



Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften  
Studiengang MMMP

Zur Erlangung des Grades

eines

**Master of Engineering (M.Eng)**

von Herrn Thomas Hörning

geboren am: 11.07.1980

in: Schkeuditz

**Thema: Grundlagenbetrachtung zur einer möglichen Straßenzulassung des sich in Planung befindlichen Prototypen „Konzept 03“ des Eco-Emotion Teams der Hochschule Merseburg**

Erstprüfer: **Herr Prof. Dr.-Ing. Rolf Kademann**

Professur für Werkzeugmaschinen- und Fertigungstechnik

Zweitprüfer: **Herr M.Eng Christian Kratz**

Wissenschaftlicher Mitarbeiter Hochschule Merseburg

Merseburg, 22.05.2018

## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>II</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>IV</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>V</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>VI</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>7</b>
1.1 Ausgangssituation .....	7
1.2 Motivation für die Wahl des Themas der Masterarbeit.....	8
1.3 Zielsetzung der Masterarbeit und des Projektes EcoEmotion .....	9
1.4 Grenzen der Masterarbeit .....	9
1.5 Herangehensweise an die Masterarbeit .....	10
<b>2 Antriebkonzeptes des Konzeptfahrzeugs .....</b>	<b>11</b>
<b>3 Randbedingungen und Anforderungen .....</b>	<b>11</b>
<b>4 Official Rules Shell Marathon.....</b>	<b>13</b>
<b>5 Einordnung Konzeptfahrzeug in die Fahrzeugklasse .....</b>	<b>14</b>
<b>6 Vorstellung gesetzlicher Typengenehmigungen und -serien .....</b>	<b>17</b>
<b>7 Historischer Überblick Gesetzgebung und Vorschriften/Richtlinien .....</b>	<b>19</b>
7.1 Historischer Überblick Gesetzgebung seit der Entwicklung der Automobiltechnik .....	19
7.2 Entwicklung der nationalen und internationalen Vorschriften .....	19
7.3 Historische Entwicklung der nationalen StVO und StVZO Deutschland .....	20
7.4 Definition Begriffe Richtlinie und ECE-Norm.....	21
7.4.1 Definition Richtlinie .....	21
7.4.2 ECE-Normen.....	21
<b>8 Betrachtung und Bewertung der Umsetzbarkeit der Fahrzeugklassen .....</b>	<b>22</b>
8.1 Bewertung der Machbarkeit Fahrzeugklasse M <sub>1</sub> .....	22
8.2 Bewertung der Machbarkeit der Klasse L7e.....	29
8.3 Normen und Richtlinien für Krafträder mit Elektroantrieb .....	35
<b>9 Betrachtung der Richtlinien der Baugruppe Bremse Klasse M1, Klasse L7e und Shell Eco Reglement.....</b>	<b>39</b>
9.1 Anforderungen an die Bremsanlage Allgemein .....	40
9.2 Anforderungen Shell Eco Marathon Reglement .....	40
9.3 Einleitende Betrachtung der Richtlinien und Normen Bremse.....	41
9.4 Anforderungen der Klasse L7e Richtlinie 93/14/EG.....	42
9.5 ECE-Norm R 78 Motorradbremse .....	49

9.6	Richtlinie 71/320/EWG Bremsanlagen bestimmter Klassen von Kraftfahrzeugen.....	59
9.7	ECE-Norm R13H.....	63
9.8	Bewertung und Vergleich der gesetzlichen Richtlinien und Shell Eco Reglement.....	64
<b>10</b>	<b>Auslegung Baugruppe Rad mit Bremse .....</b>	<b>66</b>
10.1	Berechnung der Bremse unter Vorgabe der gesetzlichen Bedingungen .....	66
10.2	Hauptrichtlinie 97/24/EG.....	85
10.3	Reifen 97/24/EG Kapitel 1 .....	85
10.3.1	Auswahl der Bereifung .....	86
10.3.2	Tragfähigkeit.....	86
10.3.3	Zulässige Geschwindigkeit.....	87
10.3.4	Sonderfälle .....	88
<b>11</b>	<b>Betrachtung Karosserie und vorstehende Außenkanten.....</b>	<b>89</b>
11.1	Karosserie Vorstehende Außenkanten 97/24/EG.....	89
11.2	Allgemeine Vorschriften zu vorstehenden Außenkanten der Richtlinie 97/24/EG.....	90
11.3	Anwendungsbereich der Regelung Nr. 26.....	90
11.4	Allgemeine Vorschriften der Regelung Nr. 26 .....	91
11.5	Vergleich der allgemeinen Vorgaben Shell Eco Reglement und Regelung Nr. 26 Außenkanten .....	91
11.6	Besondere Vorschriften für Außenkanten .....	91
<b>12</b>	<b>Fazit.....</b>	<b>94</b>
<b>I.</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>VII</b>
<b>II.</b>	<b>Eidesstattliche Erklärung .....</b>	<b>VIII</b>

## **Abkürzungsverzeichnis**

---

EG Europäische Gemeinschaft

EWG Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft

TÜV Technischer Überwachungsverein

HSP Hochschulpakt

## Abbildungsverzeichnis

---

Abbildung 1-1 Konzeptfahrzeug Seitenansicht .....	7
Abbildung 1-2 Konzeptfahrzeug Frontansicht .....	8
Abbildung 5-1 F-Kart .....	15
Abbildung 5-2 Fahrzeugklassen .....	16
Abbildung 6-1 Typengenehmigungen und -serien .....	18
Abbildung 9-1 schematischer Aufbau Bremssystem .....	39
Abbildung 9-2 II-Aufteilung .....	40
Abbildung 9-3 X-Aufteilung .....	41
Abbildung 10-1 Bremskraftverteilung .....	67
Abbildung 10-2 Verteilung Bremsleistung .....	71
Abbildung 10-3 Bremsbeläge .....	72
Abbildung 10-4 Bremsscheibe .....	72
Abbildung 10-5 Kräfte am Fahrzeug .....	73
Abbildung 10-6 Waagebalkensystem .....	75
Abbildung 10-7 Bremspedal .....	75
Abbildung 10-8 Bremszylinder .....	76
Abbildung 10-9 Bremsschlauch .....	77
Abbildung 10-10 Bremssattel .....	79
Abbildung 10-11 Lüftspiel .....	80
Abbildung 10-12 Felge .....	81
Abbildung 10-13 Materialeigenschaften .....	84
Abbildung 10-14 Bereifung .....	87
Abbildung 11-1 Laminataufbau .....	90
Abbildung 11-2 Verfahren 1 Bestimmung Höhe Falzen .....	92
Abbildung 11-3 Verfahren 2 Bestimmung Höhe Falzen .....	92
Abbildung 11-4 Vorsprung auf Außenflächen .....	93
Abbildung 11-5 Vorsprung von Blenden und Umrandungen Scheinwerfer .....	93
Abbildung 11-6 Verfahren 1 Abmessung Aussparung/Zwischenraum Gitter .....	93
Abbildung 11-7 Verfahren 2 Abmessung Aussparung/Zwischenraum Gitter .....	93

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Randbedingungen.....	12
Tabelle 2 Vollständige Umsetzung .....	24
Tabelle 3 Teilweise Ausnahme Umsetzung.....	25
Tabelle 4 technische Vorschriften müssen eingehalten werden .....	27
Tabelle 5 Nachweis der Vorgaben.....	27
Tabelle 6 Rechtsakt entfällt .....	29
Tabelle 7 Einhaltung Vorschriften (Ü).....	31
Tabelle 8 Einhalten Vorschriften ER.....	34
Tabelle 9 Normen und Richtlinien Elektrofahrzeuge.....	35
Tabelle 10 Titel der Normen und Richtlinien.....	36
Tabelle 11 Entwicklung Richtlinie Bremsanlage .....	59
Tabelle 12 Vergleich der Bremsprüfung Trockenbremse .....	64
Tabelle 13 Vergleich technische Vorgabe Shell/M <sub>1</sub> /L5e .....	65
Tabelle 14 Variationen Waagebalkensystem.....	77
Tabelle 15 spezifische Bremsleistung PKW .....	83
Tabelle 16 Vergleich spezifische Bremsleistung PKW und Konzeptfahrzeug .....	83
Tabelle 17 Entwicklung Richtlinie 97/24/EG .....	85
Tabelle 18 Vorgaben Richtlinie Reifen .....	86
Tabelle 19 Tragfähigkeit Bereifung.....	87
Tabelle 20 Geschwindigkeitskategorie .....	88
Tabelle 21 Vergleich Außenkanten Richtlinie und Shell Eco Reglement.....	91

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangssituation

Der Abschnitt Ausgangssituation beschreibt kurz das EcoEmotion Team. Was zeichnet das EcoEmotion aus und welche Ziele verfolgt es? Das EcoEmotion Team der Hochschule Merseburg, bestehend aus Studenten, Professoren und wissenschaftlichen Mitarbeitern. Sie entwickeln und bauen ein funktionsfähiges Fahrzeug für den Shell Eco Marathon. In diesem wird in zwei Wettbewerbskategorien unterschieden. Die Prototypen-Klasse hat das Ziel den Kraftstoffverbrauch auf ein Minimum zu reduzieren. Dagegen befasst sich die UrbanConcept-Klasse mit der Entwicklung und Bau eines effizienten und alltagstauglichen Fahrzeugs. Nach dem mehrere Projekte am Shell Eco Marathon teilgenommen haben, reifte die Idee ein straßenzugelassenes Fahrzeug für den Shell Eco Marathon zu entwickeln, konstruieren und zu bauen. Das Projekt der Hochschule, siehe Abbildung 1-1 Konzeptfahrzeug Seitenansicht und Abbildung 1-2 Konzeptfahrzeug Frontansicht, ist die aktuelle Entwicklung des straßentauglichen Fahrzeuges. Dabei steht die Teilnahme des Shell Eco Marathons an erster Stelle und die Straßenzulassung ist zweitrangig, obwohl diese nur minimal in ihrer Wichtigkeit kleiner ist. Es wäre ein riesiger Schritt die Idee der Straßenzulassung umzusetzen und würde den Bereich Ingenieurwesen der Hochschule Merseburg bereichern. In diesem Team ist es möglich ganz neue Ideen und Ansätze zu verwirklichen. Dabei muss der sinnvolle Umgang mit den Finanzen beachtet werden. Es muss immer abgewogen werden, ob die Idee auch finanziell umsetzbar und für das EcoEmotion Team zielführend ist. Der Fortschritt des Projektes muss jedes Jahr in einem Bericht dokumentiert werden. Für die Entwicklung und Bau des Fahrzeuges stehen nur begrenzte Mittel zur Verfügung. Diese werden jährlich als HSP-Mittel, der Hochschule vom Bund und Land zur Verfügung gestellt.



**Abbildung 1-1 Konzeptfahrzeug Seitenansicht**



**Abbildung 1-2 Konzeptfahrzeug Frontansicht**

## 1.2 Motivation für die Wahl des Themas der Masterarbeit

Die Motivation für die Wahl des Themas für die Masterarbeit ist die Weiterführung und Anknüpfung an die Bachelorarbeit. Die Bachelorarbeit beinhaltet als Thema die Entwicklung und Bau eines Frontscheinwerfers für das Fahrzeug ePick, unter Anwendung der ECE-Normen für die Klasse  $M_1$  (PKW). Der ePick ist das vorhergehende Fahrzeug des EcoEmotion Teams. In Zusammenarbeit mit B.Eng Herr Bittdorf wurde der Frontscheinwerfer entwickelt und gebaut. Jetzt besteht der Wunsch sich näher mit der Thematik der Straßenzulassung eines selbst entwickelten Fahrzeuges zu befassen. In zahlreichen Teamberatungen, tauchte wiederholt die Frage nach den Bedingungen für die Teilnahme am öffentlichen Straßenverkehr mit einem selbstentwickelten Fahrzeug auf. Ist es überhaupt möglich, als ein kleines Team solch ein Projekt umzusetzen. Schaut man sich die Literatur und das Internet näher an, findet man sehr wenige Informationen. Es ist kein Leitfaden oder Ähnliches zu finden. Fragt man als Privatperson bei den entsprechenden Stellen nach, wird einem vermittelt, dass dieses Thema eher den großen Autobauern vorbehalten ist. Aber man findet immer wieder kleine Fahrzeughersteller oder Veredler von Fahrzeugen die entsprechende Eigenentwicklungen auf die Straße gebracht haben. Setzt man sich näher mit diesen Herstellern auseinander, stellt man fest, dass oft Personen aus der Autoindustrie oder mit langjähriger Erfahrung mit entsprechender Expertise, diese Projekte leiten. Als Beispiele kann man Gumpert Sportwagenmanufaktur GmbH geleitet von Audi Motorsport-Chef Roland Gumpert, Alpina Burkard Bovensiepen GmbH + Co. KG oder Ruf Automobile GmbH nennen. Bei den Beiden letzten genannten Firmen, handelt es sich um Fahrzeugveredler, das bedeutet sie verändern aktuelle Marktmodelle. Trotz der fehlenden Erfahrungen im EcoEmotion Team, stellt das Team sich der Herausforderung ein eigenes straßenzugelassenes Fahrzeug zu entwickeln. Diese Masterarbeit zeigt erste Schritte für die Umsetzung auf.

### 1.3 Zielsetzung der Masterarbeit und des Projektes EcoEmotion

Die Zielsetzung der Masterarbeit ist, die Grundlagenbetrachtung zur einer möglichen Straßenzulassung des sich in Planung befindlichen Konzeptfahrzeug „Konzept 03“ des EcoEmotion Teams der Hochschule Merseburg. Dazu wird eine Übersicht der benötigten Richtlinien zusammengefasst und bewertet. Die Masterarbeit wird nicht in vollem Umfang die Entwicklung und Umsetzung des Konzeptfahrzeugs begleiten. Das Projekt wird unabhängig von der Masterarbeit weitergeführt. Die Masterarbeit liefert für weitere Fahrzeuge entsprechende Anhaltspunkte und Ideen. Für weitere Entwicklungen muss jeweils eine Recherche der aktuellen Gesetzeslage durchgeführt werden. Das Ziel des EcoEmotion Team ist die Entwicklung und Fertigung von Fahrzeugen, mit neuen Techniken, Materialien und Ideen, die am Eco Shell Marathon teilnehmen. Es können Studenten aus den verschiedenen Studienbereichen ihre Fähigkeiten an einem realen Projekt erweitern und miteinander vertiefen.

### 1.4 Grenzen der Masterarbeit

Die Masterarbeit ist kein kompletter Leitfaden zur Zulassung eines Fahrzeugs. Auf Grund der Vielzahl von Richtlinien, Normen und Vorschriften ist es nicht möglich in der Kürze der Zeit und im begrenzten Umfang der Masterarbeit einen kompletten Leitfaden zu erstellen. Es ist auch nicht möglich jede Richtlinie, Norm und Vorschrift bis ins kleinste Detail in die Masterarbeit einfließen zulassen. Deshalb wird die Bewertung der Machbarkeit nicht explizit auf jede Richtlinie eingehen. Sondern dieses allgemeiner bewerten, um einen Einstieg für die Straßenzulassung des Projektes zu ermöglichen. Diese Masterarbeit wird auf die Baugruppe Rad, diese umfasst die Bremse, Felge und Bereifung umfassend eingehen und an diesem Beispiel den Umfang der Normen und Richtlinien erläutern. Für weitere Baugruppen wird grob umrissen, welche Probleme auftreten können und es werden Möglichkeiten zur erfolgreichen Umsetzung aufgezeigt. Der Leser muss und soll einen Eindruck über den Umfang bekommen, was es bedeutet ein Fahrzeug von der Idee bis zu deren Zulassung zu konzipieren. Da nur eine Baugruppe konkret betrachtet werden kann, ist es nicht möglich konkrete Angaben zum Vorgang der behördlichen Zulassung zu geben. Hierfür muss das komplette Fahrzeug einer Prüfstelle, TÜV, DEKRA oder anderer Anbieter, vorgestellt werden. Bei diesem Vorgang ist es nicht ausgeschlossen, dass weitere Probleme mit den rechtlichen Grundlagen auftreten können. Im EcoEmotion Team fehlen entsprechende Erfahrungen.

## 1.5 Herangehensweise an die Masterarbeit

Die Umsetzung der Aufgabenstellung gliedert sich in vier Hauptbereiche.

1. - Einen Überblick der historischen Entwicklung der nationalen und internationalen gesetzlichen Grundlagen.
  - Die Herausarbeitung und Darstellung der Randbedingungen und Anforderung des Projektes EcoEmotion.
2. - Die Nennung und Herausarbeitung der nationalen und internationalen gesetzlichen Grundlagen für das Projekt.
  - Vorstellen der Fahrzeugklassen und Einordnung des Fahrzeugs in diese.
  - Vorstellen der Typen- und Serienzulassungen und Einordnung des Fahrzeugs in diese.
3. - Zusammenfassung und Bewertung der anzuwendenden Richtlinien und Normen für die Klasse M<sub>1</sub> und L7e.
  - Betrachtung am Beispiel einer bestimmten Baugruppe, bezüglich der Machbarkeit unter Beachtung der Richtlinien und Normen diese Baugruppe.
  - Berechnung und Auslegung der Baugruppe Rad mit Bremse, Felge und Bereifung.
4. - Vergleich des Shell Marathon Reglements mit den gesetzlichen Grundlagen an einer Baugruppe.

## **2 Antriebskonzeptes des Konzeptfahrzeugs**

Das gewählte Antriebskonzept für das Konzeptfahrzeug bestimmt die weitere Vorgehensweise in der Masterarbeit. Entsprechend dieses müssen Richtlinien, Normen und Vorschriften ausgewählt und umgesetzt werden. Der Umfang dieser kann sich erheblich nach dem Fahrzeugkonzept unterscheiden. Die aktuelle Planung geht von zwei Antriebsmöglichkeiten aus. Für den Shell Eco Marathon wird ein Diesel-Motor der Firma Hatz eingesetzt. Die straßenzugelassene Version des Fahrzeuges soll ein Elektroantrieb besitzen. Ein Einsatz des Hatz-Diesel für die Straßenzulassung ist nicht möglich. Dieser erfüllt nicht die vorgegebenen Richtlinien der Abgasemissionen für eine Straßenzulassung. Im Wandel der aktuellen Antriebsdiskussionen ist der Elektroantrieb die bessere Wahl. Es ist damit zu rechnen, dass eine weitere Verschärfung der Abgasnormen in Zukunft vorgenommen wird.

## **3 Randbedingungen und Anforderungen**

Bei diesem Projekt sind eine Vielzahl von Randbedingungen zu beachten und Anforderungen umzusetzen. Die Randbedingen, siehe Tabelle 1 Randbedingungen werden durch das Projektumfeld vorgegeben, sind nicht beeinflussbar und müssen als gegebene Größen akzeptiert werden. Da es für das Fahrzeug selber keinen Auftraggeber gibt, müssen keine kundenspezifischen Anforderungen umgesetzt werden. Das Fahrzeug dient als Forschungsprojekt und ist somit in der technischen Gestaltung und Umsetzung offen, muss sich aber an die Anforderungen halten. Die Anforderungen die gesetzt werden sind einmal die Teilnahme am Shell Eco Marathon und die Straßenzulassung. Das Shell Eco Marathon Reglement muss in vollem Umfang erfüllt werden, um die Teilnahme am Shell Eco Marathon zu garantieren. Für die Straßenzulassung wird die Machbarkeit und Umsetzung in dieser Masterarbeit geprüft. Weitere Anforderungen sind für diese Masterarbeit nicht relevant. Um die Anforderung der Straßenzulassung umzusetzen, gibt es zwei Möglichkeiten. Einmal die Einordnung des Konzeptfahrzeugs in die Klasse M<sub>1</sub> oder L7e. Bei der Klasse M<sub>1</sub> handelt es sich um die Fahrzeugklasse PKW. Die Klasse L7e ist im Bereich der Zwei- und Dreiräder angesiedelt. Die Umsetzung der Klasse M<sub>1</sub> ist mit den vorhandenen Mitteln nur bedingt bis gar nicht umsetzbar. Zu dieser Entscheidung ist man im EcoEmotion Team gekommen. Deshalb wurde die Betrachtung der Machbarkeit der Klasse L7e vorgegeben mit der Maßgabe der weiteren Teilnahme am Shell Eco Marathon. Falls die Vorgaben des Shell Eco Reglement denen der zulassungsfähigen Vorgaben widerspricht, sollen entsprechend den Vorgaben jeweils eine Lösung erarbeitet werden.

Randbedingungen	Beschreibung
technische	Diese werden durch die Materialeigenschaften gesetzt. Sie müssen bei der Entwicklung und Umsetzung der Bauteile und Baugruppen beachtet werden. Die Fertigung erfolgt teilweise an der Hochschule bzw. es werden Aufträge an Firmen vergeben.
organisatorische	Die Umsetzung des Projektes findet in der Freizeit der Studenten statt, damit ist es nur bedingt planungsfähig. Das EcoEmotion Team ist ständigen Veränderungen durch ausscheidende und neuen Teammitgliedern unterworfen, deshalb können große Projektabschnitte nur schwer umgesetzt werden. Die fehlende und feste Struktur des Teams führt zum Verlust von Informationen. Auf kurzfristige technische Veränderungen oder Anforderungen, die die Beschaffung neuer Materialien erfordern, kann man nicht schnell reagieren. Die gesetzlichen Vorgaben für öffentliche Gelder und die damit verbundene Kontrolle machen eine schnelle Beschaffung unmöglich.
rechtliche	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Shell Eco Reglement</li> <li>• StVZO</li> <li>• EU Richtlinien entsprechend den Fahrzeugklassen</li> <li>• ECE-Normen</li> <li>• Vorgaben Umgang mit öffentlichen Gelder</li> </ul>
ökonomische	Das Budget ist vorgegeben durch die zugeteilten HSP-Mittel der Hochschule, welche jedes Jahr neu beantragt werden müssen. Damit ist nur eine bedingte Planungssicherheit vorhanden. Das Projekt muss verantwortungsvoll und zielorientiert mit den zugeteilten HSP-Mitteln umgehen. Jährlich wird Rechenschaft über die erreichten Fortschritte und den Einsatz der Gelder abgelegt.
politische	Das Projekt muss in das Konzept der Hochschule passen und wird damit entsprechend durch die Hochschule unterstützt. Die Firma Shell unterstützt das Projekt, indem Sie den Austragungsort zur Verfügung stellen. Das Projekt bzw. Konzeptfahrzeug wird zu verschiedenen Messen und Ausstellungen präsentiert.
zeitliche	Das Fahrzeug muss zu dem jährlichen Termin des Shell Eco Marathon einsatzbereit sein. Es sind keine weiteren Termine für ähnliche Events vorgesehen.

**Tabelle 1 Randbedingungen**

## 4 Official Rules Shell Marathon

Für die Entwicklung und Bau des Fahrzeugs sind die offiziellen Vorgaben des Shell Eco Marathon bindend, welche jährlich angepasst und entsprechend verändert werden. Deshalb müssen die jährlichen Veränderungen des Dokumentes beachtet werden. Das nicht einhalten der Vorgaben führt zur Verweigerung der Zulassung auf die Strecke. Das Dokument ist in die Abschnitte Organisation, Sicherheit, Fahrzeugdesign, Antriebstypen, Telemetrie-Zubehör und Auszeichnungen und Preise gegliedert. Die Vorgaben sind relativ allgemein gehalten und lassen einen großen Spielraum für eigene Entwicklungen. Als Beispiele:

### Artikel 36: Geräuschpegel

Der Geräuschpegel des Fahrzeugs darf 90 dBA nicht überschreiten, wenn er vier Meter vom Fahrzeug entfernt gemessen wird.

### Artikel 45: Fahrzeugdimensionen

- a) Die Gesamtfahrzeughöhe muss zwischen 100 cm und 130 cm betragen.
- b) Die Gesamtfahrzeugbreite, ohne Rückspiegel muss zwischen 120 cm und 130 cm betragen.
- c) Die gesamte Fahrzeuglänge muss zwischen 220 cm und 350 cm betragen.
- d) Die Spurbreite muss mindestens 100 cm für die Vorderachse und 80 cm für die Hinterachse betragen (gemessen zwischen den Mittelpunkten bei Bodenberührung der Reifen).
- e) Der Radstand muss mindestens 120 cm betragen.
- f) Die Fahrerkabine muss eine Mindesthöhe von 88 cm und eine Breite von mindestens 70 cm an den Schultern des Fahrers betragen.
- g) Die Bodenfreiheit muss mindestens 10 cm, mit dem Fahrer (und allen notwendige Ballast) betragen.
- h) Das maximale Fahrzeuggewicht (ohne Fahrer) beträgt 225 kg.

Die Vorgaben des Eco Shell Marathon Reglements sind technisch umsetzbar. Es ist jedem Team möglich eine entsprechende konstruktive und bauliche Umsetzung zu erbringen. Die Organisations-, Sicherheits- und Technikvorgaben (z.B. für das maximale Fahrzeuggewicht, Lenkradius und Fahrzeugabmaße) sind konkret und lassen keinen Spielraum für Interpretationen zu. Für die erfolgreiche technische Abnahme, z.B. des Antriebs, muss ein lückenloser Nachweis, mit Hilfe von Dokumentation erbracht werden. Die bauliche Umsetzung, z.B. elektrischer Komponenten, muss den technischen Standards entsprechen, um Gefahrenquellen zu vermeiden. Besonders sensibler Umgang erfordert die Baugruppe Antrieb im Bereich Wasserstoff und Elektrik. Wasserstoffantriebe bergen in sich ein hohes Gefahrenpotential durch Explosionen. Elektrische Antriebe arbeiten im Spannungsbereich von 12 V bis 60 V. Für den Nutzer nicht erkennbar, führen diese Spannungen bei Berührung zu Verletzungen.

## 5 Einordnung Konzeptfahrzeug in die Fahrzeugklasse

Dieser Abschnitt gibt einen Überblick der Fahrzeugklassen, siehe Abbildung 5-2 Fahrzeugklassen, und ordnet das Konzeptfahrzeug ein. Eine Einordnung schreibt das Zulassungsverfahren vor. Diese bestimmt den Umfang der erforderlichen Bestimmungen und Regelungen, die einzuhalten sind. Als Grundlage dient die *Richtlinie 2007/46/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 5. September 2007 zur Schaffung eines Rahmens für die Genehmigung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhänger sowie von Systemen, Bauteilen und selbständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge* (Rahmenrichtlinie). Aus dieser Rahmenrichtlinie folgen dann weitere Richtlinien für die entsprechende Fahrzeugklasse. Nach erster Bestandsaufnahme ist man von einem Fahrzeug der Klasse  $M_1$  ausgegangen. Diese Klasse ist am nächsten liegend. Wenn man sich am Design orientiert, erfüllt das Konzeptfahrzeug eine Vielzahl von Merkmalen eines PKWs und ähnelt einem zwei- oder dreirädrigen Fahrzeug nicht. Die Klasse  $M_1$  wird wie folgt definiert, „Für Personenbeförderung ausgelegt und gebaute Kraftfahrzeuge mit mindestens vier Rädern“. Wie man sich jetzt vorstellen kann, sind die entsprechenden Richtlinien, Normen und Vorschriften sehr umfangreich. Es ist nicht ohne weiteres möglich diese Richtlinien, Normen und Vorschriften umzusetzen. Vor allem nicht für so ein kleines Team mit begrenzten Ressourcen. Die Entwicklung eines Fahrzeugs in der Klasse  $M_1$  würde mehrere Jahre dauern. Deshalb stellt sich hier die Frage, ob nicht die Idee der Straßenzulassung zu weit gegriffen ist. Nach Rücksprache mit dem EcoEmotion Team, möchte man weiter an einer Straßenzulassung festhalten. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, dass man nach weiteren Möglichkeiten der Umsetzung sucht. Die Grundrichtlinie gibt Hinweise und beschreibt eine weitere entsprechende Fahrzeugklasse, die für das Konzeptfahrzeug in Betracht gezogen werden kann. Nach dem *Artikel 2 Geltungsbereich Abschnitt 2 b „vierrädrige Fahrzeuge im Sinne der Richtlinie 2002/24/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. März 2002 über Typengenehmigung für zweirädrige oder dreirädrige Kraftfahrzeuge* ist die Zulassung des Konzeptfahrzeugs zu realisieren. Die Verweise, in der *Richtlinie 2002/24/EG*, auf die umzusetzenden technischen Richtlinien sind inhaltlich nicht so umfangreich wie die für die Klasse  $M_1$ . Was ist ein vierrädriges Fahrzeug, welches nach zweirädriger oder dreirädriger Richtlinie zugelassen wird? In verschiedenen Großstädten kann man sogenannte Straßenkarts, siehe Abbildung 5-1 F-Kart, im Straßenverkehr beobachten. Diese werden gerne für Stadtbesichtigungen eingesetzt.



**Abbildung 5-1 F-Kart<sup>1</sup>**

Die Nutzung der Fahrzeuge im Straßenverkehr ist sehr umstritten. Sie besitzen nur passive Sicherheitseinrichtungen. Ihr Aufbau ist nicht sehr hoch und können so schnell von anderen Verkehrsteilnehmern übersehen werden. Trotz dieser mangelhaften Sicherheit, erfüllen diese Fahrzeuge die technischen Richtlinien und müssen demzufolge eine Zulassung erhalten.

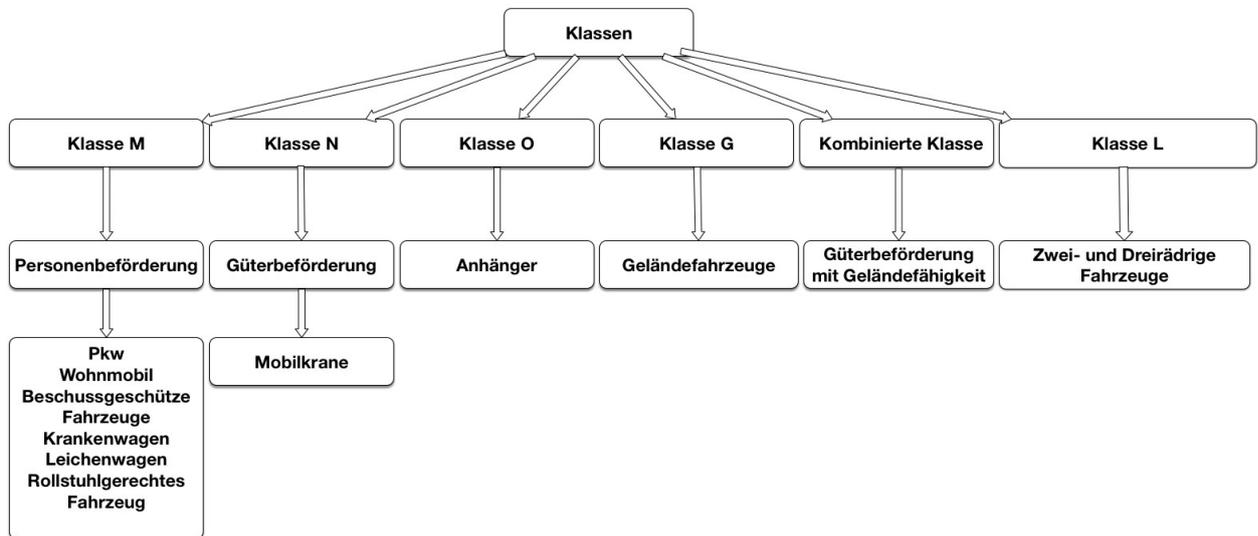
Für das weitere Vorgehen muss erst einmal überprüft werden, ob das Konzeptfahrzeug des EcoEmotion Teams den Vorgaben der *Richtlinie 2002/24/EG* entspricht. In *Kapitel 1 Geltungsbereich und Begriffsbestimmung Artikel 1 Abschnitt (3) b)* wird genau definiert wie ein vierrädriges Fahrzeug gebaut sein muss. Folgende Vorgaben müssen eingehalten werden. Es ist eine maximale Masse von 400 kg ohne Batterien und maximale Nutzleistung von bis zu 15 kW einzuhalten. Das Konzeptfahrzeug entspricht diesen Vorgaben und darf als dreirädriges Fahrzeug mit entsprechenden technischen Vorgaben für dreirädrige Fahrzeuge zugelassen werden. Es wird in die Klasse L7e eingeteilt.

