

# **Umweltstudie für den Deutschen Motor Sport Bund 2022**



---

## Umweltstudie 2022 für den DMSB Deutscher Motor Sport Bund

---

### IMPRESSUM:

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Studie liegt bei den Autorinnen und Autoren.  
Die hier dargestellten Ansichten müssen nicht mit denjenigen des DMSB übereinstimmen.

Bearbeitet von:

M.Sc. Maria von Moers-Meißner, Prof. Dr. Franz Brümmer und Prof. Dr. Ralph O. Schill

#### **aquatil gGmbH**

Derendinger Straße 106  
72072 Tübingen  
Tel. +49 7071 8598353  
Mail: [info@aquatil.org](mailto:info@aquatil.org)  
[www.aquatil.org](http://www.aquatil.org)



[www.blauer-engel.de/uz195](http://www.blauer-engel.de/uz195)  
Dieses Druckerzeugnis ist mit dem  
Blauen Engel ausgezeichnet.

Auftraggeber:

#### **Deutscher Motor Sport Bund e. V.**

Lyoner Stern - Hahnstraße 70  
D-60528 Frankfurt/Main  
Tel.: +49 69 633007-0  
Fax: +49 69 633007-30  
Mail: [info@dmsb.de](mailto:info@dmsb.de)  
[www.dmsb.de](http://www.dmsb.de)

Tübingen, Mai 2023 – aquatil gGmbH

# **DSMB**

MIT SICHERHEIT MOTORSPORT.

**INHALT:**

---

<b>1. Einleitung</b>	<b>6</b>
<b>2. Untersuchungsrahmen</b>	<b>7</b>
<b>3. Grundlagen und Einteilung der Motorsportereignisse</b>	<b>10</b>
<b>4. Methodik zur quantitativen Analyse der Emissionsbilanz</b>	<b>12</b>
4.1. Explizite Berechnung ausgewählter Motorsportveranstaltungen	14
4.1.1. Besucherverkehr	14
4.1.2. Fuhrpark	16
4.1.3. Motorsportfahrzeuge	18
4.2. Pauschalierte Berechnung aller übrigen Motorsportveranstaltungen	21
4.2.1. Besucherverkehr	21
4.2.2. Fuhrpark	21
4.2.3. Motorsportfahrzeuge	23
<b>5. Ergebnisse</b>	<b>27</b>
5.1. Basisszenario 1 (Minimale Schätzung)	28
5.2. Basisszenario 2 (Mittlere Schätzung)	31
5.3. Basisszenario 3 (Maximale Schätzung)	35
5.4. Variantenrechnungen	38
5.4.1. Besetzungsgrad 2,5	38
5.4.2. Modal Split 0,2	39
5.4.3. Modal Split 0,4	40
5.4.4. Vergleich der Variantenrechnungen mit den Basisszenarien	41
<b>6. Diskussion der Berechnungsergebnisse</b>	<b>42</b>
6.1. Vergleich der aktuellen Ergebnisse mit denen der vorangegangenen Studie	45
<b>7. Vergleich mit anderen Sportereignissen</b>	<b>50</b>
7.1. Fußball 1. Bundesliga	50
7.2. FIFA World Championship und Olympische und Paralympische Spiele	51
7.3. Laufveranstaltungen	51
<b>8. Maßnahmenempfehlungen und Handlungsfelder</b>	<b>52</b>
8.1. Weiterführende Untersuchungen und Einführung eines Monitoringkonzeptes	52
8.2. Besucherverkehr	55
8.3. Fuhrpark	56
8.4. Informieren und Sensibilisieren	57

**INHALT:**

---

<b>9. Qualitative Erläuterungen zu weiteren Umweltfaktoren</b>	<b>58</b>
<b>9.1. Sonstige veranstaltungsbezogene THG- und Luftschadstoffemissionsquellen</b>	<b>59</b>
9.1.1. Verkehr	60
9.1.2. Energie- und Ressourcenverbrauch	62
9.1.3. Abfall und Merchandise	63
9.1.4. Catering	64
9.1.5. Abwasser	65
<b>9.2. Sonstige Emissionsarten und deren Quellen</b>	<b>65</b>
9.2.1. Lärm	65
9.2.3. Mikroplastik	66
<b>9.3. Natur und Landschaft</b>	<b>71</b>
<b>9.4. Zusammenfassung über sonstige Umweltfaktoren</b>	<b>72</b>
<b>10. Fazit der Studie</b>	<b>75</b>
<b>Anhang</b>	<b>77</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>80</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>81</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>82</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>84</b>

## 1. Einleitung:

Weltweit steigende Treibhausgasemissionen (THG) und der voranschreitende globale Klimawandel stellen die Notwendigkeit von Umweltschutz und einer nachhaltigen Entwicklung heute mehr denn je in den Mittelpunkt unserer Gesellschaft. Gerade der Motorsport steht daher oftmals im Zentrum von Diskussionen bezüglich dessen Nachhaltigkeit und Einflusses auf die Umwelt. Der Deutsche Motor Sport Bund (DMSB) verankerte das Thema Umweltschutz bereits 2002 als erster Spitzenverband unter dem Dach des Deutschen Olympischen Sport Bundes (DOSB) in Form einer Umweltrichtlinie und der Einführung von Umweltbeauftragten bei Motorsportveranstaltungen in der Verbandsatzung. Weitere Regelungen, wie Abgasreinigung, Geräuschbegrenzung und Abfallmanagement sowie die Entwicklung einer Nachhaltigkeitsstrategie ergänzen diese Richtlinie.

Für effektive Maßnahmen zum Klima- und Umweltschutz ist es allerdings nötig, die durch den DMSB und dessen motorsportliche Veranstaltungen verursachten Umweltwirkungen zu kennen. Vor allem in Bezug auf eine Minderung der Treibhausgasemissionen stellt der erste Schritt die Identifizierung und Quantifizierung dieser Emissionen dar. Der DMSB gab daher bereits 2008 eine Studie zur Ermittlung der Treibhausgasemission und Umweltbilanz von Motorsportereignissen in Deutschland in Auftrag, welche vom Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg durchgeführt wurde (Umweltbilanz des Deutschen Motorsportbundes DMSB; ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH, 2008). Die Ergebnisse zeigten, dass der größte Teil der Treibhausgas- und Schadstoffemissionen durch die An- und Abreise der Besucher und Besucherinnen zu den Veranstaltungen verursacht werden und nur ein verschwindend geringer Teil – entgegen der allgemeinen öffentlichen Wahrnehmung – durch die Motorsportfahrzeuge selbst.

Die hier vorliegende Studie untersucht erneut die potenziellen Umweltauswirkungen von Motorsportveranstaltungen des DMSB in Deutschland. Das heißt es werden aktuelle Daten erfasst, umweltrelevante Entwicklungen aufgezeigt und neue Erkenntnisse abgeleitet. Der Schwerpunkt liegt auf den Emissionen klimarelevanter (CO<sub>2</sub>) und gesundheitsschädlicher Luftschadstoffen. Dabei soll auch ein Vergleich der Untersuchungsergebnisse mit den Resultaten aus der im Jahr 2008 durchgeführten Studie des ifeu Heidelberg erfolgen. Das Ziel der Studie ist es, beeinflussbare Umweltfaktoren des Motorsportes insgesamt zu identifizieren sowie darauf aufbauend Handlungsfelder zu bestimmen und Maßnahmenempfehlungen auszuarbeiten.



FOTO: Franz Brümmer

Abbildung 1-1: GT-Masters Fahrzeuge beim Start am Nürburgring 2022.

## 2. Untersuchungsrahmen:

Der Untersuchungsrahmen für die Quantifizierung der CO<sub>2</sub>- und Luftschadstoffemissionen beinhaltet ausgewählte Aspekte eines Motorsportevents mit hohem Umwelteinfluss (vgl. Abbildung 2-1) welche an entsprechender Stelle näher erläutert werden. Neben CO<sub>2</sub> werden auch Luftschadstoffe wie Stickoxide (NO<sub>x</sub>), Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffe (HC) und Feinstaub (PM) erfasst. Der Fokus liegt auf den Emissionen durch die Sportfahrzeuge (Scope 1), den zugehörigen Fuhrpark (Scope 1 bzw. Scope 3) und den Besucherverkehr (Scope 3), welche bei der Durchführung der Motorsportveranstaltungen des DMSB entstehen. Scope 2 nach dem GHG-Protocol (vgl. INFOBOX auf S. 9) konnte im Rahmen dieser Studie aufgrund einer fehlenden Datenbasis nicht in die Emissionsberechnung einbezogen werden.

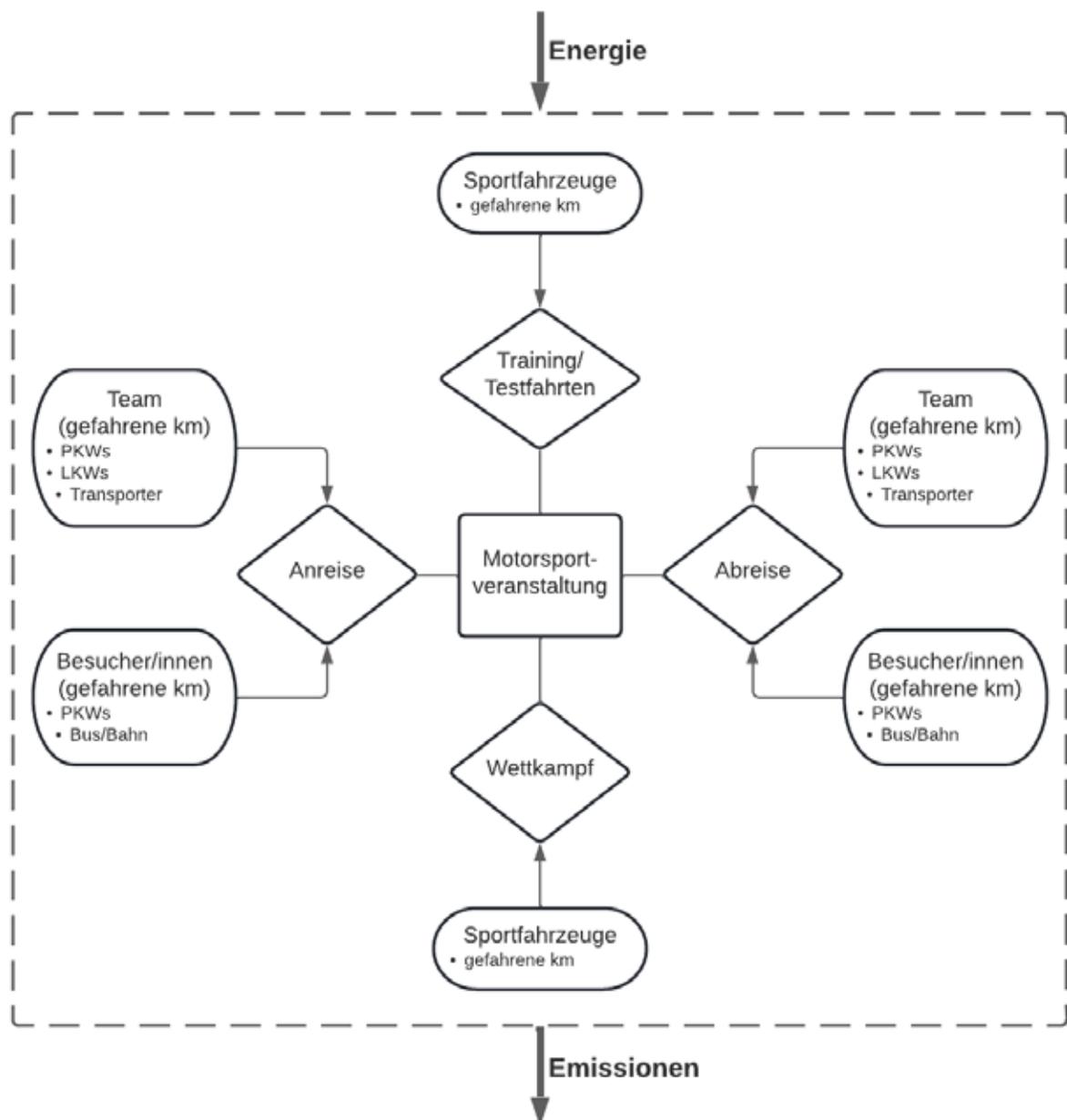


Abbildung 2-1: Untersuchungsrahmen für die quantitative Bestimmung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von Motorsportveranstaltungen im Rahmen dieser Studie.

Um die durch die COVID-19 Pandemie bedingte Ausnahmesituation in Deutschland von der Untersuchung auszuschließen, wurden Daten aus dem Bezugsjahr 2019 gewählt. Der Bezugszeitraum sowie die Bezugsgröße sind die gleichen wie in der ersten Studie, d. h. es werden alle vom DMSB genehmigten Motorsportveranstaltungen innerhalb eines Kalenderjahres einbezogen. Die Veranstaltungen werden entweder als spezifisch berechnetes Ereignis oder bei zu geringer Datenlage auf Basis pauschaler Annahmen in die Berechnung einbezogen. Wo gemessene Daten fehlen, werden Werte in Abstimmung mit Experten und Expertinnen des DMSB realistisch abgeschätzt sowie Annahmen und repräsentative Szenarien herangezogen, welche an entsprechender Stelle näher erläutert werden.

Diese Studie dient dem Zweck, einen Überblick über die wichtigsten Emissionsquellen der vom DMSB genehmigten motorsportlichen Veranstaltungen in Deutschland zu schaffen und die Entwicklung im Vergleich zur ersten Studie von 2008 aufzuzeigen. Die Ergebnisse sollten daher auch nur in diesem Kontext sowie im Zusammenhang mit dem beschriebenen Untersuchungsrahmen verwendet werden. Es ist zu beachten, dass die Datengrundlage teilweise auf Schätzungen, Annahmen und Durchschnittswerten beruht, wodurch die Ergebnisse entsprechende Unsicherheiten beinhalten. Aufgrund einer teilweise lückenhaften Datenbasis konnten zudem nicht alle potenziellen Einflussfaktoren wie z. B. Emissionen durch den Mitarbeiterverkehr oder die Energieversorgung der Veranstaltungsstätte berücksichtigt werden.



FOTO: Franz Brümmer

Abbildung 2-2: Die Nürburg und der Nürburgring.

Obgleich die quantitative Bestimmung und Wirkungsabschätzung weiterer Umweltaspekte außerhalb des zuvor bereits beschriebenen Untersuchungsrahmens nicht Teil dieser Studie sind, werden dennoch mögliche zusätzliche Einflussfaktoren, wie z. B. Abfall, Catering, Energieversorgung etc., aufgezeigt, diskutiert und gegebenenfalls qualitativ bewertet. Ergänzend dazu folgt abschließend eine Identifikation und Erhebung beeinflussbarer Faktoren sowie eine darauf bezogene Ausarbeitung von Handlungsempfehlungen für den DMSB.

**INFOBOX:**

Dem Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol) zufolge können Treibhausgasemissionen („Greenhouse Gas“ – GHG) in drei Kategorien eingeteilt werden:

**Scope 1:** Umfasst direkte GHG-Emissionen aus Quellen, die der Organisation oder dem Unternehmen gehören oder von diesem kontrolliert werden. Das sind im Falle des Motorsports beispielsweise Emissionen aus Motorsportfahrzeugen sowie dem zugehörigen Fuhrpark (sofern dieser durch den DMSB kontrolliert wird).

**Scope 2:** Umfasst indirekte Emissionen, welche bei der Bereitstellung des eingekauften und verbrauchten Stroms oder der Heiz- und Kühlenergie entstehen. Im Falle eines Motorsportevents gehört beispielsweise der Stromverbrauch der Sportstätte zu dieser Kategorie.

**Scope 3:** Umfasst alle anderen indirekten Emissionen, welche durch die Aktivitäten des Unternehmens oder der Organisation verursacht werden, aber aus Quellen stammen, welche nicht Eigentum des Unternehmens oder Organisation sind bzw. von dieser kontrolliert werden. Beispiele im Falle dieser Studie sind der Zuschauerverkehr oder Reisen der Teilnehmer und Teilnehmerinnen sowie der Teams in privaten Fahrzeugen, Abfallentsorgung, Lieferungen und Lebensmittelkonsum.

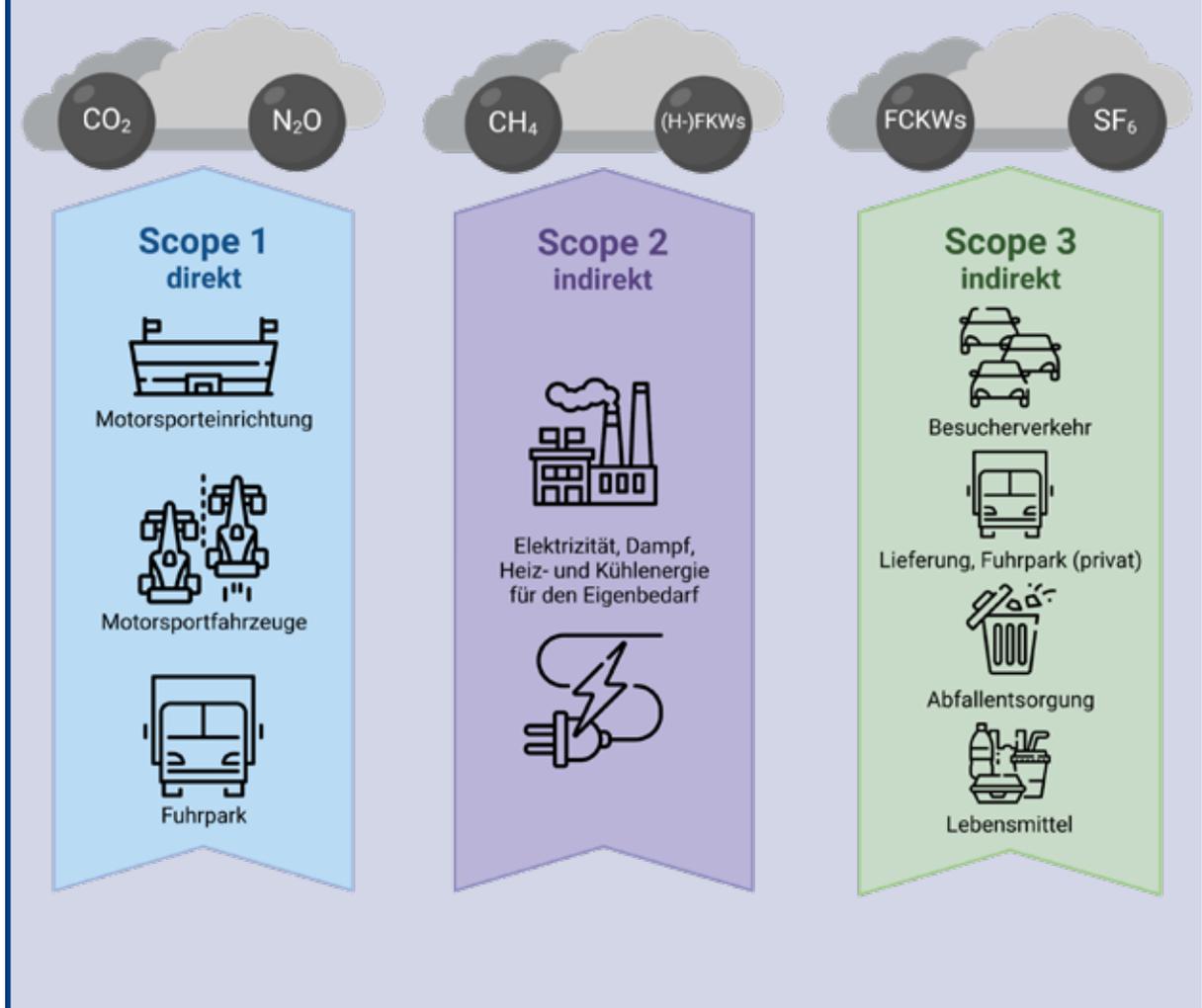


Abbildung 2-3: Drei Kategorien der Treibhausgasemissionen. DErstellt mit BioRender.com.

### 3. Grundlagen und Einteilung der Motorsportereignisse:

Der Motorsport wird international von Vereinigungen wie der FIA (Fédération Internationale de l'Automobile), der FIM (Fédération Internationale de Motocyclisme) und FIM Europe (Fédération Internationale de Motocyclisme Europe) organisiert. Durch sie werden internationale Wettkämpfe wie Welt- und Europameisterschaften ausgeschrieben, sowie notwendige Reglements für den Rennbetrieb ausgearbeitet, welche wiederum die Grundlage für nationale Reglements bilden. In Deutschland hat der Deutsche Motor Sport Bund e.V. (DMSB) als Dachverband die sogenannte Sporthoheit und vertritt als Fachsportverband die nationalen Interessen des Motorsportes (Automobil- sowie Motorsport) in den internationalen Verbänden FIM, FIA und FIA Europe. Er überwacht die Durchführung von Automobil- und Motorradaktivitäten nach einheitlichen Regeln und wahrt die Interessen seiner Mitglieder, Motorsportler und Motorsportlerinnen. Der DMSB vertritt zudem die Belange des Motorsportes im Deutschen Olympischen Sportbund e.V. (DOSB) sowie gegenüber staatlichen und gesellschaftlichen Institutionen.

Neben den drei Trägervereinen (ADAC, AvD und DMV) hat der DMSB 19 weitere Vereine und Verbände als Mitglieder, darunter 15 Landesmotorsportfachverbände sowie den Allgemeinen Deutschen Motorsport Verband (ADMV), den Automobil-Club Verkehr Bundesrepublik Deutschland (ACV), den Porsche Club Deutschland (PCD) und den Veteranen-Fahrzeug-Verband (VFV).



FOTO: Franz Bümmer

Abbildung 3-1: ADAC-Überschlagsimulator – Stand bei der GT-Masters am Nürburgring 2022.

Der Motorsport des DMSB ist sehr vielfältig und beinhaltet zahlreiche Disziplinen im Automobil- sowie Motorsport. Diese gehen für den Automobilbereich von Auto- oder Rallycross über Bergrennen, Kartsport, Rallyesport oder Slalom bis zum klassischen Rundstreckenrennen mit zahlreichen unterschiedlichen Serien. Beim Sport auf zwei Rädern kann in Bahnsport, Motocross oder Enduro, Straßensport, Supermoto oder Trial unterschieden werden. Hinzu kommen wenige Veranstaltungen zu Driftsport, Drag Racing oder Motoball.



FOTO: Franz Brümmer

Abbildung 3-2: Elektrokarts mit Joystick-Steuerung für Fahrer mit und ohne körperliche Behinderung.

Seit 2016 gibt es beim DMSB im Automobil- und Motorradsport für alle Disziplinen eine einheitliche Einteilung bzw. Bezeichnung der ausgeschriebenen Prädikate. Diese Struktur umfasst vier Stufen: Deutsche Meisterschaft (Level 1), DMSB-Meisterschaft (Level 2), DMSB-Cup (Level 3) und DMSB-Pokal (Level 4). Hinzu kommen große Veranstaltungen mit internationaler Bedeutung wie z. B. Formel 1, Deutschland Rallye, 24h-Rennen oder WM- und EM-Läufe im Motorradsport sowie weitere genehmigungspflichtige Veranstaltungen. Diese Studie bezieht sich ausschließlich auf Motorsportveranstaltungen, welche vom DMSB genehmigt wurden. Nicht genehmigungspflichtige motorsportliche Veranstaltungen, wie z. B. örtlich durchgeführte vereinsinterne Rennen, wurden hier aufgrund der fehlenden Datengrundlage nicht berücksichtigt.

#### 4. Methodik zur quantitativen Analyse der Emissionsbilanz

Wie aus der Studie von 2008 hervorging, ist der Besucherverkehr bei der Emissionsberechnung einer Veranstaltung der Faktor mit dem größten Einfluss und überwiegt in den meisten Fällen die Emissionen des Fuhrparks und der Motorsportfahrzeuge. Die Verfügbarkeit und Kenntnis der Zuschauerzahlen eines Ereignisses ist daher grundlegend für eine belastbare Quantifizierung der Emissionen. Aus diesem Grund wurden nur diejenigen Motorsportveranstaltungen explizit berechnet, für die Besucherzahlen bekannt waren. Eine Übersicht über die im Rahmen dieser Studie explizit berechneten Motorsportveranstaltungen und die zugehörigen Zuschauerzahlen ist in Tabelle 4-1 und Tabelle 4-2 gegeben. Für alle anderen Veranstaltungen wurden realistische Zuschauerzahlen in Abstimmung mit dem DMSB und aufgrund dessen langjähriger Erfahrung pauschal abgeschätzt. Dabei wurde ein minimales, ein mittleres und ein maximales Szenario berechnet. Das gleiche Vorgehen wurde für die Bestimmung des zugehörigen Fuhrparks der jeweiligen Veranstaltung angewandt. Für das Untersuchungsgebiet Rennfahrzeuge wurden aufgrund der explizit berechneten Veranstaltungen Mittelwerte berechnet. Durch die so bestimmten Mittelwerte pro Disziplin für die Faktoren Zuschauerzahl, Fuhrpark und Rennfahrzeuge konnte anschließend mithilfe der Anzahl an Veranstaltungen im Jahr 2019 der CO<sub>2</sub>-Gesamtausstoß berechnet werden. Näheres hierzu wird an entsprechender Stelle genauer erläutert.

Tabelle 4-1: Explizit berechnete Veranstaltungen im Automobilsport und deren Zuschauerzahlen.

Disziplin	Veranstaltung (2019)	Zuschauerzahl
Autocross	47. Internationaler ADAC Autocross Seelow	7.600
Autocross	65. ADAC Autocross Gründau	2.500
Autocross	62. ADAC Autocross Schlüchtern	1.200
Rallycross	13. ADAC Rallycross Schlüchtern	1.000
Bergrennen	52. Osnabrücker Bergrennen	30.000
Bergrennen	46. Homburger ADAC Bergrennen	3.500
Drag-Racing	Nitrolympics 2019	39.000
Drag-Racing	Jade Racing	10.000
Kart	Kart Grand Prix von Deutschland - Wackersdorf	2.000
Rallye	37. ADAC Rallye Deutschland	220.000
Rundstrecke	47. AvD Oldtimer Grand Prix	53.500
Rundstrecke	Formel 1 Hockenheim	202.000
Rundstrecke	47. ADAC 24h Rennen	230.000
Rundstrecke	34. Int. ADAC Truck Grand Prix	124.000
Rundstrecke	Nürburgring Classics	25.000
Rundstrecke	ADAC GT Masters - Oschersleben	25.000
Rundstrecke	ADAC GT Masters - Most	17.800
Rundstrecke	ADAC GT Masters – Red Bull Ring	16.000
Rundstrecke	ADAC GT Masters - Zandvoort	14.000
Rundstrecke	ADAC GT Masters - Nürburgring	18.000
Rundstrecke	ADAC GT Masters - Hockenheim	18.000
Rundstrecke	ADAC GT Masters - Sachsenring	25.000

Tabelle 4-2: Explizit berechnete Veranstaltungen im Motorradsport und deren Zuschauerzahlen.

Disziplin	Veranstaltung (2019)	Zuschauerzahl
Bahnsport	FIM Ice Speedway World Championship Inzell	5.850
Bahnsport	ADAC Speedwayrennen Herxheim	1.700
Bahnsport	ADAC Speedwayrennen Güstrow	4.500
Bahnsport	ADMV Speedwayrennen Stralsund 1.Bundesliga	1.500
Bahnsport	Sandbahnrennen Herxheim WM Finale	12.000
Bahnsport	FIM Speedway Grand Prix Teterow	13.500
Motocross	36. ADAC Supercross Dortmund	10.000
Motocross	48. Int. Winter-Motocross Frankenwald	3.500
Motocross	Int. ADAC Motocross Tensfeld (ADAC MX Masters)	9.000
Motocross	FIM Motocross Weltmeisterschaft	35.000
Motocross	68. Int. ADAC Motocross Kamp-Lintfort	3.000
Motocross	ADAC MX Masters Bielstein	7.200
Motocross	ADAC MX Masters Gaildorf	16.000
Motocross	ADAC MX Masters Fürstlich Drehna	9.500
Motocross	ADAC MotoCross Wolgast um den Ostseepokal	3.000
Motocross	Int. 46. Schnaitheimer ADAC Motocross	4.000
Straßensport	Moto GP Sachsenring	201.162
Straßensport	IDM Hockenheimring (Saisonfinale)	17.000
Straßensport	Int. 85. ADAC Schleizer Dreieckrennen (IDM)	29.000
Trial	20. ADAC Nacht-Trial Fürstenhagen	1.200

Insgesamt wurden 42 Veranstaltungen von 450 Veranstaltungen im Jahr 2019 explizit berechnet. Zu diesen gehörten auch die größten Veranstaltungen, welche im Jahr 2019 stattgefunden haben: Formel 1, 24h-Rennen, Rallye Deutschland, Oldtimer Grand Prix, Truck Grand Prix, 52. Osnabrücker Bergrennen, Nitrolympics, MotoGP, IDM am Schleizer Dreieck und FIM Motocross WM. Als Großveranstaltung wurden jene Veranstaltungen definiert, die mehr als 25.000 Besucher und Besucherinnen hatten. Insgesamt wurden vom DMSB 450 Motorsportveranstaltungen im Jahr 2019 genehmigt. Im Vergleich zu den insgesamt 791 Veranstaltungen im Jahr 2007, welche in der ersten Studie berücksichtigt wurden, sind dies rund 43% weniger Veranstaltungen.

Aufgrund nicht verfügbarer Daten wurden die Disziplinen Drift und Motoball von der Berechnung innerhalb dieser Studie ausgeschlossen. Im Jahr 2019 fanden nur eine Drift- bzw. zwei Motoballveranstaltungen statt. Da bei beiden Disziplinen von einer geringen Besucherzahl ausgegangen werden kann, wurden diese als vernachlässigbar eingestuft. Betrachtet man die hohen Unsicherheiten, die durch die teilweise auf Annahmen basierende Berechnung der Emissionen begründet sind, kann davon ausgegangen werden, dass das Endergebnis durch die Vernachlässigung der beiden genannten Disziplinen nicht maßgeblich beeinflusst wird.

#### 4.1. Explizite Berechnung ausgewählter Motorsportveranstaltungen

Im Folgenden wird die Vorgehensweise der explizit berechneten Veranstaltungen erläutert. D. h. es wird auf die Quantifizierung der Emissionen durch den Besucherverkehr, den Fuhrpark und die Motorsportfahrzeuge eingegangen.

##### 4.1.1. Besucherverkehr

Die An- und Abreisen der Besucher und Besucherinnen einer Motorsportveranstaltung verursachen nach bisherigem Kenntnisstand das Gros aller Treibhausgasemissionen und sollten somit den Schwerpunkt der Emissionsbetrachtung bilden. Obwohl die Besucherzahlen für die hier betrachteten Veranstaltungen bekannt waren, mussten aufgrund teilweise sehr schwierig zugänglicher Daten sowie datenschutzrechtlicher Hindernisse bzgl. der Herkunft der Zuschauer und Zuschauerinnen für die Anreiseentfernung eine Annahme gemacht werden. Zur Orientierung wurde eine Umfrage aus dem Jahr 2019 herangezogen, welche im Rahmen des GT Masters Wochenendes in Oschersleben durchgeführt wurde und bei der 163 Besucher und Besucherinnen nach den ersten beiden Stellen ihrer Postleitzahl gefragt wurden. Die durchschnittliche Anreiseentfernung beträgt nach Auswertung dieser Umfrage ca. 188 km. Dieser ermittelte Wert liegt zwischen den beiden verwendeten Werten aus der Studie von 2008, in der für Veranstaltungen mittlerer Größe eine Anreiseentfernung von 125 km und für Großveranstaltungen eine Anreiseentfernung von 250 km angenommen wurde. In Absprache mit den Experten und Expertinnen des DMSB wurde der Wert von 188 km als mittlerer Wert für Veranstaltungen, welche regelmäßig erfolgen und eine mittlere Größe aufweisen – wie auch die GT Masters Veranstaltungen – übernommen.



FOTO: Franz Brümmer

Abbildung 4-1: Besucherströme beim Pitwalk.

Für Großveranstaltungen, welche einmalig im Jahr stattfinden, wie beispielsweise das 24h-Rennen oder der Oldtimer Grand Prix, wurde eine durchschnittliche Anreiseentfernung von 250 km festgelegt (vergleichbar mit der Studie von 2008). Eine Ausnahme hierbei ist die Rallye Deutschland, bei der ein Streckenzuschlag von 20% angenommen wurde, daraus ergibt sich ein Einzugsradius von 300 km. Dieser Zuschlag ergibt sich aus den zusätzlichen Fahrten, die die Besucher und Besucherinnen zwischen den Orten der einzelnen Wertungsprüfungen zurücklegen müssen.

Der Wert wurde anhand des Streckenplans der Rallye Deutschland 2019 sowie dem zugehörigen Zeitplan ermittelt. Es wurde für den Streckenzuschlag zudem von einem höheren PKW-Besetzung ausgegangen, da für die Fahrten zwischen den Wertungsprüfungen vermehrt Fahrgemeinschaften gebildet werden. Der Einzugsradius aller nicht in die Kategorie Großveranstaltung oder regelmäßig stattfindende mittlere Veranstaltungen fallenden Veranstaltungen wurde auf 50 km geschätzt. Neben der Notwendigkeit Annahmen für den Einzugsradius der Besucher und Besucherinnen zu treffen, gibt es einen weiteren Unsicherheitsfaktor bei der Berechnung. Dieser besteht in der Aufteilung der Besucheranzahl auf die meist drei Veranstaltungstage eines Rennwochenendes. Da anzunehmen ist, dass ein nicht zu vernachlässigender Zuschaueranteil das gesamte Rennwochenende anwesend ist, aber nur eine einmalige An- und Abreise auf sich nimmt, kann ggf. nicht einfach mit den offiziellen Besucherzahlen gearbeitet werden. D. h. es ist wichtig zu wissen, wie sich die Besucherzahlen zusammensetzen bzw. wie sie ermittelt wurden. Da diese Information hier nicht gegeben war, wurde in Abstimmung mit dem Expertenrat des DSMB eine Annahme bzgl. eines „Korrekturfaktors“ ( $w$ ) für die Besucherzahlen festgelegt. Die Besucherzahlen wurden dazu über die Zahl der Veranstaltungstage gemittelt, d. h. bei einem dreitägigen Rennwochenende beträgt der Korrekturfaktor 0,33, bei einem zweitägigen Event 0,5 und bei Ein-Tages-Veranstaltungen 1,0.

In den meisten Fällen reisen die Motorsportfans nicht allein an, sondern teilen sich ein gemeinsames Fahrzeug für die An- und Abfahrt zur Veranstaltungsstätte. Der für die Berechnung verwendete PKW-Besetzungsgrad von 1,9 entspricht dem durchschnittlichen Wert für Freizeitverkehr in Deutschland [1]. Dieser Wert unterscheidet sich von dem in der Studie von 2008 verwendeten Besetzungsgrad von 2,5, für den der entsprechende Quellverweis nicht mehr nachprüfbar war. Dadurch erhöht sich der Einfluss auf die verursachten Emissionen durch die An- und Abreise der Besucher und Besucherinnen. Da es bei einem Motorsportevent allerdings nicht unwahrscheinlich ist, dass viele der Fans zusammen mit Personen aus dem Freundeskreis oder der Familie anreisen, könnte der Besetzungsgrad in Wirklichkeit auch höher sein als 1,9. Aus diesem Grund und für eine bessere Vergleichbarkeit mit der ersten Studie wurde zusätzlich eine Variantenrechnung mit einem Besetzungsgrad von 2,5 durchgeführt.

