

## Beleuchtung im Motorsport

Dipl. Ing. (FH) Florian Scherer

### Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht soll einen Einblick in das Entwicklungsvorgehen und den Aufbau von Beleuchtungseinrichtungen im Motorsport verschaffen, an Beispielen von Heckleuchten der DTM<sup>1</sup> und der Le Mans Prototyp.

### 1 Einleitung

Die Unterschiede der Serienbeleuchtung eines Automobils zur Fahrzeugbeleuchtung im Motorsport sind nicht immer auf den ersten Blick zu erkennen. Bei vielen Rennserien, wie zum Beispiel der DTM, der Mini Challenge oder dem Swift Rallye Cup, ist es sogar erwünscht, wenn nicht sogar vom Reglement vorgeschrieben, äußerlich dem Serienmodell sehr ähnlich zu sehen. Dazu gehören weitestgehend die Frontscheinwerfer und Heckleuchten – das „Gesicht“ des Fahrzeugs. Ein gutes Beispiel hierfür ist das Tagfahrlicht (DRL<sup>2</sup>) in den aktuellen DTM Rennwägen von Audi Sport, welches im gleichen Design wie beim Serienfahrzeug in die Rennserie übernommen wurde.

Der Aufbau von Frontscheinwerfern und Heckleuchten im Motorsport unterscheidet sich jedoch vom Aufbau in der Serie. Die Prämissen liegen nicht in der Serientauglichkeit und in der

Erfüllung der ECE<sup>3</sup>- bzw. SAE<sup>4</sup>-Normen, sondern primär müssen die Beleuchtungseinheiten robust, leicht und innovativ sein und dem Reglement entsprechen.

Zum Einen gibt es Beleuchtungen, die auch in den Serienfahrzeugen vorhanden sind: Abblendlicht, Fernlicht, Tagfahrlicht, Rücklicht, Bremslicht und Blinklicht. Daneben existieren auch spezielle Beleuchtungen, die für einen reibungslosen Rennablauf benötigt werden. Dazu gehören unter anderem das Pitstoplicht und die Positionsleuchte, welche in der DTM bzw. im Le Mans Prototyp eingesetzt werden.

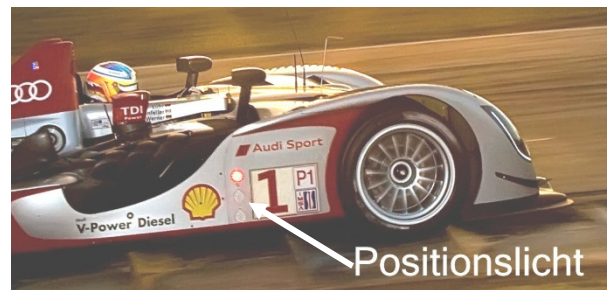


Abbildung 1 Beispiel Positionslicht im R15 TDI

Das Positionslicht dient zum besseren Überblick über das Renngeschehen. Es zeigt die Plätze eins bis drei im jeweiligen Klassement an.

### 2 Reglement

Ein wichtiger Teil der Entwicklungsarbeit ist die vorzeitige Prüfung des jeweiligen Reglements. Dies beschränkt teilweise auch das Aufbauverfahren und die Technologie der Heckleuchte, welche im späteren Kapitel 4 erläutert werden.

#### 2.1 Auszug aus dem Reglement der Deutschen Tourenwagen Masters

(Deutscher Sport Bund e.V., 2008)

Alle Teile der äußeren Beleuchtungseinrichtungen und Blinker (Fahrtrichtungsanzeiger) müssen in ihrer äußeren Form, ihrer Anzahl und Anord-

<sup>1</sup> Deutsche Tourenwagen Masters

<sup>2</sup> Daytime Running Light

<sup>3</sup> Economic Commission for Europe

<sup>4</sup> Society of Automotive Engineers

nung dem homologierten Serienfahrzeug entsprechen. (...)

Für die Heckleuchten, Blinker und Bremslichter gelten folgende Bauvorschriften: Es müssen

- je Bremslicht mindestens 25 LED auf einer Fläche von 5000 mm mit einer Lichtstärke von je mindestens 1500 mcd,
- je Blinklicht mindestens 20 LED auf einer Fläche von 5000 mm mit einer Lichtstärke von je mindestens 1000 mcd,
- je Rücklicht mindestens 70 LED auf einer Fläche von 10.000 mm mit einer Lichtstärke von je mindestens 1500 mcd,

vorhanden sein.