Bei Betrachtung der beiden doch umfangreichen Richtlinien *2002/24/EG* und *2007/46/EG* fällt auf, dass für ein Fahrzeug der Klasse M<sub>1</sub> es viel mehr Vorschriften für den passiven Schutz gibt. Analysiert man zum Beispiel, die Richtlinie *96/27/EG* für den Seitenaufprall, müssen entsprechende Werte durch Crashtests nachgewiesen werden. Eine Umsetzung aus technischer Sicht steht nichts im Wege. Diese Nachweise für die verschiedenen Crashtests sind für das EcoEmotion Team nicht leistbar, da die finanziellen Mittel im notwendigen Umfang nicht zur Verfügung stehen und der

---

<sup>1</sup><https://www.google.de/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwizdPJ6-zaAhUsLcAKHSyzCXAQjRx6BAGBEAU&url=https%3A%2F%2Fwww.kiosk-koerbecke.de%2Fstrassen-kart-vermietung%2F&sig=AOvVaw1m5v3ir9MwtszgFND4oMhk&ust=1525550130931835>

Zeitraumen nicht gegeben ist. Es steht im Vordergrund die Teilnahme am Shell Eco Marathon. Für die Klasse L7e entfallen alle diese Vorschriften. Aus Sicherheitsgründen wird aber bei der Umsetzung des Konzeptfahrzeugs auf passive Sicherheit geachtet. Mit dem Fahrzeug können Geschwindigkeiten über 100 km/h erreicht werden. Durch Konstruktionsmängel dürfen keine Gefahren vom Konzeptfahrzeug ausgehen.



**Abbildung 5-2 Fahrzeugklassen**

## 6 Vorstellung gesetzlicher Typengenehmigungen und -serien

Die *Rahmenrichtlinie 2007/46/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS* ist die Grundlage und Einstieg in die verschiedenen Richtlinien. Dieser Abschnitt beschreibt die verschiedenen Möglichkeiten der Typengenehmigung und -serien, siehe Abbildung 6-1 Typengenehmigungen, die wiederum entscheidend ist für den Umfang der anzuwendenden Richtlinien. Die großen Hersteller wenden das *EG-Typengenehmigungsverfahren*, welches das umfangreichste ist, an. Sie können ihre Fahrzeuge ohne Einschränkungen im Binnenmarkt verkaufen. Bis zur Harmonisierung gemeinsamer Vorschriften, ist es den Ländern möglich unter nationalen Vorgaben Einzelgenehmigungen für Fahrzeuge vorzunehmen. Dieses Verfahren dient als Übergangsbestimmung und stellt keine Dauerlösung dar. Für das Konzeptfahrzeug, ist die *StVZO* die nationale Vorschrift die angewendet werden kann. Im *Kapitel 1 Allgemeine Bestimmungen Artikel 2 Geltungsbereich (2) b* der *Rahmenrichtlinie 2007/46/EG* beschreibt den Geltungsbereich und verweist für vierrädrige Kraftfahrzeuge auf die *Richtlinie 2002/24/EG* der Klasse L. Diese *Richtlinie 2002/24/EG* findet Anwendung für die angestrebte Zulassung des Konzeptfahrzeugs. Unter Punkt *Kapitel 1 Allgemeine Bestimmungen Artikel 2 Geltungsbereich (4) b* der *Rahmenrichtlinie 2007/46/EG* ist eine Einzelgenehmigung für Prototypen fakultativ möglich, dort heißt es: „*Prototypen von Fahrzeugen, die unter Verantwortung eines Herstellers zur Durchführung eines speziellen Testprogramms auf der Straße betrieben werden, sofern sie speziell für diesen Zweck konstruiert und gebaut wurden*“. Eine Zulassung als Prototyp für eine Hochschule ist möglich. Dabei ist zu bedenken, dass dieses Fahrzeug auch versichert werden muss. Die Kfz-Haftpflichtversicherung ist gesetzlich vorgeschrieben. Hier wird es Probleme geben einen entsprechenden Anbieter zu finden. Das entwickelte Konzeptfahrzeug der Hochschule soll sich im Alltag bewähren und nicht nur unter Durchführung eines speziellen Testprogrammes genutzt werden dürfen. Unter dem *Kapitel IX Kleinserienfahrzeuge Artikel 22 EG-Kleinserien-Typgenehmigung* der *Rahmenrichtlinie 2007/46/EG* wird auf die Möglichkeit einer Kleinserie im Umfang von 1000 Fahrzeugen der Fahrzeugklasse M<sub>1</sub> eingegangen. Die Anzahl der umzusetzenden Richtlinien der *EG-Kleinserien-Typgenehmigung* ist sehr umfangreich. Wichtig ist, es entfallen entscheidende Richtlinien, 53. Frontalaufprall, 54. Seitenaufprall und 58. Fußgängerschutz, gegenüber der allgemeinen *EG-Typengenehmigung* der Klasse M<sub>1</sub>. Weitere anzuwendende Richtlinien müssen nicht vollständig nach Rechtsakt umgesetzt, sondern es dürfen vorgesehene Ausnahmen angewendet werden. Der *Artikel 23 Nationale Kleinserien-Typgenehmigung* der *Rahmenrichtlinie 2007/46/EG* räumt die Möglichkeit des Absehens von einer oder mehreren umzusetzenden Richtlinien ein. Alternativ müssen entsprechende Anforderungen festgelegt werden. Diese Forderungen müssen der Verkehrssicherheit und dem Umweltschutz der *Rahmenrichtlinie 2007/46/EG Anhang IV bzw. Anhang XI* entsprechen. Somit wird einer Bevorteilung nationaler Hersteller entgegengewirkt. Auch

unterscheiden sich die Typengenehmigungen im Umfang der Stückzahl, *nationale Kleinserien-Typgenehmigung* von 75 Fahrzeugen der Klasse M<sub>1</sub> gegenüber EG-Kleinserien-Typgenehmigung der Stückzahl von 1000 Fahrzeugen der Klasse M<sub>1</sub>. Im *Kapitel X Einzelgenehmigung Artikel 24 Einzelgenehmigung der Rahmenrichtlinie 2007/46/EG* wird den Mitgliedstaaten die Möglichkeit eingeräumt, einzelne Fahrzeuge von einem oder mehreren Bestimmungen im *Anhang IV bzw. Anhang XI der Rahmenrichtlinie 2007/46/EG* zu befreien. Aber wie auch bei der *Nationalen Kleinserien-Typgenehmigung* müssen entsprechende alternative Anforderungen festgelegt werden. Das Absehen von einzelnen Richtlinien muss stichhaltig von den Mitgliedsländern begründet werden. Diese alternativen Forderungen müssen der Verkehrssicherheit und dem Umweltschutz der *Rahmenrichtlinie 2007/46/EG* im *Anhang IV bzw. Anhang XI* entsprechen. Zu beachten ist, dass die Einzelgenehmigung nur auf den Hoheitsgebieten des erteilten Mitgliedstaates gilt. Ein Verkauf und Betrieb in einem anderen Mitgliedstaat setzt die Gleichwertigkeit der Vorschriften voraus. Es wird nicht möglich sein ein Fahrzeug mit alternativen Anforderungen zuzulassen. Den lückenlosen Nachweis der Gleichwertigkeit der Anforderungen zu erbringen, ist in Umfang und Exaktheit sehr schwierig. Entsprechende Prüfstellen müssen Verantwortung übernehmen und das kann sich als problematisch herausstellen. Das gleiche gilt auch für die Zulassung als Prototyp. Deshalb sollte von allen dieser Ausnahmen abgesehen werden und eine Zulassung nach den *Richtlinien 2002/24/EG* der Klasse L7e erfolgen.

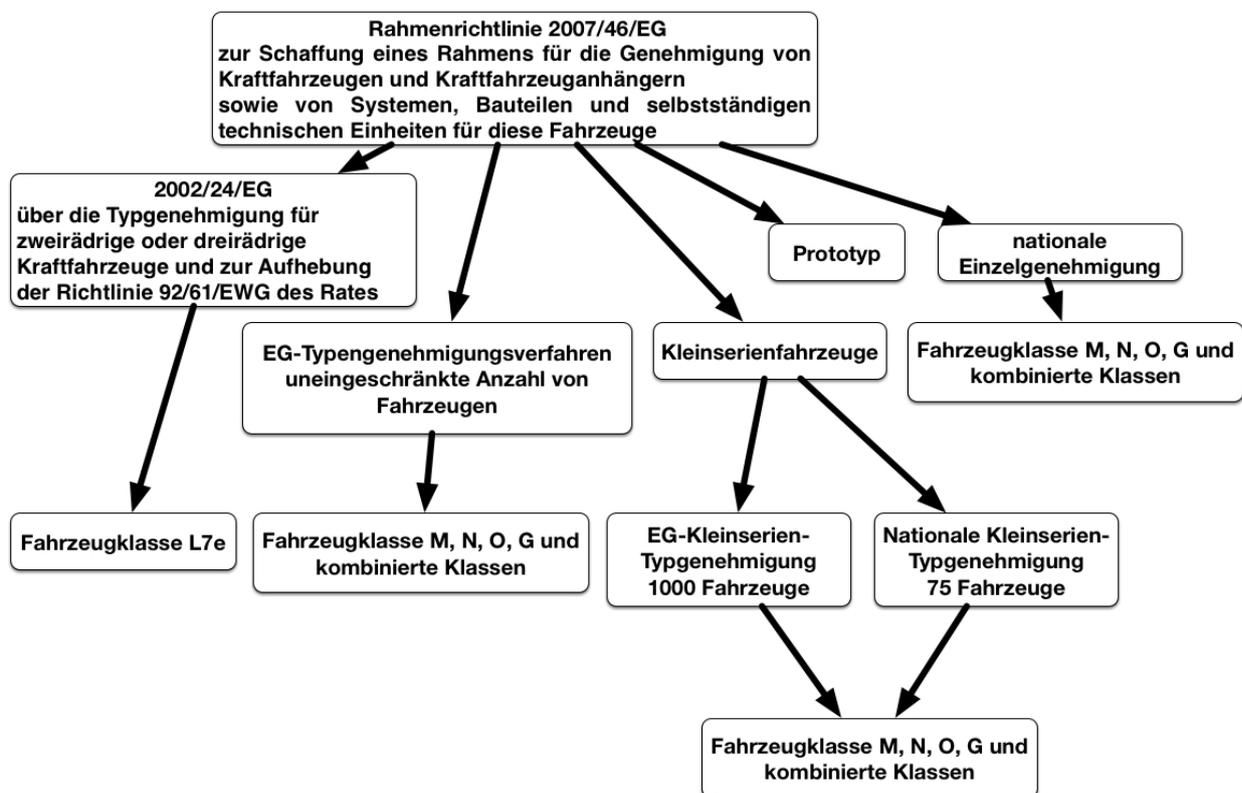


Abbildung 6-1 Typengenehmigungen und -serien

## **7 Historischer Überblick Gesetzgebung und Vorschriften/Richtlinien**

Mit Beginn des Automobilbaus wurde die Kfz-Haftpflichtversicherung eingeführt, es folgten die ersten Verkehrszeichen, Verkehrsregelungen bis zu technischen Vorgaben und Umweltfragen. Die folgenden Abschnitte stellen die Notwendigkeit der Entwicklung dar.

### **7.1 Historischer Überblick Gesetzgebung seit der Entwicklung der Automobiltechnik**

Besonders bemerkenswert ist, dass es für den Betrieb von Fahrzeugen schon Anfang 1900 in Deutschland eine Kfz-Haftpflichtversicherung eingeführt wurde. Zunächst spielten bei der Entwicklung und Bau von Fahrzeugen Umweltfragen, Fahrzeugsicherheit und Wiederverwertung keine Rolle. Die änderte sich erst nach dem zweiten Weltkrieg. Es entstand eine Vielzahl von kleinen Transportmitteln, zum Beispiel die BMW Isetta oder Messerschmitt Kabinenroller. Die Fahrzeuge lösten die große Menge an Motorrädern ab. Die Bevölkerung sehnte sich nach Fahrzeugen die einen trockenen Transport ermöglichen. Dieser Umbruch spiegelt sich in der Vielzahl von Konkursen nieder, die die Motorradindustrie in den sechziger Jahren hinnehmen mussten. Darunter ist der bedeutende Hersteller Horex, die 1960 nach der Übernahme durch Daimler-Benz AG geschlossen wurde. Das Verkehrsaufkommen ist enorm gewachsen. In den sechziger Jahren begann man in den USA Sicherheits- und Emissionsvorschriften einzuführen. Maßgeblich Einfluss übte der Verbraucherschutz Ralph Nader mit seiner Sicherheitskampagne und die Sicherheitsvorschriften für den Kauf von Behördenfahrzeugen aus. Diese beiden wichtigen Ereignisse führten zu den Federal Motor Vehicle Safety Standards. Das umfangreiche Vorschriftenwerk umfasst alle Fahrzeugteile. Bis zum heutigen Tag wird dieses gepflegt und erweitert. Weitere Impulse gingen von den internationalen weltweiten Sicherheitskonferenzen aus. In diesen Konferenzen treffen sich Unfallforscher, Biomechaniker, Ingenieure und Vertreter von Gesetzgebern, um neue Erkenntnisse und Ergebnisse zu diskutieren und zu bewerten. Zu Beginn der siebziger Jahre gab es verschiedene innovative Wettbewerbe für Lösungen an Experimentierfahrzeugen und Teilsystemen. Aber nicht nur die Fahrzeughersteller haben einen Einfluss auf die Fahrzeugsicherheit, auch neue Erkenntnisse aus dem Straßenbau, Signalgebung, klare Verkehrszeichen, Führerscheinausbildung sowie Begrenzung und Verbot von Alkohol- und Drogenkonsum haben einen großen Beitrag geleistet.

### **7.2 Entwicklung der nationalen und internationalen Vorschriften**

Bevor es eine internationale Zusammenarbeit auf EU-Ebene und weltweit gab, ist das nationale Recht für den jeweiligen Staatsbürger bindend. Ausgehend vom nationalen Recht baut sich das internationale Recht auf und kann dieses teilweise ersetzen. Diese Vereinheitlichung soll zu einer Vereinfachung des Güterverkehrs und

Finanzaustausch führen. Trotz dieser Anpassungen findet man viele Unterschiede im Bereich der nationalen Straßenvorschriften. Es gibt extreme Unterschiede im Bereich Bußgelder die aus den Ordnungswidrigkeiten resultieren und Höchstgeschwindigkeiten. Im Bereich der baulichen Vorgaben gibt es kaum noch Unterschiede und die EU-Länder haben sich verpflichtet die Harmonisierung weitervorzubringen. Die baulichen Richtlinien die Europaweit gelten werden durch die internationalen ECE-Normen erweitert. Der Umfang der ECE-Normen bezieht sich auf technische Vorschriften für Kraftfahrzeug jeglicher Klassen, Teile und Ausrüstungsgegenstände. Die ECE-Normen sind für teilnehmende Länder bindend. Das Ziel ist es, das gefertigte Fahrzeuge und Teile in jedem Land anerkannt werden und nicht noch einer weiteren nationalen Prüfung unterzogen werden müssen.

### 7.3 Historische Entwicklung der nationalen StVO und StVZO Deutschland

Bei der StVO und StVZO handelt es sich um eine Rechtsverordnung, die durch die Exekutive erlassen und verändert werden darf. Die Exekutive wurde durch eine parlamentarische Gesetzgebung dazu ermächtigt. Die StVZO (Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung) hat ihren Ursprung im Reichsblatt von 1937 und hieß *Verordnung über Zulassung von Personen und Fahrzeugen zum Straßenverkehr*. Die *Verordnung über Zulassung von Personen* regelt die Vergabe der Fahrerlaubnis und die *Verordnung über Zulassung von Fahrzeugen* regelt die Bau- und Betriebsvorschriften. Dagegen beinhaltet die StVO (Straßenverkehrsordnung) das Miteinander im Straßenverkehr, welches durch I. Verkehrsregeln, II. Zeichen und Verkehrseinrichtungen und III. Durchführungs-, Bußgeld- und Schlussvorschriften geregelt wird. Die erste Rechtsverordnung wurde am 28. Mai 1934 vom Reichsverkehrsminister Freiherr von Elz erlassen. Bis 1945 wurde eine Vielzahl von Novellen in die Straßenverkehrsordnung eingepflegt und somit wuchs auch der Umfang an Regeln. Interessant ist, dass die StVO bis 1956 in der DDR und bis 1971 in der BRD in ihrer ursprünglichen Form von 1937 gültig war. In den jeweiligen Ländern wurden entsprechende Veränderungen, hervorgerufen durch den wachsenden und veränderten Verkehr, an der StVO vorgenommen. Mit dem Beitritt der DDR zur Bundesrepublik Deutschland gilt seit dem 3. Oktober 1990 die StVO der BRD auf dem ehemaligen Staatsgebiet der DDR. Bis heute wurde eine Vielzahl von Novellen in die StVO eingepflegt, um den sich immer wieder ändernden Straßenverkehr anzupassen. Als Beispiel seien hier genannt: die E-Mobilität, der wachsende Radverkehr und die Nutzung des Mobiltelefons. Die StVZO wird aktuell in Teilen in die *EG-Fahrzeuggenehmigung* und *Fahrzeug-Zulassungsverordnung (FZV)* überführt. Die endgültige Abschaffung erfolgt mit der Überführung des restlichen Teiles in die *Fahrzeug-Betriebs-Verordnung (FBV)*. Der *Abschnitt III Bau- und Betriebsvorschriften* der StVZO beschreibt die bauliche Ausführung und den Betrieb des Fahrzeuges. Dieser wird schrittweise abgeschafft und in andere Vorschriften eingegliedert. Unter dem § 30 *Beschaffenheit des Fahrzeugs*

*Punkt (4) wird darauf hingewiesen, dass „Anstelle der Vorschriften dieser Verordnung können Einzelrichtlinien in ihrer jeweils geltenden Fassung angewendet werden, die*

- 1. In Anhang IV der Richtlinie 2007/46/EG oder*
- 2. In Anhang II Kapitel B der Richtlinie 2003/37/EG oder*
- 3. In Anhang I der Richtlinie 2002/24/EG*

*In der jeweils geltenden Fassung genannt sind.“* Die StVZO wird als Verordnung für die Masterarbeit nicht weiter Anwendung finden.

## 7.4 Definition Begriffe Richtlinie und ECE-Norm

### 7.4.1 Definition Richtlinie

Im Allgemeinen ist eine Richtlinie, eine Handlungs- oder Ausführungsvorschrift einer Institution oder Instanz. Diese ist aber kein förmliches Gesetz, aber abhängig von Herausgeber kann diese Richtlinie bindend sein. Es gibt verschiedene Arten von Richtlinien, die technischen und rechtlichen Richtlinien. Technische Richtlinien zum Beispiel werden von der VDI oder VDE ausgegeben und die rechtlichen Richtlinien werden zum Beispiel als Verwaltungsvorschriften veröffentlicht. Diese werden an Beamte ausgegeben und sind nicht für Bürger oder Gerichte bindend. Für diese Arbeit sind vor allem die EU-Richtlinien von Belang. In der Europäischen Union sind EU-Richtlinien Rahmengesetze, die innerhalb einer bestimmten Zeit von den Mitgliedsstaaten in nationales Recht umgesetzt werden müssen. Es gibt auch die Möglichkeit, dass eine EU-Richtlinie ganz oder teilweise auf nationaler Ebene gelten kann, wenn der Mitgliedstaat versäumt rechtzeitig diese umzusetzen.

### 7.4.2 ECE-Normen

Im Katalog der ECE-Normen sind die international vereinbarten, einheitlichen technischen Vorschriften für Kraftfahrzeug jeglicher Klassen, Teile und Ausrüstungsgegenstände zusammengefasst. Diese sehr umfangreichen Vorschriften umfassen zum jetzigen Zeitpunkt ca. 131 Normen und werden immer den neuen technischen Anforderungen angepasst. Fahrzeuge verschiedener Klassen werden weltweit exportiert. Deren Fertigung erfolgt an weltweiten Produktionsstandorten. Somit haben diese Regelungen einen grundlegenden technischen und wirtschaftlichen Hintergrund, z.B. die gegenseitige Anerkennung von Genehmigungen und die Verbauung und Benutzung von Teilen anderer Staaten mit einem Genehmigungszeichen wird ermöglicht. Das Genehmigungszeichen setzt sich aus einem E mit der Länderkennung als Zahl zusammen, als Beispiel mit dem „E<sub>1</sub>“ Zeichen werden Teile aus Deutschland markiert. Weitere Staaten, die die ECE-Regelungen anerkannt haben sind die europäischen Staaten, aber auch Japan, die Russische Föderation, Australien und andere. Durch diese gegenseitige Anerkennung wird das Genehmigungsverfahren der Erteilung einer Betriebserlaubnis vereinfacht.

## 8 Betrachtung und Bewertung der Umsetzbarkeit der Fahrzeugklassen

Es wurde sich auf die Umsetzung der Klasse L7e für das Konzeptfahrzeug festgelegt. Während der Recherche der Richtlinien hat sich die Frage, ob auch eine Umsetzung der Klasse M<sub>1</sub> möglich ist, gestellt. Es wird geklärt, wie weit sich die Richtlinien im Umfang und Inhalt der Fahrzeugklassen unterscheiden. In den verschiedenen Unterpunkten des Abschnittes Betrachtung und Bewertung wird eine Einordnung und Bewertung der Richtlinien, Normen und Vorschriften der Fahrzeugklasse L7e und M<sub>1</sub> vorgenommen. Es ist nicht möglich jede einzelne Richtlinie bis ins kleinste Detail zu analysieren. Das ist auch nicht das Ziel dieser Masterarbeit und würde den Umfang überschreiten. Am Beispiel der Baugruppe Bremse wird detaillierter auf die Richtlinien, Normen und Vorschriften eingegangen.

### 8.1 Bewertung der Machbarkeit Fahrzeugklasse M<sub>1</sub>

Dieser Abschnitt klärt, wie realistisch ist es ein selbstentwickeltes und gebautes Fahrzeug als Fahrzeugklasse M<sub>1</sub> zuzulassen. Nach dem Auseinandersetzen mit der *Rahmenrichtlinie 2007/46/EG* ist für die Zukunft des Projektes realisierbar, eine *EG-Typengenehmigung Kleinserienfahrzeuge* der Klasse M<sub>1</sub> zu erlangen. Dafür sind in der Zukunft große Anstrengungen im Bereich Personal und Geld notwendig. Im *Anhang IV Ausstellung der für EG-Typengenehmigung von Kleinserienfahrzeugen Klasse M<sub>1</sub> der Rahmenrichtlinie 2007/46/EG* findet man die entsprechenden Rechtsakte die umzusetzen sind. Analysiert man die Vorschriften genauer, stellt man fest, dass nicht alle vollständig umgesetzt werden müssen. In den nachfolgenden Tabellen, werden die Richtlinien genannt und nach ihrer Umsetzbarkeit bewertet. Die farbliche Unterlegung soll als Orientierung für die Bewertung der Realisierung dienen. Die grauen Felder kennzeichnen alle Vorschriften, die entweder für Elektrofahrzeuge nicht anzuwenden oder Bauteile, die nicht am Fahrzeug vorgesehen sind. Mit grün sind die Felder gekennzeichnet, die gering in zeitlicher, technischer, finanzieller und komplexer Hinsicht sind. Die geforderten Daten können einfach und schnell beschafft werden. Die verbauten Baugruppen und Teile können als Zukaufteile mit ECE-Norm leicht mit geringem Zeitaufwand montiert werden. Die zu erwartenden Probleme bei der Abnahme des Fahrzeuges sind als gering einzuschätzen. Dagegen sind die orange gekennzeichneten Felder mit mittlerer bis hohem in zeitlicher, technischer, finanzieller und komplexer Hinsicht bewertet. Die geforderten Daten können nur mit entsprechendem Aufwand selbst erstellt oder vom Hersteller beschafft werden. Auch wird die Eigenentwicklung und der Bau von Baugruppen nötig. Der Nachweis der Funktionen und Sicherheit dieser Baugruppen ist mit entsprechendem hohem Aufwand verbunden. Es ist mit Problemen bei der Abnahme des Fahrzeuges zurechnen. Die rote

Kategorie ist als fast nicht Umsetzbar anzusehen nur mit großen technischen, personellen, finanziellen und zeitlichen Aufwand.

Rubrik	Gegenstand	Richtlinie	ECE-Norm
8	Einrichtung für indirekte Sicht	2003/97/EG	46 Rückspiegel 46 Einrichtungen für indirekte Sicht
21	Rückstrahler	76/757/EWG	03 Rückstrahler
22	Umriss-, Begrenzungs-, Schluss-, Tagfahr-, Brems- und Seitenmarkierungsleuchten	76/758/EWG	07 Leuchten 87 Tagfahrleuchten 91 Seitenmarkierungsleuchten
23	Fahrrichtungsanzeiger	76/759/EWG	06 Fahrtrichtungsanzeiger
24	Hintere Kennzeichenbeleuchtung	76/760/EWG	04 Hintere Kennzeichenbeleuchtung
25	Scheinwerfer (einschließlich Glühlampen)	76/761/EWG	01 Scheinwerfer (R <sub>2</sub> und HS <sub>1</sub> ) 05 Scheinwerfer (sealed beam) 08 Scheinwerfer (H <sub>1</sub> , H <sub>2</sub> , H <sub>3</sub> , HB <sub>3</sub> , HB <sub>4</sub> , H <sub>7</sub> und/oder H <sub>8</sub> ) 20 Scheinwerfer (H <sub>4</sub> ) 31 Scheinwerfer (Halogen sealed beam) 37 Glühlampen zur Verwendung in genehmigten Leuchten 98 Scheinwerfer mit Gasentladungslichtquellen 99 Gasentladungs-Lichtquellen für genehmigte Gasentladungs-Leuchteinheiten
26	Nebelscheinwerfer	76/762/EWG	19 Nebelscheinwerfer
28	Nebelschlussleuchten	77/538/EWG	38 Nebelschlussleuchten
29	Rückfahrcheinwerfer	77/539/EWG	23 Rückfahrcheinwerfer
30	Parkleuchten	77/540/EWG	77 Parkleuchten
33	Kennzeichnung der Betätigungseinrichtungen	78/316/EWG	Keine ECE-Norm
45	Sicherheitsglas	92/22/EWG	43 Sicherheitsglas

Rubrik	Gegenstand	Richtlinie	ECE-Norm
46	Luftreifen	92/23/EWG	30 Luftreifen, Kraftfahrzeug und ihre Anhänger 54 Luftreifen, Luftreifen, Nutzfahrzeuge und ihre Anhänger 64 Noträder/-reifen 117 Reifenrollgeräusch 117
50	Verbindungseinrichtungen	94/20/EG	55 Verbindungseinrichtungen

**Tabelle 2 Vollständige Umsetzung**

Die aufgeführten Richtlinien in, Tabelle 2 Vollständige Umsetzung, müssen wie folgt umgesetzt werden. „Die vollständige Einhaltung des Rechtsakts ist erforderlich; ein EG-Typengenehmigungsbogen ist auszustellen; die Übereinstimmung der Produktion ist zu gewährleisten.“ Betrachtet man die Vorschriften aus, Tabelle 2 Vollständige Umsetzung, handelt es sich bis auf Rubrik 8 und 33 um Zukaufteile. Natürlich ist eine Eigenentwicklung der anderen Rubriken möglich. Die Rubrik 8 Einrichtung der indirekten Sicht ist realistisch umsetzbar. Entsprechend der Richtlinie 2003/97/EG müssen Spiegel, Rückfahrkamera oder andere technische Einrichtungen umgesetzt werden. Es ist durchaus möglich, unter Betrachtung der Rubrik 8 indirekten Sicht, dass nicht alle designerischen Ideen umgesetzt werden können. Auch die Umsetzung der Rubrik 33 Kontrolleinrichtungen Kennzeichnung müssen entsprechend der Richtlinie erfolgen. Dabei handelt es sich in der Richtlinie 78/316/EWG um eine genormte Darstellung der Kennzeichnung der Kontrolleinrichtungen. Unter der Rubrik 50 Verbindungseinrichtungen versteht man eine Anhängerkupplung. Die Verbindungseinrichtung entfällt für dieses Projekt, kann aber für zukünftiges Projekte in Betracht gezogen werden.

