

DISS. ETH N° 18245

**PHYSIOLOGICAL AND COGNITIVE EFFECTS OF WEARING A
FULL-FACE MOTORCYCLE HELMET**

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the degree of

Doctor of Sciences

presented by

CORNELIS PETER BOGERD

Master of Science, from Vrije Universiteit, the Netherlands

born at 29 October 1979

citizen of the Netherlands

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. U. Boutellier, supervisor
Prof. Dr. P.A. Brühwiler, co-supervisor
Dr. R.M. Rossi, co-supervisor

2009

Summaries

Summary

Wearing a full-face motorcycle helmet is likely to cause a warm microclimate environment, due to its expected high thermal insulation, especially on the scalp. However, it is unclear how such helmets can affect the cognition, i.e. performance (e.g., sustained attention) and the perception (e.g., temperature perception or thermal comfort). Therefore, we studied the following aspects of wearing a full-face motorcycle helmet: i) the external thermal boundary conditions created by these helmets, ii) how diversely motorcycle helmets and their ventilation systems are influencing the temperature perception and thermal comfort, and iii) if wearing a motorcycle helmet can affect cognitive performance (Chapter 1).

In order to understand the external thermal boundary conditions created by full-face motorcycle helmets, 27 specimens were measured with all vents open or closed (Chapter 3). The average heat loss (\dot{Q}) was measured under controlled environmental conditions of 22.90 ± 0.05 °C, and 50.4 ± 1.1 km·h⁻¹ wind speed. In a follow-up study, similar measurements were conducted on a selection of helmets (Chapter 4) under the following conditions: i) a 30° forward head tilt angle, ii) a wig installed between headform and helmet, and iii) wind speed ranging from 0 km·h⁻¹ to 79.8 km·h⁻¹. The results show large variations in \dot{Q} among the different helmets, ranging from 0 W to 4 W for the scalp section and from 8 W to 18 W for the face section. Opening all the vents resulted in a vent-induced heat loss ($\Delta\dot{Q}$) exceeding 1 W in four and six helmets, respectively, for the scalp and face section. Only two and one helmet(s), respectively, exceeded a $\Delta\dot{Q}$ of 2 W. Qualitatively similar results were found under the other conditions.

To understand how $\Delta\dot{Q}$ is related to human perception, eight subjects (aged 28.0 ± 5.4 years) underwent two experimental trials in balanced order in a climate chamber with a temperature of 23.7 ± 0.4 °C, or 27.5 ± 0.3 °C (Chapter 5). During each trial, the acclimated subjects underwent 2 examination phases, each lasting approximately 20 min. To investigate the effects of the ventilation system, the vent configuration was changed in the scalp section, directly followed by a perceptual assessment of i) temperature, ii) airflow, iii) noise, and iv) thermal comfort. During the examination phase, four different helmets were assessed for about 5 min each at wind speeds of 39.2 ± 1.9 km·h⁻¹ and 59.3 ± 1.4 km·h⁻¹. Having changed the helmet, the subjects sat still for 3 min; the vent configuration was then changed and the subjects were asked to evaluate their perception of an eventual difference. Similar assessments were performed for the face. The four full-face motorcycle

helmet models employed in this study presented conditions ranging from a high to a very low $\Delta\dot{Q}$. A multinomial logistic regression analysis was used to indicate the parameters which are important predictors for the response behavior of the subjects. $\Delta\dot{Q}$ in the scalp section ranged from -6.1 W to 6.1 W. $\Delta\dot{Q}$, subject and helmet were identified as the most important predictors of the response behavior. An additional analysis yielded estimates of the following parameters: i) perception thresholds, suggesting a higher likelihood of the subjects to perceive an opening of the vents compared to their closing; ii) helmet specific sensitivities, possibly caused by different internal airflow patterns; finally, iii) strong similarity in the perception of temperature and airflow for both scalp and face.