Tabelle 4-3: Grundlegende Annahmen und Werte zur Berechnung des Besucherverkehrs.

w*	Ø Einzugsgebiet [km]**	Modal Split***	PKW Besetzungsgrad****	Emissionsfaktoren			
					PKW <sup>[2]</sup> [g/Fzkm]	Fernzug <sup>[3]</sup> [g/Pkm]	Bus <sup>[3]</sup> [g/Pkm]
1,0	50	0	1,9	CO <sub>2</sub>	177,814	27	38
				CO	1,649	0,02	0,05
0,5	188	0,2	2,5	NO <sub>x</sub>	0,605	0,04	0,17
				HC	0,18	0,00	0,01
0,33	250	0,4		PM	0,008	0,001	0,003

\*Korrekturfaktor für die Aufteilung der Besucherzahl auf die Veranstaltungsdauer. Faktor in Abhängigkeit der Veranstaltungstage: 3 Tage: 0,33; 2 Tage: 0,5; 1 Tag: 1,0.

\*\*Das Einzugsgebiet der Zuschauer und Zuschauerinnen ist abhängig von der Größe und Regelmäßigkeit der Veranstaltung.

\*\*\*Die angegebenen Werte sind die der Variantenrechnung. Zur Ermittlung der CO<sub>2</sub>-Bilanz im grundlegenden Szenario wurde ein Modal Split von Null (d. h. ausschließlich PKW-Nutzung) angenommen.

\*\*\*\*Im grundlegenden Szenario wurde von einem Besetzungsgrad von 1,9 ausgegangen. Für die Vergleichsrechnung in Bezug auf die Studie von 2008 wurde mit dem dort verwendeten Wert von 2,5 gerechnet.

Die Emissionsfaktoren für die Klimagase und Schadstoffe CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, HC und PM wurden aus dem Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA) entnommen. In Bezug auf den Modal Split wurde zunächst angenommen, dass alle Besucher und Besucherinnen ausschließlich mit dem PKW anreisen, da die Veranstaltungsstätten motorsportlicher Events in der Regel in ländlicheren Gegenden mit schlechter Anbindung an das öffentliche Verkehrsnetz gelegen sind. In einer Variantenrechnung wurde allerdings der Einfluss aufgezeigt, den steigende Besucheranteile haben, welche mit den öffentlichen Verkehrsmitteln (85% der Strecke mit dem Fernzug und 15% der Strecke mit Shuttlebussen) anreisen. Für die jeweiligen Emissionsfaktoren für Zug-Fernreisen und Busverkehr wurden Werten für das Jahr 2019 aus einer Veröffentlichung des Umweltbundesamtes aus dem TREMOD-Modell verwendet. Alle wichtigen Annahmen und Werte zur Berechnung der Emissionen durch den Besucherverkehr sind in Tabelle 4-3 angegeben. Die oben erläuterten Festlegungen erfolgten mithilfe von Expertenwissen seitens des DMSB sowie einiger verfügbarer Referenzwerte. Dennoch muss hier, vor allem wegen des hohen Einflusses des Besucherverkehrs auf die Gesamtbilanz, beachtet werden, dass die Ergebnisse durch die getroffenen Annahmen und Pauschalisierungen Unsicherheiten beinhalten.

#### 4.1.2. Fuhrpark

Bei einer Motorsportveranstaltung werden nicht nur durch die Rennfahrzeuge selbst, sondern auch durch den zum Rennteam gehörenden Fuhrpark Emissionen verursacht. Die Rennfahrzeuge und Ausrüstungen werden beispielsweise in LKWs zum Veranstaltungsort transportiert. Zudem müssen die Teammitglieder anreisen. Im Rahmen dieser Studie wurde angenommen, dass alle diese Reisen und Transporte ausschließlich innerhalb Deutschlands erfolgen. Aufgrund der fehlenden Informationsgrundlage zu Anreisen mit dem Flugzeug werden Flugreisen im Rahmen dieser Studie nicht betrachtet. Für eine erste Bilanzierung ist dies zu vertreten, da außer bei internationalen und großen Motorsportveranstaltungen wenig Flugreisen durch die Rennteams erfolgen. Es ist hier allerdings zu bemerken, dass An- und Abreisen mit dem Flugzeug aufgrund der deutlich höheren Emissionswerte einen Umweltfaktor darstellen, welcher gegebenenfalls trotzdem einen nennenswerten Einfluss hat. Die Datengrundlage diesbezüglich sollte für eine zukünftige Studie verbessert werden, um auch die Auswirkungen von Flugreisen miteinbeziehen zu können.

Bei der Emissionsberechnung durch den Fuhrpark wurden drei Fahrzeugklassen betrachtet: Schwere Nutzfahrzeuge (SNF), leichte Nutzfahrzeuge (LNF) und Personenkraftfahrzeuge (PKW). Die verwendeten Emissionsfaktoren stammen aus dem HBEFA (Tabelle 4-4).

Weiterhin wurden pauschale Annahmen bzgl. der Anzahl an SNF, LNF und PKW pro Team sowie einer durchschnittlicher Anreiseentfernung getroffen. Diese Annahmen wurden an die jeweilige Motorsportdisziplin und die Art und Zusammensetzung der jeweiligen Teams angepasst (siehe Tabelle 4-5). Dies erfolgte in Abstimmung mit Experten und Expertinnen des DMSB sowie mithilfe der Auswertung von Teilnehmerlisten und einer Teilnehmerbefragung vor Ort im Rahmen des GT Masters Rennwochenendes am Nürburgring im Jahr 2022. Die Anzahl der Teams wurde anhand von Teilnehmerlisten oder der Ergebnisse ermittelt. Bei einigen Disziplinen und Veranstaltungen nahmen vorwiegend Privat- oder Einzelpersonen ohne Team teil, wodurch die Teamanzahl annähernd der Teilnehmerzahl entsprach. Dies wurde in der Festlegung über die Anzahl und Art des mitgeführten Fuhrparks berücksichtigt.

Die durchschnittliche Anreiseentfernung der Teams wurde auf 250 km festgelegt. Diese Festlegung erfolgte auf Basis einer Auswertung der Herkunft aller Teams des 24h-Rennens im Jahr 2019 und wurde pauschal für alle Veranstaltungen als Mittelwert angenommen.



FOTO: Franz Brümmer

Abbildung 4-2: Team-LKWs und Fuhrpark im Fahrerlager am Nürburgring.

Tabelle 4-4: Emissionsfaktoren Fuhrpark.

Fahrzeug	Schadstoff	Emissionsfaktor [g/Fzkm] <sup>[2]</sup>
PKW	CO <sub>2</sub>	177,814
	CO	1,649
	NO <sub>x</sub>	0,605
	HC	0,18
	PM	0,008
Leichte Nutzfahrzeuge	CO <sub>2</sub>	255,474
	CO	0,815
	NO <sub>x</sub>	1,545
	HC	0,05
	PM	0,044
Schwere Nutzfahrzeuge	CO <sub>2</sub>	785,19
	CO	1,999
	NO <sub>x</sub>	3,549
	HC	0,072
	PM	0,051

Tabelle 4-5: Anzahl SNF, LNF und PKW pro Team – für die explizit berechneten Veranstaltungen.

Automobilsport						
Disziplin	Veranstaltung	Zuschauerzahl	Anzahl Teams	Anzahl PKW	Anzahl LNF	Anzahl SNF
Auto-/Rallycross	-	1.000-2.500	50-85	0,5	1	0
Autocross (FIA)	-	7.600	105	2	1	1
Bergrennen	-	3.500-30.000	120	0,5	1	0
Drag-Racing	-	39.000	270	2	1	1
Kart	Kart GP Wackersdorf	2.000	95	2	1	1
Rallye	-	220.000	47	1	1	0
Rundstrecke	Formel 1	202.000	10	3	1	2
Rundstrecke	Oldtimer GP	53.500	458	1,5	1	0,5
Rundstrecke	24h-Rennen	230.000	258	2	1	1
Rundstrecke	Truck GP	124.000	60	3	1	2
Rundstrecke	Nürburgring Classics	25.000	437	1,5	1	0,5
Rundstrecke	GT Masters	14.000-25.000	63-72	3	1	2
Motorradsport						
Disziplin	Veranstaltung	Zuschauerzahl	Anzahl Teams	Anzahl PKW	Anzahl LNF	Anzahl SNF
Bahnsport	-	1.500-13.500	14-46	0,5	1	0,2
Motocross	-	3.000-35.000	34-110	0,5	1	0,2
Straßensport	MotoGP	201.162	40	3	1	1
Straßensport	-	17.000-29.000	151-194	0,5	1	0,2
Trial	-	1.200	16	0,5	1	0,2

#### 4.1.3. Motorsportfahrzeuge

Zur Ermittlung der CO<sub>2</sub>- und Schadstoffemissionen der Motorsportfahrzeuge während einer Motorsportveranstaltung ist es nötig zu wissen, welche Strecke die Fahrzeuge zurücklegen und wie viel Treibstoff sie dabei verbrauchen. Mithilfe von Emissionsfaktoren kann anschließend aus dem Kraftstoffverbrauch der CO<sub>2</sub>- und Schadstoffausstoß berechnet werden. In enger Abstimmung mit dem Expertenrat und Fachkundigen des DMSB konnten durchschnittliche Kraftstoffverbräuche für Referenzfahrzeuge des Automobil- und Motorradsportes ermittelt werden. Diese Referenzfahrzeuge wurden den betrachteten Veranstaltungen entsprechend der jeweiligen Motorsportdisziplin und/oder Veranstaltungsreihe zugeordnet und wurden stellvertretend für die Emissionsberechnung herangezogen. Die von den Fahrzeugen zurückgelegte Strecke wurde mithilfe der Rennergebnisse (d. h. der Anzahl an gefahrenen Runden und Teilnehmerzahl) sowie der Rundendistanz der jeweiligen Veranstaltungsstrecke ermittelt. Dabei wurden alle Trainings-, Qualifikations- und Rennfahrten berücksichtigt.



FOTO: Franz Brümmer

Abbildung 4-3: Sportfahrzeuge bei der GT-Masters am Nürburgring 2022.

Um entsprechende Emissionsfaktoren für CO<sub>2</sub> und reglementierte Schadstoffe (CO, NO<sub>x</sub>, HC und PM), welche bei der Verbrennung von Benzin entstehen, in Abhängigkeit des Kraftstoffverbrauchs zu erhalten, wurden die Emissionsfaktoren aus dem HBEFA mithilfe des durchschnittlichen Kraftstoffverbrauchs für PKW in Deutschland umgerechnet (siehe Tabelle 4-6). Mithilfe dieser Umrechnung konnten die entsprechenden Abgaswerte auf die durch die Motorsportfahrzeuge verbrauchte Kraftstoffmenge bezogen und berechnet werden. Es ist zu beachten, dass sich diese berechneten Emissionsfaktoren auf einen deutschlandweiten PKW-Durchschnitt beziehen, d. h. die tatsächlichen Emissionswerte der Motorsportfahrzeuge können je nach Art der Verbrennung und Abgasbehandlung anders ausfallen. Diese exakten Emissionsdaten waren nicht verfügbar, weshalb die hier verwendeten Werte als Näherung gesehen werden sollten.

Tabelle 4-6: Emissionsfaktoren in Abhängigkeit des Kraftstoffverbrauchs – Umrechnung für Motorsportfahrzeuge.

Schadstoff	[g/Fzkm] <sup>[2]</sup>	g/l
CO <sub>2</sub>	177,814	2.402,9
CO	1,649	22,3
HC	0,180	2,4
NO <sub>x</sub>	0,605	8,2
PM	0,008	0,1
<b>Durchschnittsverbrauch PKW [l/100km]</b>		<b>7,4<sup>[4]</sup></b>



FOTO: Franz Brimmer

Abbildung 4-4: GT Masters Fahrzeug beim Reifenwechsel.

Bei der Berechnung müssen zwei Disziplinen gesondert betrachtet werden, da sie mit anderen Treibstoffen fahren. Einerseits ist dort der Bahnsport im Motorradsport, bei dem Methanol als Kraftstoff eingesetzt wird. Die zweite Ausnahme stellt der Drag Racing Sport dar, bei dem die Motoren in der sogenannten „Top Fuel“-Klasse mit Nitromethan als Treibstoff laufen. In anderen Klassen des Drag Racings kommen ebenfalls Methanol-Mischungen zum Einsatz.

Für diese beiden Kraftstoffarten konnten lediglich Referenzwerte für den CO<sub>2</sub>-Ausstoß pro Liter bestimmt werden (vgl. Tabelle 4-7). Für die anderen Luftschadstoffe, welche im Rahmen dieser Arbeit untersucht werden sollen, waren keine Daten verfügbar. Aus Erdgas gewonnenes Methanol verursacht durch die Herstellung und anschließende energetische Nutzung CO<sub>2</sub>-Emissionen in Höhe von 1,6 kg pro kg Methanol [5]. Mit einer Dichte von 793 kg/m<sup>3</sup> für Methanol ergibt sich daraus ein CO<sub>2</sub>-Faktor von 2,02 kg/l. Für Nitromethan konnte zur Abschätzung des CO<sub>2</sub>-Emissionswertes aufgrund einer fehlenden Datenbasis nur die chemische Reaktionsformel der Verbrennung herangezogen werden. Aus dieser wurde ein CO<sub>2</sub>-Faktor von 0,82 kg/l Nitromethan abgeleitet. Es ist jedoch zu beachten, dass dieser Wert eine reine Näherung darstellt und in Realität deutlich variieren kann, da neben den Verbrennungsprodukten CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O und N<sub>2</sub> noch weitere Luftschadstoffe wie Schwefelverbindungen und Stickoxide entstehen, die einen klimawirksamen Einfluss haben können. Da zur Bestimmung dieser weiteren Stoffe keine Informationen verfügbar waren, wurde die idealisierte Verbrennung als Orientierungswert angenommen.

Tabelle 4-7: CO<sub>2</sub>-Emissionswerte für Methanol und Nitromethan.

Kraftstoff	CO <sub>2</sub> -Emissionen	
	[kg/kg]	[kg/l]
Methanol (aus Erdgas)	1,6 <sup>[5]</sup>	2,02
Nitromethan	-	0,82

## 4.2. Pauschalierte Berechnung aller übrigen Motorsportveranstaltungen

Für die meisten vom DMSB im Jahr 2019 genehmigten Motorsportveranstaltungen (ca. 91 %) waren nicht ausreichend genaue Daten zur expliziten Emissionsberechnung in Bezug auf den Besucherverkehr, den Fuhrpark und/oder die Rennfahrzeuge verfügbar. Aus diesem Grund wurden für alle noch übrigen Veranstaltungen, 405 an der Zahl, pauschalierte Werte für z. B. die Besucher- und Teilnehmerzahlen oder die durchschnittlich gefahrene Strecke der Motorsportfahrzeuge festgelegt. Diese Annahmen wurden für jede motorsportliche Disziplin separat getroffen und zusätzlich in drei Szenarien eingeteilt. Diese beruhen auf einer minimalen Schätzung, einer maximalen Schätzung und einem Mittelwert aus diesen Werten (mittlere Schätzung). Näheres dazu wird in den folgenden Kapiteln erläutert. Das maximale Szenario stellt hierbei eine Obergrenze der Emissionsbilanz für das Jahr 2019 dar, welche nicht überschritten wird, das minimale Szenario kann als untere Grenze verstanden werden, die nicht oder nur unter anderen Umständen als im Jahr 2019 unterschritten wird. Die mittlere Schätzung gibt Auskunft über die Emissionen, welche rechnerisch genau in der Mitte dieser beiden zuvor genannten Schätzungen liegen, und kann als Näherung an die Realität gesehen werden, muss aber dadurch nicht den „realen“ Werten entsprechen.

### 4.2.1. Besucherverkehr

Je nach Disziplin wurden sowohl für den Automobil- als auch den Motorradsport anhand von Erfahrungswerten von Seiten des DMSB durchschnittliche Besucherzahlen festgelegt. Dabei wurden drei Schätzungen (minimale, mittlere und maximale Schätzung) vorgenommen, um eine große Spannweite möglicher Szenario-Ausprägungen bei der Berechnung abzudecken. Für die durchschnittliche Anreiseentfernung der Zuschauer und Zuschauerinnen wurden ebenfalls spezifisch zur jeweiligen Disziplin Erfahrungswerte von Seiten des DMSB herangezogen (Tabelle 4-8, Seite 22).

Der Aufteilungsfaktor  $w$  der Besucherzahlen über die Veranstaltungstage wurde einheitlich auf 0,5 festgelegt. Alle anderen zur Berechnung der  $\text{CO}_2$ - und Schadstoffemissionen nötigen Werte entsprechen denen aus der expliziten Berechnungsmethode (vgl. Kapitel 4.1).

### 4.2.2. Fuhrpark

Auch die genaue Teilnehmerzahl war für die meisten Veranstaltungen des DMSB im Jahr 2019 nicht bekannt. Auch hier war es daher nötig, pauschalierte Annahmen zu treffen. Diese wurden anhand von einigen verfügbaren Referenzdaten ausgewählter Motorsportveranstaltungen und in Abstimmung mit den Experten und Expertinnen des DMSB getroffen und ebenfalls als Spannweite in drei Szenarien pro Disziplin unterteilt.

Das durchschnittliche Einzugsgebiet von 250 km wurde entsprechend den Werten der expliziten Berechnungsmethode übernommen (vgl. Kapitel 4.1.2). Für die Anzahl der leichten und schweren Nutzfahrzeuge sowie der PKW wurden Annahmen in Anlehnung an die Werte aus der expliziten Berechnung getroffen (vgl. Tabelle 4-5) und ggf. in Abstimmung mit dem DMSB angepasst. Alle Werte können Tabelle 4-9 (Seite 24) entnommen werden.

Alle übrigen zur Emissionsberechnung benötigten Daten, wie die Emissionsfaktoren der verschiedenen Fahrzeugtypen, entsprechen denen aus der expliziten Berechnungsmethode (vgl. Tabelle 4-4).

Tabelle 4-8: Annahmen zur pauschalen Berechnung des Besucherverkehrs aller übrigen Veranstaltungen.

<b>Automobilsport</b>			
Disziplin	Szenario*	Besucherzahl insg.	Ø Anreiseentfernung [km]
Autocross/ Rallycross	Min.	300	40
	Med.	1150	120
	Max.	2000	200
Bergrennen	Min.	1500	150
	Med.	2750	575
	Max.	4000	1000
Drag Racing	Min.	500	50
	Med.	2500	150
	Max.	4500	250
Kart	Min.	100	40
	Med.	1050	60
	Max.	2000	80
Rallye	Min.	5530	250
	Med.	5530	725
	Max.	5530	1200
Rundstrecke	Min.	5000	200
	Med.	7500	600
	Max.	10000	1000
Slalom	Min.	200	40
	Med.	1600	60
	Max.	3000	80
<b>Motorradsport</b>			
Disziplin	Szenario*	Besucherzahl insg.	Ø Anreiseentfernung [km]
Bahnsport	Min.	400	50
	Med.	2200	200
	Max.	4000	350
Enduro	Min.	500	50
	Med.	2250	225
	Max.	4000	400
Motocross	Min.	1000	50
	Med.	8000	200
	Max.	15000	350
Straßensport	Min.	1000	50
	Med.	8500	200
	Max.	16000	350
Supermoto	Min.	400	50
	Med.	1700	150
	Max.	3000	250
Trial	Min.	300	50
	Med.	1650	150
	Max.	3000	250

\*Min.= Minimale Schätzung, Med.= Mittlere Schätzung, Max.= Maximale Schätzung



FOTO: Franz Brümmer

Abbildung 4-5: Fuhrpark im Fahrerlager am Nürburgring.

#### 4.2.3. Motorsportfahrzeuge

Zur pauschalierten Berechnung der CO<sub>2</sub>- und Schadstoffemissionen durch die Motorsportfahrzeuge wurden für jede Disziplin ausgewählte Veranstaltungen ausgewertet, für die eine entsprechend ausreichende Datengrundlage verfügbar war. Für dieser Veranstaltungen konnte die gefahrene Strecke, welche den Kraftstoffverbrauch und damit die Emissionen bestimmt, ermittelt werden. Dabei wurden alle Trainings-, Qualifikations- und Rennfahrten als auch die jeweilige Anzahl an Teilnehmern und Teilnehmerinnen bei der jeweiligen Veranstaltung berücksichtigt. Alle erfassten Veranstaltungen wurden anschließend in die Kategorien kleine, mittlere und große Events eingeteilt, um einen möglichen Einfluss der Veranstaltungsgröße auf die zurückgelegte Strecke zu erkennen. Die Mittelwertberechnung der Fahrtstrecke erfolgte dann separat über alle Veranstaltungen der jeweiligen Kategorien innerhalb einer Disziplin. Eine Ausnahme stellt die Disziplin Trial im Motorsport dar. Hierfür waren keine Informationen zur zurückgelegten Strecke, sondern nur Gesamtkraftstoffverbräuche pro Veranstaltung verfügbar. Für den Trial-Sport ist es allerdings ohnehin sinnvoller die Emissionen direkt anhand der Verbräuche zu bestimmen, da die zurückgelegte Strecke im eigentlichen Sinn nicht ausschlaggebend für den Verbrauch ist.

Die Einteilung in die Kategorien große, mittlere und kleine Veranstaltung erfolgte entweder anhand der Besucherzahlen (klein: <5.000, mittel: 5.000-25.000, groß: >25.000), sofern diese bekannt waren, oder aufgrund der Einschätzung von Experten und Expertinnen des DSMB.

Tabelle 4-9: Annahmen zur pauschalen Berechnung des Fuhrparks aller übrigen Veranstaltungen.

Automobilsport					
Disziplin	Szenario*	Teams	PKW/Team**	SNF/Team**	LNf/Team**
Autocross/ Rallycross	Min.	40	0,5	0	1
	Med.	80	0,5	0	1
	Max.	120	2	1	1
Bergrennen	Min.	70	0,5	0	1
	Med.	125	0,5	0	1
	Max.	180	0,5	0	1
Drag Racing	Min.	40	1	1	1
	Med.	60	1	1	1
	Max.	80	2	1	1
Kart	Min.	50	1	0	1
	Med.	95	1,5	0,5	1
	Max.	140	2,5	0,5	1
Rallye	Min.	50	1	0	1
	Med.	75	1	0	1
	Max.	100	1	1	1
Rundstrecke	Min.	50	1	0	1
	Med.	140	2	1	1
	Max.	230	2,5	2	1
Slalom	Min.	60	1	0	1
	Med.	130	1	0	1
	Max.	200	2	0,5	1
Motorradsport					
Disziplin	Szenario*	Teams	PKW/Team**	SNF/Team**	LNf/Team**
Bahnsport	Min.	20	0,5	0	0,5
	Med.	40	0,5	0,2	0,5
	Max.	60	1	0,2	1
Enduro	Min.	30	0,5	0	1
	Med.	40	0,5	0,2	1
	Max.	50	1	0,2	1
Motocross	Min.	30	0,5	0	1
	Med.	65	0,5	0,2	1
	Max.	100	1	0,2	1
Straßensport	Min.	50	0,5	0	1
	Med.	100	1	0,2	1
	Max.	150	2	0,5	1
Supermoto	Min.	15	0,5	0	0,5
	Med.	35	0,5	0,2	0,5
	Max.	55	1	0,2	1
Trial	Min.	140	0,5	0	1
	Med.	160	0,5	0,2	1
	Max.	180	1	0,2	1

\*Min.= Minimale Schätzung, Med.= Mittlere Schätzung, Max.= Maximale Schätzung

\*\*Die Anzahl der PKW, SNF und LNf stellt einen Durchschnittswert dar und ist daher nicht immer eine ganze Zahl.



Abbildung 4-6: Motorsportfahrzeug in Boxengasse.



Abbildung 4-7: Motorsportfahrzeug beim Pitwalk.

Für die pauschalierte Berechnung der gesamten Emissionen durch die Motorsportfahrzeuge im Jahr 2019 wurden, wie zuvor bereits für den Besucherverkehr und den Fuhrpark erläutert, Szenarien mit einer minimalen, einer mittleren und einer maximalen Schätzung berechnet. Als Grundlage für diese Berechnung wurden die zuvor bestimmten Mittelwerte für die zurückgelegte Strecke pro Kategorie und Disziplin als Orientierung verwendet. Dabei wurde die minimale Schätzung am niedrigsten und die maximale Schätzung am höchsten ermittelten Durchschnittswert der jeweiligen Disziplin orientiert. Waren für eine Kategorie keine Referenzveranstaltungen mit entsprechender Datengrundlage und damit keine Mittelwerte verfügbar, wurden die Werte realistisch abgeschätzt (Tabelle 4-10). Mithilfe der Referenzverbräuche der für die jeweilige Disziplin typischen Motorsportfahrzeuge und die Emissionsfaktoren konnte aus diesen Schätzungen die durchschnittlich emittierten Klima- und Luftschadstoffmengen pro Disziplin und Szenario berechnet werden. Die verwendeten Referenzverbräuche der Motorsportfahrzeuge und die Emissionsfaktoren für CO<sub>2</sub>, CO, HC, NOX und PM entsprechen denen der expliziten Berechnungsmethode (vgl. Kapitel 4.1.3, Tabelle 4-6 und Tabelle 4-7). Die Hochrechnung der Szenarien auf das gesamte Jahr 2019 erfolgte dann anhand der Anzahl aller noch übrigen Veranstaltungen der jeweiligen Disziplinen, die nicht explizit berechnet werden konnten (vgl. Tabelle 4-1 und Tabelle 4-2).

Tabelle 4-10: Grundlagen und Festlegungen über die durchschnittliche Fahrstrecke der Motorsportfahrzeuge für die pauschalierte Berechnung.

<b>Automobil</b>				
Disziplin	Kategorie/ Szenario	Anzahl VA mit verfügbaren Werten	Ø Strecke [km]	
			Mittelwert (pro Kategorie)	Festlegung Szenario
Autocross/ Rallycross	Groß/Max.	-	NV	1500
	Mittel/Med.	1	1834,3	1250
	Klein/Min.	4	1484,1	1000
Bergrennen	Groß/Max.	1	2092,9	4500
	Mittel/Med.	2	2735,2	3250
	Klein/Min.	1	2074,8	2000
Drag Racing*	Groß/Max.	1	885,1	300
	Mittel/Med.	1	804,7	225
	Klein/Min.	-	NV	150
Kart	Groß/Max.	-	NV	15000
	Mittel/Med.	1	15574,2	12500
	Klein/Min.	6	14219,5	10000
Rallye	Groß/Max.	1	67552,7	65000
	Mittel/Med.	2	21608,0	40000
	Klein/Min.	1	14544,6	15000
Rundstrecke	Groß/Max.	10	97340,7	95000
	Mittel/Med.	14	61524,1	60000
	Klein/Min.	-	NV	25000
Slalom	Groß/Max.	-	NV	350
	Mittel/Med.	-	NV	300
	Klein/Min.	3	321,1	250
<b>Motorradsport</b>				
Disziplin	Kategorie/ Szenario	Anzahl VA mit verfügbaren Werten	Ø Strecke [km]	
			Mittelwert (pro Kategorie)	Festlegung Szenario
Bahnsport	Groß/Max.	-	NV	1000
	Mittel/Med.	3	721,7	700
	Klein/Min.	8	537,4	400
Enduro	Groß/Max.	-	NV	20000
	Mittel/Med.	-	NV	27500
	Klein/Min.	4	36356,8	35000
Motocross	Groß/Max.	1	7550,7	12000
	Mittel/Med.	5	10955,8	8000
	Klein/Min.	6	6826,0	4000
Straßensport	Groß/Max.	2	40715,3	35000
	Mittel/Med.	5	33983,4	22000
	Klein/Min.	1	16591,6	9000
Supermoto	Groß/Max.	-	NV	9000
	Mittel/Med.	-	NV	5500
	Klein/Min.	2	11033,1	2000
Trial**	Groß/Max.	-	NV	-
	Mittel/Med.	-	NV	-
	Klein/Min.	5	NV	-

\*Beim Drag Racing waren lediglich Daten zur Veranstaltung „Nitrolympix“ und „Jade Racing“ verfügbar, welche aufgrund ihrer Ausnahmegröße nicht als repräsentativ angesehen werden können. Es wurden für kleinere Veranstaltungen (VA) realistischere Werte angenommen.

\*\*Für den Trial-Sport wurde nicht die zurückgelegte Strecke, sondern der Gesamtverbrauch an Kraftstoff pro Veranstaltung (VA) für die Emissionsberechnung verwendet. – NV: Nicht vorhanden.

## 5. Ergebnisse:

Die Gesamtbilanz der Treibhausgas- und Schadstoffemissionen der DMSB-Motorsportveranstaltungen im Jahr 2019 fällt sehr unterschiedlich aus, je nachdem welches der drei berechneten Szenarien betrachtet wird. Wichtig im Zusammenhang mit den Ergebnissen ist der jeweilige Kontext, in dem die drei Szenarien zu verstehen sind. Szenario 1 mit der minimalen Schätzung liegen Annahmen zugrunde, die ausschließlich von kleineren, weniger stark besuchten Veranstaltungen ausgehen. Das Szenario 3 mit der maximalen Schätzung bezieht sich, spezifisch für die jeweilige Disziplin, auf ausschließlich gut besuchte größere Veranstaltungen (ausgenommen der in dieser Studie als Großveranstaltung definierten Events, welche separat berechnet wurden). Szenario 2, das der mittleren Schätzung, wurde anhand des arithmetischen Mittelwertes der zuvor genannten Szenarien berechnet.

Szenario 3 stellt demnach eine Obergrenze der Emissionsbilanz dar, welche in der Realität nicht überschritten wird. Die Ergebnisse für Szenario 1 sind als unterer Grenzwert zu verstehen, welcher nicht oder nur unter anderen Voraussetzungen als im Jahr 2019 unterschritten wird. Der „reale“ Wert bewegt sich zwischen diesen Szenarien (muss aber nicht mit Szenario 2 übereinstimmen).

Die explizit berechneten Veranstaltungen bleiben für alle Szenarien gleich, da sie sich auf reale Daten beziehen. D. h. die Szenarien unterscheiden sich ausschließlich in Bezug auf die pauschalierte Berechnung und deren zu Grunde liegenden Annahmen.

In den Abbildungen, Tabellen und Diagrammen dieses Kapitels wird aus Gründen der Übersichtlichkeit teilweise das generische Maskulinum verwendet. Dieses schließt alle Geschlechter mit ein.

### 5.1. Basisszenario 1 (Minimale Schätzung)

Geht man vom minimalen Szenario aus, ergibt sich eine Gesamtbilanz von 45.837 t CO<sub>2</sub>. Davon entfallen 36.641 t auf den Besucherverkehr, 5.549 t auf den Fuhrpark und 3.646 t auf die Motorsportfahrzeuge (vgl. Abbildung 5-1 und Tabelle 5-1). Der Besucherverkehr stellt mit 80 % somit den größten Einflussfaktor auf die THG-Bilanz dar, gefolgt vom Fuhrpark mit 12 % und anschließend den Motorsportfahrzeugen selbst (Abbildung 5-2). Der Anteil der Motorsportfahrzeuge an der Gesamtbilanz beträgt ca. 8 %. Im Bereich Motorrad sport machen die Rennmaschinen sogar nur einen Anteil von 4 % der CO<sub>2</sub>-Bilanz aus.

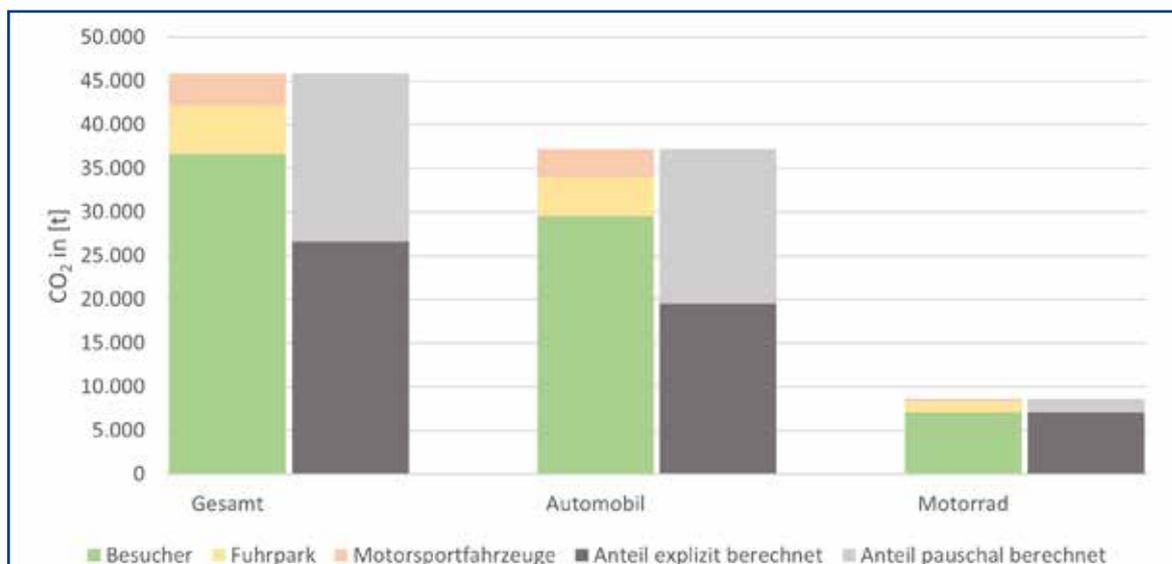


Abbildung 5-1: Gesamt-CO<sub>2</sub>-Bilanz im Jahr 2019 mit Anteil expliziter und pauschaler Berechnung – Szenario 1.

Tabelle 5-1: Ergebnisse Gesamtbilanz CO<sub>2</sub>- und Luftschadstoffemissionen – Szenario 1.

Automobil					
	CO <sub>2</sub> [t]	CO [t]	HC [t]	NO <sub>x</sub> [t]	PM [t]
Besucher	29.554	274	29,9	101	1,33
Fuhrpark	4.359	22	1,9	21	0,46
Motorsport	3.321	30	3,3	11	0,15
<b>Gesamt</b>	<b>37.235</b>	<b>326</b>	<b>35,1</b>	<b>133</b>	<b>1,94</b>
Motorrad					
	CO <sub>2</sub> [t]	CO [t]	HC [t]	NO <sub>x</sub> [t]	PM [t]
Besucher	7.087	66	7,2	24	0,32
Fuhrpark	1.190	6	0,5	6	0,15
Motorsport	325	3	0,3	1	0,01
<b>Gesamt</b>	<b>8.602</b>	<b>74</b>	<b>8,0</b>	<b>31</b>	<b>0,49</b>
Gesamtbilanz					
	CO <sub>2</sub> [t]	CO [t]	HC [t]	NO <sub>x</sub> [t]	PM [t]
<b>Gesamt</b>	<b>45.837</b>	<b>400</b>	<b>43,1</b>	<b>164</b>	<b>2,43</b>

Der größere Anteil von ca. 81 % der Gesamt-CO<sub>2</sub>-Emissionen wird im Automobilsport verursacht (37.235 t). Die restlichen 19 % entfallen auf den Motorradsport (8.601 t). Insgesamt wurden 58 % der Gesamtemissionen durch eine explizite Berechnung von Veranstaltungen ermittelt, der Rest ergab sich aus der pauschalen Berechnungsmethode für die übrigen Events (Abbildung 5-1). Die im Jahr 2019 ausgerichteten Großveranstaltungen machten insgesamt einen Anteil von 44 % an der Gesamt-CO<sub>2</sub>-Bilanz aus (Abbildung 5-3). Betrachtet man den Automobil- und Motorradsport separat betrug der Anteil an Großveranstaltungen 43 % bzw. 52 % bezogen auf die im Jahr 2019 insgesamt im Automobil- bzw. Motorradsport emittierte CO<sub>2</sub>-Menge. Eine Darstellung der einzelnen berechneten Großveranstaltungen im Automobil und Motorradsport sind in Abbildung 5-4 und Abbildung 5-5 gegeben.