Rubrik	Gegenstand	Richtlinie	ECE-Norm
1	Geräuschpegel	70/157/EWG	51 Geräuschpegel 59 Ersatzschalldämpferanlagen
2	Emissionen	70/220/EWG	83 Emissionen
9	Bremsanlage	71/320/EWG	13 Bremsanlage 13-H Bremsanlage 90 Bremsanlage (Beläge)
10	Funkenstörung (elektronische Unterbaugruppe)	72/245/EWG	10 Funkenstörung

Rubrik	Gegenstand	Richtlinie	ECE-Norm
11	Emissionen von Dieselmotoren	72/306/EWG	24 Emissionen von Dieselmotoren
13	Diebstahlsicherung	74/61/EWG	97 Wegfahrsperrung 97 Alarmsystem 116 Unbefugte Benutzung
31	Rückhaltesysteme und Rückhalteeinrichtungen (Bauteil)	77/541/EWG	16 Rückhaltesystem und Rückhalteeinrichtungen 44 Rückhalteeinrichtungen für Kinder
32	Sichtfeld	77/649/EWG	125 Vorderes Sichtfeld 71 Landwirtschaftliche Zugmaschinen – Sichtfeld
39	Kraftstoffverbrauch	80/1268/EWG	101 Kraftstoffverbrauch
41	Emissionen von Dieselmotoren	88/77/EWG	49 Emissionen von Dieselmotoren
50	Verbindungseinrichtungen (Montagevorschriften)	94/20/EG	55 Verbindungseinrichtungen

**Tabelle 3 Teilweise Ausnahme Umsetzung**

Die aufgeführten Vorschriften in, Tabelle 3 Teilweise Ausnahme Umsetzung, müssen wie folgt umgesetzt werden. *„Es sind keine Ausnahmen außer den im Rechtsakt vorgesehenen zulässig. Ein Typengenehmigungsbogen und ein Typengenehmigungszeichen sind nicht erforderlich. Die Prüfberichte müssen von einem benannten Technischen Dienst angefertigt werden.“* Mit grau in, Tabelle 3 Teilweise Ausnahme Umsetzung, hinterlegten Feldern entfallen, diese Vorschriften beziehen sich auf Verbrennungsmotoren. Ein Fahrzeug, welches mit Elektromotoren betrieben wird, erzeugt maximal Geräuschemissionen. Es wird davon ausgegangen, dass der Geräuschpegel ohne Probleme innerhalb der Grenzwerte eingehalten wird. Die *Rubrik 13 Diebstahlsicherung* kann als komplettes System im Zubehörhandel eingekauft werden. Auch die *Rubrik 31 Rückhaltesysteme und Rückhalteeinrichtungen (Bauteil)* (Gurtsystem) ist mit dem Zukauf von fertigen Komponenten umsetzbar. Der *Rubrik 9 Bremsanlage Richtlinie 71/320/EWG* beschreibt die Wirksamkeit der Bremsanlage. Es wird nicht expliziert auf die bauliche oder konstruktive Umsetzung eingegangen. Es muss entsprechend der Wirkweise (Druckluft/Hydraulisch/Seilzug) der Bremsanlage der Nachweis der Leistungsfähigkeit erbracht werden. Die Bremsanlage kann aus fertigen Komponenten aus dem Zubehörhandel realisiert werden. Im *Abschnitt, Berechnung der Bremse unter Vorgabe der gesetzlichen Bedingungen*, der Masterarbeit wird die Bremse nach den Vorgaben an einem realen Beispiel berechnet und ausgelegt. Für den Bereich *Rubrik 10 Funkenstörung*, kann darauf geachtet werden, dass nur

entsprechende Produkte mit den geforderten Siegeln gekauft werden. Es wird davon ausgegangen, dass die Unbedenklichkeit der Funkentstörung nachzuweisen ist. Bei den Eigenentwicklungen von elektronischen Baugruppen muss eine entsprechende Messung vorgenommen werden. Die *Rubrik 32 Sichtfeld des Fahrers* ist realisierbar. Entsprechend der *Richtlinie 77/649/EWG* muss das Sichtfeld des Fahrers umgesetzt werden. Es ist durchaus möglich, dass es hier zu Problemen mit dem Fahrzeugdesign kommt. *Rubrik 50 Verbindungseinrichtungen* entfällt, die Anhängerkupplung wird nicht umgesetzt.

Rubrik	Gegenstand	Richtlinie	ECE-Norm
3	Kraftstoffbehälter/Unterfahrschutz hinten	70/221/EWG	58 Unterfahrschutz hinten 34 Kraftstoffbehälter 67 Kraftstoffbehälter 110 Kraftstoffbehälter
4	Anbringung hinteres Kennzeichen	70/222/EWG	Keine ECE-Norm
7	Schallzeichen	70/388/EWG	28 Schallzeichen
8	Einrichtungen für indirekte Sicht (Montagevorschriften)	2003/97/EG	46 Rückspiegel 46 Einrichtungen für indirekte Sicht
17	Geschwindigkeitsmesser und Rückwärtsgang	75/443/EWG	39 Geschwindigkeitsmesser
18	Vorgeschriebene Schilder	76/114/EWG	Keine ECE-Norm
19	Gurtverankerung	76/115/EWG	14 Gurtverankerung
20	Anbau der Beleuchtungs- und Lichtsignaleinrichtungen	76/756/EWG	48 Anbau der Beleuchtungs- und Lichtsignaleinrichtungen
27	Abschleppeinrichtung	77/389/EWG	Keine ECE-Norm
31	Rückhaltesysteme und Rückhalteeinrichtungen (Montagevorschriften)	77/541/EWG	16 Rückhaltesystem und Rückhalteeinrichtungen 44 Rückhalteeinrichtungen für Kinder
37	Radabdeckung	78/549/EWG	Keine ECE-Norm
45	Sicherheitsglas (Montagevorschriften)	92/22/EWG	43 Sicherheitsglas
46	Luftreifen (Montagevorschriften)	92/23/EWG	30 Luftreifen, Kraftfahrzeug und ihre Anhänger 54 Luftreifen, Luftreifen, Nutzfahrzeuge und ihre

Rubrik	Gegenstand	Richtlinie	ECE-Norm
			Anhänger 64 Noträder/-reifen 117 Reifenrollgeräusch

**Tabelle 4 technische Vorschriften müssen eingehalten werden**

Die aufgeführten Richtlinien und ECE-Normen in, Tabelle 4 technische Vorschriften müssen eingehalten werden, müssen wie folgt umgesetzt werden. Der Gesetzgeber gibt folgendes vor *„Die technischen Vorschriften des Rechtsaktes müssen eingehalten werden. Die im Rechtsakt vorgeschriebenen Prüfungen müssen vollständig durchgeführt werden; mit Zustimmung der Genehmigungsbehörde können sie vom Hersteller selbst durchgeführt werden; dem Hersteller kann gestattet werden, den technischen Bericht zu erstellen, die Ausstellung eines Typengenehmigungsbogens und einer Typengenehmigung sind nicht erforderlich.“* Für Rubriken 8, 31, 45, und 46 gelten umzusetzende Montagevorschriften. Die *Rubrik 3 Kraftstoffbehälter* entfällt. Außer für die orange markierte *Rubrik 19 Gurtverankerung* wird die Umsetzung der grün markierten Rubriken relativ einfach realisierbar sein. Die Umsetzung der *Rubrik 19 Gurtverankerung* kann schwierig werden. Es werden Montagepunkte mit entsprechenden Maßen für den Einbau vorgegeben. Hierbei kann es zu Differenzen mit dem Design des Fahrzeuges kommen.

Rubrik	Gegenstand	Richtlinie	ECE-Norm
5	Lenkanlage	70/311/EWG	79 Lenkanlagen
6	Türverriegelungen und -scharniere	70/387/EWG	11 Türverriegelungen und -scharniere
10	Funkentstörung	72/245/EWG	10 Funkentstörung
12	Innenausstattung	74/60/EWG	21 Innenausstattung
14	Lenkanlage bei Unfallstößen	74/297/EWG	12 Lenkanlage bei Unfallstößen
15	Sitzfestigkeit	74/408/EWG	17 Sitzfestigkeit 80 Sitzfestigkeit (Kraftomnibusse)
16	Außenkanten	74/483/EWG	26 Außenkanten
34	Entfrostung/Trocknung	78/317/EWG	Keine ECE-Norm
35	Scheibenwischer/-wascher	78/318/EWG	Keine ECE-Norm
36	Heizung	2001/56/EG	122 Heizungssysteme
40	Motorleistung	80/1269/EWG	85 Motorleistung
44	Massen und Abmessungen (PKW)	92/21/EWG	Keine ECE-Norm

**Tabelle 5 Nachweis der Vorgaben**

Die aufgeführten Richtlinien in, Tabelle 5 Nachweis der Vorgaben, müssen wie folgt umgesetzt werden. „Der Hersteller muss der Genehmigungsbehörde zufrieden stellend nachweisen, dass die wesentlichen Bestimmungen des Rechtaktes eingehalten werden.“ Die Richtlinie für die *Rubrik 5 Lenkanlage* stellt sich unproblematisch heraus. Es gibt wenige Vorgaben in der Richtlinie und damit ist eine bauliche Umsetzung möglich. Wie auch in anderen Richtlinien, muss eine Wirksamkeit der Lenkanlage nachgewiesen werden. Das heißt, bei Ausfall von Lenkunterstützung muss ein sicherer Betrieb gewährleistet werden. Die größte Schwierigkeit wird die Umsetzung der rot markierten *Rubrik 14 Verhalten der Lenkanlage bei Unfallstößen* bereiten. Kaum umsetzbar ist der geforderte Nachweis unter *Anhang II Prüfung bei frontalem Stoß gegen ein festes Hindernis der Richtlinie 74/297/EWG*. Für die Prüfung muss ein komplettes Fahrzeug mit Innenausbau, durch einen Aufprall auf einem festen Hindernis zerstört werden. Kaum umsetzbar für dieses Projekt der Hochschule, es muss eine Anzahl von Fahrzeugen gebaut werden. Vor allem dann, wenn das Ergebnis nicht den Erwartungen entspricht und negativ ausfällt. Natürlich sieht der Gesetzgeber weitere Nachweismöglichkeiten vor. Eine zerstörungsfreie Prüfung ist zulässig oder ein anderes Prüfverfahren, für dieses muss die Gleichwertigkeit nachgewiesen werden. Dafür können Simulationen und Berechnungen genutzt werden. Diese sind sehr umfangreich und können nur mit entsprechenden zeitlichen- und Geldmitteln umgesetzt werden. Es ist möglich eine eigene Simulationssoftware zu entwickeln, aber dieser Schritt nimmt viel Zeit in Anspruch. Auch eine händische Berechnung ist möglich aber auch hier fehlen die Erfahrungen, ob die Ergebnisse realistisch sind. Ein Crash durchzuführen ist unumgänglich, um die errechneten Ergebnisse zu bestätigen. Alle Simulationen und Berechnungen können als Hilfe für die korrekte Auslegung der Baugruppe dienen. Die *Rubrik 14 Lenkanlage bei Unfallstößen* übersteigt für dieses Projekt leider die Möglichkeiten der Umsetzung. Dazu müsste das Projekt neu ausgerichtet werden und als Zielsetzung nicht mehr der Shell Eco Marathon, sondern der Bau eines zugelassenen Fahrzeugs der Klasse  $M_1$  stehen. Das gilt auch für den *Anhang III Prüfung der Energieaufnahme bei Stoß gegen die Betätigungseinrichtung der Lenkanlage der Richtlinie 74/297/EWG* der *Rubrik 14*. Die *Rubrik 16 Außenkanten* ist realistisch umsetzbar. Die Schwierigkeit liegt hierbei in der Vielzahl der Unterpunkte. Diese gehen zum Beispiel auf Scheinwerfer, Zierleisten und Stoßstange ein. Es muss mit entsprechender Genauigkeit jeder Unterpunkt abgearbeitet werden. Die *Rubrik 34 Entfrosts- und Trocknungsanlage* und *35 Scheibenwischer und Scheibenwascher* sind in ihrer Umsetzung nicht zu unterschätzen. Für diese beiden Rubriken kann man sich im Zubehörbereich umsehen und passende Zubehörteile kaufen. Die Funktionsfähigkeit der *Rubrik 34* wird in einer Kühlkammer nachgewiesen. Die größte Problematik ist die Über- oder Unterdimensionierung der Anlage. Für den Scheibenwischer kann sich der Nachweis der Wirksamkeit für den großen Bereich der Geschwindigkeit als schwierig herausstellen. Es muss der Wirkungsgrad bis zu einer

von 80 % der Höchstgeschwindigkeit aber bis zu maximal 160 km/h nachgewiesen werden.

Rubrik	Gegenstand	Richtlinie	ECE-Norm
53	Frontalaufprall	96/79/EG	94 Frontalaufprall
54	Seitenaufprall	96/27/EG	95 Seitenaufprall
58	Fußgängerschutz	2003/102/EG	127 Fußgängerschutz

**Tabelle 6 Rechtsakt entfällt**

Ein wichtiger positiver Punkt ist die nicht zwingende Umsetzbarkeit der Rubriken 53, 54 und 58. Die aufgeführten Richtlinien, in Tabelle 6 Rechtsakt entfällt, müssen wie folgt umgesetzt werden. „Dieser Rechtsakt ist nicht anwendbar (keine Vorschriften)“. Damit wird ein umfangreicher Teil der technischen und konstruktiven Umsetzung vereinfacht. Der zeitliche und finanzielle Aufwand wird erheblich reduziert. Es muss keine korrekte Umsetzung mit Hilfe von Crashes oder gleichwertigen Nachweisen erbracht werden. Erst der Wegfall der Rubriken 53, 54 und 58 machen eine realistische Umsetzung überhaupt der Fahrzeugklasse  $M_1$  nach *EG-Typengenehmigung Kleinserienfahrzeuge* möglich.

## 8.2 Bewertung der Machbarkeit der Klasse L7e

Für das Konzeptfahrzeug wird die Zulassung der Klasse L7e angestrebt. Die umfangreiche Anzahl der Richtlinien, die es gilt umzusetzen, lassen sich in zwei Arten von Überprüfungskategorien unterteilen, in den Kategorien „Ü“ und „ER“. Im *Anhang I der Richtlinie 2002/24/EG* werden wie folgt die Kategorien definiert. „...mit der Angabe „Ü“ versehen, wenn ihre Übereinstimmung mit den Herstellerangaben überprüft werden muss, und mit der Angabe „ER“, wenn ihre Übereinstimmung mit den Gemeinschaftsvorschriften überprüft werden muss.“ Entsprechend der Vorgehensweise bei der Bewertung der einzelnen Richtlinien der Klasse  $M_1$  werden diese auch farbig gekennzeichnet.

Die grauen Felder beinhalten alle Vorschriften, die entweder für Elektrofahrzeuge nicht anzuwenden oder Bauteile die nicht am Fahrzeug vorgesehen sind. Mit grün sind die Felder gekennzeichnet, die gering in zeitlicher, technischer, finanzieller und komplexer Hinsicht sind. Die geforderten Daten können einfach und schnell beschafft werden. Die verbauten Baugruppen und Teile können als Zukaufteile mit ECE-Norm leicht mit geringem Zeitaufwand montiert werden. Die zu erwartenden Probleme bei der Abnahme des Fahrzeuges sind als gering einzuschätzen. Dagegen sind die orange gekennzeichneten Felder mit mittlerer bis hohem in zeitlicher, technischer, finanzieller und komplexer Hinsicht bewertet. Die geforderten Daten können nur mit entsprechendem Aufwand selbst erstellt oder vom Hersteller angefordert werden.

Entwicklung und Bau einzelner Baugruppen werden notwendig sein. Der Nachweis der Funktionen und Sicherheit dieser Baugruppen ist mit entsprechendem hohem Aufwand verbunden. Bei der Abnahme des Fahrzeuges werden Problemen auftreten, so dass Nachbesserungen vorgenommen werden müssen.

Die Überprüfungskategorie „Ü“ lässt sich schwer einschätzen und bewerten. Aus der Richtlinie ist nicht ersichtlich im welchem Umfang die Dokumentation vorzulegen ist. Für die Rubriken 1, 2, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 12 und 18 siehe, Tabelle 7 Einhaltung Vorschriften (Ü), sind die geforderten zumachenden Angaben recht einfach und nicht umfangreich. Die orange markierten Rubriken 7, 21, 23 und 30 sind problematischer in ihrer Überprüfung. Die Sicherheit der Baugruppen muss durch Herstellerangaben nachgewiesen werden. Da diese Baugruppen selbst entwickelt und konstruiert werden, gibt es keine Herstellerangaben auf die man sich beziehen kann. Der Zukauf von fertigen Batterien aus Asien, zum Beispiel China, vereinfacht die Zulassung nicht. Hierbei fehlen oft wichtige Nachweise, z.B. das CE-Siegel der Hersteller auf korrekter Herstellung nach europäischen Normen. Das Zurückgreifen auf europäische Hersteller ist nicht möglich. Auf Grund von Umweltauflagen und Arbeitsschutzvorgaben werden benötigte Batterien nicht mehr in Europa gefertigt. Aus der Tabelle 7 Einhaltung Vorschriften (Ü) kann man entnehmen, dass die Rubriken 11, 13, 14, 15, 16, 17, 22 und 24 entfallen. Sie sind für ein Elektrofahrzeug nicht von Relevanz.

Rubrik	Gegenstand	Art der Überprüfung	Richtlinie
1	Marke	Ü	
2	Typ/Variante/Version	Ü	
3	Name und Anschrift des Fahrzeugherstellers	Ü	
4	Gegebenenfalls Name und Anschrift des Beauftragten des Fahrzeugherstellers	Ü	
5	Fahrzeugklasse	Ü	2002/24/EG
6	Anzahl der Räder und ihre Anordnung im Falle von dreirädrigen Kraftfahrzeugen	Ü	
7	Schemazeichnung des Rahmens	Ü	
8	Name und Anschrift des Motorherstellers (falls nicht mit dem Fahrzeughersteller identisch)	Ü	

Rubrik	Gegenstand	Art der Überprüfung	Richtlinie
9	Fabrikmarke und Bezeichnung des Motors	Ü	
10	Art der Zündung	Ü	
11	Arbeitsverfahren des Motors	Ü	entfällt
12	Art der Motorkühlung	Ü	
13	Art der Motorschmierung	Ü	entfällt
14	Anzahl und Anordnung der Zylinder (oder der Kammern bei Kreiskolbenmotoren)	Ü	entfällt
15	Bohrung, Hub und Hubvolumen (oder Brennkammerinhalt bei Kreiskolbenmotoren)	Ü	entfällt
16	Vollständiges Steuerungsdiagramm des Motors	Ü	entfällt
17	Volumetrisches Verdichtungsverhältnis	Ü	entfällt
18	Maximales Drehmoment und maximale Nutzleistung des Motors - bei Fremdzündungs- oder Selbstzündungsmotoren - bei Elektromotoren	Ü	
21	Antriebsbatterie(n)	Ü	
22	Vergaser oder anderes Kraftstoffzufuhrsystem (Typ und Fabrikmarke)	Ü	entfällt
23	Elektrische Anlage (Nennspannung)	Ü	
24	Lichtmaschine (Art und Nennleistung)	Ü	entfällt
30	Kraftübertragung	Ü	

**Tabelle 7 Einhaltung Vorschriften (Ü)**

Die in, Tabelle 8 Einhalten Vorschriften ER, gesammelten Rubriken müssen nach den entsprechenden Richtlinien oder ECE-Normen umgesetzt werden. Durch die Vorgabe der jeweiligen Richtlinie und ECE-Norm, geht man von einer einfachen Umsetzung aus. Diese Annahme gilt nicht für alle Richtlinien und ECE-Normen. Eine Vielzahl von Richtlinien und ECE Normen lassen einen Interpretationsspielraum zu. Wie auch in, der Tabelle 7 Einhaltung Vorschriften (Ü), können die Rubriken 20, 27, 28, 37, 40 und 43 entfallen. Für die grün gekennzeichneten Rubriken, der Tabelle 8 Einhalten Vorschriften ER, 18, 25, 26, 29, 32, 33, 34, 35 und 38 können die Informationen aus den entsprechenden Richtlinien und ECE-Norm entnommen werden. Bei einigen grünen Rubriken handelt es sich entsprechende Anbauteile, die als Zukaufteile mit ECE-Norm verbaut werden können. Die *Rubrik 25 bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit* muss nach der *Richtlinie 95/1/EG* ermittelt werden. Für die orange markierten Rubriken gilt auch, die Umsetzung nach der entsprechenden Richtlinie oder ECE-Norm. Diese Rubriken wurden deshalb mit orange markiert, weil sie sich im Umfang der Umsetzung unterscheiden. Es müssen ganze Baugruppen entwickelt und gebaut werden. Natürlich soll, wenn möglich, Bauteile oder Baugruppen mit ECE-Norm aus dem Zubehörhandel bezogen werden.

Rubrik	Gegenstand	Art der Überprüfung	Richtlinie	ECE-Norm
18	Maximales Drehmoment und maximale Nutzleistung des Motors - bei Fremdzündungs- oder Selbstzündungsmotoren - bei Elektromotoren	ER	95/1/EG	Keine ECE-Norm
19	Maßnahmen gegen unbefugte Eingriffe an Kleinkrafträdern und Krafträdern	ER	97/24/EG Kapitel 7	Sicherung gegen unbefugte Benutzung Krafträder 62
20	Kraftstoffbehälter	ER	97/24/EG Kapitel 6 entfällt	
25	Bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit	ER	95/1/EG	
26	Massen und Abmessungen	ER	93/93/EWG	

Rubrik	Gegenstand	Art der Überprüfung	Richtlinie	ECE-Norm
27	Anhängevorrichtungen und ihre Befestigung	ER	97/24/EG Kapitel 10 entfällt	
28	Maßnahmen gegen die Verunreinigung der Luft	ER	97/24/EG Kapitel 5 entfällt	Abgase von Krafträdern 40
29	Reifen	ER	97/24/EG Kapitel 1	Reifen für Krafträder 75
31	Bremsanlage	ER	93/14/EG	Bremsanlagen für Krafträder 78
32	Anbau der Beleuchtungs- und Lichtsignaleinrichtungen am Fahrzeug	ER	93/92/EWG	Beleuchtung Krafträder 50
33	Beleuchtungs- und Signaleinrichtungen, deren zwingend vorgeschriebenes oder wahlweise Vorhandensein in den Anbauvorschriften nach Abschnitt 32 festgelegt ist	ER	97/24/EG Kapitel 2	Beleuchtung Krafträder 50 Halogenscheinwerfer für Krafträder (HS1-Lampen) 72
34	Einrichtung für Schallzeichen	ER	93/30/EWG	
35	Anbringungsstelle des amtlichen Kennzeichens an der Rückseite	ER	93/94/EWG	
36	Elektromagnetische Verträglichkeit	ER	97/24/EG Kapitel 8	
37	Zulässiger Geräuschpegel und Auspuffanlage	ER	97/24/EG Kapitel 9 entfällt	Krafträder (Geräuschentwicklung) 41
38	Rückspiegel	ER	97/24/EG Kapitel 4	

Rubrik	Gegenstand	Art der Überprüfung	Richtlinie	ECE-Norm
39	Vorstehende Außenkanten	ER	97/24/EG Kapitel 3	
40	Ständer (ausgenommen Fahrzeuge mit mindestens drei Rädern)	ER	93/31/EWG	
41	Sicherungseinrichtungen gegen unbefugte Benutzung des Fahrzeugs	ER	93/33/EWG	
42	Scheiben, Scheibenwischer, Scheibenwascher und Entfrostsungs- und Trocknungsanlagen für dreirädrige Kleinkrafträder, dreirädrige Kraftfahrzeuge und vierrädrige Kraftfahrzeuge mit Aufbau	ER	97/24/EG Kapitel 12	
43	Halteeinrichtung für Beifahrer von zweirädrigen Kraftfahrzeugen	ER	93/32/EWG	
44	Verankerung der Sicherheitsgurte und Sicherheitsgurte für dreirädrige Kleinkrafträder, dreirädrige Kraftfahrzeuge und vierrädrige Kraftfahrzeuge mit Aufbau	ER	97/24/EG Kapitel 11	

**Tabelle 8 Einhalten Vorschriften ER**

### 8.3 Normen und Richtlinien für Krafträder mit Elektroantrieb

Dieser Abschnitt ist eine Hilfestellung um entsprechende Normen und Richtlinien für Elektrofahrzeuge zu finden. Es ist während der Recherche aufgefallen, dass es wenige Informationen zu Elektrozweirädern gibt. In der, Tabelle 9 Normen und Richtlinien Elektrofahrzeuge, sind diese entsprechend der Fahrzeugklasse zugeordnet. Das heißt aber nicht, dass diese für die jeweilige andere Fahrzeugklasse nicht interessant oder anwendbar sind. In der, Tabelle 10 Titel der Normen und Richtlinien, sind zu den Nummern der Normen und Richtlinien der entsprechende Titel zugeordnet. Die ISO, IEC und IEC/TS sind nicht frei einsehbar und müssen bezahlt werden.

		Klasse M	Klasse L
Internationale Richtlinien	Elektrische Sicherheit	R 100	R136
	Ladbare Speichereinheiten Sicherheit (Akkumulator)		
	Elektrische Sicherheit Auswirkungen		
	Transportsicherheit		UN Transportrichtlinien UN 38.3
Internationale Standards	Elektrische Sicherheit Fahrzeuge	ISO 6469-1 bis 3	ISO 13063
	Aufladesysteme	IEC 61851-1 ISO 17409	ISO 18246
	DC Ladestecker	IEC 62196-3	IEC 62196-4
	Batteriezellengröße	ISO/IEC PAS16898	
	Batteriezellen Test und Sicherheit	IEC62660-1,-2	
	Batterietest	ISO 12405-1,-2	ISO18243
	Batteriesicherheit	ISO 12405-3	
	Stromverbrauch	ISO 8714	IOS 13064-1
	Fahrzeugleistung	ISO 8715	ISO 13064-2

**Tabelle 9 Normen und Richtlinien Elektrofahrzeuge**

Standards	Titel
ISO13063	Electrically propelled mopeds and motorcycles. Safety specifications
ISO13064-1	Batteriebetriebene Mopeds und Motorräder - Leistung - Teil 1: Referenzwert für Energieverbrauch und Reichweite
ISO13064-2	Batteriebetriebene Mopeds und Motorräder - Leistung - Teil 2: Fahrleistungswerte
ISO18243	Elektrisch angetriebene Mopeds und Motorräder - Spezifikationen und Sicherheitsanforderungen für Lithium-Ionen-Traktionsbatteriesysteme
ISO18246	Elektrisch angetriebene Mopeds und Motorräder - Sicherheitsanforderungen für die leitende Verbindung mit einer externen Energieversorgung
IEC62660 Serie	Lithium-Ionen-Sekundärzellen für den Antrieb von Elektrostraßenfahrzeugen
IEC60335-2-29	Safety of household and similar electrical appliances. Part 2-29. Particular requirements for battery chargers
IEC/TS 61851-3	Konduktive Stromversorgungssysteme für Elektrofahrzeuge - Teil 3-3: Besondere Anforderungen für Elektroleichtfahrzeuge - Batteriewechselsysteme
IEC/TS 62196-4	Stecker, Steckdosen und Fahrzeugsteckvorrichtungen - Konduktives Laden von Elektrofahrzeugen - Teil 4: Anforderungen an und Hauptmaße für Stifte und Buchsen für die Austauschbarkeit von Fahrzeugsteckvorrichtungen für Elektroleichtfahrzeuge zum dedizierten Laden mit Wechselstrom oder Gleichstrom und als kombinierte Ausführung zum Laden mit Wechselstrom/Gleichstrom

**Tabelle 10 Titel der Normen und Richtlinien**

Die Richtlinie R136 ist besonders wichtig für das Konzeptfahrzeug des EcoEmotion Teams. Wie schon erwähnt, ist eine Straßenzulassung mit Elektromotor für das Konzeptfahrzeug angestrebt. Dabei handelt es sich um eine recht junge und neue Richtlinie. Diese Richtlinie soll einen einheitlichen Standard für Elektrokrafträder und Bauteile bringen. Vor allem spielt die Sicherheit im Umgang mit Spannung und Strom eine große Rolle: Es gehen besonders von der Batterie und elektrischen Komponenten eine große Gefahr hervor. Diese können sein, der elektrische Stromschlag bei Berührung oder Feuer/Explosion bei falschem Umgang mit Batterie und Ladeinheit. Interessant ist besonders, dass Elektroroller in Asien in regenreiche Gebiete mit regelmäßiger Überschwemmung genutzt werden. Immer wieder kommt es bei Unfällen mit Elektrofahrzeugen (PKW), zu schwierig zu löschenden Bränden mit Lithium-Ionen-

Batterien. Deshalb ist ein rechtlich geregelter Umgang mit diesem Antriebskonzept wichtig. Wichtige Änderungen sind aus der ECE-Norm R100 für die Klasse M in die ECE-Norm R136 für die Klasse L übergegangen. Es unterscheiden sich PKW und Zweiräder wie folgt, es gibt keine Passagierkabine, im Falle eines Unfalls wird der Fahrer/in meist vom Fahrzeug getrennt, Batterie und Ladeeinheit sind kleiner und die Park- bzw. Abstellposition ist anders. Für das Konzeptfahrzeug gibt es natürlich wieder Ausnahmen, die es komplizierter machen. Das Konzeptfahrzeug sollte nach den Vorgaben der Klasse M betrachtet werden, es entspricht im Aufbau eher einem PKW. Bezieht man sich aber auf die Prüfung sind die Vorgaben der ECE-Norm R136 ausreichend. Hauptunterschiede der ECE-Norm R 136 sind im Abschnitt 5 Elektrische Sicherheit mit den Unterpunkten Schutz vor direkten und indirekten Kontakt, der Isolationswiderstand, die Installation der Ladeeinheit, die Funktionssicherheit und Freisetzung von Wasserstoff zu finden. Das gilt ebenfalls für den Abschnitt 6 Ladeeinheitssicherheit beinhaltet die Unterpunkte Vibration, Vermeidung eines Hitzeschocks für den Radfahrer, mechanische Auswirkungen, Schutz gegen externen Kurzschluss, Überladungsschutz, Überentladungsschutz und Übertemperaturschutz. Der Feuerwiderstand gegenüber der Ladeeinheit betrifft Zweiräder nicht. Die Elektrische- und Batteriesicherheit beinhaltet den direkten Schutz vor in Betrieb befindlichen Teilen, Warnung durch Aufkleber für den Hochvolt-Bereich, Orange markierte Kabel für den Hochvolt-Bereich, der elektrische Schutz der Funktion und der mechanische Schutz von Batterien. Der indirekte Schutz beinhaltet die Verbindung zwischen dem Hochvolt-Bereich und einer Barriere zur Karosserie und die sichere elektrische Isolation. Die funktionale Sicherheit beinhaltet den Schutz vor Inbetriebnahme des Fahrzeuges, wenn es mit der Ladeeinheit verbunden ist und über ein angemessenes Display für wichtige Informationen über den Zustand der elektrischen Einheit und Fahrzustände verfügt. Die ECE-Norm R 136 geht nicht auf die Sicherheit nach einem Unfall ein. Für das Projekt gibt es eine Vielzahl von technischen Problemen zu lösen. Dazu gehören die eingesetzten Stecker ob IPXXB oder IPXXD. Unklar ist die Wahl des einzusetzenden Steckers. Entsprechend des Montageortes muss entschieden werden, ob nur mit Hilfe von Werkzeugen die Steckverbindung lösbar ist. Weitere technische Probleme sind der Schutz vor elektrischen Stromschlag bei Kontakt mit dem Hochvolt-Bereich, die sichere Benutzung der Ladestecker, ist die Ladeeinheit mit der Erdung ausgelegt und befindet sich die Ladeeinheit im oder außerhalb Fahrzeugs. Die einzusetzende Isolation muss ausreichend sein, um den Nutzer vor Umwelteinflüssen, wie Wasser, zu schützen. Während des Ladens der Batterie finden chemische Prozesse statt, die zur Folge haben, Erwärmung und Ausgasung der Batterie. Dabei muss dieser Vorgang überwacht und der Verbleib des Wasserstoffgases kontrolliert werden. Aufmerksamkeit ist auch dem mechanischen Schutz der Ladeeinheit zu geben, damit keine Beschädigung beim Umfallen des Fahrzeugs auftritt. Auch die Positionierung der Ladebuchse muss geklärt werden, soll

sich diese innerhalb oder außerhalb des Fahrzeugs befinden. Bei der funktionalen Sicherheit muss auf folgendes geachtet werden: Vorhandensein eines Einschaltknopfes, Start des Fahrzeugs extra in einer zweiten Zündschlüsselposition oder Start des Fahrzeugs nur, wenn die Bremse betätigt wird.