The above summarized results indicate that, the microclimate temperatures around the head are higher than the ambient temperatures, due to insufficient ventilation of these highly-insulating helmets. Since it is known that cognitive performance can be impaired by heat stress and also other helmet mediated effects (e.g., increased carbon dioxide levels), a study investigating the impact on cognitive performance while wearing a full-face motorcycle helmet was carried out (Chapter 6). Following three familiarization trials, nineteen subjects completed two experimental trials, wearing a full-face motorcycle helmet (HEL) or no headgear at all (CON), randomly assigned. The cognitive performance was assessed with a letter cancellation test (LCT), further with a task of simultaneous visual and auditory vigilance with tracking (VTT+AVT). During each experimental trial, acclimated subjects completed 30 min VTT+AVT preceded and followed by an LCT. In addition, the heart rate (HR) and heart rate variability (SDNN and pNN50) were measured during the VTT+AVT, and at the end of each trial, whole-body temperature perception and thermal comfort were assessed. All the trials took place in a climate chamber at an ambient temperature of 27.2 ± 0.6 °C, a relative humidity of $41 \pm 1\%$, and the v_w was 1.8 ± 0.2 km·h⁻¹. HEL resulted in a larger displacement on the tracking task, with a median increase of 7.2% (25th percentile - 9.9%; 75th percentile 23.7%) ($p = 0.021$). Furthermore, interaction effects were found between the intervention and time for the cognitive performance parameters for five out of 46 cases. pNN50 showed an intervention effect, with 17.5% (-26.9; 62.1), with larger values for HEL. Furthermore, HEL resulted in a less favorable temperature perception and thermal comfort ($p < 0.01$). Finally, most cognitive parameters showed a time effect during the 30 min VTT+AVT, indicating poorer performance towards the end.

Thus, the tracking performance was impaired by wearing of a full-face motorcycle helmet. In addition, these helmets cause a less favorable whole body temperature perception and thermal comfort, and increase pNN50, under the applied conditions. Furthermore, as expected, $\Delta\dot{Q}$ was the most important determinant for the perception of temperature, airflow and noise, although each helmet affected the sensitivity of the wearer in a slightly different manner. For temperature and airflow, perception thresholds were defined. Only three helmets of a sample of 27 state-of-the-art full-face motorcycle helmets exceeded these perception thresholds measured at 22.90 ± 0.05 °C and a wind speed of 50.4 ± 1.1 km·h⁻¹. However, the number of helmets exceeding these thresholds will be slightly larger with higher wind speeds or lower ambient temperatures. This suggests that optimizing full-face motorcycle helmets for temperature perception and thermal comfort might reduce their detrimental impact on the cognitive performance and may thereby improve the traffic safety of motorcycle and moped riders.

Zusammenfassung

Das Tragen von Vollvisiermotorradhelmen führt aufgrund ihres hohen Isoliervermögens mit grosser Wahrscheinlichkeit zu einer Erwärmung des inneren Mikroklimas, und zwar speziell auf der Schädelhaut. Dennoch ist unklar, wie solche Einflüsse durch einen Helm die Wahrnehmung, bzw. die kognitive Leistung (z.B. ununterbrochene Aufmerksamkeit) und die Empfindungen (z.B. Temperaturgefühl und thermischer Komfort) des Trägers beeinflussen. Aus diesem Grund haben wir folgende Fragen untersucht: i) die äusseren, durch diese Helme verursachten thermischen Grenzbedingungen, ii) wie verschiedene Motorradhelme mit ihren Ventilationssystemen das Temperatur- und Komfortempfinden beeinflussen, und iii) ob das Tragen von Motorradhelmen die kognitive Leistung beeinflusst (Kapitel 1).