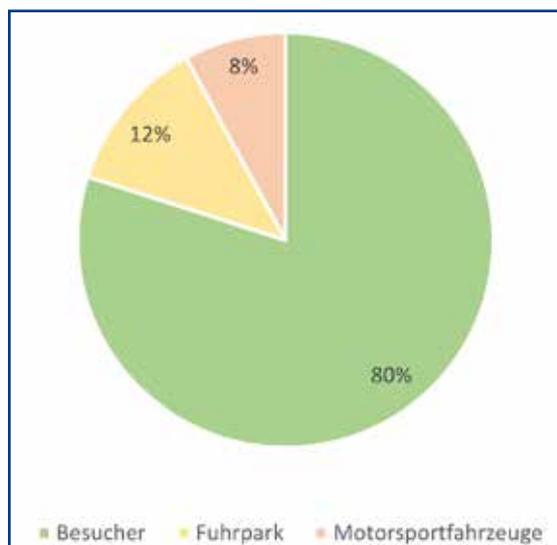


Abbildung 5-2: Einflussfaktoren auf die Gesamt-CO<sub>2</sub>-Bilanz 2019 – Szenario 1.

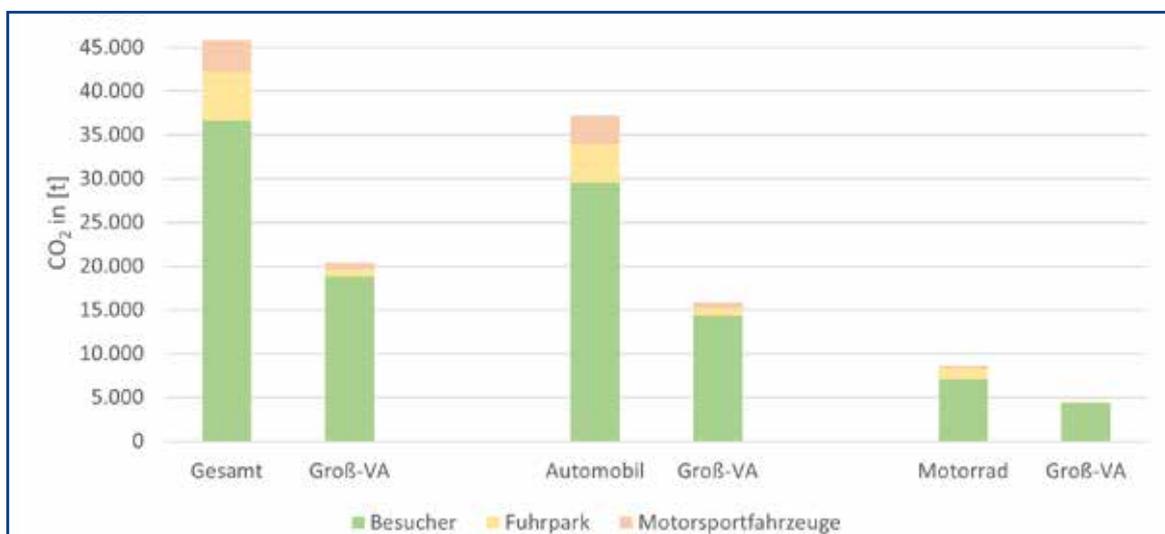


Abbildung 5-3: Gesamt-CO<sub>2</sub>-Bilanz im Vergleich zu den Großveranstaltungen im Jahr 2019 – Szenario 1.

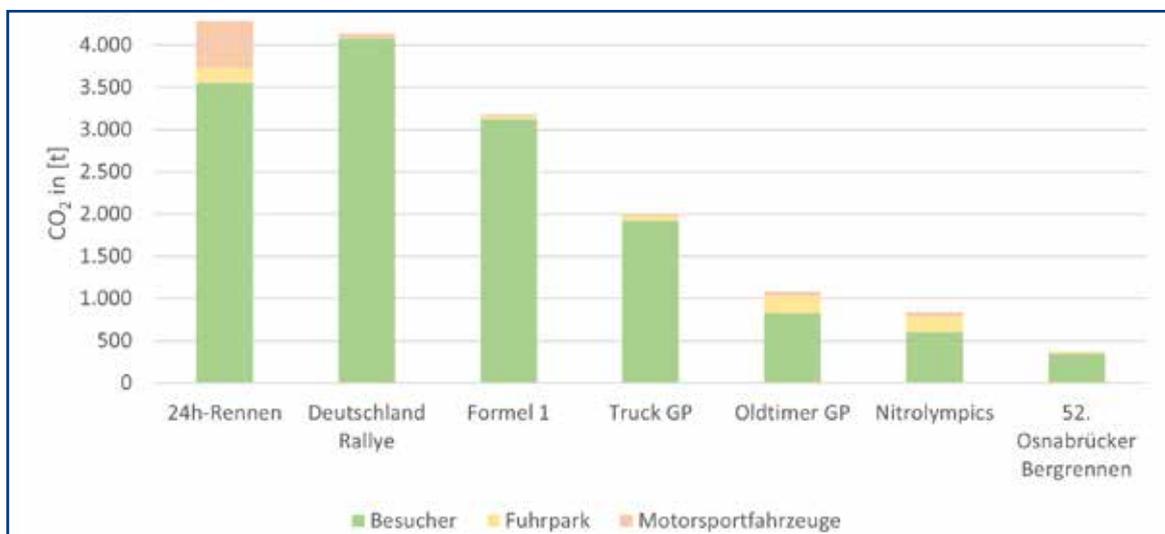


Abbildung 5-4: CO<sub>2</sub>-Bilanz der Großveranstaltungen im Automobilsport 2019.

Betrachtet man die unterschiedlichen Disziplinen im Automobil bzw. Motorradsport lassen sich deutliche Unterschiede in Bezug auf deren Beitrag zur Gesamtbilanz erkennen. Im Automobilsport machen vor allem die Disziplinen Rundstrecke und Rallye gefolgt von Drag Racing und Slalom einen großen Teil der Emissionen aus (Abbildung 5-6). Im Rundstrecken- und Rallyesport liegt das vor allem an der hohen Anzahl an Veranstaltungen im Jahr 2019 und den vereinzelt sehr zuschauerstarken Events innerhalb der jeweiligen Disziplin. Trotz der wenigen Drag Racing Veranstaltungen (vier im Jahr 2019) steht diese Disziplin an dritter Stelle der größten CO<sub>2</sub>-Emittenten. Dies ist durch die sehr zuschauerstarke Großveranstaltung „Nitrolympics“ und den hohen Fuhrparkaufwand zu begründen. Im Slalom ist vor allem die sehr hohe Anzahl an Veranstaltungen (99 im Jahr 2019) ausschlaggebend für die höheren CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Im Motorradsport sind die Hauptverursacher der Emissionen der Straßensport, Motocross sowie Bahnsport (Abbildung 5-7). Auch hier ist dies durch die hohe Anzahl der Veranstaltungen und die teilweise stark besuchten Events begründet.

Alle Emissionswerte aufgeteilt nach Disziplin sind in Tabelle 5-2 gegeben.

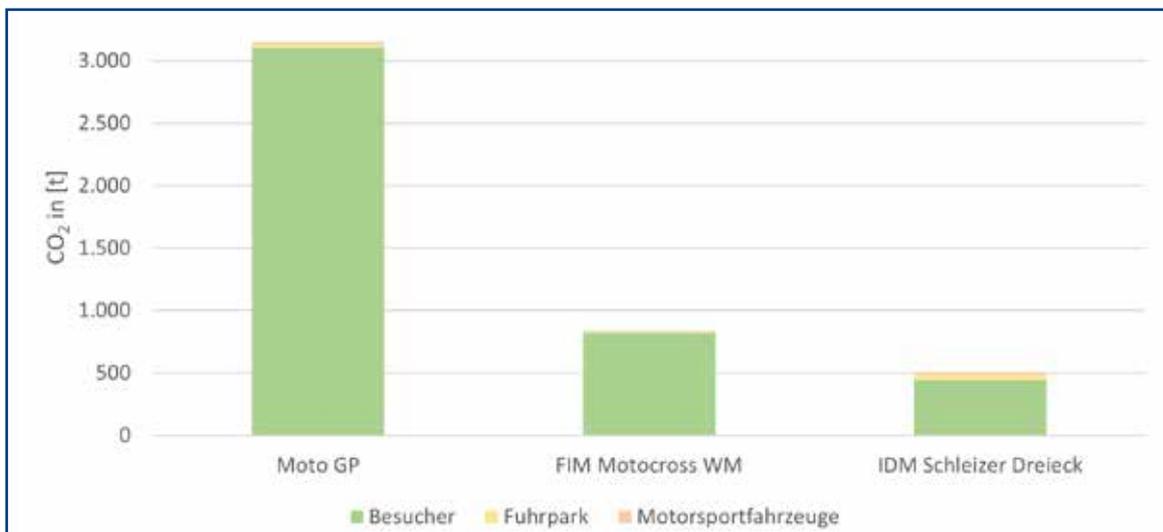


Abbildung 5-5: CO<sub>2</sub>-Bilanz der Großveranstaltungen im Motorradsport 2019.

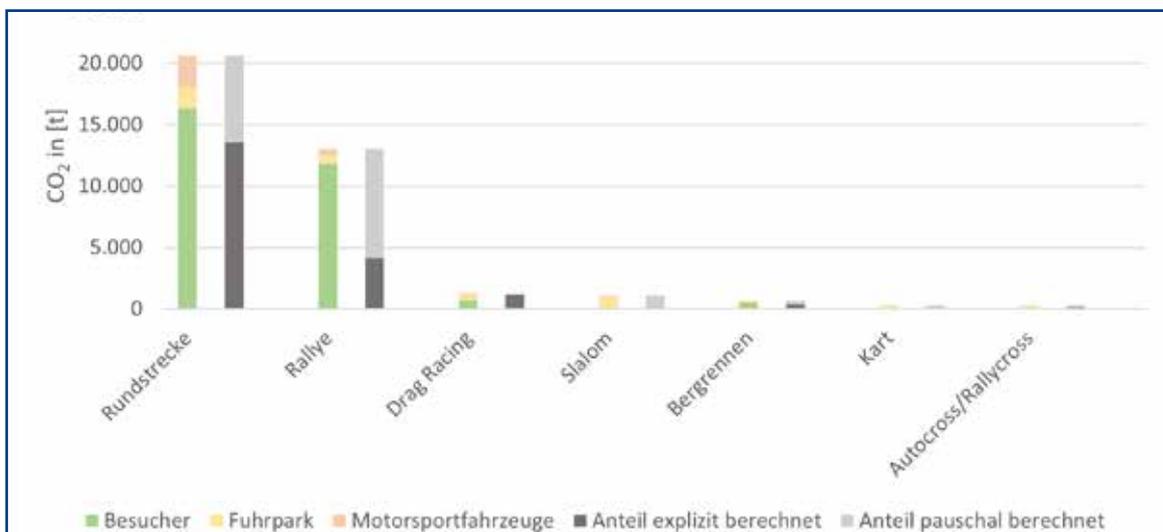


Abbildung 5-6: CO<sub>2</sub>-Bilanz nach Disziplinen im Automobilsport 2019 – Szenario 1.

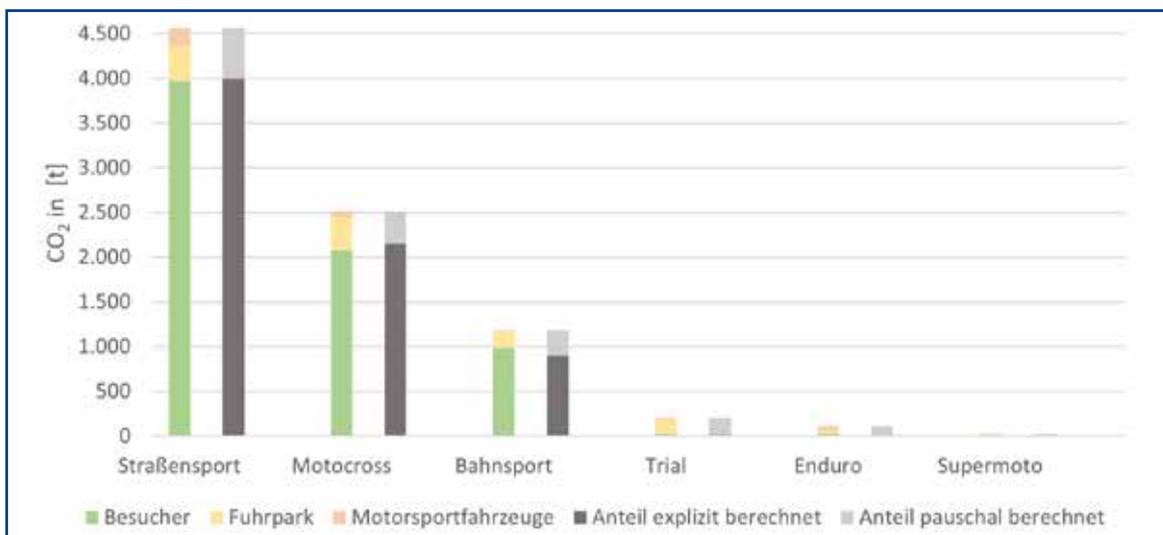


Abbildung 5-7: CO<sub>2</sub>-Bilanz nach Disziplinen im Motorradsport 2019 – Szenario 1.

Tabelle 5-2: CO<sub>2</sub>- und Luftschadstoffemissionen nach Disziplinen für den Automobil- und Motorradsport im Jahr 2019 – Szenario 1.

Automobil					
Disziplin	CO <sub>2</sub> [t]	CO [t]	HC [t]	NO <sub>x</sub> [t]	PM [t]
Rundstrecke	20.620,0	183,2	19,77	72,4	1,01
Rallye	13.018,0	118,4	12,86	45,3	0,64
Drag Racing*	1.238,9	8,5	0,87	4,3	0,07
Slalom	1.069,7	6,6	0,64	5,1	0,12
Bergrennen	694,3	5,8	0,62	2,6	0,04
Kart	316,0	2,0	0,20	1,4	0,03
Autocross/ Rallycross	277,9	1,7	0,16	1,3	0,03
Motorrad					
Disziplin	CO <sub>2</sub> [t]	CO [t]	HC [t]	NO <sub>x</sub> [t]	PM [t]
Straßensport	4.565,6	40,5	4,37	16,3	0,24
Motocross	2.510,0	21,4	2,29	9,2	0,14
Bahnsport*	1.183,9	10,3	1,10	4,3	0,07
Trial	205,8	1,1	0,10	1,0	0,03
Enduro	110,8	0,8	0,08	0,5	0,01
Supermoto	25,9	0,2	0,02	0,1	0,00

\*Für die Disziplinen Drag Racing und Bahnsport war es für die Motorsportfahrzeuge nicht möglich andere als die CO<sub>2</sub>-Emissionen zu ermitteln. Die hier aufgeführten Ergebnisse zu den Luftschadstoffen CO, HC, NO<sub>x</sub> und PM beziehen sich nur auf den Besucherverkehr und den Fuhrpark.

## 5.2. Basisszenario 2 (Mittlere Schätzung)

Die berechnete CO<sub>2</sub>-Gesamtbilanz der mittleren Schätzung beläuft sich auf 104.749 t im Jahr 2019. Dabei entfallen 84.072 t auf den Besucherverkehr, 13.838 t auf den Fuhrpark und 6.839 t auf die Motorsportfahrzeuge (Tabelle 5-3 und Abbildung 5-8). Auch bei diesem Szenario verursacht der Besucherverkehr 80 % der gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen (Abbildung 5-9). Auf die Motorsportfahrzeuge entfällt ein Anteil von 7 % bezogen auf die Gesamtbilanz. Betrachtet man nur den Motorradsport machen die Motorsportfahrzeuge sogar nur einen Anteil von 2 % aus.

Auch bei Szenario 2 entsteht der größte Teil der CO<sub>2</sub>-Emissionen von 77 % im Automobilsport (81.103 t), die restlichen 23 % werden durch Veranstaltungen im Motorradsport (23.646 t) verursacht. Bei diesem Szenario ist der Anteil der pauschal berechneten Veranstaltungen, d. h. der Anteil, welcher auf Annahmen beruht, mit 75 % an der CO<sub>2</sub>-Gesamtbilanz deutlich höher als bei Szenario 1. Nur 25 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen konnten durch eine explizite Berechnung von Veranstaltungen ermittelt werden (Abbildung 5-8, Seite 32).

Tabelle 5-3: Ergebnisse Gesamtbilanz CO<sub>2</sub>- und Luftschadstoffemissionen – Szenario 2.

Automobil					
	CO <sub>2</sub> [t]	CO [t]	HC [t]	NO <sub>x</sub> [t]	PM [t]
Besucher	63.797	592	64,6	217	2,87
Fuhrpark	11.051	53	4,4	52	1,03
Motorsport	6.256	57	6,2	21	0,28
<b>Gesamt</b>	<b>81.103</b>	<b>702</b>	<b>75,2</b>	<b>290</b>	<b>4,18</b>
Motorrad					
	CO <sub>2</sub> [t]	CO [t]	HC [t]	NO <sub>x</sub> [t]	PM [t]
Besucher	20.276	188	20,5	69	0,91
Fuhrpark	2.787	12	1,0	14	0,30
Motorsport	583	5	0,6	2	0,03
<b>Gesamt</b>	<b>23.646</b>	<b>205</b>	<b>22,1</b>	<b>85</b>	<b>1,24</b>
Gesamtbilanz					
	CO <sub>2</sub> [t]	CO [t]	HC [t]	NO <sub>x</sub> [t]	PM [t]
<b>Gesamt</b>	<b>104.749</b>	<b>907</b>	<b>97,3</b>	<b>375</b>	<b>5,42</b>

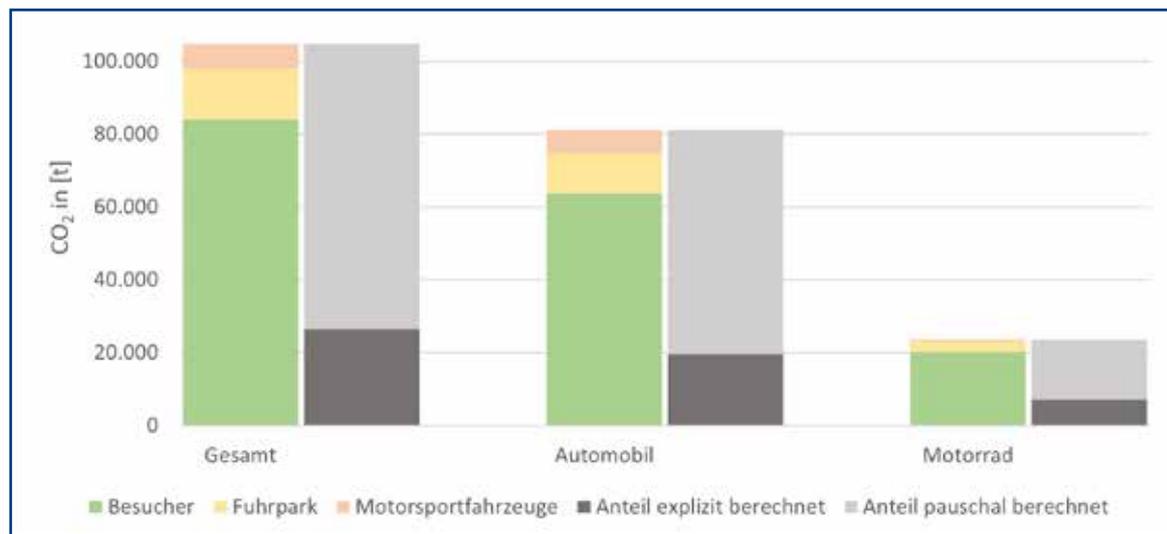


Abbildung 5-8: Gesamt-CO<sub>2</sub>-Bilanz im Jahr 2019 mit Anteil expliziter und pauschaler Berechnung – Szenario 2.

Aufgrund des höheren Anteils an pauschaliert berechneten Veranstaltungen ist der prozentuale CO<sub>2</sub>-Emissionsbeitrag der explizit berechneten Großveranstaltungen mit 19 % im Jahr 2019 geringer als in Szenario 1 (vgl. Abbildung 5-10 und Abbildung 5-3). Die CO<sub>2</sub>-Emissionswerte der Großveranstaltungen sind für alle Szenarien gleich, da sie anhand realer Daten berechnet wurden. Die Darstellung dieser Werte kann Abbildung 5-4 und Abbildung 5-5 entnommen werden.

Auch bei Szenario 2 haben im Automobilsport die Disziplinen Rundstrecke und Rallye den größten Anteil an der CO<sub>2</sub>-Bilanz. Allerdings steht in diesem Szenario der Slalom an dritter Stelle der größten Emittenten (Abbildung 5-11). Im Motorradsport gibt es auf den ersten drei Plätzen der größten CO<sub>2</sub>-emittierenden Disziplinen keinen Wechsel im Vergleich zu Szenario 1. An erster Stelle steht der Straßensport, gefolgt von Motocross und Bahnsport (Abbildung 5-12). Die Emissionswerte aller berechneter Klima- und Luftschadstoffe der jeweiligen Disziplin können Tabelle 5-4 entnommen werden.

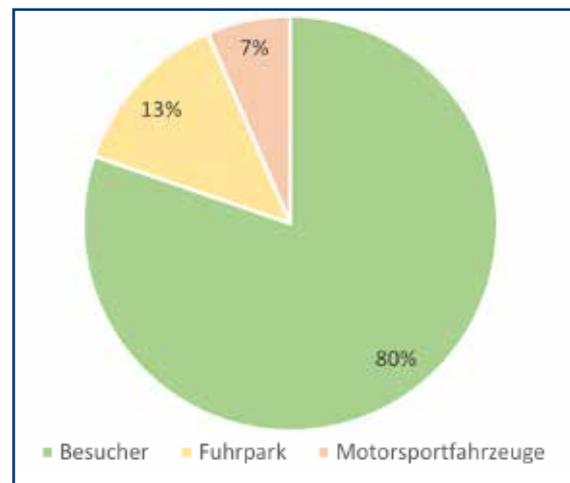


Abbildung 5-9: Einflussfaktoren auf die Gesamt-CO<sub>2</sub>-Bilanz 2019 – Szenario 2.

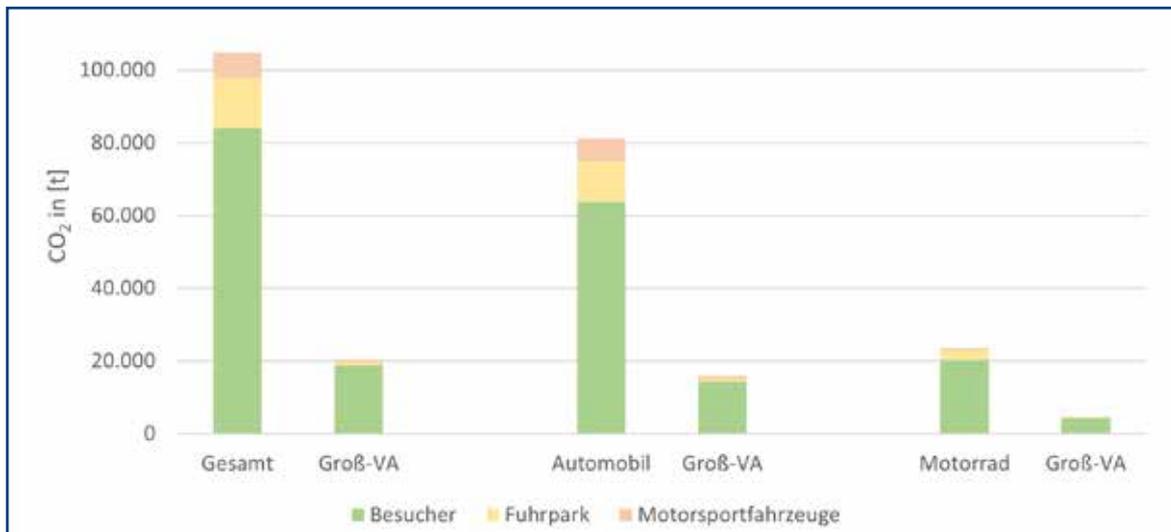


Abbildung 5-10: Gesamt-CO<sub>2</sub>-Bilanz im Vergleich zu den Großveranstaltungen im Jahr 2019 – Szenario 2.

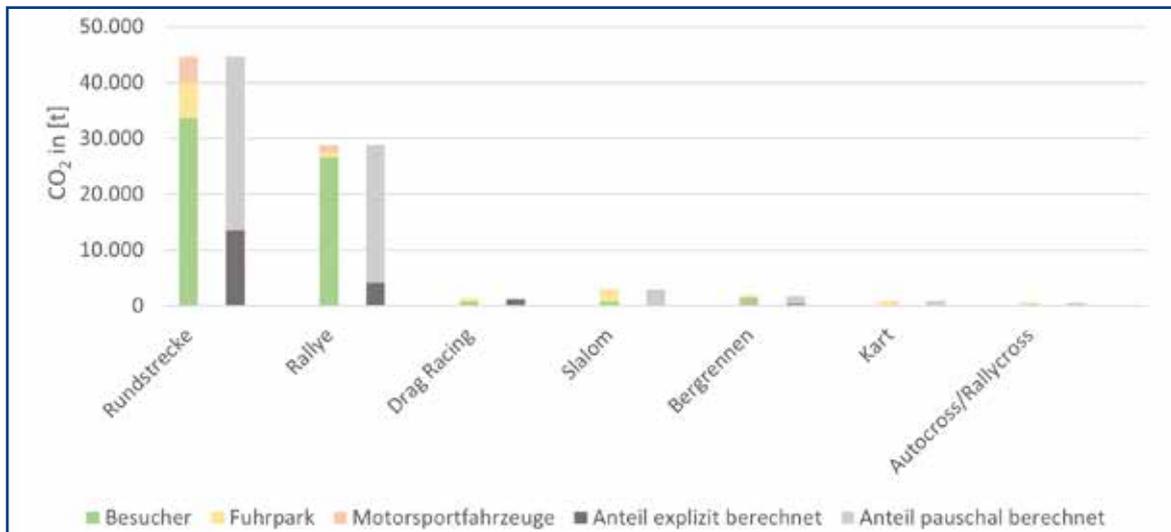


Abbildung 5-11: CO<sub>2</sub>-Bilanz nach Disziplinen im Automobilsport 2019 – Szenario 2.

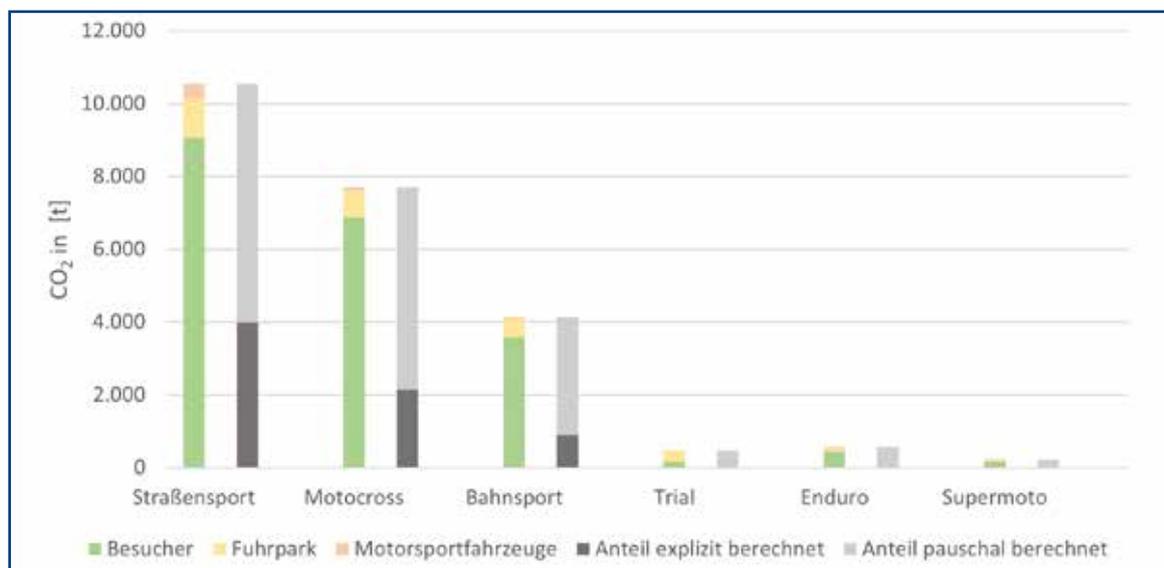


Abbildung 5-12: CO<sub>2</sub>-Bilanz nach Disziplinen im Motorradsport 2019 – Szenario 2.

Tabelle 5-4: CO<sub>2</sub>- und Luftschadstoffemissionen nach Disziplinen für den Automobil- und Motorradsport im Jahr 2019 – Szenario 2.

Automobil					
Disziplin	CO <sub>2</sub> [t]	CO [t]	HC [t]	NO <sub>x</sub> [t]	PM [t]
Rundstrecke	44.690,3	383,1	40,96	159,2	2,23
Rallye	28.867,6	264,2	28,75	99,8	1,37
Slalom	2.979,7	20,4	2,05	13,3	0,28
Bergrennen	1.799,7	15,7	1,69	6,54	0,10
Drag Racing*	1.336,6	9,2	0,94	4,7	0,07
Kart	905,7	5,1	0,47	3,95	0,07
Autocross/Rallycross	523,6	3,5	0,35	2,28	0,05
Motorrad					
Disziplin	CO <sub>2</sub> [t]	CO [t]	HC [t]	NO <sub>x</sub> [t]	PM [t]
Straßensport	10.544,1	92,9	10,01	37,5	0,54
Motocross	7.695,9	67,5	7,26	27,4	0,40
Bahnsport*	4.141,2	35,8	3,84	14,8	0,21
Enduro	576,1	4,9	0,52	2,1	0,03
Trial	472,2	2,9	0,28	2,1	0,04
Supermoto	216,6	1,8	0,19	0,8	0,01

\*Für die Disziplinen Drag Racing und Bahnsport war es für die Motorsportfahrzeuge nicht möglich andere als die CO<sub>2</sub>-Emissionen zu ermitteln. Die hier aufgeführten Ergebnisse zu den Luftschadstoffen CO, HC, NO<sub>x</sub> und PM beziehen sich nur auf den Besucherverkehr und den Fuhrpark.

### 5.3. Basisszenario 3 (Maximale Schätzung)

Insgesamt belaufen sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der maximalen Schätzung auf 205.363 t im Jahr 2019. Dabei entfallen 160.664 t auf den Besucherverkehr, 34.667 t auf den Fuhrpark und 10.033 t auf die Motorsportfahrzeuge (Tabelle 5-5 und Abbildung 5-13). Der Besucherverkehr stellt nach wie vor mit 78 % an der Gesamtbilanz den größten Einflussfaktor dar. Die Motorsportfahrzeuge fallen bei diesem Szenario nur mit 5 % an der Gesamtbilanz ins Gewicht (Abbildung 5-14). Nur auf die Bilanz des Motorradsports bezogen, machen die Motorsportfahrzeuge sogar nur einen Anteil von 1 % aus. Der Automobilsport hat auch in diesem Szenario mit 72 % den größten Anteil an der Gesamtbilanz (147.814 t), die restlichen 28 % werden durch den Motorradsport (57.553 t) verursacht. Dieses Szenario hat mit 87 % den größten Anteil an durch pauschalierte Berechnung ermittelten CO<sub>2</sub>-Emissionen. Nur 13 % der insgesamt ermittelten CO<sub>2</sub>-Emissionen wurde anhand expliziter bzw. realer Daten berechnet (vgl. Abbildung 5-13).

Da sich der Anteil an pauschaliert berechneten CO<sub>2</sub>-Emissionen bei Szenario 3 nochmals erhöht hat, sind diese im Vergleich zu den gleichbleibenden Emissionen der explizit berechneten Großveranstaltungen deutlich höher. D. h. der Anteil der Großveranstaltungen an der Gesamtbilanz ist mit 10 % klein (Abbildung 5-15). Die CO<sub>2</sub>-Emissionen der berechneten Großveranstaltungen im Automobil- und Motorradsport sind in Abbildung 5-4 und Abbildung 5-5 gegeben.

Tabelle 5-5: Ergebnisse Gesamtbilanz CO<sub>2</sub>- und Luftschadstoffemissionen – Szenario 3.

Automobil					
	CO <sub>2</sub> [t]	CO [t]	HC [t]	NO <sub>x</sub> [t]	PM [t]
Besucher	109.567	1.016	110,9	373	4,93
Fuhrpark	29.056	125	9,7	131	2,30
Motorsport	9.191	84	9,2	31	0,42
<b>Gesamt</b>	<b>147.814</b>	<b>1.225</b>	<b>129,6</b>	<b>535</b>	<b>7,65</b>
Motorrad					
	CO <sub>2</sub> [t]	CO [t]	HC [t]	NO <sub>x</sub> [t]	PM [t]
Besucher	51.097	474	51,7	174	2,30
Fuhrpark	5.611	28	2,4	26	0,54
Motorsport	841	8	0,9	3	0,04
<b>Gesamt</b>	<b>57.549</b>	<b>509</b>	<b>54,9</b>	<b>203</b>	<b>2,88</b>
Gesamtbilanz					
	CO <sub>2</sub> [t]	CO [t]	HC [t]	NO <sub>x</sub> [t]	PM [t]
<b>Gesamt</b>	<b>205.363</b>	<b>1.734</b>	<b>184,5</b>	<b>738</b>	<b>10,53</b>

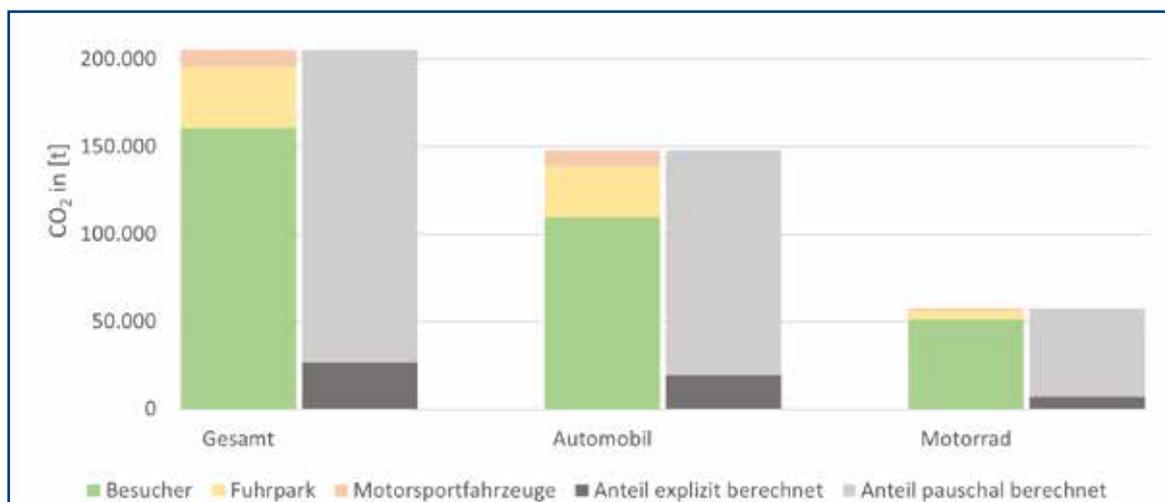


Abbildung 5-13: Gesamt-CO<sub>2</sub>-Bilanz im Jahr 2019 mit Anteil expliziter und pauschaler Berechnung – Szenario 3.