## 9 Betrachtung der Richtlinien der Baugruppe Bremse Klasse M1, Klasse L7e und Shell Eco Reglement

Diese Betrachtung und detaillierte Herausarbeitung der wichtigen Vorgaben für die entsprechenden Klassen soll als Grundlage des Vergleiches und die damit verbundene Bewertung dienen.

Für die Klasse L7e gilt die *Richtlinie 93/14/EG*, diese beschreibt den Umfang, Auslegung, Bremsprüfungen und Bremswirkung. Eine Bremsanlage besteht aus folgenden Komponenten, Betätigungseinrichtung, Übergangseinrichtung und Bremse. Die Betätigungseinrichtung wird unmittelbar per Muskelkraft, durch Steuerung einer Energiequelle oder durch eine Kombination verbunden, vom Fahrer betätigt. Die Betätigungseinrichtung kann direkt auf die Bremse oder auf die Übertragungseinrichtung wirken. Als Baugruppen für die Betätigungseinrichtung kann man das Bremspedal und Bremshebel nennen. Die Übertragungseinrichtung besteht aus allen Komponenten zwischen Betätigungseinrichtung und Bremse. Folgende Baugruppen für die Übertragungseinheit sind möglich, Bremsleitungen, Bremsverstärker und Ausgleichsbehälter. Die Bremse selber, ist die Baugruppe, die die entgegengesetzten Kräfte erzeugt. Bauteile der Baugruppe Bremse sind, siehe Abbildung 9-1 schematischer Aufbau Bremssystem, Bremsattel, Brems Scheibe (1), Bremsbacken, Bremstrommel und Bremszylinder (2). Für das Konzeptfahrzeug der Hochschule gilt abgewandelt folgender Aufbau des Bremssystems, siehe Abbildung 9-1 schematischer Aufbau Bremssystem, auf den Bremskraftverstärker (4) und Bremskraftregler (6) wird verzichtet. Zur Regelung der Verteilung der Bremskraft wird ein Waagebalkensystem verbaut.

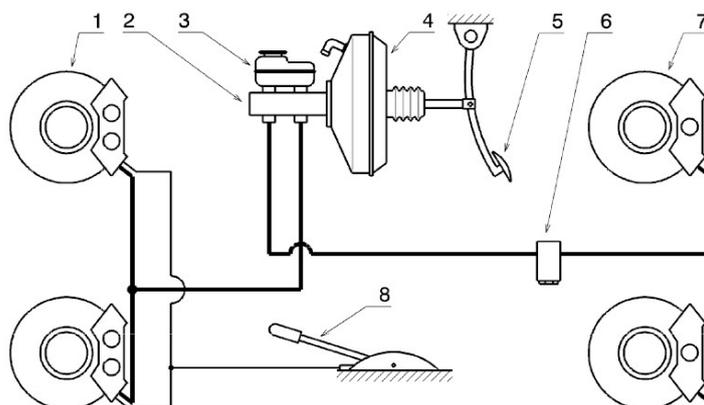


Abbildung 9-1 schematischer Aufbau Bremssystem<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Trzesniowski, M. (2014). *Renntechnik: Grundlagen, Konstruktion, Komponenten, Systeme*. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag.

## 9.1 Anforderungen an die Bremsanlage Allgemein

Die Bremsanlage muss in erster Linie dem Shell Eco Marathon Reglement entsprechen, um eine Teilnahme am Shell Eco Marathon zu gewährleisten. Als zweites muss die Bremsanlage den EU-Richtlinien entsprechen, damit eine zukünftige Straßenzulassung möglich ist. Somit steht die EU-Richtlinie für die Klasse L7e im Vordergrund. Die EU-Richtlinie für die Klasse M<sub>1</sub> spielt nur eine untergeordnete Rolle. Mit der Bewertung und Vergleich soll einmal die Möglichkeit der Machbarkeit an einer Baugruppe zwischen Klasse M<sub>1</sub>, Klasse L7e und Shell Eco Marathon Reglement detailliert dargestellt werden.

## 9.2 Anforderungen Shell Eco Marathon Reglement

Wie schon erwähnt, steht das Reglement des Shell Eco Marathon an erster Stelle. Deshalb ist es notwendig, alle vorgegeben Bestimmungen mit der *Richtlinie 93/14/EG* zu vergleichen und auf Widersprüche zu prüfen. Folgende Vorgaben werden gemacht.

Artikel 51: Bremsen

- a) Das Fahrzeug muss mit einer hydraulischen Vier-Scheiben-Bremsanlage, mit einem einzigen Bremspedal ausgestattet werden, das eine Mindestfläche von 25 cm<sup>2</sup> hat.
- b) Die Bremsen müssen mit unabhängig Vorder- und Hinterachse arbeiten, siehe Abbildung 9-2 II-Aufteilung oder in einem X-Muster, siehe Abbildung 9-3 X-Aufteilung (das heißt rechte Vorderrad mit dem linken Hinterrad und linke Vorderrad mit rechtem Hinterrad) angeordnet sein.

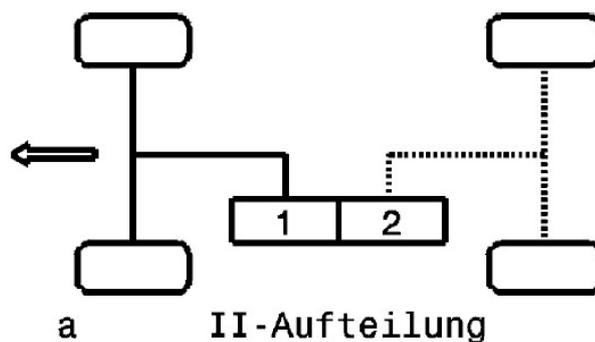


Abbildung 9-2 II-Aufteilung<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> Trzesniowski, M. (2014). *Rennwagentechnik: Grundlagen, Konstruktion, Komponenten, Systeme*. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag.

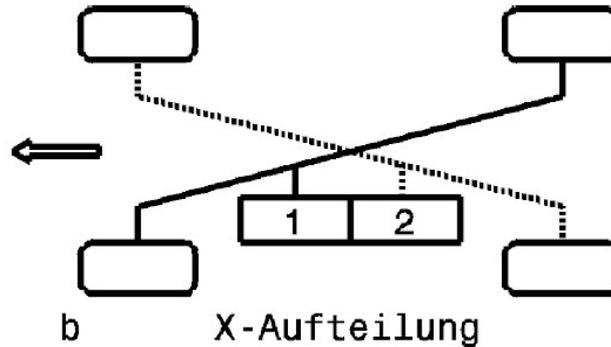


Abbildung 9-3 X-Aufteilung<sup>4</sup>

c) Ein einzelner Hauptzylinder kann verwendet werden, vorausgesetzt, es gibt eine Doppelschaltung (zwei Kolben und zwei Tanks).

d) Die Wirksamkeit der Bremsanlage wird bei der Fahrzeugprüfung getestet werden. Das Fahrzeug muss, mit dem Fahrer besetzt, unbeweglich bleiben, wenn es auf einer 20-prozentigen Steigung mit dem Hauptbremsystem an Ort und Stelle platziert wird. Darüber hinaus kann eine dynamische Prüfung bei einem Fahrzeug-Handhabung-Kurs durchgeführt werden.

e) Eine Parkbremsfunktion ist erforderlich, um das Fahrzeug still bei technischen Inspektionen und Kraftstoff Messungen zu halten. Es muss eine Bremskraft von mindestens 50 N zur Verfügung stehen.

f) Nasswetterfähigkeit ist obligatorisch (siehe Artikel 52 :).

Artikel 52: Schlecht Wetter Rennen

h) Die Wirksamkeit der Bremse des Fahrzeugs kann vor und/oder nach jedem Lauf erneut überprüft werden.

### 9.3 Einleitende Betrachtung der Richtlinien und Normen Bremse

Es gibt jeweils eine Norm und Richtlinie für das Bremssystem, dies gilt für die Klasse L7e M<sub>1</sub> und anderen Klassen der *Rahmenrichtlinie 2007/46/EG*. Deshalb muss geklärt werden, in welcher Hierarchie und Zusammenhang Norm und Richtlinie steht. Geht man von der *Grundrichtlinie 2002/24/EG für zwei- und dreirädrige Fahrzeuge* aus, wird man zur *Richtlinie 93/14/EG* verwiesen. In dieser Richtlinie heißt es unter *Artikel 1* „Diese Richtlinie gilt für die Bremsanlagen aller Fahrzeugtypen gemäß Artikel 1 der

---

<sup>4</sup> Trzesniowski, M. (2014). *Rennwagentechnik: Grundlagen, Konstruktion, Komponenten, Systeme*. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag.

*Richtlinie 92/61/EWG*“. Entscheiden für die Anwendung ist der *Artikel 3* „Die Gleichwertigkeit zwischen Bestimmungen dieser Richtlinie und den Bestimmungen der ECE-Regelung Nr. 78 wird gemäß Artikel 11 der Richtlinie 92/61/EWG anerkannt. Die Genehmigungsbehörden der Mitgliedstaaten akzeptieren die gemäß ECE-Regelung Nr. 78 erteilten Bauartengenehmigungen sowie die entsprechenden Genehmigungszeichen anstelle der gemäß dieser Richtlinie erstellten Bauartengenehmigungen und Genehmigungszeichen.“ Das bedeutet eine der beiden gesetzlichen Vorgaben, entweder die *Richtlinie 93/14/EG* oder die *ECE-Norm R 78*, ist umzusetzen. Sie sind in ihrer Wertigkeit gleich. Die beiden Vorgaben sind notwendig, da die *Richtlinie 93/14/EG* nur für die europäischen Mitgliedstaaten bindend ist und die *ECE-Norm R 78* gilt international. Somit ist ein weltweiter Handel von Fahrzeugen, Baugruppen und Zubehörteilen möglich. Bei beiden gesetzlichen Vorgaben wird nicht speziell auf Elektrofahrzeuge eingegangen. Diese besitzen oft nur einen Gang und können nicht ausgekuppelt werden. Weiterhin wird oft in den einzelnen Prüfungen von geteilten Bremsanlagen gesprochen. Typischerweise besitzt ein Motorrad eine Handbremse für das Vorderrad und eine Fußbremse für das Hinterrad. Das gilt nicht für das Konzeptfahrzeug, die Bremsanlage wird über eine Betätigungseinrichtung betätigt. Diese wirkt auf zwei unabhängige Bremskreise. Diese Unstimmigkeit macht es schwierig die Bremsprüfungen auf das Konzeptfahrzeug anzuwenden. Entsprechend den Anforderungen müssen die Bremsprüfungen im Vorfeld durchgeführt werden.

#### 9.4 Anforderungen der Klasse L7e Richtlinie 93/14/EG

Der folgende Abschnitt ist eine Zusammenfassung der wichtigen Punkte, der *Richtlinie 93/14/EG*, die auf die Klasse L7e angewendet werden müssen. Die Richtlinie befasst sich mit Bremsanlagen für alle Kleinkrafträder, Krafträder mit und ohne Beiwagen und Dreiradfahrzeuge. Die Bestimmungen für Dreiradfahrzeuge gelten auch für Vierradfahrzeuge der Klasse L7e. In der *Richtlinie 2002/24/EG* heißt es wie folgt unter *Kapitel 1 Gültigkeitsbereich und Begriffsbestimmungen Artikel 1 (3) b Vierrädrige Kraftfahrzeuge, die nicht unter Buchstabe a) fallen, mit einer Leermasse von bis zu 400 kg (Klasse L7e), (550 kg im Falle von Fahrzeugen zur Güterbeförderung), ohne Masse der Batterien im Falle von Elektrofahrzeugen, und mit einer maximalen Nutzleistung von bis zu 15 kW. Diese Fahrzeuge gelten als dreirädrige Kraftfahrzeuge und müssen den technischen Anforderungen für dreirädrige Kraftfahrzeuge der Klasse L5e genügen, sofern in der Einzelrichtlinie nicht anders vorgesehen ist.*

Vierradfahrzeuge Klasse L7e entspricht dreirädrige Fahrzeuge Klasse L5e, deshalb wird in den folgenden Abschnitten der Masterarbeit von der Klasse L5e gesprochen.

Die nachfolgenden zusammengefassten Punkte, beinhalten für die Klasse L5e alle wichtigen Vorgaben. Die Zusammenfassung dient als Leitfaden bei der Umsetzung der Bremsanlage für das Konzeptfahrzeug. Diese Vorgaben müssen zwingend für eine Zulassung umgesetzt werden. Die angegebene Nummerierung ist die Fundstelle in der *Richtlinie 93/14/EG*. Weitergehende Informationen über Motorrad-Bremsanlagen findet man in der *ECE-Norm R 78*. Im anschließenden Abschnitt *ECE-Norm R 78* Motorradbremse wird detaillierter darauf eingegangen.

- 1.8. Kombinierte Bremsanlage
  - 1.8.2. Die kombinierte Bremsanlage muss auf alle Räder einwirken.
    - Hinweis: Die verbaute Bremsanlage besteht aus zwei Bremskreisen, die gleichzeitig über ein Pedal mit zwei Bremszylindern betätigt wird.
- 1.9. Abstufbare Bremsung
  - Der Fahrer/-in kann während der Bremsung die Wirkung mittels Betätigungseinrichtung fein reguliert erhöhen oder vermindern. Die einwirkende Bremskraft wirkt sich proportional zur einwirkenden Kraft auf die Betätigungseinrichtung aus (monotone Funktion).
- 2. Bau- und Einbauvorschriften
  - Die Bremsanlage muss bei üblicher Beanspruchung nach der geforderten Bremswirkung arbeiten und Alterungserscheinungen standhalten. Es werden keine Angaben über die Korrosionszeit der Bremsanlage gemacht. Die Betriebsbremse muss in allen Geschwindigkeiten, Belastungszuständen, Steigung oder Gefälle ein sicheres kontrollieren des Fahrzeuges ermöglichen. Ein schnelles und wirksames Anhalten des Fahrzeuges muss ermöglicht werden. Dies muss durch ein dosiertes Bremsen vom Sitz, ohne die Hände vom Lenkrad zu nehmen, ermöglicht werden. Die Hilfsbremsung per Feststellbremse (wenn Fahrzeug ausgerüstet) muss in einer angemessenen Strecke wirken, wenn die Betriebsbremse versagt. Dies muss durch ein dosiertes Bremsen vom Sitz, mit Hilfe einer Hand am Lenkrad, ermöglicht werden. Die Feststellbremse ist mit rein mechanischer Wirkung zu konstruieren. Diese muss das Fahrzeug sicher bei Abwesenheit des Fahrers/in im Gefälle oder Steigung im Stillstand halten. Die Bremswirkung muss vom Sitz aus, durch den Fahrer/in erzielt werden.
    - Hinweis: Für die Umsetzung ist geplant, dass Zubehörteile nach ECE-Norm für Bremsen, Bremsscheiben, Bremsklötzer und Bremssättel verbaut werden. Es sind keine eigenen Entwicklungen und Konstruktionen für die genannten Bauteile vorgesehen. Die Hilfsbremsanlage wird durch Feststellbremse umgesetzt. Es ist keine hydraulische Feststellbremse erlaubt.

## Konstruktive Vorgaben und Ausrüstung für Dreiradfahrzeuge L5e 93/14/EG

- 2.2.4. Jedes Dreiradfahrzeug ist folgendermaßen auszurüsten:
  - Es ist eine Fußbetriebsbremse (auf alle Räder gleichzeitig wirkend) und eine Hilfsbremsanlage (auch als Feststellbremse möglich) zu verbauen. Die Fußbetriebsbremse wird durch ein Fußpedal umgesetzt.
    - Hinweis: Es ist geplant Zubehörteile aus dem Rennsport für die Übertragungs- und Betätigungseinrichtung zu verbauen. Dies ist problematisch, da diese Bauteile keine ECE Zulassung besitzen. Entsprechende Nachweise der korrekten Funktion und Umsetzung der Normen ist zu erbringen.
  - Eine Feststellbremse ist zwingend erforderlich, sie muss mindestens auf einer Achse wirken, unabhängig von Fußbetriebsbremse sein und durch eine unabhängige Betätigungseinrichtung ausgelöst werden.
  - Die Bremsflächen (Bremsklötze und Bremsscheibe, Bremstrommel und Bremsbacken), müssen entweder fest oder mit nicht störungsanfälligen Bauteilen mit dem Rad verbunden sein.
    - Hinweis: Die originale Bremsscheibe ist mit dem passenden Rad verbunden. Als konstruktive Vorgabe wird sich an das Hinterrad der BMW K75 gehalten.
  - Die Montage der Bremsanlage hat so zu erfolgen, dass die Bauteile während des normalen Betriebes nicht versagen. Für die Umsetzung muss sich an die Montageanleitung der entsprechenden Bauteile gehalten werden.
  - Die Bremsanlage muss nach Justierung und Schmierung ordnungsgemäß funktionieren. Die korrekte Funktion kann durch die Wartungsvorgaben der Hersteller umgesetzt werden.
  - Der Verschleiß der Bremse muss automatisch oder per Handjustierung leicht ausgeglichen werden. Das Nachstellen der Bremsanlage darf keine negative Auswirkung auf die Bremswirkung haben, bis ein Austausch der verschlissenen Bremsbeläge erfolgt.
    - Hinweis: Über automatische Nachstellbarkeit kann zum jetzigen Zeitpunkt keine Aussage gemacht werden, die Bauteile liegen nicht vor. Entsprechende Dokumentationen über die Bremssättel sind nicht vorhanden. Im PKW-Bereich werden selbstjustierende und sich nachstellende Bremssättel verbaut.
  - Die Wegreserve der Bremsanlage (Betätigungseinrichtung, Übertragung und Bremse) muss so ausgelegt sein, dass sie bei maximalen Verschleiß und Überhitzung eine wirksame Bremsleistung ohne Nachstellen erreicht.

- Hinweis: Diese ist durch ausreichend große Ausgleichsbehälter und langem Weg der Bremszylinder in der Betätigungseinrichtung vorhanden. Bremsättel sind durch ECE-Norm entsprechend ausgelegt.
- Die Teile der Bremsanlage dürfen bei korrekter Justierung mit keinen anderen Teilen, außer mit den vorgesehenen Teilen, in Berührung kommen.
- Eine hydraulische Bremsanlage muss einen leicht zugänglichen zur Überprüfung befindlichen Ausgleichsbehälter der Bremsflüssigkeit besitzen.
  - Hinweis: Die durchsichtigen Flüssigkeitsbehälter sind von außen abzulesen. Die Montage im oberen Bereich der Motorhaube ist zu bevorzugen.

#### Durchzuführende Bremsprüfungen und Wirksamkeit nach 93/14/EG.

- 1. Bremsprüfungen
- 1.1. Allgemeines
  - Entscheidend für das Bestehen der Bremsprüfung ist das Einhalten des vorgeschriebenen Bremsweges. Entweder wird die Bremswirkung in Abhängigkeit des Bremsweges von der Ausgangsgeschwindigkeit oder die Ansprechdauer und die durchschnittliche Bremsverzögerung ermittelt.
  - Der Bremsweg wird von der Betätigung der Bremsanlage bis zum Stillstand des Fahrzeuges gemessen. Die gefahrene Geschwindigkeit bei Betätigung der Bremse gilt als Ausgangsgeschwindigkeit.  $V$  = Ausgangsgeschwindigkeit in km/h,  $S$  Bremsweg in Meter
  - Die Prüfung ist auf der Straße durchzuführen.
  - Die Masse muss den Prüfbedingungen des jeweiligen Prüfungstyps entsprechen und im Prüfbericht vermerkt werden. Dazu muss das Fahrzeug entsprechend des Prüfungstyps beladen werden.
  - Jede Prüfung ist mit der vorgeschriebenen Geschwindigkeit durchzuführen.
  - Während der Prüfung dürfen die Räder nicht blockieren. Das Fahrzeug muss ein stabiles Fahrverhalten zeigen und darf keine Schwingungen aufweisen.
  - Die für Betätigungseinrichtung aufgewendete Kraft darf nicht den vorgeschriebenen Höchstwert überschreiten.
- 1.1.4 Prüfbedingungen für die Bremsprüfung
  - Die Räder müssen zu Beginn der Prüfung/-serie kalt sein und den vorgeschriebenen Druck haben.
  - Die Ladung muss nach Vorgabe des Herstellers verteilt sein.
  - Als kalte Bremse gilt, wenn die Temperatur der Brems Scheibe oder außen der Trommel unter 100 °C liegt.
  - Der Fahrer muss während der Prüfung dauerhaft sitzen.
  - Die Strecke muss trocken, eben und griffig sein.

- Die Prüfung/-serie ist bei Windstille durchzuführen, um eine Beeinträchtigung oder Verfälschung des Prüfergebnisses zu verhindern.

## Übersicht der durchzuführenden Bremsprüfungen nach 93/14/EG

- 1.2 Prüfung Typ 0 (Prüfung mit kalter Bremse)
  - Die Mindestbremswirkung ist für jede Fahrzeugklasse einzuhalten.
- 1.2.2. Prüfung Typ 0 mit ausgekuppeltem Motor
  - Die Prüfung ist mit vorgeschriebener Geschwindigkeit der Klasse durchzuführen. Bei getrennten Betriebsbremsanlagen mit jeweiliger Betätigungsanlage sind beide Betriebsbremsanlagen getrennt zu prüfen. Jede Bremsanlage muss ihre vorgeschriebene Wirksamkeit erreichen.
    - Hinweis: Das Konzeptfahrzeug ist mit einer Betätigungseinrichtung ausgerüstet, die auf alle Räder gleichzeitig wirkt.
  - Die Prüfung mit neutralen, ausgekuppeltes oder auf andere Art getrenntes Getriebe zum Motor durchzuführen, sofern das Fahrzeug mit einem Automatik- oder Schaltgetriebe ausgerüstet ist.
  - Die Prüfung muss unter normalen Prüfbedingungen durchgeführt werden, sofern das Fahrzeug auf einer anderen Art von Schaltgetriebe ausgerüstet ist.
    - Hinweis: Das Konzeptfahrzeug ist nicht mit einem Schaltgetriebe ausgerüstet. Die Prüfung ist nach Vorgabe für das Konzeptfahrzeug nicht möglich, da dieses einen Elektromotor, der ständig mit dem Antrieb verbunden ist, besitzt.
- 1.2.3. Prüfung 0 mit eingekuppelten Motor für Krafträder und Dreiradfahrzeuge
  - Die Prüfung wird im unbeladenen Fahrzeugzustand und bei verschiedenen Geschwindigkeiten durchgeführt. Der Bereich der zu fahrenden Geschwindigkeiten liegt zwischen 30% und 80% der Höchstgeschwindigkeit. Die maximale zulässige Geschwindigkeit von 160 km/h ist nicht zu überschreiten.
  - Die maximale Bremswirkung und das Verhalten des Fahrzeugs sind während der Prüfung im Prüfbericht festzuhalten. Getrennt gezogene Betriebsbremsen sind gleichzeitig und zusammen im unbeladenen Fahrzeugzustand zu prüfen.
    - Hinweis: Prüfung kann ohne Einschränkungen durchgeführt werden.
- 1.2.4. Prüfung Typ 0 mit ausgekuppeltem Motor und feuchten Bremsen
  - Hinweis: In der Richtlinie heißt es wie folgt: *„Diese Prüfung ist (mit Ausnahme der unter Punkt 1.3.1. vorgesehenen Abweichung) bei Kleinkrafträdern und Krafträder (nicht jedoch bei Dreiradfahrzeugen) vorzunehmen.“* damit entfällt die Prüfung mit feuchter Bremse für das Konzeptfahrzeug. Die Richtlinie 93/14/EG und die ECE-Norm R 78 sind gleichwertig, in der ECE-Norm R 78 ist die Prüfung der feuchten Bremse vorgeschrieben.

- Unter Punkt 1.3.1. wird auf geschützte Bremsanlagen eingegangen, die vor eindringendem Wasser gekapselt sind.
- 1.4. Prüfung Typ 1 (Prüfung des Absinkens der Bremswirkung)
  - Die Prüfung setzt sich aus verschiedenen durchzuführenden Bremsvorgängen zusammen.
  - Allgemeines
    - Die Prüfung ist mit beladenem Fahrzeug durchzuführen. Es wird eine Anzahl von nacheinander folgenden Bremsungen ausgeführt. Bei Ausrüstung des Fahrzeugs mit einer kombinierten Bremsanlage ist es ausreichend die Prüfung nach Typ 1 zu prüfen.
      - Hinweis: Das Konzeptfahrzeug ist mit einer kombinierten Bremsanlage ausgerüstet.
  - 1.4.1.2. Die Prüfung nach Typ 1 wird in drei Teilen durchgeführt.
    - Es ist eine Prüfung mit folgenden Vorgaben nach Typ 0 durchzuführen: mit beladenem Fahrzeug, mittlere Verzögerung  $5,0 \text{ m/s}^2$  und Bremsweg  $S \leq 0,1V + V^2/130$ .
    - Es sind 10 Bremsungen nach den für wiederholte Prüfbedingungen durchzuführen.
    - Nach den wiederholten Bremsungen muss innerhalb einer Minute eine Bremsung nach Typ 0 durchgeführt werden. Dabei darf die Bremskraft am Pedal im Mittel nicht über der von Typ 0 liegen.
  - 1.4.2. Prüfbedingungen für wiederholte Bremsungen
    - Das Fahrzeug und Bremse müssen praktisch trocken und kalt sein, Temperatur  $\leq 100 \text{ }^\circ\text{C}$ .
    - Für kombinierte Bremsanlagen gilt: die niedrigere der beiden Geschwindigkeiten entweder 70 % Höchstgeschwindigkeit oder 100 km/h, ist Prüfungsgeschwindigkeit.
    - Der Abstand zwischen Beginn einer Bremsung und der darauffolgenden Bremsung muss 1000 m betragen.
      - Hinweis: Das Konzeptfahrzeug besitzt keine Kupplung oder Getriebe. Die feste Verbindung zwischen Elektromotor und Antrieb kann als vollautomatisches Getriebe mit einem Gang interpretiert werden. Deshalb ist die Prüfung unter normalen Betriebsbedingungen durchzuführen.
    - Das Fahrzeug ist nach jeder Bremsung umgehend zu beschleunigen, um die Ausgangsgeschwindigkeit zu erreichen. Diese ist bis zur nächsten Bremsung zu halten. Das Fahrzeug darf auf dem Prüfgelände vor der Beschleunigung gewendet werden.
    - Die aufzubringende Kraft auf das Pedal ist so zu wählen, dass die geringere (eine Verzögerung von  $3 \text{ m/s}^2$ ) oder die größte Verzögerung bei

der ersten Bremsung erzielt wurde. Die ausgeübte Kraft muss während der wiederholten Bremsungen konstant bleiben.

- 1.4.3. Restbremswirkung
  - Die Restbremswirkung ist zum Ende der Prüfung Typ 1 zu messen. Dabei ist die anzuwendende Kraft so konstant wie möglich und darf die tatsächliche mittlere Kraft (Bremsprüfung Typ 0 mit ausgekuppeltem Motor) nicht übersteigen.
  - Die Restbremswirkung darf nicht geringer als 60 % der Verzögerung, der erreichten Bremswirkung der Bremsprüfung Typ 0 sein bzw. der Bremsweg darf nach Berechnung mit der Formel  $S_2 \leq 1,67 * S_1 - 0,6 * a * V$  nicht größer sein. Die 60 % der Verzögerung entsprechen mindestens  $3 \text{ m/s}^2$ . Ein höherer Wert ist zulässig.  
 $S_1$  = der bei Prüfung Typ 0 erzielte Bremsweg  
 $S_2$  = der bei der Prüfung der Restbremswirkung festgestellte Bremsweg  
 $a = 0,1$   
 $V$  = Ausgangsgeschwindigkeit der zu prüfenden Klasse
    - Hinweis: Eine Bremsprüfung nach Typ 0 mit ausgekuppeltem Motor ist nicht möglich.

## Vorgaben für die Wirksamkeit der Bremsanlage nach 93/14/EG

- 2. Wirksamkeit der Bremsanlagen
  - 2.2. kombinierte Bremsanlage
    - Für die Restbremswirkung der Bremsprüfung Typ 1 sind die Werte, Bremsweg, mittlere Vollverzögerung und ausgeübte Kraft auf die Betätigungseinrichtung, zu protokollieren.
    - Die Prüfgeschwindigkeit ist  $V = 60 \text{ km/h}$ .
    - Das Fahrzeug ist im unbeladenen und beladenen Zustand zu prüfen.
    - Es ist eine mittlere Verzögerung von  $5,0 \text{ m/s}^2$  und der Bremsweg  $S \leq 0,1V + V^2/130$  einzuhalten.
    - 2.2.3.2. Hilfsbremsanlage (Feststellbremse)
      - Es ist eine mittlere Verzögerung von  $2,5 \text{ m/s}^2$  und ein Bremsweg  $S \leq 0,1V + V^2/65$  (entspricht  $61,4 \text{ m}$ ) einzuhalten.
  - 2.3. Wirksamkeit der Feststellbremse
    - Das beladene Fahrzeug muss bei einer Steigung und ein Gefälle von 18 % im Stillstand gehalten werden.
      - Hinweis: Die minimale Dauer des Stillstandes ist nicht vorgegeben.

## Vorgaben Betätigungskräfte der Betätigungseinrichtungen nach 93/14/EG

- 2.4. Bestimmungen betreffend die Betätigungseinrichtungen
  - Die folgenden Werte für die Betriebsbremse müssen eingehalten werden:  
Handbetätigung  $\leq 200$  N und Fußbetätigung  $\leq 500$  N
  - Die folgenden Werte für die Feststellbremse müssen eingehalten werden:  
Handbetätigung  $\leq 400$  N und Fußbetätigung  $\leq 500$  N.

Zum jetzigen Zeitpunkt ist kein Antiblockiersystem für das Konzeptfahrzeug vorgesehen, deshalb entfallen die Vorgaben. Falls zu einem späteren Zeitpunkt im dem Projekt dieses nachgerüstet werden soll, findet man unter Anlage 2 alle wichtigen Informationen.