Um zu verstehen, wie die äusseren thermischen Grenzbedingungen durch Vollvisiermotorradhelme entstehen, haben wir 27 Muster mit offenen oder geschlossenen Ventilationsöffnungen gemessen (Kapitel 3). Dabei wurde die mittlere Wärmeabgabe (\dot{Q}) unter kontrollierten Umgebungs-Bedingungen von 22.90 ± 0.05 °C und einer Windgeschwindigkeit (v_w) von 50.4 ± 1.1 km·h⁻¹ bestimmt. In einer zweiten Studie wurden die gleichen Messungen an einer Auswahl von Helmen gemacht (Kapitel 4): i) mit einer 30°-Neigung des Kopfes nach vorne, ii) mit einer Perücke zwischen Helm und Kopfmodell, und iii) mit einer v_w zwischen 0 km·h⁻¹ – 79.8 km·h⁻¹. Die Resultate zeigten grosse Unterschiede zwischen den verschiedenen Helmen bei \dot{Q} . Die Unterschiede bewegten sich von 0 W – 4 W im Schädelbereich und zwischen 8 W – 18 W im Gesichtsbereich. Dabei bewirkte ein Öffnen aller Ventilationsöffnungen eine lüftunginduzierte Wärmeabgabe ($\Delta\dot{Q}$) von mehr als 1 W bei vier Helmen im Schädelbereich, beziehungsweise bei sechs Helmen im Gesichtsbereich, wobei nur zwei Helme, beziehungsweise ein Helm eine $\Delta\dot{Q}$ von 2 W überschritt. Ähnliche qualitative Resultate wurden auch unter den anderen Bedingungen gefunden.

Da es unklar ist, wie eine $\Delta\dot{Q}$ mit der menschlichen Empfindung verbunden ist, wurden zwei experimentelle Versuche in ausgeglichener Reihenfolge mit acht Probanden (Alter 28.0 ± 5.4 Jahre) in einer Klimakammer bei einer Temperatur von 23.7 ± 0.4 °C oder 27.5 ± 0.3 °C durchgeführt (Kapitel 5). Bei jedem Versuch durchliefen die akklimatisierten Probanden zwei etwa 20-min Versuchsphasen. Um den Einfluss der Ventilation zu untersuchen, wurde die Einstellung der Belüftungsöffnungen im Schädelbereich geändert und das Empfinden mit einer

anschliessenden Befragung zu i) Temperatur, ii) Luftstrom, iii) Lärm und iv) thermischem Komfort erfasst. Während des Versuchs wurden vier verschiedene Helme jeweils für 5 min bei einer v_w von $39.2 \pm 1.9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ oder $59.3 \pm 1.4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ getestet. Nach dem Auswechseln der Helme sassen die Probanden für 3 min still. Dann wurde die Helmbelüftung geändert, und die Versuchspersonen zur Empfindung einer eventuellen Änderung befragt. Ähnliche Befragungen wurden zum Gesichtsbereich durchgeführt. Die vier Vollvisiermotorradhelme repräsentierten in dieser Studie die Bedingungen von einer hohen bis zu einer sehr niedrigen $\Delta\dot{Q}$. Multinominale logistische Regressionen wurden berechnet, um Parameter zu bestimmen, die Voraussagen über das Antwortverhalten der Probanden machen konnten. $\Delta\dot{Q}$ bewegte sich zwischen -6.1 W und 6.1 W im Schädelbereich. Proband, Helm und $\Delta\dot{Q}$ sind die wichtigsten Einflusswerte für die Voraussage des Antwortverhaltens. Eine zusätzliche Analyse ergab i) Empfindungsschwellen, bei denen die Probanden mit einer höheren Wahrscheinlichkeit geöffnete Lufteinlässe im Vergleich zu geschlossenen bemerkten; ii) helmspezifische Sensitivitäten, die eventuell durch unterschiedliches Verhalten des inneren Luftstroms verursacht werden und, schliesslich iii) eine grosse Ähnlichkeit beim Empfinden von Temperatur und Luftstrom auf Schädelhaut und Gesicht.

Folglich sind wegen der Wärmeisolierung dieser Helme die Mikroklimateperaturen um den Kopf herum höher als Umgebungstemperaturen. Da man weiss, dass kognitive Leistung durch Hitzebelastung und andere helmspezifische Einflüsse (z.B. erhöhte Kohlendioxyd-Werte) eingeschränkt wird, befasste sich eine Studie mit den Auswirkungen auf die kognitive Leistung beim Tragen eines Vollvisiermotorradhelms (Kapitel 6). Nach drei Angewöhnungsversuchen absolvierten neunzehn Probanden zwei experimentelle Versuche, wobei sie in zufälliger Reihenfolge einen Vollvisiermotorradhelm (HEL) und gar keinen Kopfschutz (CON) trugen. Die kognitive Leistung wurde mit einem Buchstabendurchstreichungstest (LCT) und einem simultanen visuellen und auditiven Wachsamkeitstest mit Tracking-Aufgabe (VTT+AVT) bestimmt. Bei jedem experimentellen Versuch durchliefen die akklimatisierten Probanden 30 Minuten VTT+AVT, mit vorausgehendem und nachfolgendem LCT. Zusätzlich wurden während dem VTT+AVT die Herzfrequenz (HR) und deren Schwankungen (SDNN und pNN50) gemessen, und am Ende jedes Versuchs das Ganzkörpertemperatur-Empfinden und der thermische Komfort bestimmt. Alle Versuche fanden in einem Klimaraum bei einer Umgebungstemperatur von $27.2 \pm 0.6 \text{ }^\circ\text{C}$, einer relativen Luftfeuchtigkeit von $41 \pm 1 \%$ und einer v_w von 1.8 ± 0.2

km·h⁻¹ statt. HEL wies grössere Verschiebungen aus der Tracking-Aufgabe auf, bei einer mittleren Erhöhung von 7.2% (25. Perzentil -9.9%; 75. Perzentil 23.7%; $p = 0.021$). Ferner wurden Wechselwirkungen zwischen dem Eintreten und der Zeit für die kognitive Leistungsparameter bei 5 von 46 Fällen festgestellt. pNN50 zeigte eine helmspezifische Wirkung von 17.5% (-26.9; 62.1), mit höheren Werten beim HEL. Ferner ergab sich dabei eine ungünstigere Temperatur- und thermische Komfort-Wahrnehmung ($p < 0.01$). Schliesslich zeigten die meisten kognitiven Parameter einen Zeiteffekt während der 30 min VTT+AVT, was auf eine schwächere Leistung gegen das Ende des Versuchs hinweist.

Daher wurde die Tracking-Leistung durch das Tragen eines Vollvisiermotorradhelms beeinträchtigt. Dazu verursachen diese Helme unter den angewandten Bedingungen eine ungünstigere Körpertemperatur- und thermische Komfort-Wahrnehmung, sowie eine Erhöhung der pNN50. Ferner erwies sich $\Delta\dot{Q}$ wie erwartet als wichtigste Bestimmungsgrösse für die Empfindung von Temperatur, Luftstrom und Lärm, obwohl jeder Helm die Sensitivität des Trägers auf leicht unterschiedliche Weise beeinflusste. Für Temperatur und Luftstrom wurden Wahrnehmungsschwellen definiert. Nur drei Helme aus einem Muster von 27 modernsten Vollvisiermotorradhelmen überschritten diese Wahrnehmungsschwellen, die bei 22.90 ± 0.05 °C und einer v_w von 50.4 ± 1.1 km·h⁻¹ gemessen wurden. Allerdings wird die Anzahl Helme, die über diese Schwelle hinausgehen, bei stärkeren Windgeschwindigkeiten oder tieferen Umgebungstemperaturen leicht ansteigen. Dies deutet darauf hin, dass eine Optimierung von Vollvisiermotorradhelmen in der Temperatur- und thermischen Komfort-Wahrnehmung deren negative Einwirkung auf die kognitive Leistung mindern und damit die Verkehrssicherheit bei Motorrad- und Motorfahrradfahrern verbessern könnte.