Alternativ hierzu muss die Lichtstärke der jeweiligen Beleuchtungseinrichtungen mindestens der Auslegung des entsprechenden Serienfahrzeugs gemäß gültiger ECE-Vorschrift entsprechen. (...)

## 2.2 Auszug aus dem Reglement der Le Mans Prototyp

(ACO - Automobile Club De L'Ouest, 2009)

Cars must be fitted with:

- Two red lights and two "Stop" lights fitted symmetrical to the longitudinal centreline of the car and separated by a minimum of the rear track measurement.
- Two red "Rain" or "Fog" lights (minimum 21Watt) or any equivalent device approved by the FIA<sup>5</sup> and located at the rear and the highest possible on each side symmetrically to the longitudinal centreline of the car.
- (...) rear direction indicators.

## 2.3 Zusammenfassung

Im Vergleich zur ECE- oder SAE-Norm sind Reglements im Motorsport sehr unpräzise formuliert. Ein gutes Beispiel zeigt der Auszug aus dem Reglement der Le Mans Prototyp (siehe Punkt 2.2).

<sup>5</sup> Federation Internationale de l'Automobile [Internationaler Dachverband des Automobils]

Hier ist nur die Rede, dass zwei Rücklichter mit einer Stopp-, Nebel- und Fahrtrichtungsanzeigerfunktion vorhanden sein müssen. Die Lichtstärke einer Lichtfunktion anhand ihrer Verlustleistung zu definieren ist auch nicht der übliche Weg. Im Vergleich schreibt die ECE-Norm für ein Nebelschlusslicht eine Lichtstärke von min. 150cd - max. 300cd vor. In Punkt 3.2 wird anhand der aktuellen R15 Heckleuchte aufgezeigt, dass ein Nebelschlusslicht durchaus mit einer weitaus geringeren Verlustleistung realisiert werden kann.

## 3 Lichtauslegung

### 3.1 DTM Heckleuchte

Die lichttechnische Auslegung einer DTM Heckleuchte erweist sich anhand des vorgegeben Reglements (siehe Punkt 2.1 ) als nicht ganz einfach. Eine Gegenüberstellung der geforderten Lichtstärken des DTM Reglement und der ECE-Norm verdeutlicht dies.

#### 3.1.1 Gegenüberstellung DTM Reglement und ECE-Norm

Geforderte Lichtstärke [cd]	DTM Reglement	ECE- Norm
Schlusslicht	105*	4*
Bremslicht	37,5*	60*
Blinklicht	20*	50
Bremslicht : Schlusslicht	-	5:1*
<b>* minimal Anforderung</b>		

Tabelle 1 Gegenüberstellung der geforderten Lichtstärke DTM Reglement und ECE-Norm

Tabelle 1 veranschaulicht die Problematik. Die Richtlinien für eine DTM Heckleuchte sind gegensätzlich zu den Vorschriften der ECE-Norm formuliert. Um im Straßenverkehr Bremslicht von Schlusslicht ohne Beeinträchtigung zu unterscheiden, schreibt der Gesetzgeber mindestens ein Verhältnis Bremslicht zu Schlusslicht von 5:1 vor. Gängige Praxis ist jedoch ein Verhältnis von 15:1. In Dipl.-Phys. Bol & Ing. (grad.) Decker, 1971 werden einige Untersuchungen angeführt, denen

zufolge ein wesentlich höheres Verhältnis von bis zu 1:20 angemessen wäre.

### 3.1.2 Ergebnis der Gegenüberstellung DTM Reglement und ECE-Norm

Eine exakte Umsetzung des Reglements der DTM ist nicht renntauglich. Es ergäbe sich ein Lichtstärkeverhältnis Bremslicht zu Schlusslicht von 1:2,8. Die Folge wäre, dass die Stopfunktion neben der Schlusslichtfunktion nicht mehr für das menschliche Auge sichtbar wäre. Auch die Betrachtung über das Leuchtdichteverhältnis von 1:1,4 ( $7500 \frac{cd}{m^2} : 10500 \frac{cd}{m^2}$ ) bestärkt diese Aussage.