## 9.5 ECE-Norm R 78 Motorradbremse

Die *ECE-Norm R 78* ist umfangreicher als die *Richtlinie 93/14/EG*. Man könnte davon ausgehen, dass detaillierter auf konstruktive Bedingungen eingegangen wird. Das ist nicht der Fall, es wird wie in der Richtlinie hauptsächlich auf die Prüfbedingungen und Bremswirkung der einzelnen Bremsprüfungen eingegangen. Die *ECE-Norm R 78* ist wichtig um unklare Vorgaben der *Richtlinie 93/14/EG* zu klären. Es finden sich ausführlichere Angaben zu Prüfbedingungen, es wird zum Beispiel geklärt, was beladen und leicht beladen (fahrbares Fahrzeug plus 15 kg Prüfgerät) in Zahlen bedeutet. Nachfolgend sind die Vorgaben nach der *ECE-Norm R 78* für die Klasse L5e zusammengefasst die sich teilweise nach *Richtlinie 93/14/EG* wiederholen. Die Zusammenfassung soll als Leitfaden für die Umsetzung der Bremsanlage des Konzeptfahrzeugs dienen.

### Allgemeine Hinweise ECE-Norm R 78

- 2.6. kombinierte Bremse
  - Bei Fahrzeugen der Klasse L<sub>2</sub> und L<sub>5</sub> ist das Betriebsbremssystem definiert, bei denen die Bremsen aller Räder mittels einer einzigen Betätigungseinrichtung aktiviert werden. Die Verteilung darf über zwei Kolben der Betätigungseinrichtung erfolgen.
  - 2.22. Eine geteilte Betriebsbremsanlage wird über eine Betätigungseinrichtung betätigt, sie wirkt auf alle Räder gleichzeitig und ist aus Untersystemen aufgebaut. Diese Untersysteme sind so voneinander getrennt, dass im Falle einer Undichtigkeit in einem Untersystem das andere nicht beeinflusst wird.
- Allgemeingültige Vorgaben
  - Die Masse des Fahrers entspricht 68 kg und die des Gepäcksstücks 7 kg.
  - Die Gesamtmasse oder Höchstmasse entspricht den Angaben des Herstellers.

- Hinweis: Die max. Gesamtmasse mit Batterie für Shell Marathon 250 kg. 400 kg exkl. Batterie für Klasse L5e
- Unter leicht beladen versteht man die Masse des Fahrzeugs im fahrbereiten Zustand plus 15 kg Prüfgerät oder im beladenen Zustand, je nachdem welcher Wert kleiner ist.
- Die Höchstgeschwindigkeit  $V_{\max}$  ist aus dem Stand bis zu einer Entfernung von 1,6 km auf ebener Fläche leicht beladen oder nach ISO 7117:1995 zu ermitteln.
  - Hinweis: Über die Höchstgeschwindigkeit kann keine Aussage getroffen werden. Nach Fertigstellung des Konzeptfahrzeugs müssen entsprechende Tests durchgeführt werden.
- Blockierte Räder entsprechen einem Schlupfverhältnis von 1,00.
- 5.1.8. Ausrüstung der Bremse der Klasse L5e
  - Nach Vorgabe gilt: Feststellbremse und fußbetätigte Betriebsbremsanlage, die entweder durch ein geteiltes Bremssystem oder durch eine kombinierte Bremsanlage inkl. Hilfsbremssystem (kann die Feststellbremse sein), muss auf alle Räder wirken.
    - Hinweis: Für das Konzeptfahrzeug liegt eine geteilte Betriebsbremsanlage vor, das bedeutet es werden Vorder- und Hinterachse durch getrennte Systeme abgebremst. Diese wird über eine Betätigungseinrichtung angesteuert. In der Richtlinie 93/14/EG wird nie von einer geteilten Bremsanlage gesprochen. Es wird immer von einer kombinierten Bremsanlage ausgegangen.
  - Für eine Hydraulik-Bremsanlage gilt:
    - Für jedes Bremssystem muss ein versiegelter, bedeckter und getrennter Behälter vorhanden sein.
    - Das Fassungsvermögen muss mindestens von 1,5-fachen der verdrängten Flüssigkeit für den ganzen Verschleißbereich der Bremse unter den schlimmstmöglichen Bedingungen sein.
    - Der Flüssigkeitspegel muss von außen prüfbar ohne Abnahme des Deckels sein.
  - Die Warnleuchten müssen im Sichtfeld des Fahrers angebracht sein.
  - Bei einer geteilten Bremsanlage muss eine rote Warnleuchte aktiviert werden, wenn:
    - Die anzuwendende Kraft  $\leq 90$  N einer hydraulische Betätigungseinrichtung ausfällt oder der Flüssigkeitsstand unter den Hersteller festgelegten Wert fällt oder kleiner oder gleich der halben Füllmenge des Behälters ist.
    - Die Warnleuchte leuchtet bei Zündung „Ein“ auf und geht nach der Prüfung aus. Bei Störung bleibt die Warnleuchte für Zündung „Ein“ an.

○ 5.2. Dauerhaltbarkeit

- Der Verschleiß muss durch eine automatische oder handbetätigte Nachstelleinrichtung ausgeglichen werden. Die Überprüfung des Verschleißes muss von außen oder bei nicht Einsehbarkeit durch eine entsprechende Vorrichtung erfolgen können. Während der Überprüfung dürfen sich die Bremsbeläge nicht lösen und Bremsflüssigkeit darf nicht austreten.

○ 5.3. Messung dynamische Leistung

- Das Verfahren muss entsprechend der Vorgaben der jeweiligen Prüfung durchgeführt werden.

- Drei Arten der Prüfung sind möglich:

- Mittlere Vollverzögerung (MFDD)  $m/s^2$

$$d_m = \frac{V_b^2 - V_e^2}{25,92 * (S_e - S_b)}$$

$d_m$  = mittlerer Vollverzögerung

$V_b$  = Fahrzeuggeschwindigkeit bei 0,8 V in km/h

$V_e$  = Fahrzeuggeschwindigkeit bei 0,1 V in km/h

$S_e$  = zurückgelegte Strecke zwischen V und  $V_b$  in Metern

$S_b$  = zurückgelegte Strecke zwischen V und  $V_e$  in Metern

- Bremsweg

grundlegender Bremsweg

$$S = 0,1 * V + (X) * V^2$$

$S$  = Bremsweg in Meter

$V$  = Geschwindigkeit des Fahrzeuges in  $\frac{km}{h}$

$X$  = Variable, die sich nach Bedingungen der einzelnen Prüfungen richtet

- Bremsweg berichtigt

berichtigter Bremsweg

$$S_s = 0,1 * V_s + (S_a - 0,1 * V_a) * \frac{V_s^2}{V_a^2}$$

$S_s$  = berichtigter Bremsweg in Metern

$V_s$  = Prüfgeschwindigkeit in km/h

$V_a$  = tatsächliche Prüfgeschwindigkeit in km/h

$S_a$  = tatsächlicher Bremsweg in Metern

- 5.4. Materialeigenschaft
  - Asbest ist verboten.
    - Hinweis: Man kann davon ausgehen, dass entsprechende Bremsbeläge nicht mehr angeboten werden. Bei Eigenentwicklung ist auf Materialeigenschaften zu achten.

#### Prüfbedingungen, Prüfverfahren und Bremswirkung nach ECE-Norm R 78 Anhang 3

- 1. Allgemeine Hinweise
  - Für Oberflächen mit hohem Kraftschlussbeiwert gilt:
    - für alle dynamischen Bremsprüfungen (außer ABV), sauberes und ebenes  $\leq 1\%$  Gefälle und der Koeffizient der max. Bremskraft (PBC) von 0,9.
  - Für Oberflächen mit niedrigem Kraftschlussbeiwert gilt:
    - für alle dynamischen Bremsprüfungen, sauberes und ebenes  $\leq 1\%$  Gefälle und der Koeffizient der max. Bremskraft (PBC) von  $\leq 0,45$ .
- 1.1.4. Prüfung Feststellbremse
  - Die Prüfung findet unter den genannten Bedingungen statt: saubere und ebene Oberfläche, keine Verformung der Oberfläche durch Masse des Fahrzeugs.
  - Prüfbedingungen
    - Die Folgenden Prüfbedingungen müssen eingehalten werden: Breite der Fahrspur 2,5 m plus die Breite des Fahrzeuges, Umgebungstemperatur liegt zwischen 4 °C bis 45 °C, Windgeschwindigkeit höchstens 5 m/s und Prüfgeschwindigkeit  $\pm 5$  km der Vorgabe.
    - Für Automatikgetriebe gilt, dass alle Prüfungen unabhängig von ein- oder ausgekuppelt durchlaufen werden müssen.
      - Hinweis: Das Konzeptfahrzeug lässt sich nicht auskuppeln. Der Elektromotor ist mit Antriebsachsen fest verbunden.
    - Das Fahrzeug wird vor Beginn der Bremsung in der Mitte der Fahrbahn aufgestellt.
    - Die Bremsungen werden ohne blockierende Räder und verlassen der Fahrspur durchgeführt.
    - Die Bremsanlage wird nach Vorgaben der ECE-Norm R 78 Anhang 3 Punkt 2. Vorbereitungen eingefahren und entsprechend angepasst an die technischen Voraussetzungen des Fahrzeuges.

#### Durchzuführende Bremsprüfungen und Wirksamkeit nach ECE-Norm R 78.

- 3. Trockenbremsung – Einzelbremse betätigt
  - 3.1. Fahrzeugzustand
    - Die Trockenbremsung ist für alle Fahrzeugklassen durchzuführen. Die Betätigungseinrichtung der geteilten Betriebsbremse erfolgt über das

Fußpedal und wirkt auf alle Räder gleichzeitig. Die Prüfung ist im leicht beladen und beladen Fahrzeugzustand bei ausgekuppelten Motor durchzuführen.

- Hinweis: Wie auch in anderen Prüfungen kann der Motor nicht ausgekuppelt werden. Es gibt keine Hinweise im Umgang mit diesen Prüfbedingungen.
- 3.2. Prüfbedingungen und -verfahren
  - Die Temperatur der Bremse muss  $\geq 55 \text{ °C}$  und  $\leq 100 \text{ °C}$  sein.
  - Die Prüfgeschwindigkeit ist so zu wählen, dass mindestens  $0,9 V_{\max}$  (Höchstgeschwindigkeit) erreicht werden oder  $60 \text{ km/h}$ , entsprechend welcher Wert kleiner ist.
  - Jede Betätigungseinrichtung wird getrennt geprüft.
    - Hinweis: Am Konzeptfahrzeug ist nur eine Betätigungseinrichtung verbaut.
  - Die fußbetätigte Bremskraft muss  $\leq 500 \text{ N}$  sein.
  - Zur Erreichung der Vorgaben sind maximal sechs Bremsungen zulässig.
  - Jede Bremsung wird mit Prüfgeschwindigkeit durchgeführt.
- 3.3. Die Leistungsanforderung für geteilte Bremsanlagen an den Bremsweg  $S \leq 0,0077 * V^2$ , entsprechend der Prüfgeschwindigkeit. Für kombinierte Bremsanlagen gilt für alle Fahrzeugklassen L,  $S \leq 0,1V + 0,0154V^2$  entspricht einer mittleren Bremsverzögerung von  $\geq 2,5 \text{ m/s}^2$
- 4. Trockenbremsung – alle Betriebsbremsen betätigt
  - 4.1. Fahrzeugzustand
    - Die Trockenbremsung ist für Fahrzeugklasse L<sub>5</sub> durchzuführen bei leicht beladenen Fahrzeugzustand und ausgekuppelten Motor.
      - Hinweis: Der Motor kann nicht ausgekuppelt werden. Es sind keine Hinweise im Umgang mit diesen Prüfbedingungen vorhanden.
  - 4.2. Prüfbedingungen und -verfahren
    - Die Temperatur der Bremse muss  $\geq 55 \text{ °C}$  und  $\leq 100 \text{ °C}$  sein.
    - Die Prüfgeschwindigkeit ist so zu wählen, dass mindestens  $0,9 V_{\max}$  (Höchstgeschwindigkeit) erreicht werden oder  $60 \text{ km/h}$ , entsprechend welcher Wert kleiner ist.
    - Es sind gleichzeitig die getrennten Betätigungseinrichtungen oder die Betätigungseinrichtung, die auf alle Räder wirkt, zu prüfen.
    - Die fußbetätigte Bremskraft muss  $\leq 500 \text{ N}$  sein.
    - Zur Erreichung der Vorgaben sind maximal sechs Bremsungen zulässig.
    - Jede Bremsung wird mit Prüfgeschwindigkeit durchgeführt.
  - 4.3. Die Leistungsanforderung für geteilte Bremsanlagen an den Bremsweg  $S \leq 0,0060 V^2$  beträgt entsprechend der Prüfgeschwindigkeit  $V$ .
- 5. Prüfung mit hoher Geschwindigkeit

- Allgemeines
- Bei der Prüfung befindet das Fahrzeug im leicht beladenen Fahrzeugzustand, bei eingekuppeltem Motor und höchst eingelegten Gang.
  - Hinweis: Das Konzeptfahrzeug besitzt nur ein Gang, durch Elektromotor vorgegeben. Die Prüfung entfällt, wenn  $V_{\max} \leq 125 \text{ km/h}$ .
- Prüfbedingungen
  - Die Temperatur der Bremse muss  $\geq 55 \text{ °C}$  und  $\leq 100 \text{ °C}$  sein.
  - Die Prüfungsgeschwindigkeit ist wie folgt zu wählen,  $0,8 V_{\max}$  für Fahrzeuge  $>125 \text{ km/h}$  und  $<200 \text{ km/h}$ ;  $160 \text{ km/h}$  für Fahrzeuge mit  $V_{\max} \geq 200 \text{ km/h}$ .
  - Es sind gleichzeitig die getrennten Betätigungseinrichtungen oder die Betätigungseinrichtung, die auf alle Räder wirkt, zu prüfen.
  - Die fußbetätigte Bremskraft muss  $\leq 500 \text{ N}$  sein.
  - Zur Erreichung der Vorgaben sind maximal sechs Bremsungen zulässig.
  - Jede Bremsung wird mit Prüfungsgeschwindigkeit durchgeführt und muss folgende Leistungsanforderungen Bremsweg  $S \leq 0,1V + 0,0067V^2$  oder MFDD Bremsverzögerung  $\geq 5,8 \text{ m/s}^2$  entsprechen.
- 6. Prüfung bei feuchter Bremse
  - Allgemeines
    - Die erste Bremsprüfung ist nach den Vorgaben der Trockenbremsung - Einzelbremse durchzuführen. Die zweite Bremsprüfung wird unter gleichen Vorgaben durchgeführt, aber die Bremsen werden mit Wasser besprüht. Das Ziel ist es, die Bremsleistung der nassen Bremse zu ermitteln. Dazu wird das Fahrzeug mit entsprechenden Messinstrumenten ausgerüstet.
    - Ist die Handbremse gleichzeitig die Hilfsbremse muss unter feuchten Bedingungen geprüft werden.
      - Hinweis: Die Prüfung muss für das Konzeptfahrzeug durchgeführt werden, da die Handbremse die Hilfsbremse ist.
    - Bei gekapselter Bremsanlage muss keine Bremsprüfung durchgeführt werden.
      - Hinweis: Es ergibt sich ein Widerspruch mit der Richtlinie 93/14/EG Punkt „1.2.4.1 Diese Prüfung ist bei Kleinkrafträdern und Krafträdern (nicht jedoch bei Dreiradfahrzeugen) vorzunehmen“. Richtlinie und Norm sind gleichwertig und müssen jeweils anerkannt werden. Streng genommen muss eine Prüfung der Bremsanlage nach 93/14/EG akzeptiert und eine Zulassung nicht verweigert werden.
  - 6.2. Fahrzeugzustand
    - Die Prüfung betrifft alle Fahrzeugklassen. Die Prüfung ist im leicht beladen und beladen Fahrzeugzustand bei ausgekuppelten Motor durchzuführen.

- Hinweis: Der Motor kann nicht ausgekuppelt werden. Es gibt keine Hinweise im Umgang mit diesen Prüfbedingungen. Jede Bremse wird mit einer Wassersprüheinrichtung ausgerüstet. Weitere Informationen über die Sprüheinrichtung sind in der Richtlinie hinterlegt. Sie muss entsprechend der baulichen Bedingungen angepasst und montiert werden.
- 6.3. Ausgangsprüfung
  - Prüfung ist nach Vorgabe der Trockenbremsung – Einzelbremse betätigt durchzuführen. Dabei ist zu beachten das die mittlere Bremsverzögerung zwischen  $2,5 - 3 \text{ m/s}^2$  liegt. Es wird folgendes bestimmt: Messung der durchschnittlichen Betätigungskraft, bei einer Prüfgeschwindigkeit zwischen 80 % und 10 %, die durchschnittliche Fahrzeugverzögerung in einem Zeitraum von 0,5 bis 1,0 Sekunde nach der Betätigung der Betätigungseinrichtung und die maximale Fahrzeugverzögerung während der gesamten Bremsung außer die letzten 0,5 Sekunden. Es werden drei Ausgangsbremsprüfungen durchgeführt und der Mittelwert für jeweils alle der drei zu ermittelnden Werte gebildet.
- 6.4. Prüfung mit feuchter Bremse
  - Als erstes wird mit der vorgegebenen Ausgangsgeschwindigkeit die Sprühanlage an den Bremsen geprüft. Nach einer Strecke  $\geq 500 \text{ m}$  wird die ermittelte durchschnittliche Bremsbetätigungskraft aus der 6.3. Ausgangsprüfung angewendet. Es wird die durchschnittliche Bremsverzögerung im Zeitraum 0,5 bis 1,0 Sekunde nach der Betätigung der Betätigungseinrichtung gemessen. Außerdem wird während der gesamten Bremsung die maximale Bremsverzögerung außer den letzten 0,5 Sekunden gemessen.
- 6.5. Leistungsanforderung
  - Die Verzögerung der Bremse 6.4 Prüfung mit feuchter Bremse muss  $\geq 60 \%$  der durchschnittlichen Bremsverzögerung 6.3 Ausgangsprüfung sein. Weiterhin muss der gemessene Wert maximale Bremsverzögerung 6.4. Prüfung mit feuchter Bremse  $\leq 120 \%$  als der gemessene Wert durchschnittliche maximale Bremsverzögerung 6.3. Ausgangsprüfung sein. Zu beachten ist, dass die gesamte Bremsung außer die letzten 0,5 Sekunden als Messzeitraum gilt.
- 7. Prüfung des Bremschwunds bei Erwärmung (Fading)
  - 7.1. Allgemeines
    - Die Prüfung besteht aus drei Abschnitten.
    - Eine Ausgangsprüfung ist auf der Grundlage der Trockenbremsung – Einzelbremse durchzuführen.

- In der Aufwärmphase werden wiederholte Bremsungen durchgeführt, dadurch wird die Erwärmung der Bremse erreicht.
- Eine Bremsung mit heißen Bremsen auf Grundlage Trockenbremsung-Einzelbremse ist durchzuführen.
- Die Prüfung gilt nicht für Feststellbremse und Hilfsbremssysteme.
- Die Prüfung gilt für die Fahrzeugklasse L<sub>5</sub>.
- Während der Aufwärmphase ist die Bremsbestätigungskraft und Fahrzeugverzögerung kontinuierlich mit entsprechenden Messinstrumenten am Fahrzeug zu protokollieren. Für die Ausgangsprüfung und Bremsen mit heißer Bremse muss die MFDD oder der Bremsweg mit Messinstrumenten aufgezeichnet werden.
- 7.2. Ausgangsprüfung
  - Der Fahrzeugzustand, die Fahrzeugprüfung wird im beladenen Zustand durchgeführt und der Motor ist ausgekuppelt.
    - Hinweis: Ausgekuppelter Motor ist nicht möglich. Das Konzeptfahrzeug ist mit Elektromotor mit direkter Verbindung zur Antriebsachse ausgerüstet.
- Prüfbedingungen
  - Die Temperatur der Bremse muss  $\geq 55 \text{ °C}$  und  $\leq 100 \text{ °C}$  sein.
  - Die Prüfgeschwindigkeit muss so gewählt werden, dass sie  $0,9 V_{\max}$  oder 60 km/h, je nachdem welcher Wert kleiner ist, entspricht.
  - Jede der Betätigungseinrichtungen wird getrennt betätigt, falls eine getrennte vorliegt.
    - Hinweis: Das ist im Widerspruch zum Konzeptfahrzeug, welches keine getrennte Bremsanlage mit jeweils einer Betätigungseinrichtung hat. Es ist aber davon auszugehen, dass die Prüfung durchzuführen ist. Für den Bremsweg sind unter Punkt 3.3. Leistungsanforderung gegeben.
  - Die fußbetätigte Bremskraft muss  $\leq 500 \text{ N}$  sein.
  - Jede Bremsung wird mit Prüfgeschwindigkeit durchgeführt und muss folgende Leistungsanforderungen Bremsweg  $S \leq 0,1V + 0,0077V^2$  entsprechen.
- 7.3. Aufwärmverfahren
  - Das Aufwärmverfahren der Bremse wird folgendermaßen durchgeführt. Der Motor ist bis 50 % der Prüfgeschwindigkeit einzukuppeln und von 50 % der Prüfgeschwindigkeit auszukuppeln.
    - Hinweis: Das Auskuppeln des Motors ist nicht möglich. Der Elektromotor ist fest mit Antriebsachse verbunden.
  - Die Prüfbedingungen und -verfahren für die kombinierte Bremsanlage oder geteilter Betriebsbremsanlage sind: 100 km/h oder  $0,7 V_{\max}$ , je nachdem welcher Wert kleiner ist.

- Für die Bremsung wird jede Betätigungseinrichtung getrennt betätigt.
  - Hinweis: Im Fahrzeug ist nur eine Betätigungseinrichtung für die gesamte Betriebsbremse verbaut.
- Die Prüfung der Bremsbetätigungskraft erfolgt durch eine erste Bremsung mit konstanter Kraft, die zu einer Verzögerung von  $3,0-3,5 \text{ m/s}^2$  führt. Dabei verringert sich die Geschwindigkeit zwischen 80 % und 10 %. Bei nicht Erreichen der Verzögerung wird die Verzögerung für die entsprechende Fahrzeugklasse gewählt. Für die übrigen Bremsungen wird die gleiche konstante Kraft wie bei ersten Bremsung angewendet. Die Anzahl der Bremsungen ist zehn und werden im Abstand von 1000 m zwischen den Bremsungen durchgeführt. Die jeweilige Bremsung wird unverzüglich nach der vorhergehenden durchgeführt. Es wird unverzüglich beschleunigt, um die Höchstgeschwindigkeit wieder zu erreichen.
  - Hinweis: Ein Abkühlen der Bremsen muss verhindert werden.
- 7.4. Prüfung bei heißen Bremsen
  - Eine einzige Bremsung wird nach den Vorgaben der 7.2 Ausgangsprüfung unverzüglich innerhalb einer Minute nach dem aufwärmen nach den Vorgaben des 7.3 Aufwärmverfahren durchgeführt. Die Betätigungskraft darf weniger oder gleich der Kraft der 7.2. Ausgangsbremse ermittelten sein. Folgende Leistungsanforderung ist vorgegeben: Bremsweg  $S_2 \leq 1,67 * S_1 - 0,67 * 0,1V$  oder die MFDD liegt bei  $\geq 60 \%$  der in der 7.2 Ausgangsbremse aufgezeichneten MFDD.
- 8.0. Prüfung des Feststellbremssystems
  - Die Prüfung gilt für die Klasse L<sub>5</sub>. Der Fahrzeugzustand ist beladen und der Motor ausgekuppelt.
  - Folgende Prüfbedingungen und –verfahren sind gegeben: die Temperatur der Bremse  $\leq 100 \text{ °C}$ , die Neigung der Prüfoberfläche = 18 % und die fußbetätigte Bremskraft muss  $\leq 500 \text{ N}$  sein.
    - Das Fahrzeug wird 5 min im Stillstand in beide Richtungen in aufsteigender und anschließend in absteigender Richtung positioniert.
- 9. ABV-Prüfung
  - Hinweis: Die Prüfung des Antiblockiersystems entfällt, da kein Antiblockiersystem am Konzeptfahrzeug verbaut wird.
- 10. Prüfung des Teilweisen Versagens
  - Allgemeines
    - Prüfung gilt für Fahrzeuge mit geteilter Bremsanlage. Es soll die Leistung des jeweiligen funktionierenden Bremskreises nachgewiesen werden.
      - Hinweis: Das Konzeptfahrzeug ist mit einem Pedal und zwei Bremskreisen ausgerüstet.
  - Der Fahrzeugzustand ist leicht beladen und der Motor ist ausgekuppelt.

- Folgende Prüfbedingungen und –verfahren sind gegeben.
- Die Temperatur der Bremse beträgt  $\geq 55 \text{ °C}$  und  $\leq 100 \text{ °C}$ .
- Die Prüfgeschwindigkeit beträgt 50 km/h und 100 km/h oder  $0,8 V_{\max}$ , je nachdem welcher Wert kleiner ist.
- Jede Betätigung der Betätigungseinrichtung wird getrennt betätigt.
  - Hinweis: Das Konzeptfahrzeug besitzt nur eine Betätigungseinrichtung für beide Bremskreise.
- Die fußbetätigte Bremskraft muss  $\leq 500 \text{ N}$  sein.
- Die handbetätigte Bremskraft muss  $\leq 200 \text{ N}$  sein.
- Zur Erreichung der Vorgaben sind maximal sechs Bremsungen zulässig.
- Die Betriebsbremse wird so verändert, dass ein Totalverlust in einem Untersystem hervorgerufen wird. Entsprechender Tausch des Untersystems erfolgt nach jeweiliger Prüfung.
- Jede Bremsung wird mit Prüfgeschwindigkeit durchgeführt.
- Leistungsanforderung
  - Das Bremssystem muss über ein Warnsystem verfügen und entsprechend der Vorgaben funktionieren. Jede Bremsung wird mit Prüfgeschwindigkeit durchgeführt und muss folgende Leistungsanforderungen Bremsweg  $S \leq 0,1V + 0,0077V^2$  oder die mittlere Bremsverzögerung  $\geq 3,3 \text{ m/s}^2$  erfüllen.
- 11. Prüfung des Versagens des Bremskraftverstärkers
  - Hinweis: Diese Prüfung entfällt, es wird kein Bremskraftverstärker im Konzeptfahrzeug verbaut.

## 9.6 Richtlinie 71/320/EWG Bremsanlagen bestimmter Klassen von Kraftfahrzeugen

Das Konzeptfahrzeug wird wie ausgeführt nach der Klasse L5e umgesetzt. Die *Grundrichtlinie 71/320/EWG* beschreibt die Umsetzung und Prüfung der Bremsanlage aller Klassen außer L5e. Die Machbarkeit der Umsetzung des Projektes nach der Klasse M<sub>1</sub> wird als realisierbar eingestuft. Für die Vergleichbarkeit der Richtlinien der Klasse L5e und M<sub>1</sub> müssen die *Grundrichtlinien 71/320/EWG* und die *ECE-Norm 13-H* in ihren Prüfvorschriften und Bedingungen verglichen werden. Es gilt wie bei der Klasse L, beide Vorgaben sind gleichwertig und die Umsetzung muss nur nach einer erfolgen.

Die *Grundrichtlinie 71/320/EWG* geht aus der *Richtlinie 70/156/EWG* hervor, welche sich mit dem *EG-Typengenehmigungsverfahren* beschäftigt. Ziel ist die Erreichung gemeinsamer Qualitäts- und Wirkungskriterien der Produkte und Bauteile. Die Grundrichtlinie wurde im Jahr 1971 beschlossen. Inzwischen sind in den letzten Jahren eine Vielzahl von technischen Erneuerungen dazu gekommen. In der Tabelle 11 Entwicklung Richtlinie Bremsanlage, kann man die einzelnen Richtlinien nachvollziehen.

RICHTLINIE	ART DER RICHTLINIE	JAHR
71/320/EWG	Grundrichtlinie	26.07.1971
75/524/EWG	Richtlinie der Kommission	25.07.1975
79/489/EWG	Richtlinie der Kommission	18.04.1979
85/647/EWG	Richtlinie der Kommission	23.12.1985
88/194/EWG	Richtlinie der Kommission	24.03.1988
91/422/EWG	Richtlinie der Kommission	15.07.1991
98/12/EG	Richtlinie der Kommission	27.01.1998

**Tabelle 11 Entwicklung Richtlinie Bremsanlage**

Die *Grundrichtlinie 71/320/EWG Artikel 1 (1) a)* bezieht sich auf die Klasse M, diese Fahrzeugklasse dient zur Personenbeförderung. In der *Richtlinie 92/53/EWG* wird auf die Definition der Fahrzeugklassen eingegangen, aber auch in der *Rahmenrichtlinie 2007/46/EG* findet man die die entsprechende Definition für die Klasse M<sub>1</sub>. Folgende Eigenschaften muss das Kraftfahrzeug haben: mindestens vier Räder oder drei Räder, aber dann mit einem Gesamtgewicht von größer 1 t. Für die Machbarkeit und Bewertung unseres Fahrzeuges ist die Klasse M<sub>1</sub> interessant. Für diese Klasse gibt es folgende Einschränkung, es dürfen maximal 8 Sitzplätze plus den Fahrersitz vorhanden sein. Unter Abschnitt 2. *Bauvorschriften* wird detailliert auf den Aufbau der Bremse eingegangen. Da keine Umsetzung der Klasse M<sub>1</sub> geplant ist, wird in diesem Abschnitt nicht detailliert auf alle Punkte eingegangen. Die aufgeführten Punkte sollen einen Hinweis auf den Umfang der Richtlinie und ECE-Norm geben. 2.1. *Allgemeines* beschreibt, dass die Bremsanlage den üblichen Beanspruchungen genügen muss und,

dass sie den Alterungserscheinungen, wie Korrosion und Alterung standhält. Die Betriebsbremse muss in allen vorgesehenen Fahrbelastungszuständen eine sichere Kontrolle des Fahrzeuges ermöglichen. Die Hilfsbremse muss das Fahrzeug in innerhalb eines angemessenen Bremsweges zum Stillstand bringen. Dabei darf das Fahrzeug nur mit einer Hand am Lenkrad vom Sitz aus abgebremst werden. Die Feststellbremse muss mit rein mechanischer Wirkung das Fahrzeug sicher, in Abwesenheit des Fahrers, in einer Schräge gehalten werden. 2.2. *Eigenschaften der Bremsanlage* beschreibt, für die Klasse M und N die Gesamtheit der Bremsanlage. Die Bremsanlage besteht aus einer Betriebsbremse, Hilfsbremsung und Feststellbremse.

