Mit 1228 Abbildungen

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.

Das Buch entstand mit freundlicher Unterstützung für den Farbdruck durch:

Dallara Automobili, Parma



Drexler Motorsport, Salzweg



Pankl Racing, Graz



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

Technische Redaktion: KLEMENTZ publishing services, Gundelfingen

Druck und buchbinderische Verarbeitung: Těšínská Tiskárna, a. s., Tschechien

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Printed in Czech Republic

ISBN 978-3-8348-0484-6

Vorwort

Der Rennsport hat schon immer eine Faszination auf Techniker wie auf Laien gleichermaßen ausgeübt, wenn vielleicht auch mit anderen Sichtweisen. Auf jeden Fall steht eines im Vordergrund: Das Ausloten des menschlich und physikalisch Machbaren. Für Techniker ist die Suche nach dem Optimum faszinierend und wichtig zugleich, auch wenn es nicht (gleich) erreichbar ist. Kennt man zumindest die richtige Richtung, kann man die Weichen einer Entwicklung zukunftsfruchtig stellen.

Wer allerdings die High-Tech-Rennwagen als teure und unrentable Spielwiese von Konstrukteuren und Entwicklern mit Hang zu Extrem Lösungen einstuft, verkennt die Wechselwirkung zwischen der Technik in Rennsport und Serienfertigung. Das, was heute als Extrembeispiel versucht wird, kann morgen als Serienlösung aufgegriffen werden. Allerdings nicht irgendeine Lösung, sondern eine herausragende, eine, die einen Wettbewerbsvorteil gegenüber den Gegnern verschafft. Als Beispiel für Impulse, die aus dem Rennsport in die Serie fanden seien stellvertretend Rückhaltesysteme (Sicherheitsgurte), ABS oder ESP genannt. Sicherheitsrelevante Fahrzeugausrichtungen, die längst den Beweis angetreten haben, dass der Rennsport befruchtend für die Serie wirkt.

Wenn Beispiele aus der Formel 1 an verschiedenen Stellen in diesem Buch auftauchen, dann deshalb weil diese Rennserie zumindest in Europa den Gipfel an finanziellem sowie personellem Aufwand darstellt und so zumindest im mittlerweile eng gesteckten Rahmen ihres Reglements das derzeit Machbare darstellt. Diese Beispiele sollen aber nicht die Leistungen andere Rennsportklassen schmälern, die mitunter Beachtliches auf die Räder stellen. Hier wird fehlendes Budget durch ansteckende Begeisterung ausgeglichen.

In diesem Buch wird ausgehend vom Fahrzeugkonzept für unterschiedliche Einsatzzwecke der Einfluss der Aerodynamik für die Gestaltung der Außenhaut gezeigt. Die Abschnitte über das Fahrwerk mit Reifen, Rädern, Lenkung und Bremsanlage schließen sich an. Abgerundet wird der Inhalt durch Kapitel zu Motor, Antriebsstrang und Elektrik/Elektronik.

Damit eignet sich das Buch für alle Konstrukteure und Entwickler mit Ingenieuraufgaben im Rennsport als Überblick mit zahlreichen ganz konkreten Bauteil-Konstruktionen. Dem bereits fortgeschrittenen Student der Fahrzeugtechnik bietet es den Transfer der High-Tech in Formelserien und Tourenwagensport auf die heute konkurrierende Racer der Formula Student. Für diese werden an wesentlichen Stellen auch physikalische Hintergründe samt einfachen Gleichungen dargelegt. Dem interessierten Laien erweitert es den fachlichen



Hintergrund, so dass er beim nächsten Rennbesuch die Fahrzeuge mit anderen Augen betrachten kann. Ein Anhang mit Erläuterungen zu wichtigen Ausdrücken rundet das Buch ab.

Ich möchte mich bei allen Teams bedanken, die sich bereitwillig Zeit genommen haben und mir einen offenen, ungehinderten Zugang zu ihrer Technik ermöglicht haben. Allen Leserinnen und Lesern wünsche ich, dass sie bei der Lektüre wesentliche Impulse aus dem vorliegenden Werk erhalten, sei es weil sie ein Fahrzeug konstruieren, eines bauen oder weil sie eines neugierig betrachten.

Graz, im Frühjahr 2008

Michael Trzesniowski

Inhaltsverzeichnis

A Einleitung	1
1 Arten von Rennfahrzeugen	1
2 Vergleich Rennsport-Serie	7
3 Entwicklungsablauf	10
B Fahrzeugkonzept	15
1 Entwicklungsablauf	16
2 Auslegungsbereiche	17
3 Konzeptmerkmale	19
3.1 Aggregatlage und Antriebskonzept	19
3.2 Konzeptvergleich	22
4 Konzeptionierung Gesamtfahrzeug	39
5 Allgemeine Konstruktionsprinzipien beim Entwerfen	44
6 Werkstoffe	59
6.1 Übersicht gängiger Werkstoffe	59
6.2 Werkstoffvergleich	62
6.3 Werkstoffwahl	64
7 Kosten	65
C Sicherheit	69
1 Fahrzeugaufbau	70
2 Schalter	73
3 Schutzeinrichtungen	74
4 Prüfungen	85
D Cockpit	89
1 Konzept	90
2 Fahrerposition	93
3 Sitz	97
4 Lenkrad	100
4.1 Lage des Lenkrades	100
4.2 Lenkradabmessungen und Ausführungen	101
5 Fußhebelwerk und Pedale	104
6 Schaltung	112
7 Armaturenbrett	115
8 Rückhaltesysteme	115
9 Beispiele	120

Inhaltsverzeichnis

E Aerodynamik	123
1 Einleitung	124
2 Luftwiderstand	126
3 Abtrieb	134
4 Flügelberechnung	154
5 Luftleitelemente	158
6 Wärmeabfuhr und Entlüftung	161
7 Auslegung und Abstimmung	168
F Außenhaut	173
1 Begriffe	174
2 Anforderungen	174
3 Gestaltung	175
4 Werkstoffe	183
G Reifen und Räder	185
1 Begriffe	186
2 Reifen	193
2.1 Anforderungen	193
2.2 Grundlagen	193
2.3 Einfluss auf das Fahrverhalten	197
2.4 Wahl der Reifengröße	221
2.5 Reifendaten	223
2.6 Reifenarten	223
2.7 Ventil	224
3 Räder	226
3.1 Anforderungen	226
3.2 Bezeichnungen von Rädern	226
3.3 Arten von Rädern	229
3.4 Wahl der Radgröße	232
4 Radbefestigung	233
H Fahrwerk	241
1 Funktion	242
2 Begriffe und kinematische Größen	245
2.1 Begriffe	246
2.2 Entwicklungsziele	260
3 Teile der Radaufhängung	273
3.1 Radaufnehmende Elemente	273
3.2 Verbindungsglieder	274
3.3 Gelenke	275
3.4 Radlager	278
3.5 Berechnung	292
4 Federung	293

5	Dämpfer	305
5.1	Schwingungen	305
5.2	Schwingungsdämpfer	310
6	Stabilisatoren	322
6.1	Berechnung	325
6.2	Gestaltung von Stabilisatoren	351
6.3	Beispiele von Stabilisatoren	336
7	Bauformen von Achsen	338
7.1	Doppelquerlenkerachse	339
7.2	Bauteile von Doppelquerlenkerachse	349
7.3	McPherson-Achse	380
7.4	Starrachse	380
8	Beispiele von Radaufhängungen von Rennfahrzeugen	382
9	Daten	385
I	Bremsanlage	387
1	Allgemeines	388
2	Anforderungen an Bremsanlagen	390
3	Physikalische Grundlagen	390
4	Bremsenbauarten und Anordnungen	401
5	Kennwerte	403
6	Bauteile von Bremsanlagen	409
7	Bremseneinbau	431
8	Auslegungskriterien von Bremsanlagen	434
9	Normen	434
J	Lenkung	435
1	Anforderungen	436
2	Auslegung	436
2.1	Lenkwinkel, Spurdifferenzwinkel	438
2.2	Kenngrößen der Lenkgeometrie	442
2.3	Lenkübersetzung	449
2.4	Lenkunterstützung	452
3	Lenkwelle	453
4	Lenkgetriebe	459
5	Übertragungseinrichtung und Achslager	467
6	Lenkungsschwingungen	480
7	Allradlenkung	481
K	Getriebeauslegung	483
1	Leistungsbedarf	484
2	Getriebeplan und Zugkraftdiagramm	491
3	Antriebsstrang Übersicht	497
4	Übersetzungen	498

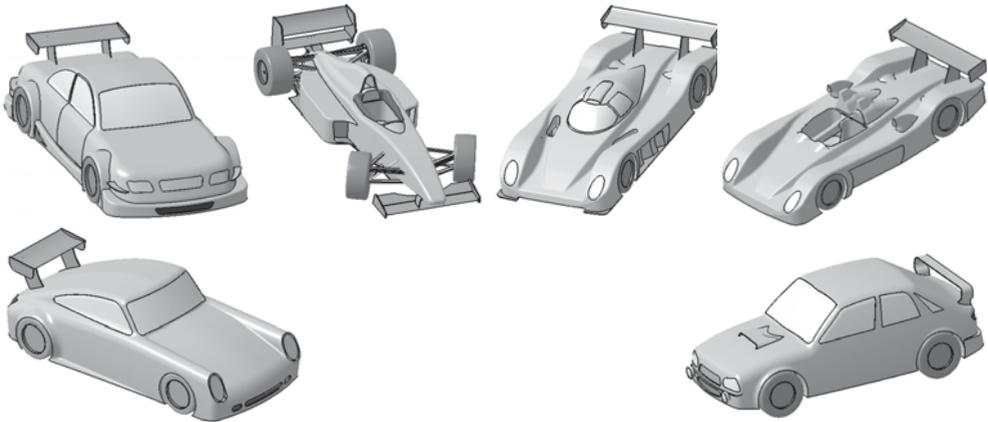
Inhaltsverzeichnis

L	Rennmotoren	509
1	Grundlagen	510
2	Motorenwahl	518
3	Verluste	526
4	Baugruppen	531
4.1	Zylinderkopf	533
4.2	Ventiltrieb	550
4.3	Kurbeltrieb	562
4.4	Kurbelgehäuse	576
4.5	Ansauganlage	579
4.6	Abgasanlage	596
4.7	Schmierölversorgung	604
4.8	Kühlung	610
5	Besonderheiten von Rennmotoren	615
6	Betriebsstoffe	616
6.1	Kraftstoffe	616
6.2	Schmierstoffe	618
6.3	Kühlflüssigkeit	619
7	Beispiele von Motoren	620
M	Antriebsstrang	627
1	Funktion	628
2	Kupplung	632
2.1	Kupplungsbauarten	633
2.2	Auswahl der Kupplungsgröße	638
2.3	Kupplungsbetätigung	640
3	Getriebe	643
3.1	Schaltgetriebe	647
3.2	Stufenlosgetriebe (CVT)	675
3.3	Achsgetriebe	676
4	Differenzial	679
4.1	Beeinflussbare Differenziale	683
5	Wellen	692
5.1	Antriebswellen	693
5.2	Seitenwellen	701
5.3	Wellengelenke	705
6	Allradantrieb	714
6.1	Grundlagen	715
6.2	Renneinsatz	717
6.3	Bauformen	718
7	Elektronische Fahrhilfen	721
8	Beispiele	724

N Kraftstoffsystem	727
1 Anforderungen und Übersicht	728
2 Kraftstofftank	730
3 Anschlüsse	735
4 Kraftstoffpumpe	739
O Rahmen	741
1 Anforderungen	742
2 Bauarten	742
2.1 Gitterrohrahmen	742
2.2 Kastenrahmen	761
2.3 Monocoques aus Faserverbundwerkstoffen	777
3 Festigkeit	788
4 Anbauteile	790
P Elektrik	797
1 Verkabelung Übersicht	798
2 Batterie	799
3 Generator	800
4 Leitungen und Verbindungen	801
5 Schalter	802
6 Schaltplan	803
Q Abstimmung und Entwicklung	805
1 Einflussfaktoren	806
2 Datenerfassung	813
Anhang	
Glossar	817
Abkürzungen	829
Literaturverzeichnis	844
Sachwortverzeichnis	857

Einleitung

introduction



1 Arten von Rennfahrzeugen

Unter Motorsport werden alle mit motorgetriebenen Land- oder Wasserfahrzeugen betriebenen Sportarten (Automobil-, Motorrad-, Motorbootsport) verstanden. Zum Automobilsport u. a. Straßenrennsport (Racing), Rallye- und Tourenwagensport, Auto- und Rallyecross und Kfz-Veteranensport; zum Motorradsport gehören u. a. Straßenrennsport (Racing), Leistungsprüfungssport (Enduro), Speedway und Eisspeedway; zum Motorbootsport Motorbootrennsport (Regatten auf einem durch Wendebojen markierten Rundkurs von 1500 bis 2000 m Länge in mehreren Läufen) und Offshoresport, im weiteren Sinn auch der Wasserskisport. Im Folgenden sollen mehrspurige Wettbewerbsfahrzeuge im Mittelpunkt der Betrachtungen stehen, **Bild A-1**.

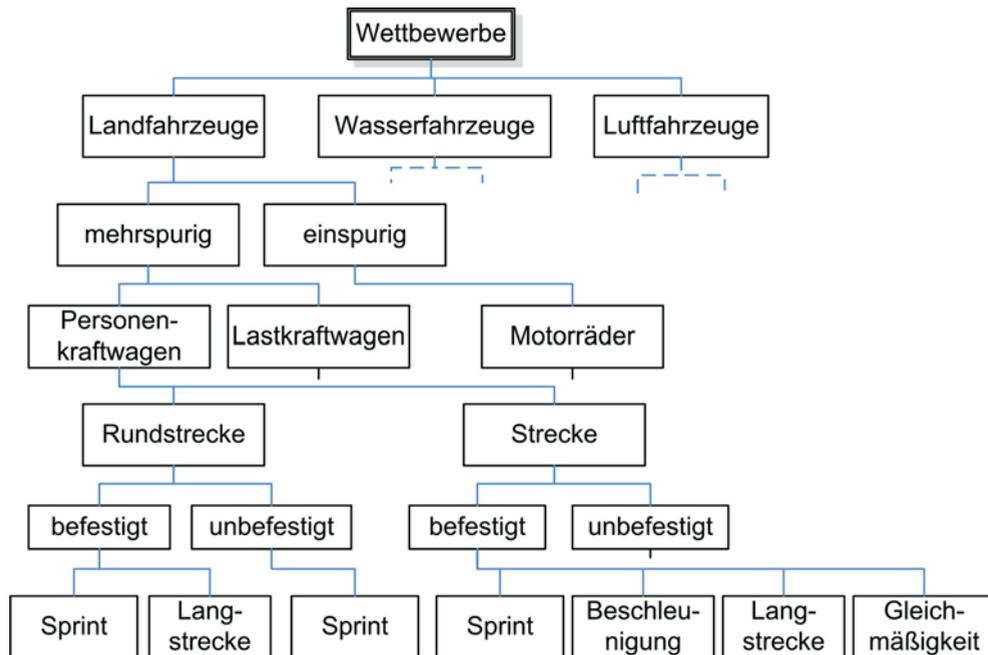
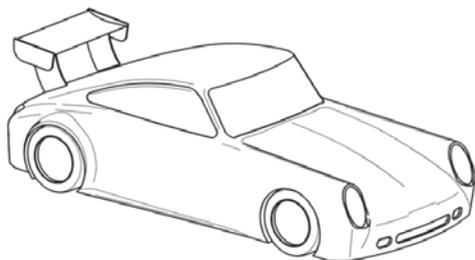
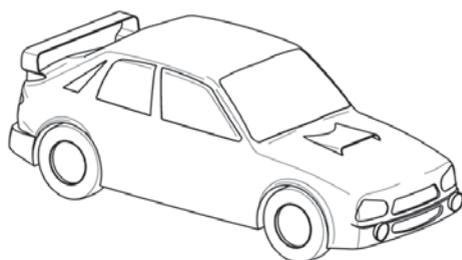


Bild A-1 Einteilung der Motorsportarten (Auswahl).

Eine allgemeingültige Einteilung der Wettbewerbsfahrzeuge allein nach Wettbewerben oder Fahrzeugtypen lässt sich nicht darstellen. Zu vielfältig sind die Starterfelder bzw. die technischen Vorgaben einzelner Reglements. Es lassen sich jedoch unabhängig von Wettbewerbsarten einige typische Fahrzeuge nach technischen Gesichtspunkten kategorisieren, **Bild A-2**. Cupfahrzeuge auf Straßenzugbasis, Rallyefahrzeuge auf Straßenzugbasis, zweisitzige Sportprototypen, die nur zu Rennzwecken gebaut werden, einsitzige Rennfahrzeuge (Monoposti) mit offenem Cockpit sowie freistehenden Rädern und Tourenwagen.

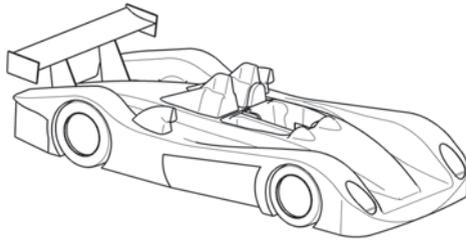


a

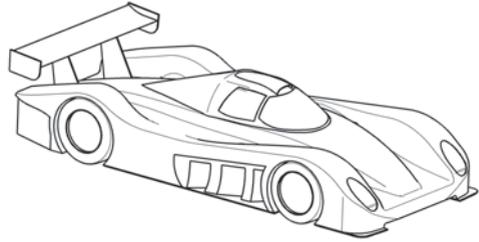


b

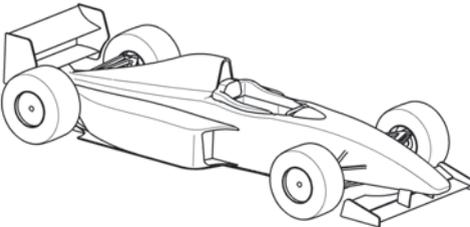
1 Arten von Rennfahrzeugen



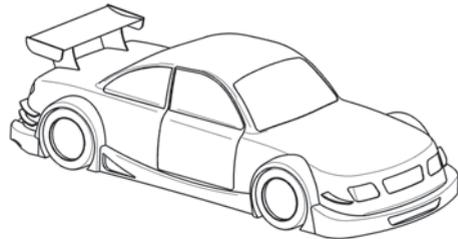
c



d



e



f

Bild A-2 Typische Rennfahrzeuge.

- a Cup-Fahrzeug *cup vehicle*
- b Rallyefahrzeug *rally vehicle*
- c Offener Sportprototyp *sport car, open*
- d Geschlossener Sportprototyp *sport car, closed*
- e Formelwagen *formula car*
- f Tourenwagen *touring car*

Diesen Fahrzeugen können einzelne Bewerbe zugeordnet werden:

Cup-Fahrzeuge: Caterham Hankook, Clio Cup, Ford Fiesta Cup, GTM Serien, Lupo Cup, Mini Challenge, Polo Cup, Porsche Cup, Porsche Super Cup, Seat Leon SC, Yaris Cup etc.

Rallyefahrzeuge: Berg rally, nationale Meisterschaften, HJS Rally, Weltmeisterschaft, etc.

Sportprototypen: 24 Stunden von Le Mans, ALMS (American Le Mans Series), FIA GT, Radical Race Cup, Rhino's GT Serie, Sebring, etc.

Formelwagen: A1 GP Serie, F3 Euro Series, Formel 1, Formel 2000 (ehemals Easter), Formel 3, Formel BMW (ehemals ADAC), Formel Ford, Formel König, Formel Opel, Formel Renault, Formel Renault EM, Formel Renault V6, Formula Student, Formel V, Lista Formel Junior, Recaro F3 Cup, etc.

Tourenwagen: 24 Stunden Nürburgring, ADAC Procar, Castrol Haugg Cup, Divinol Cup, DTM (Deutsche Tourenwagen Masters), FIA ETCC, FIA WTCC, Langstrecke Nürburgring, STT, etc.

Eine weitere Unterteilung bietet das internationale Sportgesetz der FIA (Anhang J Artikel 251). Demnach werden mehrspurige Wettbewerbsfahrzeuge in Kategorien und Gruppen eingeteilt. Unterschieden werden Kategorie I („homologierte Produktionswagen“), Kategorie II („Rennwagen“) und Kategorie III (Lkw). Im Einzelnen werden dabei unterschieden:

Kategorie I

- Gruppe A: Viersitzige Tourenwagen (*touring cars*) mit serienmäßiger Karosserie, Produktion mindestens 2500 Stück im Jahr. WRC (*World Rally Car*) gehören ebenso dazu.
- Gruppe B: Zweisitzige GT-Fahrzeuge (*grand touring cars*). Das sind straßentaugliche Rennwagen, Produktionsvolumen mindestens 200 Stück im Jahr.
- Gruppe N: Produktionswagen (*production cars*). Das sind viersitzige Serienwagen mit geringfügigen Änderungen, Produktionsvolumen mindestens 2500 Stück im Jahr.
- Gruppe SP: Super-Produktionswagen (*super production cars*). Produktionsvolumen mindestens 2500 Stück im Jahr.
- Gruppe T2: Serien-Geländewagen (*series cross-country cars*).

Kategorie II

- Gruppe CN: Produktionssportwagen (*production sports cars*). Das sind zweisitzige Prototypen mit einem seriennahen Motor mit höchstens 3000 cm³ Hubraum. Kraftstofftankvolumen unter 100 l. Mindestgewicht vom Hubraum abhängig, z. B. 625 kg bei 3000 cm³.
- Gruppe D: Internationale Formelrennwagen (*international racing formula racing cars*).
- Formel 1: Monoposto mit V8-Motor, Hubraum bis 2400 cm³, ohne Turbolader, Mindestgewicht 600 kg.
- Formel 3: Monoposto, Motor von einem Großserienaggregat abgeleitet, Hubraum höchstens 2000 cm³.
- Formel 3000: Monoposto, Hubraum bis 3000 cm³, Mindestgewicht 625 kg.
- Gruppe E: Formelfreie Rennwagen (*free formula racing cars*).
- Gruppe GT1: Grand-Touring-Sportwagen (*grand touring cars*). Das sind straßentaugliche Fahrzeuge mit offenem oder geschlossenem Cockpit, Zweisitzer mit max. zwei Türen.
- Gruppe GT2: Serien-Grand-Touring-Sportwagen (*series grand touring cars*). Das sind straßentaugliche Fahrzeuge mit Saugmotoren von max. 8000 cm³ oder aufgeladene Motoren mit max. 4000 cm³ Hubvolumen. Bei beiden Motorarten sind Luftmengenbegrenzer vorgeschrieben.
- Gruppe GT3: Cup-Grand-Touring-Sportwagen (*cup grand touring cars*). Welche Fahrzeuge zu dieser Gruppe gehören, ist einer Liste zu entnehmen, die von der FIA geführt wird. Diese Fahrzeuge werden einzeln von der FIA homologiert.
- Gruppe SR: Sportwagen (*sports car*). Zweisitzige, reine Rennfahrzeuge mit offenem oder geschlossenem Cockpit. Im zweiten Fall mit zwei Türen. Mindestgewicht 750 kg (SR2) und 900 kg (SR1). Motoren: SR1: Freisaugende Ottomotoren bis 6000 cm³, aufgeladene Ottomotoren bis 4000 cm³ und aufgeladene Dieselmotoren bis 5500 cm³; SR2: Freisaugende Ottomotoren bis 4500 cm³, aufgeladene Ottomotoren bis 2700 cm³. Kraftstofftankvolumen 90 l. Scheinwerfer vorne und Heckleuchten hinten vorgeschrieben.
- Gruppe T1: Geländewagen-Prototypen (*modified cross-country cars*).

Kategorie III:

- Gruppe F: Renn-Lkw (*racing trucks*).
- Gruppe T4: Raid-Rallye-Lkw (*cross-country trucks*).

1 Arten von Rennfahrzeugen

Für das berühmte 24-Stunden-Rennen in Le Mans gibt der Veranstalter ACO ein eigenes Reglement heraus. Es gibt mehrere Fahrzeugkategorien, deren Motoren allesamt einen Luftmengenbegrenzer aufweisen:

Le Mans Prototyp: LMP 900, LMP 675 (offene Sportwagen); LM GTP (geschlossene Sportwagen)

LM Grand Turismo: LM GTS, LM GT

Daneben gibt es noch weitere Spezialfahrzeuge für andere Wettbewerbe, z. B. Dragster für Beschleunigungsrennen oder Auto- und Rallyecrossfahrzeuge.

Aus obigen Ausführungen wird ersichtlich, will man eine allgemeine, über alle Bewerbe hinweg geltende grobe Einteilung von Rennfahrzeugen vornehmen, bleibt nur jene in Fahrzeugen mit freistehenden und solche mit umschlossenen Rädern.

Im Grunde genommen ist eine Einteilung der Rennfahrzeuge für deren Konstruktion gar nicht erforderlich. Die Konstruktion eines Rennfahrzeugs orientiert sich technisch in erster Linie am Einsatzzweck allerdings nur innerhalb der von diversen Bestimmungen vorgegebener Grenzen. Dennoch werden in diesem Buch keine Reglements detailliert vorgestellt. Ein Reglement hat unter anderem die Aufgabe eine Wettbewerbsgleichheit sicherstellen („Spielregeln“) und wird oftmals geändert. Bei diesen Angaben ist daher in erster Linie wesentlich, dass sie leicht messbar bzw. überprüfbar sind. Viele weitere Reglementvorgaben sind für den Konstrukteur aber allgemein insofern beachtenswert, als dass sie durch Unfälle und Vorkommnisse in der Vergangenheit entstanden sind und so einen gewaltigen Erfahrungsschatz darstellen. Gewisse Passagen finden sich demnach auch beinahe in allen Bestimmungen. Im vorliegenden Werk wollen wir nur dann auf einzelne Reglementaussagen zurückgreifen, wenn diese für die Sicherheit oder für das Verständnis einer gewählten Lösung relevant sind. Bei der Konstruktion eines Fahrzeugs muss ohnedies das aktuell (!) gültige Reglement herangezogen werden, will man vermeiden, dass der neue „Wunderwagen“ schon bei seinem ersten öffentlichen Auftritt eine schlechte Figur macht, weil er die technische Abnahme nicht schafft. Die FIA-Bestimmungen können im Einzelnen unter anderem über das Internet [A02] gelesen oder heruntergeladen werden.

Nachfolgende Bilder zeigen in loser Reihenfolge einige Beispiele von unterschiedlichen Rennfahrzeugen.



Bild A-3 Indy Car: Hochgeschwindigkeitsfahrzeug für Ovalkurse.



Bild A-4 FIA GT Fahrzeug.

Einleitung



Bild A-5 Tourenwagen: Fahrzeug basierend auf Serienteilen.



Bild A-6 Formel-1-Wagen: Monoposto mit freistehenden Rädern und offenem Cockpit.



Bild A-7 LMP1-Fahrzeug: Langstreckenfahrzeug mit offenem, zweisitzigen Cockpit und umschlossenen Rädern.



Bild A-8 Kart: Monoposto, keine beweglichen Teile bei der Radaufhängung, kein Differential.



Bild A-9 Seriennahes Cup-Fahrzeug.



Bild A-10 Rallyefahrzeuge: Rallyefahrzeuge bewegen sich auf befestigter und unbefestigter Fahrbahn.



Bild A-11 Rennmotorrad.



Bild A-12 Raid-Lkw: Auch Nutzfahrzeuge werden auf der Rundstrecke und wie das abgebildete Fahrzeug im Gelände für Wettbewerbe eingesetzt.

2 Vergleich Rennsport-Serie

Rennfahrzeuge sind praktisch gleich alt wie die Fahrzeuge selbst. Sobald der Mensch ein Fahrzeug erfunden hatte, fuhr er damit auch um die Wette. Damals waren Renn- und Alltagsfahrzeug baugleich. Im Laufe der Geschichte wurden jedoch Fahrzeuge speziell für Wettfahrten gebaut. Diese Rennfahrzeuge haben nur einen Zweck, nämlich Rennen zu gewinnen. Das bedeutet, eine bestimmte Strecke innerhalb von Reglementvorgaben möglichst schnell zu durchfahren und dabei nötige und erlaubte Wartungs- und/oder Reparaturarbeiten ebenso rasch zu bewältigen. Das Fahrzeug muss daher hohe Fahrleistungen bringen können (siehe Kapitel B *Konzept*) sowie einfach und rasch zu reparieren sein. **Tabelle A-1** zählt einige Unterschiede zwischen Gebrauchsfahrzeugen und Rennfahrzeugen auf.

Tab. A-1 Unterschiede in den Anforderungen von Straßenfahrzeugen zu Rennfahrzeugen.

Anforderung	Straßenfahrzeug	Rennfahrzeug	Bem.
Sicherheit	hoch, Verkaufsargument	reglementbedingt	a
Komfort	hoch, Verkaufsargument	unwichtig; teilweise sogar unerwünscht	b
Styling	wichtig, Verkaufsargument	eher unwichtig, Bedeutung für Sponsoren und Privatfahrer	
Lebensdauer	10 bis 15 Jahre	1–3 Jahre, je nach Kategorie und Eigentümer	
Kosten	wichtig, Wirtschaftlichkeit	eher unwichtig, abhängig von Eigentümer	
Termine	wichtig, aber nicht fest	wichtig und unverschiebbar	c
Gesetzliche Anforderungen	viele, länderspezifisch	ein Reglement für jede Kategorie	
Planungszeitraum	3–5 Jahre und mehr	oft unter einem Jahr	
Produktionsvolumen	sehr hoch	Einzelstücke, Kleinstserien	
Wartung	eher selten, gesetztesbedingt	sehr häufig, praktisch vor und nach jedem Lauf	
Reparatur	in Fachwerkstätte unter relativ geringem Zeitdruck mit allen Werkzeugen und Maschinen, die erhältlich sind	an der Rennstrecke unter hohem Zeitdruck und nur mit den Mitteln, die erlaubt bzw. vorhanden sind	
Benutzer	Allgemeinheit, nicht speziell geschult	ausgewählter Personenkreis, meist professionelle Nutzer	
Bauartgeschwindigkeit	teilweise bis max. 250 km/h; durchschnittliche Einsatzgeschwindigkeit wesentlich geringer	über 350 km/h; höchste Einsatzgeschwindigkeiten angestrebt	

Anforderung	Straßenfahrzeug	Rennfahrzeug	Bem.
Nachtauglichkeit	wichtig: Beleuchtung, Instrumentenbeleuchtung	nur bei Rallyefahrzeugen und Langstreckenrennwagen	
Wintertauglichkeit	wichtig: Startverhalten, Heizung, Belüftung, Reifen, Schneeketten ...	außer bei Rallyefahrzeugen nicht erforderlich	

Bemerkungen:

- Vom Reglement geforderter Nachweis sicherheitsrelevanter Merkmale – Tendenz steigend
- Ein Rennfahrer möchte „das Fahrzeug spüren“, d. h. ein weich gepolsterter Sitz beispielsweise hindert den Piloten eines Formelwagens daran, den Grenzbereich zu erfahren.
- Der Produktionsbeginn (SOP: Start of Production) wird eventuell verschoben, das Rennwochenende nicht

Bei Rennfahrzeugen werden einfache Lösungen angestrebt. Das Fahrzeug muss auch mit relativ einfachen Mitteln auf verschiedene Strecken- und Witterungsverhältnisse einstellbar sein. Erstere betreffen beispielsweise Bremsenkühlung und -verschleiß, Balance zwischen Luftwiderstand und Abtrieb, letztere Umgebungstemperaturen und Niederschlag.

Durch die unterschiedlichen Anforderungen ergeben sich zwangsläufig andere Arbeitsbedingungen für die Beteiligten im Motorsport im Vergleich zu ähnlichen Positionen in der Serienentwicklung. Von diesen werden unkonventionelle Arbeitszeiten, direktere Verantwortung und absolute Hingabe erwartet [A05]. Entscheidungen müssen oft rasch getroffen werden und sind manchmal für Ingenieure von Serienherstellern nicht ganz nachzuvollziehen, weil sie aus der Erfahrung und aus dem Gefühl heraus kommen [A05]. Viele große Automobilkonzerne stehen dennoch mit dem Motorsport in mehr oder weniger direkter Verbindung. Der Grund liegt u. a. in dem Marketingnutzen einer Motorsportbeteiligung. So stiegen die Absatzzahlen der damaligen DaimlerChrysler AG von 21,3 auf 36,3 %, seit dem ein Formel-1-Team offiziell McLaren-Mercedes heißt [A05].

Der Motorsport bietet je nach Formel auch die Möglichkeit neue Werkstoffe und Systeme einzusetzen und zu erproben. Die üblichen Zwänge der Serienentwicklung, wie Kostendruck, Einschränkung auf vorhandene oder bestimmte Fertigungseinrichtungen, stehen oftmals der Einführung neuer Techniken und Werkstoffen entgegen. Und nicht selten ist der Rennsport Triebfeder einer Entwicklung, die später in Serienfahrzeugen Eingang findet. Die oft gestellte Frage nach dem Einfluss des Motorsports auf den Fortschritt in der Serienentwicklung kann also nicht einfach beantwortet werden. Die Motorsportabteilungen auch großer Automobilkonzerne sind meist organisatorisch und geografisch losgelöst vom Einfluss des Werks. Die Arbeiten werden von Spezialisten durchgeführt und der direkte Einfluss des namensgebenden Herstellers ist in erster Linie finanzieller Natur. Andere Rennsportfirmen sind ohnedies kleine Hersteller, die völlig unabhängig von großen Autokonzernen arbeiten. Die Konstruktionen sind Sonderkonstruktionen, die ja gar nicht auf eine große Stückzahl abzielen. Dass dasselbe Personal Serien- und Motorsportprojekte vorantreibt kommt selten, aber doch vor. Die Baugruppe Motor liefert erfolgreiche Beispiele dafür. Wahrscheinlich allein deshalb, weil viele Rennmotoren zunächst von vorhandenen Serienmotoren abgeleitet wurden und werden. Trotz dieser geringen direkten Beeinflussung der Serie durch den Motorsport, lassen sich indirekte Beeinflussung und Übernahme von Techniken nicht leugnen.

Die tragende Struktur von zwei Seriensportwagen hat deutliche Anleihen aus dem Rennsport genommen.

So weisen der Porsche GT und der Mercedes McLaren CFK-Rahmen auf. Das Produktionsvolumen solcher CFK-Hohlprofilrahmen könnte auch gesteigert werden, so dass es zumindest für Nischenfahrzeuge wirtschaftlich interessant wird [A10].

Das Kernpaketverfahren zum Gießen von Teilen wurde zunächst nur für Sondermodelle und Rennsport eingesetzt. Mittlerweile wurde es auch für Großserien weiterentwickelt.

Tab. A-2 Der Motorsport als Schrittmacher für neue Werkstoffe und Technologien [A07].

Jahr	Firma/Fahrzeug	Bemerkung
1895	Michelin	Fahrzeug mit Luftbereifung im Rennen Paris-Bordeaux-Paris
1899	Dürrkopp	Entwicklung eines kleinen Sportwagens, der zur Gewichtsreduzierung eine Aluminium-Karosserie besaß
1900	Maybach/Daimler	Für Jellinek gelieferter Daimler, den dieser dann nach seiner Tochter ‚Mercedes‘ nannte, hatte einen weitgehend aus Aluminium und Magnesium hergestellten Motor sowie einen Bienenwabenkühler aus Messing
1934	Auto-Union	Kurbelgehäuse und Zylinderköpfe aus Aluminiumguss gefertigt beim I6-Zylinder Motor
1962	Porsche	Titan für die Pleuel des Formel-1-Motors
1963	Porsche 904 GTS	Erstes deutsches Serienfahrzeug mit GFK-Außenhaut
1967	Porsche 910/8	Verwendung eines Aluminium-Gitter-Rohrrahmens mit partieller Sekundärfunktion der Rohre als Ölleitung
1971	Porsche 917	Verwendung von Magnesium für Gitter-Rohrrahmen
1981	Hercules/McLaren/Lotus	Tragende Struktur von Formel-1-Fahrzeugen erstmals aus kohlefaserverstärkten Kunststoffen (CFK)

In [A06] werden auch dieselben Tendenzen bei Renn- und Serienfahrzeugentwicklung festgestellt:

- Mehrventilmotoren mit zunehmenden Marktanteilen,
- Aufgeladene Motoren ebenfalls mit zunehmenden Marktanteilen,
- Drehmoment/Leistung nimmt zu,
- Hubraum nimmt ab: Leistungsdichte wird besser,
- Aus kleiner werdenden leichteren Motoren wird mehr Drehmoment/Leistung erzielt,
- Verdichtungsverhältnis nimmt zu,
- Nenndrehzahl nimmt ab,
- Mitteldrücke steigen,
- Elektronik hat hohen Stellenwert auf breiter Front: Motor, Getriebe, Bremsen etc. und neuerdings die ganzheitliche Vernetzung von Systemen zu einem Gesamtsystem.

Allgemein lässt sich feststellen, dass der Nutzen des Motorsports für die Serienentwicklung wohl im großen Maße vom Reglement abhängt und von der Organisation des Unternehmens.

Reglements, die den Einsatz von Systemen verbieten, die in Serienfahrzeugen eingesetzt werden, verhindern einen vom Motorsport verursachten Fortschritt. Andererseits verbessert die gleichzeitige Entwicklung von Serien- und Motorsportaggregaten durch ein Team gleichermaßen die Zuverlässigkeit wie die Rennsporttauglichkeit [A08]. Man stellt auch fest, dass mit der zunehmenden Forderung nach Zuverlässigkeit, z. B. für Langstreckenrennen, sich die Lösungen deutlich an die Serienlösungen annähern, was natürlich einen größeren Nutzen für beide Seiten nach sich zieht.

Das jüngste Beispiel dafür, wie ein Transfer zwischen Motorsport und Serienentwicklung bewusst forciert wurde liefert der Le Mans Sieger 2006: Audi R10 TDI. Aus Marketinggründen und aus dem einfachen Grund, weil es bis dato äußerst wenig Erfahrung mit Dieselrennmotoren gibt, lieferte die Serienentwicklung maßgebliche Inputs bei der Konzeption des Rennmotors [A11].

Dass sich nicht alle Lösungen direkt aus dem Rennsport für die Serie übernehmen lassen, liegt vielfach auch daran, dass die Entwicklungsziele nicht dieselben sind. Bei einem Serienprodukt steht am Anfang zwar auch die Optimierung der Funktion im Vordergrund und wird später abgelöst durch die Suche nach der besten Gestalt (Festigkeit und Materialverbrauch), aber letztendlich steht die wirtschaftliche Herstellung und ein ebensolcher Betrieb im Vordergrund. Die geforderte Alltagstauglichkeit verlangt von Serienprodukten auch eine einfache und sichere Bedienung ohne Spezialausbildung.

Für die Zukunft ergibt sich wahrscheinlich ein neues Betätigungsfeld auf der Seite des Rennsports, das in der Serienentwicklung schon alltäglich ist, nämlich durch den Gedanken des Umweltschutzes. Wettbewerbe, bei denen ein minimaler Kraftstoffverbrauch im Vordergrund steht, gibt es bereits. Wettbewerbe, bei denen Fahrzeuge mit alternativen Antrieben konkurrieren sind in Diskussion. Mechanische Energie-Rückgewinnungssysteme (KERS *kinetic energy recovery systems*), mit denen die Bremsenergie für nachfolgende Beschleunigung genutzt werden kann, werden bereits entwickelt. Die Vehemenz und Zielstrebigkeit, mit der im Motorsport Entwicklungen vorangetrieben werden, wäre sicher für die Serie von unschätzbarem Wert.

3 Entwicklungsablauf

Der zeitliche Ablauf der Fahrzeugentwicklung ist gänzlich durch den Veranstaltungskalender und der – mit Ausnahme von Rallye- und Raid-Fahrzeugen – durch die warme Jahreszeit bestimmt.

Ein Formel-1-Team entwickelt und baut jährlich ein neues Fahrzeug, das kaum mehr als 5 bis 10 Prozent der Komponenten des Vorgängerwagens enthält. Dies ergibt sich durch Optimierungen und das Reglement kann gegenüber dem Vorjahr stark geändert worden sein. Ein Formel-1-Fahrzeug besteht aus mehr als 3500 Komponenten [A04].

3 Entwicklungsablauf

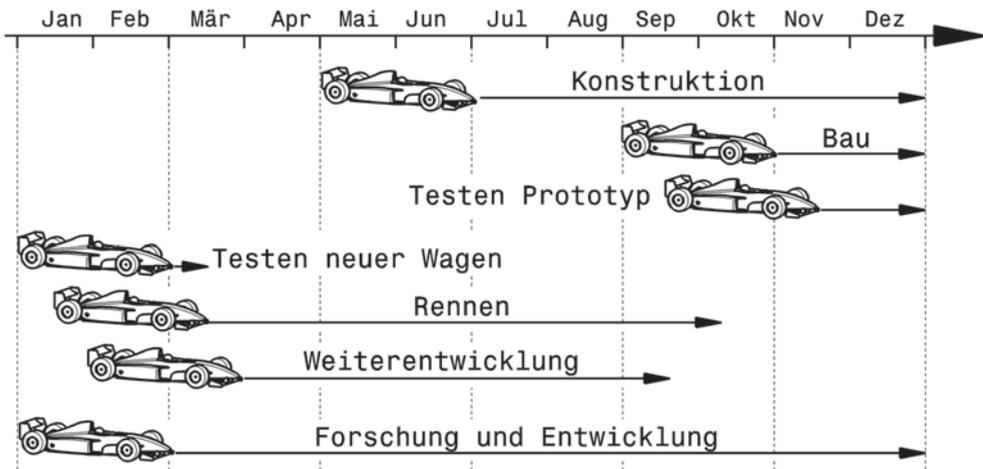
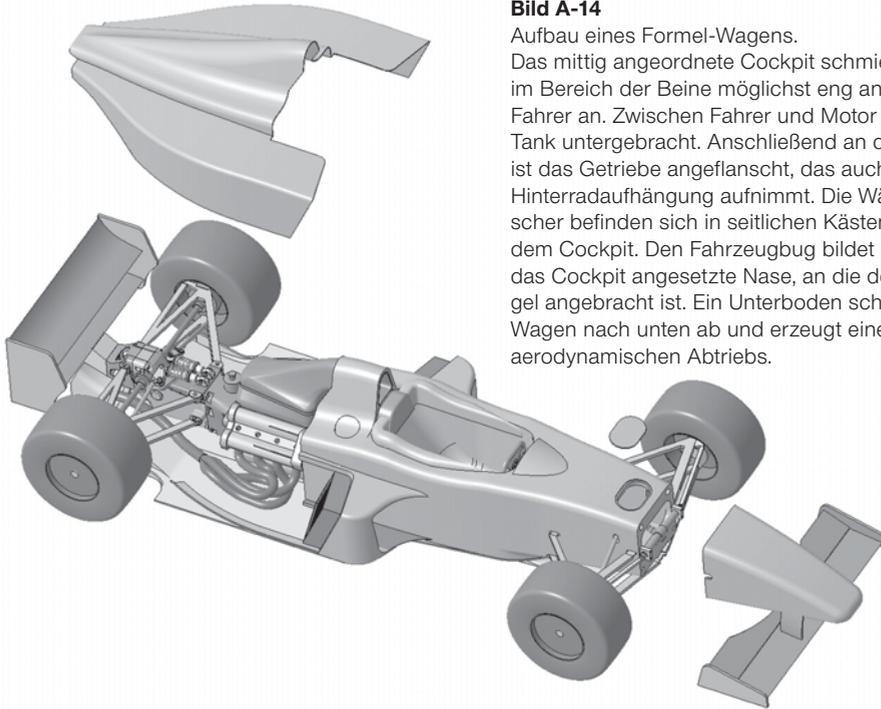


Bild A-13 Aktivitäten eines Formel-1-Teams im Jahreslauf, nach [A04]. Die Konstruktion und der Bau eines neuen Fahrzeuges beanspruchen kaum sechs Monate.

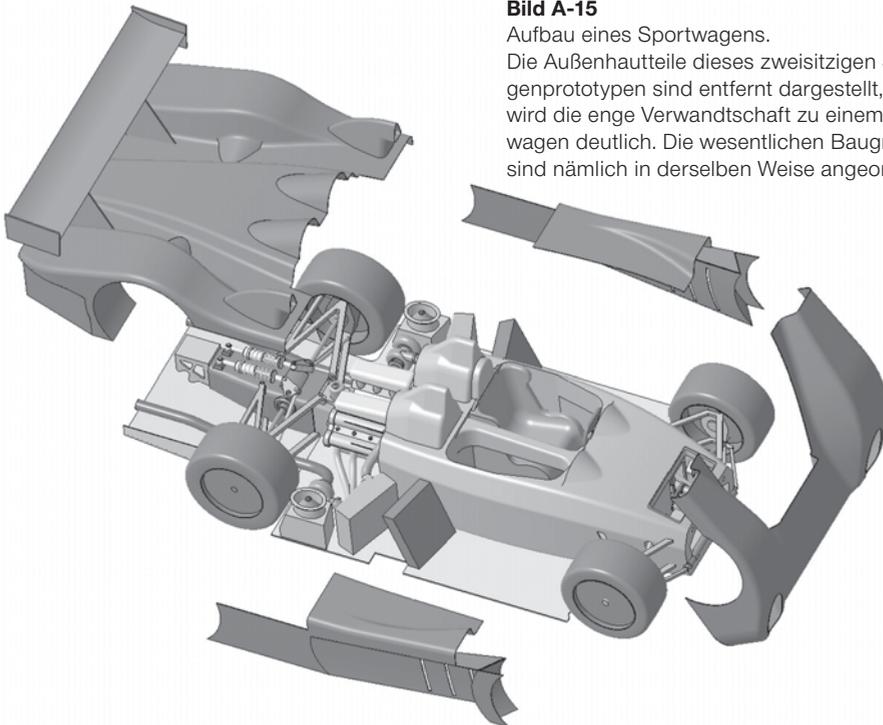
Tab. A-3 Entwicklungseckdaten einiger Rennklassen.

Klasse	Gesamtbudget [€]	Testkilometer pro Team	Testtage pro Jahr und Team	Laufleistung eines Fahrzeugs [km]	Anzahl der Rennen
Formel 1	47 bis 400 · 10 ⁶ [A05], [A03]	19000 [A01]	65	3000 [A01] Motor: 400 km bis 2003 ab 2005: 1200 km	17
Formel 3 [A09]	300 bis 350000		25	Motor: 1 Saison (mit 1 Revision)	20 an 10 Wochenenden
Formel Renault [A09]	350000	bis 12000	20 bis 25	Motor: 3 Revisionen pro Saison	10 bis 13
Formel A-Lista junior [A09]	30 bis 50000			Motor: 1 Saison	

Die wichtigsten Baugruppen eines mehrspurigen Rennfahrzeugs finden sich bei allen Typen und im Wesentlichen ist auch kein Unterschied im Aufbau festzustellen, wenn man Fahrzeuge mit freistehenden und umschlossenen Rädern betrachtet, **Bild A-14** und **A-15**. An das hintere Chassisende schließt sich der Motor an, an dem wiederum das Getriebe befestigt ist. Beide bilden die tragende Struktur des Fahrzeughecks, das das Fahrwerk hinten aufnimmt. Seitlich neben dem Cockpit befinden sich Wärmetauscher für Motorkühlung und eventuell Ladeluftkühlung. Das vordere Chassisende bildet ein nasenförmiger Bug, der das Crashelement darstellt. Unterschiede zwischen Formelwagen und Sportwagen ergeben sich durch Abmessungen und Ausführungen des Cockpits (einsitzig, zweisitzig, offen, geschlossen) und durch die Gestalt der Außenhaut.

**Bild A-14**

Aufbau eines Formel-Wagens. Das mittig angeordnete Cockpit schmiegt sich im Bereich der Beine möglichst eng an den Fahrer an. Zwischen Fahrer und Motor ist der Tank untergebracht. Anschließend an den Motor ist das Getriebe angeflanscht, das auch Teile der Hinterradaufhängung aufnimmt. Die Wärmetauscher befinden sich in seitlichen Kästen neben dem Cockpit. Den Fahrzeugbug bildet eine an das Cockpit angesetzte Nase, an die der Frontflügel angebracht ist. Ein Unterboden schließt den Wagen nach unten ab und erzeugt einen Teil des aerodynamischen Abtriebs.

**Bild A-15**

Aufbau eines Sportwagens. Die Außenhautteile dieses zweisitzigen Sportwagenprototypen sind entfernt dargestellt, dadurch wird die enge Verwandtschaft zu einem Formelwagen deutlich. Die wesentlichen Baugruppen sind nämlich in derselben Weise angeordnet.

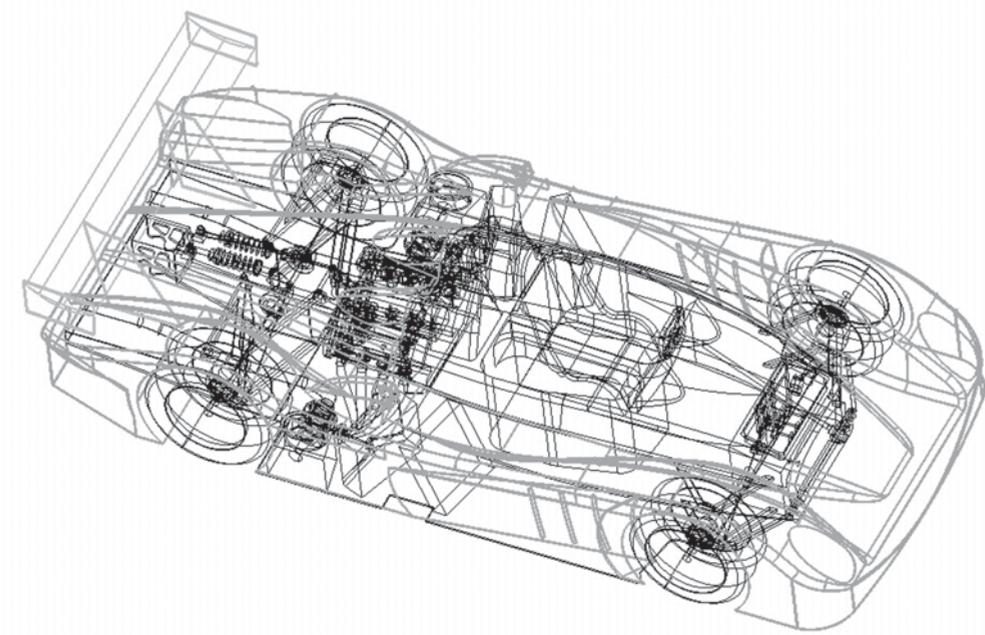
Die wesentlichen Baugruppen von Rennfahrzeugen sind im Einzelnen:

- Cockpit: Nimmt den Fahrer auf und schützt ihn bei Unfällen.
- Rahmen (Chassis): Beherbergt das Cockpit, nimmt sämtliche Kräfte auf und verbindet weitere Hauptbaugruppen miteinander.
- Motor: Antriebsquelle für Fahrzeug und Hilfssysteme. Gibt der Sportart ihren Namen.
- Kraftstoffsystem: Speichert Kraftstoff und versorgt den Motor mit Energie.
- Antriebsstrang: Leitet Motormoment weiter zu den Rädern und wandelt Motordrehzahl und -drehmoment.
- Fahrwerk: Führt und hält die Räder, verantwortlich für Funktion der Reifen mit der Fahrbahn.
- Lenkung: Ermöglicht Manövrierbarkeit des Fahrzeugs.
- Räder und Reifen: Stellen den Kontakt mit der Fahrbahn her und sind somit eines der wichtigsten Komponenten.
- Bremsanlage: Verzögert das Fahrzeug. Kann auch – zumindest ist dies technisch möglich – zur gezielten Stabilisierung des Fahrzeugs eingesetzt werden.
- Außenhaut: Schließt das Fahrzeug nach außen hin, erzeugt und überträgt Luftkräfte und seine Gestalt und Farbe gibt den größten Teil des Aussehens vor.
- Elektrik und Hilfssysteme: Stellt den elektrischen Energie- und den immer größer werdenden elektronischen Datenfluss sicher. Weiters werden darunter Hydraulik- und Pneumatiksysteme zusammengefasst.

Die folgenden Kapitel erläutern bzw. beschreiben Grundlagen, Auslegung, Konstruktion und Beispiele einzelner Baugruppen.

Fahrzeugkonzept

vehicle concept



Mit dem Konzept werden die Weichen für die spätere Detailkonstruktion gestellt. Es geht um die grobe Anordnung der größten und schwersten Teile und um die grundlegende Charakteristik des Wagens. Die Konzeptarbeit darf nicht unterschätzt werden. Fehlentscheidungen am Anfang eines Projekts sind später oft nur schwer wieder zu korrigieren. Der Teufel, sagt man, steckt im Detail und meint damit etwa das Konzept sei nicht so entscheidend. Dem muss hinzugefügt werden, dass die Vorfahren des Teufels bereits im Konzept steckten.

1 Entwicklungsablauf

Im Motorsport existiert im Allgemeinen ein Fahrzeug aus der vergangenen Rennsaison. Die Konzeptarbeit für die folgende Saison beginnt demnach bei einer Analyse des Vorgängermodells. Weitere Einflussgrößen sind das Reglement, das stetigen Änderungen unterworfen ist, und der Zeitplan, genauer der Zeitpunkt, ab dem das neue Fahrzeug verfügbar sein soll [B04]. Ein neues Fahrzeug muss nicht unbedingt zu Beginn der neuen Rennsaison zur Verfügung stehen. Nach der Winterpause brauchen die Fahrer wieder einige Rennpraxis um die Grenzen eines Wagens auszuloten. Zu Vergleichszwecken ist es daher besser zunächst mit dem bekannten, in der vergangenen Rennsaison entwickelten, Fahrzeug zu beginnen und erst später ein geändertes Konzept zu testen, wenn die Fahrer das Vorjahrsniveau erreicht haben [B15].

Bei Straßenfahrzeugen werden prägende Charakteristika innerhalb der Produktbeschreibung nach folgender Reihenfolge festgelegt [B01]:

- Fahrzeugklasse (Größenklasse, z. B. „Kompaktklasse“)
- Fahrzeugvarianten (z. B. Stufenhecklimousine 4-türig, Kombilimousine 5-türig)
- Aggregatezuordnung (Motorisierungsprogramm, Getriebeangebot)
- Fahrzeughauptabmessungen
 - o Exterieurdaten (Radstand, Länge, Überhänge, Breite, Höhe, Spurweiten)
 - o Interieurdaten (Längen-, Breiten-, Höhenmaße der Sitzanlagen, Nutzvolumina)
- Technische Beschreibung
 - o Karosseriebauart, Variantenkonzept
 - o Motorversionen und Ausstattung (z. B. Leistungs- und Ländervarianten)
 - o Getriebetypen (Drehmomentklassen, Automatikgetriebe)
 - o Fahrwerk (Achsen, Räder und Reifen, Lenkung, Regelsysteme)
 - o Technische Ausstattung (z. B. Klimatisierung, elektronische Ausstattung, Kraftstoffsystem)
- Technische Daten
 - o Gewichte, Zuladungen, Anhängelasten
 - o Fahrleistungen
 - o Verbrauchs- und Abgaszielwerte.

Aus der Produktbeschreibung wird das Lastenheft abgeleitet. Im nächsten Schritt werden erste Entwurfsdarstellungen zur Absicherung der gewählten Abmessungen erstellt. Die Grundlage für erste Stylingentwürfe stellt das so genannte „Hard Point Package“ dar: Aus den erforderlichen Bauräumen für alle benötigten Komponenten und tragende Strukturen sowie aus dem Platzbedarf der Insassen entsteht ein Oberflächengebirge, in dem die Außenhaut noch nicht berücksichtigt wird.

2 Auslegungsbereiche

Die Auslegungsbereiche lassen sich beim Pkw grob unterteilen [B01]:

- Innenraum,
- Vorderwagen,
- Hinterwagen,
- Unterboden.

Ein neues Fahrzeug entsteht im Allgemeinen von innen nach außen. Im Ablauf der Konzeptentwicklung stehen Innenraumstudien mit Raum- und Ergonomieuntersuchungen am Anfang.

Der Ausgangspunkt für die Abmessungen des Innenraumes ist die Position der Insassen auf den Vorder- und Hintersitzen. Diese werden nach günstigen Gesichtspunkten auf den Sitzen platziert, wobei für die Vordersitze eine Sitzverstellung mit dem Extrem vorzusehen ist. Zu dieser Insassenlage werden einmal die Türmaße und zum anderen aus den Augpunkten die Sichtwinkel nach vorn, seitlich und hinten festgelegt.

Bei der Bestimmung der Sichtfelder ist zu berücksichtigen, dass alle Dachpfosten zur Erzielung einer hohen Karosseriesteifigkeit genügend Festigkeit aufweisen. Ist die Sitzposition bestimmt, so können auch Lenkrad, Instrumententafel und Fußhebelwerk fixiert werden, wobei die optimale Bewegungsrichtung zu berücksichtigen ist [B02].

Etwas zeitversetzt zur Innenraumgestaltung erfolgen die Ausarbeitungen im Bereich des Aggregats (Anordnungen Motor, Getriebe, Nebenaggregate, Vorderachse und Lenkstrang, Berücksichtigung von Sicherheitsmerkmalen wie Karosseriestrukturen, Crash-Deformationszonen).

Die Konzeptarbeiten im Unterbodenbereich haben zum Schwerpunkt Getriebe- und Antriebsstrang, Abgasanlagen-, Leitungs- und Karosseriestrukturentwürfe.

Im Hinterwagen stehen Layouts für Karosseriestrukturen, Hinterachse, Tank-, Abgasanlagen- und Gepäckraumoptimierungen im Vordergrund. Erste Variantenuntersuchungen, z. B. zu verschiedenen Heckausführungen oder Türanzahl, werden dargestellt.

Maßdefinitionen. Die Benennung und Definition der wichtigsten Maße eines Fahrzeugs sind in Europa durch die ECIE (European Car Manufacturers Information Exchange Group) vereinheitlicht, **Bilder B-1** und **B-2**.

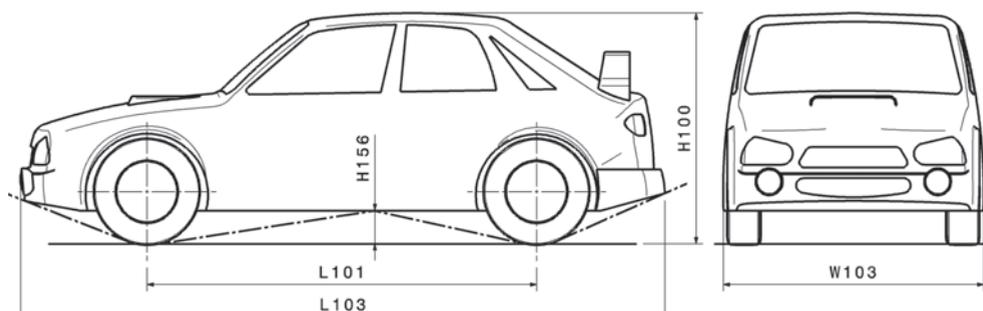


Bild B-1 ECIE Exterieurmaßdefinitionen.

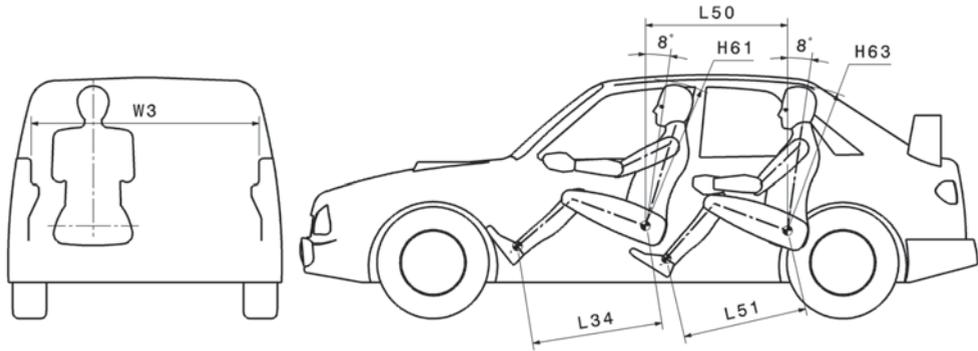


Bild B-2 ECIE Interieurmaßdefinition Seitenansicht [B01].

Tabelle B-1 liefert zum Vergleich einige Zahlenwerte ausgesuchter Maße von Pkw.

Tab. B-1 Maßvergleich verschiedener Fahrzeugklassen, Maße in mm [B01].

Fahrzeugklasse \ Kriterium	Kompakt	Untere-Mittelklasse	Mittelklasse	Obere Mittelklasse	Oberklasse	Vans
Exterieurmaße						
Länge (L103) ¹⁾	3600–3800	3800–4400	4300–4700	4300–4700	4700–5100	4500–4800
Radstand (L101)	2350–2500	2400–2700	2500–2700	2500–2700	2700–3000	2700–3000
Breite (W103)	1550–1650	1670–1740	1670–1770	1670–1770	1800–1900	1750–1900
Höhe (H100)	1350–1480	1330–1440	1360–1430	1360–1430	1400–1500	1650–1800
Bodenfreiheit (H156)	130–150; SUV: über 200					
Interieurmaße						
Fußraum vorne (L34)	960–1080	970–1080	1000–1100	1000–1100	1000–1100	970–1080
Kopfraum vorne (H61)	920–1000	940–1010	950–1010	950–1010	980–1020	1000–1050
Schulterbreite vorne (W3)	1280–1360	1340–1440	1340–1460	1340–1460	1450–1500	1500–1650
Sitzabstand vorne–hinten (L50)	680–760	670–790	730–830	730–830	840–950	850–900
Fußraum hinten (L51)	730–920	760–880	750–920	750–920	900–1000	800–900
Kopfraum hinten (H63)	900–970	900–980	910–980	910–980	950–990	950–1000
Kofferraumvolumen	200–460	240–550	330–550	330–550	500–600	250–2500
Fahrzeugbeispiele	VW Polo	VW Golf	Audi A4	BMW 5er	Mercedes S	VW Sharan

¹⁾ in (...) Maßbezeichnung entsprechend ECIE-Vereinbarungen

3 Konzeptmerkmale

Folgende Merkmale prägen die Charakteristik eines Fahrzeugs im Allgemeinen:

- Aggregatlage: Front-, Heck-, Mittelmotor, Unterfluranordnung
- Antriebskonzept: Front-, Heck-, Allradantrieb
- Aggregateinbau: längs, quer
- Anzahl der Sitzplätze
- Komfortausprägungen: z. B. Beinfreiheiten
- Stauraumvolumina.

3.1 Aggregatlage und Antriebskonzept

Die Lage des Motors und damit des Antriebstrangs beeinflusst maßgeblich die Bauraumaufteilung und das Fahrverhalten durch die Achslastverteilung und die Lage der angetriebenen Achse. Von den denkbaren Möglichkeiten sind allerdings nur einige sinnvoll, **Bild B-3**. Zum Allradantrieb werden in Kapitel M 6.3 *Bauformen* einige grundsätzliche Überlegungen angestellt.

Frontmotoranordnung

Merkmale. Motor und Getriebe sind verblockt vor der Fahrgastzelle angeordnet (längs ausgerichtet (*north-south*) oder quer eingebaut (*east-west-installation*)). Wasserkühler und Klimakondensatoren werden davor im Fahrzeugfrontbereich platziert. Ausführungsformen als Front-, Heck- oder Allradantrieb. Diese Motoranordnung ist die weitverbreitetste am Pkw-Markt.

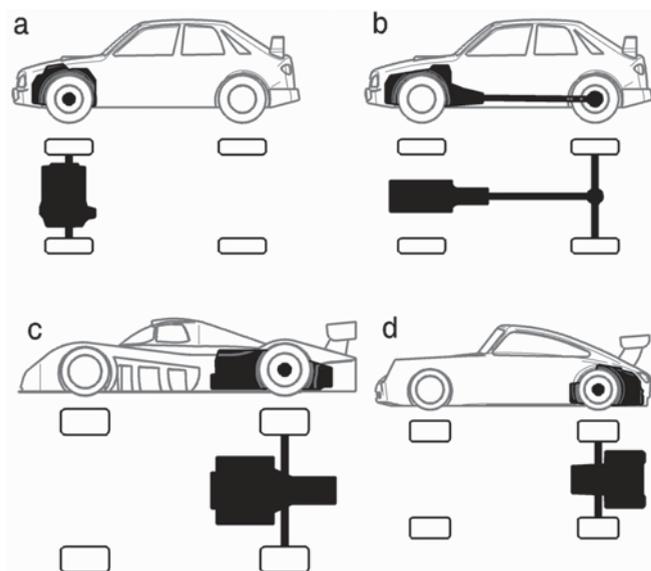


Bild B-3

Mögliche Motorlagen im Fahrzeug.

- a Frontmotor, Quereinbau, Vorderradantrieb
- b Längsmotor vorne, Antrieb hinten (Standardantrieb)
- c Mittelmotor, Antrieb hinten
- d Heckmotor, Antrieb hinten

Der Quereinbau findet sich nur bei Frontantriebsfahrzeugen – bei Heckantrieb wird auf Grund des einfacheren Antriebsstrangs und schwingungstechnischer Vorteile ausschließlich der Längseinbau angewandt.

Das Transaxleprinzip (Motor vorne, Getriebe und Antrieb hinten) vereint Vorteile von Front- und Heckmotor.

Vorteile. Kompakte Bauweise mit kurzen Leitungen zu allen Nebenaggregaten und zu den Kühlern. Die Aggregatgeräusche sind durch die Stirnwand gut zum Innenraum abschottbar. Im Falle eines Frontalcrashes führt ein frühes Anlegen des Antriebsblockes an den Stirnwandbereich zu einer Entlastung der Rohbaustruktur von Aggregatmassekräften. Ein ausreichendes Raumangebot für Abgasanlage (insbes. Schalldämpfer und Katalysatoren) und Tank ist im Unterboden- und Hinterwagenbereich gegeben.

Bei Kombination mit Frontantrieb ist die gesamte Antriebseinheit mit Vorderachse als kompakte Vormontageeinheit realisierbar und ermöglicht neben einem flachen Fahrzeugtunnel eine ausreichend hohe Vorderachslast für gute Traktionsverhältnisse. Der Vorteil des Heckantriebs gegenüber dem Frontantrieb liegt in einem sich verstärkenden Traktionspotenzial bei zunehmender Zuladung im Heckbereich, in Beschleunigungsphasen oder bei Bergfahrt.

Nachteile. Im Quereinbau wird die Motorgröße beschränkt auf maximal 6 Zylinder, dabei gibt es auch starke Restriktionen in der Getriebegröße durch beschränkte Baulänge (direkter Einfluss auf Fahrzeugbreite). Das Bemühen um leistungsstärkere, aber gleichzeitig sehr kompakte Aggregate auch in Längsausrichtung (Crashlänge) unterstreicht diese Problematik. Zusätzlicher Nachteil bei Frontantrieb ist ein abnehmendes Traktionspotenzial bei steigender Zuladung im Heck, in Beschleunigungsphasen durch dynamische Achslastverlagerung und bei Bergfahrt.

Mit relativ geringem Aufwand lässt sich eine allradgetriebene Variante bei Frontantriebsfahrzeugen mit Längseinbau des Aggregats darstellen, da das längseingebaute Getriebe um ein Verteilergetriebe ergänzt wird und der Antriebsstrang ohne weitere Umlenkungen zur Hinterachse erfolgen kann.

Die zur Traktion bei Heckantriebsfahrzeugen erforderliche Hinterachslast führt bei dieser Anordnung zu einer gegenüber dem Antriebsblock möglichst weit vorne angeordneten Vorderachse. Dennoch lässt sich bei Hinterachsantrieb kaum mehr als etwa 50 % Hinterachslastanteil (im Leerzustand des Fahrzeugs) realisieren.

Heckmotoranordnung

Merkmale. Früher häufiger angewandte Anordnung (z. B. VW Käfer, Renault, Fiat), bei der ähnlich einer Anordnung mit Frontantrieb Motor, Getriebe und hier die Hinterachse als eine Vormontageeinheit im Heckbereich angeordnet sind. Das Getriebe liegt vor dem in Längsrichtung eingebauten Motor. Ein modernes Fahrzeug in dieser Konfiguration ist der Porsche 911 Carrera.

Vorteile. Bedingt durch Anordnung des Aggregats hinter der Hinterachse sehr hohe Hinterachslastanteil (> 60 %), dadurch hervorragende Traktionseigenschaften, zunehmend bei Beschleunigung und Bergfahrt, immer noch sehr hoch bei Zuladung im Fahrzeuginnenraum oder vorne. Keine Wärmebelastung des Innenraums durch Wärmeabstrahlung des