### 3.1.3 Lösungsansätze

Um zu einer renntauglichen Lösung der Lichtauslegung zu gelangen, sind zwei Lösungsansätze denkbar:

1. Die minimalen Anforderungen des DTM Reglements beibehalten.

Das DTM Reglement schreibt nicht wie die ECE-Norm eine maximale Lichtstärke von 185cd vor. Somit ist es möglich, die Bremslichtfunktion um das Verhältnis von mindestens 5:1 auf 525cd zu erhöhen.

2. Einhaltung der ECE Vorschriften

Der alternative Weg ist eine Orientierung an den ECE Vorschriften, um dadurch ein besseres Verhältnis von Brems- zu Schlusslicht von 5:1 zu erreichen.

Letzterer Lösungsansatz wurde angestrebt und umgesetzt.

Lichtstärke [cd]	A4 DTM Heckleuchte
Schlusslicht	12,8
Bremslicht	192
Blinklicht	76,2
Bremslicht : Schlusslicht	15:1

Tabelle 2 Theoretische Lichtstärken der A4 DTM Heckleuchte

## 3.2 Lichtauslegung R15 Le Mans Heckleuchte

Nur der Reglement Text des Le Mans Prototyp (siehe 2.2) reicht nicht aus für die lichttechnische Auslegung einer Heckleuchte. Vielmehr sind Erfahrungen mit vorangegangenen Rückleuchten notwendig. Eine frühere Entwicklung der R10 Le Mans Heckleuchte, auf Basis einer integrierten Leiterplatte, diente als Ausgangspunkt für die neue R15 Heckleuchte.

Lichtstärke [cd]	R10 Heckleuchte	LEDs
Schlusslicht	7	56
Bremslicht	174	56
Blinklicht	37	20
Nebelschlusslicht	82	20

Tabelle 3 Theoretische Lichtstärken der R10 Heckleuchte

Durch das gewünschte schmale Design konnten nicht mehr die gleiche Anzahl an LEDs in der Heckleuchte verbaut werden. Bis auf die Blinklichtfunktion sind alle Funktionen verbessert worden. Dies wurde zum einen durch die Wahl einer höheren Helligkeitsgruppe der LED als auch durch die bündelnde Abschlusscheibe realisiert. Alle Funktionen sind mittels Simulation überprüft worden.

### Exkurs zum zweiten Punkt im Reglement der Le Mans Prototyp (Kapitel 2.2) – 21W für Nebelschlusslichtfunktion:

Das Nebelschlusslicht mit 86 cd entspricht zwar nicht den ECE-Vorschriften, ist jedoch für den Rennbetrieb ausreichend, wenn man bedenkt, dass mit der früheren 21W Halogenlampe bei einem vereinfachten Motorsportaufbau ca. 48 cd erreicht wurden. So können durch den Einsatz von Leuchtdioden und Optik (Aussenlichtscheibe) 86 cd mit 3W realisiert werden.

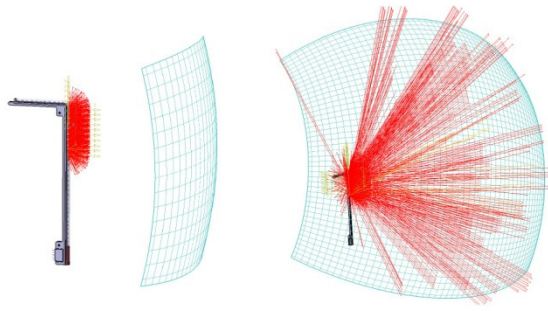


Abbildung 2 Lichttechnische Simulation der Nebelschlusslichtfunktion

Bei der LED Auflistung der R15 Heckleuchte wurden nur die funktionstechnisch relevanten LEDs berücksichtigt. Fünfzehn weitere LEDs für die Funktionen Schluss- bzw. Bremslicht, die aus Designgründen parallel zur Straße verbaut sind, wurden nicht mit einbezogen.

Lichtstärke [cd]	R15 Heckleuchte	LEDs
Schlusslicht	12	40
Bremslicht	194	30
Blinklicht	26	5
Nebelschlusslicht	86	10

Tabelle 4 Theoretische Lichtstärken der R15 Heckleuchte

## 4 Aufbau / Technologie

### 4.1 DTM Heckleuchte

Der prinzipielle Aufbau einer Motorsport Heckleuchte unterscheidet sich im Wesentlichen nicht von einer Serienheckleuchte, wenn man den Aufbau vereinfacht und in die drei Bereiche: Gehäuse, Optik/Elektronik und Aussenlichtscheibe unterteilt.