- Zwei voneinander unabhängige Betätigungseinrichtungen, die leicht vom Fahrersitz während des angelegten Sicherheitskurt erreichbar sind.
- Die Betätigungseinrichtung muss nach der Entlastung durch den Fahrer in ihre vollständige Ausgangsstellung zurückkehren.
- Das gilt nicht für die Feststellbremse die mechanisch arretiert wird.
- Die Betätigungseinrichtung der Betriebsbremse muss von der Feststellbremse getrennt sein.
- Besitzen Hilfsbremse und Betriebsbremse eine gemeinsame Betätigungseinrichtung dürfen die verschiedenen Bauteilen nach einer bestimmten Betriebsdauer keine Veränderungen aufweisen. Die Feststellbremse muss unabhängig von der Betriebsbremse während der Fahrt betätigt werden können.
- Falls es zum Bruch von Teilen (Abschnitt 2.2.1.2.7.) der Bremsanlage kommt, außer den Bremsen, muss das Fahrzeug mit dem nicht defekten Teil der Bremsanlage oder Hilfsbremsanlage zum Stillstand gebracht werden können. Das gilt besonders für Anlagen die für Betriebsbremse und Hilfsbremse eine Betätigungs- und Übertragungseinrichtung haben.
- Ist die Betriebsbremse mit einem unterstützenden Hilfssystem für den Fahrer ausgerüstet, muss bei Ausfall dieses, darf die Muskelkraft des Fahrers den zulässigen Wert der Betätigungseinrichtung nicht überschreiten. Es ist möglich den Fahrer durch unabhängige Energievorräte zu unterstützen.
- Dient die Betätigungseinrichtung nur als Steuerung der Energie der Übertragungseinrichtung müssen zwei voneinander unabhängige Energiespeicher mit jeweils eigener Übertragungseinrichtung verbaut werden. Jeder Energiespeicher darf jeweils auf zwei oder mehr Räder wirken, wenn die Hilfsbremsung gewährleistet werden kann ohne dabei die Stabilität des Fahrzeuges zu gefährden. Zur Gewährleistung der entsprechenden Sicherheit bei Ausfall oder Störung eines Energiespeichers muss jeder mit einer Warneinrichtung ausgerüstet sein.

- Ist das Fahrzeug mit jeweils einer Betätigungseinrichtung für Hilfs- und Betriebsbremse ausgerüstet darf es bei gleichzeitiger Betätigung zu keiner Störung kommen. Das gilt für den störungsfreien Betrieb für beide Bremsen oder im Fall einer Störung in einer Bremsanlage.
- Bei Ausfall eines Teiles der Übertragungseinrichtung der Betriebsbremse müssen folgende Bedingungen eingehalten werden.
  - Es muss eine ausreichende Anzahl an Rädern gebremst werden, dass für vollbeladene Fahrzeuge die Restbremswirkung mindestens 30 % der vorgeschriebenen Bremswirkung erreicht wird. Für leere Fahrzeuge der Klasse M<sub>1</sub> gilt 25 % der vorgeschriebenen Bremswirkung. Dabei ist wichtig, dass die Betätigungskraft nicht 700 N überschreitet.
- Für eine sichere und stabile Bremswirkung muss die Betriebsbremsanlage auf alle Räder wirken. Die Wirkung muss sinnvoll auf alle Achsen und symmetrisch auf die Räder einer Achse zur Längsmittlebene des Fahrzeuges verteilt sein.
- Die Feststell- und Betriebsbremse müssen auf die Bremsflächen der Räder wirken. Diese Bremsflächen müssen ausreichend fest und ständig mit den Rädern verbunden sein. Ein Auskuppeln der Bremsflächen von den Rädern ist nicht zulässig. Es gibt aber Ausnahmen. Es ist möglich, ein kurzzeitiges Auskuppeln zum Beispiel beim Gangwechsel zuzulassen, dabei muss die Hilfsbremse oder Betriebsbremse ihre Bremswirkung beibehalten. Ein Auskuppeln ist für die Feststellbremse zulässig, solange dies vom Fahrersitz geschieht. Diese Einrichtung für das Auskuppeln, darf nicht durch eine Undichtigkeit wirksam werden.
- Ein händisches oder automatisches Nachstellen der Bremsanlage durch Abnutzung muss gewährleistet werden. Die durch Erwärmung hervorgerufene Ausdehnung, der Bremsanlage und die Abnutzung der Bremsbeläge muss durch entsprechende Wegreserven ohne sofortiges Nachstellen ausgeglichen werden.

Der Punkt 2.2.1.12. *Bei Bremsanlagen mit hydraulischer Übertragung* ist ein wichtiger Abschnitt, der für eine zukünftige Zulassung der Klasse M<sub>1</sub> Voraussetzung ist. Das Konzeptfahrzeug wird mit einer hydraulischen Bremsanlage ausgelegt.

- Die Flüssigkeitsbehälter für die hydraulische Bremsanlage müssen leicht zugänglich sein. Damit soll erreicht werden, dass eine leichte Prüfung des Flüssigkeitsstandes, ohne dass dieser geöffnet werden muss und das Nachfüllen möglich ist. Falls ein leichter Zugang nicht möglich ist, muss eine Warneinrichtung, die einen zu niedrigen Füllstand anzeigt, vorhanden sein. Es muss die korrekte Funktion dieser Warneinrichtung leicht vom Fahrer

überprüfbar sein. Bei Ausfall der Übertragungseinrichtung muss dieses durch eine aufleuchtende rote Kontrolllampe, spätestens bei Betätigung der Bremsanlage, angezeigt werden. Bei Beschädigung oder Ausfall eines Bauteiles darf es nicht zum Komplettversagen der Bremswirkung kommen. Es muss die korrekte Funktion dieser Warneinrichtung leicht vom Fahrer überprüfbar sein.

- Die Punkte ab 2.2.1.13 bis 2.2.1.20 sind für den Einsatz eines Energiespeichers und Anhänger zu beachten.

Im *Anhang II Bremsprüfungen und Bremswirkungen* wird im Abschnitt 1. *Bremsprüfungen 1.1. Allgemeines* das Grundsätzliche beschrieben wie für die Klasse L5e.

Beispiel für die Bremsprüfung Typ I

- Es wird die Schwelldauer mit einbezogen, um die Bremswirkung der Anlage zu beurteilen.
- Für wiederholten Bremsungen gilt:
  - Ausgangsgeschwindigkeit: 80 % Höchstgeschwindigkeit des Fahrzeuges  $\leq 120$  km/h
  - Geschwindigkeit am Ende der Bremsung:  $\frac{1}{2}$  der Höchstgeschwindigkeit
  - Zeitraum zwischen Beginn der jeweiligen Bremsungen 45 s
  - Anzahl der Bremsungen:  $n = 15$

Weitere Bremsprüfungen müssen für die Klasse M1 durchgeführt werden: Typ O Normale Prüfung der Wirkung bei kalter Bremse, Bremsprüfung Typ II Prüfung des Fahrzeugverhaltens auf langen Gefällestrecken, Bremsprüfung Typ II a und weitere Unterprüfungen entsprechend der Typen. Die Bremsprüfung für die Klasse M<sub>1</sub> viel umfangreicher, aber es ist nicht unbedingt schwieriger den Vorgaben gerecht zu werden.

Im Abschnitt 2. *Wirksamkeit der Bremsanlagen* werden entsprechende Werte für die Klasse M vorgegeben. Ähnliche Werte und Vorgaben findet man in der Vorschrift für die Klasse L5e. Für die Klasse L5e sind die 2.1.1.1. *Prüfvorschriften* nicht ganz so streng, siehe Tabelle 12 Vergleich der Bremsprüfung Trockenbremse. Der Abschnitt 2.1.2. *Hilfsbremsanlage* ist ausführlicher für die Klasse M. Die Prüfung der Hilfsbremsanlage ist umfangreicher, sie wird nach Typ O mit eingekuppelten und ausgekuppelten Motor geprüft. Das Gefälle von 18 % für die Feststellbremse ist für bei beiden Klassen gleich. Im Gegensatz zur Klasse L5e muss die Feststellbremse der Klasse M<sub>1</sub> während der Prüfung mehrmals betätigt werden. Die Restbremswirkung wird unterschiedlich durchgeführt. Es wird der tatsächliche Ausfall der Bremsanlage für die Klasse M<sub>1</sub>

simuliert. Für die Klasse L5e wird das ganze durch eine starke Beanspruchung, 10 Vollbremsungen, der Bremse simuliert. Der Abschnitt *Verteilung der Bremskraft auf die Fahrzeugachsen* ist ein wichtiger Abschnitt. Dieser Abschnitt geht auf das Blockieren der Räder ein. Dabei ist es wichtig, dass das Blockieren der Räder verhindert wird. Das kann entweder mit einer automatischen Blockiereinrichtung oder durch die entsprechende Berechnung der Bremse umgesetzt werden. Die Bremse muss den Vorgaben der *Verteilung der Bremskraft auf die Fahrzeugachsen* entsprechen. Im Abschnitt Berechnung der Bremse wird auf eine Vielzahl von möglichen Werten, die zur Beurteilung und Bewertung der Bremse herangezogen werden können, eingegangen. Abschließend kann man sagen, dass die Vorgaben für die Klasse M<sub>1</sub> viel umfangreicher und strenger als für die der Klasse L5e sind.

## 9.7 ECE-Norm R13H

Wie schon bei den Fahrzeugen der Klasse L, gibt es für die Klasse Meine eigene ECE-Norm. Diese ECE-Norm lautet wie folgt: *Regelung Nr. 13-H der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (UN/ECE) – Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Personenkraftwagen hinsichtlich der Bremsen. [2015/2364]*. Der Umfang der Norm beträgt 82 Seiten und ist damit im Gegensatz zu der ECE-Norm R 78 mit 59 Seiten umfangreicher. Wie alle Normen beinhaltet diese auch am Anfang die Begriffsbestimmung und geht dann auf die entsprechenden Bremsprüfungen ein. Es wird auf eine detaillierte Beschreibung aller Bremsprüfungen verzichtet. Als Beispiel wird eine Bremsprüfung herausgenommen und mit der entsprechenden Bremsprüfung der Klasse L verglichen. Dieser Vergleich in der Tabelle 12 Vergleich der Bremsprüfung Trockenbremse soll die unterschiedlichen geforderten Bedingungen darstellen. Für die Klasse M werden größere Verzögerungswerte verlangt. Sonst sind die geforderten Bremswirkungen im ähnlichen bis fast gleichen Bereich. Die detaillierte Beschreibung aller Bremsprüfungen würde den Rahmen der Masterarbeit sprengen und ist nicht zielführend für das Projekt. Entsprechend einer zukünftigen geplanten Straßenzulassung der Klasse M<sub>1</sub> muss die Bremse nach dieser Norm oder Richtlinie ausgelegt werden.

	Prüfung Typ 0 kalte Bremsen Klasse M	Prüfung Trockenbremsung Klasse L
Temperatur Bremse	65 °C – 100 °C	55 °C – 100 °C
Bremswirkung eingekuppelter Motor	V = 100 km/h $S \leq 0,1 v + 0,0060 V^2$ mittlere Verzögerung $\geq 6,43 \text{ m/s}^2$	V > 125 km/h und V < 200 km/h oder $0,8 V_{\max}$ ; V = 160km/h für $V_{\max}$ > 200 km/h $S \leq 0,1 v + 0,0067 V^2$ mittlere Verzögerung $\geq 5,8 \text{ m/s}^2$

	Prüfung Typ 0 kalte Bremsen Klasse M	Prüfung Trockenbremsung Klasse L
Bremswirkung ausgekuppelter Motor	$80 \%V_{\max} \leq 160 \text{ km/h}$ $S \leq 0,1 v + 0,0067 V^2$ mittlere Verzögerung $\geq 5,76 \text{ m/s}^2$	$V = 100 \text{ km/h}$ oder $0,9 V_{\max}$ $S \leq 0,1 v + 0,0077 v^2$ mittlere Verzögerung $\geq 5,0 \text{ m/s}^2$
Hilfsbremskraft	$V = 100 \text{ km/h}$ $S \leq 0,1 v + 0,0158 v^2$ mittlere Verzögerung $\geq 2,44 \text{ m/s}^2$	$V = 60 \text{ km/h}$ $S \leq 0,1 V + V^2/65$ mittlere Verzögerung $\geq 2,5 \text{ m/s}^2$
Feststellbremse	beladenes Fahrzeug Steigung/Gefälle 20%	beladenes Fahrzeug Steigung/Gefälle 18%

**Tabelle 12 Vergleich der Bremsprüfung Trockenbremse**

### 9.8 Bewertung und Vergleich der gesetzlichen Richtlinien und Shell Eco Reglement

Bewertet man den Umfang der Vorgaben, sind die gesetzlichen Vorgaben sehr umfangreich. Es ist möglich diese umzusetzen, aber es erfordert ein genaues analysieren dieser. Dagegen ist die Umsetzung des Shell Eco Reglement vergleichsweise recht einfach. Die, Tabelle 13 Vergleich technische Vorgabe Shell/M<sub>1</sub>/L5e, stellt die geforderten Bedingungen kurz da. Sie umfasst die technischen Bremswirkungswerte. Bauliche Vorgaben wurden in den vorhergehenden Tabellen entsprechend zusammengefasst. Es gibt zum Beispiel keine Vorgaben zu Bremsverzögerung oder Bremsweg. Vorgaben werden gemacht zur Handbremse, zum schematischen Aufbau der Bremsanlage und Dicke der Bremscheiben. Der Umsetzung der Bremsanlage nach dem Shell Eco Reglement steht nichts im Wege. Es steht ausreichen Geld und Zeit dem Team zu Verfügung. Der konstruktive und technische Aufwand wird als gering eingestuft. Für die Bremsanlage müssen keine Bauteile gefertigt werden, sondern können aus dem Zubehörbereich gekauft werden. Der Aufwand für die Klasse L7e ist durch die in den Richtlinien und Normen geforderten Vorgaben höher. Aber auch diese Umsetzung ist realisierbar. Dafür müssen mehr Geld- und Zeitmittel investiert werden.

	M <sub>1</sub>	L5e	Shell
Prüfgeschwindigkeit v, km/h	80	60	Keine Vorgaben
Bremsweg m	$S \leq 0,1 * V + \frac{V}{150}$	$S \leq 0,1 * V + \frac{V}{130}$	Keine Vorgaben
durchschnittliche Verzögerung m/s <sup>2</sup>	5,8	5,0	Keine Vorgaben

	M <sub>1</sub>	L5e	Shell
Betätigungskraft Fußpedal N	≤500	≤500	Keine Vorgaben
Feststellbremse beladenes Fahrzeug, Gefälle %	18	18	20 gilt für Bremssystem und nicht für Feststellbremse. Feststellbrems muss 50 N in Ebene halten
Hilfsbremsanlage	$S \leq 0,1 * V + \frac{2V}{150}$	$S \leq 0,1 * V + \frac{V}{65}$	Keine Vorgaben
mittlere Vollverzögerung Hilfsbremsanlage m/s <sup>2</sup>	2,9	2,5	Keine Vorgaben
Betätigungskraft an Hilfsbremse Fußpedal N	≤500	keine Vorgaben	Keine Vorgaben
Betätigungskraft an Hilfsbremse Hand N	≤400	keine Vorgaben	Keine Vorgaben Keine Vorgaben
Betätigungskraft an Feststellbremse Fußpedal N	≤500	≤500	Keine Vorgaben
Betätigungskraft an Feststellbremse Hand N	≤400	≤400	Keine Vorgaben
Restbremswirkung beladen, Bremsweg m	$0,1V + \frac{100}{25} * \frac{V^2}{150}$	$S \leq 1,6 - 0,67 aV$	Keine Vorgaben
Restbremswirkung unbeladen, Bremsweg	$0,1V + \frac{100}{30} * \frac{V^2}{150}$		Keine Vorgaben
Restbremswirkung beladen, Verzögerung	1,7 m/s <sup>2</sup>	nicht <60 % ermittelte Verzögerung Bremsprüfung Typ 0 ( min. Verzögerung 3,0 m/s <sup>2</sup> )	Keine Vorgaben
Restbremswirkung unbeladen, Verzögerung	1,5 m/s <sup>2</sup>		Keine Vorgaben

 Tabelle 13 Vergleich technische Vorgabe Shell/M<sub>1</sub>/L5e

## 10 Auslegung Baugruppe Rad mit Bremse

### 10.1 Berechnung der Bremse unter Vorgabe der gesetzlichen Bedingungen

Die Berechnung der Bremse erfolgt mit der vorgegebenen gesetzlichen Bremsverzögerung von  $5,0 \text{ m/s}^2$ . Die Gesamtmasse des Fahrzeuges  $300 \text{ kg}$  setzt sich aus maximalen zulässigen Masse  $225 \text{ kg}$  des Fahrzeuges und des Fahrer/in  $75 \text{ kg}$  zusammen. Das sind die Vorgaben für den Shell Eco Marathon. Primär soll das Fahrzeug für den Shell Eco Marathon eingesetzt werden. Die nachfolgenden Berechnungen sind die Grundlage für die Berechnung der Betriebsbremse für das Eco Shell Reglement. Für die Straßenversion darf die Gesamtmasse des Fahrzeuges ohne Batterien und Fahrer/in nicht  $400 \text{ kg}$  überschreiten. Die Auslegung des Antriebes inklusive Batterie wird vom Herrn Lorenz, Teammitglied, in der Masterarbeit mit dem Titel „Konzeption und Konstruktion eines Antriebsstranges für das Studentenprojekt EcoEmotion-HoMe“ erarbeitet. Deshalb kann das Gesamtgewicht des Fahrzeuges inklusive Batterie nicht ermittelt werden.

Als erstes wird mit der Formel F.1 die Abbremsung berechnet. Unter Abbremsung versteht man das Verhältnis zwischen Bremskraft und Fahrzeuggewicht oder das Verhältnis zwischen Bremsverzögerung und Fallbeschleunigung. Dieser Wert ist die Grundlage zur Ermittlung der Bremskraftverteilung auf die Achsen. Für das Konzeptfahrzeug wird ein Wert von  $0,5096$  (siehe B.2) errechnet.

$$\text{Abbremsung: } z = \frac{F_{V,X,B}}{F_{V,Z,t}} = \frac{a_x}{g} * 100 \% \quad \text{F.1}$$

$$z = \frac{5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} * 100\% = \underline{50,96 \%} \quad \text{B.1}$$

$$z = \frac{5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = \underline{\underline{0,5096}} \quad \text{B.2}$$

Mit Hilfe der umgestellten Formel (F.2) kann man die Bremskraft des Fahrzeuges im Schwerpunkt (B.3) von  $1500 \text{ N}$  ermitteln.

$$\text{Bremskraft des Fahrzeuges im Schwerpunkt: } F_{V,X,B} = z * F_{V,Z,t} \quad \text{F.2}$$

$$0,5096 * 300 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \underline{\underline{1500 \text{ N}}} \quad \text{B.3}$$

$z$	Abbremsung. – bzw. %
$F_{V,X,B}$	Bremskraft im Schwerpunkt des Fahrzeuges angreifend, N
$F_{V,Z,t}$	Gesamtgewicht des Fahrzeuges, N
$a_x$	Längsbeschleunigung, Bremsbeschleunigung, $\text{m/s}^2$

Die Abbremsung der Vorder- und Hinterachse wird durch die Haftreibung zwischen dem Rad und Untergrund begrenzt. Ist die Abbremsung höher als der Haftreibwert kommt es unmittelbar zum Blockieren der Räder, d.h. zum Gleiten des Fahrzeuges. Optimal wäre ein Antiblockiersystem, das entsprechend auf die Abbremsung einwirkt. In der ECE-Norm 13-H findet man den Haftreibwert unter dem Begriff „Maximaler Bremskoeffizient PBC“. Im Abschnitt Begriffsbestimmung 2.31. ist er wie folgt definiert: „das Maß für die Reibung von Reifen und Straßenoberfläche, ausgehend von der größtmöglichen Verzögerung eines rollenden Reifens.“ Nach der Norm wird der Bremskoeffizient von 0,9 angenommen. In B.4 ist die Abbremsung kleiner als der maximale Bremskoeffizient von 0,9.

$$z = \frac{F_{W,X,B,f}}{F_{V,Z,t}} + \frac{F_{W,X,B,r}}{F_{V,Z,t}} = \frac{a_x}{g} \leq \mu_{W,X} \quad \text{F.3}$$

$$\frac{5 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}{9,81 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 0,5097 \leq 0,9 \quad \text{B.4}$$

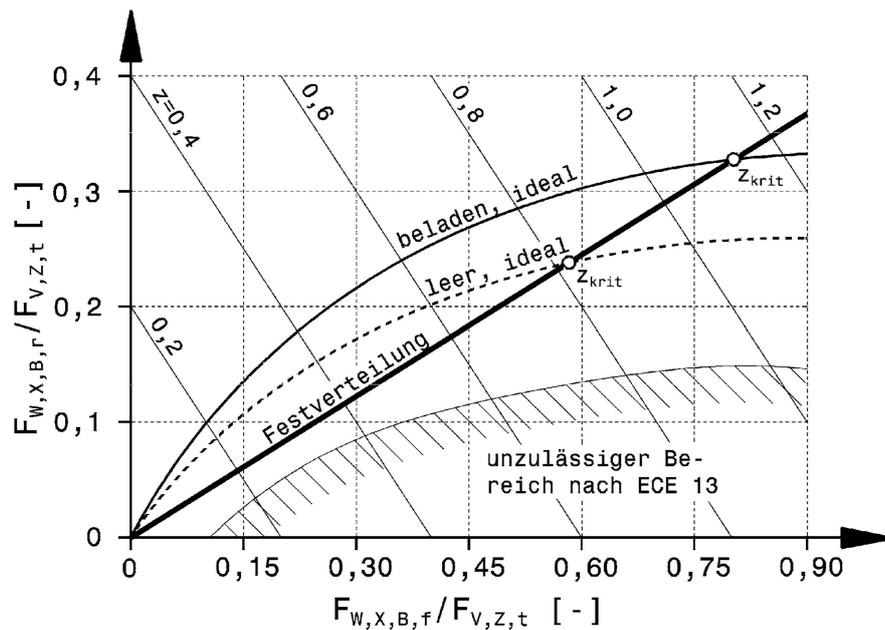


Abbildung 10-1 Bremskraftverteilung<sup>5</sup>

$$\text{Bremskraft an der Hinterachse } F_{V,Z,t} * z_1 = F_{W,X,B,r} \quad \text{F.4}$$

$$\text{Bremskraft an der Vorderachse } F_{V,Z,t} * z_2 = F_{W,X,B,f} \quad \text{F.5}$$

<sup>5</sup> Trzesniowski, M. (2014). *Rennwagentechnik: Grundlagen, Konstruktion, Komponenten, Systeme*. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag.

Die Abbremsung  $z$  kann mit Hilfe der Abbildung 10-1 Bremskraftverteilung, für die Vorderachse  $z_1$  und Hinterachse  $z_2$  ermittelt werden. Die Bremsverteilung wird als Festverteilung am Fahrzeug umgesetzt. Für eine ideale Bremsverteilung müsste diese an verschiedene Beladungszustände angepasst oder ein automatisches Bremskraftverteilungssystem in das Fahrzeug integriert werden. Wie aus B.5 und B.6 hervorgeht, wird 2/3 der Bremskraft von der Vorderachse umgesetzt.

$$\text{Hinterachse } 300 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,15 = 442 \text{ N} \quad \text{B.5}$$

$$\text{Vorderachse } 300 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,36 = 1058 \text{ N} \quad \text{B.6}$$

$F_{W,X,B,f}$  Bremskraft an der Vorderachse, N

$F_{W,X,B,r}$  Bremskraft an der Hinterachse, N

$\mu_{W,X}$  Haftreibung in Längsrichtung, -

Die Haftreibung spielt eine wichtige Rolle beim Einleiten der Bremskraft über die Räder auf die Straße. In der Formel F.6 wird die Bremskraft pro Achse ermittelt.

$$F_{W,X,B,n} = \mu_{W,X,n} * F_{V,Z,n} \quad \text{F.6}$$

$F_{W,X,B,n}$  Bremskraft der Achse n, N

$F_{V,Z,n}$  Achslast der Achse n, N

$$\text{Vorderachse } 0,8 * 120 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} = 942 \text{ N} \quad \text{B.7}$$

$$\text{Hinterachse } 0,8 * 180 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} = 1413 \text{ N} \quad \text{B.8}$$

Die ermittelten Werte in B.7 und B.8 sind nur theoretische Werte, da die erreichte Abbremsung von 0,5096 kleiner als die Haftreibung ist. Wie schon erwähnt wird damit gewährleistet, dass die Räder nicht blockieren.

Die erforderliche benötigte Gesamtbremskraft kann auf drei Arten ermittelt werden, aus der Trägheitskraft F.7, der Bewegungsenergie F.8 oder Bewegungsenergie. Alle drei Arten der Berechnung ergeben eine Bremskraft von 1500 N (B.9, B.10, B.11).

$$F_{V,X,B} = m_{V,1} * a_x \quad \text{F.7}$$

$$\text{aus Trägheitskraft: } 300 \text{ kg} * 5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1500 \text{ N} \quad \text{B.9}$$

$$F_{V,X,B} = \frac{m_{V,1} * v_{V,1}^2}{2s_B} \quad \text{F.8}$$

$$\text{aus Bewegungsenergie: } \frac{300 \text{ kg} * \left(16,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 27,55 \text{ m}} = 1500 \text{ N} \quad \text{B.10}$$

Für die Berechnung mit der Formel F.8 wird die Fahrzeuggeschwindigkeit und Bremsweg benötigt. Beide Werte werden durch den Gesetzgeber vorgegeben und werden wie folgt berechnet. Für die Klasse L5e gibt der Gesetzgeber einen Bremsweg von 27,55 m und eine Geschwindigkeit von 60 km/h (16,6 m/s) vor.

$$F_{V,X,B} = m_{V,1} * g * z \quad \text{F.9}$$

$$\text{aus der Abbremsung: } 300 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,51 = 1500 \text{ N} \quad \text{B.11}$$

$m_{V,1}$  Fahrzeugmasse, kg

$a_x$  mittlere (konstante) Bremsverzögerung  $\text{m/s}^2$

$v_{V,1}$  Fahrzeuggeschwindigkeit vor dem Bremsen,  $\text{m/s}$

$s_B$  Bremsweg, m

Bei der Betrachtung der Bremskraft wird der aerodynamische Abtrieb vernachlässigt. Es wäre möglich mit entsprechenden Anbauten wie Front- und Heckflügel die Abtriebskräfte im Fahrzeugschwerpunkt zu erhöhen. Man kann sich das wie eine zusätzliche Kraft vorstellen, die senkrecht von oben auf das Fahrzeug wirkt. Die Gesamtmasse des Fahrzeuges bleibt aber gleich.

Eine Abschätzung der Bremsarbeit (F.10, F.11) und -leistung (F.12) während des Bremsvorganges von Beginn bis zum Stillstand des Fahrzeuges zeigt die Berechnung. Die Bremsarbeit ist die Grundlage zur Berechnung der mittleren Bremsleistung, diese wird wiederum zur Berechnung der spezifischen Bremsleistung der Beläge und Bremsscheibe benötigt.

$$W_B = m_{V,t} * a_x * s_B \quad \text{F.10}$$

$$\text{Bremsarbeit: } 300 \text{ kg} * 5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 27,55 \text{ m} = \underline{41325 \text{ J}} \quad \text{B.12}$$

$$W_B = \frac{m_{V,t}}{2} (v_{V,1}^2 - v_{V,Re}^2) \quad \text{F.11}$$

$$\frac{300 \text{ kg}}{2} \left( \left( 16,6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 - \left( 0 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 \right) = \underline{41334 \text{ J}} \quad \text{B.13}$$

$$P_{B,max} = F_{V,X,B} * v_V \quad \text{F.12}$$

Maximale Bremsleistung (Augenblickswert): B.14

$$1500 \text{ N} * 16,6 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \underline{24900 \text{ W} = 24,9 \text{ kW}}$$

$v_{V,1}$	Geschwindigkeit vor dem Bremsen, m/s
$v_{V,Re}$	Geschwindigkeit nach dem Bremsen, m/s
$P_{B,max}$	Bremsleistung, größter Augenblickswert, W
$W_B$	Bremsarbeit, J

Ein wichtiger technischer Wert ist die mittlere Bremsleistung (F.14), die die Bremse erbringen muss. Dabei ist es wichtig, dass alle Materialien die aufgebrachte Bremsleistung, umgewandelt in Wärme, gut abführen können.

$$P_{B,m} = \frac{W_B}{t_B} \quad t_B = \frac{\Delta v}{a_x} \quad a_x = \frac{\Delta v^2}{2s_B} \quad \text{F.13}$$

$$t_B = \frac{-16,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 3,32 \text{ s} \quad \text{B.15}$$

$$\frac{41325 \text{ J}}{3,32 \text{ s}} = 12447 \text{ W} \quad \text{B.16}$$

$$P_{B,m} = \frac{F_{V,X,B} * v_{V,1}}{2} \quad \text{F.14}$$

$$\frac{1500 \text{ N} * 16,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2} = 12450 \text{ W} \quad \text{B.17}$$

$P_{B,m}$	mittlere Bremsleistung, W
$t_B$	Bremszeit, s
$\Delta v$	Geschwindigkeitsdifferenz, m/s mit $\Delta v = v_{V,Re} - v_{V,1}$

Wie schon beschrieben, können weitere bauliche Maßnahmen sich positiv auf die Bremsleistung auswirken. Es werden der Rollwiderstand, der Luftwiderstand und der Abtrieb vernachlässigt, da sie nur einen kleinen Betrag zur Gesamtbremsleistung beitragen, siehe Abbildung 10-2 Verteilung Bremsleistung. Es ist möglich, dass sich bei

PKWs die Bremsleistung auf Grund des Auftriebes bei hohen Geschwindigkeiten verringert.

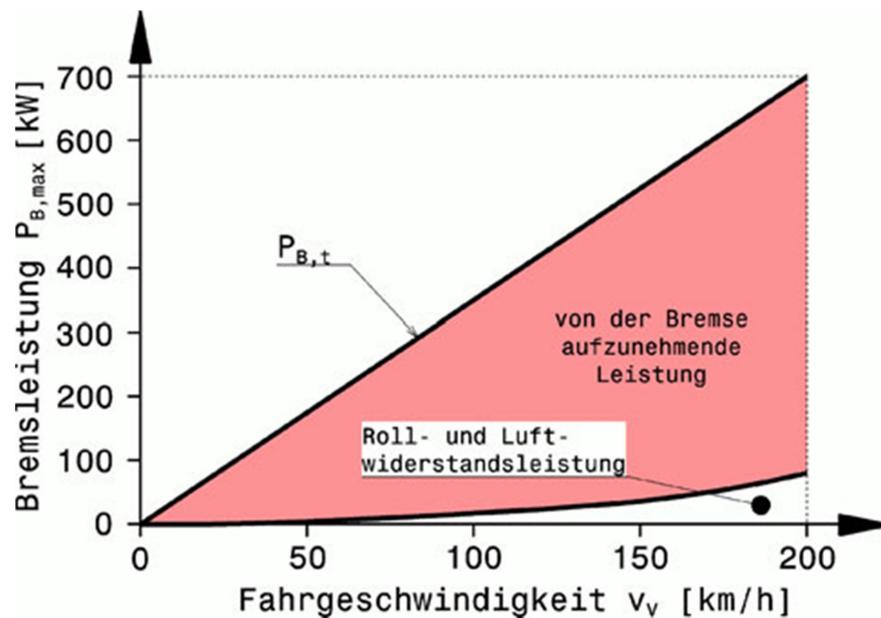


Abbildung 10-2 Verteilung Bremsleistung<sup>6</sup>

Die spezifische Bremsleistung  $N$  ist die maximale Bremsleistung bezogen auf die Reibfläche der Beläge und der überstrichenen Fläche der Bremsscheiben. Damit ist ein Vergleich mit den typischen Werten von Belägen und Bremsscheiben möglich. Die Werte B.18 B.19 für das Konzeptfahrzeug liegen unter und außerhalb der erreichbaren spezifischen Bremsleistung. Es ist zu erkennen, dass damit eine Erhöhung der Gesamtmasse des Fahrzeuges möglich ist.

$$N_{Belag} = 2,4 \quad \text{bis} \quad 3,3 \text{ kW/cm}^2$$

$$N_{Bd} = 0,45 \quad \text{bis} \quad 0,60 \text{ kW/cm}^2$$

$$N_{Belag} = \frac{P_{B,W,max}}{2 * A_{Belag}} \quad \text{F.15}$$

$$\frac{6225 \text{ W}}{2 * 18 \text{ cm}^2} = 173 \text{ W/cm}^2 \quad \text{B.18}$$

Die angenommene Fläche  $18 \text{ cm}^2$  der Bremsbeläge, siehe Abbildung 10-3 Bremsbeläge, entspricht nicht der genauen tatsächlichen Fläche. Es kann keine genaue Aussage über die tatsächliche Fläche gemacht werden, da die Bremsbelagsfläche von Hersteller zur Hersteller etwas unterschiedlich ist.