Betrachtet man die Motorsportdisziplinen separat sind im Automobilsport die Rundstreckenrennen und Rallyeveranstaltungen gefolgt von Slalom die drei größten Emissionsverursacher (Abbildung 5-16). Der größer angenommene Fuhrpark für Slalom-Veranstaltungen bei der maximalen Schätzung trägt maßgeblich zu dieser Verschiebung im Ranking (im Vergleich zu Szenario 1) bei. Im Motorradsport sind die drei größten Emittenten nach wie vor der Straßensport, Motocross und Bahnsport (Abbildung 5-17). Die Emissionswerte aller berechneter Klima- und Luftschadstoffe der jeweiligen Disziplin können Tabelle 5-6 entnommen werden.

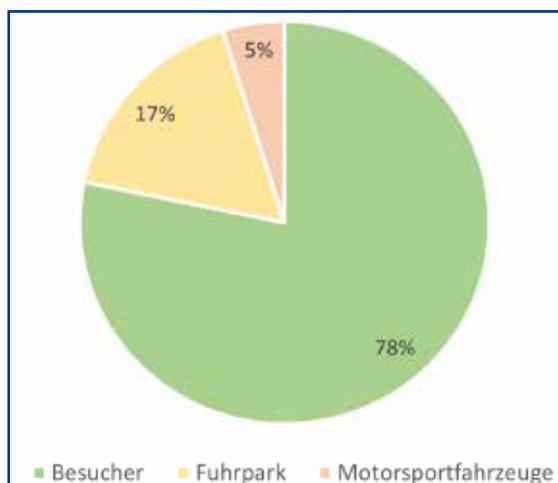


Abbildung 5-14: Einflussfaktoren auf die Gesamt-CO<sub>2</sub>-Bilanz 2019 – Szenario 3.

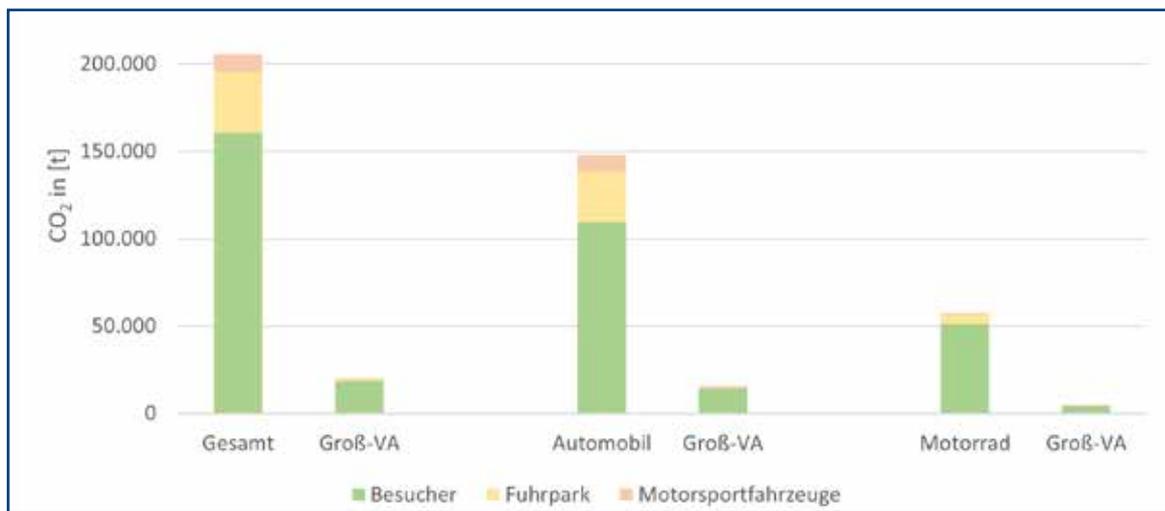


Abbildung 5-15: Gesamt-CO<sub>2</sub>-Bilanz im Vergleich zu den Großveranstaltungen im Jahr 2019 – Szenario 3.

Tabelle 5-6: CO<sub>2</sub>- und Luftschadstoffemissionen nach Disziplinen für den Automobil- und Motorradsport im Jahr 2019 – Szenario 3.

Automobil					
Disziplin	CO <sub>2</sub> [t]	CO [t]	HC [t]	NO <sub>x</sub> [t]	PM [t]
Rundstrecke	82.732,3	687,4	72,84	297,7	4,16
Rallye	47.072,7	416,0	44,85	164,8	2,26
Slalom	9.474,5	58,0	5,53	40,2	0,71
Bergrennen	3.700,6	33,0	3,57	13,2	0,19
Autocross/ Rallycross	1.755,2	10,4	0,98	7,3	0,12
Kart	1.554,9	9,7	0,93	6,5	0,11
Drag Racing*	1.523,5	10,7	1,10	5,3	0,08
Motorrad					
Disziplin	CO <sub>2</sub> [t]	CO [t]	HC [t]	NO <sub>x</sub> [t]	PM [t]
Straßensport	24.291,5	214,3	23,10	85,6	1,20
Motocross	19.436,4	174,8	18,94	67,9	0,95
Bahnsport*	10.759,2	94,5	10,17	38,4	0,56
Enduro	1.556,2	13,8	1,50	5,5	0,08
Trial	894,6	6,6	0,68	3,6	0,06
Supermoto	611,2	5,2	0,55	2,2	0,03

\*Für die Disziplinen Drag Racing und Bahnsport war es für die Motorsportfahrzeuge nicht möglich andere als die CO<sub>2</sub>-Emissionen zu ermitteln. Die hier aufgeführten Ergebnisse zu den Luftschadstoffen CO, HC, NO<sub>x</sub> und PM beziehen sich nur auf den Besucherverkehr und den Fuhrpark.

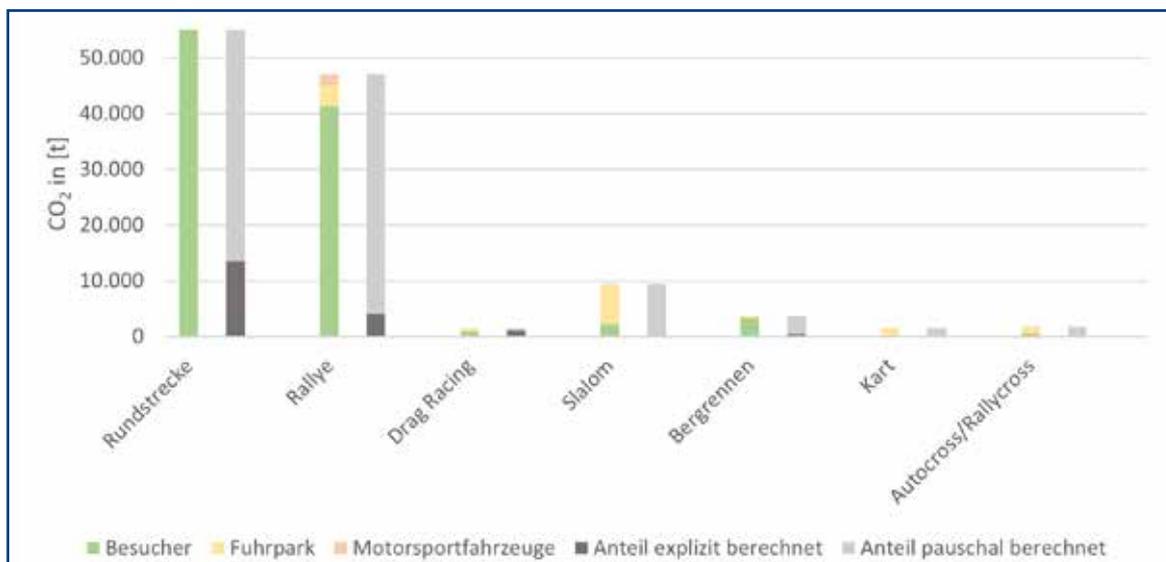


Abbildung 5-16: CO<sub>2</sub>-Bilanz nach Disziplinen im Automobilsport 2019 – Szenario 3.

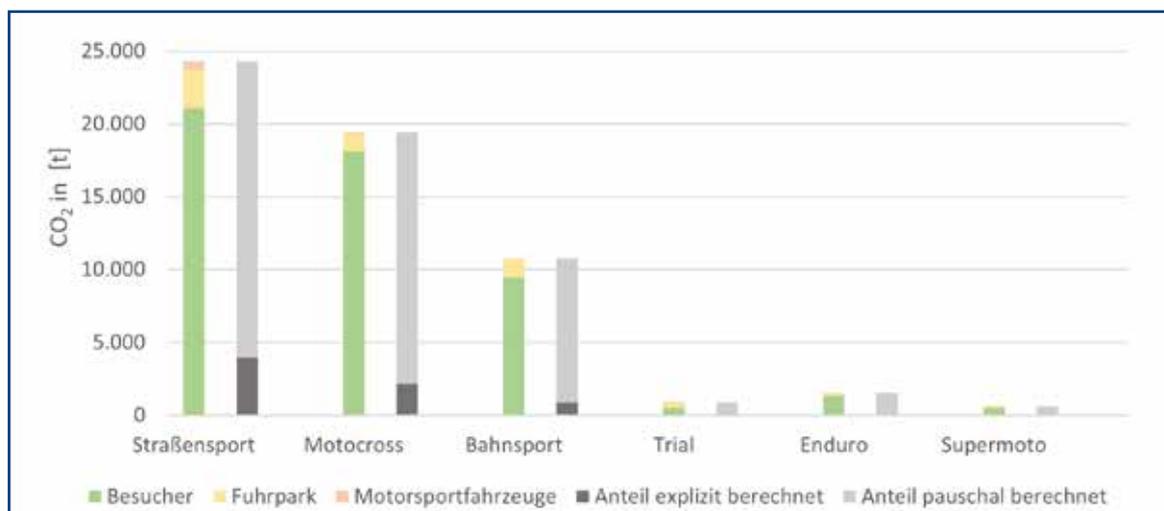


Abbildung 5-17: CO<sub>2</sub>-Bilanz nach Disziplinen im Motorradsport 2019 – Szenario 3.

### 5.4. Variantenrechnungen

Im Folgenden werden die Ergebnisse verschiedener Varianten mit Anpassung unterschiedlicher Parameter dargestellt. Die Varianten unterscheiden sich von den Basisszenarien im Wert des PKW-Besetzungsgrades bzw. in der Annahme des Modal Splits. Es wurde bei jeder Variantenrechnung nur ein Parameter variiert, alle restlichen Werte entsprechen jenen der Basisszenarien. Für jede Variante wurden die drei Schätzungen (minimale, mittlere und maximale, bzw. Szenario 1, 2 und 3) berechnet. Da die Variantenrechnungen nur dem Ziel dienen sollen, den Einfluss verschiedener Parameter aufzuzeigen bzw. die Vergleichbarkeit mit der Studie von 2008 zu erhöhen, werden im Folgenden nur die Ergebnisse bezogen auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen aufgeführt. Die Ergebnisse zu den sonstigen erfassten Luftschadstoffemissionen sind im Anhang gegeben.

#### 5.4.1. Besetzungsgrad 2,5

Die Variantenrechnung mit einem PKW-Besetzungsgrad von 2,5 dient zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit denen aus der Studie von 2008.

Der berechnete Gesamt-CO<sub>2</sub>-Ausstoß beläuft sich bei dieser Variante auf 37.043 t (Szenario 1), 84.572 t (Szenario 2) bzw. 166.804 t (Szenario 3) im Jahr 2019 (Abbildung 518). Dabei wird der größte Teil nach wie vor im Automobilsport verursacht. Die Beiträge des Besucherverkehrs, Fuhrparks sowie der Motorsportfahrzeuge sind für alle Szenarien in Tabelle 5-7 gegeben.

Tabelle 5-7: Gesamt-CO<sub>2</sub>-Emissionen in [t] für die Variantenrechnung mit PKW-Besetzungsgrad von 2,5.

	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
Besucherverkehr	27.847	63.895	122.105
Fuhrpark	5.549	13.838	34.666
Motorsportfahrzeuge	3.646	6.839	10.033
<b>Gesamt</b>	<b>37.043</b>	<b>84.572</b>	<b>166.804</b>

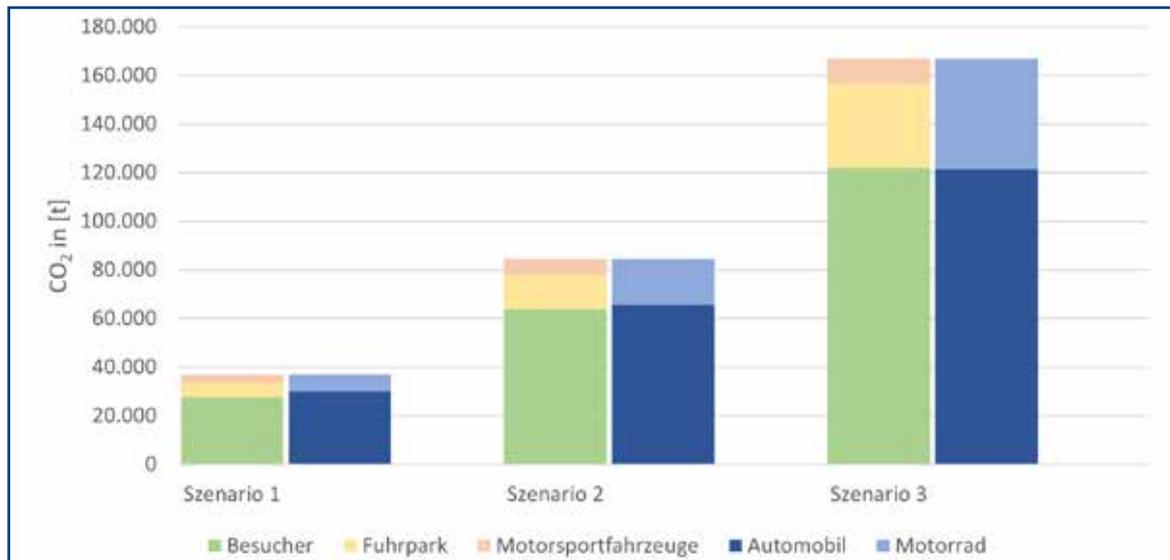


Abbildung 5-18: Gesamt-CO<sub>2</sub>-Bilanz für die Variantenrechnung mit PKW-Besetzungsgrad von 2,5.

#### 5.4.2. Modal Split 0,2

Durch die Variantenrechnung mit unterschiedlichen Werten für den Modal Split soll der Einfluss aufgezeigt werden, den steigende Besucheranteile haben, die mit den öffentlichen Verkehrsmitteln anreisen.

Bei einem Modal Split von 0,2 (d. h. 20% der Besucher und Besucherinnen reisen mit den öffentlichen Verkehrsmitteln an) ergibt sich eine Gesamtbilanz von 39.630 t (Szenario 1), 90.509 t (Szenario 2) bzw. 178.149 t (Szenario 3) (Abbildung 5-19). Wie zuvor ist der Großteil der Gesamtemissionen im Automobilsport zu finden. Die Emissionswerte für die Einflussfaktoren Besucherverkehr, Fuhrpark und Motorsportfahrzeuge können Tabelle 5-8 entnommen werden.

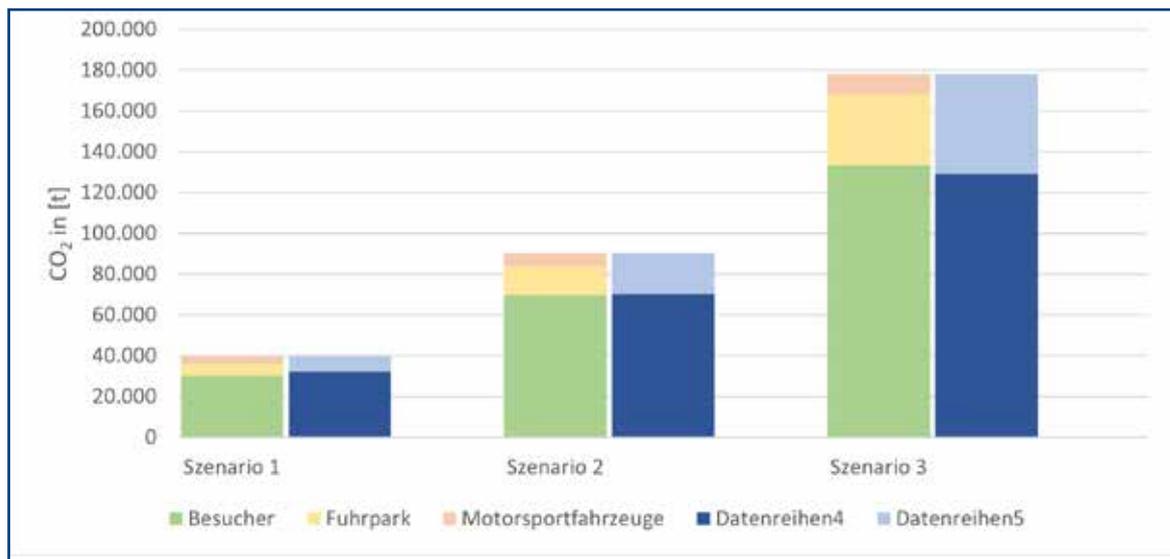


Abbildung 5-19: Gesamt-CO<sub>2</sub>-Bilanz für die Variantenrechnung mit Modal Split von 0,2.

Tabelle 5-8: Gesamt-CO<sub>2</sub>-Emissionen in [t] für die Variantenrechnung mit einem Modal Split von 0,2.

	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
Besucherverkehr	30.435	69.832	133.450
Fuhrpark	5.549	13.838	34.666
Motorsportfahrzeuge	3.646	6.839	10.033
<b>Gesamt</b>	<b>39.630</b>	<b>90.509</b>	<b>178.149</b>

### 5.4.3. Modal Split 0,4

Wenn angenommen wird, dass 40% der Besucher und Besucherinnen mit öffentlichen Verkehrsmitteln anreisen, ergibt sich eine Gesamt-CO<sub>2</sub>-Bilanz von 33.424 t (Szenario 1), 76.268 t (Szenario 2) bzw. 150.934 t (Szenario 3) (Abbildung 5-20). Der größte Teil der Emissionen wird im Automobilsport verursacht. Eine Aufstellung über die Emissionen aufgeteilt nach Einflussfaktor, d. h. Besucherverkehr, Fuhrpark und Motorsportfahrzeuge ist in Tabelle 5-9 gegeben.

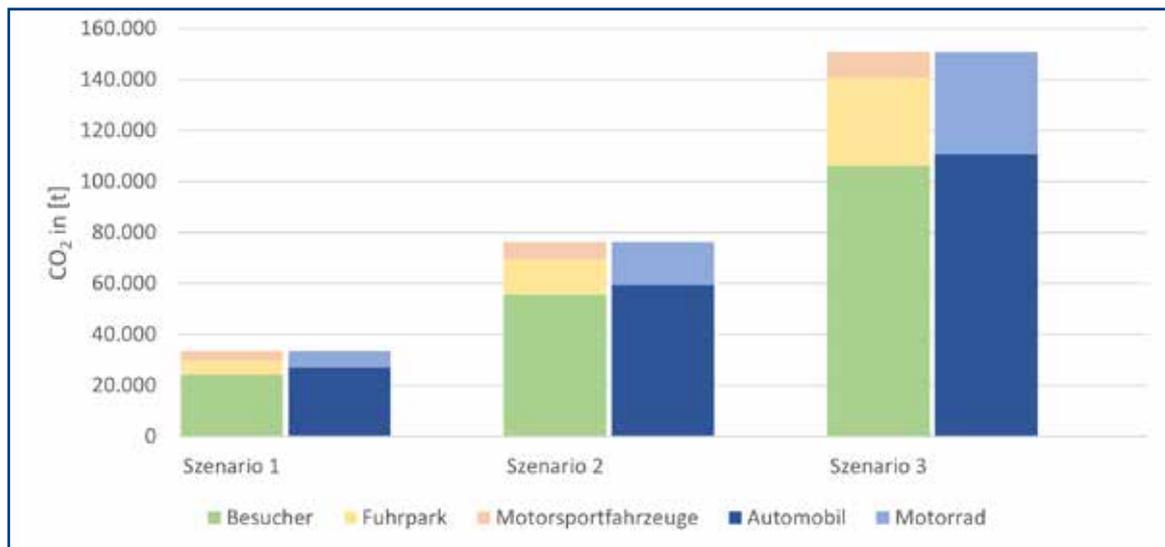


Abbildung 5-20: Gesamt-CCO<sub>2</sub>-Bilanz für die Variantenrechnung mit Modal Split von 0,4.

Tabelle 5-9: Gesamt-CO<sub>2</sub>-Emissionen in [t] für die Variantenrechnung mit einem Modal Split von 0,4.

	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
Besucherverkehr	24.228	55.591	106.235
Fuhrpark	5.549	13.838	34.666
Motorsportfahrzeuge	3.646	6.839	10.033
<b>Gesamt</b>	<b>33.424</b>	<b>76.268</b>	<b>150.934</b>

#### 5.4.4. Vergleich der Variantenrechnungen mit den Basisszenarien

Im Folgenden werden für den einfacheren Vergleich nur die CO<sub>2</sub>-Gesamtbilanzen der verschiedenen Variantenrechnungen im Vergleich zu den Basisszenarien dargestellt (Abbildung 5-21).

Im Vergleich zu den Basisszenarien ändert sich bei allen Varianten ausschließlich die Höhe der Emissionen durch den Besucherverkehr, da die Variationen ausschließlich Parameter dieses Einflussfaktors betreffen. Durch einen Besetzungsgrad von 2,5 kann bei allen Szenarien eine CO<sub>2</sub>-Einsparung in Höhe von 19 % erreicht werden, durch einen Modal Split von 0,2 belaufen sich die Einsparungen auf 14 % für Szenario 1 und 2 sowie 13 % für Szenario 3. Bei einem Modal Split von 0,4 können in jedem Szenario 27 % eingespart werden. Alle Gesamt-CO<sub>2</sub>-Emissionen können Tabelle 5-10 entnommen werden.

Tabelle 5-10: CO<sub>2</sub>-Gesamtbilanzen in [t] der Variantenrechnungen im Vergleich.

	Basis	Besetzungsgrad 2,5	Modal Split 0,2	Modal Split 0,4
<b>Szenario 1</b>	45.837	37.043	39.630	33.424
<b>Szenario 2</b>	104.749	84.572	90.509	76.268
<b>Szenario 3</b>	205.363	166.804	178.149	150.934

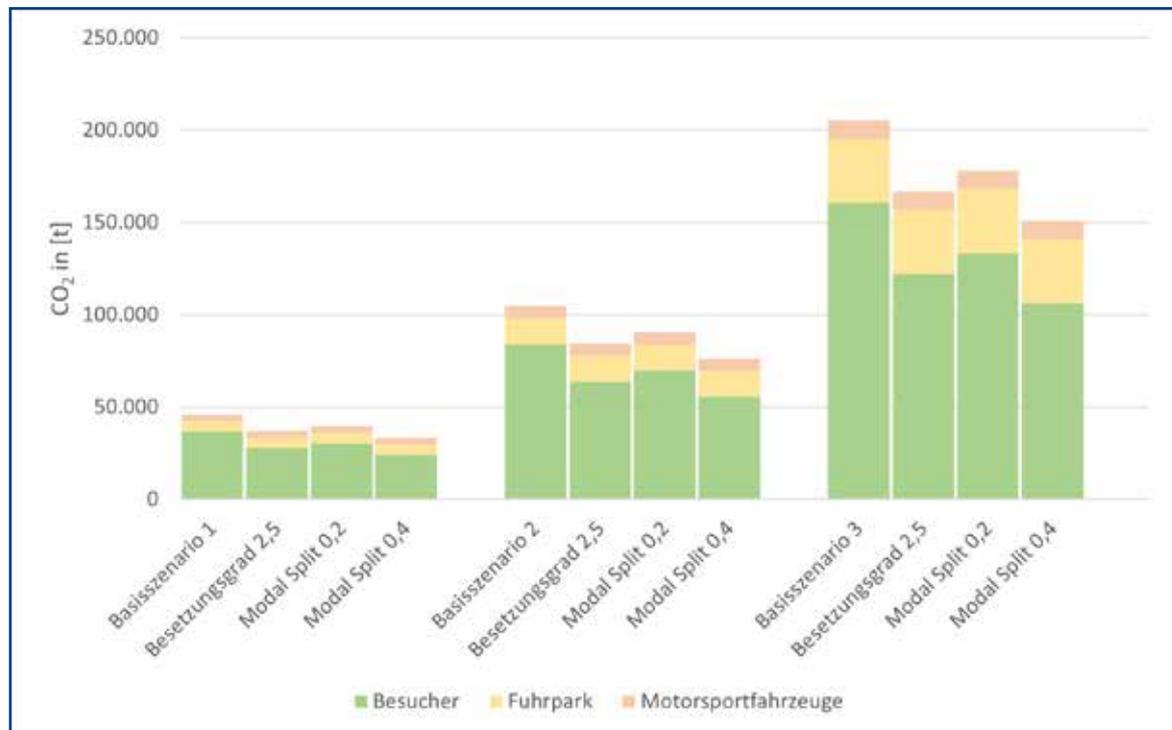


Abbildung 5-21: CO<sub>2</sub>-Gesamtbilanzen der Variantenrechnungen im Vergleich.

## 6. Diskussion der Berechnungsergebnisse

Ziel dieser Studie ist es, jene Aspekte einer Motorsportveranstaltung mit hohem Umwelt- bzw. Treibhausgaseinfluss zu identifizieren und Ansatzpunkte für effektive Maßnahmen zur THG-Einsparung zu finden. Dieses Ziel wurde durch die Aufstellung einer CO<sub>2</sub>- und Luftschadstoffbilanz für ausgewählte Aspekte einer Motorsportveranstaltung erreicht. Obwohl die Gesamtbilanzen je nach berechnetem Szenario und/oder Variantenrechnung deutlich voneinander abweichen, kann der Einfluss des Besucherverkehrs als maßgeblicher Faktor bei allen Szenarien und Variantenrechnungen identifiziert werden. Der Anteil an der CO<sub>2</sub>-Gesamtbilanz, welcher durch die An- und Abreise der Zuschauer und Zuschauerinnen verursacht wird, beträgt je nach berechnetem Basisszenario zwischen 78 % und 80 %. Der zweitgrößte Einflussfaktor ist der Fuhrpark mit einem Anteil an der Gesamtbilanz zwischen 12 % und 17 %. Die Motorsportfahrzeuge selbst verursachen hingegen lediglich 5-8 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Der hauptsächliche THG-Verursacher ist demnach Scope 3 nach GHG-Protokoll zuzuordnen und nicht spezifisch für Motorsportveranstaltungen, sondern ein grundlegender Einflussfaktor bei jeder Art von Event. Typisch für Motorsportveranstaltungsstätten ist allerdings, dass sie meist außerhalb von Städten liegen (aufgrund von Lärmbelastungen etc.), was dazu führt, dass keine ausreichend gute Anbindung an das öffentliche Verkehrsnetz vorhanden ist. Aktuell kann daher (mit vernachlässigbaren Ausnahmen) davon ausgegangen werden, dass die Zuschauer und Zuschauerinnen ausschließlich mit dem PKW anreisen. Im Vergleich dazu reisen beispielsweise bei Fußballspielen der Bundesliga nur ca. 70 % der Fans mit dem PKW an, der Rest nutzt öffentliche Verkehrsmittel [6]. Dass sich ein höherer Besucheranteil, welcher das öffentliche Verkehrsnetz für die An- und Abreise nutzt, sehr positiv auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz auswirkt, wird durch die hier durchgeführten Variantenrechnungen mit einem Modal Split von 0,2 bzw. 0,4 deutlich. Bezogen auf den Besucherverkehr kann durch das Erreichen eines Modal Splits von beispielsweise 0,4 in dieser Berechnung eine CO<sub>2</sub>-Einsparung von ca. 34 % erreicht werden, bezogen auf die Gesamtbilanz sind es 27 %. Der tatsächliche Einfluss durch die Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel kann variieren und hängt von der Art der genutzten Verkehrsmittel ab. Dass die An- und Abreise der Besucher und Besucherinnen dennoch der größte Hebel im Hinblick auf die Einsparung von THG ist, wird auch durch die Variantenrechnung mit einem PKW-Besetzungsgrad von 2,5 (im Vergleich zu 1,9 in den Basisszenarien) deutlich. Teilen sich mehr Anreisende das gleiche Fahrzeug, reduziert sich die Anzahl der an- und abreisenden PKW und in direkter Folge dadurch auch proportional deren Emissionen. Die Variantenrechnung mit 2,5 Personen pro Fahrzeug ergibt eine um 19 % geringere Gesamt-CO<sub>2</sub>-Bilanz bezogen auf die Basisszenarien. Daraus abgeleitet spielt nicht nur die Art der Anreise, sondern auch die Anzahl an Zuschauern und Zuschauerinnen vor Ort eine maßgebliche Rolle in Bezug auf die THG-Emissionen einer Veranstaltung.

Der zweitgrößte Einflussfaktor (12 - 17 % an der Gesamt-CO<sub>2</sub>-Bilanz) ist der mitgeführte Fuhrpark bei Motorsportveranstaltungen (Scope 1 bzw. Scope 3). Daher ergeben sich auch hier Handlungsfelder und Ansatzpunkte für eine THG-Einsparung mit potenziell großer Wirkung. Die prozentualen Unterschiede zwischen den drei Basisszenarien sind bezogen auf den Fuhrpark sogar am größten. Ausgehend von Basisszenario 1 erhöht sich die CO<sub>2</sub>-Bilanz des Fuhrparks in Basisszenario 2 um 149 % und in Basisszenario 3 um 525%. In erster Linie ist dafür die höher angenommene Anzahl an teilnehmenden Teams in Szenario 2 bzw. 3 ausschlaggebend. Aber auch die Art und Anzahl an mitgeführten Fahrzeugen hat selbstverständlich einen Einfluss. In vielen Fällen legen die Teilnehmer und Teilnehmerinnen einer Motorsportveranstaltung längere Strecken zurück als die Fans, vor allem bei mittleren und kleineren Events. Würde die mitgeführte Fahrzeugflotte der Teams bzw. Teilnehmer und Teilnehmerinnen kleiner ausfallen oder über klimafreundlichere Antriebstechnologien verfügen, könnten daher potenziell relevante Mengen an THG eingespart werden.

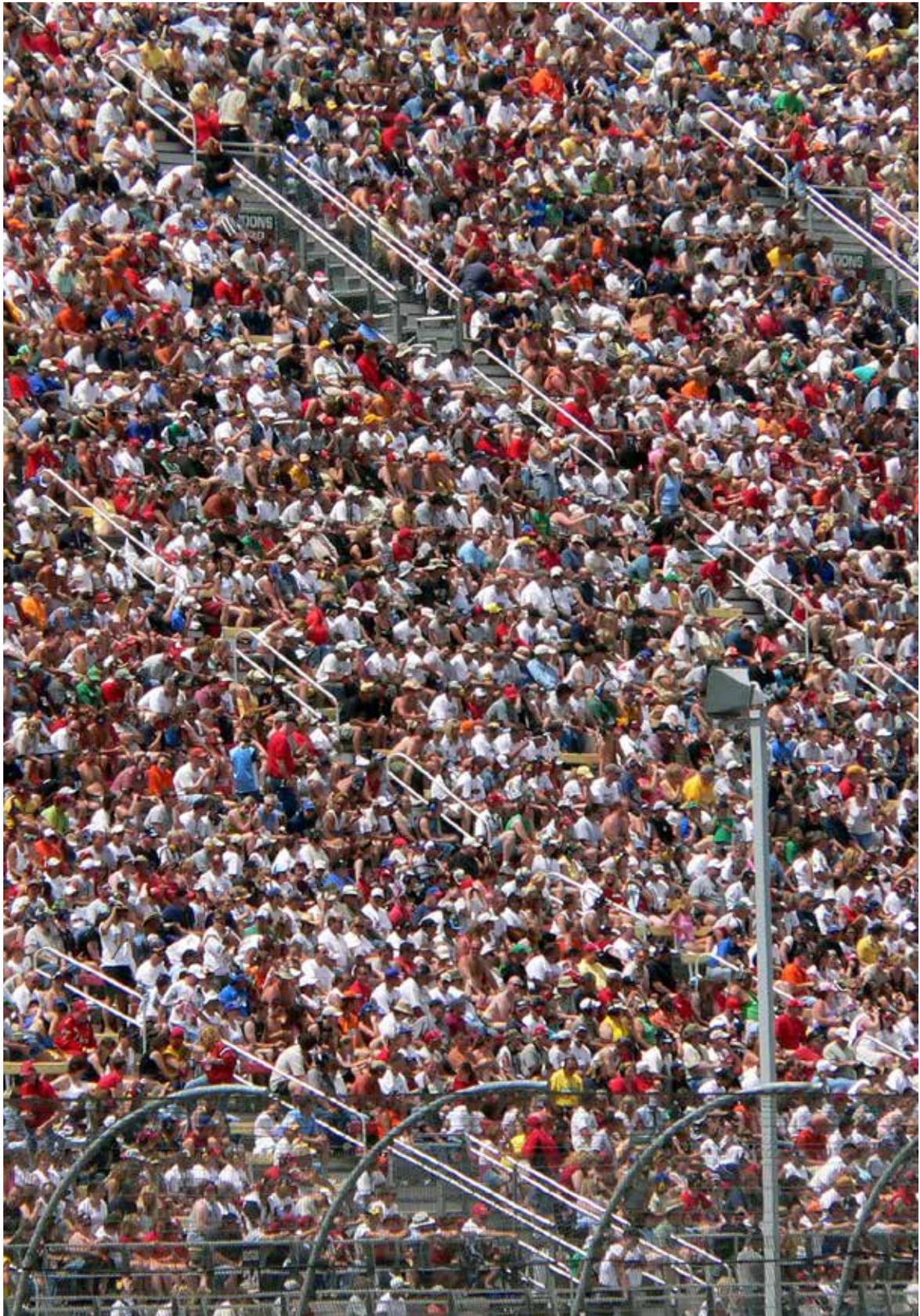


Foto: AdobeStock #2317609

*Abbildung 6-1: Zuschauermassen bei einer Motorsportveranstaltung.*

Auch in Bezug auf den Einflussfaktor Fuhrpark muss beachtet werden, dass viele Berechnungsparameter auf (realistisch abgeschätzten) Annahmen beruhen und daher Unsicherheiten enthalten. Dennoch lässt sich durch die Berechnungen auch bei diesem Einflussfaktor ein potenzielles Einsparpotenzial ableiten.

Neben CO<sub>2</sub> wurden auch weitere Luftschadstoffe (CO, HC, NOX, PM) ermittelt. In Bezug auf die berechneten Basisszenarien verhalten sich diese Emissionen annähernd proportional zu den jeweiligen CO<sub>2</sub>-Emissionen. Es gibt allerdings Schwankungen, sodass die Hälfte an CO<sub>2</sub>-Emissionen nicht automatisch 50 % Reduktion der sonstigen Luftschadstoffemissionen bedeutet. Die Abweichungen sind auf die unterschiedlichen Abgaswerte der Fuhrparkfahrzeuge zurückzuführen. Je nach Fahrzeugtyp (PKW, LNF, SNF) stehen die Abgaswerte für die betrachteten Klima- und Luftschadstoffe in unterschiedlichem Verhältnis zueinander. So hat ein LNF beispielsweise höhere spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen als ein PKW, aber niedrigere CO-Abgaswerte. Zudem konnten bei den Disziplinen Bahnsport und Drag Racing, aufgrund einer fehlenden Datenbasis, keine sonstigen Luftschadstoffemissionen (abgesehen von CO<sub>2</sub>) durch die Motorsportfahrzeuge bestimmt werden. Dieser Beitrag fehlt somit in den Berechnungsergebnissen.

Der hauptsächliche THG-Verursacher ist demnach Scope 3 nach GHG-Protokoll zuzuordnen und nicht spezifisch für Motorsportveranstaltungen, sondern ein grundlegender Einflussfaktor bei jeder Art von Event. Typisch für Motorsportveranstaltungsstätten ist allerdings, dass sie meist außerhalb von Städten liegen (aufgrund von Lärmbelastungen etc.), was dazu führt, dass keine ausreichend gute Anbindung an das öffentliche Verkehrsnetz vorhanden ist. Aktuell kann daher (mit vernachlässigbaren Ausnahmen) davon ausgegangen werden, dass die Zuschauer und Zuschauerinnen ausschließlich mit dem PKW anreisen. Im Vergleich dazu reisen beispielsweise bei Fußballspielen der Bundesliga nur ca. 70 % der Fans mit dem PKW an, der Rest nutzt öffentliche Verkehrsmittel [6]. Dass sich ein höherer Besucheranteil, welcher das öffentliche Verkehrsnetz für die An- und Abreise nutzt, sehr positiv auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz auswirkt, wird durch die hier durchgeführten Variantenrechnungen mit einem Modal Split von 0,2 bzw. 0,4 deutlich. Bezogen auf den Besucherverkehr kann durch das Erreichen eines Modal Splits von beispielsweise 0,4 in dieser Berechnung eine CO<sub>2</sub>-Einsparung von ca. 34 % erreicht werden, bezogen auf die Gesamtbilanz sind es 27 %. Der tatsächliche Einfluss durch die Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel kann variieren und hängt von der Art der genutzten Verkehrsmittel ab. Dass die An- und Abreise der Besucher und Besucherinnen dennoch der größte Hebel im Hinblick auf die Einsparung von THG ist, wird auch durch die Variantenrechnung mit einem PKW-Besetzungsgrad von 2,5 (im Vergleich zu 1,9 in den Basisszenarien) deutlich. Teilen sich mehr Anreisende das gleiche Fahrzeug, reduziert sich die Anzahl der an- und abreisenden PKW und in direkter Folge dadurch auch proportional deren Emissionen. Die Variantenrechnung mit 2,5 Personen pro Fahrzeug ergibt eine um 19 % geringere Gesamt-CO<sub>2</sub>-Bilanz bezogen auf die Basisszenarien. Daraus abgeleitet spielt nicht nur die Art der Anreise, sondern auch die Anzahl an Zuschauern und Zuschauerinnen vor Ort eine maßgebliche Rolle in Bezug auf die THG-Emissionen einer Veranstaltung.

### 6.1. Vergleich der aktuellen Ergebnisse mit denen der vorangegangenen Studie

Obwohl der Untersuchungsrahmen und die in die quantitative Bestimmung der Emissionen von Motorsportveranstaltungen einbezogenen Einflussfaktoren in den beiden Studien ähnlich sind, unterscheidet sich die hier angewandte Methodik im Vergleich zu der Studie „Umweltbilanz des Deutschen Motor Sport Bundes (DMSB)“ vom ifeu Heidelberg (2008) in einigen Aspekten. Die besagte Studie aus dem Jahr 2008 ermittelte die Emissionen wie auch in dieser Studie für alle Großveranstaltungen (Definition nicht eindeutig geklärt) separat. Allerdings unterscheiden sich hier die entsprechend berücksichtigten Veranstaltungen sowie die angenommenen Berechnungsparameter. Eine Gegenüberstellung der separat berechneten Großveranstaltungen und der wichtigsten diesbezüglich getroffenen Annahmen ist in Tabelle 6-1 gegeben. Für alle nicht als Großveranstaltungen deklarierten Events im Automobilsport wurde in der Studie von 2008 ein „mittleres Rennwochenende“ als Referenzveranstaltung angenommen und pauschal über die Anzahl der Veranstaltungen auf das Jahr hochgerechnet. Hinzu kommt eine Vielzahl an Veranstaltungen der Kategorie „sonstige Veranstaltungen“ (Tabelle 6-2). Zu diesen liegen keine Informationen bzgl. der Berechnungsparametern vor. Auch in der hier vorliegenden Studie ist der Anteil an pauschal berechneten Veranstaltungen an der Gesamtbilanz nicht zu vernachlässigen. Allerdings wurden die Berechnungsparameter sowohl im Automobil- als auch im Motorradsport für jede Disziplin einzeln und an die Charakteristik der entsprechenden Veranstaltungen angepasst bestimmt. Die Hochrechnung erfolgte demnach spezifisch pro Automobil- oder Motorradsportdisziplin und ist deutlich differenzierter als in der vorangegangenen Studie. Abweichend ist auch die hier durchgeführte Szenarienrechnung mit unterschiedlichen Berechnungsparametern zur Abbildung unterschiedlicher Ausgangsszenarien.

Insgesamt weichen einige der verwendeten Daten und Parameter in dieser Studie von der aus dem Jahr 2008 ab. Auf eine vollständige Auflistung dieser Abweichungen wird an dieser Stelle verzichtet. Wichtiger ist die Tatsache, dass, vor allem den Besucherverkehr und den Fuhrpark betreffend, Abweichungen in den Berechnungsannahmen zu starken Variationen in den Ergebnissen führen können. Für die Interpretation und den Vergleich der Ergebnisse wichtige Abweichungen werden im Folgenden an gegebener Stelle noch genauer erläutert. Für einige der Berechnungsparameter konnten keine genauen Angaben aus der Studie von 2008 entnommen werden, wodurch auch hier die Möglichkeit von Abweichungen existiert, welche aber nicht eindeutig geklärt werden konnte.

Im Allgemeinen wurden in der hier vorliegenden Studie sowohl in Bezug auf die Großveranstaltungen als auch für mittlere und kleine Veranstaltungen differenziertere Annahmen bezogen auf einzelne Disziplinen und/oder Serien getroffen und entsprechend auch differenziertere Berechnungen durchgeführt. Der Unsicherheitsfaktor in beiden Studien bleibt die geringe Datenausgangslage und die dadurch bestehende Notwendigkeit Annahmen zu treffen.

Im Vergleich zur Studie von 2008 wurden im Schnitt pro Veranstaltung im Szenario 1 der aktuellen Studie sogar von einer geringeren Besucherzahl ausgegangen. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen durch den Besucherverkehr sind dennoch bereits bei dieser minimalen Schätzung mit einem PKW-Besetzungsgrad von 2,5 um ca. 44 % höher als bei der Studie von 2008 (vgl. Abbildung 6-3). Die Ursache hierfür konnte nicht eindeutig geklärt werden, da die genauen Berechnungsparameter für die sonstigen Veranstaltungen der Studie von 2008 nicht mehr nachvollziehbar waren. Möglich ist beispielsweise ein unterschiedlich angenommener Einzugsradius der Besucher und Besucherinnen. Da die Zuschauerzahlen der sonstigen Veranstaltungen in der Studie von 2008 ca. 65 % der Gesamtzuschauerzahlen des Jahres ausmachen, wirken sich Abweichungen in den Berechnungsparametern diesbezüglich stark auf die Gesamtbilanz aus.

Tabelle 6-1: Vergleich der Berechnungsgrundlagen für Großveranstaltungen mit der Studie von 2008.

Studie von 2008 (ifeu)			Aktuelle Studie (Bezugsjahr 2019)		
<b>Automobil</b>					
Veranstaltung (VA)	Zuschauerzahl	Teams	Veranstaltung (VA)	Zuschauerzahl	Teams
	Anzahl / VA	SNF/LNF/PKW		Anzahl / VA	SNF/LNF/PKW
Formel 1	60.000	4/5/1	Formel 1	66.660	2/1/3
24h-Rennen	35.000	1/1/2	24h-Rennen	75.900	1/1/2
D.-Rallye	50.000	1/2/5	D.-Rallye	72.600	0/1/1
DTM (6 Läufe)	Je 40.000	4/5/1	-	-	-
-	-	-	Nitrolympics	12.870	1/1/2
-	-	-	Oldtimer GP	17.655	0,5/1/1,5
-	-	-	Truck GP	40.920	2/1/3
-	-	-	Osnabrücker Bergrennen	9.900	0/1/0,5
<b>SUMME</b>	<b>385.000</b>			<b>296.505</b>	
Einzugsradius	250 km	250 km	Einzugsradius	250 km	250 km
<b>Motorrad</b>					
Veranstaltung (VA)	Zuschauerzahl	Teams	Veranstaltung (VA)	Zuschauerzahl	Teams
	Anzahl / VA	SNF/LNF/PKW		Anzahl / VA	SNF/LNF/PKW
Moto GP	130.000	Pauschal: 90/90/150	Moto GP	66.383	1/1/3
Superbike WM	30.000	Pauschal: 90/90/150	FIM MX WM	17.500	0,2/1/0,5
24h-Rennen	20.000	Pauschal: 35/15/90	IDM Schleizer Dreieck	9.570	0,2/1/0,5
<b>SUMME</b>	<b>180.000</b>		<b>SUMME</b>	<b>93.453</b>	
Einzugsradius	200 km	250 km	Einzugsradius	250 km	250 km
<b>Allgemein</b>					
PKW-Besetzungsgrad	2,5		PKW-Besetzungsgrad	1,9	

Die Zuschauerzahl bezieht sich auf die effektiv anreisenden Besucher und Besucherinnen. D. h. die Zahlen sind deutlich niedriger als die offiziellen Zuschauerzahlen, da angenommen wird, dass ein Besucher bzw. eine Besucherin nur einmal an- bzw. abreist und das ganze Veranstaltungswochenende bleibt. Die offiziellen Zuschauerzahlen wurden daher über die Anzahl der Veranstaltungstage gemittelt. Die Anzahl der schweren Nutzfahrzeuge (SNF), leichten Nutzfahrzeuge (LNF) und Personenkraftwagen (PKW) bezieht sich jeweils auf ein Team, außer beim Motorradsport der Studie von 2008.

Tabelle 6-2: Vergleich der Durchschnittswerte für die Zuschauerzahlen der sonstigen Veranstaltungen zur Studie von 2008

Studie von 2008 (ifeu)		Aktuelle Studie (Bezugsjahr 2019)	
Veranstaltung (VA)	Zuschauerzahl	Veranstaltung (VA)	Zuschauerzahl
Mittleres Renn-WE*	(250x180)=45.000	-	-
Sonstige Automobil	Insg. 446.000	Sonstige Automobil (min. – max.)	Insg. 380.574 – 690.974
Sonstige Motorrad	Insg. 533.500	Sonstige Motorrad (min. – max.)	Insg. 104.085 – 743.685
<b>Ø Zuschauerzahl/VA</b>	<b>1.295</b>	<b>Ø Zuschauerzahl/VA</b>	<b>1.084 – 3.210</b>

\*In der Studie von 2008 wurden neben den Großveranstaltungen 180 mittlere Rennwochenenden angenommen mit je 250 Zuschauern und Zuschauerinnen. Neben diesen gab es noch sonstige Automobil- bzw. Motorradveranstaltungen, deren Gesamtzuschauerzahl für das ganze Bezugsjahr angegeben ist. Die Angaben der aktuellen Studie beziehen sich hier auf alle Veranstaltungen, die nicht als Großveranstaltungen in Tabelle 6-1 aufgeführt sind. Die Werte sind für das minimale, bzw. maximale Szenario angegeben.

Die deutlich höheren durchschnittlichen Emissionen pro Veranstaltung für die Szenarien 2 und 3 (vgl. Abbildung 6-2) sind zum größten Teil auf die höher angenommene durchschnittliche Zuschauerzahl der sonstigen Veranstaltungen im Vergleich zur Studie von 2008 zurückzuführen. Bei den Basiszenarien spielt zudem der unterschiedlich angenommene PKW-Besetzungsgrad von 1,9 (im Gegensatz zu 2,5 bei der Studie von 2008) eine Rolle. Hinzu kommen sehr wahrscheinlich höher angesetzte Einzugsradien für die Besucher und Besucherinnen für die mittlere und maximale Schätzung. Dies ist jedoch nicht eindeutig nachprüfbar, da die entsprechenden Informationen aus der Studie von 2008 nicht hervorgehen und damit nicht verglichen werden können.

Auch der Einflussfaktor Fuhrpark spielt eine Rolle bei der Gesamtbilanz der Szenarien im Vergleich zur vorangegangenen Studie. Vor allem für die Szenarien 2 und 3 wurden bei der mittleren und maximalen Schätzung vermutlich höhere An- und Abreiseentfernungen angenommen. Die Annahmen wurden in der hier vorliegenden Studie für jede Disziplin separat anhand langjähriger Erfahrungswerte bestimmt. Auch in Bezug auf diesen Einflussfaktor lässt sich diese Erklärung allerdings nicht eindeutig nachprüfen, da entsprechende Informationen für die Kategorie sonstige Veranstaltungen der Studie von 2008 nicht vorliegen.

Änderungen in den Verbrauchswerten der Motorsportfahrzeuge oder der von diesen zurückgelegten Strecken wirken sich weniger stark auf die Gesamt-CO<sub>2</sub>-Bilanz aus, da der relative Beitrag dieses Einflussfaktors gering ausfällt.

Im Allgemeinen muss festgehalten werden, dass die Berechnungen der neuen Studie deutlich differenzierter durchgeführt wurden und die angenommenen Berechnungsparameter spezifisch für die jeweilige Disziplin auf Erfahrungswerten begründet sind. Obwohl nur eine Spannweite der THG- und Luftschadstoffemissionen in Form von Szenarienrechnungen bestimmt werden konnte, zeigen die Ergebnisse deutlich, dass sich die Gesamtbilanz im Vergleich zur Studie von 2008 erhöht hat. Ob dies auf tatsächlich gestiegene Emissionen der einzelnen Einflussfaktoren zurückzuführen ist, oder auf eine abweichende und differenziertere Berechnung bleibt unklar.

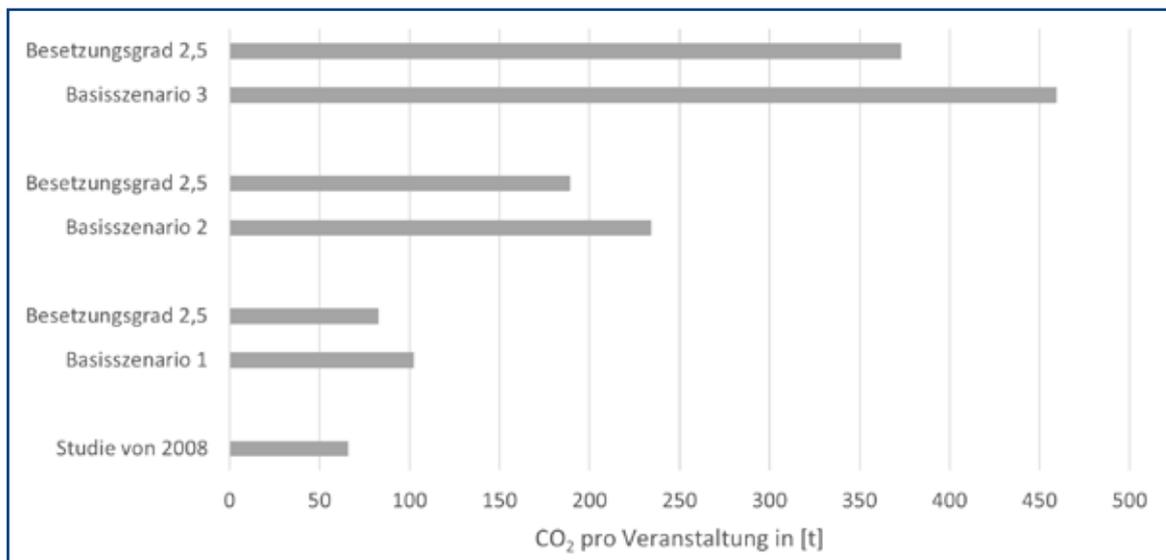


Abbildung 6-2: Vergleich der durchschnittlichen spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Veranstaltung mit der Studie von 2008.

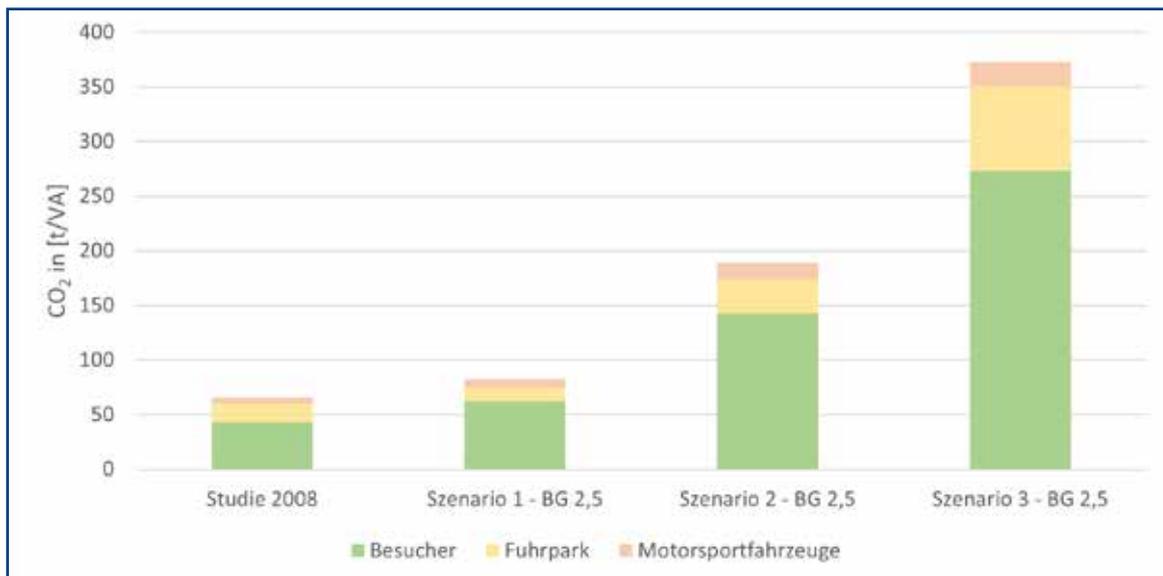


Abbildung 6-3: Vergleich der durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Veranstaltung (VA) für die drei Einflussfaktoren mit der Studie von 2008. Die Szenarien 1, 2 und 3 entsprechen der Variantenrechnung mit einem PKW-Besetzungsgrad (BG) von 2,5. Das in der Abbildung verwendete generische Maskulinum wird aus Gründen der Übersichtlichkeit verwendet und schließt alle Geschlechter mit ein.

Tabelle 6-3: Vergleich der durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen in Tonnen pro Veranstaltung mit der Studie von 2008.

	PKW-BG 2,5			
	Studie 2008	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
Besucherverkehr	43	62	143	273
Fuhrpark	17	12	31	78
Motorsportfahrzeuge	6	8	15	22
<b>Gesamt</b>	<b>66</b>	<b>83</b>	<b>189</b>	<b>373</b>

Vergleicht man die insgesamt im Jahr 2019 durch die Motorsportveranstaltungen des DMSB verursachte Verkehrsleistung mit dem des gesamten Motorisierten Individualverkehr (MIV) in Deutschland, erhält man ein sehr ähnliches Bild wie in der vorangegangenen Studie. Der Motorsport macht nur einen Bruchteil (0,037 – 0,165 % je nach Szenario) dieser Gesamtleistung aus (Tabelle 6-4). Selbst auf den Freizeitverkehr in Deutschland im Jahr 2019 bezogen beträgt der Anteil der Verkehrsleistung aller DMSB-Motorsportveranstaltungen (Besucherverkehr, Fuhrpark und Motorsportfahrzeuge) nur 0,097 – 0,428 % aus.

Tabelle 6-4: Vergleich der Jahres-Verkehrsleistung von DMSB-Veranstaltungen mit dem MIV bzw. Freizeitverkehr in Deutschland. – BS=Basisszenario

Einheit	MIV (2019)	Freizeitverkehr (2019)	DMSB-VA (2019)		
			BS 1	BS 2	BS 3
Mrd. Pkm	917,4 <sup>[7]</sup>	448,1 <sup>[8]</sup>	-	-	-
Mrd. Fzkm*	611,6	235,8	0,229	0,525	1,01

\*Die Umrechnung der Personen-Kilometer (Pkm) in Fahrzeug-Kilometer (Fzkm) erfolgte anhand des durchschnittlichen PKW-Besetzungsgrades von 1,5<sup>[7]</sup> für den MIV in Deutschland bzw. dem PKW-Besetzungsgrad für den Freizeitverkehr in Deutschland von 1,9<sup>[1]</sup>.

#### Die Kernaussagen beider durchgeführten Studien sind somit identisch:

1. Der Hauptverursacher von Klima- und Luftschadstoffemissionen bei Motorsportveranstaltungen ist der Besucherverkehr.
2. Der größte Teil der Emissionen entsteht im Automobilsport.
3. Die Motorsportfahrzeuge selbst leisten nur einen untergeordneten Beitrag zur Gesamtbilanz.
4. Die Verkehrsleistung aller Motorsportveranstaltungen ist nur ein Bruchteil des Motorisierten Individualverkehrs bzw. Freizeitverkehrs in Deutschland.

## 7. Vergleich mit anderen Sportereignissen

Ein Vergleich der Ergebnisse dieser Studie mit anderen Sportereignissen kann helfen, die Dimensionen bzw. Größenordnungen der durch die Motorsportveranstaltungen des DMSB im Jahr 2019 verursachten Emissionen einzuordnen. Aktuelle Studien zu THG-Emissionen von Sport(groß)ereignissen sind allerdings rar und können, aufgrund unterschiedlicher Untersuchungsrahmen und Methodik, oft nur bedingt miteinander verglichen werden. Dennoch werden im Folgenden einige Vergleiche in Bezug auf ausgewählte Einflussfaktoren angestellt. Diese betreffen die Sportarten Fußball und Laufen sowie Großveranstaltungen wie die Olympischen und Paralympischen Spiele.

### 7.1. Fußball 1. Bundesliga

Die Spiele der 1. Fußball Bundesliga zogen nach offiziellen Angaben in der Saison 2018/2019 rund 13,3 Mio. Zuschauer und Zuschauerinnen an. Vergleicht man dies mit den Besucherzahlen des maximalen Szenarios der in dieser Studie angestellten Berechnungen von insgesamt 1,8 Mio. Zuschauern und Zuschauerinnen im Jahr 2019, zeigt sich, dass allein zur 1. Fußball Bundesliga mindestens siebenmal so viele Menschen anreisen wie zu allen DMSB-Motorsportveranstaltungen im Jahr zusammen. Vor dem Hintergrund, dass der Zuschauer-Reiseverkehr den größten Teil der THG-Emissionen ausmacht, korreliert dieser Vergleich in hohem Maß auch mit der entsprechenden THG-Bilanz der Veranstaltungen. Obwohl der Modal Split des Besucherverkehrs bei Spielen der 1. Bundesliga mit 0,3 höher ist als für Motorsportveranstaltungen, spricht eine Kurzstudie von ca. 7.500 t CO<sub>2</sub> pro Bundesliga-Wochenende allein durch die Fans [6]. Zweidrittel dieser Emissionen, d. h. 5.000 t, werden nach Aussage dieser Studie durch die Mobilität der Zuschauer und Zuschauerinnen verursacht. Der Vergleich mit der zuschauerstärksten Veranstaltung des DMSB im Jahr 2019, dem 24h-Rennen, zeigt, dass hier deutlich weniger Emissionen entstehen: Die An- und Abreise der Fans wurde hier auf 3.551,6 t CO<sub>2</sub> berechnet. Für alle zehn im Rahmen dieser Studie berechneten Großveranstaltungen ergeben sich im Durchschnitt 1.813 t CO<sub>2</sub> pro Großveranstaltung durch die Mobilität der Besucher und Besucherinnen.

Nach einer anderen Studie zum THG-Beitrag durch den Besucherverkehr der 1. Fußball Bundesliga beläuft sich der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck durch die Anreise eines durchschnittlichen Bundesliga-Fans auf 311,1 kg CO<sub>2</sub>e, wobei 70 % durch die Anreise mit dem Auto verursacht werden [9]. Hochgerechnet auf die gesamte Bundesliga Saison 2018/2019 entspricht dies einer Emission von 369.765,2 t CO<sub>2</sub>e. Im hier berechneten maximalen Szenario, verursacht der Besucherverkehr aller DMSB-Veranstaltungen im Jahr 2019 zusammen nur 159.985 t CO<sub>2</sub> (hier keine CO<sub>2</sub>-Äquivalente), das ist weniger als die Hälfte der entsprechenden Emissionen der Bundesliga Saison.

Der VfL Wolfsburg ist einer der wenigen Vereine, die in regelmäßigen Abständen eine Emissionsbilanzierung für ihren Verein durchführen. Betrachtet man die Anteile der einzelnen berechneten Einflussfaktoren dieser Bilanzierung ergibt sich für die Zuschauermobilität ein ähnliches Bild wie für den Motorsport: Der Zuschauerverkehr hat bei Spielen des VfL Wolfsburg einen Anteil von 85,4% an der gesamten betrachteten Mobilität [10]. In der hier durchgeführten Studie wurde der Anteil des Besucherverkehrs auf 78-80 % berechnet. Der Einfluss des Besucherverkehrs auf die Gesamtbilanz ist demnach vergleichbar.

## 7.2. FIFA World Championship und Olympische und Paralympische Spiele

Das größte Fußball-„Einzelereignis“ ist die Fußball Weltmeisterschaft. Im Jahr 2014 fand diese in Brasilien statt. Im Voraus an dieses Ereignis wurde der zugehörige CO<sub>2</sub>-Fußabdruck ermittelt, welcher sich auf ca. 2,72 Mio. t CO<sub>2</sub>e belief [11]. Ganze 83,7 % davon, das entspricht ca. 2,28 Mio. t CO<sub>2</sub>e, wurden durch Reisen in Zusammenhang mit dem Event verursacht. Die Zahlen für die Fußballweltmeisterschaft im Jahr 2018 verhalten sich ähnlich. Hier wurde eine Gesamtbilanz von ca. 2,17 Mio. t CO<sub>2</sub>e ermittelt [12]. Auch hier wurde der Großteil (73,8 %) durch Reisen verursacht. Bei beiden Bilanzen wurde der Bau des Stadions bzw. der Stadien nicht in die Berechnung einbezogen. Auch die Olympischen und Paralympischen Spiele sind Großveranstaltung mit ähnlicher Bedeutung wie die Fußballweltmeisterschaft. Auch hier gibt es Hochrechnungen bzgl. deren CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks. Für die Spiele in London im Jahr 2012 wurde eine Gesamtbilanz von 3,3 Mio. t CO<sub>2</sub>e ermittelt [13]. Dabei wurden von den mehr als 11 Mio. Zuschauern und Zuschauerinnen 0,913 Mio. t CO<sub>2</sub>e verursacht. Insgesamt waren 200.000 Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen und mehrere Zehntausend Athleten und Athletinnen, Funktionäre und Würdenträger bzw. Würdenträgerinnen vor Ort. Auch im Jahr 2016 in Rio de Janeiro entstanden 3,6 Mio. t CO<sub>2</sub>e bei der Durchführung der Olympischen und Paralympischen Spiele [14]. Auf den Transport und die Unterbringung der Besucher und Besucherinnen sowie auf Merchandise und Catering entfielen davon rund 1,38 Mio. t CO<sub>2</sub>e.

Diese Zahlen verdeutlichen, dass einzelne international bedeutende Großveranstaltungen eine um ein Vielfaches höhere THG-Bilanz haben können als die Veranstaltungen des DSMB innerhalb eines ganzen Jahres. Selbst unter Berücksichtigung, dass die Fußballweltmeisterschaft ebenso wie die Olympischen und Paralympischen Spiele nur alle vier Jahre stattfindet, übersteigen diese Emissionen die des hier berechneten maximalen Szenarios für DSMB-Veranstaltungen deutlich.

## 7.3. Laufveranstaltungen

Das Thema Laufen bringen wahrscheinlich die wenigsten Menschen mit Klima- und Umweltschädlichkeit in Verbindung. Aber auch Laufveranstaltungen können erhebliche Umweltbelastungen mit sich bringen. Der Breitensport erfreut sich hoher Beliebtheit, sodass im Jahr 2015 ca. 3.500 Volksläufe mit insgesamt mehr als zwei Mio. Teilnehmern und Teilnehmerinnen und mehreren hunderttausend Zuschauern und Zuschauerinnen stattfanden [15]. Im Vergleich dazu bringen es alle DSMB-Motorsportveranstaltungen im Jahr 2019 im hier maximal berechneten Szenario auf 1,8 Mio. Zuschauer und Zuschauerinnen und ca. 61.800 teilnehmende Teams. Insgesamt kann die Zahl der anreisenden Personen bei den Laufveranstaltungen somit die der Motorsportveranstaltungen übersteigen. Berücksichtigt man den hohen Anteil des An- und Abreiseverkehrs an der Gesamt-CO<sub>2</sub>-Bilanz, so liegen die dadurch verursachten Emissionen bei den beiden Sportarten vermutlich in einem ähnlichen Größenbereich. Zu beachten ist allerdings, dass Faktoren wie beispielsweise die durchschnittliche Anreiseentfernung, die Art der Anreise und der Modal Split, welche für die Laufveranstaltungen nicht bekannt sind, einen hohen Einfluss auf die Emissionsbilanz haben.

Interessant ist außerdem, dass neben der Mobilität (35 %) die verwendeten Finishershirts (28 %) bei den Laufveranstaltungen fast ein Drittel der CO<sub>2</sub>-Belastung ausmachen [15]. Je nach Sportart ist demnach im Detail zu prüfen, welche Einflussfaktoren maßgeblich zur Gesamtbilanz beitragen. Wie dieses Beispiel zeigt, kann die Relevanz unterschiedlicher Emissionsquellen je nach Sportart stark variieren. Die Mobilität der Fans bzw. Teilnehmer und Teilnehmerinnen oder auch der Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen ist allerdings in jedem Fall einer der Haupteinflussfaktoren auf die Klimabilanz.

## 8. Maßnahmenempfehlungen und Handlungsfelder

Ein Ziel dieser Studie ist es, Handlungsspielräume für eine Emissionsvermeidung bzw. -einsparung zu identifizieren und Maßnahmenempfehlungen auszuarbeiten. Auf Basis der hier durchgeführten Berechnungen kann der Einfluss des durch die Besucher und Besucherinnen verursachten An- und Abreiseverkehrs als hauptsächlicher Emissionsfaktor identifiziert werden. Den zweitgrößten Einfluss auf die Emissionsbilanz hat der Fuhrpark, weshalb sich auch hier ein Handlungsfeld ergibt. Im Folgenden werden neben diesen beiden Ansatzpunkten weiterführende grundlegende Empfehlungen und die Bedeutung der Informationsverbreitung erläutert.

### 8.1. Weiterführende Untersuchungen und Einführung eines Monitoringkonzeptes

Bevor im Folgenden auf die identifizierten Einflussfaktoren eingegangen wird, ist es wichtig grundlegende Aspekte für eine erfolgreiche Umsetzung von Vermeidungs- und Einsparmaßnahmen zu erläutern. Die Basis aller Bemühungen zur CO<sub>2</sub>- bzw. Schadstoffemissionsminderung bildet immer die Erfassung der aktuellen eigenen Emissionen und deren Quellen. Ein erster solcher Schritt wurde durch diese Studie bereits vollbracht. Allerdings können die hier gewonnenen Ergebnisse aufgrund der lückenhaften Datenausgangsbasis keine exakte Aussage über die tatsächlich verursachten Emissionen liefern. Für die Planung, Umsetzung und vor allem Überwachung von Reduktionsmaßnahmen ist die genaue Kenntnis der eigenen Emissionen und vor allem deren kontinuierliche und regelmäßige Erfassung unabdingbar. Nur so kann der Fortschritt und die Effektivität der getroffenen Maßnahme überprüft und Konzepte gegebenenfalls angepasst oder erneuert werden. Um eine solche Erfassung der eigenen Emissionen zu ermöglichen, müssen grundlegende belastbare Daten verfügbar sein, welche auf Messungen oder Zählungen beruhen und die Realität zum entsprechenden Zeitpunkt abbilden. Schätzwerte und Annahmen ohne belastbaren und reproduzierbaren Ursprung sind immer ein Unsicherheitsfaktor, den es zu vermeiden bzw. zu minimieren gilt.

Für zukünftige Untersuchungen und Maßnahmenkonzepte wird daher empfohlen, die fehlende Datengrundlage zu beheben sowie ein umfassendes Monitoringkonzept zu entwickeln und umzusetzen, mithilfe dessen eine kontinuierliche Datenerfassung gewährleistet werden kann. Wichtig ist die konsequente Umsetzung dieses Konzeptes und die zentrale Verfügbarkeit der erhaltenen Daten. Durch die Einführung von Umweltbeauftragten durch den DMSB im Jahre 2002 existiert hierfür bereits eine gute Grundlage. Daten können beispielsweise in Form verpflichtender Checklisten erfasst und anschließend digitalisiert werden, damit eine schnelle und einfache Weiterverarbeitung gewährleistet werden kann. Die DMSB-Umweltbeauftragten können die Überwachung dieser Prozesse übernehmen oder selbst daran beteiligt sein. Wichtig ist, dass alle Verantwortlichkeiten eindeutig geklärt sind und ernst genommen werden. Die Vollständigkeit der Checklisten bzw. Datenerfassung sollte für jede Veranstaltung geprüft werden (z. B. durch die Umweltbeauftragten). Insbesondere die größten Einflussfaktoren müssen durch das Monitoring abgedeckt werden. Im Rahmen dieser Studie wurden als solche der Zuschauer- und Fuhrparkverkehr identifiziert. Allerdings gibt es noch zahlreiche weitere Einflussfaktoren auf die Emissionsbilanz bei Motorsportveranstaltungen, die nicht Teil des Untersuchungsrahmens dieser Studie sind. Für zukünftige Untersuchungen und vor allem für die Ausarbeitung eines Monitoringkonzeptes wird empfohlen, alle weiteren potenziell wichtigen Einflussfaktoren miteinzuschließen. Beispiele für weitere Emissionsquellen sind der Verkehr durch Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen oder Offizielle, der Energie- und Ressourcenverbrauch der Veranstaltung, Abfallaufkommen, Catering oder die Abwasserentsorgung (vgl. Kapitel 9). In Abbildung 8-1 ist eine Übersicht über wichtige Parameter gegeben, die zur Emissionsberechnung erfasst werden sollten. Neben den in dieser Studie bereits im Untersuchungsrahmen enthaltenen Einflussfaktoren werden noch weitere potenziell wichtige Parameter aufgeführt. Die Liste enthält nicht alle möglichen Einflussparameter, jedoch sind die wichtigsten und gut erfassbaren Faktoren enthalten.

Handlungsfeld	Kategorie	Parameter	Einheit	Anmerkung	
Verkehr	Zuschauer	Zuschauerzahl	1/VA	Die Zuschauerzahl sollte pro Veranstaltung erfasst werden. Kooperation mit den Veranstaltern wichtig!	
		Anreiseentfernung	km	Die Herkunft der Zuschauer kann z.B. über Umfragen per App oder eine automatische Kennzeichenerfassung mittels LPR-Kamera erfolgen.	
		PKW-Besetzungsgrad	Pers./PKW	Kann über Umfragen per App oder bei Kenntnis der Zuschauerzahl und des Modal Split in Verbindung mit einer Kennzeichenerfassung bestimmt werden.	
		Modal Split	%	Erfassung kann z.B. über Umfragen per App erfolgen.	
		Anteil an Flug, Zug- und Autoreisen	%		
		Motorsportfahrzeuge	Gefahrene Strecke	km	Betrifft Trainings-, Qualifikations- und Renn- und sonstige Fahrten. Über Rennergebnisse gut zu ermitteln.
	Kraftstoffverbäuche		l/km	In Kooperation mit den Rennteams zu ermitteln.	
	Kraftstoffart			In Kooperation mit den Rennteams zu ermitteln.	
	Abgaswerte: CO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>x</sub> , HC (CH <sub>4</sub> ), PM		g/l	In Kooperation mit den Rennteams zu ermitteln.	
	Fuhrpark	Anzahl teilnehmender Teams		In Kooperation mit den Veranstaltern oder anhand der Nennlisten zu ermitteln.	
		Art und Umfang des Fuhrparks		Wie viele LKW, PKW oder Transporter pro Team werden benötigt? In Kooperation mit den Rennteams zu ermitteln oder über die Veranstalter zu erfragen.	
		Anreiseentfernung	km	Z.B. über automatische Kennzeichenerfassung oder bei den Teams zu erfragen.	
		Anteil an Flug, Zug- und Autoreisen	%		
	Offizielle und Mitarbeiter	Anzahl		In Kooperation mit den Veranstaltern zu ermitteln. Z.B. über automatische Kennzeichenerfassung oder über Dienstreise-Abrechnungen zu ermitteln.	
		Anreiseentfernung	km		
		PKW-Besetzungsgrad	Pers./PKW	Über Umfrage ermittelbar.	
		Anteil an Flug, Zug- und Autoreisen	%		
	Sportstätte	Energie	Stromverbrauch	kWh	In Kooperation mit dem Veranstalter zu ermitteln.
			davon: Anteil aus erneuerbaren Quellen	%	In Kooperation mit dem Veranstalter zu ermitteln.
			Wärmebedarf	kWh	In Kooperation mit dem Veranstalter zu ermitteln.
Gasverbrauch (nicht wärmebedingt, z.B. Kochen)			kWh, m <sup>3</sup>	In Kooperation mit dem Veranstalter zu ermitteln.	
Art der Energieträger				In Kooperation mit dem Veranstalter zu ermitteln.	
Verbrauch durch Dieselaggregate			l	In Kooperation mit dem Veranstalter zu ermitteln.	
Abfall			Restmüll	t	In Kooperation mit dem Veranstalter zu ermitteln.
		Kunststoffe & Verpackungen	t	In Kooperation mit dem Veranstalter zu ermitteln.	
		Papier & Pappe	t	In Kooperation mit dem Veranstalter zu ermitteln.	
		Bioabfall	t	In Kooperation mit dem Veranstalter zu ermitteln.	
		Glasabfall	t	In Kooperation mit dem Veranstalter zu ermitteln.	
		Sondermüll	t	In Kooperation mit dem Veranstalter zu ermitteln.	
		Altöl	t	In Kooperation mit dem Veranstalter zu ermitteln.	
Wasser Sonstiges		Altreifen	Stück	In Kooperation mit den Teams zu ermitteln. Oft sind die zu verwendenden Reifensätze festgelegt. Bei bekannter Anzahl an Rennfahrzeugen kann die Anzahl an Reifen bestimmt werden.	
		Wasserverbrauch	m <sup>3</sup>	In Kooperation mit dem Veranstalter zu ermitteln.	
		Bedarf an Betriebsmitteln	kg, l, m <sup>3</sup>	In Kooperation mit dem Veranstalter zu ermitteln.	

Abbildung 8-1: Checkliste der zu erfassenden Umweltfaktoren für eine belastbare Datengrundlage. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird in dieser Abbildung das generische Maskulinum verwendet. Es schließt alle Geschlechter ein.

Handlungsfeld	Kategorie	Parameter	Einheit	Anmerkung
Catering		Art der Speisen		Fleischerzeugnisse haben im Schnitt eine schlechtere THG-Bilanz als vegetarische Produkte. In Kooperation mit dem Caterer zu bestimmen.
		gelieferte Menge	kg	In Kooperation mit dem Caterer zu bestimmen.
		Herkunft der Produkte		Regionale und Bio-Produkte haben im Schnitt eine bessere THG-Bilanz. In Kooperation mit dem Caterer zu bestimmen.
Organisation	Dienstreisen	Zahl der Dienstreisen		Interne Ermittlung möglich.
		Anteil an Flug, Zug- und Autoreisen	%	Interne Ermittlung möglich.
		Jeweils die Reiseentfernung	km	Interne Ermittlung möglich.
		Art der Unterkunft		Interne Ermittlung möglich.
Sonstiges	Emissionen	Lärmemissionen	dB	Durch entsprechende Messvorrichtungen zu ermitteln.
		Feinstaubmessungen	µg/m <sup>3</sup>	Durch entsprechende Messvorrichtungen zu ermitteln.
		Reifenabrieb	g, kg	Durch Hochrechnungen bestimmbar. Dazu ist die Kenntnis der verbrauchten Anzahl an Reifen nötig sowie der durchschnittliche Abnutzungsgrad.
		6PPD, 6PPD-Chinon	%, µg/l	Anteile von 6PPD in den genutzten Reifen beim Hersteller erfragen. Die Konzentration an 6PPD-Chinon in Umliegenden Gewässern oder Abwässern regelmäßig messen. Vor allem nach (Stark-)Regenereignissen.

Fortsetzung Abbildung 8-1: Checkliste der zu erfassenden Umweltfaktoren für eine belastbare Datengrundlage.

Der Prozess der Datenerfassung, Erarbeitung von Emissionsminderungsmaßnahmen und deren Umsetzung darf nicht als linearer Prozess verstanden werden. Vielmehr bilden diese Arbeitsschritte einen Kreislauf, durch den eine kontinuierliche Optimierung und Anpassung möglich ist. Wurden die geplanten Maßnahmen umgesetzt, sollte bereits mit der erneuten Datensammlung durch das Monitoring begonnen werden, um die Effizienz und Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen genau überprüfen und verfolgen zu können. Nachdem die Daten ausgewertet wurden, kann auf dieser Basis der Maßnahmenplan angepasst oder optimiert werden. Der schematische Ablauf dieses Prozesses ist in Abbildung 8-2 dargestellt.

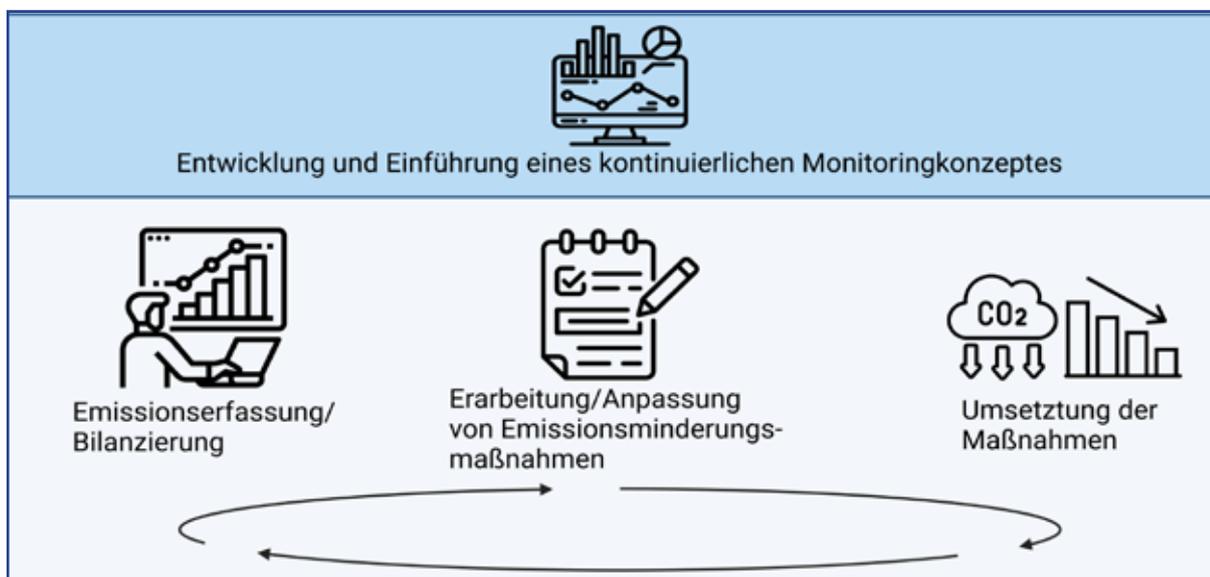


Abbildung 8-2: Entwicklungsprozess für die Umsetzung von Emissionseinsparmaßnahmen.  
Erstellt mit BioRender.com

## 8.2. Besucherverkehr

Unzweifelhaft hat der Motorsport eine Vorreiter- und Vorbildfunktion für technologischen Fortschritt, weshalb auch die Forschung an technischen Verbesserungen und Einsparungen bezogen auf die eingesetzten Motorsportfahrzeuge weiterhin sinnvoll ist. Da das Gros aller Emissionen aber durch die Zuschauer und Zuschauerinnen verursacht wird, liegen auch hier die größten Einspar- und Vermeidungspotenziale. D. h. Maßnahmen zur Reduktion, Lenkung und Anpassung des Besucherverkehrs sollten hinsichtlich kurz- und mittelfristiger Bemühungen im Vordergrund stehen. Hierbei sollte das vorrangige Ziel sein, den motorisierten Individualverkehr im Zusammenhang mit Motorsportveranstaltungen zu reduzieren, z. B. durch die Ermöglichung und Förderung der Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel. Da die Anbindung an das öffentliche Verkehrsnetz bei den meisten motorsportlichen Veranstaltungsstätten nicht oder nur sehr eingeschränkt vorhanden ist, stellt die Einrichtung eines Pendelbus-Service eine mögliche Option dar. Die Busse transportieren die Besucher und Besucherinnen dann beispielsweise von der Innenstadt, dem nächstgrößeren Bahnhof oder Hotel direkt zur Veranstaltungsstätte. Eine solche Maßnahme ist vor allem in Bezug auf große Veranstaltungen mit vielen Zuschauern und Zuschauerinnen sinnvoll. Preislich attraktive Spezialtickets (wie z. B. Kombi-Tickets) stellen eine sinnvolle Ergänzung dar, um Anreize zu schaffen.

Grundlegend für die Umsetzung aller Minderungsmaßnahmen ist eine ausführliche Planung, welche im Rahmen dieser Studie nicht umgesetzt werden kann. Die genannten Aspekte dienen aber als Ideenimpulse für weiterführende Maßnahmen.

Wie zuvor erläutert, bildet eine gute Datengrundlage die Basis aller Bemühungen hinsichtlich Bilanzierung, Planung und Umsetzung von Emissionsminderungsmaßnahmen. Daher ist es im Hinblick auf den Besucherverkehr grundlegend die genaue Zuschauerzahl pro Veranstaltung zu kennen. Hierfür sollten offizielle Zahlen ermittelt und dokumentiert werden. Auch das Einzugsgebiet der Zuschauer und Zuschauerinnen spielt eine entscheidende Rolle und könnte beispielsweise über eine Umfrage per App bzgl. der Postleitzahlen oder den Ticketverkauf ermittelt werden. Eine Alternative stellt die automatische Kennzeichenerfassung beispielsweise mittels LPR-Kamera (License Plate Recognition) dar. Auf diese Weise könnten die Kennzeichen der PKW direkt bei der Einfahrt auf den Parkplatz oder das Parkhaus ausgelesen werden. Die Anreiseentfernung der Besucher und Besucherinnen kann dann direkt im System anhand des entsprechenden Verwaltungsbezirks auf dem Kennzeichen bestimmt werden. Die Daten bzgl. des ausgelesenen Kennzeichens können anschließend direkt wieder gelöscht werden. Hierbei sind allerdings datenschutzrechtliche Hintergründe zu beachten und im Detail zu prüfen. Die Verwendung der Daten für ausschließlich interne Forschungszwecke muss gewährleistet werden.

Der Besucherverkehr kann durch Maßnahmen seitens des DSMB nur indirekt beeinflusst werden. Ausschlaggebend ist hier immer das Verhalten der Zuschauer und Zuschauerinnen selbst. Hierfür kann der DSMB allerdings Anreize und/oder Einschränkungen schaffen, die das Verhalten beeinflussen und in einem gewissen Rahmen lenken können.

### 8.3. Fuhrpark

Durch die An- und Abreise des Fuhrparks entstehen ebenfalls nicht zu vernachlässigende THG-Emissionen. Um diesen Beitrag zur THG-Bilanz zu verringern, können Bemühungen angestrengt werden, die Anzahl an mitgeführten Fahrzeugen pro Team zu verringern, z. B. durch platzsparende Ausrüstungen und/oder ein besseres Platz- und Transportmanagement. Eine Handlungsmöglichkeit diesbezüglich eröffnet sich vor allem bei Großveranstaltungen bzw. Veranstaltungen, bei denen die Teams mit mehreren Teilnehmern und Teilnehmerinnen starten. Rennen, an denen vor allem private Einzelpersonen teilnehmen, können in Bezug auf den mitgeführten Fuhrpark weniger stark gebündelt werden.

Der DMSB kann auch hier nur indirekt Einfluss auf die Teams und deren Art der Anreise nehmen. Dennoch gilt es auch hier, Anreize zu schaffen oder Unterstützung bei der Umsetzung anzubieten. Dies kann auch in Form eines Fahrertrainings zum kraftstoffsparenden Fahren erfolgen. Durch solche Schulungen sind Einsparungen zwischen 10 % und 25 % möglich [16], wodurch sich automatisch auch der THG-Ausstoß verringert.



FOTO: Franz Büchner

Abbildung 8-3: Zeltaufbau im Fahrerlager.

#### 8.4. Informieren und Sensibilisieren

Da die größten Emissionsquellen und damit auch die größten Einsparpotentiale nicht im unmittelbar kontrollierbaren Einflussbereich des DSMB liegen, muss eine effektive Möglichkeit gefunden werden, das Handeln dieser indirekten Verursacher positiv zu beeinflussen. Explizit betrifft dies hier die Zuschauer und Zuschauerinnen und die Teilnehmer und Teilnehmerinnen einer Motorsportveranstaltung. Um Einfluss auf das Handeln dieser Zielgruppen ausüben zu können, ist die Sensibilisierung der Menschen und die Informationsbereitstellung eine äußerst wichtige und effektive Maßnahme. Denn nur wer weiß, wie er beispielsweise mit Bus und Bahn an sein Ziel kommt bzw. dass es diese Möglichkeit überhaupt gibt, wird sie auch nutzen. Wenn zusätzlich vermittelt werden kann, welchen Beitrag jeder und jede einzelne mit seinem bzw. ihrem Verhalten leisten kann, welche Vorteile sich für diejenige Person ergeben und wieso ein solches Handeln so wichtig ist, besteht eine gute Chance, das Verhalten der Person tatsächlich zu beeinflussen.

Zur Informationsbereitstellung und Sensibilisierung für das Thema Klimaschutz stehen heutzutage eine Vielzahl an Möglichkeiten zur Verfügung. Diese reichen von den klassischen Broschüren und Plakaten oder Schildern, über QR-Codes, Medienarbeit oder Apps bis hin zu vielfältigen Möglichkeiten durch die Nutzung des Internets. So könnte z. B. eine App oder Internetplattform, die es Motorsportfans erleichtert, Fahrgemeinschaften zu bilden oder Mitfahrgelegenheiten zu finden, zu einer Reduzierung des PKW-Verkehrs führen. Auch eine CO<sub>2</sub>-Kompensation der eigenen Anreise zum Veranstaltungsort stellt eine Option dar, welche über eine solche Plattform angeboten werden kann. Wichtig hierbei ist, dass Kompensationsmaßnahmen immer eine geringere Priorität gegenüber Vermeidungsmaßnahmen haben. D. h. das primäre Ziel muss immer die Vermeidung von Emissionen, gefolgt von Emissionsreduktion sein. Die Kompensation ist nur für diejenigen THG-Emissionen sinnvoll, die nicht vermieden werden können.

Im internen Bereich können auch Schulungen und Sensibilisierung zu direkten Erfolgen führen und eröffnen zusätzliche Wege der Informationsverbreitung durch die geschulten Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen und/oder Teilnehmer und Teilnehmerinnen. Auch die Vernetzung von Vereinen, z. B. durch das Bereitstellen einer Austauschplattform fördert Ideen und Erfahrungen in Bezug auf Klimaschutzmaßnahmen.

Eine ansprechende und leicht verständliche Informationsbereitstellung ist in Bezug auf die meisten Umwelt-Einflussfaktoren essenziell für viele weitere mögliche Minderungsmaßnahmen. Sei es eine Umstellung auf ein vegetarisches Essensangebot, der sparsamere Umgang mit Energie und Ressourcen oder das Abfallmanagement, um nur einige Beispiele zu nennen. In fast jedem Bereich spielt das menschliche Handeln und Verhalten eine grundlegende Bedeutung, welche nur mithilfe richtiger Information und Sensibilisierung positiv beeinflusst werden kann.

## 9. Qualitative Erläuterungen zu weiteren Umweltfaktoren

Der Untersuchungsrahmen dieser Studie zur quantitativen Analyse von THG- und Luftschadstoffemissionen ist auf wenige ausgewählte Einflussfaktoren beschränkt. Neben diesen gibt es allerdings noch viele weitere Aspekte, die die Klima- und vor allem auch die Umweltbilanz im Motorsport bestimmen. Wichtig ist hierbei auch die Unterscheidung zwischen den Begriffen Umweltbilanz, Klimabilanz und Nachhaltigkeit. Häufig werden Begriffe wie Nachhaltigkeit und Umweltschutz synonym verwendet. Der Begriff Nachhaltigkeit schließt im Allgemeinen aber ökologische, ökonomische und soziale Ziele mit ein. Das Ziel eines nachhaltigen Handelns ist immer eine dauerhafte Bedürfnisbefriedigung. Die Betonung liegt hierbei auf der dauerhaften („nachhaltenden“) Komponente, d. h. die Bedürfnisbefriedigung zukünftiger Generationen muss durch nachhaltiges Handeln sichergestellt werden. Der Umweltschutz, d. h. alle Maßnahmen zum Erhalt einer gesunden und funktionsfähigen Umwelt, ist ein Teilbereich der Nachhaltigkeit und bezieht sich vor allem auf den ökologischen Aspekt. Der Klimaschutz ist wiederum ein Teilaspekt (wenn auch einer der wichtigsten) des Umweltschutzes. Die quantitative Ermittlung von THG-Emissionen, wie sie auch im Rahmen dieser Studie durchgeführt wurde, ist demnach ein wichtiges Instrument des Klimaschutzes. Dennoch gibt es zahlreiche weitere Einflussfaktoren auf die Umweltwirkung eines Motorsportevents.

Der Fokus dieser Studie liegt auf den ökologischen Aspekten der Nachhaltigkeit, d. h. primär auf dem Umweltschutz. Im Folgenden werden daher weitere Faktoren einer Motorsportveranstaltung mit potenzieller Umweltrelevanz qualitativ erläutert. Dabei werden einerseits auf weitere THG-Emissionsquellen eingegangen, als auch sonstige Umweltfaktoren angesprochen. Eine erste grafische Übersicht über die vielfältigen Umwelteinflüsse, die eine Motorsportveranstaltung verursachen kann, ist in Abbildung 9-1 dargestellt. In der Grafik wird dazu nach den Kategorien Rennen, Fuhrpark und Fahrerlager, Besucher und Besucherinnen und umgebende Infrastruktur getrennt und thematisch in Emissionsquellen und Ressourcen- und Energieeinsatz differenziert.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird in den Abbildungen dieses Kapitels teilweise das generische Maskulinum verwendet. Dies schließt alle Geschlechter mit ein.

### 9.1. Sonstige veranstaltungsbezogene THG- und Luftschadstoffemissionsquellen

Eine Motorsportveranstaltung besteht nicht nur aus dem Rennen und den Motorsportfahrzeugen selbst. Wie bereits zuvor in dieser Studie erläutert, gibt es viele weitere Akteure, Aktionen und sonstige Einflussfaktoren, welche zu einer Emission von THG führen. Viele davon stehen in direktem Zusammenhang mit der Veranstaltung und machen diese vor Ort überhaupt erst möglich, bspw. die Energieversorgung, der Aufbau und die Versorgung des Fahrerlagers sowie der Besucher und Besucherinnen, ärztliche und sicherheitstechnische Versorgungssicherheit oder die Kommunikations-, Überwachungs- und Medienarbeit. Es gibt aber auch einige Aspekte, welche sich außerhalb der Veranstaltungsstätte abspielen und dennoch der Durchführung einer Motorsportveranstaltung zugeordnet werden müssen. Beispiele hierfür sind die Unterbringung von Teilnehmern und Teilnehmerinnen, Offiziellen sowie Besuchern und Besucherinnen in Hotels, die Entsorgung und/oder Verwertung von Abfällen, Altreifen oder Sondermüll, die Abwasserentsorgung oder auch der Energie und Ressourceneinsatz für notwendige Dienstreisen und Organisationsarbeit im Zusammenhang mit der Veranstaltung. Eine zusammenfassende grafische Übersicht zu den wichtigsten weiteren THG-Emissionsquellen einer Motorsportveranstaltung sind in Abbildung 9-2 dargestellt.

In den folgenden Unterkapiteln wird auf diese detaillierter und thematisch nach den Einflussfaktoren Verkehr, Energie- und Ressourcenverbrauch, Abfall und Merchandise, Catering und Abwasser sortiert eingegangen.

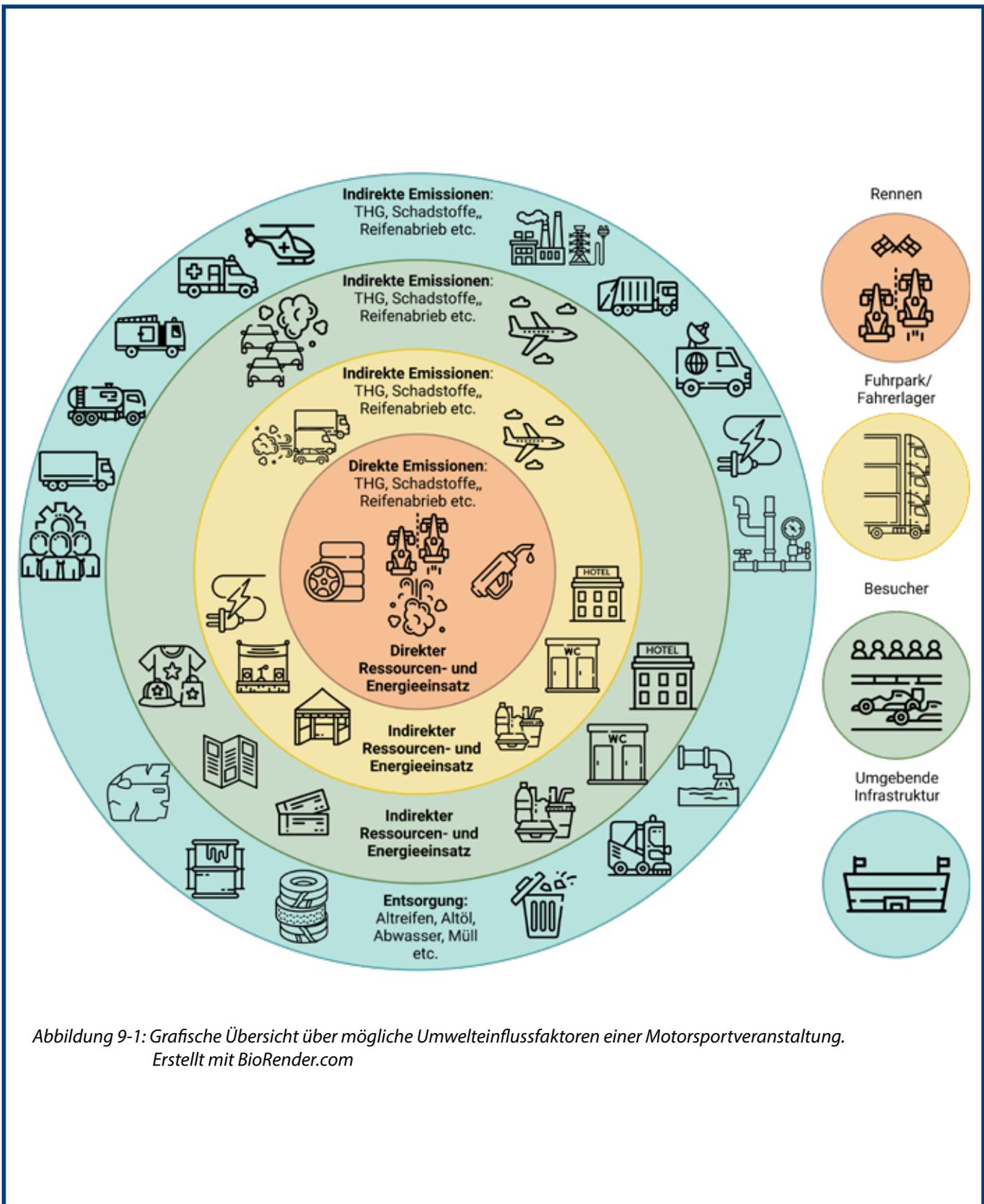


Abbildung 9-1: Grafische Übersicht über mögliche Umwelteinflussfaktoren einer Motorsportveranstaltung.  
Erstellt mit BioRender.com

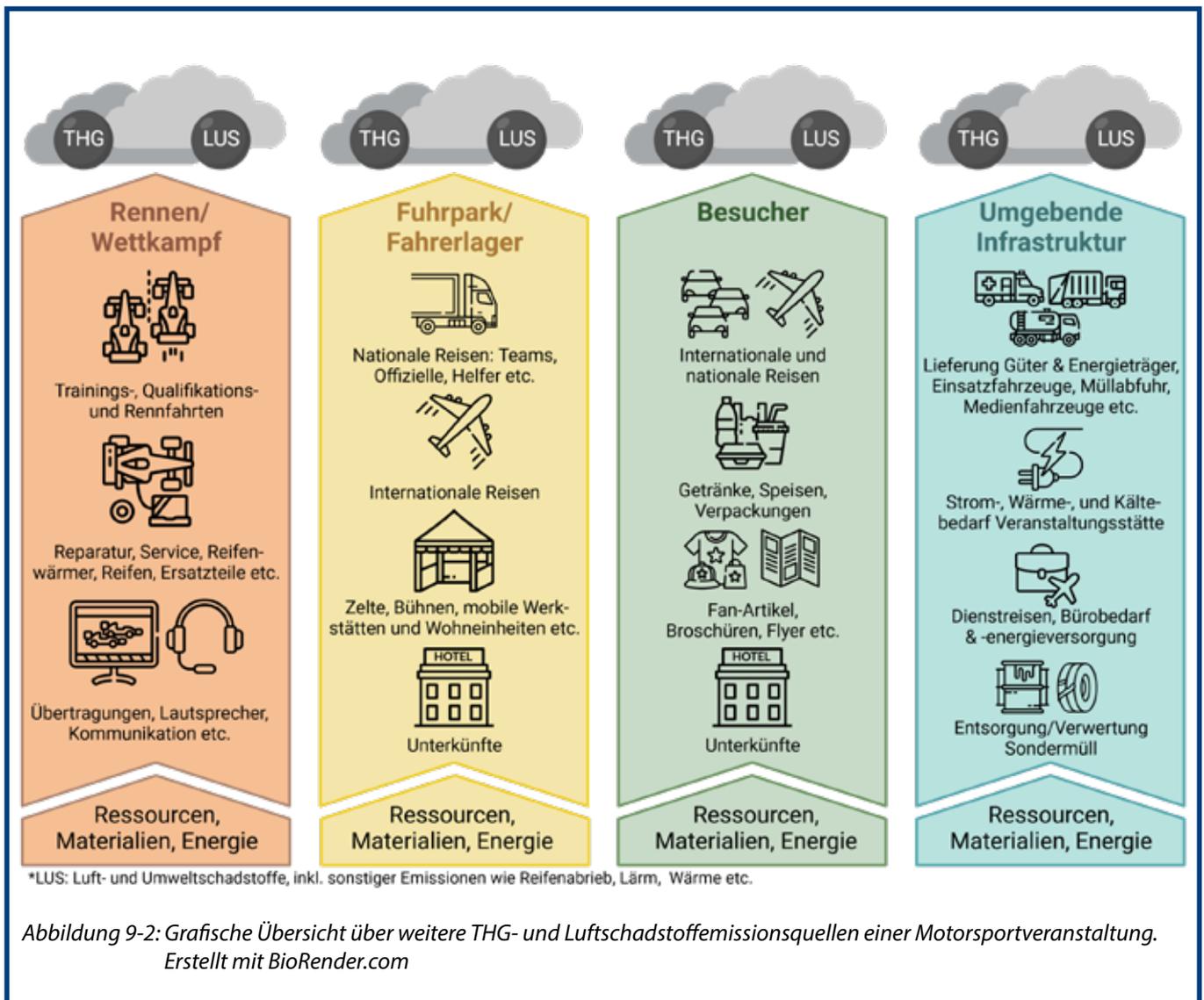


Abbildung 9-2: Grafische Übersicht über weitere THG- und Luftschadstoffemissionsquellen einer Motorsportveranstaltung. Erstellt mit BioRender.com

### 9.1.1. Verkehr

In Bezug auf den Fahrzeugverkehr wurde in dieser Studie bisher nur die An- und Abreise der Zuschauer und Zuschauerinnen und des Fuhrparks berücksichtigt. Während einer Motorsportveranstaltung sind allerdings noch weitere Akteure am Verkehrsaufkommen beteiligt. Auch Offizielle und Helfer bzw. Helferinnen, Einsatzkräfte oder Presse- und Fernsightings müssen zur Veranstaltungsstätte an- und von ihr wieder abreisen. Hinzu kommen Transport- bzw. Lieferfahrten von Abfall, Gütern, Ausrüstung, Veranstaltungstechnik und Energieträgern. Vor- und evtl. auch nachgelagert an ein Event sind zudem Dienstreisen im Inland und ins Ausland zu berücksichtigen.

An der Logistik sind bei einer GT-Masters Veranstaltung beispielsweise ca. 2.500 Personen beteiligt, beim 24h-Rennen sind es sogar geschätzte 8.000 Personen. Das macht ca. 10 % der Besucherzahlen einer GT-Masters Veranstaltung bzw. ca. 3,5 % des 24h-Rennens aus. Überträgt man dies auf alle weiteren ähnlich großen Motorsportveranstaltungen im Jahr 2019 ergibt sich daraus ein nicht zu vernachlässigender Beitrag zur Klimabilanz, der in zukünftigen Bilanzierungen einbezogen werden sollte.



FOTO: Franz Brümmer

Abbildung 9-3: Einsatz- und Sicherheitsfahrzeuge bei einer Motorsportveranstaltung.

Zieht man die 2008 erstellte Studie zur Umweltbilanz des DSMB vom ifeu Heidelberg als Beispiel für das Verkehrsaufkommen durch die Abfallentsorgung heran und berechnet daraus ein vereinfachtes Szenario, scheint der Klimaeinfluss allein durch diesen Faktor klein. Der besagten Studie kann entnommen werden, dass im Bezugsjahr 2.798 t Abfall durch die Motorsportevents produziert wurde. Bei einer angenommenen Nutzlast von 10 t pro Müllwagen, wären demnach ca. 280 Lastwagen nötig, um diesen Abfall abzutransportieren. Nimmt man weiterhin für die Strecke zwischen den meist ländlich gelegenen Veranstaltungsstätten zur Abfallverarbeitungsstätte eine Distanz von durchschnittlich 70 km an, ergibt sich bei einem geschätzten Dieserverbrauch der Müllwagen von 75 l/100 km und einem Emissionsfaktor von ca. 2,65 kg CO<sub>2</sub>/l ein CO<sub>2</sub>-Ausstoß von ca. 78 t. Hinzu kommt noch die separate Entsorgung von Sondermüll wie Altölen oder -reifen oder potenzielle weitere Transportwege für bspw. die Umverteilung auf andere Verwertungsanlagen. Im Vergleich zu den mindestens 45.161 t CO<sub>2</sub> aus Basis-szenario 1 der hier vorliegenden Studie ist dies dennoch ein sehr kleiner Betrag, selbst wenn das tatsächliche Abfallaufkommen gestiegen, oder die Transportwege weiter sein sollte.

Nimmt man das gesamte Verkehrsaufkommen für Lieferungen, vor allem Catering, Veranstaltungstechnik, Ausrüstung, und die benötigten Energieträger (Kraftstoffe etc.) sowie die An- und Abreisen der an der Veranstaltungslogistik beteiligten Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen zusammen, ergibt sich ein dennoch potenziell umweltrelevanter THG-Beitrag, der in zukünftigen Betrachtungen einbezogen werden sollte. Ausschlaggebend für die letztendliche Klimabilanz ist die Systemgrenze, die man für eine solche Betrachtung zieht. Ist es das Ziel, wirklich alle Einflussfaktoren des gesamten DSMB und seiner Aktivitäten zu erfassen, muss man den Rahmen noch weiter abstecken und das Verkehrsaufkommen, welches im Zusammenhang mit jeglichen Aktivitäten steht, einbeziehen. Dies kann z.B. die alltägliche Verbandsarbeit betreffen oder auch anderweitige Veranstaltungen, wie Tagungen, Weiterbildungen oder Feierlichkeiten. Dieses Verkehrsaufkommen kann hauptsächlich Scope 1 nach GHG zugeordnet werden und ggf. separat ermittelt und berechnet werden.



FOTO: Franz Büchner

Abbildung 9-4: Safety Car bei einer Motorsportveranstaltung.

Dass die Motorsportfahrzeuge selbst nur einen kleinen Anteil am gesamten durch den Fahrzeugverkehr verursachten THG-Ausstoß haben, wurde durch diese Studie sowie die vorangegangene Studie des DMSB von 2008 (ifeu Heidelberg) deutlich. In einer Veröffentlichung über die Formel 1 (F1) wurden die gleichen Schlussfolgerungen gezogen [17]. Dort machten nach eigenen Angaben die F1-Antriebe gerade einmal 0,7 % der Gesamtemissionen aus. Der größte Teil lag bei der Logistik mit 45 %. Dies könnte allerdings auch darauf zurückzuführen sein, dass die Veranstaltungen der Formel 1 international in unterschiedlichen Ländern stattfinden und Flugreisen damit oftmals die bevorzugte Transport- und Reisemöglichkeit darstellen. In dieser Studie wurden Reisen von Fans, Teams und Offiziellen mit dem Flugzeug allerdings nicht betrachtet. Außer bei internationalen Veranstaltungen, zu denen Teilnehmer und Teilnehmerinnen und deren Teams aus anderen Ländern anreisen müssen, sind Flugreisen im Zusammenhang mit Motorsportveranstaltungen des DMSB selten. Dennoch könnten diese aufgrund ihrer hohen CO<sub>2</sub>-Intensität einen nicht zu vernachlässigenden Beitrag zur Klimabilanz leisten. Eine Flugreise verursacht pro Personen-Kilometer etwa 1,7-mal so viel CO<sub>2</sub>-Äquivalente wie eine Autoreise mit einem PKW-Besetzungsgrad von 1,4 [3]. Liegt der PKW-Besetzungsgrad höher, vergrößert sich dieses Verhältnis nochmals. Vor allem bei längeren Flugstrecken entstehen dadurch hohe Emissionen. Daher sollte der Einfluss und das Ausmaß von Flugreisen in Bezug auf große, internationale Motorsportveranstaltungen und auch bzgl. jeglicher Dienstreisen per Flugzeug als weiterer potenziell klimarelevanten Einflussfaktor überprüft werden.

### 9.1.2. Energie- und Ressourcenverbrauch

Die Anlagentechnik, Strom- und Wärmeversorgung sowie Kraftstoffe oder sonstige Energieträger verursachen nicht nur durch den Betrieb bzw. die Verbrennung Emissionen, sondern bereits bei deren Herstellung und Bereitstellung. Auch dies ist wieder eine Frage der Systemgrenzen, die bei einer solchen Betrachtung gezogen werden.

Deutlich wird dies beispielsweise bei den von den Motorsportfahrzeugen benötigten Kraftstoffen. In der Regel werden hier nur die direkt bei der Verbrennung des Kraftstoffes im Motor freigesetzten Emissionen berücksichtigt. Schließt man aber die THG-Emissionen, welche bei der Herstellung und dem Transport des Kraftstoffs bis hin zur eigentlichen Verbrennung in den Fahrzeugen entstehen („Well-to-Wheel“), ein, so liegen die tatsächlich pro Liter verursachten Emissionen deutlich höher. Nach einer Studie von 2018 liegt der Anteil für Produktion, Transport und Raffinerie von Rohöl in Kraftstoffe bei 15-40 % an den „Well-to-Wheel“-Gesamtemissionen [18]. Je nach Systemgrenzen fällt die THG-Bilanz somit sehr unterschiedlich aus. Gleiches gilt auch für alle sonstigen eingesetzten Energieträger bei einer Motorsportveranstaltung wie z. B. für die Wärmeerzeugung.

Betrachtet man den Stromverbrauch im Zusammenhang mit einem motorsportlichen Event, wird deutlich, dass auch dadurch nicht zu vernachlässigende THG-Emissionen verursacht werden. Nimmt man als beispielhaften Bezugswert für den Stromverbrauch der DMSB-Motorsportveranstaltungen innerhalb eines Jahres wieder die Studie zur Umweltbilanz des DMSB von 2008 des ifeu Heidelberg zur Hand, lässt sich dort ein Verbrauch von insgesamt 7.650 MWh im Bezugsjahr entnehmen. Nach einer vereinfachten Überschlagsrechnung mit einem CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor von 411 g/kWh [19] für die Stromerzeugung in Deutschland im Jahr 2019 ergeben sich demnach CO<sub>2</sub>-Emissionen in Höhe von 3.144 t im Jahr allein durch den Bezug von Strom. Eine genaue Ermittlung des Stromverbrauchs im Zuge von Motorsportveranstaltungen ist demnach für zukünftige Studien angebracht. Zudem spielt auch die Art der Erzeugung des bezogenen Stroms eine entscheidende Rolle. Wird der Strombedarf z. B. mit Strom aus erneuerbaren Energien gedeckt, verringern sich die verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen stark. Je nach Anbieter setzt sich der Ökostrom zu verschiedenen Anteilen aus unterschiedlichen erneuerbaren Energiequellen zusammen. In Deutschland überwiegt jedoch bei den meisten Anbietern das Angebot von Strom aus Wasserkraft, teilweise auch mit einem kleineren Anteil von Windkraft [20]. Nimmt man für eine theoretische Beispielrechnung einen Strombezug aus 100 % Ökostrom an, der aus 90 % Wasserkraft und je 5 % Windenergie an Land und auf See produziert wurde, so ergeben sich für den oben genannten Stromverbrauch CO<sub>2</sub>-Emissionen von nur ca. 24 t. Die CO<sub>2</sub>-Emissionswerte für Wasserkraft betragen bei dieser Rechnung 2,7 g/kWh, für Windkraft an Land 8,8 g/kWh und für Windkraft auf See 4,4 g/kWh (nach Umweltbundesamt) [21]. Das Potenzial zur THG-Einsparung durch den Bezug von Strom aus erneuerbaren Energiequellen, entweder von separaten Stromanbietern oder auch durch den Bau und Betrieb eigener Photovoltaikanlagen (CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor 55,71 g/kWh [21]), ist demnach groß.



FOTO: Franz Brümmer

Abbildung 9-5: Reparatur und Prüfung eines Motorsportfahrzeuges.

Ein weiterer Einflussfaktor, der in die Systemgrenzen einbezogen werden kann, ist der Ressourcen- und Energieverbrauch bei der Herstellung und Reparatur der Motorsportfahrzeuge sowie aller weiterer benötigter Ausrüstung. Veröffentlichungen über die Öko- bzw. Klimabilanz dieser Aspekte sind allerdings bisher nicht verfügbar. Die bereits erwähnte Veröffentlichung über den CO<sub>2</sub>-Ausstoß der Formel 1 nennt allerdings einen Anteil von 19,3 % der Gesamtemissionen durch die Büros und Werke der Formel-1-Teams [17].

### 9.1.3. Abfall und Merchandise

Abfall wird vor allem von den Besuchern und Besucherinnen und hauptsächlich durch deren Verköstigung erzeugt. Allerdings entsteht auch im Fahrerlager oder durch die Versorgung der Teilnehmer und Teilnehmerinnen Abfall. Dazu kommen Flyer und Broschüren oder Fanartikel. Auch in den Küchen und Kiosken, den Medieneinrichtungen oder sanitären Anlagen wird Abfall erzeugt. Die Entsorgung, Verbrennung oder sonstige Verarbeitung der Abfälle erzeugt Treibhausgasemissionen. Speziell für Motorsportveranstaltungen kommt die Entsorgung der Altreifen und des Altöls hinzu. Obwohl argumentiert werden kann, dass die Verbrennung von Abfällen und die daraus gewonnene Energie zur Entlastung der konventionellen Energieversorgung beiträgt und damit positiv für die Klimabilanz ist, besteht der verbrannte Restmüllabfall in Deutschland nur zu ca. 50 % aus biogenen Rohstoffen (Wert bezogen auf Siedlungsabfälle) [22], [23]. Setzt man den Emissionsfaktor für den biogenen Anteil auf Null, so bleibt dennoch 50 % fossiler und damit klimarelevanter Abfall übrig. Daher ist es sinnvoll wo es geht Abfall einzusparen. Wo Abfall nicht vermieden werden kann, sollte eine funktionierende Mülltrennung etabliert werden. So werden Materialien, welche beispielsweise recycelt werden können, nicht verschwendet und tragen durch ihre Wiederverwertbarkeit zu einer positiveren Klimabilanz bei. Durch mehr Recycling kann zudem der Bedarf an endlichen Ressourcen gesenkt werden. Die Bilanzierung der Klimawirkung von Abfällen in Deutschland ist aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzung und verschiedener Bilanzierungsmodelle sowie der allgemeinen Komplexität der Datenerfassung nicht einfach und soll an dieser Stelle nicht weiter ausgeführt werden. Fakt ist allerdings, dass die Reduktion, Trennung und das Recycling sich positiv auf die Klimabilanz auswirken.



FOTO: Franz Brümmer

Abbildung 9-6: Depot für Altöl auf dem Nürburgring.

Auch die Herstellung von Merchandise-Artikeln verbraucht Ressourcen und erzeugt THG-Emissionen. Eine Veröffentlichung aus dem Jahr 2019 zum Thema Laufveranstaltungen in Deutschland schreibt beispielsweise der Herstellung der Finischershirts einen Anteil von 28 % an der Gesamt-CO<sub>2</sub>-Bilanz einer Laufveranstaltung zu [15]. Dieses Beispiel zeigt, dass Merchandise-Artikel durchaus einen relevanten Einflussfaktor darstellen können. Daher ist es wichtig, auf die Langlebigkeit und Sinnhaftigkeit von Merchandise-Artikeln zu achten, um deren Menge reduzieren zu können. Eine gute Recyclingfähigkeit trägt wiederum zur Schonung von Ressourcen bei und verbessert dadurch ebenfalls die THG-Bilanz. Auch die Produktionsweise der Artikel spielt eine Rolle. Hersteller, die bei ihren Produktionsprozessen Umweltaspekte berücksichtigen, sollten bevorzugt beauftragt werden.

#### 9.1.4. Catering

Der Konsum von Speisen und Getränken während einer Motorsportveranstaltung hat schätzungsweise nur einen kleinen Anteil an der Gesamtbilanz der THG-Emissionen. Laut einer Kurzstudie zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen eines Bundesliga-Spieltags verursacht der Bratwurst-, Bier- und Limonade-Konsum aller rund 400.000 Besucher einen CO<sub>2</sub>-Ausstoß von 120 t [6]. Überträgt man dies auf ein Rennwochenende im Motorsport dürfte die Bilanz in einer ähnlichen Größenordnung liegen.

Dennoch bietet gerade der Cateringbereich gute Möglichkeiten, die CO<sub>2</sub>-Intensität zu senken. Fleischprodukte haben beispielsweise einen deutlich höheren CO<sub>2</sub>-Fußabdruck als vegetarische oder vegane Lebensmittel. Kurze Transportwege, d. h. überwiegend lokale und regionale Produkte, tragen zusätzlich zu einer Reduzierung der THG-Menge bei. Saisonale Lebensmittel können in der Regel ohne Gewächshäuser angebaut werden, wodurch Energie und THG-Emissionen eingespart werden.

Neben typischen Fleischgerichten, wie Bratwurst, Currywurst oder Schnitzel sollte der Anteil an angebotenen vegetarischen oder veganen Speisen daher erhöht werden. Saisonale und regionale Produkte sollten zu möglichst hohen Anteilen verwendet werden. Zusätzlich kann die Verwendung von Bio-Lebensmitteln eine sinnvolle Ergänzung des Angebotes sein, da durch sie (neben der geringeren Schadstoff- und Düngerbelastung) zwischen 15-20 % THG-Emissionen bei der Herstellung eingespart werden können [24].

#### 9.1.5. Abwasser

Auch die Behandlung von Abwasser verursacht THG-Emissionen. Allerdings sind diese für eine Motorsportveranstaltung als vernachlässigbar klein einzuschätzen. Der durchschnittliche Wasserverbrauch bei einer Großveranstaltung kann pro Tag auf ca. 190 m<sup>3</sup> [16] geschätzt werden. Bei einem durchschnittlichen Stromverbrauch von ca. 656 Wh/m<sup>3</sup> [25] für die Abwasserbehandlung entspricht diese Menge einem Energieverbrauch von ca. 374 kWh, wodurch ca. 154 kg CO<sub>2</sub> verursacht werden (bei einem CO<sub>2</sub>-Faktor von 411 g/kWh [19]). Bei 450 Motorsportveranstaltungen im Jahr würde der Gesamtausstoß damit bei ca. 69 t liegen. Diese Beispielrechnung verdeutlicht die Größenordnung der durch das Abwasser verursachten THG-Emissionen. Da die verwendeten Beispieldaten sich vor allem auf Großveranstaltungen beziehen, die meisten der Motorsportveranstaltungen des DSMB im Jahr 2019 aber mittlere oder kleine Veranstaltungen waren, könnte der tatsächliche Einfluss noch geringer sein.

Obwohl die durch das Abwasser entstehenden THG-Emissionen gering sind, sollte im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung kein Trinkwasser verschwendet werden. Einfache Möglichkeiten den Wasserverbrauch zu senken sind beispielsweise wassersparende (Sanitär-)Einrichtungen, wie Durchflussbegrenzer oder Trockenurinale, und Armaturen. Auch ein Wassermanagement, wie z. B. die Nutzung von Regenwasser, die Wiederverwendung von schwach verunreinigtem Brauchwasser für z. B. die Toilettenspülung oder die Entsiegelung von Flächen, tragen zur Schonung der Ressource Wasser bei.

## 9.2. Sonstige Emissionsarten und deren Quellen

Emissionen beschränken sich nicht immer nur auf den THG-Ausstoß, auch wenn dieser oft im Mittelpunkt von Umweltdiskussionen steht, sondern können von sehr unterschiedlicher Art sein. Im Folgenden wird daher qualitativ auf weitere Emissionen eingegangen, die gerade im Zusammenhang mit dem Motorsport von Umweltrelevanz sind.

### 9.2.1. Lärm

Laute Motorengeräusche gehören sowohl für die meisten Motorsportfans als auch die Fahrer und Fahrerinnen zu einem Automobil- oder Motorradrennen obligatorisch dazu. So ergab beispielsweise eine Umfrage unter aktiven Sportfahrern und -fahrerinnen, dass für 68,4% der Befragten Elektroautos als umweltverträglichere Alternative aufgrund des fehlenden Sounds nicht infrage kommen [26].

Die Motor- und Fahrgeräusche sind allerdings nicht nur innerhalb der Veranstaltungsstrecke zu hören, sondern oft über mehrere Kilometer im Umkreis zu vernehmen. Je nach Fahrzeugklasse erreichen die Sportfahrzeuge während des Rennens eine Lautstärke von bis zu 154 dB (A) (DTM-Fahrzeuge). Mehr ist nach den Geräuschbestimmungen des DMSB für Veranstaltungen mit DMSB-Prädikaten nicht zulässig. Diese Lautstärke ist lauter als ein Presslufthammer bzw. vergleichbar mit einem Düsenjet.

Welche Auswirkungen Lärm auf die Umwelt, insbesondere auf den Menschen und Tiere hat, ist noch nicht umfassend erforscht. Einige Folgen von hoher Lärmbelastung sind allerdings bereits nachgewiesen. So kann zu viel Schall, sei er besonders stark oder langanhaltend, dauerhafte gesundheitliche Beeinträchtigungen oder Schäden beim Menschen hervorrufen. Schon kurzzeitige hohe Schallbelastungen können das Hörvermögen beeinträchtigen, zu Schwerhörigkeit oder dauerhaften Ohrgeräuschen führen. Weiterhin sind Stressreaktionen des Körpers möglich ebenso wie Veränderungen im Herz-Kreislauf-System. Doch auch auf Tiere können Lärmemissionen relevante Auswirkungen haben. So sind beispielsweise Störungen oder Beeinträchtigungen bei der Kommunikation, der Ortung von Beutetieren, bei der Paarung oder auch der Aufzucht der Jungen möglich. Zur Wirkung von Schallemissionen auf Tiere herrscht allerdings noch Forschungsbedarf.



FOTO: Franz Brümmer

Abbildung 9-7: Boxengasse mit Motorsportfahrzeugen.

Für Veranstaltungen des DMSB existieren neben den gesetzlichen Bestimmungen auch verbindliche Richtlinien bzgl. der zugelassenen Schalleistungen von Sportfahrzeugen bei Motorsportveranstaltungen. Die Lärmemissionswerte werden bei jeder Veranstaltung von den technischen Kommissaren nach vorgegebenen Verfahren gemessen und überprüft. Eine übermäßige Geräuschentwicklung durch sonstige Schallemissionsquellen wie bspw. Lautsprecheranlagen, TV-Hubschrauber oder Zuschauer und Zuschauerinnen möglichst zu reduzieren, ist auch in den Umweltrichtlinien des DMSB festgeschrieben. Möglichkeiten zur Umsetzung sind dort ebenfalls aufgeführt.

### 9.2.2. Mikroplastik

Das Thema Mikroplastik in der Umwelt rückt aktuell immer mehr in den Vordergrund von Diskussionen und Forschung. Dennoch ist derzeit noch kein ausreichendes Wissen über die Umweltrisiken von Mikroplastik vorhanden. Einige Studien deuten allerdings darauf hin, dass Mikroplastik durchaus umweltrelevantes Gefährdungspotential besitzt [27]–[30].



FOTO: Franz Brümmer

Abbildung 9-8: Slicks nach dem Rennen mit anhaftendem Rollsplit und abgeriebenem Gummi-Material.

Eine der größten Quellen für Mikroplastik ist der Abrieb von Reifen. Auf deutschen Straßen entstehen nach einer Studie pro Jahr 75.200 - 98.400 t Reifenabriebpartikel [31]. Eine Veröffentlichung des ADAC spricht von durchschnittlich 120 g Reifenabrieb pro 1000 km gefahrener Strecke im normalen Straßenverkehr [32]. Bei Motorsportfahrzeugen ist dieser noch sehr viel höher. Durch die hohen Geschwindigkeiten, schnelle Beschleunigung und hohe Kurvengeschwindigkeiten entsteht eine starke Belastung und Reibung auf die Reifen. Dadurch wird besonders viel Material abgerieben. Die Reifen befinden sich die meiste Zeit über im Grenzbereich der Haftungseigenschaften. Dies führt dazu, dass pro Rennen und Fahrzeug oft mehrere Sätze Reifen verbraucht werden. Daher ist gerade im Motorsport das Thema Mikroplastik durch Reifenabrieb ein besonders wichtiger Umweltfaktor.



FOTO: Franz Brümmer

Abbildung 9-9: Reifenspuren auf der Fahrbahn bestehend aus abgeriebenem Reifenmaterial.

Aus der veröffentlichten Saisonbilanz für das Jahr 2011 des offiziellen Reifenherstellers der Formel 1 Pirelli [33] geht hervor, dass in besagter Saison insgesamt 24.000 Reifen verwendet wurden. Die Lebensdauer eines Slick-Reifens betrug im Schnitt 120 km. Auch wenn die Reste der benutzten Reifen laut Angaben von Pirelli zum größtmöglichen Teil recycelt wurden, blieben ca. 10.200 kg Gummiabrieb auf den 19 Formel-1-Rennstrecken zurück. Eine weitere Studie aus dem Jahr 2022 untersuchte die Mikroplastikkonzentrationen im Boden direkt neben einer Rennstrecke in Norwegen [34]. Bei dieser Untersuchung wurden an verschiedenen Stellen Proben aus dem Oberboden (0-5 cm) entnommen und auf ihren Gehalt an Mikroplastik aus Reifenabrieb untersucht. Partikel größer als 5 mm (was der üblichen Grenze für die Definition Mikroplastik entspricht) wurden vorher aus den Proben herausgefiltert. Je nach Entnahmestelle und untersuchter Größenfraktion ergaben sich unterschiedliche Konzentrationen. Über alle diese Fraktionen hinweg

wurde Gummimaterial in Konzentrationen zwischen 29,9 und 202,4 mg/g trockenem Boden gefunden. Rechnet man diese Werte auf den Gesamtgehalt an Reifenverschleißpartikel, welche neben dem reinen Gummi noch weitere Bestandteile enthalten, hoch, ergibt sich laut besagter Studie eine Partikelkonzentration von 50-500 mg/g trockenem Boden.

Die Gefahr für die Umwelt, welche von Mikroplastik auf und neben den Rennstrecken ausgeht, ist noch nicht ausreichend untersucht worden. Klar ist allerdings, dass diese durch unterschiedliche Einflüsse in die Umwelt transportiert und dort verbreitet werden können. So gelangen feinere Partikel oft direkt in die Luft, während größere Partikel zunächst auf der Rennstrecke verbleiben, wo sie aber durch Regenwasser in die Kanalisation, den Boden oder direkt in Oberflächengewässer gespült werden können [28]. Durch den Klärschlamm aus den Kläranlagen, welcher als Düngemittel auf Felder ausgetragen wird, gelangen die Partikel zusätzlich in Böden und werden in der Umwelt verbreitet.



FOTO: Franz Brümmer

Abbildung 9-10: Verstreutes Kunststoffgranulat einer Reifenwaschanlage.

Ein weiterer Eintragspfad für Mikroplastik in die Kanalisation sind bei Motorsportveranstaltungen die Reifenwaschanlagen. Die Reifen werden nach dem Fahren mit Wasser, welchem kleine Plastikkugeln beigefügt sind bestrahlt, um anhaftendes Straßen- und Gummimaterial abzulösen. Das Abwasser aus diesen Waschanlagen wird zwar grob gefiltert, dann aber über die normalen Abwasserleitungen entsorgt. Es ist demnach sehr wahrscheinlich, dass dieses einen hohen Gehalt an Mikroplastik enthält. Bereits im Jahr 2009 konnten Reifenabriebpartikel in allen Umweltkompartimenten gefunden werden, d. h. in der Luft, im Wasser, im Boden und sogar in Tieren [29]. Eine potenzielle Gefahr für die Umwelt geht einerseits von den im Reifenmaterial enthaltenen und teils toxischen Additiven aus [28]. So enthalten Sportfahrzeug-Reifen neben Naturkautschuk noch Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR), Ruß oder Kieselsäure, Schwefel, Zinkoxid, Antioxidantien und Antiozonantien sowie Textilgewebe [35].



FOTO: Franz Brünner

Abbildung 9-11: Reifenbereitstellung in der Boxengasse.

Andererseits konnten auch für die Mikroplastikpartikel selbst negative Effekte auf bestimmte Organismen nachgewiesen werden [28]. Für aquatische Lebewesen konnte sogar die Aufnahme von Reifenpartikeln bestätigt werden [30].

Der Abrieb von Autoreifen stellt noch ein weiteres Problem dar, wie neueste Studien aufzeigen. So wird 6PPD (N-(1,3-Dimethylbutyl)-N'-phenyl-p-phenylendiamin) als Zusatzstoff in Autoreifen eingesetzt, um vor Versprödung durch Ozon zu schützen. Durch Oxidation mit Ozon wird 6PPD zu 6PPD-Chinon umgewandelt. Das Umwandlungsprodukt 6PPD-Chinon entsteht, wenn Reifen in Gebrauch sind. Dieses kann dann aus Reifenabrieb herausgelöst werden und gelangt so z. B. in Oberflächengewässer.

6PPD-Chinon ist nachweislich giftig und wurde etwa mit dem Massensterben von Lachsen in den USA in Verbindung gebracht [36]–[38]. In Böden geben Reifenpartikel ihre Schadstoffe frei. Deshalb beleuchtet eine aktuelle Studie, ob die Schadstoffe von dort in Nutzpflanzen wandern können, und kommt zu dem Schluss, dass in Laborversuchen (z. B. im Feldsalat) diese Verbindung über die Wurzeln aufgenommen wird, in die Salatblätter verlagert und dort angereichert wird [39]. Für Mikroplastik aus Reifenabrieb besteht demnach ein Umweltrisiko bezogen auf Oberflächengewässer und Böden [28].

Die Erfassung und Beurteilung des bei Motorsportveranstaltungen des DMSB entstehenden Reifenabriebs wird daher empfohlen. Ebenso ist es sinnvoll Maßnahmen zu ergreifen, um den Austrag des Mikroplastiks in die Umwelt zu verhindern, bzw. auf ein Minimum zu begrenzen.

### 9.3. Natur und Landschaft

Vor allem Motorsportdisziplinen wie Enduro oder Motocross, welche häufig in der Natur auf nicht befestigten Strecken stattfinden, stehen oft in der öffentlichen Kritik bzgl. ihrer Umweltwirkung. Bei einer Enduro- oder Motocross-Veranstaltung entstehen durchaus potenzielle Belastungen für die Umwelt, sei es in Form von Lärm, Emissionen oder durch die Motorsportfahrzeuge selbst. Erhebliche Beeinträchtigungen oder Gefährdung der Natur besteht allerdings vor allem bei freiem Fahren in der Natur, auf nicht zugelassenen Strecken. Dies betrifft in der Regel nur private Fahrer und Fahrerinnen, die in ihrer Freizeit auf eigene Faust durch Wald und Wiesen fahren. Beim DSMB gelten verpflichtende Vorschriften. Alle genehmigten Veranstaltungen werden ausschließlich auf offiziell zugelassenen Strecken durchgeführt. Dabei werden Aspekte des Lärmschutzes, Naturschutzes, Belange der Verkehrssicherheit sowie Arten- und Biotopschutz berücksichtigt. In der Regel finden auf den Strecken nur wenige Rennen pro Jahr statt, sodass keine dauerhafte Belastung für die Natur besteht. Zudem ist der Veranstalter verpflichtet alle Auflagen der behördlichen Zulassung einzuhalten. So ist z. B. die Teilnahme am Rennen nur mit Fahrzeugen, welche sich in einem ordnungsgemäßen Zustand befinden, zulässig. Das Verlassen der zugelassenen Strecke ist außerdem untersagt. Um eine Kontamination der Umwelt mit Schadstoffen zu verhindern, ist nach den DSMB-Umweltrichtlinien die Verwendung einer Umweltmatte für alle Wartungs- und Reparaturarbeiten sowie Betankung etc. verpflichtend. Die Einhaltung der Umweltauflagen wird vor Ort durch den DSMB-Umweltbeauftragten bzw. die DSMB-Umweltbeauftragte überprüft. In manchen Fällen kann der Offroad-Motorsport sogar ein Gewinn für den Artenschutz sein. Auf dem Gelände des MSC Frickenhausen hat sich beispielsweise die seltene Gelbbauch-Unke ein neues Habitat gesucht und lebt dort in tiefen Pfützen oder wassergefüllten Gräben und Gestrüpp. Die Tiere profitieren von den unverbauten, nicht bewirtschafteten Flächen und der sich verändernden Landschaft durch die regelmäßigen Umbaumaßnahmen des MSC Frickenhausen. Wichtig ist in Fällen wie diesen die Rücksicht und Aufklärung der Motorsportler und Motorsportlerinnen über eine solche Entwicklung und die besondere Situation. Beim MSC Frickenhausen werden die Unken nicht als störend empfunden und sogar aktiv geschützt und umgesiedelt, wenn eine Gefährdung der Tiere droht [40].



Foto: AdobeStock #168777413

Abbildung 9-12: Offroad Motorsport in der Natur.

Motorsport in der freien Natur besitzt aufgrund des direkten Kontaktes mit der Umwelt ein besonderes Gefährdungspotenzial. Allerdings geht eine akute Gefahr für Natur, Landschaft und Tiere nur von nicht genehmigten Fahrten und/oder Baumaßnahmen aus. Offiziell genehmigte und ausgerichtete Veranstaltungen unterliegen strengen Vorschriften zum Schutz von Landschaft und Natur und besitzen bei deren Einhaltung ähnliche Umweltrelevanz wie Rennen auf befestigten Strecken.

#### **9.4. Zusammenfassung über sonstige Umweltfaktoren**

Außerhalb des in dieser Studie erfassten Untersuchungsrahmens gibt es noch zahlreiche weitere potenziell umweltrelevante Einflussfaktoren. Diese betreffen einerseits weitere THG-Emissionsquellen, die hier nicht erfasst werden konnten. Dazu gehören unter anderem Emissionen durch die Anreise der Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen sowie Offiziellen, die Energieversorgung, den Ressourcenverbrauch im Allgemeinen, sei es für die Gas- und Kraftstoffversorgung oder die Herstellung verschiedener Produkte (Merchandise, Rennfahrzeuge, Veranstaltungsausrüstung etc.), Catering, Abfallentsorgung oder die Unterbringung der Personen vor Ort in Hotels.

Diese und alle weiteren Umweltfaktoren haben unterschiedlich hohen Einfluss auf die THG-Bilanz und sind im Einzelnen evtl. sogar vernachlässigbar. In Summe tragen diese sonstigen Einflussfaktoren allerdings einen relevanten Teil zur Gesamtbilanz bei und sollten daher so umfangreich wie möglich in zukünftige Emissionsberechnungen einbezogen werden. Die grundlegende Fragestellung ist hier immer die des zugrundegelegten Untersuchungsrahmens, welcher maßgebend für den Umfang der erfassten Emissionsquellen ist. D. h. es muss im Voraus geprüft werden, welche Daten erfasst oder eingeholt werden können und dementsprechend eine geeignete und belastbare Berechnungsgrundlage darstellen. Je mehr Faktoren erfasst werden können, desto genauer fällt auch die Berechnung der eigenen Emissionen aus.

Neben THG gibt es jedoch auch noch weitere umweltrelevante Emissionsarten, die im Motorsport von Bedeutung sind. Dazu gehören z. B. Geräuschemissionen durch die Motoren, welche gerade im Motorsport für viele Fans und Fahrer bzw. Fahrerinnen den charakteristischen Charme ausmachen. Mit maximalen Schallleistungen von über 150 dB (A) können diese Emissionen allerdings nicht nur die menschliche Gesundheit beeinträchtigen, sondern auch Tiere in umliegenden Gebieten empfindlich stören. Eine Schallbegrenzung, wie sie bereits für alle Veranstaltungen vorgeschrieben ist, sollte demnach beibehalten werden. Maßnahmen zur Reduzierung der Schallemissionen sind dennoch in jedem Fall sinnvoll. Ein Monitoring über die Schallleistungen an und in Umgebung der Motorsportveranstaltungsstätte kann eine Ergänzung hierzu darstellen.

Eine weitere, gerade für den Motorsport wichtige, Emissionsart ist Mikroplastik, welches durch die starken Belastungen auf den Reifen während eines Rennens in hohem Maß entsteht. Durch die hohen Geschwindigkeiten, starke Beschleunigung und hohen Kurvengeschwindigkeiten wird im Vergleich zum normalen Straßenverkehr um ein Vielfaches mehr Reifenmaterial abgerieben, welches durch verschiedenste Einflüsse in die Umwelt gelangen kann. Das Gefährdungspotenzial dieses Mikroplastiks für die Natur, Tiere und Ökosysteme ist noch nicht ausreichend erforscht. Einige Studien belegen allerdings bereits negative Effekte auf bestimmte Organismen, welche sowohl durch die teils toxischen Additive im Reifenmaterial als auch das Mikroplastik selbst hervorgerufen werden. Das Thema Mikroplastik in der Umwelt erfährt immer mehr Aufmerksamkeit und Bedeutung in der öffentlichen Diskussion und wird auch in Zukunft ein wichtiger Umweltfaktor sein. Da bisher allerdings ein Mangel an Daten bzgl. der Art und Menge sowie des Verhaltens der Mikroplastikpartikel in der Umwelt herrscht, empfiehlt es sich, diese Datenlücke in Zukunft ebenfalls zu schließen.



FOTO: Franz Brümmer

Abbildung 9-13: Reinigung und Glättung benutzter Slicks durch Abschaben des obersten Reifenmaterials.

Eine Beeinträchtigung von Natur und Landschaft steht vor allem bei Veranstaltungen auf unbefestigten Strecken, wie beim Motorcross oder Enduro, im Mittelpunkt von Diskussionen.

Die meisten DMSB-Veranstaltungen finden auf befestigten, permanenten Strecken statt. Für alle übrigen Rennen gelten verpflichtende Umweltrichtlinien und Genehmigungsverfahren, die eingehalten werden müssen.

Die Abbildung 9-14 zeigt eine grafische Zusammenfassung über die in Kapitel 9 behandelten Umweltfaktoren sowie weiterer Einflussfaktoren gegeben. Die Grafik stellt den Zusammenhang zwischen den jeweiligen Aspekten und deren Beitrag zu verschiedenen Umweltdimensionen („Ressourceneinsatz“, „Emissionen“ und „Abfall“) her.

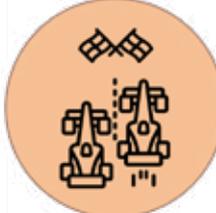
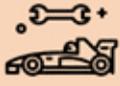
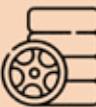
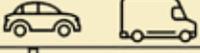
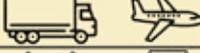
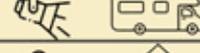
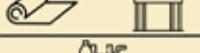
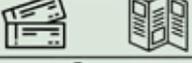
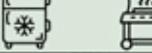
	Ressourceneinsatz (erneuerbar, nicht erneuerbar)	Emissionen (THG, Schadstoffe, Feinstaub, Reifenabrieb, Geräusche)	Abfall
<b>Rennen</b> 	<b>Verkehr</b> 		
		<b>Energie</b> 	
		<b>Materialeinsatz</b> 	
<b>Fuhrpark/ Fahrerlager</b> 		<b>Verkehr</b> 	
		<b>Energie</b> 	
		<b>Materialeinsatz</b> 	
		<b>Verpflegung</b> 	
		<b>Sanitär</b> 	
		<b>Unterkünfte</b> 	
<b>Besucher</b> 		<b>Verkehr</b> 	
		<b>Materialeinsatz</b> 	
		<b>Verpflegung</b> 	
		<b>Sanitär</b> 	
		<b>Unterkünfte</b> 	
<b>Umgebende Infrastruktur</b> 		<b>Verkehr</b> 	
		<b>Energie</b> 	
		<b>Materialeinsatz</b> 	
		<b>Organisation</b> 	
		<b>Sondermüll</b> 	

Abbildung 9-14: Grafische Zusammenfassung über weitere Einflussfaktoren einer Motorsportveranstaltung und deren Beitrag zu den Umweltdimensionen „Ressourceneinsatz“, „Emissionen“ und „Abfall“. Erstellt mit BioRender.com.

## 10. Fazit der Studie

Das Thema Klima- und Umweltschutz steht nicht nur in der allgemeinen Öffentlichkeit, sondern auch beim Deutschen Motor Sport Bund (DMSB) im Mittelpunkt von Diskussionen. Bereits im Jahr 2008 wurde im Auftrag des DMSB eine Studie zur Erfassung der eigenen Klima- und Luftschadstoffemissionen durch die Motorsportveranstaltungen durchgeführt. Im Rahmen der hier durchgeführten Studie erfolgt eine erneute Bilanzierung klimarelevanter und gesundheitsschädlicher Luftschadstoffe (CO<sub>2</sub>, CO, NOX, HC, PM) sowie eine qualitative Untersuchung weiterer potenzieller Umweltauswirkungen von DMSB-Motorsportveranstaltungen im Bezugsjahr 2019. Das Ziel ist es, beeinflussbare Umweltfaktoren zu identifizieren und auf Grundlage dessen Handlungsempfehlungen auszuarbeiten.

Die Berechnungen dieser Studie beschränken sich auf ausgewählte Einflussfaktoren mit hoher Umweltrelevanz. Diese sind die Mobilität des Besucherverkehrs, des Fuhrparks und der Rennfahrzeuge. Aufgrund einer teilweise lückenhaften Datenbasis müssen einige Annahmen für die Berechnung getroffen werden. Wegen der daraus resultierenden Unsicherheiten werden drei Szenarien auf Basis unterschiedlicher realistischer Schätzungen berechnet. Diese bilden die Grenzen (maximales und minimales Szenario) der möglichen Emissionen sowie einen Mittelwert daraus (mittleres Szenario). Die getroffenen Annahmen wurden separat für jede Disziplin in enger Abstimmung mit den Experten des DMSB getroffen. Für die drei Szenarien ergeben sich folgende CO<sub>2</sub>-Bilanzen: Szenario 1 (Minimale Schätzung): 45.157 t, Szenario 2 (Mittlere Schätzung): 104.070 t, Szenario 3 (Maximale Schätzung): 204.683 t. Die Emissionen des Automobilbereichs überwiegen hierbei die des Motorradspports. Zudem werden Variantenrechnungen durchgeführt, um die Auswirkungen eines höheren PKW-Besetzungsgrades von 2,5 (vergleichbar zur Studie von 2008) und eines höheren Modal Split von 0,2 bzw. 0,4 aufzuzeigen. Die CO<sub>2</sub>-Einsparungen, welche dadurch im Vergleich zu den Basisszenarien erreicht werden können, belaufen sich auf 19% für einen PKW-BG von 2,5, 13 - 14% für einen Modal Split von 0,2 bzw. 27% für einen Modal Split von 0,4. Den größten Anteil an der CO<sub>2</sub>-Gesamtbilanz macht der Besucherverkehr aus mit 78 - 80%, gefolgt vom Fuhrpark mit 12 - 17% und letztlich den Motorsportfahrzeugen mit 5 - 8% je nach Szenario. Der Besucherverkehr ist demnach als Haupteinflussfaktor für die Emission von Klima- und Luftschadstoffen bei Motorsportveranstaltungen identifiziert. Dieser ist allerdings nicht spezifisch für den Motorsport. Die Rennfahrzeuge selbst haben nur einen sehr geringen Einfluss auf die Gesamtbilanz. Im Vergleich zur Gesamtverkehrsleistung des motorisierten Individualverkehrs in Deutschland ist die gesamte Verkehrsleistung aller im Jahr 2019 stattgefundenen Motorsportveranstaltungen (inkl. Besucherverkehr, Fuhrpark und Rennfahrzeuge) verschwindend gering (0,037% - 0,165% je nach Szenario). Die Kernaussagen dieser Studie stimmen demnach mit denen der zuvor im Jahr 2008 durchgeführten Studie überein.

Ein Vergleich zu anderen Sportarten ist aufgrund mangelnder aktueller Studien in diesem Bereich schwierig. Dennoch lässt sich anhand weniger Veröffentlichungen ableiten, dass der Motorsport nicht mehr THG-Emissionen verursacht als andere vergleichbar große Veranstaltungen. Die THG-Bilanz hängt maßgeblich von der Mobilität der Besucher und Besucherinnen, Teilnehmer und Teilnehmerinnen sowie der Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen etc. ab. Daher übertreffen beispielsweise die Emissionen einer Fußball-Bundesliga-Saison sogar die des hier berechneten maximalen Szenarios für alle DMSB-Motorsportveranstaltungen eines ganzen Jahres.

Bei der Interpretation der Ergebnisse dieser Studie ist zu beachten, dass aufgrund einer lückenhaften Datenausgangsbasis die Berechnungen mit Unsicherheiten behaftet sind. Es konnten nur ca. 9,3 % aller im Jahr 2019 stattgefundenen Motorsportveranstaltungen des DMSB explizit berechnet werden. D. h. über 90 % der Veranstaltungen wurden hauptsächlich auf Basis von Annahmen berechnet (Szenarien). Aufgrund der großen Bandbreite bzgl. der getroffenen Annahmen in den drei Szenarien ergeben sich hohe Schwankungen bei den entsprechenden Ergebnissen. Dennoch können durch die drei Basisszenarien die Grenzen des Emissionsbereiches aufgezeigt werden. Es konnten zwar nicht alle potenziell relevanten Einflussfaktoren in die Berechnung einbezogen werden, allerdings ist davon auszugehen,

dass die größten Einzelemittenten erfasst wurden. Die Ergebnisse der CO<sub>2</sub>- und Schadstoffberechnung geben trotz der verbundenen Unsicherheiten einen Überblick über die Haupteinflussfaktoren einer Motorsportveranstaltung und deren Umweltwirkung im Kontext des jeweiligen angenommenen Szenarios. Die Berechnung erfolgt im Rahmen dieser Arbeit deutlich detaillierter als dies in der ersten Studie von 2008 der Fall war und die getroffenen Annahmen werden spezifisch für jede motorsportliche Disziplin separat und auf Basis langjähriger Erfahrung seitens des DMSB festgelegt.

Daher können anhand der Ergebnisse dieser Studie sowohl Rückschlüsse auf spezifische Handlungsfelder und sinnvolle Maßnahmen gezogen als auch allgemeine Handlungsempfehlungen gegeben werden. Das größte CO<sub>2</sub>-Einsparpotential und demnach der sinnvollste Ansatzpunkt für zukünftige Maßnahmen ist die Mobilität des Besucherverkehrs. D. h. der Fokus sollte auf der Reduzierung des motorisierten Individualverkehrs der Zuschauer und Zuschauerinnen bei deren An- und Abreise liegen. Für die Ausarbeitung und Planung zukünftiger Maßnahmen zur Einsparung von THG und Luftschadstoffen wird allerdings eine genauere Bilanzierung auf Basis einer vollständigen Datengrundlage und unter Einbeziehen weiterer potenzieller Einflussfaktoren empfohlen. D. h. der nächste Schritt sollte die kontinuierliche und umfassende Erfassung aller relevanter Daten sein. Nur auf Basis einer belastbaren und möglichst genauen THG-Bilanzierung können effektive Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen ausgearbeitet und umgesetzt werden. Die bisher existierenden Lücken in der Datenbasis müssen daher geschlossen werden, bevor andere Handlungsfelder angesteuert werden. Dazu empfiehlt sich die Ausarbeitung und Einführung eines kontinuierlichen Monitorings über alle essenziellen Berechnungsparameter der wichtigen Einflussgrößen. Dies bezieht sich nicht nur auf die in dieser Studie bereits quantitativ berücksichtigten Aspekte, sondern auch auf die bisher nur qualitativ behandelten Einflussfaktoren. Zudem sind für eine umfassendere Umweltbilanz auch die Erfassung und Beurteilung sonstiger Emissionen (Lärm, Mikroplastik etc.) und Umwelteinflüsse (Ressourcenverbrauch, Versiegelung, Umweltschadstoffe etc.) wichtig.

Ein weiterer Schritt hin zur Vermeidung und Reduzierung von Treibhausgasen und Luftschadstoffen im Rahmen der Tätigkeiten und Veranstaltungen des DMSB wurde mit dieser Studie erfolgreich abgeschlossen. Für die Zukunft ist es nun wichtig, auf Basis der hier erlangten Erkenntnisse weiterführende Untersuchungen anzustellen und den Themen Umwelt- und Klimaschutz sowie Nachhaltigkeit weiterhin einen hohen Stellenwert in der Verbandsarbeit beizumessen.

**Anhang**Tabelle A-1: Berechnete CO<sub>2</sub>- und Luftschadstoffe in [t] für die Variantenrechnung mit einem PKW-BG von 2,5.

	<b>Automobil</b>					
	CO <sub>2</sub>	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM	
<b>Szenario 1</b>	Besucherverkehr	22461	208	22,7	76	1,01
	Fuhrpark	4359	22	1,9	21	0,46
	Motorsportfahrzeuge	3321	30	3,3	11	0,15
	<b>Motorrad</b>					
	CO <sub>2</sub>	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM	
	Besucherverkehr	5386	50	5,5	18	0,24
	Fuhrpark	1190	6	0,5	6	0,15
	Motorsportfahrzeuge	325	3	0,3	1	0,01
	<b>Gesamt</b>					
		<b>37043</b>	<b>319</b>	<b>34,2</b>	<b>134</b>	<b>2,02</b>
<b>Szenario 2</b>	<b>Automobil</b>					
	CO <sub>2</sub>	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM	
	Besucherverkehr	48485	450	49,1	165	2,18
	Fuhrpark	11051	53	4,4	52	1,03
	Motorsportfahrzeuge	6256	57	6,2	21	0,28
	<b>Motorrad</b>					
	CO <sub>2</sub>	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM	
	Besucherverkehr	15409	143	15,6	52	0,69
	Fuhrpark	2787	12	1,0	14	0,30
	Motorsportfahrzeuge	583	5	0,6	2	0,03
<b>Gesamt</b>						
	<b>84572</b>	<b>720</b>	<b>76,9</b>	<b>306</b>	<b>4,52</b>	
<b>Szenario 3</b>	<b>Automobil</b>					
	CO <sub>2</sub>	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM	
	Besucherverkehr	83271	772	84,3	283	3,75
	Fuhrpark	29056	125	9,7	131	2,30
	Motorsportfahrzeuge	9191	84	9,2	31	0,42
	<b>Motorrad</b>					
	CO <sub>2</sub>	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM	
	Besucherverkehr	38834	360	39,3	132	1,75
	Fuhrpark	5611	28	2,4	26	0,54
	Motorsportfahrzeuge	841	8	0,9	3	0,04
<b>Gesamt</b>						
	<b>166804</b>	<b>1377</b>	<b>145,7</b>	<b>607</b>	<b>8,79</b>	

Tabelle A-2: Berechnete CO<sub>2</sub>- und Luftschadstoffe in [t] für die Variantenrechnung mit einem Modal Split von 0,2.

	Automobil					
	CO <sub>2</sub>	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM	
<b>Szenario 1</b>	Besucherverkehr	24548	220	24,0	82	1,10
	Fuhrpark	4359	22	1,9	21	0,46
	Motorsportfahrzeuge	3321	30	3,3	11	0,15
	Motorrad					
	CO <sub>2</sub>	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM	
	Besucherverkehr	5887	53	5,8	20	0,26
	Fuhrpark	1190	6	0,5	6	0,15
	Motorsportfahrzeuge	325	3	0,3	1	0,01
	Gesamt					
		<b>39630</b>	<b>333</b>	<b>35,7</b>	<b>141</b>	<b>2,14</b>
<b>Szenario 2</b>	Automobil					
	CO <sub>2</sub>	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM	
	Besucherverkehr	52990	475	51,8	178	2,38
	Fuhrpark	11051	53	4,4	52	1,03
	Motorsportfahrzeuge	6256	57	6,2	21	0,28
	Motorrad					
	CO <sub>2</sub>	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM	
	Besucherverkehr	16841	151	16,5	56	0,76
	Fuhrpark	2787	12	1,0	14	0,30
	Motorsportfahrzeuge	583	5	0,6	2	0,03
Gesamt						
	<b>90509</b>	<b>753</b>	<b>80,4</b>	<b>323</b>	<b>4,78</b>	
<b>Szenario 3</b>	Automobil					
	CO <sub>2</sub>	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM	
	Besucherverkehr	91008	816	88,9	305	4,10
	Fuhrpark	29056	125	9,7	131	2,30
	Motorsportfahrzeuge	9191	84	9,2	31	0,42
	Motorrad					
	CO <sub>2</sub>	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM	
	Besucherverkehr	42442	380	41,5	142	1,91
	Fuhrpark	5611	28	2,4	26	0,54
	Motorsportfahrzeuge	841	8	0,9	3	0,04
Gesamt						
	<b>178149</b>	<b>1441</b>	<b>152,5</b>	<b>639</b>	<b>9,31</b>	

Tabelle A-3: Berechnete CO<sub>2</sub>- und Luftschadstoffe in [t] für die Variantenrechnung mit einem Modal Split von 0,4.

	<b>Automobil</b>					
	CO <sub>2</sub>	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM	
<b>Szenario 1</b>	Besucherverkehr	19542	166	18,0	64	0,88
	Fuhrpark	4359	22	1,9	21	0,46
	Motorsportfahrzeuge	3321	30	3,3	11	0,15
	<b>Motorrad</b>					
	CO <sub>2</sub>	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM	
	Besucherverkehr	4686	40	4,3	15	0,21
	Fuhrpark	1190	6	0,5	6	0,15
	Motorsportfahrzeuge	325	3	0,3	1	0,01
	<b>Gesamt</b>					
		<b>33424</b>	<b>266</b>	<b>28,4</b>	<b>119</b>	<b>1,86</b>
<b>Szenario 2</b>	<b>Automobil</b>					
	CO <sub>2</sub>	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM	
	Besucherverkehr	42184	358	39,0	138	1,90
	Fuhrpark	11051	53	4,4	52	1,03
	Motorsportfahrzeuge	6256	57	6,2	21	0,28
	<b>Motorrad</b>					
	CO <sub>2</sub>	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM	
	Besucherverkehr	13407	114	12,4	44	0,60
	Fuhrpark	2787	12	1,0	14	0,30
	Motorsportfahrzeuge	583	5	0,6	2	0,03
<b>Gesamt</b>						
	<b>76268</b>	<b>600</b>	<b>63,5</b>	<b>271</b>	<b>4,14</b>	
<b>Szenario 3</b>	<b>Automobil</b>					
	CO <sub>2</sub>	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM	
	Besucherverkehr	72449	615	66,9	238	3,26
	Fuhrpark	29056	125	9,7	131	2,30
	Motorsportfahrzeuge	9191	84	9,2	31	0,42
	<b>Motorrad</b>					
	CO <sub>2</sub>	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM	
	Besucherverkehr	33787	287	31,2	111	1,52
	Fuhrpark	5611	28	2,4	26	0,54
	Motorsportfahrzeuge	841	8	0,9	3	0,04
<b>Gesamt</b>						
	<b>150934</b>	<b>1147</b>	<b>120,2</b>	<b>540</b>	<b>8,08</b>	

## Abkürzungsverzeichnis

---

BG	Besetzungsgrad
BS	Basisszenario
CH <sub>4</sub>	Methan
CO	Kohlenstoffmonoxid
CO <sub>2</sub> /CO <sub>2e</sub>	Kohlenstoffdioxid/Kohlenstoffdioxid-Äquivalente
DMSB	Deutscher Motor Sport Bund
DOSB	Deutscher Olympischer Sportbund
EM	Europameisterschaft
FCKWs	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
FIA	Fédération Internationale de l'Automobile
FIM	Fédération Internationale de Motocyclisme
FKWs	Halogenierte Kohlenwasserstoffe bzw. Fluorkohlenwasserstoffe
Fzkm	Fahrzeugkilometer
GHG	Greenhouse Gas
GP	Grand Prix
HC	Kohlenwasserstoffe
H-FKWs	Teilhalogenierte Kohlenwasserstoffe
LNF	Leichte Nutzfahrzeuge
NOX	Stickoxide
N <sub>2</sub> O	Distickstoffmonoxid
NV	Nicht vorhanden
Pkm	Personenkilometer
PKW	Personenkraftwagen
PM	Feinstaub
SF <sub>6</sub>	Schwefelhexafluorid
SNF	Schwere Nutzfahrzeuge
THG	Treibhausgas
VA	Veranstaltung
WM	Weltmeisterschaft
6PPD	N-(1,3-Dimethylbutyl)-N'-phenyl-p-phenylendiamin

## Tabellenverzeichnis

---

Tabelle 4-1:	Explizit berechnete Veranstaltungen im Automobilsport und deren Zuschauerzahlen	12
Tabelle 4-2:	Explizit berechnete Veranstaltungen im Motorradsport und deren Zuschauerzahlen	13
Tabelle 4-3:	Grundlegende Annahmen und Werte zur Berechnung des Besucherverkehrs	15
Tabelle 4-4:	Emissionsfaktoren Fuhrpark	17
Tabelle 4-5:	Anzahl SNF, LNF und PKW pro Team – für die explizit berechneten Veranstaltungen	18
Tabelle 4-6:	Emissionsfaktoren in Abhängigkeit des Kraftstoffverbrauchs – Umrechnung für Motorsportfahrzeuge	19
Tabelle 4-7:	CO <sub>2</sub> -Emissionswerte für Methanol und Nitromethan	20
Tabelle 4-8:	Annahmen zur pauschalen Berechnung des Besucherverkehrs aller übrigen Veranstaltungen	22
Tabelle 4-9:	Annahmen zur pauschalen Berechnung des Fuhrparks aller übrigen Veranstaltungen	24
Tabelle 4-10:	Grundlagen und Festlegungen über die durchschnittliche Fahrstrecke der Motorsportfahrzeuge für die pauschalierte Berechnung	26
Tabelle 5-1:	Ergebnisse Gesamtbilanz CO <sub>2</sub> - und Luftschadstoffemissionen – Szenario 1	27
Tabelle 5-2:	CO <sub>2</sub> - und Luftschadstoffemissionen nach Disziplinen für den Automobil- und Motorradsport im Jahr 2019 – Szenario 1	31
Tabelle 5-3:	Ergebnisse Gesamtbilanz CO <sub>2</sub> - und Luftschadstoffemissionen – Szenario 2	32
Tabelle 5-4:	CO <sub>2</sub> - und Luftschadstoffemissionen nach Disziplinen für den Automobil- und Motorradsport im Jahr 2019 – Szenario 2	34
Tabelle 5-5:	Ergebnisse Gesamtbilanz CO <sub>2</sub> - und Luftschadstoffemissionen – Szenario 3	35
Tabelle 5-6:	CO <sub>2</sub> - und Luftschadstoffemissionen nach Disziplinen für den Automobil- und Motorradsport im Jahr 2019 – Szenario 3	37
Tabelle 5-7:	Gesamt-CO <sub>2</sub> -Emissionen in [t] für die Variantenrechnung mit PKW-Besetzungsgrad von 2,5	38
Tabelle 5-8:	Gesamt-CO <sub>2</sub> -Emissionen in [t] für die Variantenrechnung mit einem Modal Split von 0,2	40
Tabelle 5-9:	Gesamt-CO <sub>2</sub> -Emissionen in [t] für die Variantenrechnung mit einem Modal Split von 0,4	40
Tabelle 5-10:	CO <sub>2</sub> -Gesamtbilanzen in [t] der Variantenrechnungen im Vergleich	41
Tabelle 6-1:	Vergleich der Berechnungsgrundlagen für Großveranstaltungen mit der Studie von 2008	46
Tabelle 6-2:	Vergleich der Durchschnittswerte für die Zuschauerzahlen der sonstigen Veranstaltungen zur Studie von 2008	47
Tabelle 6-3:	Vergleich der durchschnittlichen CO <sub>2</sub> -Emissionen in Tonnen pro Veranstaltung mit der Studie von 2008	49
Tabelle 6-4:	Vergleich der Jahres-Verkehrsleistung von DMSB-Veranstaltungen mit dem MIV bzw. Freizeitverkehr in Deutschland	49

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	GT-Masters Fahrzeuge beim Start am Nürburgring 2022 – Foto: Franz Brümmer	6
Abbildung 2-1:	Untersuchungsrahmen für die quantitative Bestimmung der CO <sub>2</sub> -Emissionen von Motorsportveranstaltungen im Rahmen dieser Studie	7
Abbildung 2-2:	Die Nürburg und der Nürburgring – Foto: Franz Brümmer	8
Abbildung 2-3:	Drei Kategorien der Treibhausgasemissionen	9
Abbildung 3-1:	ADAC-Überschlagsimulator – Stand bei der GT-Masters am Nürburgring 2022 – Foto: Franz Brümmer	10
Abbildung 3-2:	Elektrokarts mit Joystick-Steuerung für Fahrer mit und ohne körperliche Behinderung	11
Abbildung 4-1:	Besucherströme beim Pitwalk – Foto: Franz Brümmer	14
Abbildung 4-2:	Team-LKWs und Fuhrpark im Fahrerlager am Nürburgring – Foto: Franz Brümmer	17
Abbildung 4-3:	Sportfahrzeuge bei der GT-Masters am Nürburgring 2022 – Foto: Franz Brümmer	19
Abbildung 4-4:	GT-Masters Fahrzeug beim Reifenwechsel – Foto: Franz Brümmer	20
Abbildung 4-5:	Fuhrpark im Fahrerlager am Nürburgring – Foto: Franz Brümmer	23
Abbildung 4-6:	Motorsportfahrzeug in Boxengasse	25
Abbildung 4-7:	Motorsportfahrzeug beim Pitwalk	25
Abbildung 5-1:	Gesamt-CO <sub>2</sub> -Bilanz im Jahr 2019 mit Anteil expliziter und pauschaler Berechnung – Szenario 1	28
Abbildung 5-2:	Einflussfaktoren auf die Gesamt-CO <sub>2</sub> -Bilanz 2019 – Szenario 1	28
Abbildung 5-3:	Gesamt-CO <sub>2</sub> -Bilanz im Vergleich zu den Großveranstaltungen im Jahr 2019 – Szenario 1	29
Abbildung 5-4:	CO <sub>2</sub> -Bilanz der Großveranstaltungen im Automobilsport 2019	29
Abbildung 5-5:	CO <sub>2</sub> -Bilanz der Großveranstaltungen im Motorrad sport 2019	30
Abbildung 5-6:	CO <sub>2</sub> -Bilanz nach Disziplinen im Automobilsport 2019 – Szenario 1	30
Abbildung 5-7:	CO <sub>2</sub> -Bilanz nach Disziplinen im Motorrad sport 2019 – Szenario 1	30
Abbildung 5-8:	Gesamt-CO <sub>2</sub> -Bilanz im Jahr 2019 mit Anteil expliziter und pauschaler Berechnung – Szenario 2	32
Abbildung 5-9:	Einflussfaktoren auf die Gesamt-CO <sub>2</sub> -Bilanz 2019 – Szenario 2	33
Abbildung 5-10:	Gesamt-CO <sub>2</sub> -Bilanz im Vergleich zu den Großveranstaltungen im Jahr 2019 – Szenario 2	33
Abbildung 5-11:	CO <sub>2</sub> -Bilanz nach Disziplinen im Automobilsport 2019 – Szenario 2	33
Abbildung 5-12:	CO <sub>2</sub> -Bilanz nach Disziplinen im Motorrad sport 2019 – Szenario 2	34
Abbildung 5-13:	Gesamt-CO <sub>2</sub> -Bilanz im Jahr 2019 mit Anteil expliziter und pauschaler Berechnung – Szenario 3	36
Abbildung 5-14:	Einflussfaktoren auf die Gesamt-CO <sub>2</sub> -Bilanz 2019 – Szenario 3	36
Abbildung 5-15:	Gesamt-CO <sub>2</sub> -Bilanz im Vergleich zu den Großveranstaltungen im Jahr 2019 – Szenario 3	36
Abbildung 5-16:	CO <sub>2</sub> -Bilanz nach Disziplinen im Automobilsport 2019 – Szenario 3	38
Abbildung 5-17:	CO <sub>2</sub> -Bilanz nach Disziplinen im Motorrad sport 2019 – Szenario 3	37
Abbildung 5-18:	Gesamt-CO <sub>2</sub> -Bilanz für die Variantenrechnung mit PKW-Besetzungsgrad von 2,5	39
Abbildung 5-19:	Gesamt-CO <sub>2</sub> -Bilanz für die Variantenrechnung mit Modal Split von 0,2	39
Abbildung 5-20:	Gesamt-CO <sub>2</sub> -Bilanz für die Variantenrechnung mit Modal Split von 0,4	40
Abbildung 5-21:	CO <sub>2</sub> -Gesamtbilanzen der Variantenrechnungen im Vergleich	41
Abbildung 6-1:	Zuschauermassen bei einer Motorsportveranstaltung – Foto: AdobeStock #2317609	43
Abbildung 6-2:	Vergleich der durchschnittlichen spezifischen CO <sub>2</sub> -Emissionen pro Veranstaltung mit der Studie von 2008	48
Abbildung 6-3:	Vergleich der durchschnittlichen CO <sub>2</sub> -Emissionen pro Veranstaltung (VA) für die drei Einflussfaktoren mit der Studie von 2008	48

Abbildung 8-1:	Checkliste der zu erfassenden Umweltfaktoren für eine belastbare Datengrundlage	53
Abbildung 8-2:	Entwicklungsprozess für die Umsetzung von Emissionseinsparmaßnahmen	54
Abbildung 8-3:	Zeltaufbau im Fahrerlager – Foto: Franz Brümmer	56
Abbildung 9-1:	Grafische Übersicht über mögliche Umwelteinflussfaktoren einer Motorsportveranstaltung	58
Abbildung 9-2:	Grafische Übersicht über weitere THG- und Luftschadstoffemissionsquellen einer Motorsportveranstaltung	59
Abbildung 9-3:	Einsatz- und Sicherheitsfahrzeuge bei einer Motorsportveranstaltung – Foto: Franz Brümmer	60
Abbildung 9-4:	Safety Car bei einer Motorsportveranstaltung – Foto: Franz Brümmer	61
Abbildung 9-5:	Reparatur und Prüfung eines Motorsportfahrzeuges – Foto: Franz Brümmer	63
Abbildung 9-6:	Depot für Altöl auf dem Nürburgring – Foto: Franz Brümmer	64
Abbildung 9-7:	Boxengasse mit Motorsportfahrzeugen – Foto: Franz Brümmer	66
Abbildung 9-8:	Slicks nach dem Rennen mit anhaftendem Rollsplit und abgeriebenem Gummi-Material – Foto: Franz Brümmer	67
Abbildung 9-9:	Reifenspuren auf der Fahrbahn bestehend aus abgeriebenem Reifenmaterial – Foto: Franz Brümmer	68
Abbildung 9-10:	Verstreutes Kunststoffgranulat einer Reifenwaschanlage – Foto: Franz Brümmer	69
Abbildung 9-11:	Reifenbereitstellung in der Boxengasse – Foto: Franz Brümmer	70
Abbildung 9-12:	Offroad Motorsport in der Natur – Foto: AdobeStock #168777413	
Abbildung 9-13:	Reinigung und Glättung benutzter Slicks durch Abschaben des obersten Reifenmaterials – Foto: Franz Brümmer	72
Abbildung 9-14:	Grafische Zusammenfassung über weitere Einflussfaktoren einer Motorsportveranstaltung und deren Beitrag zu den Umweltdimensionen „Ressourceneinsatz“, „Emissionen“ und „Abfall“	74
Umschlag:	Fotos: AdobeStock #133087462 & #384567792	

## Literaturverzeichnis

- [1] Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV), Hrsg., „Pkw-Besetzungsgrad bei der privaten Auto-nutzung“. 29. März 2004. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/79638/>
- [2] „Handbuch für Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs (HBEFA)“. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.hbefa.net/d/index.html>
- [3] Umweltbundesamt (UBA), Hrsg., „Vergleich der durchschnittlichen Emissionen einzelner Verkehrsmittel im Personenverkehr in Deutschland“. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/bild/vergleich-der-durchschnittlichen-emissionen-0>
- [4] „Verkehr in Zahlen 2022/2023“, 51. Jahrgang, 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/verkehr-in-zahlen-2022-2023-pdf.html>
- [5] M. Specht und A. Bandi, „Der ‚Methanol-Kreislauf‘ – nachhaltige Bereitstellung flüssiger Kraftstoffe“, Forschungsverbund Sonnenenerg. - Nachhalt. Energ. Themen 9899.
- [6] J. Reese, „Klimasünder Fußballfan – Serie: Endspiel ums Klima (1)“. 1. Januar 2019. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.deutschlandfunk.de/serie-endspiel-ums-klima-1-klimasuender-fussballfan-100.html>
- [7] Umweltbundesamt (UBA), Hrsg., „Fahrleistungen, Verkehrsleistung und Modal Split in Deutschland“. 15. März 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/fahrleistungen-verkehrsaufwand-modal-split#personenverkehr>
- [8] Umweltbundesamt (UBA), Hrsg., „Mobilität privater Haushalte - Verkehrsleistung im Personentransport“. 13. Mai 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/mobilitaet-privater-haushalte#verkehrsleistung-im-personentransport>
- [9] C. Loewen und P. Wicker, „Travelling to Bundesliga matches: the carbon footprint of football fans“, J. Sport Tour., Bd. 25, Nr. 3, S. 253–272, Juli 2021, doi: 10.1080/14775085.2021.1932562.
- [10] VfL Wolfsburg-Fußball GmbH, Hrsg., „MOVING TOGETHER. SUSTAINABILITY REPORT OF VfL WOLFSBURG 2020“. 2020.
- [11] Fédération Internationale de Football Association (FIFA), Hrsg., „Summary of the 2014 FIFA World Cup Brazil™ Carbon Footprint“. 2013.
- [12] Fédération Internationale de Football Association (FIFA), Hrsg., „2018 FIFA World Cup™ Greenhouse gas accounting report“. 2016.
- [13] Thompson Reuters Corporation, Hrsg., „London Olympics’ emissions 28 percent lower than forecast: organizers“. 2012. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.reuters.com/article/us-olympics-emissions-idUSBRE8BB0C320121212>
- [14] Rio 2016 Organising Committee for the Olympic and Paralympic Games, Hrsg., „Carbon Footprint Management Report Rio 2016 Olympic and Paralympic Games“. 2014.
- [15] EnergieAgentur.NRW GmbH, Hrsg., „Praxisleitfaden ‚klimaneutrale‘ Lauf- und Sportevents - Klimaschutz bewegt!“ 2019.
- [16] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und Deutscher Olympischer Sportbund (DOSB), Hrsg., „Green Champions für Sport und Umwelt – Leitfaden für umweltfreundliche Sport großveranstaltungen“. 2007.
- [17] Seven One Entertainment Group GmbH, Hrsg., „Wie realistisch ist eine CO<sub>2</sub>-neutrale Formel 1?“ 25. Januar 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://goinggreen.ran.de/wie-realistisch-ist-eine-co-2-neutrale-formel-1>
- [18] M. S. Masnadi u. a., „Global carbon intensity of crude oil production“, Science, Bd. 361, Nr. 6405, S. 851–853, Aug. 2018, doi: 10.1126/science.aar6859.
- [19] Umweltbundesamt (UBA), Hrsg., „CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Kilowattstunde Strom steigen 2021 wieder an“. 21. April 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/CO2-emissionen-pro-kilowattstunde-strom-steigen>
- [20] ROBIN WOOD e.V., Hrsg., „Ökostromreport 2020“. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.robinwood.de/oekostromreport>

- [21] Umweltbundesamt (UBA), Hrsg., „Marktanalyse Ökostrom II - Marktanalyse Ökostrom und HKN, Weiterentwicklung des Herkunftsnachweissystems und der Stromkennzeichnung“, *Clim. Change*, Nr. 30/2019, 2019, [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/marktanalyse-oekostrom-ii>
- [22] Umweltbundesamt (UBA), Hrsg., „Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger 2020 - Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2020“, *Clim. Change*, Nr. 71/2021, 2021, [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/emissionsbilanz-erneuerbarer-energietraeger-2020>
- [23] „Nutzung der Potenziale des biogenen Anteils im Abfall zur Energieerzeugung“, *Texte*, Nr. 33/2011, 2011, [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/nutzung-potenziale-des-biogenen-anteils-im-abfall>
- [24] Greenpeace e.V., Hrsg., „Bio gut fürs Klima?“ 6. November 2014. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.greenpeace.de/klimaschutz/klimakrise/bio-gut-fuers-klima>
- [25] Umweltbundesamt (UBA), Hrsg., „Klimaschutz- und Energieeffizienzpotenziale in der Abwasserwirtschaft - aktueller Stand und Perspektiven. Abschlussbericht“, *Texte*, Nr. 50/2021, 2021, [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/klimaschutz-energieeffizienzpotenziale-in-der>
- [26] M. Nolte, „So denken aktive Sportfahrer über nachhaltigen Motorsport“. 19. April 2020. [Online]. Verfügbar unter: <https://trackdaysport.de/studie-so-denken-aktive-sportfahrer-ueber-nachhaltigen-motorsport/>
- [27] Q. Yu, X. Hu, B. Yang, G. Zhang, J. Wang, und W. Ling, „Distribution, abundance and risks of microplastics in the environment“, *Chemosphere*, Bd. 249, S. 126059, Juni 2020, doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.126059.
- [28] J. E. Tamis u. a., „Environmental risks of car tire microplastic particles and other road runoff pollutants“, *Microplastics Nanoplastics*, Bd. 1, Nr. 1, S. 10, Dez. 2021, doi: 10.1186/s43591-021-00008-w.
- [29] A. Wik und G. Dave, „Occurrence and effects of tire wear particles in the environment – A critical review and an initial risk assessment“, *Environ. Pollut.*, Bd. 157, Nr. 1, S. 1–11, Jan. 2009, doi: 10.1016/j.envpol.2008.09.028.
- [30] F. R. Khan, L. L. Halle, und A. Palmqvist, „Acute and long-term toxicity of micronized car tire wear particles to *Hyalella azteca*“, *Aquat. Toxicol.*, Bd. 213, S. 105216, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.aquatox.2019.05.018.
- [31] B. Baensch-Baltruschat, B. Kocher, C. Kochleus, F. Stock, und G. Reifferscheid, „Tyre and road wear particles - A calculation of generation, transport and release to water and soil with special regard to German roads“, *Sci. Total Environ.*, Bd. 752, S. 141939, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141939.
- [32] ADAC e.V., Hrsg., „Tyre wear particles in the environment“. 8. April 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/ausstattung-technik-zubehoer/reifen/reifenkauf/reifenabrieb-mikroplastik/>
- [33] M. Lüttgens, „Zehn Tonnen Reifenabrieb: Pirellis andere Saisonbilanz“. 3. Dezember 2011. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.motorsport-total.com/formel-1/news/10-tonnen-reifenabrieb-pirellis-andere-saisonbilanz-11120305>
- [34] D. Mengistu, V. Nilsen, C. Coutris, H. M. Amdal, und A. Heistad, „Microplastics Concentrations in Soil Along a Racetrack“, *Water. Air. Soil Pollut.*, Bd. 234, Nr. 1, S. 9, Jan. 2023, doi: 10.1007/s11270-022-06008-7.
- [35] Formular 1 dictionary, Hrsg., „Tire compound“. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.formula1-dictionary.net/tire\\_compound.html](https://www.formula1-dictionary.net/tire_compound.html)
- [36] M. Brinkmann u. a., „Acute Toxicity of the Tire Rubber-Derived Chemical 6PPD-quinone to Four Fishes of Commercial, Cultural, and Ecological Importance“, *Environ. Sci. Technol. Lett.*, Bd. 9, Nr. 4, S. 333–338, Apr. 2022, doi: 10.1021/acs.estlett.2c00050.
- [37] Z. Tian u. a., „A ubiquitous tire rubber-derived chemical induces acute mortality in coho salmon“, *Science*, Bd. 371, Nr. 6525, S. 185–189, Jan. 2021, doi: 10.1126/science.abd6951.
- [38] S. Varshney, A. H. Gora, P. Siriyappagounder, V. Kiron, und P. A. Olsvik, „Toxicological effects of 6PPD and 6PPD quinone in zebrafish larvae“, *J. Hazard. Mater.*, Bd. 424, S. 127623, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.127623.
- [39] S. Castan u. a., „Uptake, Metabolism, and Accumulation of Tire Wear Particle-Derived Compounds in Lettuce“, *Environ. Sci. Technol.*, Bd. 57, Nr. 1, S. 168–178, Jan. 2023, doi: 10.1021/acs.est.2c05660.
- [40] F. Heinrich-Steige, „Artenschutz trotz Motorsport. Offroader schützen Unken.“ [Online]. Verfügbar unter: <https://www.motorradonline.de/szene-motorsport/artenschutz-trotz-motorsport-offroader-schuetzen-unken/>

**Für Ihre Notizen:**

---

**Für Ihre Notizen:**

---