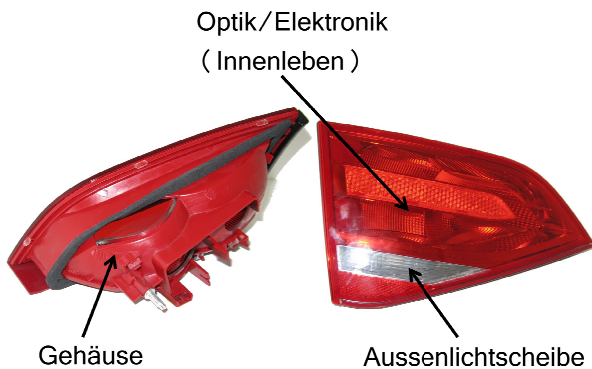


Abbildung 3 Serien Rückleuchte A4

Das Serienkunststoffgehäuse ist für den Einsatz im Motorsport viel zu schwer und würde auch den enormen Vibrationen, die während der Fahrt herrschen, nicht standhalten. Als „Gehäuseersatz“ wird eine CFK<sup>6</sup>-Aufnahme verwendet. Vorteil dieses Materials ist die hohe gewichtsspezifische Festigkeit und Steifigkeit.

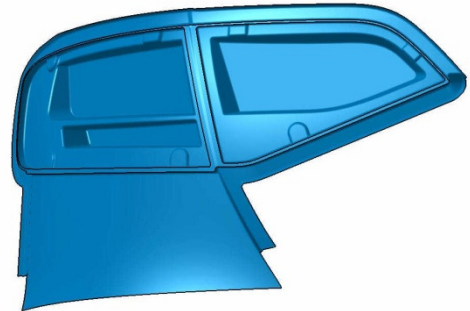


Abbildung 4 CFK-Aufnahme A4 DTM Rückleuchte

Bei der Optik/Elektronik für die Audi A4 DTM Heckleuchte setzt man auf die innovative integrierte Leiterplattentechnik. Bei diesem Verfahren werden lambertsch abstrahlende Leuchtdioden innerhalb einer mehrlagigen Leiterplatte eingebettet. Verwendet wird hierbei kein Standard FR4 Lageraufbau, sondern eine Kombination aus Bergquist PCB<sup>7</sup> und Aluminium Frontplatte. Ein positiver Aspekt gegenüber herkömmlichen Leiterplatten liegt zum einen in der Lebensdauer. Das kompakte Aluminiumsandwich ist sehr strapazierfähig sowie wasserfest. Es ist keine zusätzliche Abdichtung notwendig. Die thermische Leitfähigkeit bedingt durch die Verwendung einer Bergquist Leiterplatte liegt bei 1,3 — , was mehr als das Dreifache einer herkömmlichen FR4 Leiterplatte ist.

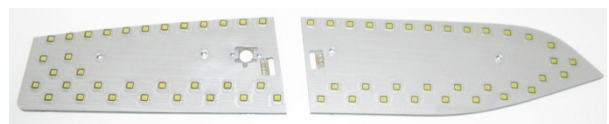


Abbildung 5 Integrierte Leiterplatten A4 DMT Heckleuchte

<sup>6</sup> Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff

<sup>7</sup> Printed Circuit Board [Leiterplatte]

Im Gegensatz zum Vorgänger-Modell, ein Aufbau mit radialen Leuchtdioden, ist durch die lambertsche Abstrahlcharakteristik der Leuchtdioden der Einbau der planen Leiterplatten senkrecht zur Fahrtrichtung nicht zwingend erforderlich. Daraus ergeben sich Vorteile für die Montage im begrenzten Bauraum. Die CFK-Aufnahme kann der Feilung der Karosserie folgen. Somit wurde die Leiterplatte 30° horizontal zur Fahrtrichtung angebracht. Die relative Lichtstärke verringerte sich dadurch um 13%.

Die Aussenlichtscheibe wurde von der Serien-Heckleuchte übernommen. Der Aufwand, die Scheibe aus einem stabileren oder leichteren Material bei gleicher Optik nachzubauen, steht in keinem Verhältnis zum Nutzen.