<sup>6</sup> Trzesniowski, M. (2014). *Rennwagentechnik: Grundlagen, Konstruktion, Komponenten, Systeme*. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag.

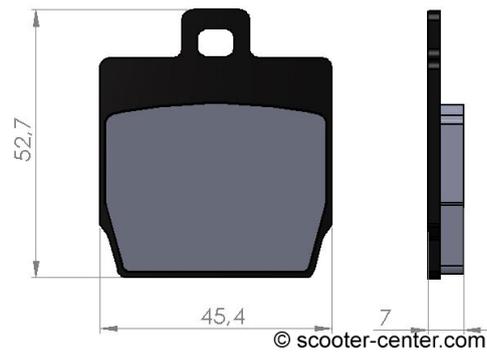


Abbildung 10-3 Bremsbeläge<sup>7</sup>

$$N_{Bd} = P_{B,W,max} / A_{Bd}$$

$$\frac{6225 \text{ W}}{(\pi * (14,2\text{cm})^2 - \pi * (10,25\text{cm})^2)} = 20,5 \text{ W/cm}^2$$

F.16

B.19

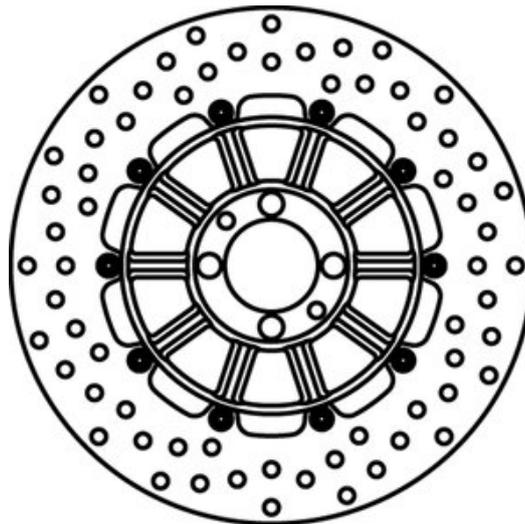


Abbildung 10-4 Bremsscheibe<sup>8</sup>

- $N$  spezifische Bremsleistung, kW/cm<sup>2</sup>
- $P_{B,W,max}$  max. Bremsleistung pro Rad, kW
- $A_{Belag}$  Reibfläche Bremsbelag, cm<sup>2</sup>
- $N_{Bd}$  überstrichene Bremsscheibenfläche, cm<sup>2</sup>

<sup>7</sup>[http://www.scooter-center.com/medias/sys\\_master/NewProductImagesFolder/8891366506526/BGM45207%282%29.jpg](http://www.scooter-center.com/medias/sys_master/NewProductImagesFolder/8891366506526/BGM45207%282%29.jpg)

<sup>8</sup>[https://cdn2.louis.de/content/catalogue/articles/img298x298/10043435\\_920\\_DET01\\_15\\_INET.JPG](https://cdn2.louis.de/content/catalogue/articles/img298x298/10043435_920_DET01_15_INET.JPG)

Das Fahrzeug wird keine lastabhängige Bremsanlage, die auf verschiedene Beladungszustände automatisch angepasste Bremskraftverteilung einstellt, haben. Deshalb sollte und muss die Bremskraftverteilung mit Hilfe eines Waagebalkensystems entsprechend angepasst werden. Damit wird und kann ein Überbremsen und damit das verhindern des Blockieren der Vorder- und Hinterräder vermieden werden. Das führt zur optimalen Bremsleistung zwischen Straße und Reifen. Auch eine Stabilisierung des Fahrzeuges während einer starken Bremsung wird erreicht.

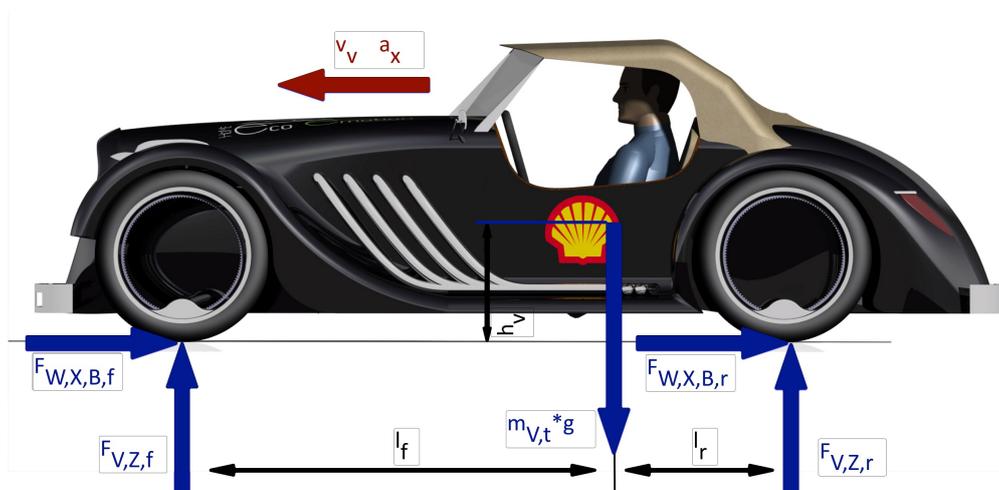


Abbildung 10-5 Kräfte am Fahrzeug

Während der Masterarbeit befand sich das Fahrzeug noch in der Konstruktion und im Bau, deshalb kann der Schwerpunkt und die Achslasten nicht real ermittelt werden. Somit sind Schwerpunkt und Achslasten geschätzte Werte. Das Fahrzeug wird hecklastig sein, es befindet sich im hinteren Teil der Antrieb mit Batterien. Weiterhin ist die Sitzposition außermittig im hinteren Teil des Fahrzeugs.

$$F_{W,X,B,f} = \Phi_f * F_{W,X,B} \quad \text{F.17}$$

$$F_{W,X,B,r} = \Phi_r * F_{W,X,B} \quad \text{F.18}$$

$$\Phi_f + \Phi_r = 1 \quad \text{F.19}$$

$\Phi_f$  Bremskraftanteil Vorderachse, -.  $\Phi_f = 0,65$  bis  $0,75$

$\Phi_r$  Bremskraftanteil Hinterachse, -.  $\Phi_r = 0,25$  bis  $0,35$

Die Berechnung des zweckmäßigen Verhältnisses der Bremskräfte zwischen Vorder- und Hinterachse erfolgt mit der Gleichung F.20.

$$\frac{F_{V,z,f}}{F_{V,z,r}} = \frac{l_r + h_v * \frac{a_x}{g}}{l_f + h_v * \frac{a_x}{g}} = i_m \quad \text{F.20}$$

Es wird eine Achslastverteilung der Vorderachse von 120 kg und der Hinterachse von 180 kg angenommen.

$$\frac{120 \text{ kg}}{180 \text{ kg}} = \frac{2}{3} \text{ geschätzt} \quad \text{B.20}$$

$$\frac{732 \text{ mm} + 800 \text{ mm} * \frac{5,0 \text{ m/s}^2}{9,81 \text{ m/s}^2}}{1464 \text{ mm} + 800 \text{ mm} * \frac{5,0 \text{ m/s}^2}{9,81 \text{ m/s}^2}} = \underline{0,6089} \quad \text{B.21}$$

Für die Berechnung B.21 wurde der Radstand am Fahrzeug ermittelt und der Schwerpunkt 2/3 zu 1/3 hecklastig angenommen. Die Höhe des Schwerpunktes wurde mit 800 mm geschätzt.

$i_m$  Achslastverhältnis vorne/hinten, -

$l_r, l_f$  Abstand Fahrzeugschwerpunkt zu Mitte Vorder- bzw. Hinterachse, m

$h_v$  Höhe des Fahrzeugschwerpunkts, m

Aus der Bremskraftverteilung erfolgt die konstruktive Umsetzung mit Hilfe des Waagebalkensystems, siehe Abbildung 10-6 Waagebalkensystem. Durch die Verschiebung des Druckpunktes in der Mitte ändert sich das Hebelsystem. Damit ist es möglich unterschiedliche Drücke in den jeweiligen Bremssystemen für die Hinter- und Vorderachse zu erzeugen. Der einfachste Aufbau und die damit verbundene Berechnung der Bremskraft wären, für alle Räder die gleichen Bremssättel und Bremsscheiben zu verwenden. Zur Erzeugung der Drücke werden identische Bremskolben für die Vorder- und Hinterachse verbaut.

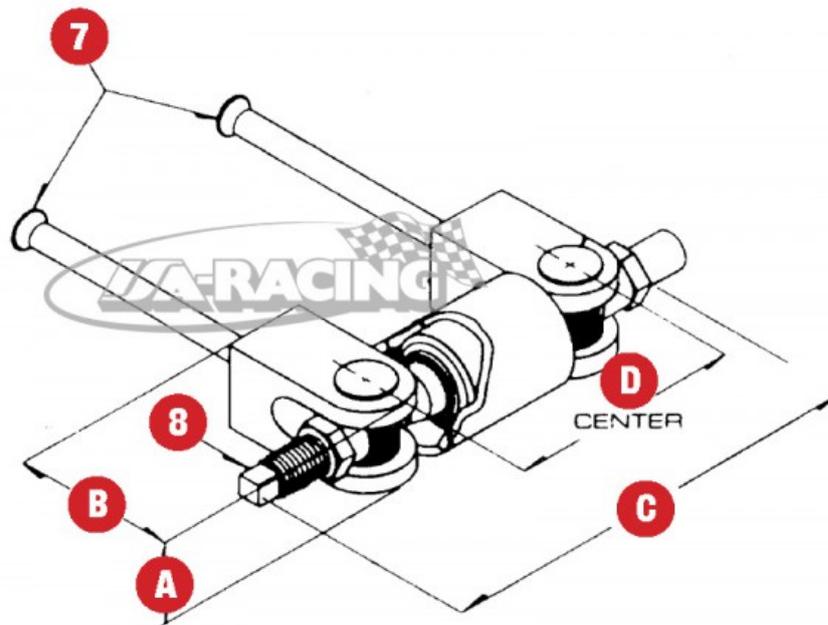


Abbildung 10-6 Waagebalkensystem<sup>9</sup>

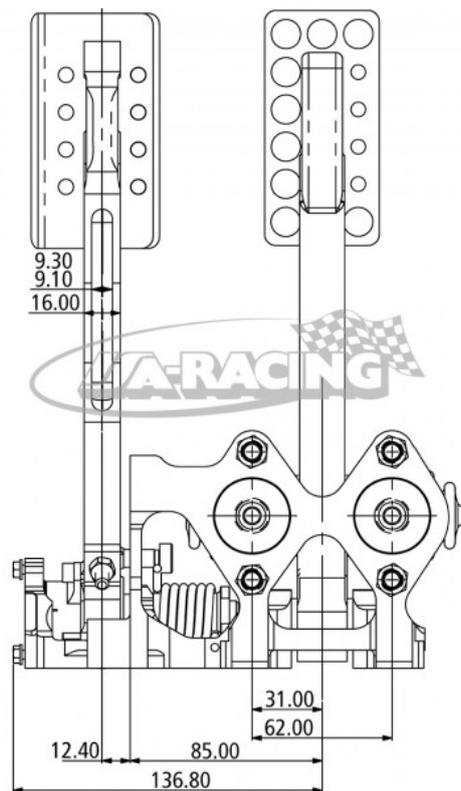


Abbildung 10-7 Bremspedal<sup>10</sup>

<sup>9</sup> [https://www.isa-racing.com/media/image/14/ca/f5/3340-0\\_1\\_600x600.jpg](https://www.isa-racing.com/media/image/14/ca/f5/3340-0_1_600x600.jpg)

<sup>10</sup> [https://www.isa-racing.com/media/image/cb/5a/a9/CP5500-625U\\_3\\_600x600.jpg](https://www.isa-racing.com/media/image/cb/5a/a9/CP5500-625U_3_600x600.jpg)

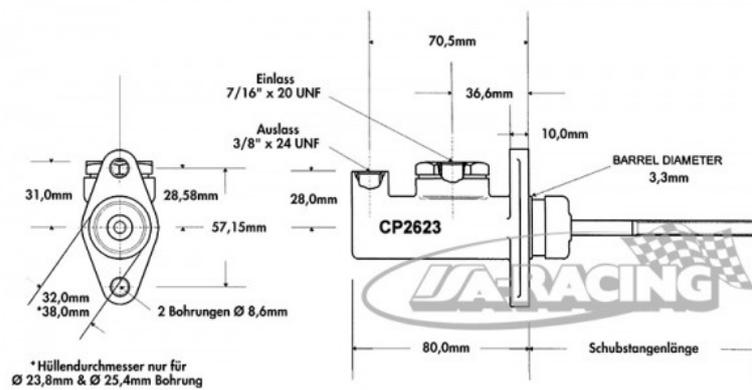


Abbildung 10-8 Bremszylinder<sup>11</sup>

Für den Bremszylinder, siehe Abbildung 10-8 Bremszylinder sind Bohrungen in verschiedenen Abstufungen von 14,00 mm bis 25,40 mm möglich.

$$F_{Pr,f} = F_{Rd} \frac{b_r}{b_f + b_r} \quad \text{F.21}$$

$$F_{Pr,r} = F_{Rd} \frac{b_f}{b_f + b_r} \quad \text{F.22}$$

$$F_{Rd} = F_F * u \quad \text{F.23}$$

$$500N * 4,85 = \underline{2425N} \quad \text{B.22}$$

$F_{Rd}$	Kraft vom Bremspedal auf den Waagebalken, N
$b_f, b_r$	Abstände des Gelenklagers von den Drehzapfen vorne bzw. hinten, mm, $b_f + b_r = a = \text{const.}$
$F_{Pr,f}, F_{Pr,r}$	Kraft auf Bremszylinder vorne, bzw. hinten, N
$d_{Pi,h,f}, d_{Pi,h,r}$	Durchmesser Zylinderbohrung vorne bzw. hinten, mm
$p_{hydr,f}, p_{hydr,r}$	Hydraulischer Druck Bremszylinder hinten bzw. vorne, bar
$u$	Pedalübersetzung, -
$F_F$	Fußkraft auf Pedal, N

$$p_{hydr,f} = \frac{F_{Pr,f}}{\pi * \left(\frac{d_{Pi,h,f}}{2}\right)^2} \quad \text{F.24}$$

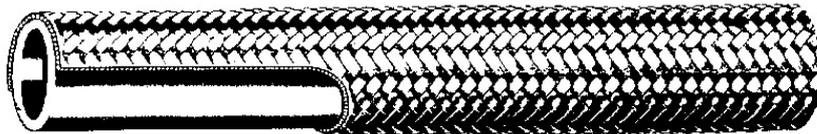
$$p_{hydr,r} = \frac{F_{Pr,r}}{\pi * \left(\frac{d_{Pi,h,r}}{2}\right)^2} \quad \text{F.25}$$

<sup>11</sup> [https://www.isa-racing.com/media/image/e5/3f/21/CP2623-Zylinder\\_1\\_600x600.jpg](https://www.isa-racing.com/media/image/e5/3f/21/CP2623-Zylinder_1_600x600.jpg)

Stellung	$F_{Rd}$	$b_f$	$b_r$	$F_{Pr,f}$	$F_{Pr,r}$	$d_{Pi,h,f}$	$d_{Pi,h,r}$	$p_{hydr,f}$	$p_{hydr,r}$
Waagebalken	N	mm	mm	N	N	mm	mm	bar	bar
a	2425	31	31	1212,5	1212,5	14,00	14,00	78,8	78,8
b	2425	31	31	1212,5	1212,5	25,40	25,40	23,9	23,9
c	2425	25	37	1447	978	14,00	14,00	93,9	63,5
d	2425	25	37	1447	978	25,40	25,40	28,6	19,3

**Tabelle 14 Variationen Waagebalkensystem**

In Tabelle 14 Variationen Waagebalkensystem sind verschiedene Variationen von Längenverhältnissen und Zylinderbohrungen mit ihren entsprechenden Ergebnissen dargestellt. Zur Erzielung des entsprechenden Drucks für die Bremswirkung kann man das Längenverhältnis am Waagebalkensystem verändern oder verschiedene Zylinder mit unterschiedlichen Zylinderbohrungen verbauen. Man sollte den Innendurchmesser der Bremszylinder so wählen, dass sie passend zum Brems Schlauch sind. Der hier dargestellte flexible Brems Schlauch mit einer PTFE-Innenseele und einer Edelstahlummantelung Abbildung 10-9 Brems Schlauch der Firma ISA-Racing hat einen maximalen Bremsdruck von 200 bar. Der maximale Druck bei dem die Schläuche platzen, liegt um ein vielfaches höher (1000 bar). Für das Projekt soll mit kleinen Drücken gearbeitet werden. Das hat zur Folge, dass bei Erhöhung des Fahrzeuggewichtes ein nutzbarer Druckbereich zur Verfügung steht. Es müssen keine Veränderungen an der Bremsanlage vorgenommen werden.



**Abbildung 10-9 Brems Schlauch<sup>12</sup>**

Die Berechnung der Spannkraft eines Nehmerzylinders mit den Vorgaben der Zylinderfläche in der Bremszange wird im Folgenden dargestellt.

$$F_{Pr} = \frac{F_p * r_1}{r_2} \tag{F.27}$$

$$p_{hyd} = \frac{F_{Pr}}{A_{Pi,h}} \tag{F.28}$$

$$F_{Pi,W} = p_{hyd} * A_{Pi,W} \tag{F.29}$$

<sup>12</sup> <https://www.isa-racing.com/media/image/02/ea/59/2000-1.jpg>

Die Berechnung der Kolbenstangenkraft mit Hilfe der Hebellängen am Bremspedal entfällt. Es wird eine Übersetzung von 4,85 angenommen, siehe Abbildung 10-7 Bremspedal. Entsprechend der Aufteilung Tabelle 14 Variationen Waagebalkensystem, liegt ein Bremsflüssigkeitsdruck von 78,8 bar an. Interessant ist die Spannkraft am Kolben des Radzylinders. Aus der Berechnung geht eine Spannkraft von 5513,5 N am Bremszangenkolben hervor.

$$7,88 \text{ N/mm}^2 * \pi * \left(\frac{30 \text{ mm}}{2}\right)^2 = \underline{5513,5 \text{ N}} \quad \text{B.23}$$

$F_{Pr}$	Kolbenstangenkraft, N
$F_P$	Pedalkraft (Fußkraft des Fahrers), N
$r_1, r_2$	Hebellängen, mm <sup>2</sup>
$p_{hyd}$	Bremsflüssigkeitsdruck, N/mm <sup>2</sup> (1 N/mm <sup>2</sup> = 10 bar)
$A_{Pi,h}$	Kolbenfläche Hauptzylinder, mm <sup>2</sup>
$A_{Pi,W}$	Kolbenfläche Radzylinder (Bremszange), mm <sup>2</sup>
$F_{Pi,W}$	Spannkraft des Kolbens im Radzylinder, N

Die Berechnung des Pedalweges am Hauptbremszylinder spielt nur eine untergeordnete Rolle. Sie kann zur Überprüfung der ausreichenden Länge der Kolbenstange am Hauptbremszylinder dienen. Der ermittelte Wert  $S_{Pi,h}$  Weg des Kolbens am Hauptbremszylinder ist nur als Anhaltspunkt zu betrachten. Der tatsächliche Weg des Kolbens am Hauptbremszylinder ist länger. Im System findet eine Kompression der Bremsflüssigkeit statt. Man kann nicht von einem starren System ausgehen; es wird immer eine gewisse Flexibilität der Komponenten vorherrschen.

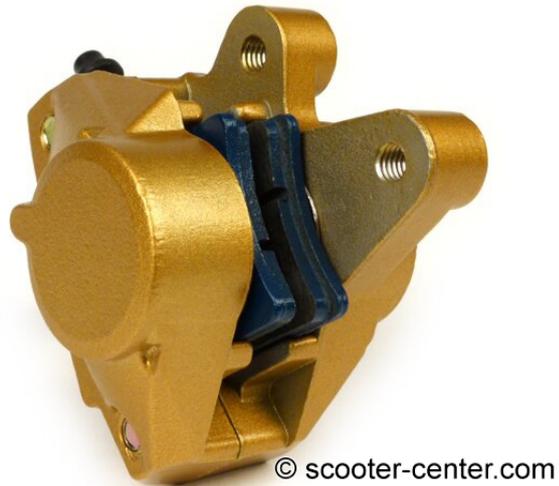


Abbildung 10-10 Bremssattel<sup>13</sup>

$$S_{Pi,h} = j_B * j_{Pi,W} * \frac{A_{Pi,W}}{A_{Pi,h}} * S_{Pi,W} \quad \text{F.30}$$

$$S_P = S_{Pi,h} * \frac{r_1}{r_2} \quad \text{F.31}$$

- $S_{Pi,h}$  Weg des Kolbens am Hauptbremszylinder, mm  
 $j_B$  Anzahl der Bremszangen, die vom Hauptbremszylinder versorgt werden, -  
 $j_{Pi,W}$  Anzahl der Kolben in einer Bremszange, -  
 $S_{Pi,W}$  Weg des Kolbens im Radbremszylinder (Bremszange), mm  
 $S_P$  Pedalweg, mm

Für den  $S_{Pi,W}$  Weg des Kolbens im Radbremszylinder (Bremszange), liegen, siehe Abbildung 10-10 Bremssattel, keine Daten vor. Beim dem Bremssattel handelt es sich um ein Zukaufteil. Deshalb wird hierbei von dem Lüftspiel von 0,15 mm ausgegangen. Das Lüftspiel ist der Abstand zwischen Bremscheibe und Bremsbelag, siehe Abbildung 10-11 Lüftspiel.

<sup>13</sup> [http://www.scooter-center.com/medias/sys\\_master/NewProductImagesFolder/8899185147934/3330968.jpg](http://www.scooter-center.com/medias/sys_master/NewProductImagesFolder/8899185147934/3330968.jpg)

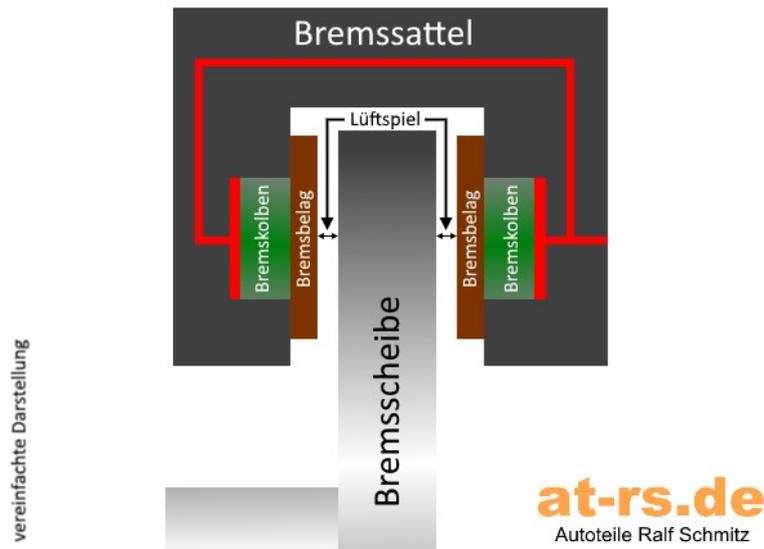


Abbildung 10-11 Lüftspiel<sup>14</sup>

$$2 * 2 * \frac{\pi * \left(\frac{30,00 \text{ mm}}{2}\right)^2}{\pi * \left(\frac{14,00 \text{ mm}}{2}\right)^2} * 0,15 \text{ mm} = \underline{2,75 \text{ mm}} \quad \text{B.24}$$

$$2,75 \text{ mm} * 4,85 = \underline{\underline{13,34 \text{ mm}}} \quad \text{B.25}$$

Äußerst interessant sind noch die auftretenden Kräfte an der Brems Scheibe selber.

$$F_{Bd,tan} = 2\mu_{Bd,lo} * F_{Pi,W} \quad \text{F.32}$$

$$M_B = F_{Bd,tan} * r_m = (p_m * v_{lo} * \mu_{Bd,lo}) * j * A_{Belag} * \frac{1}{\omega_{Bd}} \quad \text{F.33}$$

$F_{Bd,tan}$  Bremskraft an der Brems Scheibe, N

$\mu_{Bd,lo}$  Gleitreibwert zwischen Brems Scheibe und -belag, -

$M_B$  Bremsmoment, Nm

$v_{lo}$  Gleitgeschwindigkeit, m/s,  $v_{lo} = r_m \omega_{Bd}$ , mit  $r_m$  mittlerer Reibradius, m

$p_m$  mittlere Belagflächenpressung, N/mm<sup>2</sup>. Zulässige Werte liegen bei 5 N/mm<sup>2</sup>

$j$  Anzahl der Beläge, -

$A_{Belag}$  wirksame Belagfläche, mm<sup>2</sup>

$\omega_{Bd}$  Drehfrequenz der Brems Scheibe, s<sup>-1</sup>

<sup>14</sup> <https://www.at-rs.de/files/bilder/Lexikon/Lueftspiel.png>

Es wird ein Gleitreibwert  $\mu_{Bd,lo} = 0,6$  angenommen, dieser Wert ist üblich für Bremsbeläge auf Stahl.

$$\text{Bremskraft an der Bremsscheibe: } 2 * 0,4 * 5513,5 \text{ N} = \underline{4410,8 \text{ N}} \quad \text{B.26}$$

$$r_m = \frac{d_o + d_i}{4} \quad \text{F.34}$$

$$\text{mittlere Reibradius: } \frac{285 \text{ mm} + 205 \text{ mm}}{4} = \underline{122,5 \text{ mm}} \quad \text{B.27}$$

$$\begin{aligned} \text{Bremsmoment an der Bremsscheibe: } 4410,8 \text{ N} * 122,5 \text{ mm} &= 540323 \text{ Nmm} & \text{B.28} \\ &= 540,3 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Aus der errechneten Bremskraft an der Bremsscheibe kann die Bremskraft am Rad ermittelt werden. Der dynamische Radumfang setzt sich aus der Felge, siehe Abbildung 10-12 Felge und Bereifung zusammen. Aktuell wird eine Felge von 2,75x17 Zoll, entspricht 341,8 mm, mit einer Bereifung von 100/70-17 verbaut. Die Bereifung hat eine Breite von 100 mm, einer Flankenhöhe von 70% der Breite 100 mm, entspricht 70 mm Flankenhöhe und einen Innendurchmesser von 17 Zoll.



**Abbildung 10-12 Felge<sup>15</sup>**

$$F_{W,x,b} = \frac{F_{Bd,tan} * r_m}{r_{dyn}} \quad \text{F.35}$$

<sup>15</sup> [https://www.picclickimg.com/d/1400/pict/142540205099\\_/BMW-Hinterrad-K75-K-75-K-100-K100.jpg](https://www.picclickimg.com/d/1400/pict/142540205099_/BMW-Hinterrad-K75-K-75-K-100-K100.jpg)

$$r_{dyn} = r_m + 2 * Flk \quad \text{F.36}$$

$$\text{Bremskraft am Reifenumfang: } \frac{4410,8 * 122,5 \text{ mm}}{\frac{431,8 \text{ mm} + 2 * 70 \text{ mm}}{2}} = \underline{1889,9 \text{ N}} \quad \text{B.29}$$

$Flk$  Flankenhöhe der Bereifung, mm

$F_{W,X,b}$  Bremskraft am Reifenumfang, N

$r_m$  wirksamer, mittlere Reibradius, mm

$r_{dyn}$  dynamischer Reifenrollradius, mm

$d_o, d_i$  äußere bzw. innerer Durchmesser der vom Bremsbelag überstrichenen Fläche auf der Brems Scheibe, mm

Die zu übertragene Bremskraft kann nur übertragen werden, wenn das Rad rotiert und nicht blockiert. Deshalb ist es wichtig die Bremskraft für rotierendes und blockierendes Rad zu ermitteln. Ob ein Rad rotiert hängt vom dem Haftreibwert zwischen Reifen und Fahrbahn ab. Für trockenen Asphalt wird ein Haftreibwert von 0,8 angenommen. Ob ein Rad blockiert hängt vom Gleitwert ab. Für nassen Asphalt wird ein Gleitwert von 0,6 angenommen. In der Literatur findet man unterschiedliche Angaben zu Haftreibwert und Gleitwert.

$$\text{rotierendes Rad: } F_{W,X,b,max} = \mu_{W,X} * F_{W,Z} \quad \text{F.37}$$

$$\text{blockierendes Rad: } F_{W,X,b,lo,max} = \mu_{W,X,lo} * F_{W,Z} \quad \text{F.38}$$

$\mu_{W,X}$  Haftreibwert zwischen Reifen und Fahrbahn

$F_{W,Z}$  Radaufstandskraft

$\mu_{W,X,lo}$  Gleitreibwert zwischen Reifen und Fahrbahn

$$\text{Radaufstandskraft Vorderrad: } F_{W,Z,f} = \frac{m_f}{2} * g \quad \text{F.39}$$

$$\frac{120 \text{ kg}}{2} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \underline{588,6 \text{ N}} \quad \text{F.29}$$

$$\text{Radaufstandskraft Hinterrad: } F_{W,Z,f} = \frac{m_r}{2} * g \quad \text{F.40}$$

$$\frac{180 \text{ kg}}{2} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \underline{882,9 \text{ N}} \quad \text{B.30}$$

$$\text{rotierendes Rad VA: } 0,8 * 588,6 \text{ N} = 470,9 \text{ N} \quad \text{B.31}$$

$$\text{rotierendes Rad HA: } 0,8 * 882,9 \text{ N} = 706,3 \text{ N} \quad \text{B.32}$$

$$\text{blockierendes Rad VA: } 0,6 * 588,6 \text{ N} = 353,2 \text{ N} \quad \text{B.33}$$

$$\text{blockierendes Rad HA: } 0,6 * 882,9 \text{ N} = 529,7 \text{ N} \quad \text{B.34}$$

Mit Hilfe der spezifischen Bremsleistung  $N$  ist es möglich sich heranzutasten und ein Gefühl für die benötigten Flächen für Bremsbelag und -scheibe zubekommen. Übliche spezifische Bremsleistungen von PKWs liegen zwischen, siehe Tabelle 15 spezifische Bremsleistung PKW. Die spezifische Bremsleistung wurde direkt über vorgegebenen Flächen der Bremsscheibe und Bremsbelag ermittelt. Errechnete Flächen aus Vorgabe der spezifischen Bremsleistung PKW, siehe Tabelle 16 Vergleich spezifische Bremsleistung PKW und Konzeptfahrzeug, braun sind unrealistisch baulich umzusetzen. Für dieses Fahrzeug werden die Bremsflächen als konstruktive Vorgaben gemacht.

Spezifische Bremsleistung eingesetzter Beläge und Bremsscheibe	von	bis
$N_{Belag}$	2,4 kW/cm <sup>2</sup>	3,3 kW/cm <sup>2</sup>
$N_{Bd}$	0,45 kW/cm <sup>2</sup>	0,60 kW/cm <sup>2</sup>

**Tabelle 15 spezifische Bremsleistung PKW**

$$A_{Belag} = \frac{P_{B,W,max}}{2 N_{Belag}} \quad \text{F.41}$$

$$A_{Bd} = \frac{P_{B,W,max}}{N_{Bd}} \quad \text{F.42}$$

$N$  spezifische Bremsleistung bei einer Vollverzögerung aus der Höchstgeschwindigkeit pro Bremse, kW/cm<sup>2</sup>

$P_{B,W,max}$  max. Bremsleistung pro Rad, kW

$A_{Belag}$  Reibfläche eines Bremsbelags, cm<sup>2</sup>

$A_{Bd}$  überstrichene Bremsscheibenfläche, cm<sup>2</sup>

$P_{B,W,max}$ 6225 W	$N_{Belag}$	$N_{Bd}$
$N_{Belag}$ 18 cm <sup>2</sup> und $N_{Bd}$ 303,41 cm <sup>2</sup>	173 W/cm <sup>2</sup>	20,5 W/cm <sup>2</sup>
$N_{Belag}$ 1,29 cm <sup>2</sup> und $N_{Bd}$ 13,83 cm <sup>2</sup>	2,4 kW/cm <sup>2</sup>	0,45 kW/cm <sup>2</sup>
$N_{Belag}$ 0,94 cm <sup>2</sup> und $N_{Bd}$ 10,38 cm <sup>2</sup>	3,3 kW/cm <sup>2</sup>	0,60 kW/cm <sup>2</sup>

**Tabelle 16 Vergleich spezifische Bremsleistung PKW und Konzeptfahrzeug**

Der letzte zu betrachtende Fakt ist die entstehende Wärme beim Bremsvorgang. Wichtig ist, dass die entstehende Wärme, durch Reibung hervorgerufen, über die Bremsscheiben und Bremszange abgeleitet werden.

$$\Delta T_{Bd} = \frac{0,9 * W_{B,Bd}}{m_{Bd} * c_{p,Bd}} \quad \text{F.43}$$

- $\Delta T_{Bd}$     Temperaturerhöhung der Bremsscheibe, K
- $W_{B,Bd}$     Bremsarbeit pro Scheibe, J
- $m_{Bd}$     Masse der Bremsscheibe, kg
- $c_{p,Bd}$     spezifische Wärmekapazität des Bremschienenwerkstoffes, J/(kg K)

	Grauguss	Stahl	Faser- verstärkter Kohlenstoff CC	Karbon- Keramik CMC
Wärmeleitfähigkeit, W/(m K)	50	46–50	50–75	25–50
Therm. Ausdehnungskoeffizient (20–300 °C), 1/K	$18 \cdot 10^{-6}$	$15,1 \cdot 10^{-6}$	$2,6 \cdot 10^{-6}$	–
Spezifische Wärmekapazität, J/(kg K)	650	540	1200–1300	–
Max. Auslegungstemperatur, °C	600	1150	1000	–
Dichte, g/cm <sup>3</sup>	7,1	7,85	1,7–1,8	2,1–2,3
Mittlerer Reibungskoeffizient $\mu$ , –	0,45	0,11–0,35	0,55	$f(t)$

**Abbildung 10-13 Materialeigenschaften<sup>16</sup>**

$$\text{Temperaturerhöhung Konzeptfahrzeug: } \frac{0,9 * \frac{41325 J}{4}}{1,664 kg * 540 J(kg K)} = \underline{10,35 K} \quad \text{B.35}$$

$$\text{Bremsarbeit PKW: } W_B = m_{V,1} * a_x * s_B \quad \text{F.44}$$

$$1500 kg * 8 \frac{m}{s^2} * 35 m = 420000 J \quad \text{B.36}$$

$$\text{Temperaturerhöhung PKW: } \frac{0,9 * \frac{420000 J}{4}}{2,0 kg * 540 J(kg K)} = \underline{87,5 K} \quad \text{B.37}$$

<sup>16</sup>Trzesniowski, M. (2014). *Rennwagentechnik: Grundlagen, Konstruktion, Komponenten, Systeme*. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag.

Der Vergleich der Temperaturerhöhung zwischen PKW von 87,5 K und Konzeptfahrzeug von 10,35 K zeigt, dass das Wärmemanagementsystem für den PKW eine wichtige Rolle spielt. Für das Konzeptfahrzeug spielt die Temperaturerhöhung eine untergeordnete Rolle.

Das Ergebnis stellt sich wie folgt dar, alle Parameter der Bremsanlage liegen innerhalb der Materialeigenschaften, siehe Abbildung 10-13 Materialeigenschaften und technischen Grenzen. Eine uneingeschränkte Umsetzung der Bremsanlage nach der *Richtlinie 93/14/EG* ist möglich.

## 10.2 Hauptrichtlinie 97/24/EG

Die Richtlinie 97/24/EG umfasst einen großen Teil der Baugruppen für die Klasse L, die in Kapitel gegliedert sind, auch die Bereifung. Die Grundrichtlinie ist am 18.08.1997 in Kraft getreten. Die folgende Tabelle 17 Entwicklung Richtlinie 97/24/EG beinhaltet die bis jetzt eingeflossenen Veränderungen. Entsprechend müssen diese Anpassungen abgearbeitet und in die Baugruppen einfließen. Wie man sich vorstellen kann, ist die Umsetzung der Baugruppen nach den Richtlinien sehr zeitaufwendig.

RICHTLINIE	ART DER RICHTLINIE	JAHR
97/24/EG	Richtlinie der Kommission	18.08.1997
2002/51/EG	Richtlinie der Kommission	20.09.2002
2003/77/EG	Richtlinie der Kommission	10.09.2003
2005/30/EG	Richtlinie der Kommission	17.05.2005
2006/27/EG	Richtlinie der Kommission	28.03.2006
2006/72/EG	Richtlinie der Kommission	08.09.2006
2013/60/EU	Richtlinie der Kommission	11.12.2013

**Tabelle 17 Entwicklung Richtlinie 97/24/EG**

## 10.3 Reifen 97/24/EG Kapitel 1

Der Abschnitt Reifen schließt sich an den Abschnitt der Bremse an, um einen Abschluss der Baugruppe Rad und Bremse zu finden. Denn die Bereifung bringt die erzeugte Bremskraft auf die Straße. Für das Fahrzeug werden Reifen aus dem Motorradbereich ausgewählt. Für den Shell-Eco Marathon ist es wichtig, möglichst energieeffizient zu fahren. Zu einem späteren Zeitpunkt ist es durchaus möglich andere Felgen und die passende Bereifung zur Felge einzusetzen. Es werden keine für das Fahrzeug selbst entwickelten Reifen genutzt. Um eine entsprechende Reifenauswahl treffen zu können, muss die *Richtlinie 97/24/EG Kapitel 1* mit Anhängen zu Rate gezogen werden. Dieses Fahrzeug wird mit einer maximalen Geschwindigkeit bis 130 km/h ausgelegt, das entspricht dem Kennbuchstabe M der Bereifung für die Geschwindigkeitskategorie. Ausgehend von der maximalen Geschwindigkeit kann die

entsprechende Traglast des Reifens ermittelt werden, die benötigt wird. Unter Punkt 1.31.1 wird darauf eingegangen. Die Traglast des montierten Reifens darf nicht überschritten werden. Werte für die „Änderung der Tragfähigkeit in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit“ siehe Abschnitt 1.27, Tabelle in *Anhang II Anlage 7* sind dort zu finden. Es wird eine 17 Zoll (432 mm) Felge aus dem Motorradbereich verbaut, siehe Abbildung 10-12. Die Felge besitzt eine Zulassung.

### 10.3.1 Auswahl der Bereifung

Zur Auswahl der passenden Bereifung des Fahrzeuges muss man Kapitel 1 Anhang III beachten. Im Allgemeinen muss der Reifen eine Bauartgenehmigung besitzen. Weiterhin ist zu beachten, dass alle montierten Reifen der gleichen Geschwindigkeitskategorie identisch sind und pro Achse nur ein Reifentyp erlaubt ist. Punkt 1.2.3 geht auf die Beweglichkeit des Reifens ein. Der Reifen muss sich an seinem vorgesehenen Montageort frei bewegen können. Das heißt, er darf die Aufhängung, die Lenkung und die Radabdeckung nicht behindern.

Fundstelle		Vorgaben	Bemerkung
Anhang III 1.2.1	Anhang II Abschnitt 1.1.5	Geschwindigkeitskategorie	Ermittlung der Höchstgeschwindigkeit erforderlich, entsprechende Auswahl
Anhang III 1.2.2	Anhang II Abschnitt 1.1	Reifentyp	Wahl von Motorradreifen, vielleicht zum späteren Zeitpunkt PKW-Bereifung
Anhang III 1.2.3	Anhang II Abschnitte 3.1.4, 3.1.5 und 3.3	Vorschriften hinsichtlich Reifenbreite, Außendurchmesser des Reifens, Dynamische Vergrößerung von Reifen	Betrifft uns nicht, durch Hersteller geprüft

**Tabelle 18 Vorgaben Richtlinie Reifen**

### 10.3.2 Tragfähigkeit

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Tragfähigkeit des Reifens, diese darf nicht überschritten werden. Durch die bauartbedingte Einzerradaufhängung, entspricht einer Einzelanordnung, halbiert sich die zulässige Achslast pro Achse. Für das Konzeptfahrzeug wird von Gesamtmasse inkl. Fahrer von 300 kg ausgegangen. Das heißt für eine gleichmäßige Verteilung der Gesamtmasse, kann von einer statischen Achslast von 75 kg ausgegangen werden. Aber während der Berechnung der Bremse, wurde von einer Lasterverteilung von 120 kg Vorderachse und 180 kg Hinterachse

ausgegangen. Damit kann man von einer statischen Vorderradlast von 60 kg und Hinterradlast von 90 kg ausgehen. Die passende Bereifung Michelin Pilot Street 100/70 D17 49S ist eine der möglichen Bereifung. Aus der Kennung 49S gehen eine Traglast von 185 kg und eine maximale Geschwindigkeit von 180 km/h hervor.



Abbildung 10-14 Bereifung<sup>17</sup>

Fundstelle		Vorgaben	Bemerkung
Anhang III 1.3.1	Anhang II Abschnitt 1.31	Definition Höchstlast	Für den Shell Eco Marathon wird von einer Höchstlast von 90 kg ausgegangen
Anhang III 1.3.1	Anhang II Anlage 7	Änderung der Tragfähigkeit in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit	Geschwindigkeitsindex M, Felgendurchmesser 17, ergibt eine Änderung der Tragfähigkeit von 0% (siehe Tabelle)

Tabelle 19 Tragfähigkeit Bereifung

### 10.3.3 Zulässige Geschwindigkeit

Vorgabe ist, dass jeder Reifen am Fahrzeug den Kennbuchstaben für die Geschwindigkeitskategorie aufzeigen muss. Diese können ausfolgenden beiden Informationsstellen (siehe Tabelle) entnommen werden. Falls M+S Reifen ausgerüstet werden, muss der Kennbuchstabe entweder höher als die bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit oder nicht niedriger als 130 km/h sein. Besitzt das Fahrzeug eine höhere Geschwindigkeit als die M+S Reifen vorgeben, muss im Fahrzeuginneren

<sup>17</sup> [https://static.toroleo.de/s/content-synced/p80/44/38044\\_1490708743041\\_medium.jpg](https://static.toroleo.de/s/content-synced/p80/44/38044_1490708743041_medium.jpg)

an auffälliger Stelle ein Warnschild angebracht werden. Oft findet man im Bereich des Tachometers einen kleinen Aufkleber, der den Fahrer/in auf die montierten M+S Reifen hinweist.

Fundstelle		Vorgaben		Bemerkung	
Anhang 1.4.1	III	Anhang Abschnitt 1.2.8	II	Geschwindigkeitskategorie	Eine korrekte Einordnung der Geschwindigkeitskategorie kann erst nach Ermittlung der Höchstgeschwindigkeit erfolgen
Anhang 1.4.1	III	Anhang Abschnitt 1.2.7	II	Tabelle Anhang II Anlage 7 „Änderung der Tragfähigkeit in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit“	Keine Änderung der Geschwindigkeit durch die Änderung der Tragfähigkeit

**Tabelle 20 Geschwindigkeitskategorie**

#### 10.3.4 Sonderfälle

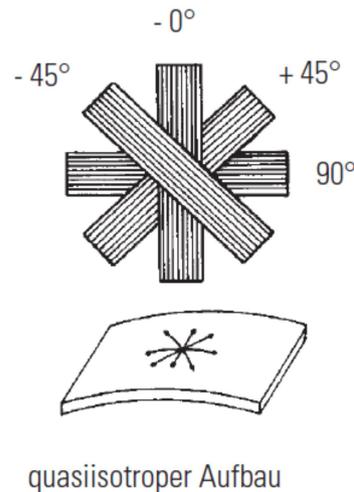
Bei der Richtlinie 92/23/EWG handelt es sich um eine alte Richtlinie, die sich mit Reifen von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern und über ihre Montage beschäftigt. In dieser wurden die Vorgaben für Reifen definiert, diese wurde durch die neue Richtlinie 97/24/EG abgelöst. Natürlich haben die Reifen, die durch die alte Richtlinie 92/23/EWG genehmigt wurden weiterhin Bestand und dürfen montiert werden.

## 11 Betrachtung Karosserie und vorstehende Außenkanten

Dieser Abschnitt beinhaltet den Materialaufbau und Außenkanten der Karosserie. Grundsätzlich muss geklärt werden, welche Materialien als zulassungsfähige eingestuft werden. Der zweite Punkt setzt sich mit der Außenhaut mit hervorstehenden Kanten auseinander. Es ist zu klären, welche Vorgaben werden durch Richtlinien/Normen/Vorschriften gemacht. Es gibt keine Richtlinie die auf Karosserie eingeht.

### 11.1 Karosserie Vorstehende Außenkanten 97/24/EG

Wie schon bei der Bereifung ist die Grundrichtlinie die 97/24/EG. Im Kapitel 3 wird auf die vorstehenden Außenkanten eingegangen. Der Abschnitt Karosserie ist ein besonderer wichtiger Bestandteil des Fahrzeuges. Aus den Richtlinien geht keine Richtlinie hervor, die sich direkt mit der Karosserie beschäftigt. Sondern es gibt eine *Richtlinie Vorstehenden Außenkanten*. Diese ist sehr wichtig, weil sie sich mit dem Schutz von Personen bei Unfällen beschäftigt. Die Vermeidung von Personenschäden hat Vorrang. Außenkanten am Fahrzeug dürfen bei Unfällen nicht Personen Schaden zu führen. Die Richtlinie macht aber keine Aussagen zum Beispiel direkt zum Material oder Festigkeit der Karosserie. Bei allen Überlegungen zur Karosserie, muss auch der Unfallschutz neben Material, Kosten, Design und Straßenzulassung beachtet werden. Nicht alle gewünschten designerischen Elemente oder Materialvorstellungen sind für eine Straßenzulassung zuträglich. Die Idee der Straßenzulassung ist während des konstruktiven Prozesses aufgekommen. Aufgrund der Vorgaben des Shell Eco Reglement sind die entsprechenden Rundungsradien in das Design eingeflossen. Diese Vorgaben decken sich mit den Vorgaben der *Richtlinie Außenkanten 97/24/EG Kapitel 3*. Die Karosserie ist aus Glasfaser gefertigt. Dieser Aufbau, siehe Abbildung 11-1 Laminataufbau, wird im Flugzeugbereich eingesetzt und ist dort TÜV zugelassen. Für diesen Aufbau gibt es ein entsprechendes Materialgutachten. Das Materialgutachten wurde von der Firma R&G in Auftrag gegeben. Ein selber entwickelter Aufbau von Materialien würde zur Folge haben, dass man Materialgutachten erstellen muss. Für das Vorgängerfahrzeug dem ePick wurde eine Karosserie aus Hanf mit Harz gefertigt. Diese hatte aber nie Anspruch auf Zulassung, deshalb konnte in diesem Fall experimentell vorgegangen werden.



**Abbildung 11-1 Laminataufbau**

## 11.2 Allgemeine Vorschriften zu vorstehenden Außenkanten der Richtlinie 97/24/EG

Im Anhang II der Richtlinie 97/24/EG Kapitel 3 wird auf die vorstehenden Außenkanten von dreirädrigen Kraftfahrzeugen mit Aufbau eingegangen. Im Abschnitt Allgemeines wird darauf hingewiesen, dass *„Für dreirädrige Kraftfahrzeuge mit Aufbau, die zur Personenbeförderung bestimmt sind, gelten die Vorschriften der Richtlinie 74/483/EWG über die vorstehenden Außenkanten bei Kraftfahrzeugen (der Klasse M<sub>1</sub>)*. Alle folgenden Vorgaben der Richtlinie 97/24/EG Kapitel 3 gelten für dreirädrige Fahrzeuge mit Aufbau die zur Güterbeförderung dienen. Bedient man sich jetzt der Richtlinie 74/483/EWG muss man feststellen, dass diese nicht mehr aktuell ist und aufgehoben wurde. Erst nach längere Recherche wird man in der *VERORDNUNG (EG) Nr. 661/2009 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES* fündig. Dort wird darauf hingewiesen, dass die Richtlinie 74/483/EWG aufgehoben ist. Das gilt aber nur für neue Fahrzeuge, neue Bauteile und selbstständige technische Einheiten. Bei dem Konzeptfahrzeug handelt es sich um ein neues Fahrzeug und damit ist die *Verordnung (EG) Nr. 661/2009* anzuwenden. In dieser Verordnung wird dann auf das entsprechende Amtsblatt L215 vom 14.10.2010 hingewiesen. Zur Anwendung kommt die Regelung Nr. 26 des Amtsblattes 215.

## 11.3 Anwendungsbereich der Regelung Nr. 26

Zur Anwendung kommt diese Regelung für Fahrzeuge der Klasse M<sub>1</sub>. Aus der Richtlinie 97/24/EG Kapitel 3 geht hervor, dass diese für das Konzeptfahrzeug anzuwenden ist. Grundsätzlich gilt diese für alle Außenkanten aber nicht für Außenspiegel und Kugelkopf der Anhängervorrichtung. Wie aus der Richtlinie hervorgeht, sollen Verletzungen entweder durch Aufprall oder Streifen verringert oder vermieden werden. Interessant ist, dass dies nicht nur für fahrende, sondern auch für stehende Fahrzeuge

gilt. Als Außenoberfläche gilt das ganze Fahrzeug inklusive Motorhaube, Kofferraumdeckel, Türen, Kotflügel, Dach, Beleuchtungs- und Lichtsignaleinrichtung und sichtbaren Verstärkungsteilen.

#### 11.4 Allgemeine Vorschriften der Regelung Nr. 26

Wie in den anderen Richtlinien beschreibt der allgemeine Teil Grundlegendes. Die Regelung Nr. 26 ist nicht auf folgende Teile, geschlossene Türen, Fenster, Kofferraumdeckel und Motorhaube eines beladenen Fahrzeuges, anzuwenden, sofern sich diese entweder in einer Höhe vom mehr als zwei Meter, unterhalb der Bodenlinie befinden oder von einer Kugel in Betrieb oder Ruhelage mit einem Durchmesser von 100 mm nicht berührt werden können. Es gilt, dass alle nach außen gerichtet spitzen oder scharfen Teile verboten sind, deren Form, Abmessung, Richtung oder Gestaltsfestigkeit das Verletzungsrisiko oder das Maß der Verletzung durch Streifen oder Aufprall vergrößern und von denen Fußgänger, Radfahrer oder Motorradfahrer erfasst werden können.

#### 11.5 Vergleich der allgemeinen Vorgaben Shell Eco Reglement und Regelung Nr. 26 Außenkanten

Die Tabelle 21 Vergleich Außenkanten Richtlinie und Shell Eco Reglement, stellt die Vorgaben für die Außenkanten dar. Es wird in der Richtlinie detaillierter und abgestuft auf die Außenkanten eingegangen. Im Shell Eco Reglement gibt es nur eine Vorgabe, der Abrundungsradius muss  $\geq 5$  cm sein. Für den Shell Eco Marathon wird eine praktikable Lösung bei nicht einhalten durch ab Polsterung vorgeschlagen. Dagegen muss in der Richtlinie entsprechend nachweisbar der Härtewert von 60 Shore A eingehalten werden.

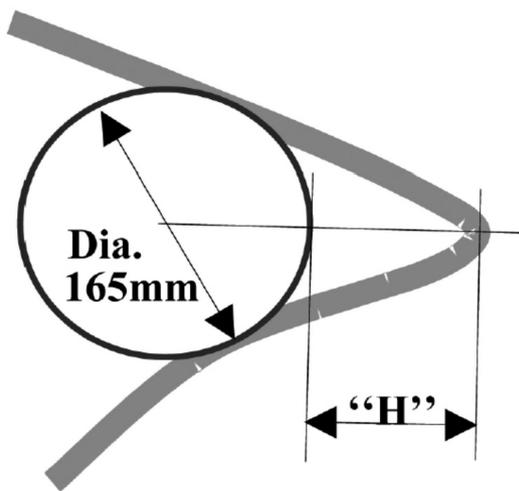
Richtlinie Außenkanten	Shell Eco Reglement
Abrundungsradius $\geq 2,5$ mm	Abrundungsradius $\geq 5$ cm
gilt nicht für Teile die weniger als 5 mm vorstehen aber gebrochene Außenkanten	Keine Angaben
gilt nicht für Teile die weniger als 1,5 mm vorstehen	Keine Angaben
Teile deren Härter kleiner als 60 Shore A ist, Abrundungsradius $< 2,5$ mm	Kanten müssen ab gepolstert werden

**Tabelle 21 Vergleich Außenkanten Richtlinie und Shell Eco Reglement**

#### 11.6 Besondere Vorschriften für Außenkanten

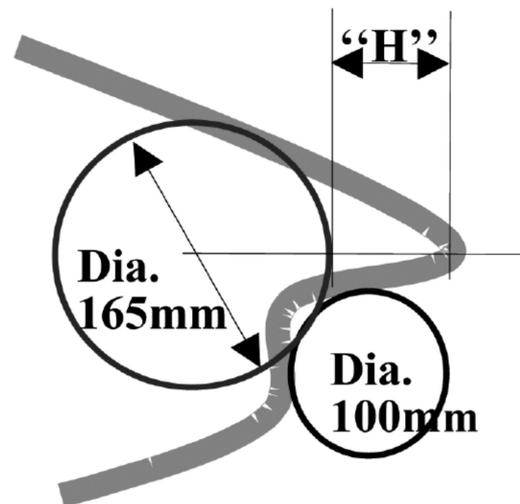
Für bestimmte Anbauteile gelten besondere Vorschriften die unter Punkt 6. Besondere Vorschriften in dem Amtsblatt L215 Regelung Nr. 26 hinterlegt sind. Folgende Baugruppen wie Scheinwerfer, Scheibenwischer, Griffe, Scharniere und Druckknöpfe an Türen, Kofferräumen und Motorhauben, Tankverschlüssen sollten mit einer ECE

Zertifizierung zugekauft werden. Damit wird der Umfang der zu beachtenden Vorgaben der Regelung Nr. 26 erheblich reduziert. Nach Möglichkeit sollten weitere Baugruppen aus der Regelung Nr. 26 als Kaufteile in das Fahrzeug integriert werden. Es werden jegliche Verbindungskanten, Öffnungen und benötigte Anbauteile nach ihrer Gleichwertigkeit mit der Regelung verglichen. Entsprechend den Prüfkörper und ihre Anwendung, siehe Abbildungen 21 bis 26, muss eine Überprüfung durchgeführt werden. Zur Vereinfachung der Überprüfung der Karosserie besteht die Möglichkeit nicht benötigte Bauteile wegzulassen.



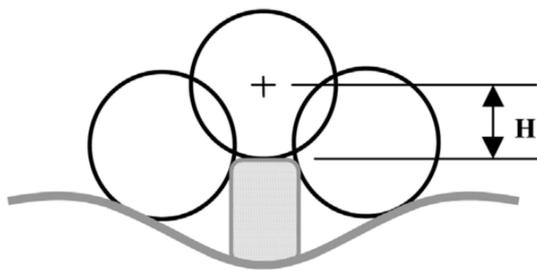
**Abbildung 11-2 Verfahren 1 Bestimmung Höhe Falzen**

VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG DER HÖHE DES VORSRUNGS VON FALZEN IN DER WANDUNG DES AUFBAUS



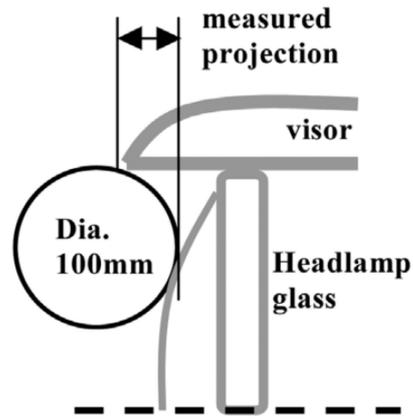
**Abbildung 11-3 Verfahren 2 Bestimmung Höhe Falzen**

VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG DER HÖHE DES VORSRUNGS VON FALZEN IN DER WANDUNG DES AUFBAUS



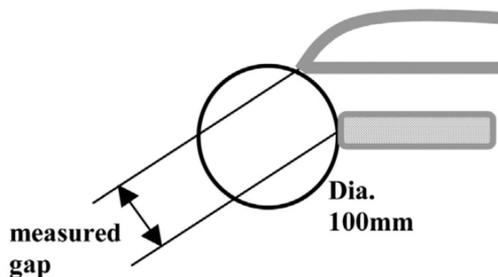
**Abbildung 11-4 Vorsprung auf Außenflächen**

VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG DER ABMESSUNG DES VORSPRUNGS EINES AUF DIE AUSSENFLÄCHE MONTIERTEN TEILS



**Abbildung 11-5 Vorsprung von Blenden und Umrandungen Scheinwerfer**

VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG DER ABMESSUNG DES VORSPRUNGS VON BLENDEN UND UMRANDUNGEN VON SCHEINWERFERN



**Abbildung 11-6 Verfahren 1 Abmessung Aussparung/Zwischenraum Gitter**

VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG DER ABMESSUNG EINER AUSSPARUNG ODER DES ZWISCHENRAUMES ZWISCHEN DEN TEILEN EINES GITTERS



**Abbildung 11-7 Verfahren 2 Abmessung Aussparung/Zwischenraum Gitter**

VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG DER ABMESSUNG EINER AUSSPARUNG ODER DES ZWISCHENRAUMES ZWISCHEN DEN TEILEN EINES GITTERS

## 12 Fazit

Die Umsetzung des Konzeptfahrzeugs ist mit den vorhandenen Mitteln für den Eco Shell Marathon realisierbar. Das EcoEmotion Team arbeitet momentan an der Realisierung des Konzeptfahrzeugs. Einer Zulassung der Klasse L7e steht durch die anzuwendenden Richtlinien nichts entgegen. Erst die Fertigstellung des Konzeptfahrzeugs ermöglicht die Konzentration auf die Weiterentwicklung des Fahrzeuges zur Straßenzulassung. Die Weiterentwicklung erfordert eine Erweiterung und Anpassung der bestehenden Baugruppen an die Richtlinien der Klasse L7e. Eine vereinfachte Umsetzung ist mit Zubehörteilen mit nach entsprechender ECE-Norm realisierbar. Es ist nicht erforderlich, dass alle Baugruppen selbst entwickelt und gebaut werden. Eine Konzentration der vorhandenen Ressourcen muss auf alle zu entwickelnden Bauteile gelegt werden, dazu gehören Karosserie, Antrieb und Rahmen. Diese muss im Einklang mit dem Eco Shell Reglement stehen. Die Richtlinien stellen eine Erweiterung der technischen Rahmenbedingungen dar. Eine weitere systematische Aufarbeitung der Richtlinien und Dokumentation sind erforderlich. Die gewonnenen Daten müssen für die Zukunft so gesichert werden, dass eine Fortführung des Projekts durch neue Teammitglieder möglich ist. Die Umsetzung der Klasse M<sub>1</sub> wäre mit entsprechenden Mitteln und Unterstützung möglich. Ein neuausgerichtetes Konzeptfahrzeug, welches für die Zulassung nach Klasse M<sub>1</sub> konzipiert ist, muss nach den Richtlinien der Klasse M<sub>1</sub> konstruiert und gebaut werden. Eine Überschneidung verschiedener Klassen und Vorgaben führt zu einer Verkomplizierung des komplexen Projektes. Diese Masterarbeit soll als Beispiel für die Bearbeitung weiterer Richtlinien angesehen werden. Es müssen entsprechende Anstrengungen der noch zu analysierenden Richtlinien, die sehr umfangreich sind, gemacht werden.

## I. Literaturverzeichnis

---

Shell. (03 2018). *Eco Shell Marathon rules and regulations*. Von <http://www.shell.com/global/environment-society/ecomarathon/for-participants/general-information/rules.html> abgerufen

Trzesniowski, M. (2014). *Rennwagentechnik: Grundlagen, Konstruktion, Komponenten, Systeme*. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag.

UNECE. (08 2018). ECE-Normen.

EU-Richtlinien: Die genannten öffentlichen EU-Richtlinien in der Masterarbeit, dienen als Quellen.

## **II. Eidesstattliche Erklärung**

---

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Merseburg, den. 22.05.2018

Unterschrift