

# Bachelorthesis

## Die Anwendungen technologischer Entwicklungen in der Formel 1 auf die Serienproduktion von Fahrzeugen

**vorgelegt am:** 17. August 2022

**von:** Bollerhoff, Christian  
96049 Bamberg  
Babenbergerring 8

**Studiengang:** Automobilmanagement

**Studienrichtung:** Technik

**Seminargruppe:** 4AM19-1

**Matrikelnummer:** 4003820

**Praxispartner:** Gelder & Sorg Coburg GmbH  
96450 Coburg  
Neustadter Straße 26

**Gutachter:** Herr B.A. Felix Hart (Gelder & Sorg GmbH & Co. KG)  
Herr Prof. Dr. Torsten Olschewski (Staatliche Studienakademie  
Glauchau)

---

# Inhaltsverzeichnis

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Abbildungsverzeichnis .....</b>                       | <b>IV</b> |
| <b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>                       | <b>V</b>  |
| <b>1 Einleitung .....</b>                                | <b>1</b>  |
| 1.1 Problemstellung .....                                | 2         |
| 1.2 Zielsetzung .....                                    | 2         |
| <b>2 Die Entstehung der Formel 1 .....</b>               | <b>3</b>  |
| <b>3 Die FIA .....</b>                                   | <b>8</b>  |
| <b>4 Die Geschichte der Formel 1 .....</b>               | <b>9</b>  |
| 4.1 Die Formel 1 1950 - 1954 .....                       | 9         |
| 4.2 Die Formel 1 1954 - 1961 .....                       | 10        |
| 4.2.1 Le Mans 1955 .....                                 | 12        |
| 4.2.2 Die Saisons 1956 - 1961 .....                      | 13        |
| 4.3 Die Formel 1 1961 - 1965 .....                       | 14        |
| 4.4 Die Formel 1 1966 - 1988 .....                       | 16        |
| 4.5 Die Formel 1 1989 - 1994 .....                       | 19        |
| 4.5.1 Imola 1994 .....                                   | 20        |
| 4.6 Die Formel 1 1995 - 2005 .....                       | 21        |
| 4.7 Die Formel 1 2006 - 2014 .....                       | 22        |
| 4.8 Die Formel 1 2014 - 2021 .....                       | 23        |
| 4.9 Die Formel 1 2022 - 2026 .....                       | 24        |
| <b>5 Technologische Entwicklungen der Formel 1 .....</b> | <b>27</b> |
| 5.1 Die Scheibenbremse .....                             | 27        |
| 5.1.1 Scheiben- statt Trommelbremsen .....               | 28        |
| 5.1.2 Die Bremsen der Formel 1 .....                     | 29        |
| 5.1.3 Brake-by-Wire .....                                | 30        |
| 5.2 Der Turbomotor .....                                 | 31        |
| 5.2.1 Die Funktion des Turbomotors .....                 | 32        |
| 5.2.2 Der elektrische Abgasturbolader .....              | 34        |
| 5.3 Die aktive Radaufhängung .....                       | 36        |

---

|  |  |           |
|--|--|-----------|
| 5.4  | Das halbautomatisierte Getriebe mit Schaltwippen ..... | 37        |
| 5.5  | Leichtbau aus der Formel 1 .....                       | 38        |
| 5.5.1  | Carbon aus der Formel 1 .....                          | 39        |
| 5.6  | Konnektivität im Fahrzeug .....                        | 40        |
| 5.7  | Digitalisierung in der Forschung und Produktion .....  | 41        |
| <b>6</b>   | <b>Die Zukunft der Formel 1 .....</b>                  | <b>43</b> |
| <b>7</b>   | <b>Fazit .....</b>                                     | <b>45</b> |
| <b>Quellenverzeichnis .....</b>                                |  | <b>46</b> |
| <b>Anhangsverzeichnis .....</b>                                |  | <b>54</b> |
| <b>Ehrenwörtliche Erklärung .....</b>                          |  | <b>55</b> |
| <b>Erklärung zur Prüfung wissenschaftlicher Arbeiten .....</b> |  | <b>56</b> |

---

## Abbildungsverzeichnis

|                     |  |    |
|---------------------|--|----|
| <b>Abbildung 1</b>  | Startfeld des ersten Grand Prix der Geschichte .....                                 | 4  |
| <b>Abbildung 2</b>  | Startfeld zum Großen Preis von Frankreich am 4. Juli 1954 .....                      | 11 |
| <b>Abbildung 3</b>  | Das Weltmeisterauto 1961 mit Mittelmotor: Ferrari Tipo 156 .....                     | 14 |
| <b>Abbildung 4</b>  | Der Lotus 25 von 1962 in Monocoque-Bauweise .....                                    | 15 |
| <b>Abbildung 5</b>  | Ein Beispiel aerodynamischer Prototypen: der BRM P 138 mit zwei<br>Tragflächen ..... | 17 |
| <b>Abbildung 6</b>  | Graphische Darstellung der aerodynamischen Regeländerungen zur<br>Saison 2017 .....  | 24 |
| <b>Abbildung 7</b>  | Das neue Design der Formel 1 Autos 2022 inklusive Halo .....                         | 25 |
| <b>Abbildung 8</b>  | Der Aufbau von Trommel- und Scheibenbremsen .....                                    | 29 |
| <b>Abbildung 9</b>  | Schematischer Aufbau eines Turbomotors .....   | 33 |
| <b>Abbildung 10</b> | Graphische Darstellung des MGU-H .....   | 35 |

---

## Abkürzungsverzeichnis

|            |  |
|------------|--|
| ABS        | Antiblockiersystem                                       |
| A.C.F.     | Automobile Club de France                                |
| AIACR      | Association Internationale des Automobile-Clubs Reconnus |
| ca.        | circa  |
| CFK        | Carbonfaserverstärkter Kunststoff <sup>1</sup>           |
| DRS        | Drag Reduction System                                    |
| ECU        | Energy Control Unit                                      |
| EM         | Europameisterschaft                                      |
| ERS        | Energy Recovery System                                   |
| ES         | Energy Store   |
| FIA        | Fédération Internationale de l'Automobile                |
| F1         | Formel 1   |
| g          | Einheit für die g-Kraft ( $1g=9,806m/s^2$ ) <sup>2</sup> |
| GP         | Grand Prix   |
| HANS       | Head And Neck Support                                    |
| KERS       | Kinetic Energy Recovery System                           |
| Kg         | Kilogramm  |
| Km         | Kilometer  |
| Km/h       | Stundenkilometer   |
| MGU-H      | Motor Generator Unit – Heat                              |
| MGU-K      | Motor Generator Unit – Kinetic                           |
| Ms         | Millisekunden  |
| PS         | Pferdestärken  |
| UN         | United Nations   |
| USA        | United States of America                                 |
| VW         | Volkswagen   |
| 24h-Rennen | 24-Stunden-Rennen  |

---

<sup>1</sup> (sgl carbon 2022)

<sup>2</sup> (Broughall 2020)

# 1 Einleitung

Als am 13. Mai 1950 das weltweit erste Formel 1 Rennen in Silverstone, England stattgefunden hat, konnte sich keiner der rund 200.000 Schaulustigen vorstellen, welche globale Reichweite diese Rennklasse in Zukunft erlangen wird. Ebenso unvorstellbar sind aus heutiger Sicht die Rahmenbedingungen, unter denen vor über 70 Jahren die erste Weltmeisterschaft stattgefunden hat. Ohne Helm oder ähnliche Schutzausrüstung riskierten beispielsweise Adelige oder ein hauptberuflicher Musiker ihr Leben, wenn sie mit über 250 km/h einem Podiumsplatz hinterherjagten. Bei Kontrollverlust und dem unfreiwilligen Verlassen der Strecke konnte man nur hoffen, dass die aufgestellten Strohballen richtig standen und das Schlimmste verhindert werden konnte.<sup>3</sup>

Seit dem ersten Todesopfer, das die Formel 1 im Jahr 1954 zu verzeichnen hatte, starben bis heute weitere 33 Fahrer, während sie ein Auto aus dieser Klasse bewegten. Trotz der hohen Gefahren wurde das Thema Sicherheit bei der Weiterentwicklung der Fahrzeuge und Strecken lange Zeit hintangestellt. Erst 1952 wurde zum Beispiel das Tragen von Sturzhelmen zur Pflicht, 1959 folgte der Verbau von Überrollbügeln und es dauerte bis 1969, dass das Anlegen eines Sicherheitsgurtes vorgeschrieben wurde. Diese Maßnahmen haben nur einen geringen Einfluss auf die Sicherheit nehmen können, denn auch auf ein gefahrenfreies Streckenlayout oder die Verfügbarkeit von Rettungskräften vor Ort wurde wenig Augenmerk gelegt.<sup>4</sup>

Im Laufe der Jahre wurde auch die Zuverlässigkeit der Autos ein übergeordnetes Problem. Die Fahrzeuge wurden immer leichter und schneller, aber gleichzeitig zunehmend unberechenbar. Häufig war technisches Versagen einzelner Fahrzeugkomponenten Auslöser für Unfälle. Das potenzielle Risiko der Anwendung neuer Technik blieb lange Zeit unbeachtet. Ein möglicher Wettbewerbsvorteil war das oberste Ziel und die Tests fanden überwiegend erst im Rennbetrieb statt. Im Jahr 1984 wurden beispielsweise Crashtests eingeführt, nachdem bereits mehrere skandalöse Vorfälle stattgefunden hatten.<sup>5</sup>

Der durch diese Beispiele erkennbare, lange Zeit rücksichtslose Wille, um jeden Preis das schnellste Auto zu bauen, trieb gleichzeitig die Entwicklung rund um die Königsklasse des Motorsports auf ein Maximum. Die Ingenieure, die im Hintergrund agieren, haben für Interessierte dieses Sports einen ebenso hohen Stellenwert wie die Fahrer. Ihre Entwicklungen waren teilweise revolutionär und einige Konstruktionen haben ihren Weg bis in die Serienproduktion von Alltagsfahrzeugen

---

<sup>3</sup>Vgl. (Geißler 2017)

<sup>4</sup>Vgl. (Schmidt 2019a)

<sup>5</sup>Vgl. (Schmidt 2019a)

---

geschafft. Durch den Wettbewerb in der Formel 1 wurde die Automobiltechnik kontinuierlich positiv beeinflusst und vorangetrieben.

## 1.1 Problemstellung

Seit einigen Jahren wird die Effizienz und der Sinn und Zweck von Verbrennerfahrzeugen, aber auch Autos im Allgemeinen immer stärker hinterfragt. Mit dem Klimawandel ist ein übergeordnetes Problem entstanden, das auch von der Politik sehr ernst genommen wird. Die Steigerung der Klimafreundlichkeit ist zum wichtigsten Ziel der Automobilbranche geworden. Der Fokus liegt dabei auf der Elektromobilität, beziehungsweise dem Ende von Verbrennerfahrzeugen. Demzufolge wird der traditionelle Motorsport als Klimasünder immer kritischer betrachtet und verlor seit der Jahrtausendwende zunehmend an Attraktivität. Dieser Negativtrend hat sich zuletzt auch in den Zuschauerzahlen widergespiegelt. Erst mit der im Jahr 2019 erschienenen Serie „Drive to survive“, die die Hintergründe des Sports beleuchtet und dramatisiert, gelang es den Marketingverantwortlichen, neues Publikum zu begeistern.<sup>6</sup> Die Frage, wieso Rennsport auf Kosten der Umwelt betrieben wird und wie dessen Existenz gerechtfertigt werden kann, wird in der Dokureihe nicht thematisiert. Dennoch sind von Seiten der Hersteller und des Managements Bemühungen erkennbar, der Umweltproblematik besser gerecht zu werden und es soll bis zum Jahr 2030 gelingen, klimaneutral Rennen zu fahren.

## 1.2 Zielsetzung

Aus der Vergangenheit gibt es positive Beispiele, wie die Formel 1 dem gesamten Automobilsektor Konzepte und Konstruktionen geliefert hat, welche Einfluss auf die Serienfahrzeuge genommen haben. Heutzutage arbeiten über 500 Ingenieure an einem einzelnen Fahrzeug, vor 50 Jahren stand nur ein Bruchteil an Personal zur Verfügung.<sup>7</sup> Dem entsprechend bleibt das Entwicklungspotenzial der Formel 1 auf dem höchstmöglichen Niveau und kann auch in Zukunft alle Bereiche des Automobilsektors positiv beeinflussen. Die wichtigsten technologischen Entwicklungen der Formel 1 und des Motorsports aus der Vergangenheit sowie aktuelle richtungsweisende Konzepte rechtfertigen die Existenz der Königsklasse des Motorsports. In der vorliegenden Arbeit werden diese Erfindungen, ihre Anwendung in der Serienproduktion und die zukünftigen Pläne der Formel 1, die Fahrzeuge und den Sport klimafreundlicher zu gestalten, zusammengetragen und analysiert. Dafür wird auch die Geschichte der Formel 1 aufgearbeitet, um einen Einblick in die Hintergründe der Rennserie zu bekommen und diese zu verstehen.

---

<sup>6</sup>Vgl. (Gowda 2022)

<sup>7</sup>Vgl. (Schmidt 2019b)

## 2 Die Entstehung der Formel 1

Die Geschichte des Automobils begann im Jahr 1885 mit der Konstruktion eines motorbetriebenen Vehikels, welches im Jahre 1886 patentiert wurde. Diese neue Möglichkeit der Fortbewegung gewann rasch an Popularität und erste Automarken wurden gegründet. Bereits am 22. Juli 1894 fand eine Zuverlässigkeitsfahrt für „Wagen ohne Pferde“ statt. Diese wurde im Nachhinein als das erste Automobilrennen der Geschichte gesehen, da für den Erstplatzierten ein hoch dotiertes Preisgeld ausgelobt wurde.<sup>8</sup> In den Folgejahren entwickelten sich daraus Wettbewerbe über Distanzen von mehr als tausend Kilometern, die regelmäßig in Frankreich organisiert wurden und immer mehr Zuschauer begeisterten. Schon 1896 wurden für derartige Veranstaltungen erstmals gezielt Wettbewerbsfahrzeuge konstruiert, die auf maximale Geschwindigkeit ausgelegt waren.<sup>9</sup>

Der nächste große Schritt in der Geschichte des Motorsports wurde im Jahr 1903 vollzogen, als man wegen zu vieler Todesopfer durch Unfälle bei bisherigen Wettfahrten ein neues Konzept einführte. So wurde erstmals ein Rennen auf abgesperrtem Kurs ausgerichtet, das durch ein Reglement definiert war. Um diese Regularien zu kontrollieren, gründete man am 20. Juni 1904 die „Association Internationale des Automobile-Clubs Reconnus“ (AIACR), die aus 13 nationalen Automobilclubs bestand.<sup>10</sup> Heute ist dieser Verein unter dem Namen „Fédération Internationale de l'Automobile“ oder dessen Kürzel „FIA“ bekannt. Das Ziel der FIA ist es, durch übergeordnete und vereinheitlichte Steuerung mehr Sicherheit und gleiche Bedingungen zu gewährleisten. Sie hat sich im Laufe der Zeit zum leitenden Organ des Motorsports auf allen Ebenen entwickelt.<sup>11</sup>

Am 27. Juni 1906 folgte in der Nähe der französischen Stadt Le Mans das erste Rennen, das den Namen Grand Prix bzw. Großer Preis getragen hat. Da sich dieser Begriff in der späteren Formel 1 gefestigt hat, gilt der sogenannte „Grand Prix des A.C.F.“ als ihr erster direkter Vorgänger. Wie der Name erkennen lässt, wurde dieses Rennen noch vom nationalen Automobile Club de France (A.C.F.) ausgetragen und die Regularien beschränkten sich lediglich auf drei Punkte:

1. Das Fahrzeug darf eine Gesamtmasse von 1.000kg nicht überschreiten; Polsterung, Hupe, Kotflügel, Werkzeugkasten und Beleuchtung ausgeschlossen.
2. Jeder Hersteller darf mit maximal drei Fahrern anreisen.
3. Fahrer und Beifahrer dürfen nicht wechseln.<sup>12</sup>

---

<sup>8</sup>Vgl. (Boi 2015, S. 16 f.)

<sup>9</sup>Vgl. (Jordan 2018)

<sup>10</sup>Vgl. (Boi 2015, S. 16 f.)

<sup>11</sup>Vgl. (FIA 2022)

<sup>12</sup>Vgl. (angurten.de 2006)

Die Regularien des A.C.F., der in der Vorkriegszeit die meisten Veranstaltungen ausgetragen hat, bezogen sich trotzdem hauptsächlich auf die von der AIACR festgelegten sportlichen Regeln.<sup>13</sup>



**Abbildung 1** Startfeld des ersten Grand Prix der Geschichte

([https://cdn.prod.www.spiegel.de/images/24d542d1-0001-0004-0000-000001304224\\_w640\\_r1.5364675984752223\\_fpx32.54\\_fpy49.99.jpg](https://cdn.prod.www.spiegel.de/images/24d542d1-0001-0004-0000-000001304224_w640_r1.5364675984752223_fpx32.54_fpy49.99.jpg))

Der gleichermaßen lockere Streckenaufbau des ersten Grand Prix ist in Abbildung 1 zu erkennen. Insgesamt reichten sich 32 Fahrzeuge hintereinander, die zwölf verschiedenen Herstellern zuzuordnen waren. Nach jeweils sechs Runden an zwei aufeinanderfolgenden Tagen und ca. 1200 gefahrenen Kilometern konnte der ungarische Renault-Pilot Ferenc Szisz das Rennen für sich entscheiden. Eine erste technologische Neuentwicklung durch den Motorsport waren die im Siegerfahrzeug verbauten hydraulischen Stoßdämpfer, die bis heute den Standard bilden.<sup>14</sup>

Parallel zu den Anfängen des Motorsports in Europa, begannen auch die Hersteller in Amerika, Autorennen auszutragen. Das Streckenlayout ähnelte dort im Jahr 1911, beim erstmals ausgetragenen Indy 500 in Indianapolis, mehr den Kursen und Rundendistanzen von heute. Man fuhr auf einem speziell angefertigten Oval von 2,5 Meilen (ca. 4 km) Länge über 500 Meilen Gesamtdistanz. Das Indy 500 hat in seiner

<sup>13</sup>Vgl. (Helgert 2004)

<sup>14</sup>Vgl. (angurten.de 2006)

Grundidee noch heute Bestand und ist eines der bekanntesten Sportereignisse in den USA.

Als am 28. Juli 1914 der erste Weltkrieg ausbrach, kam der Motorsport in Europa zum Erliegen. Rund drei Wochen zuvor, beim vorerst letzten Grand Prix in Frankreich, gratulierte der damalige deutsche Kaiser noch dem französischen Rennfahrer Louis Wagner und seinen beiden deutschen Teamkollegen. Sie belegten in ihren Mercedes gemeinsam die ersten drei Plätze, ein Ergebnis, das auch auf politischer Ebene und mit nationalistischen Hintergedanken in Deutschland gerne gesehen wurde.<sup>15</sup>

Die Zwangspause, die sich durch die Kampfhandlungen ergab, ließ das Interesse am Motorsport nicht abreißen. In den 20er Jahren blühte er regelrecht auf, als auch in Europa und in anderen Ländern dauerhafte Rennstrecken erbaut wurden, um eigene nationale Grand Prix zu veranstalten. Die Verfügbarkeit von Rennstrecken auf internationaler Ebene führte im Jahr 1925 erstmals zur Austragung einer Weltmeisterschaft, mit Rennen in Amerika (Indianapolis), Belgien (Spa-Francorchamps), Frankreich (Montlhéry) und Italien (Monza). Gefahren wurde unter der damaligen 2-Liter-Formel, die sich auf den Hubraum der Fahrzeuge bezog. Aus den Formel-Bezeichnungen der Vorkriegsjahre entwickelte sich die Klassifizierung, die ab den 1950er Jahren gelten sollte.<sup>16</sup>

Mit der steigenden Professionalität in der Grand Prix Szene der Vorkriegsjahre wuchsen auch die Anforderungen an die Fahrer, deren Talent und Einsatzbereitschaft den Unterschied zur Konkurrenz ausmachen konnten. Die damit einhergehende Erhöhung der Preisgelder für die Piloten ermöglichte es diesen, das Rennen fahren zum Beruf werden zu lassen. Dennoch entfernte sich die AIACR erst 1935 vom alten Konzept, die Weltmeisterschaften lediglich den Herstellern anzurechnen. Diese Änderung ergab sich aus der Ausschreibung einer Europameisterschaft, die von 1935 bis 1939 stattfand, und bei der die Fahrer ihre eigene Statistik aufstellten.<sup>17</sup>

In dieser Zeit dominierten die Fahrer der von den Nationalsozialisten finanziell unterstützten deutschen Rennställen Mercedes-Benz und Auto-Union. Aufgrund ihrer Überlegenheit und ihrer Farbe, die durch das blank polierte, unlackierte Aluminium entstand, nannte man sie auch Silberpfeile.<sup>18</sup> Die Rennen von 1934 - 1937 wurden unter dem Reglement der 750kg-Formel für das Fahrzeuggewicht abgehalten. In Bezug auf die Motoren hatte man also freien Spielraum, die Kraft des letzten Mercedes-Benz aus dieser Klasse erreichte in der Spitze knapp 650 PS. 1938 - 1939

---

<sup>15</sup>Vgl. (Reuß 1999, S. 10)

<sup>16</sup>Vgl. (Reuß 1999, S. 10 f.)

<sup>17</sup>Vgl. (Reuß 1999, S. 12 f.)

<sup>18</sup>Vgl. (Reuß 1999, S. 12)

galt die 3-Liter-Formel für die Motoren, was die Dominanz der deutschen Hersteller nicht abreißen ließ.<sup>19</sup>

Die Europameisterschaften 1935, 1937 und 1938 gewann Rudolf Caracciola im Mercedes-Benz, 1936 Bernd Rosemeyer im Auto-Union und 1939 inoffiziell Hermann Lang ebenfalls im Mercedes-Benz. Der 3. September 1939 geht jedoch erneut als letzter Grand-Prix vor einer Zwangspause durch einen Krieg in die Geschichte ein. In Belgrad, beim Großen Preis von Jugoslawien, gewinnt der Italiener Tazio Nuvolari zwei Tage nach Beginn des Zweiten Weltkriegs in einem Fahrzeug der Auto-Union.<sup>20</sup> Der experimentelle Einsatz der Ingenieure hat die Forschung im Automobilbereich bereits in den 30er Jahren auf ein Maximum gebracht. Die Fahrzeugkonzepte und Entwicklungen aus dieser Zeit bilden den Grundstein für jedes Auto, das nach dem Krieg entwickelt wurde.

Die finale Phase im Automobilmotorsport vor der Gründung der Formel 1 begann am 9. September 1945 mit der ersten Großveranstaltung im Bois de Boulogne, einem Wald im 16. Arrondissement von Paris. Neben vier Motorradrennen fanden auch drei Autorennen statt, die nach verschiedenen Formeln ausgetragen wurden. Dabei kamen hauptsächlich italienische und französische Wagen zum Einsatz, die bereits vor dem Krieg konstruiert wurden. Die ehemaligen deutschen Spitzenreiter konnten auf derartige Ressourcen nicht mehr zurückgreifen. Die trotz Kriegsende politisch und völkisch angespannte Lage verunmöglichte die Teilnahme eines deutschen Teams gänzlich.<sup>21</sup>

Ab dem 21. Juli 1946 wurden mit dem „Grand Prix des Nations“ auch wieder Rennen der Formel Klassifizierung ausgetragen. Im Oktober 1947 wurde von der umbenannten FIA eine Neuheit eingeführt, die ohne den Krieg bereits im Jahr 1941 hätte gelten sollen: die Formel 1. Sie definierte die höchste Klasse des Motorsports und basierte auf den Regeln der Vorkriegsjahre. So durfte nur eine Person das Fahrzeug bedienen, welches entweder mit einem durch Kompressor aufgeladenen 1,5 Liter-Motor, oder mit einem herkömmlichen Saugmotor mit maximal 4,5 Litern Hubraum ausgestattet sein durfte.<sup>22</sup>

Das Leistungsspektrum der Fahrzeuge unterschied sich damals noch stark, mehr Leistung bedeutete nicht gleich das bessere Auto. Zuverlässigkeit und Sparsamkeit im Verbrauch konnten ebenso der Schlüssel zum Erfolg sein. Dementsprechend konnte ein Fahrzeug mit Saugmotor und wenig Leistung auch gegen leichtere, stärkere Fahrzeuge gewinnen, wenn es zum Beispiel nicht zum Tanken oder aufgrund technischer Probleme anhalten musste.<sup>23</sup> Es entwickelten sich dadurch

---

<sup>19</sup>Vgl. (Mercedes-Benz 2022)

<sup>20</sup>Vgl. (Reuß 1999, S. 14 f.)

<sup>21</sup>Vgl. (Reuß 1999, S. 18 f.)

<sup>22</sup>Vgl. (Reuß 1999, S. 21)

<sup>23</sup>Vgl. (Reuß 1999, S. 22)

schon früh drei Säulen der technologischen Entwicklung im Rennsport: Motorleistung, Zuverlässigkeit und Sparsamkeit. Die Forschung in diesen Segmenten wurde in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts durch die Kriege maßgeblich beeinflusst. Dass die Fahrzeuge der späten 40er Jahre noch dieselben waren, wie schon teilweise 10 Jahre zuvor, lässt eine Parallele vom Rennsport auf die gesamte Automobilentwicklung erkennen. Solange keine Rennen gefahren wurden, gab es auch keine maßgeblichen automobiltechnischen Neuerungen, die sich positiv auf die Gesamteffizienz von Fahrzeugen ausgewirkt haben.

Die Formel 1 etablierte sich in den folgenden Jahren zum Standard, unter dem Grand Prix ausgetragen wurden. Das aus den Erfahrungen der Vorkriegsjahre zusammengestellte Reglement ließ genug Spielraum für verschiedene Motor-, Fahrwerks- und Antriebskonzepte, um den Wettbewerb unterschiedlich und gleichzeitig spannend zu halten. Der Erfolg der neu entworfenen Formel und deren regelmäßige Anwendung mündeten 1950 in dem Entschluss, eine Fahrerweltmeisterschaft mit entsprechendem Punktesystem zu entwerfen. Der Begriff Formel 1 steht bis heute für diese Weltmeisterschaft.<sup>24</sup>

---

<sup>24</sup>Vgl. (Reuß 1999, S. 25)

### 3 Die FIA

Bevor die FIA mit der Formel 1 eine Motorsportweltmeisterschaft ins Leben gerufen hatte, war deren Beteiligung an den größten Rennveranstaltungen Europas keine Selbstverständlichkeit. Die Rennen wurden zwar vordergründig unter den Formeln dieser Organisation ausgetragen, man hielt sich jedoch die Möglichkeit offen, teilweise davon abweichen zu können, um beispielsweise das Startfeld mit weiteren Fahrzeugen zu füllen. Seit die FIA jedoch die Formel 1 Weltmeisterschaft betreibt, hat sie sich zu einer global agierenden Kraft entwickelt, die die Regeln und damit auch die Ziele des Motorsports in verschiedenen Klassen definiert. Neben der Formel 1 nehmen sie auch Einfluss auf Rallyemeisterschaften, Langstreckenrennen oder den Wettbewerb mit alternativ angetriebenen Fahrzeugen.<sup>25</sup>

Durch ihren Einsatz in verschiedenen Rennklassen bezeichnet sie sich heute selbst als den Schiedsrichter des Motorsports. Dazu gehört die strukturierte Organisation hunderter Veranstaltungen pro Jahr, die Spannung und Emotionen ebenso garantieren sollen wie die Sicherheit. In Bezug auf die Sportveranstaltungen stehen die Aufstellung von Regeln und damit die Verhängung von Strafen für Regelverstöße als auch die Durchsetzung des World-Anti-Doping-Codes im Vordergrund. Neben dem Motorsport setzt man sich ebenso für die allgemeine Mobilität auf den Straßen ein. Mit Hilfe der Erfahrungen der FIA möchte man einen Beitrag dazu leisten, Mobilität nachhaltig, sicher und für jeden zugänglich zu gestalten. Dieses Ziel wird durch Kampagnen verfolgt, die beispielsweise in Zusammenarbeit mit den Vereinten Nationen durchgeführt werden.<sup>26</sup>

Die Formel 1 ist dabei seit jeher das Aushängeschild der FIA. Die Organisation der Weltmeisterschaft mit den technisch anspruchsvollsten Fahrzeugen das heutige Wirken der FIA ermöglicht und die Königsklasse weist die erfolgreichsten Resultate auf. So gilt die Formel 1 durch das Wirken der FIA heute als eine der sichersten Rennserien, obwohl noch in den 1960ern jedes achte Rennen einem Fahrer das Leben kostete. Durch immer wieder verfügte Regeländerungen der FIA wird der Wettbewerb in der Königsklasse aufrechterhalten, und die Rennställe werden so konstant zu Neuentwicklungen und Konstruktionsänderungen bewegt. Das trägt dazu bei, dass eine allzu lang andauernde Dominanz eines Teams vermieden wird. Das wiederum hält die Spannung in der Rennserie und damit ihre Attraktivität aufrecht. Außerdem treibt es den Entwicklungsehrgeiz der Ingenieure auf höchstem Niveau weiter an. Durch die auf die Formel 1 übertragenen Ziele der FIA, die Mobilität zu perfektionieren, dienen die Anstrengungen und Erfolge der F1-Entwicklungsteams also nicht nur dem Motorsport, sondern auch allen Verkehrsteilnehmern weltweit.<sup>27</sup>

---

<sup>25</sup>Vgl. (FIA 2022)

<sup>26</sup>Vgl. (FIA 2022)

<sup>27</sup>Vgl. (FIA 2022)

## 4 Die Geschichte der Formel 1

Die Geschichte der Formel 1 wurde durch die Vorgaben der FIA geschrieben. Die aktuellen Ziele des Verbandes haben sich jedoch erst im Laufe der Zeit entwickelt. Ursprünglich definierten die Sicherheit und der einheitliche Wettbewerb die Aufgabenfelder. Immer wieder mussten die Verantwortlichen auch die Attraktivität und damit die Zuschauerzahlen hochhalten. Um das zu erreichen, haben sich größere Regeländerungen bewährt. Die dadurch entstehenden neuen Herausforderungen auf unterschiedlichen Segmenten wie dem Motorenbau, der Aerodynamik oder der Sicherheit haben die Kräfteverteilung zwischen den Teams verschoben. Der Wettbewerb blieb spannend und die Forschung musste sich neu ausrichten. Die Formel 1 bietet demnach konstant den höchsten und neuesten Stand der Technik. Die maßgeblichen Änderungen unterteilen das Geschehen außerdem in einzelne Zeitabschnitte, in die man die Geschichte der Formel 1 gliedern kann.

### 4.1 Die Formel 1 1950 - 1954

Die erste Formel 1-Saison startete am 13. Mai 1950 in Silverstone (England) und es wurden insgesamt sieben Rennen ausgetragen. Dazu gehörte auch das Indy 500 in Amerika; der einzige Grand Prix, der in diesem Jahr außerhalb Europas stattgefunden hat. Ebenso war dieses Rennen das einzige, bei dem kein Pilot des Alfa Corse Teams den ersten Platz belegen konnte.<sup>28</sup> Über die restliche Saison hinweg war das dazugehörige Auto, ein Alfa Romeo Tipo 158 (auch „Alfetta“ genannt), das Maß aller Dinge. Die einzige Konkurrenz entstand im Lauf der Saison durch das Ferrari-Team, das im ersten Rennen jedoch noch nicht teilgenommen hatte, um die Entwicklung abschließen zu können. Gegenüber den aufgeladenen Reihen-Achtzylindern von Alfa, versuchte es das Team aus Maranello mit 12 Zylindermotoren, die zum letzten Rennen der Saison ca. 330 PS mobilisieren konnten. Allerdings erreichten die Alfa Romeos zu diesem Zeitpunkt bereits knapp 370 PS und die Motoren waren zuverlässiger als die von Ferrari. Der einzige Nachteil des Tipo 159, einem weiterentwickelten Tipo 158, der im letzten Rennen 1950 zum Einsatz kam, war der hohe Verbrauch von 150 Litern Spezialtreibstoff auf 100 Kilometer, wodurch viel Zeit beim Nachtanken verloren ging.<sup>29</sup>

Die erste Saison der Formel 1 wurde von Giuseppe Farina im Tipo 158/159 gewonnen, der mit 30 Meisterschaftspunkten vor dessen Teamkollege Juan Manuel Fangio mit 27 Punkten den ersten Platz belegte. In der Folgesaison konnten die Ferrari die Lücke zu den Alfa Romeos zwar schließen, dennoch belegte Fangio den

---

<sup>28</sup>Vgl. (Formula 1 2022a)

<sup>29</sup>Vgl. (Reuß 1999, S. 29 f.)

ersten Platz in der Weltmeisterschaft, sechs Zähler vor Alberto Ascari im Ferrari.<sup>30</sup> Dabei wurde am 29. Juli 1951 auf dem Nürburgring der große Preis von Deutschland ausgetragen, nachdem deutsche Fahrer und Veranstalter zuvor wieder in die internationale Motorsportgemeinschaft aufgenommen worden waren.<sup>31</sup>

Noch bevor die Saison 1952 beginnen sollte, zog sich das Alfa Corse Team aus der Formel 1 zurück. Die Alfettas, die bis dato auf der Technik der Vorkriegsjahre basierten, hatten ausgedient und eine Neukonstruktion konnte aus finanzieller Sicht nicht realisiert werden. Die Formel 1 befand sich nun in einer ersten Krise, da auch andere Teams keine Mittel zur Verfügung hatten, um einen Angriff auf die Spitze finanzieren zu können. Die FIA war also kurzfristig gezwungen, die Regeln anzupassen, weil nicht genug Fahrzeuge für die Rennen zur Verfügung standen. Da das Formel 1 Reglement für das Jahr 1954 bereits angepasst wurde, überbrückten die Organisatoren die folgenden beiden Saisons, indem ein Großteil der Rennen für die Formel 2 ausgeschrieben wurde.<sup>32</sup>

Dadurch war der Hubraum der Fahrzeuge auf maximal 2 Liter begrenzt und das Startfeld konnte mit neuen Teams gefüllt werden. Die Möglichkeit, einen aufgeladenen Motor mit 750 Kubikzentimetern zu verbauen, wurde nicht genutzt.<sup>33</sup> Mit der Formel 2 gelang es den Betreibern, das Renngeschehen aufrecht zu erhalten. Die Fahrzeuge, die bis zu 170 PS mobilisierten und die von verschiedenen Herstellern wie Simca (Frankreich), Coopers (England) oder Veritas (Deutschland) angeboten wurden, sollten vor allem den Wettbewerb ankurbeln. Trotz des breiten Angebots entwickelte sich jedoch eine neue Erfolgsserie. Alberto Ascari dominierte seine Gegner im Ferrari Tipo 500 und gewann beide Weltmeisterschaften, gefolgt von drei weiteren Ferrari-Fahrern, die in der Saison 1953 nur vom Ausnahmetalent Juan Manuel Fangio in einem Maserati auf Platz zwei geschlagen wurden.<sup>34</sup>

## 4.2 Die Formel 1 1954 - 1961

Mit der neu definierten Formel 1, die ab der Saison 1954 zum Einsatz kam, erlaubte man den Konstrukteuren, einen Motor mit 2,5 Litern in ihren Rennwagen zu verbauen. Die Formel 2 Rennen konnten die Attraktivität der Rennserie zwar aufrechterhalten, sie waren leistungstechnisch jedoch erheblich schwächer und dadurch auch langsamer. Durch diese Regeländerung konnten die Startfelder wieder mit Fahrzeugen besetzt werden, die den Ansprüchen der Formel 1 entsprachen. Denn sowohl Mercedes-Benz als auch Lancia und Maserati hatten sich mit neuen Fahrzeugen auf die Regeländerung vorbereitet. Dennoch standen zum Beginn der

---

<sup>30</sup>Vgl. (Formula 1 2022b)

<sup>31</sup>Vgl. (Reuß 1999, S. 38)

<sup>32</sup>Vgl. (Reuß 1999, S. 40 f.)

<sup>33</sup>Vgl. (De Groot, F1 rules and stats 1950-1959 2009a)

<sup>34</sup>Vgl. (Reuß 1999, S. 41 ff)

Saison am 17. Januar in Argentinien nur Autos von drei verschiedenen Herstellern zur Verfügung. Neben sechs Ferraris und sieben Maseratis gingen noch drei Gordinis an den Start, da Mercedes und Lancia ihre Entwicklung noch nicht abgeschlossen hatten.<sup>35</sup> Der Erstplatzierte Juan Manuel Fangio stand für die Saison zwar bei Mercedes unter Vertrag, kaufte sich jedoch einen Maserati 250 F, um von Anfang an teilnehmen zu können. Auf diese Möglichkeit griffen im Lauf des Jahres auch die Lancia Werksfahrer zurück, da die Weltmeisterschaftspunkte noch nicht den Konstrukteuren, sondern nur den Fahrern angerechnet wurden.<sup>36</sup>

Lancia schaffte es erst zum letzten Saisonrennen, sein neues Auto bereitstellen zu können. Mercedes hingegen trat zum vierten Meisterschaftsrennen in Frankreich erstmals an und konnte mit ihrem untypisch aussehenden Stromlinienfahrzeug die ersten beiden Plätze belegen. Fangio gewann weitere drei von fünf verbleibenden Rennen im Mercedes und wurde ein zweites Mal Weltmeister.<sup>37</sup>



**Abbildung 2** Startfeld zum Großen Preis von Frankreich am 4. Juli 1954

(<https://img.speedweek.com/i/e/e9d1c9b9fbff45d685cb81793d9ef951.jpg?preset=i750>)

Die Silberpfeile gab es in zwei unterschiedlichen Versionen für unterschiedliche Strecken, eine Praktik, die im Rahmen der bestehenden Regeln bis heute üblich ist.

<sup>35</sup>Vgl. (Formula 1 2022c)

<sup>36</sup>Vgl. (Reuß 1999, S. 48 ff)

<sup>37</sup>Vgl. (Formula 1 2022c)

1954 bedeutete dies eine vollverkleidete, aerodynamischere Version für Hochgeschwindigkeitskurse und eine Version mit freistehenden Rädern für langsamere, kurvenreichere Strecken. Auch in anderen Bereichen der Technik setzten die Mercedes neue Maßstäbe.

Die technische Überlegenheit der Mercedes konnte in der Saison 1955 durch den nun fertig konstruierten Lancia D50 reduziert, aber nicht eliminiert werden. Die Fahrzeuge hatten noch diverse Mängel, die erst im Rennbetrieb erkannt und behoben werden konnten. Demnach gelang es Juan Manuel Fangio in seinem überarbeiteten Mercedes W196, die Weltmeisterschaft zum insgesamt dritten Mal zu gewinnen. Das Jahr 1955 kostete allerdings vielen Rennfahrern und auch Zuschauern das Leben. So starb zum Beispiel der zweimalige Weltmeister Alberto Ascari, der in dieser Saison für Lancia fuhr, beim Test eines Ferraris. Diese Tragödie sowie finanzielle Probleme hatten den Ausstieg des Lancia-Teams aus der Formel 1 zur Folge, die ihre D50-Modelle dem Ferrari-Team überließen. Mercedes bereitete sich ebenfalls schon während der Saison auf ihren Ausstieg vor, nachdem sie ihre Überlegenheit im Motorsport ein weiteres Mal manifestiert hatten. Neben der Formel 1 konnte das Team aus Untertürkheim 1955 auch die Sportwagen-WM und Tourenwagen-EM gewinnen.<sup>38</sup> „Juan Manuel Fangio wird sagen, daß [sic!] der Autokonzern in zwei Jahren Renneinsatz soviel [sic!] technische Erkenntnisse für den Serienbau gesammelt hat, wie dies nicht einmal bei zehnjährigen Versuchsreihen in der Untertürkheimer Entwicklungsabteilung möglich gewesen wäre.“<sup>39</sup> Dass der Ausstieg aus der Formel 1 sicher keine falsche Entscheidung war, wird sich noch vor Ende der Formel 1 Saison 1955 bestätigen.

#### **4.2.1 Le Mans 1955**

Die Fahrer der Formel 1 beteiligten sich in den frühen Jahren auch an anderen renommierten Rennveranstaltungen wie der Mille Miglia in Italien oder den 24 Stunden von Le Mans in Frankreich. So startete auch am 11. Juni 1955 ein Großteil der Formel 1 Piloten rund um Juan Manuel Fangio zum 24 Stunden-Rennen der Sportwagen-WM in Le Mans. Etwas mehr als zwei Stunden nach Start kommt es zu einem verheerenden Unfall, der 81 Menschen das Leben kosten wird. Im Kampf um die Führung vergisst der Jaguar-Pilot Mike Hawthorn, rechtzeitig die Boxengasse anzusteuern und leitet eine Vollbremsung auf der Start- und Zielgeraden ein. Dessen Hintermann Lance Macklin kann noch ausweichen, begibt sich dadurch jedoch in die Spur des französischen Mercedes-Piloten Pierre Levegh, der bereits mit über 200 km/h auf ihn zukommt. Levegh kann den Aufprall nicht mehr verhindern, schafft es jedoch noch seinen Teamkollegen Fangio durch ein Handsignal zu warnen, was

---

<sup>38</sup>Vgl. (Reuß 1999, S. 61 ff)

<sup>39</sup> (Reuß 1999, S. 65)

diesem das Leben gerettet hat. Der Mercedes des Franzosen wiederum kollidierte und wird durch die Kollision in die voll besetzte Haupttribüne geschleudert. Das Rennen wird dennoch fortgesetzt, im Nachhinein ermitteln Polizei und Staatsanwaltschaft. Es kam zu keiner Anklage, jedoch wurden die Formel 1 Läufe in Frankreich, Deutschland und Spanien abgesagt.<sup>40</sup> Die Schweizer Regierung ging noch einen Schritt weiter, indem sie jegliche Motorsportaktivitäten innerhalb ihrer Grenzen verbot,<sup>41</sup> wodurch nur noch drei weitere Rennen der Formel 1 Saison 1955 ausgetragen wurden. Die Sicherheit der Zuschauer wurde in der Formel 1 nun ernster genommen, sodass unter anderem einige Straßenkurse nicht mehr stattfinden sollten. Die Sicherheitsstandards auf der Strecke sollten sich deswegen allerdings noch nicht verbessern.

#### **4.2.2 Die Saisons 1956 - 1961**

Die folgenden Jahre der Formel 1 wurden weiterhin von tödlichen Unfällen getrübt. Der Fortschritt in der Entwicklung hatte zur Folge, dass die Fahrzeuge immer leichter, stärker und schneller wurden. Die Zuverlässigkeit und die Kontrollierbarkeit der Autos hatten sich jedoch gleichzeitig verschlechtert. Dadurch erhöhte sich sowohl das Risiko als auch (durch die höheren Geschwindigkeiten) das Ausmaß von Unfällen. Der Ehrgeiz der Entwickler hatte nicht immer positive Folgen für die Fahrer, die am Steuer der Prototypen ihr Leben riskierten. Heutzutage weiß man, dass der Tod im Rennsport kein kalkulierbares Risiko sein muss. Zur damaligen Zeit hat dieses Risiko jedoch gegolten und die Todesopfer wurden vom Großteil der Beteiligten zwar bedauert aber auch in vielen Fällen als ein Teil des Sports hingenommen.<sup>42</sup>

Ungeachtet der Probleme im Bereich der Sicherheit, holte sich Juan Manuel Fangio 1956 im Ferrari und 1957 im Maserati die beiden folgenden Weltmeisterschaften. 1958 wurde dann erstmals eine Weltmeisterschaft für die Konstrukteure ausgeschrieben. Mike Hawthorn hatte im Ferrari die Fahrerwertung gewonnen, während das englische Team Vanwall der erste Konstrukteursmeister der Formel 1 wurde. Im Jahr 1959 versuchte man erstmals, die Sicherheit in der Formel 1 zu erhöhen, indem man die Regeln für die Saison 1961 änderte. Laut der Commission Sportive Internationale wurden die Fahrzeuge zu stark und zu schnell, sodass der Hubraum in Zukunft wieder auf 1,5 Liter reduziert werden sollte.<sup>43</sup>

Die Entwicklungsteams nutzten die verbleibende Zeit bis zur Motorenumstellung, indem manche von ihnen ein neues Fahrzeugkonzept erprobten. Bereits 2 Jahre

---

<sup>40</sup>Vgl. (Reuß 1999, S. 63 f.)

<sup>41</sup>Vgl. (White 2007, S. 42)

<sup>42</sup>Vgl. (Reuß 1999, S. 82)

<sup>43</sup>Vgl. (Reuß 1999, S. 86)

zuvor hatte das Cooper Climax Team die ersten Versuche unternommen, den Motor hinter dem Fahrer zu positionieren. Dadurch ließen sich aerodynamischere Fahrzeuge konstruieren, die weniger wogen und eine bessere Straßenlage hatten. Nachdem man die anfänglichen technischen Mängel dieser Fahrzeuge bis zum Jahr 1959 beheben konnte, erlangte Cooper Climax und deren Fahrer Jack Brabham die Fahrer- und Konstrukteursmeisterschaft 1959 und 1960.<sup>44</sup>

### 4.3 Die Formel 1 1961 - 1965

Die neue Hubraumbegrenzung, die ab der Saison 1961 in Kraft trat, galt zuvor für die Formel 2 und es wurde zusätzlich eine Untergrenze für das Fahrzeuggewicht von 450 kg festgelegt.<sup>45</sup> Für die Konstrukteure, die ihre Motoren unter Anwendung der neuen Regeln fast ausschließlich im Heck verbauten, bedeutete die Umstellung wiederum neue Herausforderungen. Durch die schwächeren Motoren, die schon in der anderen Rennserie angewendet wurden, verlagerte sich der Fokus weg von der Motorenleistung und hin zu Aerodynamik, Leichtbau und Straßenlage. Durch die neuen Fahrzeugkonzepte gelang es den Konstrukteuren, mit den über 100 PS schwächeren Motoren, Rundenzeiten zu erzielen, die nur weniger als eine Sekunde langsamer waren als in den vorangegangenen Meisterschaften.<sup>46</sup> Ein Beispiel für die neuen Mittelmotorrennwagen gibt Abbildung 3:



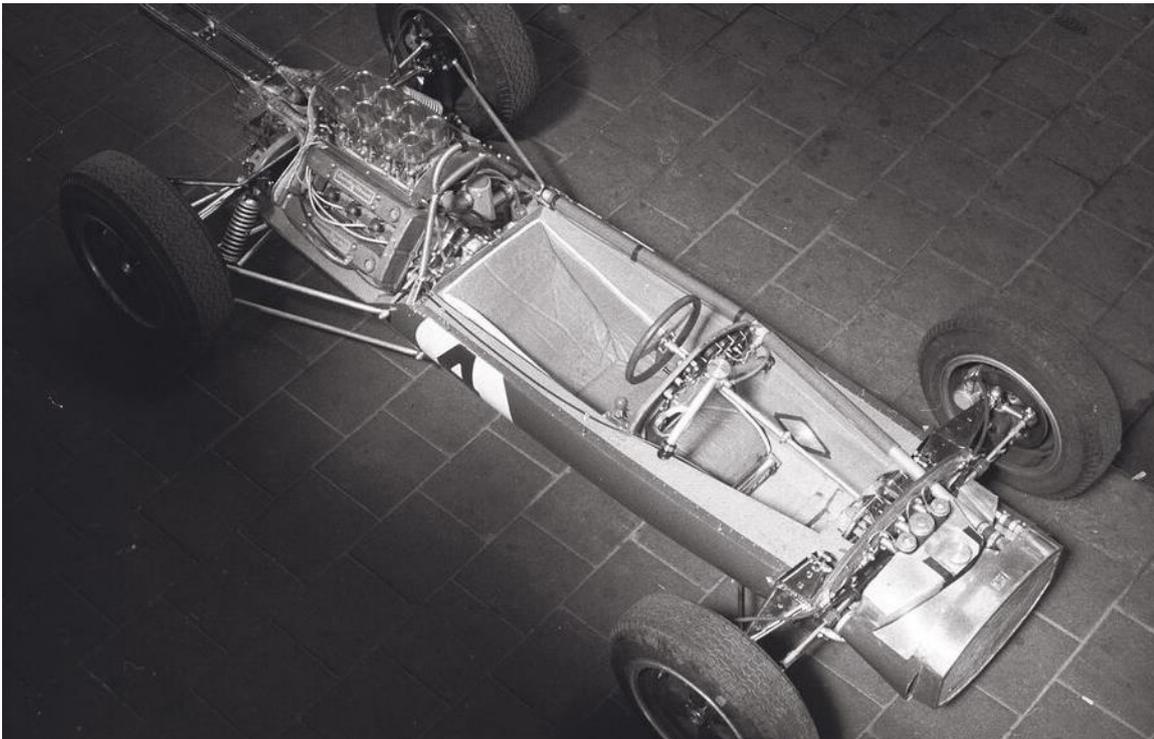
**Abbildung 3** Das Weltmeisterauto 1961 mit Mittelmotor: Ferrari Tipo 156  
([https://img-new.cgtrader.com/galleries/4334/large\\_702c68d2-eb1b-4a2e-b4ec-553fc176e91c.jpg](https://img-new.cgtrader.com/galleries/4334/large_702c68d2-eb1b-4a2e-b4ec-553fc176e91c.jpg))

<sup>44</sup>Vgl. (Reuß 1999, S. 86 ff)

<sup>45</sup>Vgl. (De Groot, F1 rules and stats 1960-1969 2009b)

<sup>46</sup>Vgl. (Reuß 1999, S.100 f.)

Ein Fahrzeug mit Frontmotor wird es nach der Saison 1961 nie wieder geben. Die neuen Regeln haben Ferrari kurzzeitig wieder den Weg an die Spitze freigemacht. Phil Hill und Ferrari werden Weltmeister, die Nummer zwei des Rennstalls, Wolfgang Graf Berghe von Trips, kommt am 10. September beim GP in Monza mit 13 Zuschauern ums Leben. In der Saison 1962 fährt das erste Mal ein Auto (der Lotus 25) mit sogenanntem Monocoque in der Formel 1, auch diese Neuheit im Fahrzeugbau wird sich in der Königsklasse etablieren.<sup>47</sup> Abbildung 4 zeigt dieses erste Monocoque mit bereits eingebautem Motor, der seinerseits die tragende Struktur für die Hinterachsaufhängung ist:



**Abbildung 4** Der Lotus 25 von 1962 in Monocoque-Bauweise

(<https://imgr1.auto-motor-und-sport.de/Lotus-25-Rohrrahmen-169Gallery-6428b44b-616808.jpg>)

Der Lotus 25 entfaltet sein Potenzial in der folgenden Saison. Die vorher üblichen Gitterrohrrahmen zeigten Defizite gegenüber dem neuen Konzept, da sie weniger steif und somit instabiler in der Straßenlage waren als die aus Aluminiumplatten zusammengeschweißten Monocoques. Das dominierende Lotus Climax Team wird 1963 und 1965 Weltmeister mit Jim Clark, der in dieser Zeitspanne nur durch Defekte am Sieg gehindert werden konnte. 1964 sind es abermals die Ferraris, die das nötige Glück hatten und mit John Surtees als Fahrer den ersten Platz belegen. Für das Jahr 1966 hatte man die nächste Regeländerung vorgesehen: die Königsklasse des Motorsports wurde ihrem Namen mit Fahrzeugen, die nur knapp

---

<sup>47</sup>Vgl. (Reuß 1999, S. 107)

mehr als 200 PS besaßen, nicht mehr gerecht. Bis zu 3 Liter Hubraum durften die Motoren von nun an besitzen. Alternativ konnten auch wieder aufgeladene Motoren mit bis zu 1,5 Litern verbaut werden, das Fahrzeuggewicht durfte 500 kg nicht überschreiten.<sup>48</sup>

#### 4.4 Die Formel 1 1966 - 1988

Das neue Reglement wird sich über Jahre hinweg bewähren. Bei einem konstanten Einsatz von Saugmotoren in den ersten 10 Jahren, hatte sich die Formel 1 zu einem Sportereignis weiterentwickelt, welches immer mehr an medialer Aufmerksamkeit gewonnen hat. Sponsorenverträge schafften den Teams Anfang der 70er Jahre mehr finanzielle Freiheit, was sich in der Entwicklung bemerkbar macht. Die zigarrenförmigen Formel 1-Fahrzeuge wurden erstmals 1968 mit Tragflächen ausgestattet, die den Anpressdruck erhöhen und das Auto dadurch kontrollierbarer und in den Kurven schneller machen können. Aus dem neuen Versuchsfeld der Aerodynamik entstanden die verschiedensten Konzepte, die Monocoque-Bauweise entwickelt sich dabei zum Standard.<sup>49</sup>

Die Diversität unter den Fahrzeugen mit immer neuen Ansätzen und Lösungen führte dazu, dass die Rennställe schnell reagieren mussten. Neue Teile wurden zwar im Training getestet, im Rennen waren sie dennoch anderen Bedingungen ausgesetzt. Das führte zu diversen Unfällen, zum Beispiel als dem Lotus-Team innerhalb weniger Runden die Heckflügel beider Fahrzeuge bei Tempo 240 abgerissen sind, was zu schweren Unfällen führte.<sup>50</sup> In Abbildung 5 ist die unzulängliche und augenfällig zu schwache Befestigung der Flügel erkennbar. Zum Jahr 1969 wurde das Tragen von Sicherheitsgurten zur Pflicht und ab 1970 hatte jedes Fahrzeug Feuerlöscher an Bord.<sup>51</sup> Die Sicherheit der Fahrer konnte nicht länger vernachlässigt werden, die damals als vielversprechend gesehene Maßnahmen konnten den Sport jedoch noch nicht wirklich sicherer machen. Der österreichische Fahrer Jochen Rindt hatte 1970 posthum die Weltmeisterschaft gewonnen, nachdem er 3 Rennen vor Saisonabschluss beim GP von Monza ums Leben kam.<sup>52</sup>

---

<sup>48</sup>Vgl. (Reuß 1999, S. 122 f.)

<sup>49</sup>Vgl. (Reuß 1999, S. 130 ff)

<sup>50</sup>Vgl. (Reuß 1999, S. 137)

<sup>51</sup>Vgl. (De Groot, F1 rules and stats 1960-1969 2009b)

<sup>52</sup>Vgl. (Reuß 1999, S. 146)



**Abbildung 5** Ein Beispiel aerodynamischer Prototypen: der BRM P 138 mit zwei Tragflächen

(<https://i.pinimg.com/originals/15/41/a5/1541a55ba2b7c45f2c1a6939f05c04be.jpg>)

Im Jahr 1973 folgte die nächste Sicherheitsmaßnahme, die verformbare Tanks zur Pflicht machte und das Mindestgewicht der Fahrzeuge auf 575 kg erhöhte.<sup>53</sup> Durch diese Vorgaben und durch immer breitere, besser haftende Reifen setzte sich das Fahrzeuglayout durch, welches auch heute noch gilt. Der Tyrrell-Rennstall hatte 1976/77 noch ein Konzept mit sechs Rädern an den Start gestellt, welches jedoch keinen Erfolg hatte.<sup>54</sup> Seitdem sind vier freistehende Räder mit zwischenliegenden Seitenkästen sowie ein Front- und Heckflügel Standard für Formel 1 Autos.

Das Anbauen von Seitenkästen ergab sich zunächst aus weiteren Vorgaben bezüglich der Tanks. Allerdings entwickelte sich 1977 daraus das Wing Car Konzept, bei welchem durch bewegliche Schürzen an den Seitenkästen Unterdruck unterhalb des Fahrzeugs aufgebaut wird, um dieses zusätzlich an die Straße zu pressen und höhere Kurvengeschwindigkeiten zu erreichen. Eine weitere Idee, die das Auto zwar schneller, aber ebenso unberechenbarer und gefährlicher machte.<sup>55</sup> Zu Beginn der Saison 1981 wurden die beweglichen Schürzen verboten und das Fahrzeug musste mindestens 60 Millimeter über der Straße liegen. Die Ingenieure fanden wiederum einen Weg, das Wing-Car Konzept weiterzuführen, indem die Fahrzeuge nach den Kontrollen durch hydropneumatische Radaufhängungen abgesenkt werden konnten,

<sup>53</sup>Vgl. (De Groote, F1 rules and stats 1970-1979 2009c)

<sup>54</sup>Vgl. (Codling, Mann und Murray 2014, S. 106 ff)

<sup>55</sup>Vgl. (Reuß 1999, S. 192)

um im Rennen weiterhin Unterdruck zu erzeugen.<sup>56</sup> Diese Konstruktion markiert den ersten Schritt hin zu aktiven Radaufhängungen, die ab 1987 zum Einsatz kamen.<sup>57</sup>

Gleichzeitig arbeitete das Renault Werksteam seit 1977 daran, aufgeladene 1,5-Liter Motoren einzusetzen, die den Ansaugdruck über einen Abgasturbolader erzeugen. Das Potenzial dieser Motoren war von Beginn an hoch, doch deren Erfolg wurde durch ebenso hohe Unzuverlässigkeit gebremst. Erst im Jahr 1979 gewann erstmals ein Turbofahrzeug einen Grand Prix, 1982 gewann Keke Rosberg in einem Williams die vorerst letzte Weltmeisterschaft mit einem Saugmotortriebwerk. 1984 musste nur noch ein einziges Team unfreiwillig auf Saugmotoren setzen, während die Konkurrenz bereits Leistungswerte von weit über 1000 PS mobilisierte.<sup>58</sup> Die Entwicklungsteams mussten erneut eingebremst werden. Eine sicherheitsbedingte Leistungssenkung sollte erreicht werden, als in diesem Jahr ein Tanklimit von zunächst 220 Litern und bis zur Saison 1988 von 150 Litern pro Rennen festgesetzt wurde. Dadurch wurden auch Materialeinsparung und Effizienz bereits in dieser Zeit erstmals ein Thema, mit dem sich die Formel 1- Ingenieure ernsthaft befassen mussten.<sup>59</sup>

Das immer ausgeprägtere Regelwerk schien sich ab der Saison 1983 zu bewähren. Im Vorjahr kam es noch zu diversen schweren Unfällen, die zweimal tödlich endeten. Danach gewann die Formel 1 den Status als eine der sichersten Rennsportserien, die es zu dieser Zeit gab und bis zum Jahr 1994 bezahlte nur ein weiterer Fahrer 1986 seinen Einsatz in der Formel 1 mit dem Leben. Einen erheblichen Beitrag zu dieser Statistik leistete die Anwendung von Kohlefaserwerkstoffen im Fahrzeugbau. Die mit diesem Material hergestellten Monocoques galten als nahezu unzerstörbar und konnten bei diversen Unfällen das schlimmste verhindern. Das revolutionäre Material kam 1981 erstmals bei McLaren zum Einsatz. Es verspricht sowohl Leichtbau als auch Steifigkeit in höchstem Maß und setzt sich nur aus finanziellen Gründen nicht direkt bei allen Teams durch. Die Verantwortlichen unterstützten mit der Einführung von Crashtests für Monocoques im Jahr 1985 die Anwendung von Carbon bei finanziell schwächeren Teams, sodass bald kein Auto mehr mit den herkömmlichen Aluminium-Monocoques gefahren ist.<sup>60</sup>

Die Tanklimits, die die Turbomotoren ausbremsen sollten, haben sich negativ auf die Formel 1 Rennen ausgewirkt. Oft blieben die Fahrzeuge mit leeren Tanks liegen, da die Überwachung der Benzinmenge fehlerhaft war. Zwar gab es bereits computergesteuerte Systeme, mit denen die Teams den Fahrer und dessen Auto überwachen konnten, ihre Funktionalität ließ im frühen Entwicklungsstadium jedoch

---

<sup>56</sup>Vgl. (Reuß 1999, S. 220)

<sup>57</sup>Vgl. (Reuß 1999, S. 276)

<sup>58</sup>Vgl. (Reuß 1999, S. 194 ff)

<sup>59</sup>Vgl. (De Groot, F1 rules and stats 1980-1989 2009d)

<sup>60</sup>Vgl. (Reuß 1999, S. 222 ff)

noch zu wünschen übrig. Allerdings erfanden die Lotus-Ingenieure 1987 durch die neuen technischen Mittel eine sogenannte aktive Radaufhängung, die computergesteuert den Abstand zwischen Fahrzeug und Rennstrecke in Echtzeit regulieren konnte, um das Auto für jeden Streckenabschnitt auf der bestmöglichen Höhe zu halten. Die Digitalisierung hatte auch in den Formel 1 Fahrzeugen Einzug gehalten, während die vierte industrielle Revolution weltweit ins Rollen kam.<sup>61</sup>

Dieser Wandel änderte aber die Tatsache nicht, dass die FIA den Turbomotoren ein Ende bereiten wollte, weil die Leistungswerte weiterhin als zu stark eingestuft wurden. 1987 hat man das Hubraumlimit für Saugmotoren auf 3,5 Liter angehoben, die Turbos blieben jedoch bis zur Saison 1989 die einzige Möglichkeit, ein Rennen zu gewinnen. Von diesem Zeitpunkt an waren wieder lediglich Saugmotoren erlaubt, die weiterhin maximal 3,5 Liter Hubraum besitzen durften. Die Turbo-Ära der Formel 1, in der rückblickend die gesamte Technik des Automobils einen bemerkenswerten Schritt machen konnte, fand ein Ende. Doch das Rennfahren und die Entwicklung in allen Bereichen riss nicht ab. Spannende Titelnkämpfe sowie die beeindruckenden Fahrzeuge machten die Formel 1 endgültig zu einem Sportereignis von globalem Interesse und somit zu einem Geschäftsfeld, das auch für Millioneninvestitionen lukrativ erschien.<sup>62</sup>

## **4.5 Die Formel 1 1989 - 1994**

Für die neue Motorengeneration in der Formel 1 blieb die Kombination aus Sparsamkeit, Kraft und Zuverlässigkeit der Schlüssel zum Erfolg. Neben den Motoren mussten die Fahrzeuge allerdings auch andere Parameter wie beispielsweise die Aerodynamik, die Zuverlässigkeit und das Fahrwerk berücksichtigen, um Rennen zu gewinnen. Mit der neu regulierten Saison 1989 brachte der Ferrari-Rennstall eine Neuheit auf die Strecke, die sich wie so viele andere Entwicklungen jedoch nicht auf Anhieb durchsetzen konnte und dem Team keinen Titel bescherte, bevor es sich auch bei der Konkurrenz etablierte. Das neue halbautomatische Getriebe, bei dem der Schaltvorgang über Wippen am Lenkrad vorgenommen werden konnte, erwies sich in Kombination mit der dazugehörigen Elektronik noch nicht als reif genug, um die Renndistanz zuverlässig zu bestehen. Wenn es jedoch funktionierte, konnte kein Fahrer die Schaltzeiten schlagen, die damit erreicht wurden. Bei einem Rennen mit 4000 Schaltvorgängen konnte man eine Zeiteinsparung von ca. 20 Sekunden erreichen, weshalb die halbautomatischen Getriebe bis zur Mitte der 90er Jahre in allen Formel 1-Autos Einzug erhielten.<sup>63</sup>

---

<sup>61</sup>Vgl. (Reuß 1999, S. 270 ff)

<sup>62</sup>Vgl. (Reuß 1999, S. 276 ff)

<sup>63</sup>Vgl. (Reuß 1999, S. 287 ff)

Der Fortschritt der elektronisch gesteuerten, teils digitalen Technik der Rennwagen brachte den Teams an anderer Stelle einen noch größeren und somit entscheidenden Wettbewerbsvorteil. 1992 hatte das Williams-Team die fünf Jahre zuvor eingesetzte Technik der aktiven Radaufhängung so weiterentwickeln können, dass die Autos zuverlässig in der richtigen Position gehalten wurden. Dadurch wurde es möglich, Kurven mit Vollgas zu fahren, wo dies vorher nicht möglich war. Dabei hatten die Triebwerke trotz aller Vorgaben mittlerweile weit über 700 PS Leistung. Das Gefahrenpotenzial wurde dementsprechend kaum reduziert, aber die Kohlefaser-Monocoques gewährten den Fahrern bei diversen Hochgeschwindigkeitsunfällen weiterhin ausreichend Schutz.<sup>64</sup>

1993 wurden die computergesteuerten Fahrhilfen beispielsweise durch Anti-Blockier-Systeme, Traktionskontrollen oder Vierradlenkung erweitert. Im Williams-Rennstall funktionierten derartige Systeme am besten, wodurch sich eine erneute Dominanz aufbaute.<sup>65</sup> Der Eingriff auf das Fahrverhalten gefiel jedoch nicht allen Beteiligten der Formel 1, Stimmen wurden laut, dass bald auch die Fahrer durch Computer ersetzt werden würden. Außerdem wurde die Lücke zwischen den finanzstarken Rennställen mit der modernsten Technik und ihrer hinterherschauenden Konkurrenz zu groß.<sup>66</sup> Deshalb einigte man sich für die Saison 1994 darauf, die Fahrhilfen zu verbieten, dafür wurden Tankstopps wieder eingeführt, um die Rennen strategischer und spannender zu gestalten.<sup>67</sup>

#### **4.5.1 Imola 1994**

Die diversen Regeländerungen beendeten eine sehr kurze Epoche der Volldigitalisierung im Fahrzeug, doch wurde diese dadurch nicht wirklich aufgehalten. Ein Jahr später, zur Saison 1995, änderte man erneut das Motorenreglement, auf welchem die Formel 1 in ihrer Urform beruht und dessen Auslegung die verschiedenen Phasen unterteilt. Die Änderung ist auf eine Serie verheerender Unfälle zurückzuführen, die sich 1994 in Imola (Italien) ereigneten. Am Samstag hatte der österreichische Fahrer Roland Ratzenberger einen Unfall nicht überlebt, nachdem er bei über 300 km/h die Kontrolle über sein Auto verlor. Das Rennen am Sonntag fand wie gewohnt statt. Schon beim Start kam es jedoch erneut zu einem Unfall, bei dem neun Zuschauer durch umherfliegende Teile verletzt wurden. Kaum wurde das Rennen fortgesetzt, kam es zu einem weiteren Unfall auf der Strecke, bei dem der dreimalige Weltmeister Ayrton Senna mit über 250 km/h in eine Betonwand krachte. Kurze Zeit nach dem Rennen wurde er offiziell für tot erklärt, nachdem es in der Boxengasse zu noch einem Unfall gekommen war, der vier Mechaniker schwer

---

<sup>64</sup>Vgl. (Reuß 1999, S. 295 ff)

<sup>65</sup>Vgl. (Reuß 1999, S. 299)

<sup>66</sup>Vgl. (Tremayne 2001, S. 9 f.)

<sup>67</sup>Vgl. (Reuß 1999, S. 299)

verletzte. Der mediale Aufruhr war enorm, die Formel 1 wurde in der folgenden Imagekrise zum Handeln gezwungen. Die Motorleistung wurde umgehend gedrosselt, auch auf die Aerodynamik nahm man Einfluss. Zur Saison 1995 durften die Motoren wieder nur noch maximal 3 Liter Hubraum besitzen und das Thema Sicherheit bekam wieder die nötige Aufmerksamkeit.<sup>68</sup>

#### **4.6 Die Formel 1 1995 - 2005**

Die Formel 1 Autos besaßen zum Beginn der Saison 1995 80 bis 90 PS weniger und der Abtrieb hatte sich um fast 17-19% reduziert, während die Autos mitsamt Fahrer mindestens 595 kg wiegen durften, statt 515 kg ohne Fahrer. Das Geschäft in der Formel 1 florierte, 1996 verfolgten zusammengerechnet über 40 Milliarden Menschen die Grand Prix der Königsklasse. Die Teams konnten ihre gewonnenen Ressourcen gut investieren, bis zur Saison 1997 hatte man die Leistungswerte der Fahrzeuge wieder auf das Niveau über der 700 PS Marke gebracht, das mit den größeren Motoren der 3,5 Liter Regel erreicht worden war. In Kombination mit den sich immer weiter entwickelnden Reifen, waren die Formel 1 Autos schneller denn je.<sup>69</sup>

Wieder einmal sah sich die FIA gezwungen, reglementarisch einzugreifen und die Formel 1 Boliden einzubremsen. Für die Saison 1998 fand dieser Eingriff jedoch nicht über das Motormanagement statt, sondern über das Fahrzeug- und Reifenlayout. Statt der vorher zugelassenen Fahrzeugbreite von 200 Centimetern, durften die Autos 180 Centimeter nicht mehr überschreiten, wodurch sich der Abtrieb verringerte und das Fahrverhalten anspruchsvoller wurde. Zusätzlich wurden die ehemals profillosen Reifen mit Rillen versehen, die die Abrollfläche um 17% verringert haben. Die Triebwerke wurden parallel dazu konstant weiterentwickelt, bereits zur Jahrtausendwende waren die Autos knapp 800 PS stark.<sup>70</sup>

Die wichtigsten Regeländerungen der folgenden Jahre behandelten in erster Linie die Themen Sicherheit und Ressourceneinsparung. 2003 wurde das HANS (Head And Neck Support) -System eingeführt.<sup>71</sup> Der Helm ist mit einem Kohlefaserbügel, der über die Schultern gelegt wird, mit dem Oberkörper verbunden. Dadurch ist der Fahrer davor geschützt, sich den Nacken bei einem frontalen Zusammenstoß zu überdehnen, was zu Muskel- und Wirbelsäulenverletzungen führen kann.<sup>72</sup> Ab 2004 wurden die Teams dazu angeregt, ihre Motoren langlebiger zu konstruieren, indem Strafen für Motorenwechsel eingeführt wurden. Auch in Bezug auf die Reifen versuchte man, Ressourcen einzusparen, indem für die Saison 2005 Reifenwechsel

---

<sup>68</sup>Vgl. (Reuß 1999, S. 306 ff)

<sup>69</sup> Vgl. (Reuß 1999, S. 334 ff)

<sup>70</sup>Vgl. (Reuß 1999, S. 346 ff)

<sup>71</sup>Vgl. (De Groot, F1 rules and stats 2000-2009 2009f)

<sup>72</sup>Vgl. (Frankfurter Allgemeine Zeitung 2007)

verboten wurden.<sup>73</sup> Allerdings konnte sich diese Regelung nicht durchsetzen, nachdem in Indianapolis nur sechs Fahrzeuge starten durften, weil aufgrund eines durch die Reifen verursachten Trainingsunfalls die von Michelin ausgestatteten Teams keine Starterlaubnis mit ihren Pneus bekamen.<sup>74</sup>

## 4.7 Die Formel 1 2006 - 2014

Wieder einmal hatten es die Ingenieure der Formel 1 geschafft, unter den bestehenden Regeln mit bis zu 950 PS starken Autos das Maximum aus den 3 Liter-Motoren herauszuholen. Um Kosten zu sparen und die Autos erneut in den Kurven zu verlangsamen, wurde zur Saison 2006 der maximale Hubraum auf 2,4 Liter herabgesetzt, wodurch etwa 200 PS weniger abgerufen werden konnten.<sup>75</sup> Erstmals wurde auch die Bauart der Motoren vorgegeben. V8-Motoren im 90°-Winkel mit je zwei Ein- und Auslassventilen wurden damit einheitlich zur Pflicht.<sup>76</sup> Ab der Saison 2009 konnten die vorgegebenen Motoren zusätzlich durch eine elektrische Komponente verstärkt werden, womit die Formel 1 einen weiteren Schritt zugunsten der Umwelt machen wollte.

Dafür wurde das sogenannte KERS (Kinetic Energy Recovery System) zugelassen. Dieses System ermöglichte es, dass die freigesetzte Energie beim Bremsen in elektrische Energie umgewandelt werden kann, die in einer Batterie zwischengespeichert war. Dadurch war es den Fahrern möglich, über 6,7 Sekunden pro Runde einen Elektromotor zum Antriebssystem zuzuschalten, der bis zu 82 PS stark war.<sup>77</sup> In seinem ersten Jahr war das System noch nicht ausgereift und wurde nur von einzelnen Teams genutzt, weshalb man sich einheitlich darauf einigte, 2010 kein KERS zu verwenden. Ab der Saison 2011 bis 2013 wurde es jedoch wieder in die Entwicklung aufgenommen und dessen Funktionalität wuchs zum Erfolgsfaktor.<sup>78</sup>

Die Forschung im Bereich der Motoren sollte zudem gestoppt werden. Für die Zeit von 2008-2017 ließ man nur noch die in der vorherigen Saison von der FIA geprüften Verbrenner zu.<sup>79</sup> Dadurch wurde das Überholen auf den Strecken zunehmend schwieriger, weshalb ab der Saison 2011 das DRS (Drag Reduction System) eingeführt wurde. Dieses erlaubt den Fahrern, ein Element des Heckflügels aufzuklappen, um auf der Geraden weniger Abtrieb zu erzeugen, wodurch sich die Spitzengeschwindigkeit kurzzeitig erhöht. Es durfte jedoch nur eingesetzt werden, wenn man an einem bestimmten Messpunkt vor der DRS-Zone, in der das System

---

<sup>73</sup>Vgl. (De Groote, F1 rules and stats 2000-2009 2009f)

<sup>74</sup>Vgl. (Ehlen und Cooper, Formel-1-Farce Indianapolis 2005: Was damals wirklich geschah 2020)

<sup>75</sup>Vgl. (Frankfurter Allgemeine Zeitung 2006)

<sup>76</sup>Vgl. (De Groote, F1 rules and stats 2000-2009 2009f)

<sup>77</sup>Vgl. (Handelsblatt 2011)

<sup>78</sup>Vgl. (Der Spiegel 2011)

<sup>79</sup>Vgl. (De Groote, F1 rules and stats 2000-2009 2009f)

eingesetzt werden durfte, unter einer Sekunde Rückstand auf den Vordermann hatte.<sup>80</sup>

## 4.8 Die Formel 1 2014 - 2021

Der Plan der Formel 1 Vorsitzenden, die Motoren bis 2017 unverändert zu lassen, wurde mit den Regeln für die Saison 2014 fallen gelassen. Aufgrund des wachsenden Umweltbewusstseins in der Gesellschaft und der damit verbundenen Kritik am Rennfahren musste die Formel 1 weitere Maßnahmen ergreifen, um sie zeitgemäß auszulegen und sich an der Serienproduktion von Fahrzeugen zu orientieren. Deshalb entschied man sich, auf dem neuesten Stand der Technik Hybridtriebwerke einzuführen, die aus einem turboaufgeladenen 1,6-Liter V6-Motor bestehen und durch einen bis zu 160 PS leistenden Elektromotor unterstützt werden. Der Strom für den Elektromotor wird neben der Bremsenergieerückgewinnung dabei durch ein weiteres System erzeugt, das die thermische Energie der Abgase umwandelt.<sup>81</sup> Dadurch konnte der Verbrauch der Fahrzeuge stark gedrosselt werden und die maximale Benzinlast pro Rennen wurde von 160 kg auf zunächst 100 kg reduziert. Die Geschwindigkeit des Benzinflusses durfte 100 Liter pro Stunde bei maximaler Drehzahl nicht überschreiten.<sup>82</sup> Das Nachtanken war bereits 2010 wieder abgeschafft worden und der Sprit für die neuen Motoren muss nun zu 5,75% aus Biokomponenten bestehen, wodurch die Formel 1 zur Erforschung alternativer Treibstoffe beitragen soll.<sup>83</sup>

Durch die schwereren Hybridkomponenten hat sich auch das Mindestfahrzeuggewicht erhöht, das von 642 auf 690 kg reglementarisch angepasst wurde. Die Regelungen in der Aerodynamik hatten sich von Saison zu Saison stetig geringfügig geändert, 2017 wurde jedoch wieder stärker auf das Design der Fahrzeuge Einfluss genommen. Die Fahrzeugbreite wurde von maximal 180 Centimetern wieder auf 200 Centimeter angehoben, um die mit den neuen Motoren langsamer gewordenen Autos wieder schneller zu machen. Dazu sollte auch eine größere Reifenbreite beitragen, die im Schnitt ca. 10% mehr Abrollfläche besaßen.<sup>84</sup> Einen Vergleich der beiden Fahrzeuglayouts liefert die folgende Abbildung 6:

---

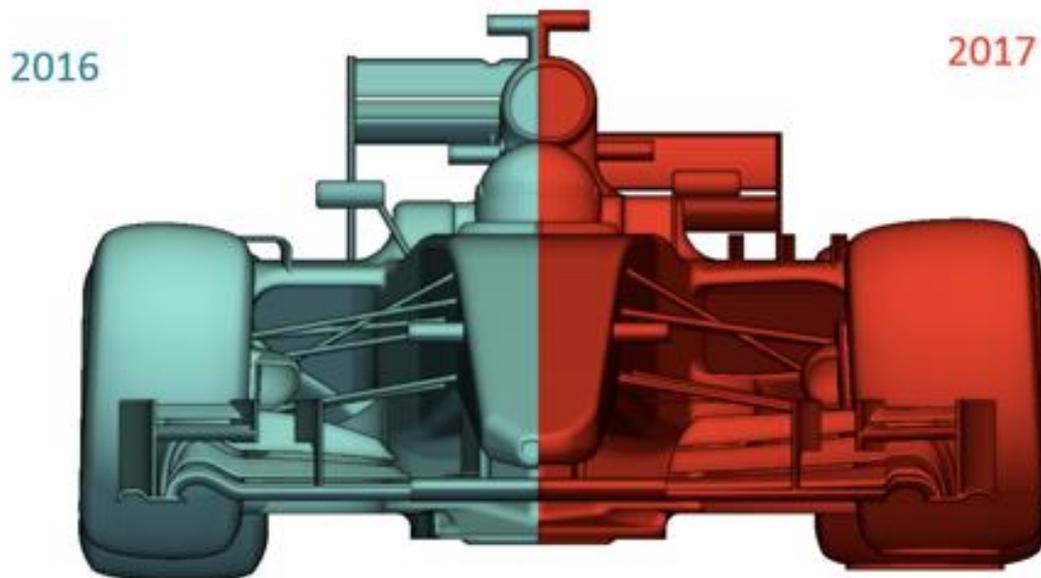
<sup>80</sup>Vgl. (Jeffries 2022)

<sup>81</sup>Vgl. (Menath 2014)

<sup>82</sup>Vgl. (De Groot, F1 rules and stats 2010-2019 2019)

<sup>83</sup>Vgl. (Cooper und Fischer 2022)

<sup>84</sup>Vgl. (Totalism 2017)



**Abbildung 6** Graphische Darstellung der aerodynamischen Regeländerungen zur Saison 2017

(<https://www.totalsimulation.co.uk/wp-content/uploads/2017/06/20162017car.png>)

Das Aussehen der Formel 1 Fahrzeuge wurde im Jahr 2018 weiter beeinflusst, als aus Sicherheitsgründen der sogenannte Halo eingeführt wurde. In den Vorjahren gab es vermehrt Unfälle, bei denen die Fahrer durch herumfliegende Räder oder andere größere Objekte am Kopf getroffen und verletzt wurden. Mit dem neuen Titanbügel, der über dem Cockpit montiert ist, wird der Fahrer in solchen Situationen geschützt. Dadurch wird das Sichtfeld des Fahrers beeinträchtigt und das Aussteigen aus dem Fahrzeug erschwert, so die anfängliche Kritik, die sich jedoch in der Testphase nicht bestätigte. Ein weiterer Kritikpunkt war, dass er nicht dem Design der Formel 1 Autos entspreche, die per Definition ein offenes Cockpit haben. Der Einsatz des Halos hat sich jedoch bereits bei mehreren Unfällen bewährt und gilt heute als eine der wichtigsten Sicherheitsmaßnahmen der Formel 1.<sup>85</sup> Am Fahrzeug in Abbildung 7 kann man den Halo in roter Farbe sehen.

## 4.9 Die Formel 1 2022 - 2026

Der Wettbewerb in der Formel 1 wurde seit der Einführung der Hybridantriebe vom Mercedes-Werksteam dominiert. Die Rennveranstaltungen verloren an Attraktivität, da das Überholen seit längerer Zeit immer schwieriger geworden ist und sich das Feld im Laufe des Rennens stark auseinanderzog. Die Autos erzeugten Luftverwirbelungen, die es schwer machen, dem Vordermann zu folgen, da der Abtrieb beim Hinterherfahren um bis zu 47% nachließ. Deshalb hatten sich die

<sup>85</sup>Vgl. (Ehlen, Halo in der Formel 1: Alles, was Du über den Cockpitschutz wissen musst! 2021a)

Verantwortlichen der FIA seit 2017 ein neues Reglement ausgedacht, unter dem die Fahrzeuge ein neues Design bekamen, welches die Luftführung ändern soll und die Rennen spannender macht. Dafür ist eine Art des Ground Effects nötig, der bereits in den 70er Jahren zum Einsatz kam. Die Unterböden können wieder aktiv zur Luftführung genutzt werden, um die verwirbelte Luft nach oben abzuleiten. Beim Verfolgen wird somit weniger Anpressdruck verloren, weil die Autos unterhalb der verwirbelten Luft bleiben. Auch die Sicherheit wird in den neuen Fahrzeugen weiter erhöht. Die Crashtests werden mit bis zu 48% mehr Aufprallkraft durchgeführt als vorher. Dadurch steigt insgesamt das Gewicht der Fahrzeuge auf 790 kg.<sup>86</sup>



**Abbildung 7** Das neue Design der Formel 1 Autos 2022 inklusive Halo  
(<https://www.formula1.com/content/dam/formula1/manual/Misc/2021manual/2021BritishManualAdds/2022CarImages/2022CarlImageSTUDIO/2022%20F1%20Car%20Race%20Service%20-%20Ryan%20Davis-5.jpg.transform/9col/image.jpg>)

Der Motor ist unter den neuen Regelungen nahezu das einzige Element, das sich nicht verändert. Die aktuelle Generation gilt bereits als das effizienteste und fortschrittlichste Triebwerk der Welt, es wird jedoch weiter daran gearbeitet, sie umweltfreundlicher zu machen. Das Ziel der Formel 1 ist die hundertprozentige Verwendung von synthetischen Kraftstoffen, die eine positive Umweltbilanz haben. Deshalb wurde mit den neuen Autos der Anteil an Biokomponenten auf 10% angehoben.<sup>87</sup> Für die Motorenhersteller ist das die größte Regeländerung seit 2014,

---

<sup>86</sup>Vgl. (Stuart 2021)

<sup>87</sup>Vgl. (Stuart 2021)

weil zusätzlich vorgeschrieben wird, dass die Komponente Ethanol sein muss und in der Vergangenheit auch andere Zusätze verwendet werden durften.<sup>88</sup>

Das aktuelle Reglement soll nach den Plänen der FIA noch bis zur Saison 2025 erhalten bleiben, dann kommt die nächste große Änderung. Die Zukunft der Formel 1 ab 2026 soll die Autos und den Sport im Allgemeinen erneut umweltfreundlicher machen. Der Grundaufbau der neuen Generation wird auf den aktuellen Fahrzeugen basieren. Die Autos sollen jedoch kleiner werden und weniger Luftwiderstand erzeugen. Auch wird bereits daran gearbeitet, mit den neuen Vorgaben die Marke von 100% synthetischem Kraftstoff zu erreichen, ohne maßgeblich an Kraft zu verlieren.<sup>89</sup>

---

<sup>88</sup>Vgl. (Cooper und Fischer 2022)

<sup>89</sup>Vgl. (Grüner 2022)

## 5 Technologische Entwicklungen der Formel 1

„Und das Interessante daran ist, dass sie alle eine Parallele in unseren Alltagsautos haben. Also könnt ihr diese Systeme in der Formel 1 erproben, und die Serienautos können von all dem oder fast allem profitieren.“ – „Das wird besonders wichtig, wenn der Einfluss der Umweltschützer-Lobby immer größer wird [...]. Ich denke, dass wir den Motorsport langfristig vor allem als Beitrag zum Umweltschutz verkaufen müssen, weil er Forschung und Entwicklung vorantreibt. Solange das Reglement darauf abzielt oder die Forschungsarbeit in diese Richtung gelenkt wird, ist das [...] in Ordnung.“ Das ist eine der beiden „[...] Schienen, auf denen wir Motorsport in einer zunehmend umweltbewussten Gesellschaft rechtfertigen können.“ – Max Moseley, Präsident der FIA von 1993-2009, im Winter 1992/93 über die Verwendung elektronischer Systeme in der Formel 1.<sup>90</sup>

Bereits vor 30 Jahren wurden die Themen Umweltschutz und der positive Einfluss der Formel 1 auf die Serienproduktion von Fahrzeugen von der FIA angesprochen. Trotzdem hatte man sich zur Saison 1994 dazu entschieden, die elektronischen Hilfsmittel zu einem Großteil wieder zu verbannen. Die Regeländerung sollte die Attraktivität der Formel 1 aufrechterhalten, da die finanzschwachen Teams mit dem Entwicklungstempo überfordert waren und drohten auszusteigen. Zu diesem Zeitpunkt hatte die Formel 1 jedoch bereits Systeme erforscht und angewendet, die einen positiven Einfluss auf die Serienfahrzeuge hatten. Auch die folgenden Maßnahmen und der Fortschritt in der Formel 1 haben sich nach der Jahrtausendwende wieder mehr an den Serienfahrzeugen orientiert. Rückblickend ist also zu verzeichnen, dass die Entwicklung 1994 zwar in manchen Bereichen eingebremst wurde, die Rennserie wurde damit aber vor einem möglichen Untergang geschützt. Die Formel 1 hat weiter Bestand und spätestens seit der Einführung von KERS trägt sie wieder aktiv dazu bei, die Forschung im Automobilsektor voranzutreiben.

Welche Systeme und Erfindungen, die die Formel 1 hervorgebracht hat, maßgeblich auf die Serienproduktion Einfluss genommen haben, wird in den folgenden Kapiteln aufgeführt.

### 5.1 Die Scheibenbremse

Eine erste technische Neuheit, die oft mit der Formel 1 in Verbindung gebracht wird, ist die Scheibenbremse. 1955 wurde sie in der Königsklasse erstmals in einem Maserati 250F und in einem Vanwall VW55 verbaut, 1961 hielt nur noch ein einziges Team an traditionellen Trommelbremsen fest.<sup>91</sup> Zu diesem Zeitpunkt waren

---

<sup>90</sup> (Tremayne 2001, S. 11)

<sup>91</sup>Vgl. (Reuß 1999, S. 60, S. 100)

Scheibenbremsen allerdings keine echte Neuheit mehr. Bereits 1947 gab es ein Serienfahrzeug, das mit Scheibenbremsen ausgerüstet wurde. Der Tucker Torpedo, der in Amerika von Preston Tucker konstruiert wurde, kam auf eine Stückzahl von 50 Fahrzeugen, da sein Erfinder das Fahrzeug nicht zu vermarkten wusste. Auch aufgrund der negativen öffentlichen Kritik anderer Hersteller fand das Auto zu dieser Zeit kaum Beachtung und seine neuartigen Bremsen hatten keinen Einfluss auf andere Serienfahrzeuge.<sup>92</sup> Das erste Fahrzeug, das die Aufmerksamkeit auf seine verbauten Scheibenbremsen ziehen konnte, war der Jaguar C-Type von 1953, der in 24h-Rennen eingesetzt wurde. Wie in Kapitel 4.2.1 angesprochen, stand besonders das 24h-Rennen von Le Mans in enger Beziehung mit denen der Formel 1 und der Rennkalender wurde so ausgelegt, dass die Formel 1 Piloten daran teilnehmen konnten. Die dortigen Siege des Jaguar C-Type waren auch ausschlaggebend für die weitere Entwicklung der Scheibenbremsen. Deshalb wird diese technologische Revolution im Folgenden behandelt.

### **5.1.1 Scheiben- statt Trommelbremsen**

Seit 1918 gab es Trommelbremsen, die über ein Hydrauliksystem gesteuert werden konnten. Über einen hydraulischen Kolben werden Bremsbeläge an die Innenwand der sogenannten Trommel gepresst, wodurch die Bremskraft entsteht. Die Trommel ist mit dem Rad verbunden und das Auto wird abgebremst. Bei intensiver Nutzung dehnt sich jedoch die Trommel aufgrund der entstehenden Hitze aus und die Bremsbeläge können nicht mehr ausreichend an die Trommel gedrückt werden, wodurch die Bremskraft sinkt.

Die Scheibenbremse verfügt über (mindestens) zwei Kolben, die die Beläge von beiden Seiten auf eine Bremsscheibe drücken. Dadurch sind sie weniger hitzeempfindlich und besonders für Rennzwecke besser geeignet.<sup>93</sup> Der C-Type war 1951 bereits mit Trommelbremsen in Le Mans siegreich, zusammen mit dem Reifenhersteller Dunlop arbeitete man die folgenden beiden Jahre dennoch daran, funktionsfähige Scheibenbremsen zu entwerfen.<sup>94</sup> Die Herausforderung dabei war, sie verschleißfest zu gestalten. Erste Prototypen der Scheibenbremse gab es schon seit 1902, bis dato konnte diese Hürde jedoch nicht bewältigt werden.<sup>95</sup> Der grundlegende Aufbau beider Systeme ist in Abbildung 8 zu sehen.

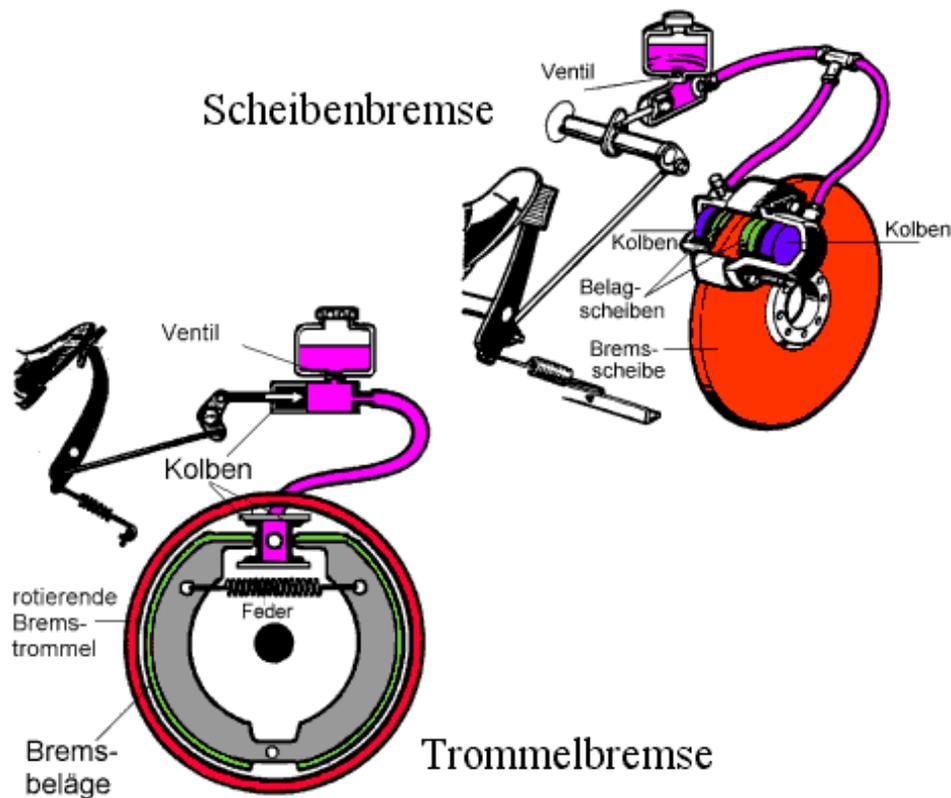
---

<sup>92</sup>Vgl. (Süddeutsche Zeitung 2009)

<sup>93</sup>Vgl. (Kilimann und Viehmann 2013)

<sup>94</sup>Vgl. (Jaguar Land Rover 2022)

<sup>95</sup>Vgl. (Kilimann und Viehmann 2013)



**Abbildung 8** Der Aufbau von Trommel- und Scheibenbremsen

([https://www.leifiphysik.de/sites/default/files/medien/bremsen\\_reibufortbeweg\\_aus.gif](https://www.leifiphysik.de/sites/default/files/medien/bremsen_reibufortbeweg_aus.gif))

Im Oktober 1955 wurde die Scheibenbremse basierend auf den Entwicklungen des Jaguar C-Type erstmals in einem europäischen Serienfahrzeug, dem Citroen DS, vorgestellt. Er verfügte über Scheibenbremsen an der Vorderachse und Trommelbremsen an der Hinterachse.<sup>96</sup> Seit den 70er Jahren hat die Scheibenbremse die Trommelbremse nahezu abgelöst. Auch heute werden zum Teil noch Trommelbremsen verbaut, jedoch nur bei Kleinfahrzeugen an der Hinterachse, weil dort die Bremsen weniger beansprucht werden.<sup>97</sup>

### 5.1.2 Die Bremsen der Formel 1

In der Formel 1 wurde die Scheibenbremse seither kontinuierlich weiterentwickelt. Das Grundprinzip ist seit ihrer ersten Anwendung gleichgeblieben, Variationen gab es bei der Zahl der Bremskolben, in der Art der Belüftung und in der Einbauposition. Die entscheidende Neuerung stellte in den 70er Jahren der Übergang von den auch in der Serienproduktion bis heute üblich gewordenen Grauguss-scheiben hin zu Carbonbrems-scheiben.<sup>98</sup> Die Beläge bestehen ebenso aus Carbon, während die Sättel, in denen die Kolben platziert sind, aus einer hoch hitzebeständigen

<sup>96</sup>Vgl. (Hönscheidt 2005)

<sup>97</sup>Vgl. (Kilimann und Viehmann 2013)

<sup>98</sup>Vgl. (Tremayne 2001, S. 150 f.)

Aluminium-Legierung gefertigt werden. Dadurch bleiben die Bremsen auch bei Temperaturen von über 1.000°C voll funktionsfähig und erreichten Verzögerungswerte von bis zu 5,9 g. Ein weiterer entscheidender Vorteil ist das geringe Gesamtgewicht der Bremsanlagen, eine Scheibe aus Carbon wiegt in der Formel 1 keine 2 kg.<sup>99</sup> Heute sind die Bremsen außen an den Rädern platziert, um beispielsweise auch die Reifentemperatur zu steuern. Zur Belüftung und Kühlung der Bremsen wird die Scheibe mit 1.480 Löchern versehen, ein Bremssattel besitzt sechs Kolben, um die erforderlichen Kräfte aufbauen zu können.<sup>100</sup>

### 5.1.3 Brake-by-Wire

Das Hydrauliksystem der Bremsanlagen ist auf zwei unabhängige Kreise aufgeteilt. Dadurch werden die vorderen und hinteren Bremsen unabhängig voneinander angesteuert, um die Bremskraft aufrechtzuerhalten, wenn einer der beiden Bremskreise ausfällt. In der Formel 1 ist es deshalb auch möglich, die Bremskraft je nach Anforderung zu verteilen, um das Risiko zu minimieren, dass die Räder an einer Achse blockieren. Denn die Verwendung des im Straßenverkehr üblichen Antiblockiersystems (ABS) ist seit 1993 verboten.<sup>101</sup>

An der Hinterachse kann zusätzlich der Motor Bremskraft ausüben, wenn der Fahrer vom Gas geht. Seit 2009 kann auch über einen Generator, der sich zuschaltet, wenn der Fahrer auf die Bremse tritt, elektrisch gebremst werden. Der Generator, der gleichzeitig auch als Elektromotor eingesetzt wird, erzeugt Energie, die dann über KERS an ebendiesen Motor freigegeben wird. Damit ist dieses System sehr ähnlich zu Rekuperationssystemen der Serienfahrzeuge, die seit 1997 beispielsweise im Toyota Prius verbaut werden. Die Einführung in der Formel 1 sollte und konnte dabei helfen, es leichter, sicherer und effizienter zu gestalten.<sup>102</sup>

Mit der Einführung des neuen Motorenreglements 2014 wurde die Technik noch einmal weiterentwickelt, da sich die Energiegewinnung für die stärkeren Elektromotoren/Generatoren zu sehr auf das Fahrverhalten ausgewirkt hätte. Unter dem neuen Energy Recovery System (ERS) war es den Ingenieuren erlaubt, ein elektronisch gesteuertes Bremssystem zu verwenden, das Brake-by-Wire genannt wird. Das System analysiert über die Energy Control Unit (ECU) beim Treten der Bremse, wie stark der Fahrer bremsen möchte und reduziert die Energieaufnahme der Motor Generator Unit – Kinetic (MGU-K) bis hin zur Umkehrung in Energie, die dann in den Energy Store (ES) eingespeist werden kann.<sup>103</sup>

---

<sup>99</sup>Vgl. (Sharaf 2017)

<sup>100</sup>Vgl. (Butcher 2022)

<sup>101</sup>Vgl. (Macknight 1998, S. 115)

<sup>102</sup>Vgl. (Nimmervoll 2009)

<sup>103</sup>Vgl. (Formula 1 2014)

Unter MGU-K versteht man das ehemalige KERS, also die Energiegewinnungskomponente, die durch die Drehbewegung der Räder funktioniert und kinetische Energie zurückgewinnt. Diese bildet zusammen mit der Motor Generator Unit – Heat (MGU-H) das ERS. Die MGU-H ist das zweite Energierückgewinnungssystem, das über die Abgastemperatur thermische Energie nutzt. Diese Energie wird über das MGU-K direkt zum Antrieb genutzt oder in den ES, also die Batterie weitergegeben. Bei voller Leistungsanforderung speisen ES und MGU-H gemeinsam Strom über das MGU-K in den Elektromotor/Generator und erhöhen damit die Antriebsleistung um bis zu 160 PS.<sup>104</sup>

Wenn der Energiebedarf des MGU-K abgerufen wurde, steuert die ECU unter Berücksichtigung der Verzögerung, die der Generator erzeugt, den Bremsdruck, der vom Pedal an die Bremse weitergegeben wird. Durch Brake-by-Wire bleibt das Bremsverhalten dynamisch, auch wenn gleichzeitig Energie zurückgewonnen wird, die dem ES zugeführt wird.<sup>105</sup> In der Serienproduktion soll Brake-by-Wire 2024 Einzug halten. In welchem Fahrzeug das System verbaut wird, wurde noch nicht bekannt gegeben.<sup>106</sup> Allerdings sollen in diesem Bereich die Bremskolben dann nicht mehr hydraulisch, sondern elektromechanisch an die Bremsscheibe gedrückt werden. Das am Pedal ausgelöste Signal, das von der ECU verarbeitet und weitergegeben wird, reguliert weiterhin die Bremskraft. Der Bremsenhersteller Brembo, der die Formel 1 seit 2014 ausstattet und Brake-by-Wire für die Serienhersteller anbietet, sieht darin Möglichkeiten der Energierückgewinnung, Gewichtseinsparung und Emissionssenkung. Auch im Bereich der Sicherheit ist das Brake-by-Wire-System hilfreich, da es Bremswege und Reaktionszeiten (des Fahrzeugs selbst) verkürzen kann.<sup>107</sup>

## 5.2 Der Turbomotor

Der Turbomotor ist die wohl bedeutendste Erfindung im Automobilsektor, auf deren Forschung die Formel 1 einen maßgeblichen Einfluss nehmen konnte. Als der Renault Rennstall 1977 erstmals auf das Turbokonzept setzte, hatte auch diese technologische Entwicklung eine lange Vorgeschichte. Im Jahr 1905 patentierte Alfred Büchi eine „Verbrennungskraftmaschinenanlage, bestehend aus einem Kompressor, einem Kolbenmotor und einer dahintergeschalteten [sic!] Turbine“.<sup>108</sup> Dieses Patent gilt als die Grundlage heutiger Turbomotoren und Büchi als der Erfinder dieses Konzepts. In den folgenden Jahren wurde der Turbo besonders im Nutzfahrzeug- und Schiffssektor angewandt, die ersten turbogeladenen

---

<sup>104</sup>Vgl. (RTL News 2014b)

<sup>105</sup>Vgl. (Formula 1 2014)

<sup>106</sup>Vgl. (Specht 2021)

<sup>107</sup>Vgl. (Brembo 2019)

<sup>108</sup> (Hauri 2019)

Serienfahrzeuge kamen 1962 in Amerika auf den Markt. Das Potential der Turbomotoren wurde in dieser Phase jedoch aufgrund der hohen Unzuverlässigkeit der frühen Modelle noch nicht erkannt und man verabschiedete sich wieder vom Turbokonzep<sup>109</sup>. Auch die ersten europäischen Turbomodelle von BMW 1973 und Porsche 1974 befreiten den Turbo noch nicht von seinem schlechten Image. Ein zu hoher Kraftstoffverbrauch, ein unberechenbarer Leistungsaufbau der Motoren und deren fortwährende Unzuverlässigkeit sorgten für negative Kritik.<sup>110</sup>

1976 begannen Renault-Ingenieure den Turbomotor für die Formel 1 zu erproben, 1977 folgte der erste Einsatz in der Königsklasse.<sup>111</sup> Auch hier hatte sich die Unzuverlässigkeit als der entscheidende Nachteil dieser Motoren hervorgehoben. Trotzdem konnte aus der Hälfte des Hubraums mit über 500 PS genug Kraft gewonnen werden, um mit den herkömmlichen 3-Liter Motoren mithalten.<sup>112</sup> In den folgenden Jahren hatte die Formel 1 maßgeblich dazu beigetragen, die Turbomotoren zuverlässig und effizient zu gestalten. Renault wurde von der Konkurrenz nach kurzer Zeit in den Schatten gestellt, wenngleich sie die Initialzündung für den flächendeckenden Einsatz von Turbomotoren gaben. Der Motor von BMW, der 1983 die erste Weltmeisterschaft mit Turboaufladung gewann, erreichte in der Spitze ungefähr 1.430 PS und ist der stärkste Motor der Formel 1 Geschichte.<sup>113</sup> Turbos versprechen seither maximale Leistung bei immer geringerem Verbrauch. Auf der offiziellen Renault-Homepage wird der Einfluss der Formel 1-Entwicklungen auf die Straßenfahrzeuge bestätigt: „Die Turbotechologie hat sich in den vergangenen 40 Jahren enorm weiterentwickelt. Damals wie heute gilt: Bei Renault profitieren die Kunden direkt vom Technologietransfer aus der Formel 1 in die Serienfahrzeuge der Marke.“<sup>114</sup>

## 5.2.1 Die Funktion des Turbomotors

Seitdem die Menschen Rennen fahren, wird zwischen aufgeladenen und nicht aufgeladenen Motoren unterschieden. Ein nicht aufgeladener, sogenannter Saugmotor zieht das Kraftstoff-Luftgemisch durch den natürlich entstehenden Unterdruck im Zylinder über die Einlassventile an. Bei einem aufgeladenen Motor wird Überdruck erzeugt, der das Gemisch in die einzelnen Zylinder drückt. Dadurch kann mehr Sauerstoff in die Brennräume befördert werden und das Leistungspotenzial bei der folgenden Verbrennung wird gesteigert. Im Motorsport waren Kompressormotoren schon früh vertreten. Dort wurde der Druck mit

---

<sup>109</sup>Vgl. (Hauri 2019)

<sup>110</sup>Vgl. (STK Turbo Technik kein Datum)

<sup>111</sup>Vgl. (Ziegler und Haymarket 2014)

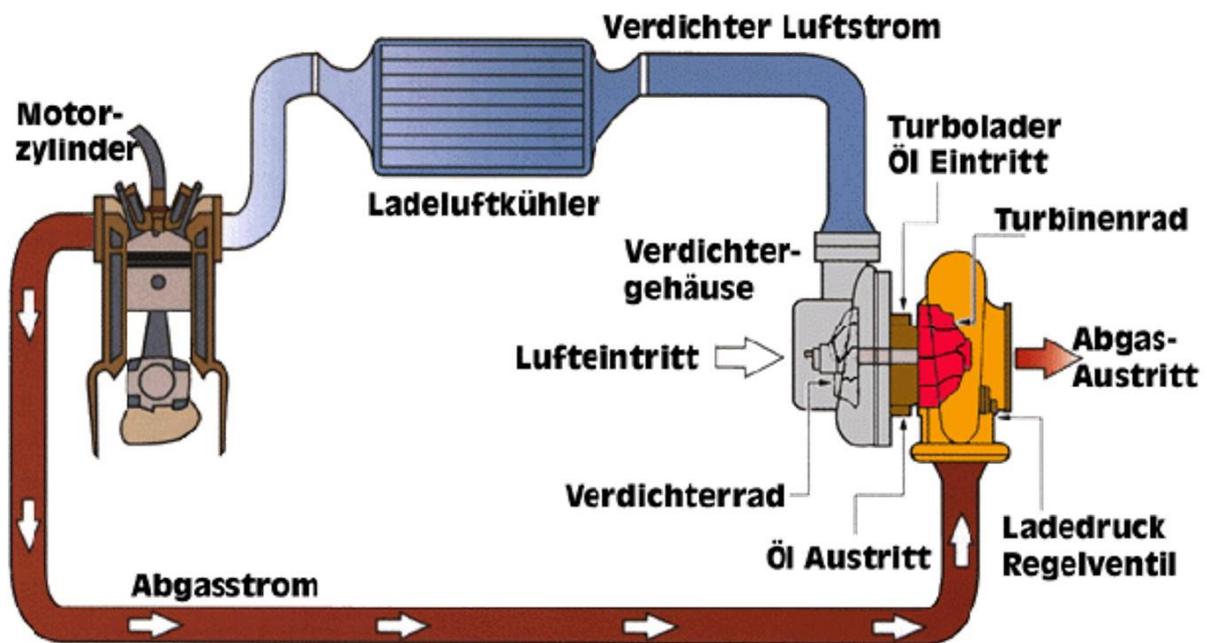
<sup>112</sup>Vgl. (Reuß 1999, S. 209)

<sup>113</sup>Vgl. (Schmidt, BMW Turbo mit 1.430 PS vorne 2019c)

<sup>114</sup> (Renault 2017)

Kompressoren erzeugt, die über die Drehbewegung des Motors angetrieben wurden. Dadurch hat sich in diesen frühen Versionen aufgeladener Motoren jedoch der Verbrauch enorm gesteigert, weil der Motor zusätzlich den Kompressor antreiben musste.

Der Turbomotor lädt seine Luft über die Abgase auf, die auf natürlichem Weg druckvoll aus den Brennräumen weichen. Sie werden durch eine Turbine geleitet, die mit einem Verdichterrad verbunden ist, welches saubere Luft verdichtet und in den Ansaugtrakt drückt.<sup>115</sup> Die Luftführung eines Turbomotors ist in Abbildung 9 zu sehen:



**Abbildung 9** Schematischer Aufbau eines Turbomotors

(<https://th.bing.com/th/id/R.5b7be5cb25f0ed1f4b909f420ed18886?rik=%2fM9KlopMLlhp4g&riu=http%3a%2f%2fwww.turboprofi.de%2ffiles%2fTurboprofi%2fTurbolader+KnowHow%2fDer+Turbolader%2fFunktionsweise.jpg&ehk=AGLX1sOFx32PWCGKqmSvcQtC4EM2lqJtf9S1MgdBP7A%3d&risl=&pid=ImgRaw&r=0>)

Die Kühlung des Turboladers findet über das Motoröl statt, wodurch sich die Ladelufttemperatur aufgrund des aufgebauten Drucks jedoch trotzdem auf über 100°C erhöht.<sup>116</sup> In der warmen Luft sind weniger Sauerstoffmoleküle enthalten und die Explosionsreaktion ist weniger stark. Deshalb kühlt der Ladeluftkühler die Luft wieder herunter, um eine größere Luftmasse in den Brennraum befördern zu können. Dadurch kann die Leistung weiter gesteigert werden und es entstehen weniger Emissionen, weil weniger Kraftstoff eingespritzt werden muss. Auch die Lebensdauer der Motoren wird mit der gekühlten Luft verlängert, da die thermische

<sup>115</sup>Vgl. (Welt 2020)

<sup>116</sup>Vgl. (mobile.de 2019)

Beanspruchung der Brennräume automatisch reduziert wird.<sup>117</sup> Durch den Einsatz eines Turbos kann man außerdem die Größe des Motors möglichst geringhalten. Dadurch haben die Ingenieure mehr Platz und Freiheit in der Fahrzeugkonstruktion.<sup>118</sup>

Neben dem Spritverbrauch war das größte Problem der frühen Turbomotoren das sogenannte Turboloch, das in den Modellen von Porsche und BMW in den 70er Jahren zum negativen Image beigetragen hat. Wenn die Drehzahl des Motors gering ist, baut sich wenig Druck im Ansaugsystem auf. Daher hat der Motor im niedrigen Drehzahlbereich kaum Kraft, also ein „Loch“ im Leistungsaufbau. Bei erhöhter Drehzahl liegt dann schlagartig mehr Leistung an, was einem ungeübten Fahrer schnell zum Verhängnis werden konnte.<sup>119</sup> Rennfahrerlegende Walter Röhrl beschrieb diesen Effekt wie folgt: „Bei einem Gangwechsel lief für zwei Sekunden alles im Rollbetrieb ab, dann kam der große Hammer. Ungefähr so, als ob einem an der Ampel ein anderer mit 30 km/h hinten drauf rauscht“<sup>120</sup>. Erst als die Turbos so weit entwickelt wurden, dass das Turboloch beseitigt werden konnte, wurden Fahrzeuge mit Turbomotoren auch von der breiten Masse angenommen.<sup>121</sup> Der Einsatz in der Formel 1 und im Motorsport hat diese Entwicklung ermöglicht.

## 5.2.2 Der elektrische Abgasturbolader

Die aktuell in der Formel 1 eingesetzten Motoren gelten als die effizientesten, die je gebaut wurden. Ungefähr 50% der Wärmeenergie des Turbomotors können durch das komplexe Hybridsystem auf die Straße gebracht werden und die Leistung liegt bei über 1.000 PS.<sup>122</sup> Im Vergleich dazu hat ein normales Straßenfahrzeug zum Zeitpunkt der Einführung von Hybridmotoren in der Formel 1 einen Wirkungsgrad von 30% erreicht.<sup>123</sup> Neben dem bereits erklärten MGU-K, das elektrische Energie beim Bremsen generiert, liefert das MGU-H Energie über die Abgastemperatur im Turbolader. Diese Energie wird durch einen kleinen Elektromotor generiert, der zwischen dem Turbinen- und dem Verdichterrad liegt. Das Turbinenrad, das sich mit bis zu 100.000 Umdrehungen pro Minute bewegt, treibt den Elektromotor bei hohen Drehzahlen an, um ihn als Generator einzusetzen und den Energy Store zu laden.<sup>124</sup>

Bei niedrigen Drehzahlen treibt der Elektromotor auch das Verdichterrad an, um das Turboloch zu vermeiden und dauerhaft genug Leistung zu generieren. Über ein sogenanntes Wastegate werden überschüssige Abgase nach außen geleitet, um die

---

<sup>117</sup>Vgl. (FOCUS online 2014)

<sup>118</sup>Vgl. (Renault 2017)

<sup>119</sup>Vgl. (Pander 2012)

<sup>120</sup> (Pander 2012)

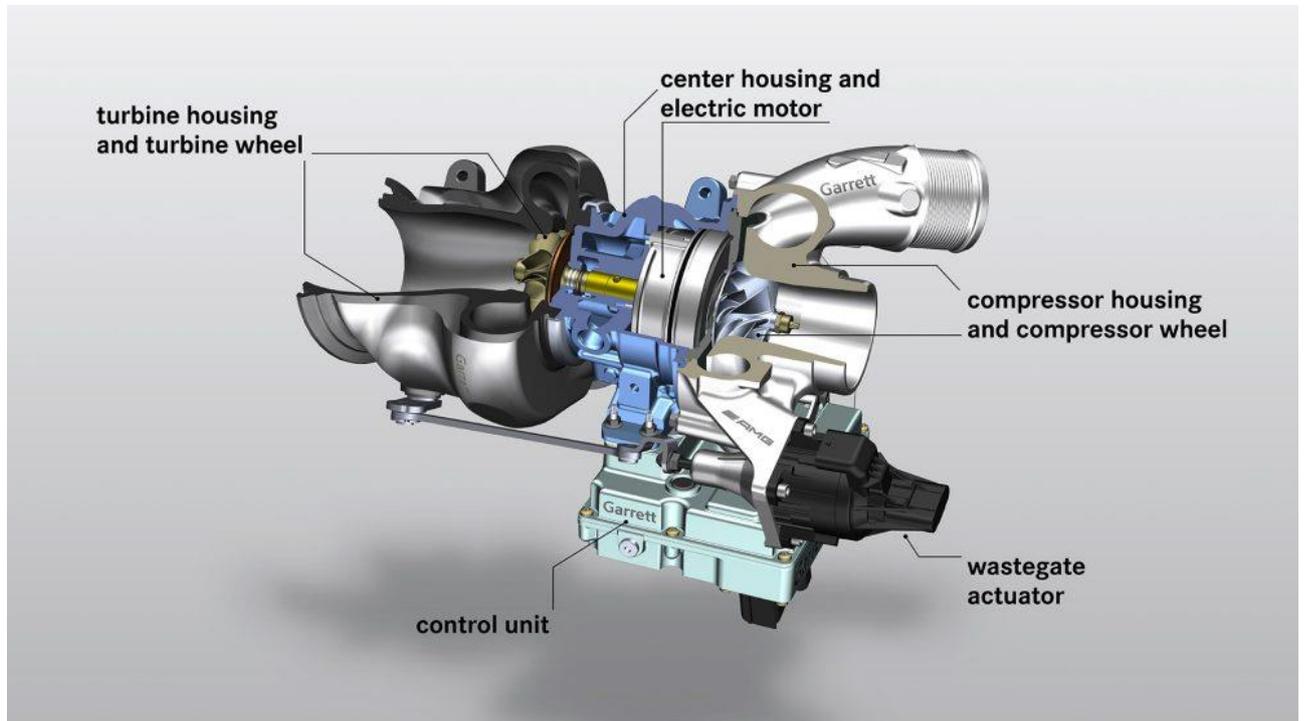
<sup>121</sup>Vgl. (Pander 2012)

<sup>122</sup>Vgl. (Schmidt, BMW Turbo mit 1.430 PS vorne 2019c)

<sup>123</sup>Vgl. (Mercedes AMG F1 2018)

<sup>124</sup>Vgl. (RTL news 2014a)

MGU-H Einheit nicht zu stark zu belasten. Das System ist sehr teuer, dennoch versucht Mercedes, Straßenfahrzeuge damit zu versehen. Der Aufbau des MGU-H, beziehungsweise des elektrischen Abgasturboladers, der für die Straßenfahrzeuge von Mercedes eingesetzt werden könnte,<sup>125</sup> ist in Abbildung 10 dargestellt:



**Abbildung 10** Graphische Darstellung des MGU-H

(<https://www.formula1.com/content/dam/fom-website/manual/Misc/MercedesEngineTech/Mercedes-MGU-H-for-road-car-graphic.jpg.transform/9col/image.jpg>)

Im Rahmen der Forschung in der Formel 1 konnte auch die Batterietechnologie entscheidend vorangebracht werden, mit steigender Energiedichte hat sich das Gesamtgewicht der Lithium-Ionen-Batterien um 80% reduziert. Diese Erfolge in der Formel 1 kommen auch den Serienfahrzeugen zugute.<sup>126</sup> Das MGU-H hingegen steht aktuell aufgrund seiner hohen Kosten in der Kritik. Wenn 2026 das Reglement geändert wird, möchte man sich auch wieder von dieser Komponente trennen. Aus Sicht von Mercedes wäre das ein technologischer Rückschritt, man würde es jedoch akzeptieren, um neuen Teams wie der Volkswagen-Gruppe den Einzug in die Formel 1 zu ermöglichen.<sup>127</sup> Der zukünftige Einsatz in Serienfahrzeugen ist deshalb aber nicht ausgeschlossen. Die derzeit hohen Preise könnten sich bei einer weiter verbreiteten Anwendung reduzieren und die nächste technologische Entwicklung werden, die die Formel 1 der Serienproduktion geliefert hat.

<sup>125</sup>Vgl. (Formula 1 2020)

<sup>126</sup>Vgl. (Mercedes AMG F1 2018)

<sup>127</sup>Vgl. (Ehlen und Smith, Formel-1-Motorenfrage: Mercedes stimmt MGU-H-Aus zu, wenn ... 2021b)

### 5.3 Die aktive Radaufhängung

Eine aktive, elektronische Regulierung des Fahrwerks wurde weltweit erstmals in der Formel 1 angewendet. Die ersten Versuche des Lotus-Rennstalls waren 1982 trotz vorhergehender Forschung noch nicht ausgereift und unbeliebt bei den Fahrern. 1987 führte man auch im Williams-Team eine sogenannte aktive Radaufhängung ein, andere Teams übernahmen die Technik innerhalb kurzer Zeit. Mit dem System wurden die Ist-Werte der Fahrzeuglage innerhalb von Sekundenbruchteilen computergestützt mit den Sollwerten für die aktuelle Position auf der Strecke verglichen und das Fahrwerk konnte auf die richtige Höhe reguliert werden. Das Fahrzeug befand sich dadurch immer in der fahrdynamisch günstigsten Position, um physikalisch maximal mögliche Geschwindigkeit fahren zu können.<sup>128</sup> Ab der Saison 1992 funktionierte die aktive Radaufhängung besonders beim Williams-Rennstall zuverlässig genug, um die Konkurrenz abzuhängen. Die Effektivität dieser Radaufhängungen war erstaunlich, doch auch dieses System wurde von der FIA zur Saison 1994 verboten, um kleinere Teams finanziell zu entlasten.<sup>129</sup> Ein Fahrwerk wird erst als aktiv bezeichnet, wenn die Elektronik die Einflüsse auf das Fahrwerk in Echtzeit registriert und darauf reagiert. Aus den aktiven Radaufhängungen wurden zunächst aktive Federungen, später bezeichnete man dies meist als adaptive Fahrwerke.

Die Möglichkeit, das Fahrwerk elektronisch zu regulieren, wurde in der Serienproduktion jedoch aufgenommen und weiterentwickelt. 1983 brachte Toyota als erster Hersteller das TEMS (Toyota Electronic Modulated Suspension) -System im Modell Soarer heraus. Dieses ermöglicht dem Fahrer zwischen drei Fahrwerks-Modi auszuwählen: Auto, Sport oder Normal. Im Auto-Modus reagiert das System aktiv, indem es bei Kurvenfahrten beispielsweise verhindert, dass das Fahrzeug sich zu stark nach außen neigt.<sup>130</sup> In den anderen Modi kann man lediglich entscheiden, wie sich das Auto passiv verhält, also ob das Auto eher sportlich oder komfortabel auf der Straße liegen soll. Für eine sportliche Fahrweise wird dann der Druck in der Hydraulik der Stoßdämpfer erhöht, um die Schwingungen in der Radaufhängung zu minimieren und die Straßenlage zu verbessern. In diesem Modus ist die Federung jedoch härter und das Auto reagiert stärker auf Unebenheiten, wodurch der Komfort nachlässt. Entscheidet man sich für mehr Komfort, lässt wiederum die Fahrstabilität aufgrund von verstärkten Schwingungen am Rad nach.<sup>131</sup>

Wenn die Radaufhängung aktiv arbeitet, werden die Komponenten Sicherheit (aufgrund besserer Straßenlage) und Komfort situationsabhängig vereint.<sup>132</sup>

---

<sup>128</sup>Vgl. (Tremayne 2001, S. 171 f.)

<sup>129</sup>Vgl. (Reuß 1999, S. 299 f.)

<sup>130</sup>Vgl. (Yokoya, et al. 1984)

<sup>131</sup>Vgl. (mobile.de 2022)

<sup>132</sup>Vgl. (Liu-Henke kein Datum)

Hochpreisige Fahrzeuge können heutzutage sogar Unebenheiten auf der Straße im Voraus erkennen und innerhalb von Millisekunden darauf reagieren, um das Auto so komfortabel und sicher wie möglich über die Straße zu bewegen.<sup>133</sup> Wenn man sich heute ein Auto kauft, kann man bei immer mehr Modellen verschiedene adaptive Federungssysteme in die Konfiguration mit aufnehmen. Sie ermöglichen ebenso wie das TEMS-System eine Wahl zwischen mehreren Fahrmodi, die in den meisten Fällen auch aktiv arbeiten können. So hat die Formel 1 auch im Bereich der Sicherheit über die Fahrwerke positiven Einfluss auf die Serienproduktion genommen.

## 5.4 Das halbautomatisierte Getriebe mit Schaltwippen

Um zu Zeiten der Turbomotoren in der Formel 1 das Turboloch besser umgehen zu können, versuchte der Ferrari-Rennstall bereits 1979 erstmals, ein halbautomatisches Getriebe einzusetzen, das per Knopfdruck schalten konnte. Allerdings stoppte deren Pilot Gilles Villeneuve die Entwicklung, da er kein Vertrauen in die Elektronik hatte. In Kombination mit einem Hochdruckhydrauliksystem sollte sie die herkömmliche Schaltung über einen Hebel ersetzen. Erst zehn Jahre später feierte das halbautomatische Getriebe in der Formel 1 erneut Premiere. Man reagierte jetzt darauf, dass die neuen Saugmotoren mehr Schaltvorgänge pro Rennen erforderten. Der Ferrari Tipo 640 benötigte nur noch zum Start und in der Boxengasse ein Kupplungspedal, die Gangwechsel während der Fahrt konnten elektrohydraulisch über Schaltwippen am Lenkrad durchgeführt werden.<sup>134</sup> Dadurch dauerte der Schaltvorgang statt 150 ms (Millisekunden) nur noch 20 ms und der Fahrer musste das Lenkrad nicht mehr loslassen, was der Lenkpräzision zugutekam.<sup>135</sup>

Bis in die Mitte der 90er Jahre hatte jedes Team der Formel 1 das halbautomatische Getriebe mit Schaltwippen übernommen. Denn mit der neuen Schaltsteuerung konnte auch das Risiko minimiert werden, dass ein Fahrer sich verschaltet oder den Motor überdreht, was oft zu Getriebe- oder Motorschäden und damit zu Ausfällen führte.<sup>136</sup> Im Laufe der Zeit wurde auch das herkömmliche Kupplungspedal durch einen Hebel am Lenkrad abgelöst, auf das Schaltgestänge war man so nicht mehr angewiesen. Dadurch konnten die Formel 1 Autos noch schmaler und aerodynamischer gestaltet werden.<sup>137</sup> Die Effektivität dieser technischen Neuheit war unbestritten und fand auch die Aufmerksamkeit der Serienhersteller.

---

<sup>133</sup>Vgl. (mobile.de 2022)

<sup>134</sup>Vgl. (Barlow 2022)

<sup>135</sup>Vgl. (Tremayne 2001, S.156)

<sup>136</sup>Vgl. (Tremayne 2001, S. 156)

<sup>137</sup>Vgl. (Sommerfeld 2017)

Besonders der Einsatz von Schaltwippen hat sich seit der konsequenten Anwendung in der Formel 1 in der Serienproduktion bis heute durchgesetzt. 1997 kam mit dem Ferrari 355 F1 das erste Fahrzeug mit Schaltwippen heraus. Das Getriebe war dabei das gleiche wie im Basismodell 355, es brauchte also keine komplette Neuentwicklung, um eine sequenzielle Halbautomatik integrieren zu können. Schon bald sind die Schaltwippen zu einer Voraussetzung für alle Sportwagen geworden und heute kann man sie auch in diversen Alltagsfahrzeugen bestellen. Automatisierte Getriebe haben sich seit den 90er Jahren ebenso etabliert. Ferrari beispielsweise versieht seit einigen Jahren jedes Fahrzeug mit einer Automatik, was sie mit der Erfindung der Schaltwippen begründen.<sup>138</sup>

## 5.5 Leichtbau aus der Formel 1

Seit den ersten Formel 1-Rennen steht neben der Motorleistung besonders das Gewicht der Fahrzeuge im Vordergrund. Denn je leichter ein Fahrzeug ist, desto besser werden die Beschleunigung, das Bremsverhalten und die Kurvenlage. 1954 und 1955 setzte der Mercedes-Rennstall mit dem W196 auf Aluminium und fertigte daraus die Verkleidung.<sup>139</sup> Der Werkstoff ist mit 2,7 Gramm pro Kubikzentimeter gegenüber Stahl mit einem Wert von 7,8 Gramm ca. 65% leichter und verspricht dennoch eine hohe Festigkeit, lässt sich gut verarbeiten und ist in großen Mengen verfügbar.<sup>140</sup> Der W196 wog 800 kg in der Stromlinienversion und 650 kg ohne Radabdeckungen, was zu den Erfolgen in der Formel 1 beigetragen hat. Nachdem Aluminium anfangs hauptsächlich für Verkleidungen genutzt wurde, setzte es sich auch in anderen Bereichen zunehmend durch. Das erste Monocoque im Lotus 25 von 1962, wurde mit Aluminiumblechen zusammengenietet und ersetzte in der Formel 1 die Gitterrohrrahmen aus Stahl. Auch im Motorenbau wurden Aluminiumlegierungen genutzt, in anderen Motorsportserien ist der Werkstoff ebenfalls schon in den 50er Jahren angewendet worden.<sup>141</sup>

In der Serienproduktion kam dieser Trend erst später an. Bis in die 70er Jahre wurde Aluminium nur sehr selten verwendet, da es teurer als Stahl ist. Die Autos wurden nach der Schalenbauweise aus Stahl angefertigt, bis die strenger Sicherheitsanforderungen und die steigende Zahl an Ausstattungen die Fahrzeuge immer schwerer werden ließen. Deshalb übernahm man die vielseitige Verwendung von Aluminium aus der Formel 1, um die Autos leichter und damit effizienter zu machen. Die SL-Reihe von Mercedes machte dabei den Anfang, auch hier setzte man auf Verkleidungselemente aus Aluminium. 1985 veröffentlichte Audi ein Fahrzeug mit Schalenbauweise aus dem leichteren Werkstoff. Heute ist die

---

<sup>138</sup>Vgl. (Rees 2020)

<sup>139</sup>Vgl. (Friedrich und Krishnamoorthy 2013, S. 9)

<sup>140</sup>Vgl. (Aluminium Deutschland e. V. kein Datum)

<sup>141</sup>Vgl. (Friedrich und Krishnamoorthy 2013, S. 9 ff)

Verwendung von Aluminium weit verbreitet, oft werden beispielsweise die Karosserien in Mischbauweise angefertigt. Dadurch wird eine Gewichtsreduzierung oder auch eine bessere Gewichtsverteilung erreicht, während Mehrkosten und Umweltbelastung geringgehalten werden können.<sup>142</sup> Seit den 50er Jahren ist der durchschnittliche Anteil von Aluminium pro Neufahrzeug von 19 kg<sup>143</sup> auf 150-200 kg angestiegen. In der Elektromobilität ist dieser Anteil aufgrund der schweren Akkus auf bis zu 600 kg pro Fahrzeug angestiegen, was Aluminium in Zukunft zu einem der wichtigsten Werkstoffe der Autoindustrie macht.<sup>144</sup>

### 5.5.1 Carbon aus der Formel 1

Noch bevor 1985 die erste Schalenbauweise in Aluminium auf den Markt kam, hatte die Formel 1 sich bereits auf einen neuen Werkstoff für die Karosserie fokussiert. Denn schon 1981 brachte der McLaren-Rennstall mit dem MP4/1 in der Formel 1 ein Monocoque aus kohlefaserverstärktem Kunststoff (CFK) auf die Strecke, was den Rennsport weit vorangebracht hat. Wie in Kapitel 4.4 angesprochen, profitierte besonders der Unfallschutz für die Fahrer von dem neu eingesetzten Material.

Ein Bauteil aus CFK ist gegenüber einem aus Aluminium um 30% leichter und weist eine deutlich höhere Festigkeit und Steifigkeit auf. Damit ist es prädestiniert für den Einsatz in Rennwagen, trotz hoher Herstellungskosten und einer komplizierten Verarbeitung.<sup>145</sup> Die Kohlefasern, die bis zu zehnmal so dünn sein können wie ein menschliches Haar, werden zu sogenannten Rovings gebündelt, die in verschiedenen Richtungen zu Matten verwebt werden. Diese Matten werden in der vorgesehenen Form mit Harz getränkt und anschließend vakuumiert, um die Hohlräume zwischen den Rovings zu schließen. Im letzten Schritt muss die Form in einem Hochdruckofen, dem sogenannten Autoklaven, bei ca. 120°C gebacken werden.<sup>146</sup> Das fertige Produkt zeichnet sich des Weiteren durch „seine Korrosionsresistenz und damit Langlebigkeit, seine geringe Wärmeausdehnung, seine Dauertemperaturbeständigkeit und Schwingfestigkeit“<sup>147</sup> aus.

In den Formel 1 Autos hat sich die Anwendung von Kohlefaser-Verbundwerkstoffen schnell durchgesetzt. Sie werden in vielen unterschiedlichen Arten je nach Anforderung zusammengesetzt, neben dem Monocoque bestehen auch die Bremsen, die Flügel, Fahrwerksteile und weitere Komponenten aus CFK. Im Straßenfahrzeugbau wird der Werkstoff vor allem in höherpreisigen Sportwagen eingesetzt. Der McLaren F1 war 1992 das erste Straßenfahrzeug, das ein Chassis

---

<sup>142</sup>Vgl. (Friedrich und Krishnamoorthy 2013, S. 11 ff)

<sup>143</sup>Vgl. (BLECH 2018)

<sup>144</sup>Vgl. (Abrahamczyk 2022)

<sup>145</sup>Vgl. (Gassebner 2013)

<sup>146</sup>Vgl. (Arnold 2020)

<sup>147</sup> (Arnold 2020)

aus Kohlefasern besitzt, er wurde jedoch nur 106-mal gebaut.<sup>148</sup> In den Spitzenmodellen der Großserienfahrzeuge wie den BMW M-Modellen wird CFK für einzelne sichtbare Elemente verwendet. Im Karosseriebau kommt es bei BMW im Oberklassemodell 7er zum Einsatz, die Fahrgastzelle der Elektroautos i3 und i8 besteht komplett aus kohlefaserverstärktem Kunststoff.<sup>149</sup> Dadurch kann man erkennen, dass besonders im immer wichtiger werdenden Segment der Elektroautos, die Leichtbaukomponenten, die in der Formel 1 eingesetzt werden, eine große Rolle einnehmen. Der Schritt vom Rennsport in die Serienproduktion ist bereits vollzogen, ein umfassenderer Einsatz von CFK wird zukünftig auch in weniger teuren Fahrzeugen möglich sein.

## 5.6 Konnektivität im Fahrzeug

Seit den 80er Jahren wird in den Formel 1-Autos auf Sensorik und Computersteuerung gesetzt. Diese Fahrzeuge besaßen die ersten On-board Computer. Die ständige Überwachung und Analyse der Telemetriedaten, wenn ein Auto auf der Strecke unterwegs ist, ist maßgeblich für die Performancesteigerung. Trotz der Verbannung diverser elektronischer Ausstattungen ab 1994 nimmt die Formel 1 heute im Kontext der Connected Cars und des autonomen Fahrens eine wichtige Forschungsrolle ein. Die immer komplexer werdende Überwachung der Mechanik und Thermik von der Box aus hat nicht zuletzt auch dazu geführt, dass inzwischen Motor-, Getriebe- oder Bremsschäden verglichen mit früheren Jahrzehnten immer seltener geworden sind. Die Formel 1-Autos werden als die ersten Connected Cars gesehen und können durch einen erfolgreich durchgeführten Technologietransfer als Wegbereiter dieser Entwicklung gelten.<sup>150</sup>

Aus der steigenden Zahl an Sensorsystemen resultiert eine immer größere Datenmenge, die von einem Formel 1-Auto abgegeben wird. Um mit diesen Datenmengen umgehen zu können, setzen die Rennställe auf Partnerschaften mit entsprechenden externen Unternehmen. So arbeitet beispielsweise Mercedes seit 2015 mit Qualcomm zusammen, die eine führende Rolle in der kabellosen Datenübertragung innehalten.<sup>151</sup> Dadurch werden in der Formel 1 Technologien erprobt, die nicht nur der Entwicklung von Connected Cars weiterhelfen, sondern die auch in Smartphones für schnellere Download- beziehungsweise Upload-Geschwindigkeiten sorgen können.<sup>152</sup> Der Aston Martin Rennstall arbeitet seit 2021 mit dem IT-Unternehmen Cognizant zusammen, um die Digitalisierung der Fahrzeuge auf höchstem Niveau voranzutreiben. Die hohen Anforderungen, die in

---

<sup>148</sup>Vgl. (McLaren kein Datum)

<sup>149</sup>Vgl. (Arnold 2020)

<sup>150</sup>Vgl. (BMW 2019)

<sup>151</sup>Vgl. (D. 2015)

<sup>152</sup>Vgl. (Mercedes AMG F1 2018)

der Formel 1 gelten, dienen den externen Partnern in ihrer Forschung ebenso wie diese den Rennställen dient. Die Ziele derartiger Partnerschaften werden auf der offiziellen Cognizant-Homepage wie folgt beschrieben: „Die Partnerschaft zwischen Aston Martin und Cognizant geht weit über die Formel 1 hinaus, um Leistung, Sicherheit und Technologie von Fahrzeugen auch außerhalb des Rennsports zu verbessern.“<sup>153</sup>

Aber nicht nur im Bereich der Straßenfahrzeuge hat der hohe technologische Standard positive Auswirkungen. Die Erfahrungen aus der Formel 1 können über den digitalen Kosmos ebenso auf andere Bereiche übertragen werden, wie zum Beispiel auf die Medizintechnik, den Flugzeugbau oder in die LKW-Entwicklung und das autonome Fahren. Auch in diesen Bereichen steht der Umgang mit großen Datenmengen im Vordergrund. Zuletzt wird die technische Ausrüstung, wie zum Beispiel die Server, in der Königsklasse auf die Probe gestellt. Denn diese müssen zu jedem Rennen eingepackt, verfrachtet und wieder aufgebaut werden, wodurch man hohe Anforderungen an die Komponenten stellt und zu deren Weiterentwicklung beiträgt.<sup>154</sup>

## 5.7 Digitalisierung in der Forschung und Produktion

Die Werke, die hinter den Rennställen stehen und die die Daten für ihre Forschung abseits der Strecke verwenden, sind in der Digitalisierung ebenso weit fortgeschritten. An einem Rennwochenende sammelt ein Rennstall ca. 500 Gigabyte an Daten vor Ort. In der Fabrik fällt innerhalb einer Woche die zehn- bis zwanzigfache Menge an Daten an, was auf die Forschung im Windkanal oder auf dem Prüfstand und die Arbeit am Computer zurückzuführen ist. Deshalb wird dort beispielsweise in die Datenanalyse, das Maschinlernen oder die künstliche Intelligenz investiert. Das Wissen in diesen Bereichen kann am Beispiel von Mercedes auf die Entwicklungslabore der Straßenfahrzeuge übertragen werden. Die F1-Ingenieure arbeiten immer enger mit ihren Kollegen aus der Serienproduktion zusammen.<sup>155</sup>

Das hängt auch mit der Art zusammen, wie die Serienfahrzeuge heutzutage hergestellt werden. Die Straßenfahrzeuge sollen durch die diversen Ausstattungswahlmöglichkeiten immer individueller werden, wodurch auch die Produktionslinien variabel sein müssen, ohne Verzögerungen auszulösen. Die Maschine hat nicht mehr nur eine gleichbleibende Aufgabe, sie muss innerhalb kürzester Zeit in der Lage sein, zum Beispiel ein anderes Teil anzufertigen als davor. In der Formel 1 sieht man sich mit diesen Vorgaben seit jeher konfrontiert und weiß,

---

<sup>153</sup> (Cognizant 2022)

<sup>154</sup>Vgl. (Mercedes AMG F1 2018)

<sup>155</sup>Vgl. (Mercedes AMG F1 2018)

mit schnellen Veränderungen und deren Umsetzung und Anwendung umzugehen. Die erforderlichen Voraussetzungen wie additive Fertigungsverfahren oder digitale Prozessabläufe sind ebenfalls gegeben. Dadurch können die Hersteller die Effektivität neuer Methoden für die Serienproduktion in der Formel 1 mit kleineren Stückzahlen testen und analysieren.<sup>156</sup>

An der Konstruktion der neuen Fahrzeuge für die Saison 2022 wird abschließend noch einmal deutlich, auf welchem technologischen Niveau die Formel 1 heute arbeitet. Über 7.500 Simulationen wurden für die Designfindung durchgeführt, wobei eine Datenmenge von ungefähr 500.000 Gigabyte angefallen ist. Das entspricht einem Drittel der Menge aller 10 Milliarden Fotos auf Facebook. Die Durchführung dieser Simulationen hätte an einem „normalen“ Computer mit Intel i9 Prozessor über 450 Jahre gedauert.<sup>157</sup> Es bleibt also spannend zu erwarten, inwiefern die künftigen technologischen Entwicklungen der Formel 1 sich weiter auf die Serienproduktion auswirken werden.

---

<sup>156</sup>Vgl. (Mercedes AMG F1 2018)

<sup>157</sup>Vgl. (Stuart 2021)

## 6 Die Zukunft der Formel 1

Einen gewissen Ausblick in die Zukunft haben die Verantwortlichen der Formel 1 bereits gegeben. Bis zum Jahr 2030 möchte man Klimaneutralität erlangen, weshalb die Formel 1 den Klimapakt der UN unterschrieben hat, den „Sports for Climate Action Framework“.<sup>158</sup> Der nächste große Schritt in diese Richtung werden die Regeländerungen zum Jahr 2026 sein. Zunächst sollen mehr Teile eines Formel 1-Fahrzeugs vereinheitlicht werden, um die Kosten der Teams zu deckeln und gegen das finanzielle Ungleichgewicht vorzugehen, das zwischen ihnen herrscht. Auch im Bereich der Aerodynamik will man weitere Fortschritte machen. Erstmals soll dabei jedoch nicht die Geschwindigkeit im Vordergrund stehen, sondern die Effizienz durch einen geringeren Luftwiderstand. Mit dem neuen Design werden die Autos wieder kleiner ausfallen, um das Rennerlebnis zu verbessern. Die Materialien dafür werden nachhaltiger sein und die Recycling-Fähigkeit, die zum Beispiel bei Kohlefaserteilen sehr gering ist, soll sich verbessern. Im Bereich der Sicherheit sollen aktive und vernetzte Sicherheitssysteme weiterentwickelt werden, die auch auf die Serienproduktion Einfluss nehmen können. Bei den Motoren steht die Verwendung von 100% synthetischem und nachhaltigem Kraftstoff im Vordergrund. Allerdings soll parallel die Hälfte der Gesamtsystemleistung durch elektrische Energie erzeugt werden. Gleichzeitig sollen die Motoren langlebiger werden.<sup>159</sup>

Ein weiteres Ziel der Regeländerungen und Kostensenkungen ist, neue Automobilhersteller für die Formel 1 zu gewinnen. Über die beiden Marken Audi und Porsche steigt der Volkswagen-Konzern deshalb aller Voraussicht nach in die Königsklasse ein. VW-Vorstandschef Herbert Diess äußerte sich wie folgt über diese Pläne: „Die Formel 1 wird umweltfreundlicher mit Elektrifizierung und synthetischen Kraftstoffen. Der Vorstand war sich aber nicht ganz einig – eigentlich haben wir genug zu tun. Doch die Premiummarken sehen die Formel 1 als bedeutenden Hebel, um Markenwert zu steigern. Die Motorenentwicklung hat begonnen.“<sup>160</sup> Eine offizielle Bestätigung über den Eintritt des VW-Konzerns gibt es jedoch noch nicht, Herbert Diess wird ab September seine Tätigkeiten für VW niederlegen.<sup>161</sup> Dennoch kann man an diesem Beispiel erkennen, dass die Formel 1 auch in Zukunft eine wichtige Rolle im Automobilsektor einnehmen wird, die für die Hersteller weiterhin interessant bleibt.

---

<sup>158</sup>Vgl. (Formula 1 2020)

<sup>159</sup>Vgl. (Ehlen und Nimmervoll, Formel-1-Reglement 2026: Was bisher bekannt ist 2022)

<sup>160</sup>Vgl. (Bach und Garloff 2022)

<sup>161</sup>Vgl. (Ginsburg, Schallenberger und Özgenc 2022)

Neben den Regeländerungen für das Jahr 2026 werden die Veranstaltungen und die dahinterstehende Logistik schon jetzt nachhaltiger gestaltet. So hat man 2021 beim Großen Preis von Großbritannien die Film- und Videoaufnahmen klimaneutral produziert. Dafür wurden beispielsweise die Dieselgeneratoren der Produktionsfirmen mit nachhaltigem Treibstoff betankt, die Emissionen durch die Mobilität zu und an der Strecke wurden durch Elektromobilität gesenkt und der Fleischkonsum wurde eingeschränkt.<sup>162</sup> Die Umsetzung des übergeordneten Ziels bis 2030 wurde also bereits begonnen. Die Zukunft wird zeigen, ob man dieses auch erreichen kann.

---

<sup>162</sup>Vgl. (Formula 1 2021)

---

## 7 Fazit

Die Formel 1 und ihr technologischer Fortschritt leben seit jeher durch den Wettkampf auf und abseits der Strecke. In der Anfangsphase waren es noch die Fahrer, die in den Grand Prix die entscheidenden Vorteile einfahren konnten. Im Laufe der Zeit und mit den wachsenden Ressourcen der Rennställe wurden die Konstrukteure jedoch immer wichtiger. Mit dem Ziel, der schnellste zu sein und Rennen zu gewinnen, wurde ihnen eine Art der Motivation gegeben, die so manchem Ingenieur aus der Serienproduktion vielleicht gefehlt hat. Die Erfolge der Formel 1 machen nicht allein Zuschauerzahlen oder spannende Rennen aus. Sie stecken in jedem Auto, in unseren Handys, in LKWs oder Flugzeugen und werden künftig weiter Einfluss auf Digitalisierung und Mobilität nehmen.

Scheibenbremse oder Turbolader waren seinerzeit keine Entwicklungen, die die Formel 1 neu erfunden hat. Dennoch hat die Königsklasse schon in ihren frühen Jahren zu deren flächendeckender Anwendung beigetragen. Seit der zunehmenden Kommerzialisierung in den 80er Jahren wächst der Beitrag der Formel 1 auf die Serienproduktion, die Innovationen der Formel 1 erbringen immer öfter echte Neuheiten. Fahrwerkstechnik, Motoren, Getriebe und Karosseriebau als auch die Sicherheit im Allgemeinen konnten bereits davon profitieren.

Ein breites Feld, mit dem sich die Ingenieure der Königsklasse ebenfalls beschäftigen ist die Aerodynamik. Jedoch sind die Zielsetzungen in der Formel 1 vermeintlich nicht mit denen in der Serienproduktion gleichzusetzen. Es ist für Rennwagen oberstes Ziel, Abtrieb zu generieren, bei Serienfahrzeugen gilt es eher, bei hohen Geschwindigkeiten Auftrieb zu vermeiden. Gewonnene Erkenntnisse lassen sich also für beides nutzen. Dementsprechend wird man auch weiterhin in Sachen Effizienz einen Gleichlauf in Serie und Sport beobachten.

Die, eingangs erwähnten, wieder steigenden Zuschauerzahlen stützen die finanzielle Basis für die weitere Existenz des Entwicklungspotenzials auf höchstem Niveau, das die Formel 1 seit jeher verkörpert. Der erfolgreiche Fortbestand des Formel 1-Wettbewerbs darf also über den rein sportlichen Aspekt hinaus als sinnvoll und durchaus wünschenswert gesehen werden.

---

## Quellenverzeichnis

- Abrahamczyk, Markus. *Autobauer stehen vor nächstem Engpass*. 8. Februar 2022.  
[https://www.t-online.de/auto/technik/id\\_91627840/aluminium-autobauer-stehen-vor-naechstem-engpass.html](https://www.t-online.de/auto/technik/id_91627840/aluminium-autobauer-stehen-vor-naechstem-engpass.html) (Zugriff am 16. August 2022).
- Aluminium Deutschland e. V. *Aluminium Lexikon – der Werkstoff von A–Z*. kein Datum.  
<http://www.aluinfo.de/aluminium-lexikon-detail.html?id=28#:~:text=Die%20Verwendung%20von%20Aluminium%20statt%20Stahl%20spart%20vor,gebaut%20werden%20k%C3%B6nnen%20und%20deshalb%20weniger%20Antriebsenergie%20ben%C3%B6tigen.> (Zugriff am 16. August 2022).
- angurten.de. *1906: Renault gewinnt den ersten Grand Prix der Welt*. 2006.  
<https://www.angurten.de/news/160#:~:text=Juni%201906%2C%20gewann%20Renault%20den%20ersten%20Grand%20Prix,der%20heutigen%20Formel%201-L%C3%A4ufe%20in%20die%20Geschichte%20ein.> (Zugriff am 16. August 2022).
- Arnold, Nils. *Carbon: Hightech-Werkstoff im Automobilbau*. 18. Dezember 2020.  
<https://www.bmw.com/de/performance/carbon-bei-autos.html> (Zugriff am 16. August 2022).
- Bach, Ralf, und Bianca Garloff. *VW-Chef bestätigt Formel-1-Hammer*. 2. Mai 2022.  
<https://www.sport1.de/news/motorsport/formel1/2022/05/formel-1-vw-boss-diess-bestatigt-plane-zum-f1-einstieg-von-porsche-und-audi> (Zugriff am 16. August 2022).
- Barlow, Jason. *GROSSE FERRARI-INNOVATIONEN: DAS HALBAUTOMATISCHE GETRIEBE AUS DER FORMEL 1*. 4. Februar 2022.  
<https://www.ferrari.com/de-DE/magazine/articles/great-ferrari-innovations-the-f1-semi-automatic-gearbox> (Zugriff am 16. August 2022).
- BLECH. *Aluminium 2018: Leichtbau in der Automobilbranche*. 10. Juli 2018.  
<https://www.blechonline.de/aluminium-2018-leichtbau-in-der-automobilbranche> (Zugriff am 16. August 2022).
- BMW. *Connected Car - Das vernetzte Auto*. 24. Oktober 2019.  
<https://www.bmw.com/de/innovation/connected-car.html> (Zugriff am 16. August 2022).
- Boi, Kathryn. *Die Formel 1 als mediatisiertes*. Wiesbaden: Springer, 2015.
- brembo. *TEN YEARS HAVE PASSED SINCE THE BRAUN GP AND BREMBO BRAKE FAIRYTALE*. 27. September 2019.  
<https://www.brembo.com/en/company/news/2009-formula-1-vs-2019-brake-comparison> (Zugriff am 9. August 2022).

- Brembo. *EIN SPRUNG IN DIE ZUKUNFT MIT DEN BREMBO-BREMSEN: EINE NEUE ART ZU FAHREN, MIT VORTEILEN FÜR DIE AUTOFAHRER UND DIE UMWELT.* 12. September 2019. <https://www.brembo.com/de/company/news/wir-stellen-vor-die-bremse-der-zukunft> (Zugriff am 16. August 2022).
- Broughall, Matt. *Was sind g-Kräfte und wie hängen sie mit riskanter Fahrweise zusammen?* 5. November 2020. <https://www.geotab.com/de/blog/g-kraefte/> (Zugriff am 16. August 2022).
- Butcher, Lawrence. *Brembo outlines key brake system changes for F1 2022.* 16. März 2022. <https://www.pmw-magazine.com/news/chassis/brembo-outlines-key-brake-system-changes-for-f1-2022.html> (Zugriff am 16. August 2022).
- Codling, Stuart, James Mann, und Gordon Murray. *Formel 1 Die Rennwagen.* München: GeraMond Verlag GmbH, 2014.
- Cognizant. *Partnerschaft für Technologie.* 2022. <https://www.cognizant.com/de/de/aston-martin-cognizant-formula-one> (Zugriff am 16. August 2022).
- Cooper, Adam, und Norman Fischer. *Mercedes: E10-Kraftstoff größte Regeländerung der Hybridära.* 5. Februar 2022. <https://www.formel1.de/news/news/2022-02-05/mercedes-e10-kraftstoff-groesste-regelaenderung-der-hybridara> (Zugriff am 16. August 2022).
- D., Yvonne. *Formel 1: Mercedes AMG Petronas begrüßt Qualcomm als offiziellen Technologie-Partner.* 2. März 2015. [https://www.speedmagazin.de/formel1/news/formel-1-mercedes-amg-petronas-begrae%C3%9Ft-qualcomm-als-offiziellen-technologie-partner\\_55819.html](https://www.speedmagazin.de/formel1/news/formel-1-mercedes-amg-petronas-begrae%C3%9Ft-qualcomm-als-offiziellen-technologie-partner_55819.html) (Zugriff am 16. August 2022).
- De Groot, Steven. *F1 rules and stats 1950-1959.* 1. Januar 2009a. <https://www.f1technical.net/articles/23> (Zugriff am 16. August 2022).
- . *F1 rules and stats 1960-1969.* 1. Januar 2009b. <https://www.f1technical.net/articles/24> (Zugriff am 16. August 2022).
- . *F1 rules and stats 1970-1979.* 1. Januar 2009c. <https://www.f1technical.net/articles/25> (Zugriff am 16. August 2022).
- . *F1 rules and stats 1980-1989.* 1. Januar 2009d. <https://www.f1technical.net/articles/26> (Zugriff am 16. August 2022).
- . *F1 rules and stats 1990-1999.* 1. Januar 2009e. <https://www.f1technical.net/articles/62> (Zugriff am 7. August 2022).

- 
- . *F1 rules and stats 2000-2009*. 1. Januar 2009f. <https://www.f1technical.net/articles/27> (Zugriff am 16. August 2022).
- . *F1 rules and stats 2010-2019*. 1. März 2019. <https://www.f1technical.net/articles/12497> (Zugriff am 16. August 2022).
- Der Spiegel. *Kers in der Formel 1 - Ein System, viele Meinungen*. 4. Mai 2011. <https://www.spiegel.de/fotostrecke/kers-in-der-formel-1-ein-system-viele-meinungen-fotostrecke-67599.html> (Zugriff am 16. August 2022).
- Ehlen, Stefan. *Halo in der Formel 1: Alles, was Du über den Cockpitschutz wissen musst!* 13. September 2021a. <https://de.motorsport.com/f1/news/halo-in-der-formel-1-alles-was-du-ueber-den-cockpitschutz-wissen-musst-21091311/6667287/> (Zugriff am 16. August 2022).
- Ehlen, Stefan, und Adam Cooper. *Formel-1-Farce Indianapolis 2005: Was damals wirklich geschah*. 19. Juni 2020. <https://www.formel1.de/news/news/2020-06-19/formel-1-farce-indianapolis-2005-was-damals-wirklich-geschah> (Zugriff am 16. August 2022).
- Ehlen, Stefan, und Christian Nimmervoll. *Formel-1-Reglement 2026: Was bisher bekannt ist*. 27. Juni 2022. <https://www.formel1.de/news/news/2022-06-27/formel-1-reglement-2026-was-bisher-bekannt-ist> (Zugriff am 16. August 2022).
- Ehlen, Stefan, und Luke Smith. *Formel-1-Motorenfrage: Mercedes stimmt MGU-H-Aus zu, wenn ...* 12. September 2021b. <https://www.formel1.de/news/news/2021-09-12/formel-1-motorenfrage-mercedes-stimmt-mgu-h-aus-zu-wenn> (Zugriff am 16. August 2022).
- FIA. *FIA - Organisation*. 2022. <https://www.fia.com/fr/organisation> (Zugriff am 16. August 2022).
- FOCUS online. *Was bewirkt die Ladeluftkühlung bei Turbomotoren?* 4. Februar 2014. [https://www.focus.de/auto/ratgeber/auto-abc/auto-was-bewirkt-die-ladeluftkuehlung-bei-turbomotoren\\_id\\_3589553.html](https://www.focus.de/auto/ratgeber/auto-abc/auto-was-bewirkt-die-ladeluftkuehlung-bei-turbomotoren_id_3589553.html) (Zugriff am 16. August 2022).
- Formula 1. *1950 RACE RESULTS*. 2022a. <https://www.formula1.com/en/results.html/1950/races.html> (Zugriff am 16. August 2022).
- . *1951 RACE RESULTS*. 2022b. <https://www.formula1.com/en/results.html/1951/races.html> (Zugriff am 16. August 2022).

- 
- , 1954 RACE RESULTS. 2022c.  
<https://www.formula1.com/en/results.html/1954/races.html> (Zugriff am 16. August 2022).
- , *Formula 1 and FIA sign United Nations' Sports for Climate Action Framework*. 22. Januar 2020. <https://www.formula1.com/en/latest/article.formula-1-and-fia-sign-united-nations-sports-for-climate-action-framework.4ClwISJuvX2IHWwqquWaQA.html> (Zugriff am 16. August 2022).
- , *Formula 1 to deliver Carbon Neutral broadcast production of the British Grand Prix*. 16. Juli 2021. <https://www.formula1.com/en/latest/article.formula-1-to-deliver-carbon-neutral-broadcast-production-of-the-british.3xjP7TqPkpcQX9fSGyuiqA.html> (Zugriff am 16. August 2022).
- , *Mercedes to debut Formula 1 MGU-H technology in AMG road cars (Anfang des Links: <https://www.formula1.com>)*. 17. Juni 2020. [/en/latest/article.mercedes-to-debut-formula-1-mgu-h-technology-in-amg-road-cars.6ha9y57tg2aY33xZsWQjwH.html#:~:text=The%20latest%20Formula%201%20innovation%20set%20to%20break,their%20Mercedes-AMG%20supercars%20for%20a%20future%20production%20model](https://www.formula1.com/en/latest/article.mercedes-to-debut-formula-1-mgu-h-technology-in-amg-road-cars.6ha9y57tg2aY33xZsWQjwH.html#:~:text=The%20latest%20Formula%201%20innovation%20set%20to%20break,their%20Mercedes-AMG%20supercars%20for%20a%20future%20production%20model). (Zugriff am 16. August 2022).
- , *Technical analysis - brake-by-wire systems explained*. 23. Mai 2014. <https://www.formula1.com/en/latest/features/2014/5/Technical-analysis---brake-by-wire-systems-explained.html> (Zugriff am 16. August 2022).
- Frankfurter Allgemeine Zeitung. *Formel 1 - Die neuen Regeln 2006*. 10. März 2006. <https://www.faz.net/aktuell/sport/formel-1/formel-1-die-neuen-regeln-2006-1302457.html> (Zugriff am 16. August 2022).
- , *SICHERHEIT IN DER FORMEL 1 - HANS sei Dank*. 11. Juni 2007. <https://www.faz.net/aktuell/sport/formel-1/sicherheit-in-der-formel-1-hans-sei-dank-1438112/innige-verbinding-neu-1451743.html> (Zugriff am 16. August 2022).
- Friedrich, Horst, und Sivakumara Krishnamoorthy. „Leichtbau als Treiber von Innovationen.“ In *Leichtbau in der Fahrzeugtechnik*, von Horst Friedrich, 1-29. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2013.
- Gassebner, Jürgen. *Carbon (CFK) im Automobilbau: Der Superwerkstoff - Schwarzes Gold*. 6. November 2013. <https://www.autozeitung.de/carbon-cfk-im-automobilbau-der-superwerkstoff-68230.html> (Zugriff am 16. August 2022).
- Geißler, Dominik. *Erstes Formel-1-Rennen der Geschichte: Die Geburtsstunde der Königsklasse*. 13. Juli 2017. <https://www.spox.com/de/sport/formel1/1707/Artikel/erstes-rennen-der->
-

- geschichte-grossbritannien-gp-1950-silverstone-farina.html (Zugriff am 16. August 2022).
- Ginsburg, Leo, Luca Schallenberger, und Kayhan Özgenc. „*Riesiger Fehler, dass der Vertrag verlängert wurde*“: Warum die Eigentümer-Familien Porsche und Piëch VW-Chef Diess gefeuert haben. 1. August 2022. <https://www.businessinsider.de/wirtschaft/riesiger-fehler-dass-der-vertrag-verlaengert-wurde-warum-die-eigentuemmer-familien-porsche-und-piech-vw-chef-diess-gefeuert-haben-h/> (Zugriff am 16. August 2022).
- Gowda, Dese. *How has Drive to Survive helped F1?* 24. Februar 2022. <https://www.sportskeeda.com/f1/news-how-drive-survive-helped-f1#:~:text=Drive%20to%20Survive%20has%20helped%20F1%20achieve%20something,the%20sport%E2%80%99s%20bosses%20struggled%20to%20attract%20newer%20audiences.> (Zugriff am 16. August 2022).
- Grüner, Tobias. *PLÄNE FÜR MOTOREN UND TECHNIK 2026 - Neue Autos kürzer und leichter*. 27. April 2022. <https://www.auto-motor-und-sport.de/formel-1/f1-reglement-2026-plaene-motoren-aerodynamik/> (Zugriff am 16. August 2022).
- Hamilton, Maurice. *FORMULA 1 THE OFFICIAL HISTORY*. London: Welbeck, 2021.
- Handelsblatt. *Die Überhol-Beschleuniger: KERS und DRS*. 15. April 2011. <https://www.handelsblatt.com/dpa/sport/formel1/sport-die-ueberhol-beschleuniger-kers-und-drs/4065070.html> (Zugriff am 16. August 2022).
- Hauri, Stefan. *Die Domestizierung des Turbomotors*. 6. September 2019. <https://www.nzz.ch/mobilitaet/auto-mobil/renault-motorentwicklung-die-domestizierung-des-turbomotors-ld.1505853> (Zugriff am 16. August 2022).
- Helgert, Markus. *100 Jahre FIA - eine Erfolgsgeschichte*. 13. Oktober 2004. <https://www.motorsport-total.com/formel-1/news/100-jahre-fia-eine-erfolgsgeschichte-04101310> (Zugriff am 16. August 2022).
- Hönscheidt, Walter. *Das Autojahr 1955 - Star des Jahres ist der neue Citroen DS*. 20. Februar 2005. <https://www.faz.net/aktuell/technik-motor/motor/das-autojahr-1955-star-des-jahres-ist-der-neue-citroen-ds-1212743-p3.html> (Zugriff am 16. August 2022).
- Jaguar Land Rover. *JAGUAR C-Type CONTINUATION*. 2022. <https://www.jaguar.de/ueber-jaguar/jaguar-classic/c-type-continuation.html> (Zugriff am 16. August 2022).
- Jeffries, Tom. *Erklärt: Was ist DRS in der Formel 1 und wie funktioniert es?* 20. Mai 2022. <https://www.formel1.de/news/news/2022-05-20/erklaert-was-ist-drs-in-der-formel-1-und-wie-funktioniert-es> (Zugriff am 16. August 2022).

- Jordan, Markus. *“WAGEN OHNE PFERDE” ZEIGT SICH 1894 IM ERSTEN WETTBEWERB*. 8. Dezember 2018. <https://mbpassion.de/2018/12/wagen-ohne-pferde-zeigt-sich-1894-im-ersten-wettbewerb/> (Zugriff am 16. August 2022).
- Kilimann, Susanne, und Sebastian Viehmann. *125 Jahre Automobil - Bremsen*. 20. Oktober 2013. [https://www.focus.de/auto/gebrauchtwagen/oldtimer/automobilentstehung/meilensteine-der-autoentwicklung-125-jahre-automobil\\_id\\_2006601.html](https://www.focus.de/auto/gebrauchtwagen/oldtimer/automobilentstehung/meilensteine-der-autoentwicklung-125-jahre-automobil_id_2006601.html) (Zugriff am 16. August 2022).
- Liu-Henke, Xiaobo. *HiL-Prüfstand für Aktive Federung*. kein Datum. <https://www.ostfalia.de/cms/de/pws/liu-henke/forschungsausstattung/aktive-federung/> (Zugriff am 16. August 2022).
- Macknight, Nigel. *Die Technik der Formel 1*. Königswinter: HEEL, 1998.
- McLaren. *Die geschichte F1*. kein Datum. <https://cars.mclaren.com/de-de/legacy/mclaren-f1> (Zugriff am 16. August 2022).
- Menath, Christian. *Alles neu bringt 2014 - Die Regeländerungen im Überblick*. 1. Januar 2014. <https://www.motorsport-magazin.com/formel1/news-186142-die-regelaenderungen-im-ueberblick/> (Zugriff am 16. August 2022).
- Mercedes AMG F1. *INSIDE: Fünf Beispiele, warum F1 die Zukunft fördert (Anfang Link: https://www.mercedesamgf1.com/)*. 2018. <https://www.mercedesamgf1.com/de/news/news/10/inside-fuenf-beispiele-warum-f1-die-zukunft-foerdert/#:~:text=Formel%201-Autos%20sind%20wahrscheinlich%20die%20Fahrzeuge%20mit%20der,konkurrenzf%C3%A4hig%20zu%20sein%2C%20verarbeiten%20F1-Teams%20sehr%20viele%20Daten.> (Zugriff am 16. August 2022).
- Mercedes-Benz. *M@RS – Das digitale Archiv von Mercedes-Benz Classic*. 2022. <https://mercedes-benz-publicarchive.com/marsClassic/de/instance/ko/Willkommen-bei-Classi-MaRS.xhtml?oid=34685039> (Zugriff am 16. August 2022).
- mobile.de. *Adaptives Fahrwerk: Was ist das?* 30. Juni 2022. <https://www.mobile.de/magazin/artikel/adaptives-fahrwerk-was-ist-das> (Zugriff am 16. August 2022).
- . *Der Ladeluftkühler (LLK): Funktionsweise und Vorteile*. 24. Oktober 2019. <https://www.mobile.de/magazin/artikel/der-ladeluftkuehler-funktionen-und-vorteile-9514> (Zugriff am 16. August 2022).
- Nimmervoll, Christian. *Die große Analyse: KERS für Dummies*. 25. März 2009. <https://www.motorsport-total.com/formel-1/news/die-grosse-analyse-kers-fuer-dummies-09032524> (Zugriff am 16. August 2022).

- Pander, Jürgen. *Zähmung aufgeladener Motoren - Wo ist das Turboloch?* 6. Oktober 2012. <https://www.spiegel.de/auto/aktuell/die-technischen-innovationen-die-das-turboloch-verschwinden-liessen-a-855876.html> (Zugriff am 16. August 2022).
- Rees, Chris. *Der unaufhaltsame Aufstieg des Ferrari-Automatikgetriebes von der Formel 1 bis zum neusten Roma und SF90 Stradale.* 24. April 2020. <https://www.ferrari.com/de-DE/magazine/articles/the-ferrari-automated-gearbox-from-f1-to-ferrari-roma> (Zugriff am 16. August 2022).
- Renault. *UNTER DRUCK: SO FUNKTIONIERT EIN TURBOLADER.* 2017. <https://blog.renault.de/neues-von-renault-wie-funktioniert-ein-turbomotor/> (Zugriff am 16. August 2022).
- Reuß, Eberhard. *50 Jahre Formel 1.* Stuttgart: Motorbuch Verlag, 1999.
- RTL news. *MGUH (Motor Generator Unit Heat).* 12. März 2014a. <https://www.rtl.de/cms/mguh-motor-generator-unit-heat-1834623.html> (Zugriff am 16. August 2022).
- RTL News. *MGUK (Motor Generator Unit Kinetic).* 12. März 2014b. <https://www.rtl.de/cms/mguk-motor-generator-unit-kinetic-1834625.html> (Zugriff am 16. August 2022).
- Schmidt, Michael. *BMW Turbo mit 1.430 PS vorne.* 9. Juli 2019c. <https://www.auto-motor-und-sport.de/formel-1/die-staerksten-motoren-der-formel1-geschichte/> (Zugriff am 16. August 2022).
- . *Die großen F1-Konstrukteure.* 8. März 2019b. <https://www.auto-motor-und-sport.de/formel-1/chapman-newey-barnard-die-grossen-f1-konstrukteure/> (Zugriff am 16. August 2022).
- . *Die schwarzen Stunden der Formel 1.* 24. März 2019a. <https://www.auto-motor-und-sport.de/formel-1/todesfaelle-f1/#> (Zugriff am 16. August 2022).
- sgl carbon. *Carbonfasern und carbonfaserverstärkter Kunststoff.* 2022. <https://www.sglcarbon.com/carbonfasern-und-cfk/> (Zugriff am 16. August 2022).
- Sharaf, Dominik. *Bremsen in der Formel 1: In 3,79 Sekunden von 300 auf null.* 5. Februar 2017. <https://www.motorsport-total.com/formel-1/news/bremsen-in-der-formel-1-in-379-sekunden-von-300-auf-null-17020509> (Zugriff am 16. August 2022).
- Somerfield, Matt. *Formel-1-Technik: Evolution des Kupplungshebels am Lenkrad.* 20. März 2017. <https://de.motorsport.com/f1/news/formel-1-technik-evolution-des-kupplungshebels-am-lenkrad-884141/884141/?nrt=54> (Zugriff am 16. August 2022).

- Specht, Michael. *Elektronik statt Hydraulik - Die Fortschritts-Bremse*. 29. Oktober 2021. <https://www.spiegel.de/auto/brake-by-wire-wie-die-autoindustrie-das-bremsen-revolutioniert-a-a54933b2-dca4-431d-83e6-71f4a9a12f44> (Zugriff am 16. August 2022).
- SPOX. *Formel 1 - Was ist eine MGU-K? Formel-1-Begriffe im Lexikon erklärt*. 28. Mai 2018. <https://www.spoxx.com/de/sport/formel1/1805/Artikel/lexikon-und-glossar-f1-begriffe-woerter-erklaert.html> (Zugriff am 16. August 2022).
- STK Turbo Technik. *Historie der Abgasturbo Aufladung*. kein Datum. <https://www.turbolader.net/Technik/Geschichte.aspx> (Zugriff am 16. August 2022).
- Stuart, Greg. *10 things you need to know about the all-new 2022 F1 car*. 15. Juli 2021. <https://www.formula1.com/en/latest/article.10-things-you-need-to-know-about-the-all-new-2022-f1-car.4OLg8DrXyzHzdoGrbqp6ye.html> (Zugriff am 16. August 2022).
- Süddeutsche Zeitung. *Tucker Torpedo - Vom Vorgestern ins Heute*. 12. August 2009. <https://www.sueddeutsche.de/auto/tucker-torpedo-vom-vorgestern-ins-heute-1.264532> (Zugriff am 16. August 2022).
- Totalism. *F1 rule changes: The role of aerodynamics*. 15. Juni 2017. <https://www.totalsimulation.co.uk/f1-rule-changes-role-aerodynamics/> (Zugriff am 16. August 2022).
- Tremayne, David. *Formel 1 Technik unter der Lupe*. Stuttgart: Motorbuch Verlag, 2001.
- Welt. *Erklärt: Motoraufladung*. 14. September 2020. <https://www.welt.de/motor/news/article215684504/Ganz-schoen-geladen-Erklaert-Motoraufladung.html> (Zugriff am 16. August 2022).
- White, John. *THE FORMULA ONE MISCELLANY*. London: Carlton, 2007.
- Yokoya, Y., K. Asami, T. Hamajima, and N. Nakashima. *Toyota Electronic Modulated Suspension (TEMS) System for the 1983 Soarer 840341*. 1. Februar 1984. <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/840341/> (Zugriff am 16. August 2022).
- Ziegler, Stefan, und Haymarket. *Hintergrund: Die erste Turbo-Ära der Formel 1*. 5. Februar 2014. <https://www.formel1.de/news/news/2014-02-05/hintergrund-die-erste-turbo-aera-der-formel-1> (Zugriff am 16. August 2022).

## Anhangsverzeichnis

|                 |   |
|-----------------|---|
| <b>Anhang 1</b> | Ehrenwörtliche Erklärung                          |
| <b>Anhang 2</b> | Erklärung zur Prüfung wissenschaftlicher Arbeiten |

## Ehrenwörtliche Erklärung

"Ich erkläre hiermit ehrenwörtlich",

erstens, dass ich meine Bachelorthesis mit dem Thema „Die Anwendungen technologischer Entwicklungen in der Formel 1 auf die Serienproduktion von Fahrzeugen“ ohne fremde Hilfe angefertigt habe,

zweitens, dass ich die Übernahme wörtlicher Zitate aus der Literatur sowie die Verwendung der Gedanken anderer Autoren an den entsprechenden Stellen innerhalb der Arbeit gekennzeichnet habe und

drittens, dass ich meine Bachelorthesis bei keiner anderen Prüfung vorgelegt habe.

Ich bin mir bewusst, dass eine falsche Erklärung rechtliche Folgen haben wird.

---

Ort, Datum

---

Unterschrift

## Erklärung zur Prüfung wissenschaftlicher Arbeiten

Die Bewertung wissenschaftlicher Arbeiten erfordert die Prüfung auf Plagiate. Die hierzu von der Staatlichen Studienakademie Glauchau eingesetzte Prüfungskommission nutzt sowohl eigene Software als auch diesbezügliche Leistungen von Drittanbietern.

Dies erfolgt gemäß § 7 des Gesetzes zum Schutz der informationellen Selbstbestimmung im Freistaat Sachsen (Sächsisches Datenschutzgesetz - SächsDSG) vom 25. August 2003 (Rechtsbereinigt mit Stand vom 31. Juli 2011) im Sinne einer Datenverarbeitung im Auftrag.

Der Studierende bevollmächtigt die Mitglieder der Prüfungskommission hiermit zur Inanspruchnahme o. g. Dienste. In begründeten Ausnahmefällen kann der Datenschutzbeauftragte der Berufsakademie Sachsen sowohl vom Verfasser der wissenschaftlichen Arbeit als auch von der Prüfungskommission in den Entscheidungsprozess einbezogen werden.

|                   |   |
|-------------------|---|
| Name:             | Bollerhoff  |
| Vorname:          | Christian   |
| Matrikelnummer:   | 4003820   |
| Studiengang:      | Automobilmanagement   |
| Titel der Arbeit: | Die Anwendungen technologischer Entwicklungen in der Formel 1 auf die Serienproduktion von Fahrzeugen |
| Datum:            | 17. August 2022   |
| Unterschrift:     |   |