Abbildung 6 A4 DTM Heckleuchte eingebaut im Fahrzeug

## 4.2 R15 Le Mans Heckleuchte

Vereinfacht gesehen besteht die R15 Heckleuchte wieder aus den drei Komponenten Gehäuse, Optik/Elektronik und Abschlusscheibe, wobei man sich hier an keinem Serienfahrzeug orientiert. Im Fokus steht die Funktionalität.

Im Grunde kann bei der R15 Heckleuchte nicht mehr von einem Gehäuse gesprochen werden. Vielmehr kommt ein Leiterplatten-Träger aus CFK-Material zum Einsatz. Dieser sorgt wie auch schon in den DTM Fahrzeugen für eine hohe Festigkeit und Steifigkeit. Speziell in diesem Träger wurde ein Aluminiumkern mit einlaminiert, um

die thermische Leitfähigkeit zu verbessern.



Abbildung 7 CFK-Träger R15 Heckleuchte mit Aluminiumkern

Die grundlegende Designänderung, die Heckleuchte in den Heckflügel zu integrieren, führte zu einem völlig anderen Technologiekonzept als beim Vorgängermodell R10. Der 90° Winkel ist mit einer integrierten Leiterplatte nicht zu realisieren. Als Leiterplatte dient nun ein zweiseitig durchkontaktierter Flex-Multilayer auf Aluminium laminiert. Mit diesem aufwändigen Lagenaufbau ist es möglich, einer dreidimensionalen Kontur zu folgen. Der Aufbau wurde speziell für den Motorsport optimiert, um die Zuverlässigkeit zu garantieren. Die Ersterprobung fand im DTM Tagfahrlicht statt. Die thermische Leitfähigkeit ist durch die geringe Substratdicke mit ca.  $1 \frac{W}{m \cdot K}$  deutlich besser als bei einer Standard FR4-Platine.

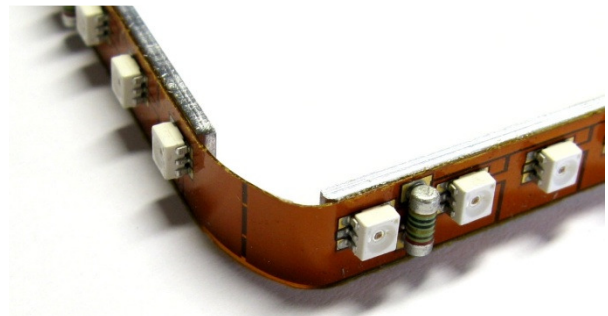


Abbildung 8 Zweiseitig durchkontaktierter Flex-Multilayer auf Aluminium

Die Abschlusscheibe ist aus transparentem Polyurethan Vakuumgießharz. Die positiven Eigenschaften dieses Materials sind eine sehr gute UV- wie auch eine hohe Temperaturbeständigkeit. Desweiteren ist der Werkstoff polierbar.

Alle drei Komponenten der Heckleuchte wurden wasserdicht miteinander verklebt.

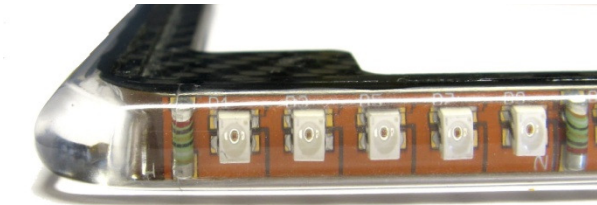


Abbildung 9 R15 TDI Heckleuchte

## 5 Fazit

Die Entwicklung von Beleuchtungen im Motorsport ist ein spannender Prozess. Der Einsatz von modernsten Techniken, um die größtmögliche Effizienz aus Funktionalität, Zuverlässigkeit, Gewicht, Reglement und Design zu erzielen, steht bei jeder Neuentwicklung im Fokus. Wie auch jede andere Einheit eines Rennwagens wird die Qualität des Produkts an Siegen festgemacht.

## 6 Literaturverzeichnis

ACO - Automobile Club De L'Ouest. (2009). *ACO Technical Regulations 2009 - Prototype "LM"P1 - "LM"P2*. Von [www.lemans.org](http://www.lemans.org). abgerufen

Deutscher Sport Bund e.V. (2008). *Technisches Reglement 08*. Von [www.dmsb.de](http://www.dmsb.de). abgerufen

Dipl.-Phys. Bol, J., & Ing. (grad.) Decker, H.-J. (1971). *Verbesserung der Heckbeleuchtung von Kraftfahrzeugen*. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH.